

The Effects of *Enterococcus Faecium* and *Origanum Onites* Powder Supplementation to Diet on Growth, Gut Health, Intestinal Morphology, Meat Traits and Breast Meat MDA of Male Broiler Chicks*

Hüsamettin ÇELİK¹, Hüseyin ÇAYAN², İsa COŞKUN^{3**}

^{1,2,3} Kırşehir Ahi Evran University Faculty of Agriculture Department of Animal Science, Kırşehir

¹<https://orcid.org/0000-0001-8801-4754>

²<https://orcid.org/0000-0001-7731-2967>

³<https://orcid.org/0000-0001-5495-6006>

**Corresponding author: isa.coskun@ahievran.edu.tr

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 01.08.2023

Accepted: 04.10.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Broiler chicken

Origanum onites

Enterococcus faecium

Performance

Meat characteristics

This study evaluated growth, gut health and meat traits effectiveness of *Enterococcus faecium* (EF) and *Origanum onites* powder (OOP) on male broilers. A total of 160 (ROSS 308) one day old male broiler chicks randomly distributed to four dietary treatments; basal diet (T_0), basal diet + 0.2% EF (T_1), basal diet + 0.5% OOP (T_2), basal diet + 1% OOP (T_3). BWG was higher in T_1 and T_2 groups than Control T_0 group ($P<0.05$). FI, FCR, mortality, internal organs, meat traits, breast meat MDA levels and LAB count did not change among the treatments. Villi length increased in T_1 and T_2 groups than control T_0 group ($P<0.001$) in jejunum and ileum. Crypt depth increased in T_2 and T_3 groups than T_0 and T_1 groups in jejunum and crypt depth increased T_2 group than compared to the other groups in ileum ($P<0.001$). Villi leng crypt depth ratio was found higher in T_1 group compared to the other groups in jejunum and ileum ($P<0.001$). *Enterococcus* sp. count increased in T_1 group and *E. coli* count decreased in T_2 group compared to other groups in cecum ($P<0.05$), Lactobacillus count was not differ among the groups ($P>0.05$). Gizzard weight was foun low in T_1 group than T_0 and T_2 groups ($P<0.05$). L* value of thigh meat increased in T_3 group than control T_0 group. The results of study showed that 0.5% OOP supplementation (T_2) improved the performance values like probiotic *Enterococcus faecium* supplementation (T_1) and have a potential as growth promoter in broilers. However, studies are needed to reveal the effects of OOP supplementation at different doses or under different stress factors.

*All animal care and experimental procedures were conducted following the guidelines of the Kırşehir Ahi Evran University Local Ethics Committee for Animal Experiments. 31.03.2021-68429034/06.

Enterococcus Faecium ve Origanum Onites Tozu İlavesinin Erkek Etlik Cıvcıvlerde Büyüme, Bağırsak Sağlığı, Bağırsak Morfolojisi, Et Özellikleri ve Göğüs Eti MDA Düzeyleri Üzerine Etkileri

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 01.08.2023

Kabul tarihi: 04.10.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Etlik piliç

Origanum onites

Enterococcus faecium

Performans

Et özellikleri

ÖZ

Bu çalışmada, erkek etlik piliçlerde *Enterococcus faecium* (EF) ve *Origanum onites* tozunun (OOP) büyüme, bağırsak sağlığı ve et özellikleri üzerine olan etkinlikleri değerlendirildi. Toplam 160 (ROSS 308) bir günlük erkek piliç cıvcıv rastgele dört muamele uygulamasına dağıtıldı. Muameleler; bazal diyet (T_0), bazal diyet + %0,2 EF (T_1), bazal diyet + %0,5 OOP (T_2), bazal diyet + %1 OOP (T_3) olacak şekilde planlanmıştır. Canlı ağırlık artışı (CAA), T_1 ve T_2 gruplarında Kontrol (T_0) grubuna göre daha yüksek olarak saptanmıştır ($P<0,05$). Muameleler arasında yem tüketimi, yemden yararlanma oranı, ölüm oranı, iç organlar, et özellikleri, göğüs eti MDA seviyeleri ve LAB sayıları ise farklılık saptanmamıştır ($P>0,05$). Jejunum ve ileumda, Kontrol (T_0) grubuna göre T_1 ve T_2 gruplarında villi uzunluğu artmıştır ($P<0,001$). Kript derinliği jejunumda T_2 ve T_3 gruplarında T_0 ve T_1 gruplarına göre, ileumda ise T_2 grubunda diğer gruplara göre daha yüksek bulunmuştur ($P<0,001$). Villi uzunluğu/kript derinliği oranı jejunumda ve ileumda T_1 grubunda diğer gruplara göre daha yüksek bulunmuştur ($P<0,001$). Sekumda T_1 grubunda Enterokokkus sayısı artmış, T_2 grubunda *E. coli* sayısı azalmış ($P<0,05$), Laktobasilli sayıları bakımından ise bir farklılık oluşmamıştır ($P>0,05$). Taşlık ağırlığı T_1 grubunda, T_0 ve T_2 gruplarına göre daha düşük bulunmuştur ($P<0,05$). But etinin L^* değeri, T_3 grubunda kontrol grubuna göre artmıştır. Çalışmanın sonuçları, %0,5 OOP takviyesinin (T_2) probiyotik (*Enterococcus faecium*) takviyesi (T_1) ile benzer şekilde performans değerlerini iyileştirdiğini ve piliçlerde büyümeyi destekleyici potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Ancak farklı dozlarda OOP ilavesinin veya farklı stres faktörleri altında etkilerinin ortaya konulmasına yönelik çalışmalara da ihtiyaç duyulmaktadır.

To Cite: Çelik H, Çayan H, Coşkun İ., 2024. The effects of *enterococcus faecium* and *origanum onites* powder supplementation to diet on growth, gut health, intestinal morphology, meat traits and breast meat MDA of male broiler chicks. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 1-16.

Introduction

Origanum onites is a medicinal aromatic plant in the genus of *Origanum*, which grows up in Türkiye, Greece and Sicily (Wikipedia, 2023). Plant height is 40-45 cm; leaves contain 1.88-3.06 essential oils; carvacrol is the main component of essential oils, leaves contain varying amounts of cineol, borneol, linalool and γ -terpinene; they have antioxidant (Özkan and Erdoğan, 2011; Yılmaz et al., 2019) and antimicrobial activities (Kacar et al., 2006; Sarac and Ugur, 2008). Despite these benefits, the number of studies using *Origanum onites* (OO) essential oils as a phytobiotic in poultry is finite. In these studies, Sarica et al., (2014) showed that 500 mg/kg dietary OO essential oil prevented a performance decrease in 14 day old broilers fasting for 72 hours. Also Corduk et al., (2013) reported that 250 mg/kg OO essential oil supplementation prevented a performance decrease in 21 day old broilers fasting for 48 hours. Sarica et al., (2018), reported that 250 mg/kg OO essential oil supplementation

increased villi length, jejunal and ileal crypt depth in 14 day old broiler chicks fasting for 48 hours. There are also studies reporting that 500mg/kg (Basmacıoğlu et al. 2010), and 300 mg/kg (Sarica et al. 2009; Kırkpınar et al. 2011) dietary OO essential oil supplementation did not affect broiler performance parameters. In previous studies, only OO essential oil was used as a phytobiotic in poultry, and there is no study in which the effects of Origanum onites powder (OOP) on performance, gut morphology and meat characteristics of broilers were determined. Moreover, besides determining the effect on performance increase, no study was found in which the possible effect was compared with proven commercial probiotics. Probiotics have proven in previous scientific studies that they can be an alternative to antibiotics in poultry. One of these probiotics is *Enterococcus faecium* (EF). It was shown that the dietary supplementation of EF to broiler diets improves performance (Samli et al. 2007; Castañeda et al. 2020; Bassiony et al. 2021; Simonová et al. 2022). Therefore this study aimed to evaluate the impacts of dietary 0.2% EF and 0.5-1% OOP on growth, internal organ development, intestinal histology, cecum microbiota, meat traits and breast meat MDA of male broilers for 21 days.

Material and Methods

Ethical approval

All animal care and experimental procedures were conducted following the guidelines of the Kırşehir Ahi Evran University Local Ethics Committee for Animal Experiments. 31.03.2021-68429034/06.

Animal, Diet and Management

In the study, one day old 160 healthy ROSS 308 male broiler chicks purchased from a commercial hatchery (Ross Breeders Anadolu, Ankara, Türkiye) with standardized live weights were placed in 4 floor chick rearing cages in an experimental room. The study distributed broiler chicks to treatments with 4 replicates (10 chicks). Treatment groups were T_0) as control, T_1) basal diet + 0.2% EF as positive control, T_2) basal diet + 0.5% OOP, T_3) basal diet + 1% OOP. Cages (100cmx50cmx40cm) have wire floors, feeders and nipple drinkers. Feed and water were offered *ad-libitum* and a 23-hour lighting program was applied throughout the experiment. Room temperature set up 32 °C for 1 week and 2 °C reducing every week. The experiment was continued for 21 days. No vaccination was applied to the birds. During the study, broiler starter diets with 22.39% CP and 3080 kcal/kg ME were purchased from a commercial feed company in Kayseri, Türkiye (Table 1).

Table 1. Ingredients and compositions of starter diet (g/100g).

Ingredients	%
Corn	44.00
Soy bean meal (44%)	41.15
Meat and bone meal (35%)	4.00
Soy oil	6.50
DCP	2.50
L-lysine HCl	0.70
DL-methionine	0.35
Salt	0.30
Vitamin premix*	0.25
Mineral premix#	0.25
Composition	
ME [kcal/kg]	3080
Crude protein	22.39
Crude fibre	2.80
Ether extract	8.50
Ca	1.60
Available P	3.80

* Vitamin A, 12.000 IU; Vitamin D₃, 2.400 IU; Vitamin E, 4 mg; Vitamin B₁, 30 mg; Vitamin K₃, 7 mg; Vitamin B₆, 3 mg; Vitamin B₂, 15 µg; Niacin, 5 mg; Vitamin B₁₂, 25 mg; Fe, 1 mg; Pantotenic acid, 80 mg; Folic acid, 10 mg; Biotin, 125000 mg; Cu, 45 mg; Colin, 5 mg; Mn, 60 mg; Se, 150 µg.80 mg; Zn, 60 mg.

Live weight, feed intake and mortality were recorded weekly. On the 21st day of the study, 2 chicks were slaughtered from each replicate close to the group average weight and their internal organ weights were determined. On the day of slaughter, the cecum contents of slaughtered animals from each replicate were taken and *Enterococcus* spp., LAB, *E. coli* were detected same day in these samples. The lightness (L*), redness (a*), and yellowness (b*) of breast and thigh meat were measured with a Minolta Chrometer CR410. pH values of breast and thigh meat were measured by pH meter Testo 205 at slaughtered birds. Breast meat samples collected from each slaughtered birds for MDA analyses in a refrigerator for 3 days.

This study used the probiotic *Enterococcus faecium* NCIMB 10415 (DSM Nutritional Products Ltd., Birsfelden, Switzerland CYLACTIN® LBC ME10). *Origanum onites* were provided by a local herbalist in Kırşehir Province. For the trial, *Origanum onites* were ground at a thickness of 0.1 mm in a mill.

Determination of TBARS Value in Breast Meat of Broiler Chicks

The lipid oxidation level in the samples was determined using the 2-thiobarbituric acid method. A sample of 10 grams was taken from the samples, 50 ml of distilled water at 50°C was added and homogenized for 2 minutes in ultraturrax (IKA-T18). The mixture was taken into the tubes of the distillation machine, 47.5 ml of more pure water was added, and 2.5 ml

of HCL (4 N) solution was added and paraffin was placed to prevent foaming, and boiling stones to facilitate boiling were placed in the distillation device. The distillation apparatus was adjusted for low steam power, and distillation was continued until 50 ml of distillate was collected. 5 ml of the total distillate was taken into flasks, and 5 ml of TBA reagent was added. Blanks were prepared by mixing 5 ml of distilled water and 5 ml of TBA reagent. The samples, which were thoroughly mixed by vortexing, were kept in a boiling water bath for 35 minutes, after being removed from the water bath, they were cooled in water for 10 minutes and readings were made against the blind at a wavelength of 538 nm in the spectrophotometer (Shimadzu UVmini-1240). The obtained absorbance value was multiplied by 7.8 and the result was found to be mg malondialdehyde (MDA) per kg of sample (Tarladgis et al. 1960).

Determination of Duodenum, Jejunum, and Ileum Histology

On the 21st day of the study, duodenum, jejunum and ileum samples taken from slaughtered animals in each treatment group were placed in 10% formaldehyde. In the histology analysis of the study, paraffin blocks were prepared and the samples were cut with a thickness of 5 microns and the tissues were adhered to the slide. The tissues on the slide were freed from paraffin by passing them through xylene, and then they were passed through alcohol and xylene was removed from the tissues. The cleaned tissue samples were stained with hematoxylin and eosin dye and photographed with a digital camera microscope equipped with an AxioCam ERc 5s camera (ZEISS Primo Star, Germany) for proper imaging. The photographs obtained for each treatment group and each sample were measured with the ZEN 2012 SP2 image processing and analysis program.

Cecum Microbiology

One g of cecal samples in 9 ml in peptone water was mixed with a vortex to obtain a homogeneous distribution. Serial dilutions (1/10) were prepared at specific ratios from the stock materials. MRS agar was used for lactic acid bacteria (MERCK, 1.10660) at 37°C degrees following 3 days in an incubator and BEA (Bile Aesculin Azide Agar) Agar (Merck 100072) was used for *Enterococcus spp.* at 37°C degrees following 3 days in an incubator. EMB (Eosin Methylene Blue) Agar (Merck 101347) was used for *E. coli* at 37°C for 2 days in an incubator. The microbial colonies were counted and expressed as log₁₀ colony forming units (CFU) per gram of caecal content.

Statistical Analysis

The analysis of the data obtained from the study was carried out with one-way analysis of variance (ANOVA). The differences between the means were subjected to the Duncan multiple comparison test and the results were recorded. Statistical analyses in the study were made using SPSS 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) for Windows evaluation version statistical package program.

Results

Growth Performance

In this study, dietary 0.2% EF (T_1) and 0.5% OOP (T_2) supplementation increased live weight gain according to the control (T_0) group ($P<0.05$). Feed consumption, feed conversion ratio (FCR) and mortality were not differed between the groups. Dietary supplementation of *Enterococcus faecium* and *Origanum onites* to male broiler chicks resulted in a numerical decrease or improvement in FCR compared to control group (Table 2).

Table 2. Differentiation of growth, feed intake, feed conversion ratio (FCR) with the supplementation of *Enterococcus faecium* and *Origanum onites* powder to 21 day old male broiler diets.

Parameters	Treatments				SEM	P value
	T_0	T_1	T_2	T_3		
LWG g/bird	615.76 ^b	660.66 ^a	650.09 ^a	641.06 ^{ab}	6.01	0.03
Feed intake g/bird	923.20	926.13	935.10	912.85	7.44	0.81
FCR	1.50	1.40	1.44	1.43	0.016	0.19

^{a-b}. Superscripts represent the degree of significance of values between inline means for each variable ($P<0.05$). LWG= Live weight gain SEM= Standard error of means; T_0 = Control basal diet; T_1 = 0.2% EF; T_2 =0.5% OOP; T_3 = 1% OOP.

Gut Histology

The effects of dietary EF (T_1) and OOP (T_2 , T_3) on intestinal histology were shown in Table 3. Dietary supplementation of OOP and EF to broiler diets had no effect on duodenum morphological parameters ($P>0.05$).

In jejunum, the villi length was higher in T_1 and T_2 groups than control (T_0) group ($P<0.001$). Especially, T_1 group's villi length was higher than all groups. Dietary supplementation of 0.5% OOP (T_2) and 1% OOP (T_3) increased the crypt depth than those of control (T_0) and EF (T_1) group. The villi length/crypt depth ratio of the EF (T_1) group was higher than all groups.

In ileum, the villi lengths were higher in T_1 and T_2 groups than control (T_0) and T_3 groups. Crypt depth was the highest in the T_2 group compared to the other treatments. The

villi length/crypt depth ratio was higher in the T_1 and T_3 groups compared to control group, and the highest level was found in T_1 group ($P<0.001$).

Table 3. Differentiation of intestinal morphology with the supplementation of *Enterococcus faecium* and *Origanum onites* powder to 21 day old male broiler diets.

Groups	T_0	T_1	T_2	T_3	SEM	P value
Duodenum						
Villi length (μ)	1095.35	1118.15	1117.55	1118.54	17.69	0.960
Crypt depth (μ)	64.50	66.56	67.77	68.38	1.32	0.747
VL/CD	16.98	16.80	16.49	16.36	0.37	0.900
Jejunum						
Villi length (μ)	1175.52 ^b	1526.18 ^c	1292.62 ^a	1205.38 ^{ab}	24.05	0.001
Crypt depth (μ)	78.71 ^b	75.29 ^b	91.05 ^a	90.22 ^a	2.36	0.001
VL/CD	14.93 ^b	20.27 ^b	14.13 ^b	13.36 ^b	0.41	0.001
Ileum						
Villi length (μ)	546.16 ^c	700.13 ^b	745.75 ^a	579.03 ^c	11.28	0.001
Crypt depth (μ)	66.22 ^b	60.40 ^b	77.99 ^a	59.48 ^b	1.72	0.001
VL/CD	8.25 ^c	11.59 ^a	9.56 ^{bc}	9.73 ^b	0.29	0.001

^{a-b}. Superscripts represent the degree of significance of values between inline means for each variable ($P<0.05$). SEM= Standard error of means; T_0 = Control basal diet; T_1 = 0.2% EF; T_2 =0.5% OOP; T_3 = 1% OOP; μ = Micron

Caecal Microbiota

Differentiation of caecal microbiota with the supplementation of EF and OOP to broiler diets was shown in Table 4.

Table 4. Differentiation of caecal microbiota with the supplementation of *Enterococcus faecium* and *Origanum onites* powder to 21 day old male broiler diets (log 10/CFU).

Groups	T_0	T_1	T_2	T_3	SEM	P value
<i>Enterococcus</i> spp.	6.96 ^b	7.40 ^a	6.80 ^b	7.28 ^{ab}	0.10	0.037
<i>E. coli</i>	7.00 ^a	6.99 ^a	6.30 ^b	7.21 ^a	0.08	0.004
<i>Lactobacillus</i> spp.	7.49	7.59	7.93	8.08	0.11	0.189

^{a-b}. Superscripts represent the degree of significance of values between inline means for each variable ($P<0.05$). SEM= Standard error of means; T_0 = Control basal diet; T_1 = 0.2% EF; T_2 =0.5% OOP; T_3 = 1% OOP; CFU= Colony forming units.

Dietary supplementation of EF (T_1) to broiler diets increased *Enterococcus* spp. and 0.5% OOP (T_2) supplementation decreased *E. coli* count in cecum. Dietary supplementation of EF and OOP had no effect on the number of *Lactobacillus* spp.

Internal Organs

Dietary supplementation of OOP and EF at different to broiler diets (Table 5) had no effect on internal organ weights. It was determined that the addition of EF (T_1) decreased the weight of gizzard compared to the control (T_0) and 0.5% OOP (T_2) supplemented groups.

Table 5. Differentiation of internal organs with the supplementation of *Enterococcus faecium* and *Origanum onites* powder to 21 day old male broiler diets (g-cm/100gr LW)

Groups	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	SEM	P value
Gut length	21.74	21.47	21.62	21.36	0.26	0.968
Gizzard	3.35 ^a	2.88 ^b	3.23 ^a	3.16 ^{ab}	0.06	0.044
Heart	0.72	0.74	0.70	0.73	0.01	0.567
Liver	2.45	2.65	2.61	2.58	0.04	0.216
Proventriculus	0.64	0.61	0.64	0.64	0.01	0.649
Bursa of Fabricius	0.35	0.32	0.38	0.37	0.01	0.328
EIO	6.51	6.26	6.54	6.47	0.07	0.544

^{a-b}. Superscripts represent the degree of significance of values between inline means for each variable (P<0.05). SEM: Standard error of means. T₀= Control basal diet; T₁= 0.2% EF; T₂=0.5% OOP; T₃= 1% OOP; EIO= edible internal organs.

Meat Traits

The effects of dietary EF and OO on thigh and breast meats' L* (lightness), a* (redness), b* (yellowness) and pH levels are given in Table 6. In the study the L* value of the T₃ group's was higher than the control group. It was determined that dietary EF and OOP had no effect on other parameters (P>0.05). In the study, it was determined that the supplementation of OOP did not have negative effects on the color values of thigh and breast meat. Breast meat was not affected by dietary treatments. However, dietary supplementation of 0.5%OOP (T₂) and 1%OOP (T₃) numerically decreased 3-day refrigerator stored breast meat MDA value (P>0.05).

Table 6. Differentiation of L*, a*, b*, MDA and pH meats with the supplementation of *Enterococcus faecium* and *Origanum onites* powder to 21 day old male broiler diets.

Groups	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	SEM	P value
Breast meat						
L*	50.92	50.22	49.80	51.18	0.30	0.356
a*	14.35	13.86	14.42	13.60	0.19	0.349
b*	14.01	13.71	13.02	13.07	0.15	0.259
pH	5.86	5.94	5.91	5.94	0.03	0.824
MDA	0.19	0.18	0.17	0.15	0.01	0.746
Thigh meat						
L*	55.89 ^b	56.99 ^{ab}	57.18 ^{ab}	58.68 ^a	0.32	0.020
a*	14.95	14.76	14.97	14.20	0.15	0.269
b*	15.07	14.76	15.59	15.55	0.16	0.212
pH	6.20	6.11	6.13	6.19	0.023	0.305

^{a-b}. Superscripts represent the degree of significance of values between inline means for each variable (P<0.05). SEM= Standard error of means. T₀= Control basal diet; T₁= 0.2% EF; T₂=0.5% OOP; T₃= 1% OOP; MDA= Malondialdehyde.

Discussion

The results of this study revealed that dietary *Origanum onites* powder and *Enterococcus faecium* affected similarly the growth of broilers. The results of this study resemble to the results of studies reported that adding *Origanum vulgare* leaf powder or essential oil to the diet has positive effects on growth (Silva Vázquez et al. 2018; Giannenas et al. 2016; Ariza Nieto et al. 2018; Méndez Zamora et al. 2017; Abdel Wareth et al. 2022;

Amer et al. 2021; Ampode and Mendoza, 2022). However, there are studies reported that they have no positive effects on performance values (Basmacioğlu et al. 2010; Fonseca-García et al. 2017; Vlaicu et al. 2018; Hernández Coronado et al. 2019; Parvizi et al. 2020; Özel et al. 2022). *Enterococcus faecium* was chosen as a positive control group in this study. In earlier studies, it was demonstrated that *Enterococcus faecium* had been shown to increase the growth of broilers (Samli et al. 2007; Castañeda et al. 2020) and rabbits (Simonová et al. 2022).

Histological results showed that dietary supplementation of OOP and EF significantly increased the villi length in the intestines of broilers and provided better digestion, and especially supplementation of probiotic EF increased the villi length, jejunal and ileal villi/crypt ratio. The results of this study resemble the results of previous studies. Amer et al., (2021) showed that dietary oregano essential oil supplementation of (OEO) increased the villi lengths in all intestine parts statistically at all levels than the control group, and increased the crypt depths in the duodenum and jejunum. Also, Tzora et al., (2016) reported that dietary supplementation with OEO increased jejunal villi length. Fonseca-García et al., (2017) reported that dietary supplementation with OEO did not affect on 42-day performance values, but increased villi sizes in intestine parts (duodenum, jejunum and ileum). Zhang et al., (2021), reported that 200 mg/kg natural OEO to broiler diets increased villi length, villi/crypt ratio and decreased crypt depth in duodenum, jejunum and ileum. Ding et al., (2020) reported that dietary supplementation of OEO increased the villi length numerically, decreased the crypt depth, and increased the villi-crypt ratio statistically in the jejunum in Peking ducks. Also, Özel et al., (2022) reported that 50 mg/kg OEO supplementation increased trout villi length. Similarly, Krauze et al., (2020) and Samli et al., (2007) reported that dietary *Enterococcus durans* and *faecium* respectively increased ileal villi length of broilers. It was reported that increased villi length enhances digestive surface area capable of more absorption of digested nutrients (Awad et al. 2011; Krauze et al. 2020). Yason et al., (1987) reported that crypts are villi producing factories and deeper crypts are responsible for renewal of decreased villi in case of inflammations, pathogens, toxins and some stress factors. The result of this study showed that OOP and EF supplementations increased villi length, villi/crypt ratio, digestion and gut health of broiler chicks and thus had a positive effect on performance.

It has been determined that EF and OOP have an effect by improving intestinal health by increasing the useful bacteria and decreasing pathogenic bacteria respectively. Turcu et al., (2018), reported that dietary supplementation of OEO decreased the numbers of *Enterobacteriaceae*, *E. coli* and *Staphylococcus* in broilers. Kirkpınar et al., (2011) reported

that 150 mg/kg OEO supplementation to broiler diets increased *Lactobacillus* spp. and suppressed coliforms colonization numerically. Contrary to these results, Criste et al., (2017) reported that dietary supplementation of OEO did not affect the *E. coli* and *Enterobacteriaceae* populations. Xu et al., (2003) reported that pathogenic bacteria suppress digestive enzyme secretion by damaging villi and microvilli of gut mucosa and useful bacteria as competitive exclusion inhibit the proliferation of pathogens to increase digestive enzyme secretion in guts. In our study, the LAB count did not change, but numerically increased in the 0.5% OOP (T_2) and 1% OO (T_3) groups. Dietary supplementation of 0.5% OOP (T_2) decreased *E. coli* and dietary supplementation of EF increased *Enterococcus* spp. It can be said that 0.5-1% OOP supplementations increased gut health like commercial probiotic EF.

Dietary supplementation of OOP and EF to broiler diets had no detrimental effect on internal organ weights. They were normal size and weight. It was determined that the addition of EF decreased the weight of the gizzard compared to the control (T_0) and (T_2) groups. The result of this study was in agreement with the result of Samli et al., (2010). They reported that dietary supplementation of EF decreased gizzard weight. Fonseca et al., (2010) found that dietary probiotic supplementation decreases crop pH and this contributes to the decrease of pathogenic bacteria and digestion in intestine. Decreasing pH in crop may have increased digestion by breaking down the cellulose units of the diet. The increase in diet digestion should also have led to less muscle formation by providing more digestible feed entry to the gizzard. Similarly, Willis and Reid, (2008) and Abdel-Hafeez et al., (2017) found that the weight of the gizzard increased with the increase of indigestible content in the gizzard.

The effects of dietary supplementation of OOP and EF in broiler chicks on thigh and breast meat L^* (brightness), a^* (red), b^* (green) and pH are given in Table 6. At the end of the study, the L^* value of the T_3 group was higher than the control (T_0) group. It was determined that the addition of EF and OOP had no effect on other parameters. Dietary supplementation of OOP did not have negative effects on the color values of thigh and breast meat. Ri et al., (2017), reported that the dietary supplemented with oregano 150 mg/kg (*Origanum vulgare*) powder did not affect to L , a^* , b^* , pH and cooking loss in meats at 21 and 42 days. Our results were similar to the results of Ri et al., (2017).

Dietary supplementation with OOP numerically decreased breast meat MDA levels (Table 6). The results of this study are similar to the results of previous studies. Diler et al., (2017) reported that the addition of *Origanum vulgare* essential to trout feeds increased antioxidant enzyme activity in meat. Tzora et al., (2016) found that oregano essential oil supplementation increases breast and thigh meat total phenol content. Ri et al., (2017) reported

that the addition of 150 mg/kg of oregano (*Origanum vulgare*) powder to broiler diets statistically reduced MDA formation in broiler meat compared to control. Although Ognik et al., (2017) reported that dietary EF supplementation decreased MDA formation, MDA of breast meat was not different. Dietary supplementation of OOP and EF did not affect L*, a*, b* and pH of breast and thigh meat of broilers. 1% OOP (T_3) supplementation increased L* value than in the control groups.

Conclusion

This study showed that the dietary supplementation of 0.2% EF and 0.5% OOP in broiler chicks improved daily weight gain compared to the control group, increasing the digestive surface area by increasing the villi length in the jejunum and ileum. It has been shown to positively affect gut health, primarily by increasing the villi/crypt ratio in the jejunum and ileum. EF supplementation increased *Enterococcus* spp. in cecum. Enterococcus species are lactic acid bacteria and used as probiotics. It has been shown that 0.5% OOP supplementation positively affects performance by reducing the number of *E.coli*. Dietary supplementation of EF and OOP did not hurt internal organ development or thigh and breast meat properties. The results of this study show that 0.5% supplementation of OOP to broiler diets can be used safely like commercial probiotics for performance improvement. However, trying different doses of *Origanum onites* powder or under different stress factors.

Acknowledgement

This study is the MSc thesis of first author. This research was conducted within the project named “The Effects of dietary supplementation of *Origanum onites* powder and *Enterococcus faecium* on broiler performance, visceral development, gut microbiota, histology and meat quality” supported by Kirsehir Ahi Evran University. ZRT.A4.21.010.

Authors’ contributions

Planning, design of the experiments, methodology and statistical analysis, manuscript writing, reviewing and gut histology: Isa Coskun; Experiments and feeding studies and meat properties: Husamettin Celik and Huseyin Cayan; Microbiota detection: Huseyin Cayan.

Disclosure statement

No conflicts of interest was reported by authors.

References

- Abdel Wareth AA, Kehraus S, Südekum KH., 2022. Evaluation of oregano leaves and plant bioactive lipid compounds as feed additives for growing rabbits: Effects on performance, nutrient digestibility, serum metabolic profile and carcass traits. *Animal Feed Science and Technology*, 284: 115208.
- Abdel-Hafeez HM, Saleh ES, Tawfeek SS, Youssef IM, Abdel-Daim AS., 2017. Effects of probiotic, prebiotic, and synbiotic with and without feed restriction on performance, hematological indices and carcass characteristics of broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 30(5): 672.
- Amer SA, Tolba SA, AlSadek DM, Abdel Fattah DM, Hassan AM, Metwally AE., 2021. Effect of supplemental glycerol monolaurate and oregano essential oil blend on the growth performance, intestinal morphology, and amino acid digestibility of broiler chickens. *BMC Veterinary Research*, 17(1): 1-12.
- Ampode KMB, Mendoza FC., 2022. Oregano (*Origanum vulgare* Linn.) powder as phytobiotic feed additives improves the growth performance, lymphoid organs, and economic traits in broiler chickens. *Advance in Animal and Veterinary Science*, 10(2): 434-441.
- Ariza Nieto C, Ortiz RE, Tellez GA., 2018. Effect of two chemotypes of oregano essential oil on broiler performance, nutrient balance, and lipid peroxidation of breast meat during storage. *Ciência Animal Brasileira*, 19: 1-15.
- Awad WA, Ghareeb K, Böhm J., 2011. Evaluation of the chicory inulin efficacy on ameliorating the intestinal morphology and modulating the intestinal electrophysiological properties in broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95(1): 65-72
- Basmacıoğlu MH, Baysal S, Mısıroğlu Z, Cömert Acar M., 2010. Effects of oregano essential oil with or without feed enzymes on growth performance, digestive enzyme, nutrient digestibility, lipid metabolism and immune response of broilers fed on wheat–soybean meal diets. *British Poultry Science*, 51(1): 67-80.
- Bassiony SS, Al-Sagheer AA, El-Kholy MS, Elwakeel EA, Helal AA, Alagawany M., 2021. Evaluation of *Enterococcus faecium* NCIMB 11181 and *Clostridium butyricum* probiotic supplements in post-weaning rabbits reared under thermal stress conditions. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1): 1232-1243.
- Castañeda CD, Dittoe DK, Wamsley KG, McDaniel CD, Blanch A, Sandvang D, Kiess AS., 2020. In ovo inoculation of an *Enterococcus faecium* based product to enhance broiler

hatchability, live performance and intestinal morphology. Poultry Science, 99(11): 6163-6172.

Corduk M, Sarica S, Yarim GF., 2013. Effects of oregano or red pepper essential oil supplementation to diets for broiler chicks with delayed feeding after hatching. 1. Performance and microbial population. Journal Applied Poultry Research, 22(4): 738-749.

Criste RD, Panaite TD, Tabuc C, Saracila M, Soica C, Olteanu M., 2017. Effect of oregano and rosehip supplements on broiler (14-35 days) performance, carcass and internal organs development and gut health. AgroLife Science Journal, 6(1): 75-83

Diler Ö, Metin S, Diler İ, İlhan İ, Görmez Ö., 2017. *Origanum vulgare* L. uçucu yağının gökkuşağı alabalıkları (*Oncorhynchus mykiss*)’nda büyüme, lizozim ve antioksidan aktivite ve *Vibrio anguillarum*’ a karşı direnç üzerine etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 13(1): 42-57

Ding X, Wu X, Zhang K, Bai S, Wang J, Peng H, Xuan Y, Su Z, Zeng Q., 2020. Dietary supplement of essential oil from oregano affects growth performance, nutrient utilization, intestinal morphology and antioxidant ability in Pekin ducks. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 104(4): 1067-1074

Fonseca BB, Beletti ME, Silva MSD, Silva PLD, Duarte IN, Rossi DA., 2010. Microbiota of the cecum, ileum morphometry, pH of the crop and performance of broiler chickens supplemented with probiotics. Revista Brasileira de Zootecnia, 39: 1756-1760

Fonseca-García I, Escalera-Valente F, Martínez-González S, Carmona-Gasca CA, Gutiérrez-Arenas DA, Ávila-Ramos F., 2017. Effect of oregano oil dietary supplementation on production parameters, height of intestinal villi and the antioxidant capacity in the breast of broiler. Australian Journal of Veterinary Sciences, 49(2): 83-89

Giannenas I, Tzora A, Sarakatsianos I, Karamoutsios A, Skoufos S, Papaioannou N, Anastasiou I, Skoufos I., 2016. The effectiveness of the use of oregano and laurel essential oils in chicken feeding. Annals of Animal Science, 16(3): 779-796

Hernández Coronado AC, Silva Vázquez R, Rangel Nava ZE, Hernández Martínez CA, Kawas Garza JR, Hume ME, Méndez Zamora G., 2019. Mexican oregano essential oils given in drinking water on performance, carcass traits, and meat quality of broilers. Poultry Science, 98(7): 3050-3058

Kacar O, Göksu E, Azkan N., 2006. The effect of different plant densities on some agronomic and quality characteristics of oregano (*Origanum onites* L.). The Journal of Agricultural Faculty of Uludag University, 2: 51-60.

Kırkpınar F, Ünlü HB, Özdemir G., 2011. Effects of oregano and garlic essential oils on performance, carcass, organ and blood characteristics and intestinal microflora of broilers. *Livestock Science*, 137(1): 219-225.

Krauze M, Abramowicz K, Ognik K., 2020. The effect of addition of probiotic bacteria (*Bacillus subtilis* or *Enterococcus faecium*) or phytobiotic containing cinnamon oil to drinking water on the health and performance of broiler chickens. *Annals of Animal Science*, 20(1): 191-205.

Méndez Zamora G, Durán Meléndez LA, Hume ME, Silva Vázquez R., 2017. Performance, blood parameters, and carcass yield of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46: 515-520.

Ognik K, Krauze M, Cholewińska E, Abramowicz K., 2017. The effect of a probiotic containing *Enterococcus faecium* DSM 7134 on redox and biochemical parameters in chicken blood. *Annals of Animal Science*, 17(4): 1075.

Özel OT, Çakmak E, Gürkan SE, Coskun I, Türe M., 2022. Evaluation of oregano (*Origanum vulgare*) essential oil supplementation on growth performance, digestive enzymes, intestinal histomorphology and gut microbiota of Black Sea salmon, *Salmo labrax*. *Annals of Animal Science*, 22(2): 763-772.

Özkan A, Erdoğan A., 2011. A comparative evaluation of antioxidant and anticancer activity of essential oil from *Origanum onites* (Lamiaceae) and its two major phenolic components. *Turkish Journal of Biology*, 35(6): 735-742.

Parvizi O, Taherkhani R, Abouzari M., 2020. Evaluation the effect of using thyme and oregano powder in comparison to the antibiotic and probiotic supplementation on growth, some immune responses and intestinal morphology of broiler chicks. *Ukrainian Journal of Veterinry and Agricultural Science*, 3(1): 3-8.

Ri CS, Jiang XR, Kim MH, Wang J, Zhang HJ, Wu SG, Bontempo V, Qi GH., 2017. Effects of dietary oregano powder supplementation on the growth performance, antioxidant status and meat quality of broiler chicks. *Italian Journal of Animal Science*, 16(2): 246-252.

Samli HE, Dezcán S, Koc F, Ozduven ML, Okur AA, Senkoylu N., 2010. Effects of *Enterococcus faecium* supplementation and floor type on performance, morphology of erythrocytes and intestinal microbiota in broiler chickens. *British Poultry Science*, 51(4): 564-568.

Samli HE, Senkoylu N, Koc F, Kanter M, Agma A., 2007. Effects of *Enterococcus faecium* and dried whey on broiler performance, gut histomorphology and intestinal microbiota. *Archives of Animal Nutrition*, 61(1): 42-49.

Sarac N, Ugur A., 2008. Antimicrobial activities of the essential oils of *Origanum onites* L., *Origanum vulgare* L. subspecies *hirtum* (Link) Ietswaart, *Satureja thymbra* L., and *Thymus cilicicus* Boiss. and *Bal.* growing wild in Turkey. Journal of Medicinal Food, 11(3): 568-573.

Sarica S, Corduk M, Yarim GF, Yenisehirli G, Karatas U., 2009. Effects of novel feed additives in wheat based diets on performance, carcass and intestinal tract characteristics of quail. South African Journal of Animal Science, 39(2): 144-157.

Sarıca S, Suicmez M, Corduk M., 2018. Effects of essential oils for broiler chicks with delayed feeding after hatching. 2. Morphological development of small intestine. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 6(10): 1347-1352.

Sarıca Ş, Suiçmez M, Çördük M, Özdemir D, Berberoglu E., 2014. Effects of oregano essential oil supplementation to diets of broiler chicks with delayed feeding after hatching. Morphological development of small intestine segments. Italian Journal of Animal Science, 13(2): 3172.

Silva Vázquez R, Duran Meléndez LA, Hernández Martínez CA, Gutiérrez Soto JG, Hume M E, Méndez Zamora G., 2018. Effects of two sources of Mexican oregano oil on performance, blood profile, carcass variables, and meat of broilers. Revista Brasileira de Zootecnia, 47: 1-10.

Simonová MP, Lauková A, Chrástíková E, Kandričáková A, Ščerbová J, Formelová Z, Chrenková M, Žitňan R, Miltko R, Beždecki G., 2022. Effect of diet supplementation with *Enterococcus durans* Ed26E/7 and its durancin Ed26E/7 on growth performance, caecal enzymatic activity, jejunal morphology and meat properties of broiler rabbits. Annals of Animal Science, 22(1): 221-235.

Tarladgis BG, Watts BM, Younathan MT, Dugan Jr L., 1960. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. Journal of the American Oil Chemical Society, 37(1): 44-48.

Turcu RP, Tabuc C, Vlaicu PA, Panaite TD, Buleandra M, Saracila M., 2018. Effect of the dietary oregano (*Origanum vulgare* L.) powder and oil on the balance of the intestinal microflora of broilers reared under heat stress (32°C). Scientific Papers: Series D, Animal Science-The International Session of Scientific Communications of the Faculty of Animal Science, 61.

Tzora A, Giannenas I, Karamoutsios A, Papaioannou N, Papanastasiou D, Bonos E, Skoufos S, Bartzanas T, Skoufos I., 2016. Effects of oregano, attapulgit, benzoic acid and

their blend on chicken performance, intestinal microbiology and intestinal morphology. The Journal of Poultry Science, 54(3): 218-227.

Vlaicu PA, Panaite TD, Olteanu M, Turcu RP, Saracila M, Criste RD., 2018. Effect of the dietary oregano (*Origanum vulgare* L.) powder and oil on the performance, carcass and organs development of broilers reared under heat stress (32°C). Lucrări Științifice-Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară, Seria Zootehnie, 69: 207-213.

Wikipedia, the free encyclopedia., 2023.
https://en.wikipedia.org/wiki/Origanum_onites.

Willis WL, Reid L., 2008. Investigating the effects of dietary probiotic feeding regimens on broiler chicken production and *Campylobacter jejuni* presence. Poultry Science, 87(4): 606-611.

Xu ZR, Hu CH, Xia MS, Zhan XA, Wang MQ., 2003. Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. Poultry Science, 82: 1030–1036.

Yason CV, Summers BA, Schat KA., 1987. Pathogenesis of rotavirus infection in various age groups of chickens and turkeys: Pathology American Journal of Veterinary Research, 6: 927-938.

Yılmaz DÇ, Özdoğan O, Bulut G, Seyhan SA., 2019. İki kekik türünün (*Thymbra spicata* var. *spicata* ve *Origanum onites*) antioksidan aktivitelerinin karşılaştırılması. Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 1(2): 296-306.

Zhang LY, Peng QY, Liu YR, Ma QG, Zhang JY, Guo YP, Xue Z, Zhao LH., 2021. Effects of oregano essential oil as an antibiotic growth promoter alternative on growth performance, antioxidant status, and intestinal health of broilers. Poultry Science, 100(7): 101.

Kireçli Topraklarda Yetiştirilen Yerfıstığında (*Arachis hypogaeae* L.) Demir Gübrelerinin Nodülasyona Etkisi

Ahmet YENİKALAYCI^{1*}, Nazife TEMEL², Nurhayat ÇULLUOĞLU³

¹ Muş Alparslan Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, 49250, Muş

² Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü Kışla Cd. 01321, Yüreğir/Adana

³ Çukurova Üniversitesi Kozan Meslek Yüksek Okulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kozan/Adana

¹ <https://orcid.org/0000-0002-4955-5723>

² <https://orcid.org/0000-0002-1464-1525>

³ <https://orcid.org/0000-0001-9337-5335>

*Sorumlu yazar: a.yenikalayci@alparslan.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 30.05.2023

Kabul tarihi: 09.08.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Demir gübrelemesi

Nodül oluşumu

Protein

Yaprak gübresi

Yerfıstığı

ÖZ

Çalışmada; birinci ürün olarak yetiştirilen NC-7 yerfıstığı çeşidinde farklı form ve zamanlarda uygulanan demir gübrelerinin nodül oluşumuna etkileri araştırılmıştır. Bu amaç için yerfıstığında demir klorozunun çok yaygın olduğu Osmaniye'nin Kadirli İlçesi'nde 1999 yılında bir ve 2000 yılında ise iki ayrı lokasyonda tarla denemeleri kurulmuştur. Şelat [%6 Fe içeren Fe-EDDHA (etilendiamin-o-dihidroksifenil asetik asit) şelat] ve mineral [Pyrite: (FeS₂) %23 S, %35 Fe] formdaki iki demir gübresi ekimden önce toprağa toz formunda uygulanmıştır. Toz ve sıvı şeklinde farklı formda iki yaprak gübresi ise ekimden 30, 60, 90 gün sonra olmak üzere üç farklı zaman ve bunların kombinasyonları şeklinde vejetatif aksama püskürtülerek verilmiştir. Farklı formlardaki demir gübrelerinin önce toprağa sonra yaprağa farklı zamanlarda uygulanmasını kapsayan denemede kontrol dâhil toplam 17 uygulama üzerinde çalışılmıştır. Demir eksikliğine duyarlı olan NC-7 yerfıstığı çeşidinde demir gübresi uygulamalarının köklerde nodül ağırlığı ve protein içeriğini etkilemediği belirlenmiştir.

The Effect of Iron Fertilizers on Nodulation of Peanut (*Arachis hypogaeae* L.) Grown in Lime Soils

Research Article

Article History:

Received: 30.05.2023

Accepted: 09.08.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Foliar fertilizer

Iron fertilizer

Nodule formation

Peanut

Protein

ABSTRACT

Formation of NC-7 peanut cultivar grown as the main crop was investigated. For this purpose, field trials were established in one location in 1999 and in two different locations in 2000 in the Kadirli District of Osmaniye, where iron chlorosis is very common in peanuts. Two iron fertilizers in the form of chelate [Fe-EDDHA (ethylenediamine-o-dihydroxyphenylacetic acid) containing 6% Fe] and mineral [Pyrite: (FeS₂) 23% S, 35% Fe] were applied to the soil in powder form before planting. Two foliar fertilizers in different forms as powder and liquid were sprayed on the vegetative part in three different times and combinations of these, 30, 60 and 90 days after planting. A total of 17 applications, including control, were studied in the trial, which included the application of different forms of iron fertilizers to the soil and then to the leaves at different times. In the NC-7 peanut variety, which is

sensitive to iron deficiency, it was determined that iron fertilizer applications did not affect the nodule weight in the roots and the protein content in the seed.

To Cite: Yenikalaycı A, Temel N, Çulluoğlu N., 2024. Kireçli topraklarda yetiştirilen yerfıstığında (*Arachis hypogaea* L.) demir gübrelere nodülasyona etkisi. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 17-27.

Giriş

Bir baklagil olmasına rağmen, meyvelerini toprak içerisinde oluşturması özelliği ile yerfıstığı (*Arachis hypogaea* L.) diğer baklagillerden ayrılır. Tek yıllık olan ve yazlık olarak yetiştirilen yerfıstığı, hem insan beslenmesinde hem de hayvan yemi olarak tüketildiği ve toprağı azotça zenginleştirdiği için de yağlı tohumlu bitkiler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Tohumları ortalama %18 karbonhidrat ve önemli ölçüde K, Ca, Mg, P ve S gibi mineral madde, ayrıca A, B (Niacin, Inositol vs.) ve E (Tocopherol) vitamini içerir (Woodroof, 1983).

Sulanabilir ova niteliğinde olan Çukurova Bölgesi'nde Adana, Hatay, Osmaniye ve İçel illerini kapsayan tarım alanlarında uygun iklim ve toprak özellikleri nedeniyle yerfıstığı tarımı yapılabilmektedir (Genç ve ark., 1990). Ancak, yerfıstığı üretim maliyetlerinin yüksek olması, yerfıstığı fiyatlarının da ülkemizde yüksek olmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, ülkemizde yerfıstığı bitkisel yağ sanayinde kullanılmamakta, daha çok çerez olarak tüketilmektedir (İşler, 2019). Dünyada yerfıstığı ekim alanı FAO (Anonim, 2019) verilerine göre 29.596,969 ha ve üretim 48.001,456 ton olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl Türkiye'de toplam 547,747 da alanda yerfıstığı ekilmiş ve 215,927 ton ürün elde edilmiştir. Adana 113.450 ve Osmaniye 53.554 ton değerleri ile ülkemiz yerfıstığı üretiminin ⅓'ünü karşılamıştır (Anonim, 2020).

Çukurova Bölgesi'nde yerfıstığı yetiştiriciliğinin büyük sorunlarından biri de klorozun yaygın olmasıdır. Demir elementi, yapısal olarak klorofil molekülünde yer almamakla birlikte klorofil oluşumunda asal bitki besin maddesi olarak işlev görür. Bitki yapraklarındaki toplam demirin büyük bir kısmı kloroplastlarda bulunur ve kloroplastik proteinin oluşumunda görev alır ve bu nedenle klorofil oluşumunda etkilidir. Toprakta mevcut demirin yarayışlılığını kontrol eden en önemli faktörlerden biri toprak pH'sı olup asidik topraklarda çözünebilir demir fazla olmasına rağmen, nötr veya alkalik kireçli topraklarda Fe^{2+} 'in çözünürlüğü çok düşüktür. Dolayısıyla, bitkilerin çoğu demiri yeterince absorbe edemez, yüksek düzeydeki kireç ise asal olarak demir alımını engeller ve demir klorozu meydana gelir (Kacar, 1984).

Bir çalışmada, yerfıstığında demir noksanlığının, kök gelişimini kısıtladığı, bu durumun diğer besin elementlerinin noksanlığına yol açabileceği belirtilmiştir (Pattee ve ark., 1982).

Yerfıstığı yetiştirilen kalkerli topraklarda Tainan-9 çeşidinin demir yaprak gübresine, Robut 33-1 ve NC-7 çeşitlerinin ise elementel demire tepkisinin önemli olmadığı bildirilmiştir (Suwapan ve ark., 1989). Çukurova bölgesinde farklı topraklarda yetiştirilen yerfıstığı bitkisinde bakteri aşılması ve demir uygulamasının nodülasyon, biyomas verimi ve bitkide azot konsantrasyonuna etkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre nodülasyonun, toprak farklılığına bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterdiği, bakteri aşılması ve demirin birlikte uygulanmasının birim nodül ağırlığını olumlu etkilediği saptanmıştır. Yerfıstığında nodül, kök ve kök üstü % N değerlerinin daha çok toprak farklılığına göre değiştiği ve demir uygulamasının genelde nodül azot içeriğini arttırdığı belirlenmiştir (Gök ve ark., 2010).

Preeda ve ark. (1990), yerfıstığında şiddetli demir klorozunun nodülasyonun başlamasını engellediğini ve demir noksanlığına en hassas dönemin nodül gelişiminin simbiyoz dönemi olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca yaprak gübresi uygulanan bitkilerde kontrole göre daha büyük ve çok sayıda aktif nodülün olduğu, Tainan-9 çeşidinde gübrelemeden beş gün sonra, birim ağırlık başına 200 kat fazla bakteroid ve 14 kat fazla leghaemoglobin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yerfıstığı toprak yüzeyine çıktıktan sonra 50. ve 70. günlerde 2 kg/da dozundaki bazal demirin bölünerek uygulanması çalışmasında hem kloroz iyileştirilmiş hem de en yüksek meyve verimi ve vejetatif aksam edilmiştir (Singh ve Dayal, 1992). Papastilianou (1993), dal ve anter oluşum dönemlerinde yapılan şelat uygulamalarının verimler arasında çok az fark oluşturmaya karşın erken dönem uygulamalarının dane büyüklüğü ve meyve veriminde artma eğilimi gösterdiğini belirlemiştir. Doğan ve ark. (2007), yerfıstığında bakteri uygulamalarının, bitkinin azot içeriği ve kök kuru ağırlığını arttırdığını, demir uygulamalarının ise biyomas ağırlığı ve bitkinin azot alımına ilişkin değerleri önemli derecede yükselttiğini belirlemiştir. Bir çalışmada, perlit ortamında yetiştirilen domates bitkisinin yapraklarında toplam ve aktif demir içerikleri ile klorofil miktarlarının demir uygulamalarına bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Ayrıca, potasyum ve demir elementlerinin artan dozlarının bitkinin kuru madde verimini yükselttiği bildirilmiştir (Öktüren ve Sönmez, 2009).

Kheravat ve ark., (2020), (KVK)-Bikaner- 2 yerfıstığı çeşidine ekimden 45 ve 60 gün sonra olmak üzere iki kez ferro sülfat %0.5 + %0.1 sitrik asit içeren yaprak gübresini önerilen dozda uygulamış ve incelenen özelliklerden bakla/bitki, tohum/bakla ve verim/ha kriterleri demir uygulamasından önemli derecede etkilenmiştir. Bitkide en yüksek verim 2713 kg/ha olarak kaydedilmiştir. Demir uygulaması ile ortalama verim artışı çiftçi uygulamalarına göre %18,73 artmıştır. Yerfıstığında mikro besin elementlerinin yeşil aksam gelişimi ile dane verimini arttırdığı (Moussa ve ark., 1996), Fe-EDDHA formunda yüksek demir dozlarının (10

ve 25 mg/kg) fizyolojik biyomas birikimi ve yaprak alanını azalttığı, FexN interaksiyonunun tüm parametreler için önemli olduğu (Ali ve ark., 1998) belirlenmiştir. Yerfistığında Fe-EDDHA formundaki yaprak gübresinin klorozu büyük ölçüde iyileştirdiği buna karşın ferrik sitratın klorotik bitkilerde demirin mobilizasyonunu azalttığı için benzer bir etki göstermediği bulunmuştur. IAA içeren bir yaprak gübresinin ise demirin yarayırlılığını ve her iki formülasyonunda hem toprak ve hem de yapraktan uygulanmasının verimi önemli biçimde arttırdığı saptanmıştır (Singh ve Sahu, 1993).

Farklı yerfistığı çeşitlerinde kireç kaynaklı demir eksikliği klorozuna karşı yaprak ve topraktan Fe uygulaması ile Fe-yeterli ve Fe-yetersizlik, Fe emilim kapasitesi çeşitlere göre değişmiştir. Demir uygulamaları LGN-2 çeşidinde aktif Fe içeriğini %5,6 ve CSMG-84-1 çeşidinde ise %163,18 oranında arttırmıştır. Yaprak gübresi olarak FeSO₄ uygulandığında klorofil içeriğinde (%10) ve nitrat redüktaz aktivitesinde (%110) önemli bir artış gözlenmiştir. Demir noksanlığında önemli bir lipid peroksidasyon zararı meydana gelmiş ve bu zarar yaprak gübresi ve toprağa Fe takviyesi ile Tirupati-4'te %37 ve CSMG-84-1'de %16,67 oranında düzelmiştir. Yerfistığı genotipleri, iyon absorpsiyon kapasitesi ve kloroz düzeyine göre tolerant, kısmen tolerant ve demir klorozuna hassas olarak gruplandırılmıştır (Mann ve ark., 2017). Frenkel ve ark. (2004), entansif tarımda bitkilerde görülen klorozu gidermek için organik kompostlar, doğal şelatlar ve sentetik şelatlar gibi değişik uygulamalarla çözüm arayışlarının sürdüğünü, yerfistığı bitkilerinin hızlı büyüdüğünü ve kireç oranı yüksek topraklarda yetiştirildiğinde kloroz ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Fe noksanlığı klorozuna karşı FeEDDHA şelatların etkinliğini belirlemede en iyi çeşidin David olduğunu ve tarlada gübre bulunmadığında ekimden beş hafta sonra şiddetli klorozun oluştuğu, fakat FeEDDHA uygulandıktan 10 ila 12 gün sonra klorozun tamamen iyileşebildiği belirlenmiştir.

Çukurova Bölgesi'nde demir klorozunun en fazla görüldüğü Osmaniye ilinde 1999-2000 yıllarında üç lokasyonda yerfistığında farklı formda demir uygulamalarının verim ve kalite üzerine etkilerini belirlemek üzere yapılan çalışmada meyve verimi, 100 dane ağırlığı, bitkide meyve sayısı yönünden en yüksek değerlerin ekimden önce şelat ve mineral demirin toprağa uygulanmasından elde edildiği, ancak uygulamaların hiç birinin tohumda yağ, ve demir içeriğine etkili olmadığı bildirilmiştir (Yenikalaycı ve ark., 2007).

Kahramanmaraş Pazarcık ilçesinde demir klorozuna hassas NC-7 yerfistığı çeşidinde kireçli topraklarda farklı gelişme dönemlerinde yapraktan demir şelat (EDDHA NaFe) uygulamasının bitki başına meyve sayısı (adet/bitki) ve meyve verimi (kg/da) üzerine etkisinin önemli, meyvede dane sayısı, 100 dane ağırlığı, 100 meyve ağırlığı, iç oranı, yağ ve protein oranı üzerine etkisinin önemli olmadığı bulunmuştur (Kür ve ark., 2019).

Demir uygulamasının yerfıstığında (*Arachis hypogaea* L.) azot ve demir içeriği, alımı ve kalite parametreleri üzerindeki etkisini belirlemek için yürütülen çalışmada 25 kg/ha FeSO₄ ve 5 ton/ha çiftlik gübresinin toprağa uygulamasını takiben ekimden 45 ve 75 gün sonra + yaprak gübresi olarak %0,5'lik FeSO₄ + %0,1'lik sitrik asit uygulanmasında tohumdaki azot, protein ve demir içeriğinin önemli ölçüde arttığı, yağ içeriğinin bundan etkilenmediği bildirilmiştir (Poonia ve ark., 2018). Farklı yerfıstığı çeşitlerinde bakteri aşılması ve demir uygulamalarının nodülasyon ve verime etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada; nodülasyon, biyomas ve çeşitli aksamaların N içeriklerinde bakteri aşılmasına bağlı herhangi bir etki göstermemiş, demir uygulamasına bağlı olarak ise incelenen parametrelerde çiçeklenme ve hasat dönemine ve denemede kullanılan yerfıstığı çeşitlerine bağlı olarak farklı etkiler grlmştir (Güvercin ve Gök, 2022).

ukurova Bölgesi'nde, yerfıstığı ekilen topraklar genelde toplam demir içeriği yönünden zengin olmakla beraber yüksek pH, CaCO₃ ve düşük humus içeriğinden dolayı demir elementini bitkiler topraktan alamamakta, kloroz meydana gelmekte ve verimi ciddi şekilde düşürmektedir (Kacar, 1984). Bu alışma yerfıstığında kireçli ve demir klorozu görülen üretim alanlarında çözünürlüğü ve etkisi değişen, farklı formlardaki demirli bileşiklerin toprağa ve yaprağa uygulanmasının nodül oluşumu ve kloroz üzerine etkilerini araştırmak amacı ile yapılmıştır.

Materyal ve Metot

Çalışmanın bitkisel materyalini Virginia grubundan, yarı yatık büyüme formunda, orta erkenci ve Çukurova bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen NC-7 yerfıstığı çeşidi oluşturmuştur. Gübre olarak topraktan demir uygulamalarında ekim öncesi mineral demir [Pirit:(FeS₂) %23S, %35Fe] ve yapay demirli preparat [%6 Fe EDDHA (etilendiamin-dihidroksifenilasetikasit) şelatı] uygulanmıştır. Demir yaprak gübresi olarak %10 Fe içeren EDTA (etilendiamintetraasetikasit) şelat formundaki sıvı yaprak gübresi ve %13,2 Fe EDTA (etilendiamintetraasetikasit) şelat formundaki toz yaprak gübresi kullanılmıştır.

Osmaniye'nin Kadirli İlçesi'nde yürütülen bu çalışmada tarla denemeleri 1999 yılında tek ve 2000 yılında ise iki lokasyonda, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Dekara 6 kg saf azot ve fosfor gelecek şekilde amonyum sülfat [(NH₄)₂SO₄] ve süper fosfat [CaHPO₄+CaSO₄] gübreleri uygulanmış ve ekim öncesi tohumlar *Rhizobium leguminosarum* ile inoküle edilmiştir. Denemede tohum ekim mesafesi 70x25 cm olarak uygulanmış ve parsel boyutu 2.8x5=14 m² olmuştur.

Demir gübreleri ekimden önce toprağa ve ekimden sonra yaprağa uygulanmıştır. Ekim öncesi 100 kg/da dozunda mineral demir [Pirit:(FeS₂) %23S, %35Fe] ve 500 g/da dozunda da yapay demirli preparat [%6 Fe EDDHA (etilendiamindihidroksifenilasetikasit) şelatı] ilgili parsellere uygulanmıştır. Demir yaprak gübresi toz ve sıvı formlarda yapraktan uygulanmıştır. Birinci (I.) yaprak gübresi %10 Fe içeren EDTA (etilendiamintetra asetikasit) şelat formundaki sıvı yaprak gübresi olup 100 mL/da dozunda 100 L su ile uygulanmıştır. İkinci (II.) yaprak gübresi %13,2 Fe EDTA şelat formundaki toz yaprak gübresi olup 200 g/da dozunda 50 L su ile karıştırılarak önerilen dozlarda uygulanmıştır. Yaprak gübresi ekimden 30, 60, 90 gün sonra ve bunun değişik kombinasyonları (30+60, 30+90, 60+90, 30+60+90 günlerde) şeklinde uygulanarak, kontrol dahil toplam 17 farklı uygulama üzerinde çalışılmıştır. Deneme alanının toprak analizine göre; ilk (1999) yıl için 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliğinde bitkiye yarayışlı demir oranı sırası ile 6 ppm ve 8,4 ppm, pH derecesi ise yine aynı derinliklerde 8,28 ve 8,69 olarak ölçülmüştür. İkinci (2000) yılda ise 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliğinde bitkiye yarayışlı demir oranı sırası ile I. lokasyonda 8,9 ppm ve 10,1 ppm, II. lokasyonda 5,6 ve 6,2 ppm olarak belirlenmiştir. Deneme alanı toprağının pH derecesi ise yine aynı derinliklerde ilk lokasyonda 7,86 ve 7,90, II. lokasyonda 7,87 ve 7,96 olarak kaydedilmiştir. Denemede protein içeriği ve köklerde nodül oluşumu özellikleri incelenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Köklerde Nodül Ağırlığı (g/bitki)

Bitki başına en yüksek nodül ağırlığı değerleri; ilk yıl kontrol parsellerinde 1,80 gr/bitki, 2000 yılı I. lokasyonda 0,4642 g/bitki ile sıvı yaprak gübresinin 30+60. gün uygulamasından, II. lokasyonda ise 0,361 g/bitki ile sıvı yaprak gübresinin 60+90. gün uygulamasından alınmıştır. En düşük nodül ağırlığı değerleri 1999 yılında 0,51 gr/bitki ile sıvı yaprak gübresinin 30+60+90. gün uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 1.). İkinci yıl I. lokasyonda 0,1362 g/bitki ile toz yaprak gübresinin 60. gün ve II. lokasyonda 0,0010 g/bitki ile demir şelat uygulamasından alınmıştır. Bitkide nodül oluşumu ile demir gübrelemesi arasında bir ilişki olduğuna dair bulguya rastlanmamıştır. Preeda ve ark. (1990)'nin bulgularına benzer şekilde yürütülen tarla denemelerinde, demir eksikliğinin yarfıstığında nodül oluşumunu kısıtladığı görülmüş ancak demir gübrelemesi ile nodül oluşumunda artış sağlanamamıştır. Toprakta demir içeriği yüksek olana kıyasla düşük olan lokasyonda nodül oluşumu da daha az olmuştur. Yapılan farklı çalışmalarda, kloroza karşı demir uygulamalarının yarfıstığı

bitkisindeki reaksiyonunun çeşitlere göre değiştiği bildirilmiştir (Frenkel ve ark., 2004; Mann ve ark., 2017; Güvercin ve Gök, 2022).

Tablo 1. Farklı formlardaki demir gübrelerinin yerfıstığı köklerinde nodül ağırlığı (g/bitki) ve tanenin protein (%) içeriğine ilişkin ortalama değerleri

Uygulamalar	Nodül Ağırlığı (g/bitki)			Tohumun Protein İçeriği (%)		
	1999 Yılı	2000 Yılı I. Lok.	2000 Yılı II. Lok.	1999 Yılı	2000 Yılı I. Lok.	2000 Yılı II. Lok.
Kontrol	1,80	0,3036	0,0017	21,73	26,17 bcde	26,06
Demir Şelat (Toprağa)	1,76	0,4199	0,0010	20,90	25,76 de	25,84
Mineral Demir (Toprağa)	1,07	0,3976	0,0072	21,31	26,72 abc	25,50
Sıvı Y. G. 30. Gün	1,60	0,2236	0,0014	21,37	25,60 e	25,55
Sıvı Y. G. 60. Gün	0,75	0,2767	0,0024	20,23	25,96 cde	25,69
Sıvı Y. G. 90. Gün	0,97	0,3656	0,0084	21,13	25,67 e	24,96
Sıvı Y. G. 30+60. Gün	1,33	0,4642	0,0212	21,94	25,82 de	24,63
Sıvı Y. G. 30+90. Gün	1,53	0,2508	0,0170	22,46	25,95 cde	24,83
Sıvı Y. G. 60+90. Gün	0,98	0,3813	0,0361	20,96	25,86 de	25,34
Sıvı Y. G. 30+60+90. Gün	0,51	0,2439	0,0057	21,67	26,54 abcd	25,50
Toz Y. G. 30. Gün	0,56	0,3466	0,0055	20,86	27,27 a	25,22
Toz Y. G. 60. Gün	0,74	0,1362	0,0019	21,10	26,89 ab	25,21
Toz Y. G. 90. Gün	1,38	0,2297	0,0042	20,98	26,79 ab	24,88
Toz Y. G. 30+60. Gün	1,37	0,3282	0,0249	20,90	27,11 a	24,73
Toz Y. G. 30+90. Gün	1,04	0,3062	0,0165	22,13	26,75 abc	24,67
Toz Y. G. 60+90. Gün	1,17	0,2777	0,0035	21,77	26,85 ab	25,60
Toz Y. G. 30+60+90. Gün	0,85	0,2404	0,0028	21,08	26,69 abc	25,08
LSD	Ö.D	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	0,8148	Ö.D.

*Aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında Duncan testine göre $P \leq 0.01$ düzeyinde fark yoktur. Ö.D.: Önemli Değil

Tohumda Protein İçeriği (ppm)

Tohumda en yüksek protein içeriği değeri Tablo 1’de görüldüğü gibi ilk yıl %22,46 ile sıvı yaprak gübresinin 30+90. gün uygulamasından elde edilmiştir. İkinci yıl I. lokasyonda %27,27 ile toz formulu yaprak gübresinin 30. gün ve II. lokasyonda %26,06 ile kontrol uygulamalarından alınmıştır. Protein içeriği yönünden en düşük değerler sıvı formulu yaprak gübresinden elde edilmiştir. Bu değerler, ilk yıl (1999) %20,23 ile 60. gün ve 2000 yılı I. lokasyonda %25,60 ile 30. gün, II. lokasyonda ise %24,63 ile 30+60. gün uygulamalarından alınmıştır. Yürütülen tarla denemelerinde, farklı form ve zamanlarda uygulanan demir gübrelerinin tanenin protein içeriği üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Yerfıstığında demir gübrelemesi ile tanenin protein içeriğinin arttığına dair bulgulara Maya Raut (1999)’un bildirdiği gibi bu çalışmada da rastlanmamıştır. Bu durum;

tarla denemelerinin yürütüldüğü lokasyonlardaki toprakların aşırı bir demir eksikliğine sahip olmamalarından kaynaklanmış olabilir. Demir noksanlığına hassas NC-7 yerfıstığı çeşidinin farklı gelişme dönemlerinde, farklı dozlarda ve bunların kombinasyonları şeklinde uygulanan granül demir şelat (%6 EDDHA-Fe) gübresinin bitki başına meyve sayısı (adet/bitki) ve meyve verimi (kg/da) üzerine etkisinin önemli, diğer özellikler (meyvede dane sayısı, 100 dane ağırlığı, 100 meyve ağırlığı, tohum oranı, yağ ve protein oranı) üzerine etkisinin önemli olmadığı belirlenmiştir (Kür ve ark., 2019).

Sonuç ve Öneriler

Çukurova Bölgesinde yerfıstığının yoğun olarak ekildiği Osmaniye'nin Kadirli İlçesi'nde toprak yapısı genelde kireçli ve pH:7,5'dan yüksek olduğu için kloroz sorunu yaygın olarak ortaya çıkmakta, bu durum verim ve kaliteyi önemli ölçüde düşürmektedir. Kadirli ilçesinde bölgenin standart çeşidi NC-7 kullanılarak iki çiftçi arazisi ve iki yetiştirme sezonu boyunca ilk yıl tek lokasyon, ikinci yıl iki ayrı lokasyonda yürütülen bu çalışmada; yapraktan yapılan demir gübresi uygulamalarında, bitkilerde kloroz 15-20 gün gibi belirli bir süre düzelmiş, ancak sonra yapraklar eski haline dönmüştür. Yerfıstığında yaprak gübrelerinin kloroz üzerine etkisi kalıcı olmamıştır. Topraktan yapılan demir gübrelerinde ise kloroza karşı kalıcı bir etki görülmüştür. Yerfıstığında demir uygulamalarının bitkide nodül oluşumu üzerine belirgin etkisi görülmemekle birlikte demir içeriği düşük olan lokasyonda doğal olarak bitkilerde nodül oluşumu da çok düşük olmuştur. Demir içeriği yönünden en düşük değere sahip ikinci yıl II. lokasyonda, bitkide nodül ağırlığı değerleri de diğerlerinden aşırı derecede düşük çıkmıştır. Ekim öncesi topraktan ve ekim sonrası yapraktan yapılan demir gübresi uygulamalarının nodülasyonu etkilemediği belirlenmiştir. Tohumun protein içeriklerine toprak ve yapraktan uygulanan demir gübrelerinin belirgin bir etkisi saptanmamıştır.

Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, Çukurova Bölgesi'nde kireçli topraklarda ortaya çıkan demir klorozuna karşı, ekim öncesi toprağa Fe-EDDHA şelatı veya mineral demir (pirit) uygulamasının en etkili yöntem olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın bir bölümünü oluşturan Yenikalayıcı ve ark., (2007) bildirisinde de NC-7 yerfıstığı çeşidinde meyve verimi, 100 dane ağırlığı, bitkide meyve sayısı yönünden en yüksek değerlerin ekimden önce şelat ve mineral demirin toprağa uygulanmasından alındığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak, Fe klorozuna dayanıklı yeni yerfıstığı çeşitlerinin geliştirilerek bölge çiftçisine sunulmasının uzun vadeli çözüm olacağı kanısına varılmıştır.

Teşekkür

Projenin yürütülmesinde çok önemli katkılar sağlayan Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü ve eski adı ile Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yönetimi ve çalışanlarına teşekkür ederiz. Ayrıca projede destek sağlayan bilgi ve birikimlerini bizimle paylaşan Çukurova Üniversitesi Toprak Bölümü öğretim üyelerinden rahmetli Prof. Dr. Zülküf KAYA, Tarla Bitkileri Bölümünden emekli olan Prof. Dr. Halis ARIÖĞLU ve Çukurova Üniversitesi Toprak Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ hocalarımıza teşekkürlerimizi sunarız.

Destekleyenler

Bu Proje “Çukurova Bölgesi’nde Yerfıstığı (*Arachis hypogaeae*)’nda Farklı Zamanlarda Uygulanan Demir-Yaprak Gübresinin Nodül Oluşumu ve Verim Üzerine Etkileri” adı ile ve TAGEM/TA/99/02/02/003 proje numarası ile Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından desteklenmiştir. Proje sonuçlarından meyve verimi, 100 dane ağırlığı, meyve sayısı, yağ oranı, demir oranı ve demir içeriğine ait özelliklerin sonuçları tam metin olarak 2007 yılında Atatürk Üniversitesi tarafından Erzurum’da gerçekleştirilen 7. Tarla Bitkileri Kongresinde sunulmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

Ali ZI, Malik EMA, Babiker HM, Ramraj V, Sultana A, Johansen C., 1998. Iron and nitrogen interactions in groundnut nutrition. Communications in Soil Sciences and Analysis (USA), 29(17/18): 2619-2630.

Anonim., 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Erişim Tarihi: 25.03.2021.

Anonim., 2020. Bitkisel üretim istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, <http://tuik.gov.tr>. Erişim Tarihi: 25.03.2021.

Doğan K, Gök M, Coşkan A, Güvercin E., 2007. Effects of bacteria inoculation and iron application on nodulation and N-fixation in groundnut plants. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2(1): 35-46.

Frenkel C, Hadar Y, Chen Y., 2004. Peanut plants based bioassay for iron deficiency and its remediation. Soil Science Plant Nutrition, 50(7): 1063-1070.

Genç İ, Gülcan H, Gençer O, Sağlamtimur T, Arıoğlu H, Tansı V, Yağbasanlar T, Anlarsal AE., 1990. Çukurova'da tarla bitkileri tarımındaki değişim ve gelişmeler. Çukurova I. Tarım Kongresi Bildirileri, Adana, s. 38.

Genç İ., 1991. Bitki ıslahı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 73, Adana, s.19-37.

Gök M, Doğan K, Coşkan A, Pamiralan H, Güvercin E., 2010. Bakteri aşılması ve demir uygulamasının yerfıstığı bitkisinde farklı topraklarda nodülasyon, biyomas verimi ve bitkide azot konsantrasyonuna etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. Özel Sayı, 5. Bitki Besleme ve Gübre Kongresi Kongre Kitabı, s. 290-296.

Güvercin E, Gök M., 2022. Effect of bacteria inoculation and iron application rates on nodulation and yield of different peanut varieties, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 17(1): 34-39.

İşler N., 2019. Ülkemizde yerfıstığı yetiştiriciliği, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, s.1-8.

Kacar B., 1984. Bitki besleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 889, Ders Kitabı: 250, s. 236-239. 2. Baskı.

Kheravat BS, Naval Kishor RK, Shivran Keshav M, Richa P, Amit K., 2020. Effect of iron on growth, yield and yield attributing parameters of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under hyper arid partially irrigated zone of Rajasthan. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, Special Issue-11: 1978-1985.

Kür AB, Beycioğlu T, Kılı F., 2019. Peanut (*Arachis hypogaea* L.) response to iron foliar application (EDDHA-Fe) at different growth stages and doses. International Journal of Anatolia Agricultural Engineering, Özel Sayı 1: 13-16.

Mann A, Singh AL, Goswami Oza N, Mehta D, Chaudhari V., 2017. Effect of iron source on iron deficiency induced chlorosis in groundnut. Agricultural Research Communication Centre. Legume Research, 40(2): 241-249.

Maya R., 1999. Secondary and micronutrients for groundnut-A review. Journal of Soils and Crops, 1(9): 135-136.

Moussa BIM, Dahdoh MSA, Shehata HM., 1996. Interaction effect of some micronutrients on yield, elemental composition and oil content of peanut. Communications in Soil Sciences and Analysis, 27(5/8): 1995-2004.

Öktüren F, Sönmez S., 2009. Antalya yöresinde topraksız kültür sistemiyle yetiştirilen domates bitkilerinin beslenme durumunun ve sulama suyu kalite kriterlerinin belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(2): 191-200.

Papastylianou I., 1993. Timing and rate of iron chelate application to correct chlorosis of peanut. Journal of Plant Nutrition (USA), 16(7): 1193-1203.

Pattee H, Young E, Clyde T., 1982. Peanut science and technology, American Peanut Research and Education Society, Inc. Yoakum, Texas 77995, USA, 156-157.

Poonia T, Bhunia SR, Choudhary R., 2018. Effect of iron fertilization on nitrogen and iron content, uptake and quality parameters of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(3): 2297-2303.

Preeda P, Nantakorn B, Witaya T., 1990. Involvement of iron in nodulation and symbiotic nitrogen fixation in peanut. Thai Agricultural Research Journal (Thailand). Warasan Wichakan Kaset. (Sep-Dec), 8(3): 82-89.

Singh D, Dayal D., 1992. Foliar application of iron for recovering groundnut plants from lime-induced iron deficiency chlorosis and accompanying losses in yields. Journal of Plant Nutrition, 15(9): 1421-1433.

Singh D, Sahu MP., 1993. Effect of phosphate carriers, iron and indole-acetic acid on plant nutrition and productivity of peanut on a calcareous soil. Journal of Plant Nutrition (USA), 16(9): 1847-1855.

Suwapan R, Masangsang W, Vadeesirisak P, Sawan N., 1989. Effects of iron foliar spray and specific rhizobium strains on yield components of three groundnut cultivars. Nakhon Field Crops Research Center, Nakhon Sawan (Thailand). 8. Thailand National Groundnut Meeting. Roi-Et (Thailand). 3-5 May 1989.

Woodroof JG., 1983. Peanut production, processing, products. Avi Pub. Comp. Inc., Connecticut, 414.

Yenikalaycı A, Temel N, İbrikçi H, Kaya Z, Arıoğlu HH., 2007. Kireçli topraklarda yetiştirilen demir noksanlığına duyarlı NC-7 yerfıstığı çeşidinde (*Arachis Hypogaeae* L.) demir noksanlığının gübreleme yoluyla düzeltilmesi. Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi Bildiriler 2, Çayır Mera Yem Bitkileri ve Endüstri Bitkileri, 488-492. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum).

Bina Yapımında Kullanılan Tünel ve Ahşap Kalıp Sistemlerinin İş Güvenliği Yönünden İncelenmesi

Eda AKTAŞ^{1*}, Emel Ceyhan SABİR²

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, 01330, Sarıçam, Adana, Türkiye

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 01330, Sarıçam, Adana, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2766-5056>

²<https://orcid.org/0000-0002-2385-1524>

*Sorumlu yazar: zml.eda@hotmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 23.05.2023

Kabul tarihi: 16.08.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Bina yapım süreci

Tünel kalıp

Ahşap kalıp

İş güvenliği

Yapı sektörü

Yapı sektöründe kalıp aşaması, iş sağlığı ve güvenliği açısından çeşitli ve önemli riskler içerir. Bu çalışma, yapımı devam eden büyük çaplı konut şantiyesinde, tünel kalıp ve ahşap kalıp ekiplerinin maruz kalabileceği tüm tehlike kaynaklarını sahada tespit edilmesi ve alınması gereken önlemleri içermektedir. Büyük çaplı konut projelerinde taahhüt edilen sürelerde inşanın teslim edilebilmesi için; ekiplerin eş zamanlı ve olağandan hızlı çalışması gerekmektedir. Bu durum mevcut tehlikelere ek olarak başka tehlikelerinde oluşmasına neden olmaktadır. Ahşap kalıp ve tünel kalıp ekiplerinin saha alanındaki şantiye kurulumundan, iş bitirmelerine kadar olan süreçte maruz kalınabilecek tehlikeler değerlendirilmiştir. Kalıp sistemlerinde yüksekte çalışma ve kaldırma operasyonlarındaki tehlikeli durumların en başta gelen tehlikeler olduğu görülmüş ve inşaatın tüm aşamalarında iş sağlığı ve güvenliğinin önemi ortaya konulmuştur.

Investigation of Tunnel and Wooden Formwork Systems Used in Building in Terms of Occupational Safety

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 23.05.2023

Accepted: 16.08.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Building construction process

Tunnel formwork

Wood formwork

Occupational safety

Construction industry

The formwork phase in the construction industry involves various and significant risks in terms of occupational health and safety. This study includes the identification of all sources of hazards that tunnel formwork and timber formwork teams may be exposed to in the field and the precautions to be taken in a large-scale housing construction site under construction. In large-scale housing projects, teams are required to work simultaneously and faster than usual in order to deliver the construction within the committed deadlines. This situation causes additional hazards in addition to the existing hazards. The hazards that the timber formwork and tunnel formwork teams may be exposed to during the process from the site set-up in the field area to the completion of the work were evaluated. It has been seen that hazardous situations in working at height and lifting operations in formwork systems are the leading hazards and the importance of occupational health and safety in all stages of construction has been revealed.

To Cite: Aktaş E, Sabır EC., 2024. Bina yapımında kullanılan tünel ve ahşap kalıp sistemlerinin iş güvenliği yönünden incelenmesi. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 28-47.

Giriş

Sanayileşme süreciyle iş kazaları ve meslek hastalıklarında da artışlar başlamıştır. Sanayileşmedeki gelişmelerden ötürü iş süreçlerinde gelişmeler yaşanmış bu gelişmeler personel sayılarında artışlara sebebiyet vermiştir. Personel sayılarındaki artış İş Sağlığı ve Güvenliğinin (İSG) gerekliliğinin anlaşılmasını sağlamıştır. Önce çalışanın sağlığı ve güvenliği anlayışı ile işçiye yönelik tedbirler alınması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. İş güvenliği kavramı, çalışanların güvenliği için işyerinden kaynaklı veya işyeri dışından meydana gelebilecek tehlike kaynaklarının belirlenerek, belirlenen tehlikelere yönelik önleyici tedbirlerin alınması başta sağlanmak üzere dolaylı olarak işletmede güvenlik önlemleri alınması ve üretimde devamlılığın sağlanmasıdır (Müngen, 2009).

28602 Sayılı Resmî Gazete 'de yayınlanan İSG tebliğ listesine göre; Yapı sektöründe gerçekleştirilen çalışmalar, çok tehlikeli sınıf olarak değerlendirilmektedir. İş kazası oranlarına bakıldığında, çalışma alanları içerisinde inşaat alanlarında yaşanan kazaların oldukça yüksek bir orana sahip olduğu görülmektedir (Anonim 2013b). İnşaat sektörü işçi istihdamının yoğun olarak sağlandığı ve yaşam boyunca da ihtiyacın devamlılığının olacağı bir alandır.

İnşaat alanları çok tehlikeli sınıfta yer alması ve çalışan sayısının da fazla olması iş kazalarının sık görülmesine neden olmaktadır (Günay ve Onat, 2020). Günümüzde birçok inşaat sahasında işçilerin yevmiye usulü ve sigortasız çalıştıkları ne yazık ki bilinen bir gerçektir. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) verilerinde sadece sigortalı personel kaydı tutulması gibi durumlarda maalesef rakamsal olarak gerçek sayıları yansıtmamaktadır. İnşaat alanlarındaki kayıtlarda bulunan veriler bile alanlarındaki çalışmaların tehlike boyutunu gözler önüne sermektedir.

Tablo 1. İş kazaları ve ölüm sayıları (Anonim 2022).

Tüm sektörler				İnşaat sektörü			Ölümlü Kazalar		
Yıl	İş kazası	Ölüm	Yüzde	İş kazası	Ölüm	Yüzde	Tüm Sektörler	İnşaat Sektörü	Yüzde
2015	241547	1252	%0,52	33361	473	%1,42	1252	473	%37,78
2016	286068	1405	%0,49	44552	496	%1,11	1405	496	%35,3
2017	359653	1633	%0,45	62802	587	%0,93	1633	587	%35,95
2018	430985	1541	%0,36	77157	591	%0,77	1541	591	%38,35
2019	422463	1147	%0,27	47701	368	%0,77	1147	368	%32,08
2020	394605	1240	%0,31	44334	349	%0,79	1240	349	%28,15
2021	384242	1231	%0,32	44304	347	%0,78	1231	347	%28,19

SGK'nın her yıl yayınladığı iş kazası yıllıklarından elde edilen, iş kazaları ve ölümlerle sonuçlanan iş kazalarının sayıları Tablo 1'de verilmiştir.

2015-2021 yılları arasındaki iş kazası ölümlerinin minimum %28'nin inşaat sektöründe meydana geldiği görülmüştür. Ölüm oranları göz önüne alındığında inşaat işlerindeki mevzuatlar ve değişen şartlara göre güncellenmenin önemi de görülmektedir. 2013 yılında Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği ile yapı işlerine yönelik düzenlemeler yapılmıştır. Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'nin 1. maddesine göre “Bu Yönetmeliğin amacı, yapı işlerinde alınacak asgari iş sağlığı ve güvenliği şartlarını belirlemektir” olarak ifade edilmektedir (Anonim 2013a). Taze beton belirli bir şekil alması için bir form içinde bekletilir. Beton bu form içinde sertleşir ve mukavemet kazanır. Beton için bu forma “kalıp” denir (Altan, 1992). Kalıplar, taze dökülmüş betonun istenilen forma girmesini sağlayan ve beton prizini alana kadar destekleyen yardımcı inşaat malzemeleridir (Türken ve ark., 2011). Kalıp sistemi seçiminde kalıp malzeme seçimi de uygulanacak proje türüne ve kalıbın kullanım sayısına göre de değişiklik göstermektedir (Bamyacı, 2017). Kalıplar imal edildiği materyale göre; ahşap, kontrplak, çelik ve plastik olarak sınıflandırılırlar bunun yanında kullanım tarzlarına göre de modern ve klasik kalıp sistemleri olarak da sınıflandırmalar yapılmaktadır.

Ahşap Kalıp: Ham maddesi tamamen ahşap olan kalıp sistemlerine ahşap kalıp denmektedir. Bu kalıplarda dikmesinden döşemesine kadar her yerde kereste malzeme kullanılır. Ahşap kalıp sistemlerinin birçok tercih edilme sebepleri vardır. İlk yatırım maliyetlerinin düşük olması, kullanılan ahşap malzemenin kolaylıkla temin edilebilmesi, çalışılan ortamda kolaylıkla montajının yapılabilmesi ve makine ihtiyacının az olması bakımından tercih edilmektedir (MEGEP, 2018). Ahşap malzeme su alan yapıya sahip olduğundan çoklu tekrar kullanımına uygun değildir. Bu sebeple plywood kullanımı ile ya da ahşabın yağlanmasıyla bu sorunun önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Alanda projeye uygun olarak imalatı yapılabilmektedir, bu projeye esneklik sağlayabiliyorken, kalıbın imal edilmesi zaman almakta ve işçilik gerektirmektedir. Ahşap kalıplar dökülecek betonu, malzemeyi vb. tüm koşullar göz önünde bulundurularak taşıyacak dayanıklılıkta olmalıdır. Ekonomik bir uygulamadır, fakat büyük konut yapımı vb. işlerde süreç içerisinde işçilik ve zaman istemesi sebebiyle uzun vadede maliyetli olmaktadır. Bu sebeple küçük yapılarla, toplu konutlaşma vb. büyük yapılarda ise tünel vb. çalışmalarda, işçilik gerektiren yerlerde uygulanması daha yaygın görülmektedir.

Tünel Kalıp Sistemi: Tünel kalıp, duvar ve döşemelerinin, kesin boyutlu ve düzgün yüzeyli çelik kalıplarla bir kerede, tek parça olarak dökülebildiği sistemdir (Anonim 2007). Tünel kalıp, yataydaki ve düşeydeki elemanların betonunun aynı süreçte teminini sağlayan, projeye uygun boyutlarda imal edilen, işçiliği azaltan, hızlı yapılaşmaya olanak sağlayan bir

sistemdir. Pahalı bir sistemdir bu sebeple gider ilk etapta fazla olmaktadır. Ağır olan kalıbın montajı ve de montaj işleminde vinç kullanımının zorunlu olması, kalıpların eski tip kalıplara oranla maliyetli olması küçük inşaatlarda maliyet yüksekliğinden dolayı tercih edilmemesine neden olmaktadır. Kalıpların boyutu projeye uygun olarak belirlenerek imal edilir ya da üretim sürecinin maliyetinin yüksek olacağının düşünülmesi durumunda ise kalıp boyutlarına uygun projelendirme yapılmaktadır. Tünel kalıpların; tam ve yarım tünel kalıp olarak genellikle iki tip kullanımı görülmektedir. Tam tünel kalıplar ile yarım tünel kalıplar ebat olarak farklılık göstermesine karşın yarım kalıpların birleştirilmesi işlemleri ile aralarında farklılık oluşmamaktadır. Tam tünel kalıplar daha ağırdır ve döşeme yoğunluğu daha fazla olabilmektedir. Yarım kalıpların ise birleştirilme öncesi arasına uygun kalıp ekipmanları yerleştirilerek farklı açıklıklar elde edilebilmektedir. Kurulum ve söküm aşamalarının işlem adımları yarım kalıpların daha fazladır, fakat tam kalıba göre daha basit işlemlerdir. Son zamanlarda en rasyonel çözüm olarak kabul edilen bu sistem, sanayileşme ve nüfus artışının doğal sonucu olarak büyüyen kentlerimizin yanında, düşey büyümelerinde kaçınılmaz olduğu şehir merkezlerinde sürat ve ekonomikliğinin yanı sıra dayanım, kalite ve estetiği de bünyesinde taşıyan ileri yapım teknolojilerinden biri olarak görülmektedir (Altan, 1992). Günay ve Onat (2020), inşaat sektörünün çalışanlar için işçi sağlığı ve güvenliği açısından risklerin çoğunun kalıp sistemlerinde meydana gelen kazaların oluşturduğunu ve kazaların önlenmesi için kalıp sistemlerinin iyi analiz yapılması ve böylece tehlikelerin en aza indirilmesinin sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Çalışma klasik yöntem kalıp sistemlerinden ahşap kalıp sistemi ile modern kalıp sistemlerinden olan tünel kalıp sistemi için gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kalıp sistemlerinden kaynaklı tehlike kaynakları tespit edilmiş ve düzeltici/önleyici tedbirleri belirlenmiştir. Literatür incelendiğinde, inşaat alanındaki tehlike kaynakları ve çözüm önerileri ile ilgili birçok çalışma olduğu fakat, tünel kalıp ve ahşap kalıp uygulamalarına yönelik çalışmaların sadece yaptıkları işler göz önünde bulundurularak tehlike kaynakları tespit edilmiştir. Çalışmamızda şantiye alanın kurulumundan, kalıp ekiplerinin iş bitimine kadar maruz kalabilecekleri tüm çevresel etkilerde göz önüne alınarak tehlike kaynakları saptanmış ve buna yönelik düzeltici önleyici tedbirler belirtilmiştir.

Materyal ve Metot

Çalışma, Elâzığ ilinde yapımı devam eden büyük çaplı konut inşaatı sahalarında, 11 etaplı 29-30 bloklu konut inşaat işletmelerinde gerçekleştirilmiştir. İncelenen inşaat alanlarında iş yapım sürecinin genellikle kısa olması sebebiyle blokların imalatında tünel

kalıp sistemi kullanılmıştır. Tünel kalıp ile yapılamayan, işçilik isteyen alanlarda ise ahşap kalıp kullanılmıştır. İnşaat süreci devam eden firmaların saha alanlarında, doğrudan gözlem yoluyla incelemeler yapılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında bölgede yapılan konutlar detaylı incelenerek saha gözlemleri ile uygunsuzluk saha raporları oluşturularak, düzeltici/önleyici tedbirler belirtilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Yapı (inşaat) alanlarında birçok tehlike kaynağı mevcuttur. Tünel ve ahşap kalıp ekiplerini sadece yaptıkları işlerden kaynaklı tehlikelerle sınırlamak, tehlike kaynaklarını belirlemede yetersiz kalmaktadır. Çünkü çalışma alanlarından ve sosyal alanlarından kaynaklı tehlikelerden de etkilendikleri görülmektedir. Bu sebeple ekiplerin maruz kalabileceği tehlikeler, incelenen büyük ölçekli bina (konut inşaatı) yapım sahasına göre belirlenmiştir. Bu şekilde toplam 14 adet tehlike kaynağı belirlenmiştir:

1. Şantiye Kurulum
2. Kişisel Koruyucu Donanımlar
3. İş Makineleri Kullanımı
4. Kazı İşleri
5. Kaldırma Operasyonları
6. Beton Dökümü
7. Elektrikli Ekipman, Makine, El Aletleri ile Çalışmalar
8. Merdivenler
9. Yüksekte Çalışmalar
10. Tünel Kalıp Kurulum, Çalışma, Söküm Çalışmalar
11. Basınçlı Gaz Tüpleri
12. Ahşap Kalıp Kurulum, Çalışma, Söküm
13. Sosyal Tesisler
14. Diğer

İnşaat sahalarında yapılan incelemeler sonucunda, belirlenen tehlike kaynakları tablolar aracılığıyla açıklanmıştır. Tablolarda tehlike kaynakları, ilk sütun sahada gözlemlenen riskler, ikinci sütunda gözlemlenen risklerin fotoğrafları ve üçüncü sütunda ise bu riskleri düzeltici/önleyici bilgiler yer almaktadır.

Tablo 2. Şantiye kurulum araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
İnşaat çevresinin çevrilmemiş olması		Tüm inşaat çevresinin sağlam ve 2 metre yükseklikte uygun malzeme ile çevrilip üzerine gerekli ikaz levhaları asılmalıdır. İnşaat alanına görevli olmayan kişilerin, yabani hayvanların girişi engellenmelidir.
Yolların planlanmaması		Yolların planlaması çalışmalar başlamadan yapılmalıdır. Yollar araçların manevra alanları, trafik akışı, çalışma alanları vb. koşullara uygun olacak şekilde yaya yolu ve araç yolları olarak işaretlenerek ayrılmalıdır. İş makineleri, binek araçlar için ayrı olacak şekilde alanlar belirlenerek işaretlemeler yapılmalıdır.
Giriş-Çıkış yollarının belirlenmemesi		Tüm alanların güvenli giriş-çıkış yolları belirlenmeli ve alanlara gerekli işaretler sağlanmalıdır.
Tüpler için standartlara uygun depolama alanı bulunmaması, gelişi güzel depolama yapılması		Temin edilecek malzemelerin özellikleri yönetmelikteki depolanma koşulları da göz önünde bulundurularak uygun büyüklükte, tipte depolama alanları ayrılmalı ve bu alanların sınırları belirlenmelidir.
Kule Vinç, Elektrik Panosu vb. yerlere topraklama yapılmamış olmaması		Çalışma öncesi tüm makine, ekipman vb. topraklama ölçümleri yapılmalı ve kayıt altına alınarak saklanmalıdır.
İş makinelerinin periyodik bakım kayıtlarının tutulmaması		Kullanılabilecek ekipmanların, makinelerin, el aletlerinin önceden belirlenip kontrol listeleri oluşturulmalıdır. Kontrol listesinde periyodik muayeneye tabi olanların muayeneleri sağlatılmadan çalışma yaptırılmamalıdır.

Tablo 2 incelenecek olursa; inşaat kurulum aşamasında genellikle yasal zorunluluk olması sebebiyle İSG hizmeti alındığı fakat kurulum aşamasında iş güvenliği uzmanı ve işyeri hekiminin bilgisi dışında gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple mobilizasyon çalışmaları sonrası hem süreç içerisinde hem süreç sonrası alınması gereken tedbirlerin alınmamasından kaynaklı riskler meydana gelmektedir. Kurulum aşamasında iş güvenliği uzmanı ve iş yeri hekiminin görüş ve önerileri dikkate alınmalıdır.

Tablo 3. Kişisel koruyucu donanımlar araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/ Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Saha alanında zorunlu KKD'lerin tam kullanılmaması (bare, yeke vb.)		Saha alanına zorunlu KKD'ler (bare, yeke, ayakkabı vb.) eksiksiz temin edilmeli ve kullanılması sağlanmalıdır.
İşe özel KKD kullanılmaması (emniyet kemeri).		İşe özel KKD 'ler temin edilerek, iş sırasında kullanımı sağlanmalıdır. Yüksekçe çalışmalarda tam vücut tipi emniyet kemeri kullanılmalıdır.
KKD'nin yanlış kullanımı		KKD'ler kullanılmaları gereken her yerde talimatlara uygun şekilde kullanılmalıdır. Emniyet kemeri çift lanyard olmalı, lanyard yerine karabina kullanılmamalıdır.

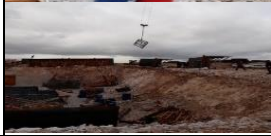
Tablo 3'e göre inşaat alanında kullanılması zorunlu Kişisel Koruyucu Donanımların (KKD) genellikle teminin yapıldığı fakat personellerin çoğunlukla kullanmadığı gözlemlenmiştir. Bu da toplu korunma tedbirlerinin yeterli olamadığı alanlarda personellerin sağlığını tehlikeye atmasına sebep olmaktadır. Bazı şantiye alanlarında emniyet kemeri, spanzet, yoyo vb. yüksekçe çalışmalar için gerekli koruyucu donanımlar temin edilmediği veya eksik temin edilmediği gözlemlenmiştir. İşverenler yapılacak çalışmaya uygun ve yeterli miktarda koruyucu ekipmanı temin etmeli, personel ise temin edilen ekipmanı doğru, amacına uygun kullanmalı ve muhafaza etmelidir.

İş makineleri ile yapılan çalışmalarda (Tablo 4), iş makinesini kullanan kişilerden ehil olmayanlar, iş makinesinin bakımlarının tam olmayanların mevcut olduğu, çalışmalar öncesi alan için ve ekipman için gerekli kontrollerin sağlanmadığı, olumsuz hava koşullarında çalışma yapıldığı gözlemlenmiştir. İş makineleri periyodik olarak ve kullanan personel tarafından da her kullanım öncesi düzenli olarak kontrole tabi tutulmalıdır. Kullanan personel mutlaka gerekli sürücü belgesine sahip ehil olmalı, kullanım talimatına uygun kullanılmalıdır. Güvenlik mesafelerine dikkat edilmeden, alan sınırlandırılmadan çalışmaya başlanılmamalıdır.

Tablo 4. İş makineleri kullanımı araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Gerilim altında damper açıkken hareket edilmesi		İş makineleri bom veya damper açık vaziyette kullanılmamalıdır. Hat yakınında çalışmanın zorunlu olduğu yerlerde, gözetmen kontrolünde çalışma yapılmalıdır. Gözetmen çalışma alanından ayrılmamalı, operatörle iletişim halinde olmalıdır. Hat mesafesine dikkat edilmeli, enerjiye temas edilmesi durumunda ivedilikle ilgili kurumla irtibata geçilerek enerji kesilmelidir.
İş makinesin de insan taşınması		İş makinelerinde operatör dışında kimse olmamalı, iş makineleri üretim amacı dışında kullanılmamalıdır.
Arızalı makinenin sapan kullanarak şantiye alanından çıkarılması		Arızalı bir makinenin şantiye içerisinden götürülmesi esnasında, kullanılan malzemenin araçtan ayrılıp zarar verme ihtimaline karşın, uygun çeki demiri kullanılmalıdır.
İş makineleri çalışmalarında güvenlik mesafesi bırakılmaması		İş makineleri arasında manevra alanları olacak şekilde güvenlik mesafesi bırakılmalıdır. Çalışma sırasında koordinasyonu sağlaması için işaretçi görevlendirilmelidir.
İş makinesinin fren lambasının çalışmaması, bakım eksikliği		İş makinelerinin düzenli bakım ve kontrolleri yapılmalı, arıza /sıkıntı durumunda önce tamiri /değişimi sağlanmalıdır.
İş makinelerinde görüş mesafesinin üstünde, sabitlenmeden yük taşınması		İş makinelerinin görme mesafesini kapatacak şekilde yük taşınması yapılmamalı, malzemeler araçtan devrilmeye karşı sabitlenmelidir.
İş makinesinin korkuluk, ızgarasının olmadığı, periyodik bakımlarının olmadığı/temin edilmediği tespit edilmiştir.		Korkuluk ve ızgaraları tam ve eksiksiz olmalıdır. Periyodik bakımları yapılarak, kayıtları bir nüshada ilgili birimlere temin edilmelidir.
İş makineleri ile kişiler arası güvenlik mesafesi olmaması		İş makinalarına 25 metre mesafeden fazla yaklaşmak tehlikeli ve yasaktır. Birbirini etkileyebilecek çalışmalarda kesinlikle güvenlik mesafesi bırakılmalıdır.

Tablo 5. Kazı işleri araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Kazı kenarına malzeme istiflenmesi		Kazı kenarında malzeme istiflenmesi yapılmamalı, mutlaka emniyet mesafesi bulunmalıdır. Güvenlik mesafesi dahilinde de devrilme, akma riskine karşı bariyer vb. güvenlik tedbirleri alınmalıdır.
Kazı alanına giriş çıkış için geçit sağlanmaması		Kazı alanına erişimler güvenli, korkuluklu, sağlam yapı da geçitlerle sağlanmalıdır. Olası acil durumlarda alandan tahliye zorluk sağlamayacak şekilde tesis edilmelidir.

Kazı işlerinde (Tablo 5), kazı işlemi yapıldıktan sonra alana giriş çıkış için uygun geçitler sağlanmadığı, kazı kenarlarına malzeme istifi yapıldığı görülmektedir. Kazı alanlarına güvenli erişimi sağlayacak şekilde sağlam yapılı, korkuluklu geçitler sağlanmalıdır. Kazı etrafında malzeme istifi yapılmamalı, mücbir hallerde mutlaka devrilmeyi önleyici güvenlik tedbirleri alınmalıdır.

Kaldırma operasyonlarında (Tablo 6), uygun sapanlama yapılmaması, kaldırılacak malzemeye uygun ekipman kullanılmaması, kaldırma öncesi alan sınırlandırılması yapılmaması, kaldırma sürecinde görevli personeller arası iletişim için ekipman temin edilmemesi, kaldırma sürecinde yer alan personellerin eğitilmiş olmaması, kaldırma ekipmanlarının periyodik ve rutin kontrollerinin yapılmaması, uygunsuz hava koşullarında kaldırma yapılması ve kaldırma işlemi sırasındaki talimatına uygun olmayan hatalı hareketlerde risk teşkil ettiği gözlemlenmiştir. Kaldırma ekipmanları her kullanım öncesi ve gerekli hallerde periyodik ve rutin kontrolleri yapılmalı, uygun hava koşullarında ehil personeller tarafından talimatına uygun olarak kaldırma operasyonu yapılmalıdır.

Tablo 6. Kaldırma operasyonları araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Vinç kurulumlarının yük taşıma şekline göre salınım vb. durumlarda birbirini etkileyebilecek alanlarda kurulması, işareççi atanmaması		Vinç kurulumları birbirinin çalışmalarından etkilenmeyecek şekilde kurulmalıdır. Tüm vinç çalışması için bir eğitilmiş işareççi görevlendirilmelidir. Vinç operatörü ile işareççi iletişiminin kesintisiz olması için, operatörlere ve işareççilere telsiz temin edilmelidir. Ayrıca her vinç için görevlendirilen işareççiler kendi aralarında da iletişim halinde olmalıdırlar.
Vinç kurulumunda ekipman eksikliği/hatalı kurulum		Kule vincin kurulumu standartlara uygun olmalı ve tüm pim vb. parçalar eksiksiz olmalıdır. Standart dışı ekipman kullanılmamalıdır.
Hava şartlarının uygun olmaması durumunda kule vinç /kaldırma çalışmaları yapılması (63 km) Kaldırma ekipmanlarının her kullanım öncesi kontrol edilmemesi, kanca emniyet mandalının kullanım sırasında hasarlı olması	  	Kule vinçler, hızı saatte 30 km'yi aşan rüzgârlı havalarda çalıştırılmamalıdır. Çünkü şiddetli rüzgâr, taşınan yükün kontrol edilmesini zorlaştırarak kazalara neden olacaktır. Kule vinçler çalışmadığı zaman diliminde vincin bomu serbest hale getirilmelidir. Hava şartlarının uygun olması halinde sorumlu personel gerekli kontrolleri yaptıktan sonra ekipman uygun bulunursa çalışmaya tekrar başlanılmalıdır. Kanca emniyet mandalları kanca üzerindeki yükün kanca üzerinden kayıp kurtulmasına engel olur. İş güvenlik kurallarına göre bütün kancalarda olması gereken aparatlar ve her kullanım öncesi kontrol edilmelidir. Arızalı olanların tespiti halinde derhal değişimi sağlanmalıdır
Halatların deforme olması, kullanım öncesi kontrol edilmemesi		Vinç ve tüm kaldırma işlemi öncesi halatlar, kancalar vb. tüm teçhizatı kontrol edilmeli eskimiş /deforme olmuş olanlar ivedilikle değiştirildikten sonra çalışmaya başlanılmalıdır.
Demir filizlerin bağ teliyle dik vaziyette kaldırılması		Yükler ağırlık merkezleri dikkate alınarak, sapanlama ve boğma yapılarak kaldırılmalıdır.
Kaldırmanın malzemeye uygun yapılmaması		Kaldırma yapılırken malzemeler ağırlık merkezine uygun belirlenen kaldırma noktalarından sapanlama yapılarak kaldırılmalı, bağ tellerinden kaldırma yapılmamalıdır.
Ekipmanların kontrolünün yapılmaması, hasarlı ekipmanla uygunsuz kaldırma yapılması		Kanca emniyet mandalları kanca üzerindeki yükün kanca üzerinden kayıp kurtulmasına engel olur. Tüm kaldırma aparatları her kullanım öncesi kontrol edilmelidir, arızalı olanların tespiti halinde derhal değişimi sağlanmalıdır.

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Yüksekte kaldırma operasyonlarında personellerin emniyet kemeri kullanmaması, yüke elle müdahale edilmesi		Yüksekte çalışmalarda tam koruma sağlanamayan alanlarda personeller tam vücut tipi paraşüt emniyet kemeri giyinerek çatı alanlarına sağlanan ankraj noktalarına, kontrol ettikten sonra bağlanmalıdır (yaya, spanzet vb.). Yüke elle müdahale edilmemeli kılavuz halat kullanılmamalıdır.
Tünel montaj elemanının vinç kancasına takılarak kaldırma yapılması		Tünel kalıplar kaldırma üçgeni ile özel kaldırma üçgeni somunu, yatay panodaki delikten geçen kaldırma milini gerektiği kadar sıkarak tünele bağlantı sağlayarak kaldırılmalıdır. Tünel montaj aparatı, tünel kalıpları kaldırmak ve taşımak amacıyla kullanılamaz.
Kaldırma işlemi yapılacak alanın Sınırlandırılmaması/ personel üzerinden yük geçirilmesi		Alan kaldırma operasyonu öncesi boşaltılmalı ve sınırlandırılmalıdır. Yük kesinlikle personel üzerinden geçirilmemelidir. İşaretçi alandan ayrılmamalıdır. Alana personel girişinin tespit edilmesi durumunda işaretçi alandan uzaklaştırmalı, vinç operatörü ise vinç komasına basarak uyarmalıdır.

Tablo 7. Beton dökümü araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
İş talimatına uygun hareket edilmemesi, tehlikeli hareketler		Beton pompası operatörü kendini ve çevredeki diğer inşaların hayatını tehlikeye düşürecek tehlikeli hareketlerden kaçınmalıdır. Durum tespitinde uyarı ve tekrarlama durumunda cezai işlem yapılmalıdır.
Beton Pompasının ayaklarının sabitlemesinin yapılmaması		Beton pompasının sabitleme ayakları sağlam zemin üzerine oturtulmalıdır. Kurulacağı alan önceden düzenlenerek malzemelerden arındırılmalı, gerekli hallerde de ayaklarının altına plakalar yerleştirilmelidir.
Beton pompası kurulan alanda, alan sınırlandırılması yapılmaması		Beton pompasının kurulduğu alan, işlem yapıldığı alan ve alt kotlarına girişlerin engellenmesi için alan sınırlandırılması yapılmalıdır.
Beton dökümünde çalışan personelin beton dökülen hortumu yönlendirirken bina açıklığına güvenlik önlemi almadan sırtı dönük çalışması		Beton dökümünde çalışan personellere gerekli hallerde emniyet kemeri temin edilerek, kullanarak çalışması sağlanmalıdır. Personel hortumun savrulma ihtimalini göz önüne alarak açıklıklara sırtı dönük işlem yapmamalıdır.

Beton dökümü çalışmalarında (Tablo 7); beton pompasının kurulumunun uygun yapılmaması, alan kontrolü yapılmadan çalışma yapılmaması, betonun alanın taşıyıcılığı üzerinde dökülmesi veya alt kotta yeterince destekleme yapılmaması, çalışanların çalışma talimatına uygun hareket etmemesi ile beton dökülen alandan etkilenilebilecek alanlarda çalışma yapılması hallerinde risk teşkil ettiği gözlemlenmiştir. Beton dökümü işi talimata uygun yapılmalı, tehlikeli hareketlerde bulunulmamalı, çalışacak personellere iş talimatı tebliğ edilerek kayıt altına alınmalıdır.

Tablo 8. Elektrikli ekipman, makine, el aletleri ile çalışmalardan araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Spiral vb. elektrikli el aletlerinin koruma muhafazalarının çıkarılarak çalışma yapıldığı tespit edilmiştir		Tüm el aletleri, makine, ekipmanlar vb. kullanım öncesi kontrol edilmeli eksikli/arıza tespitinde tamiri/değişimi sağlanmadan kullanılmamalıdır. Spiralin koruma muhafazası ve tutma kolu temin edilerek tamamlandıktan sonra çalışma yapılmalıdır. Kullanılan elektrikli el aletlerinin orijinalindeki koruma muhafazalarının çıkarılmadan yüz vizörü kullanılarak kullanımı sağlanmalıdır.
Daire testere ile kesim için tezgâh sağlanmaması, kesimin vücuda doğru yapılması, KKD kullanılmaması,		Kesim işleri için personellere uygun sehpa sağlanmalıdır. Personeller kesici alet/ekipmanı vücuduna temas edebilecek şekilde kullanmamalı, işinin ehli olmalıdır. Personeller saha alanında zorunlu (baret, yelek, ayakkabı) ve işe özel (yüz vizörü, koruyucu gözlük, maske) tam ve eksiksiz kullanılmalıdır.
Fiş başlığı olmadan enerji alımı yapılması		Tüm elektrikli ekipman ve seyyarlar kullanım öncesi kontrol edilmelidir. Fiş başlıkları iptal edilmiş/topraklaması iptal edilmiş/ izolesi hasarlı ekipmanlar kullanım dışı bırakılmalı ve uygun ekipman temin edildikten /tamiri sağlandıktan sonra çalışma yapılmalıdır.
Demir bükme makinesinin acil durdurma butonunun olmaması,		Acil durdurma butonu olası acil durumlarda makinenin kapatılabilmesi için hayati önem taşımaktadır. Tüm ekipmanlar kullanım öncesi kontrol edilmelidir. Eksiklik/ arıza durumunda çalışma yapılmamalı, değişimi /tamiri sağlandıktan sonra kullanılmalıdır.
Demir bükme makinesinin ayak pedalının el ile kullanılması		Makineler kullanım talimatına uygun olarak kullanılmalıdır.
İşe özel ve zorunlu KKD'si olmayan, pano yakınında, kaynakçı olmayan personelin kaynak yaptığı tespit edilmiştir.		Kaynak işini sadece kaynakçı sertifikasına sahip personel yapmalıdır. Kaynakçı personel saha alanında zorunlu (baret, yelek) kullanımına ek olarak, kaynak maskesi ve maskesi de kullanılmalıdır. Sıcak çalışmalar pano, kimyasal vb. tehlike kaynakları yakınında yapılmamalı, sıcak çalışmalarda mutlaka yangın söndürme tüpü bulundurulmalıdır.
Olumsuz hava koşullarına karşı korunmadığı, sabitlenmediği ve kapaklarının kilitli olmadığı tespit edilmiştir. Kablo başlıklarının ev tipi olması, kabloların koruyucu içerisinden geçirilmediği ve su ile tespit edilmiştir.		Elektrikli panolarının kapakları sürekli kapalı ve kilitli olmalı, elektrik akımının geçtiği tüm alanların koruma altında olması sağlanmalıdır. Elektrik panolarının su ile temasın önlenmesi için panoların korunaklı alanlara çekilmesi veya sundurma yapılması sağlanmalıdır. Elektrikli ekipmanların /panoların /kabloların su ile temasını önleyecek tedbirler alınmalıdır. Kablolar su hortumu vb. teması kesecek şekilde koruyucu içerisinden geçirilmelidir. Tüm fiş başlıkları dayanıklılığı yüksek kauçuklu tipte olmalıdır.

Elektrikli ekipman, makine, el aletleri ile çalışmalarda (Tablo 8); periyodik, rutin kontrollerin yapılmaması, güvenlik tedbirlerinin iptal edilmesi durumlarında, yetkisiz personelin müdahalesi durumunda, kullanım amacı dışında kullanımlar ile talimatına uygun

kullanılmaması hallerinde risk teşkil ettiği gözlemlenmiştir. Tüm makine, ekipman ve el aletleri kullanım öncesi kontrol edilerek eksiklik veya arıza durumunda giderilmeden çalışmaya başlanılmamalıdır. Düzenli kontrol edilerek kayıt tutulmalıdır. Tüm makine, ekipman, el aletleri sadece kullanım amaçlarına uygun ve talimatları doğrultusunda kullanılmalıdır.

Tablo 9. Merdivenler araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Kullanılan platformun standartlara uygun olmaması		Çalışma alanlarına standartlara uygun korkuluklu platformlar temin edilmelidir. El yapımı platformlar saha alanından ivedilikle uzaklaştırılmalıdır.
Kullanılan merdivenlerin standartlara uygun olmaması		İşe uygun uzunlukta EN 131 standartlarına uygun merdiven temin edilmeli. Alt ve üstten sabitlenmelidir. El yapımı merdivenler ivedilikle saha alanından uzaklaştırılmalıdır. Alanlara sağlanan merdivenler son üç basamağının kullanılmasına ihtiyaç kalmayacak şekilde tesis edilmelidir.
Tünel kalıplara erişim için uygun merdiven sağlanamaması		Tünel kalıptan iniş ve çıkışlarda, dış cephe iskelelerine iniş ve çıkışlarda özel olarak yapılan kalıp üzerine montajlı merdivenler kullanılmalıdır.
Katlar arası geçişlerin shaft boşluklarından, standart dışı merdivenlerle tehlikeli şekilde yapılması		Shaft boşluklarının önleri/ üzerleri düşmeye karşı, uygun bir biçimde kapatılmalıdır. Çalışma alanlarına tehlikeli alanlardan erişim sağlanmamalıdır. Portatif el merdivenleri düzgün, sağlam, ölçüsü uygun, sabit pabuçlar üzerinde kullanımı sırasında üst-alt uçları sabitlenerek veya kaymayacağı şekilde tedbirlerle ayaklarının kayması önlenmelidir.
Katlar arası geçişler için yapılan sabit merdiven etrafında korkuluk olmadığı tespit edilmiştir.		Sabit kat merdivenlerinden düşmeyi önleyecek şekilde korkuluk, güvenlik ağı vb. ile boşluk kalmayacak şekilde çevrilmesi sağlanmalı ve alana levhalar sağlanmalıdır.
Bloklara girişin tehlikeli şekilde yapılması		Bloklara geçiş için korkuluklu geçişler sağlanmalı, el yapımı malzemeler alandan uzaklaştırılmalıdır.
Alana giriş- çıkış için merdiven sağlanmaması, tırmanarak tehlikeli şekilde erişim sağlanması		Mesafe farkı olan alanlara erişim için standartlara uygun merdiven temin edilmeli. Tırmanarak vb. tehlikeli şekilde erişim sağlanmamalıdır.

Merdiven ile yapılan çalışmalarda (Tablo 9); merdiven kullanımında standart dışı merdiven kullanımı, sabit merdivenlerden düşmeyi önleyici tedbirlerin alınmaması, merdivenlerin kullanım amacı dışında kullanımları ile talimatına uygun kullanılmaması hallerinde risk teşkil ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca tünel kalıp ile kat bitimi tamamlanırken, paralel olarak merdiven imalatı genellikle yapılmadığı ve alanlarda toplu koruma önlemleri

çoğunlukla alınmadığı gözlemlenmiştir. Bunun neticesinde personeller katlar arası, bloklara erişim için uygun olmayan şekilde erişim sağlamakta iş kazası riski oluşmaktadır. İnşaat sürecinde planlama sağlıklı yapılmalı ve korkuluk süreci yapılana kadar toplu korumayı sağlayacak korkuluk, güvenlik ağı vb. önlemler alınmalıdır. Sabit merdiven yapılması gereken alanlara imalatın yapılamadığı mücbir hallerde mutlaka güvenli erişimi sağlayacak korkuluklu, standartlara uygun el merdivenleri alanlara sabitlenerek temin edilmelidir. Saha alanlarına yeterli sayı ve ebatla standartlara uygun el merdivenleri temin edilmeli, personeller güvenli kullanımı ile ilgili bilgilendirilmelidir.

Tablo 10. Yüksekte çalışmalar araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Fotosu	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Ahşap kalıp ekibin tünel kalıp kurulamayan alandaki çalışmalarda güvenlik önlemleri alınmadan çalışma yapılması		Yüksekte çalışmalarda öncelikle toplu koruma önlemleri alınmalıdır (korkulu, güvenlik ağı vb.). Tam koruma sağlanamayan alanlarda personeller tam vücut tipi paraşüt emniyet kemeri giyinerek sağlam bir ankraja bağlanmalıdır (yaya, spanzet vb.)
Yüksek kotlardaki boşluklarda toplu koruma tedbirlerinin alınmaması		Personellerin geçiş amaçlı kullandığı alandaki süreksizlik meydana getiren boşlukların toplu koruma önlemleriyle kapatılmaması, yüksekten düşmelere sebebiyet verebilmektedir. Bu sebeple bu alanların bariyer, korkuluk ağı vb. yöntemlerle ivedilikle kapatılması gerekmektedir.
Ahşap kalıp çatı alınlarının yapımında v yüksekte yapılan diğer çalışmalarda personellerin emniyet kemeri giyinmediği tespit edilmiştir.		Tüm yüksekte yapılan çalışmalar sırasında personellerin yüksekte çalışmalarda zorunlu olan emniyetini giyinerek baca ankrajına takması gerekmektedir.
Demir montaj ekibinin yüksekte yapılan çalışmalarda emniyet kemeri giyinmediği tespit edilmiştir.		Tüm yüksekte yapılan çalışmalar sırasında personellerin yüksekte çalışmalarda zorunlu olan emniyetini giyinerek baca ankrajına takması gerekmektedir.
Kör cephedeki alanlarda yapılan çalışmalarda güvensiz platform alanı oluşturulduğu ve personellerin KKD kullanmadığı tespit edilmiştir.		Standartlara uygun korkuluk vb. temin edilmiş güvenli çalışma platformları sağlanmalıdır. Sağlanan platformlarının taşıyıcılığı yüksek olmalı ve taşıma kapasitesi temin edilmelidir. Personeller yüksekte emniyet kemeri ile ankraj noktasına bağlantı yaptıktan sonra çalışmaya başlamalıdır.
Yüksekte bakım- onarım çalışmalarında tehlikeli hareketlerde bulunulması, KKD kullanılmaması		Tüm yüksekte çalışmalarda emniyet kemeri kullanımı zorunludur. Personeller görev tanımında geçen işleri talimatına uyarak ifa etmeli, aksi hallerde uyarı verilmeli, tekrarı durumunda cezai işlem uygulanmalıdır.

Yüksekte yapılan çalışmalarda (Tablo 10), birçok şantiye alanında toplu koruma tedbirleri hızlı imalat süreci sebep gösterilerek alınmadığı, toplu koruma tedbirlerinin alınmadığı alanlarda kişisel koruyucu tedbirlerde (emniyet kemeri, spanzet, yoyo vb.) ya alınmamakta ya tüm çalışanlara yetecek ölçütte sağlanamamakta ya da personeller tarafından

kullanılmadığı gözlemlenmiştir. Toplu koruma tedbirlerinin yeterli olmadığı alanlarda mutlaka personellere kişisel koruyucu donanımlar verilmeli ve kullanımı sağlanmadan iş başı yaptırılmamalıdır.

Tablo 11. Tünel kalıp kurulum, çalışma, söküm çalışmalar araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Tünel kalıp iskelesinin kurulum, söküm sırasında, iskelelerin ağırlık merkezlerinin ayarlanmadığı, bu sebeple personellerin sevk sırasında ağırlıklarıyla dengeye getirmeye çalıştığı tespit edilmiştir.		Tünel kalıplar, elemanları ve destek malzemelerinin standartlara uygun temini sağlanmalıdır. Personeller vinç ile hareket halinde olan kalıp iskelelerinin üzerine çıkmamalıdır.
Tünel kalıpların iki duvar arası zincirle sabitlemesinin yapılmaması		Tünel kalıp ve iskele dengesi düzenli olarak kontrol edilmelidir. Sabitlemeleri yapılmalı yan duvarlara sabitlenmeleri için zincirleri sağlanmalı ve bağlanmalıdır.
Yüksekte çalışmalarda güvenlik ağı ve kenar koruması bulunmaması		Tünel kalıp iskele ağırları ivedilikle temin edilmelidir. Ağlar standartlara uygun olmalıdır. Kalıplar üzerine uygun korkuluk sistemleri yapılmalı malzeme/insan düşmesi engellenmelidir. Temin edilmesi gereken iki kalıp korkuluğu arası insan geçemeyecek şekilde yakın olmalıdır.
Kalıp iskelesindeki ahşap platformlarda açıklık bulunması		Tünel iskele düzenli olarak kontrol edilmelidir. Kalıp iskelesinde deforme, kırık, boşluk tespit edilmesi durumunda montajı yapılmamalı, malzemelerin değişimi/tamiri sağlanmalıdır.
Tünel kalıp ayaklarının kurulum sürecinde uygun oturtulmaması		Tünel kalıp ayaklarına uygun ebatlarda takoz konulmalı ve sağlamlığı düzenli olarak kontrol edilmelidir. Ayakları malzeme sökümü vb. durumlar da çekme olmaması için 40 cm kadar bina içerisinde olmalıdır. Ayakları düz zemin üzerinde olmalıdır. Personeller her kullanım öncesi iskelenin sağlamlığının kontrol etmeli, uygun olmayan iskelede çalışma yapmamalıdır.
Tünel kalıp ve malzemeleri için uygun stok sahası oluşturulmaması		Tünel kalıp malzemeleri saha alanında depolanmamalı, devrilme vb. durumlarında alınması gerekli tedbirlerde sağlanarak uygun büyüklükte stok sahası oluşturulmalıdır.
Tünel kalıp iskelesinin binanın tüm cephelerine sağlanmaması, iskelelerde güvenlik tedbirlerinin alınmaması		Tünel kalıp iskelelerinin binanın tüm açıklıklarını çevirecek şekilde montajı yapılmalıdır. İskele arasında boşluk bulunması, durumunda dahi iskele kenarlarındaki ahşap genişliği uygun ebatla geniş tutularak, boşluğun kapatılması sağlanmalıdır. Tünel kalıp iskelelerine mutlaka güvenlik ağları ve gerekli alanlarına da harici korkuluk sistemleri temin edilmeli ve sonra çalışmaya başlanılmalıdır.

Tünel kalıp kurulum, kullanım ve söküm işlemlerinde (Tablo 11); Mesleki Yeterlilik Belgesi (MYK belgesi olmayan işçilerin çalışması, uygun olmayan havalarda çalışma yapılması, kalıp iskelesinin kurulumunun sağlam yapılmaması, tünel kalıp iskelesinin güvenlik ağının olmaması /temin edilmemesi, kat imalatı ile bina merdivenlerinin yapımı sürecinin birlikte ilerlememesi sonucu ekiplerin tehlikeli şekilde katlara erişim sağlaması,

tünel kalıp kurulum ve sökümünün talimatına uygun yapılmaması, tünel kalıp kurulamayan bina alanlarına korkuluklu iskele yapılmaması, dış iskelelerde malzeme istifi yapılması ve kalıp yağlanmasının güvenlik tedbirleri alınmadan yapılması hallerinde risk olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmaların ehil personeller tarafından, iş talimatına uygun olarak gerçekleştirilmelidir.

Tablo 12. Basınçlı gaz tüpleri araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Basınçlı gaz tüplerinin tüp kenarından/ başlığından sevkini yapılması		Basınçlı gaz tüpleri uygun taşıma ekipmanı içerisinde bağlanılarak taşınmalıdır.
Basınçlı gaz tüplerinin saha alanına başıboş ve işlemdeki ihtiyaçtan fazla getirilmesi		Basınçlı gaz tüpleri saha alanına sadece gerekli olduğu adette getirilmeli fazlası getirilmemelidir. Basınçlı gaz tüplerinin alanda yer değişimleri için taşıma araçları temin edilmelidir. Taşıma araçlarına tüpler sabitlenmeli ve üzerine gerekli yasaklayıcı, uyarıcı levhalar temin edilmelidir.

Basınçlı gaz tüpleri ile yapılan çalışmalarda (Tablo 12); işlemin yetkili kişiler tarafından yapılmaması, tüplerin sabitlenmeden bulundurulması ve taşınması, tüplerin kontrol edilmemesi, alanların işlem sonrası kontrol edilmemesi ve havalandırılmaması, alana yetkisiz kişilerin girmesi, alan yakınında yangın söndürme cihazı bulunmaması, uygun depolama yapılmaması hallerinde risk teşkil ettiği gözlemlenmiştir. Tüpler mutlaka sabitlenmeli, her kullanım öncesi kontrol edilmeli, belirlenen alanlarda talimatına uygun muhafaza edilmelidir. Basınçlı gaz tüpleri ile çalışmalar ehil personeller tarafından talimatına uygun olarak gerçekleştirilmelidir

Ahşap kalıp kurulum, kullanım ve söküm işlemlerinde (Tablo 13); MYK belgesine sahip olmayan personellerin kalıp işinde çalışması, uygunsuz hava koşullarında çalışma yapılması, statik hesaplamaların olmaması, kalıp altı destek elemanlarının standart dışı olması veya yeterli olmaması, alt kotta taşıyıcı elemanlar tamamlanmadan üst kotta çalışma yapılması, kurulum ve söküm işlerinin talimatına uygun yapılmaması hallerinde risk teşkil ettiği gözlemlenmiştir. Çalışmaların ehil personeller tarafından, iş talimatına uygun olarak gerçekleştirilmelidir.

Tablo 13. Ahşap kalıp kurulum, çalışma, söküm araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Ahşap kalıp ekibinin çatı alanındaki çalışmaları için, tünel kalıbın son kattaki iskelesinde çalışma yaptığı ve bu sebeple de tünel kalıp iskelesindeki olası kurulum hatalarından, taşıyıcı iskenin dış iskeleye kurulumu yapılması sebebiyle malzeme sevkiyatı sırasındaki tehlike kaynaklarına maruz kalındığı ayrıca, personellerin alanda emniyet kemeri de kullanmadığı tespit edilmiştir.		Tünel kalıp iskeleleri tam ve eksiksiz kurulmalıdır. Kalıp iskelelerindeki toplu koruma tedbirlerinden olan güvenlik ağıları çalışma öncesi temin edilerek, takılması sağlanmalıdır. Taşıyabileceğinden fazla ağırlık konulmamalı, malzeme sevki sırasında kaldırma operasyonlarındaki tedbirlere uyulmalıdır. Tüm yüksekte planlanan çalışmalar için uygun ankraj noktaları sağlanarak, personellerin emniyet kemeri ile çalışmaları sağlanmalıdır.
Kalıp altı teleskopik dikmelerin standartlara uygun olmaması.		Kalıp altı teleskopik çelik dikmeler kullanım öncesi kontrol edilmelidir. TS EN 1065 standartlarına uygun sağlanmalıdır.

Tablo 14. Sosyal tesisler araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Soyunma yeri, giysi dolabı, ayakkabılık olmaması, oda kapılarının üst kısmının camlı olmaması, acil durum yönlendirme levhalarının yetersizliği		Personellerin kıyafetlerini, ayakkabılarını koyabilecekleri yönetmeliğe uygun dolap temini yapılmalıdır. Olası acil durumlarda takılmaya, düşmeye sebebiyet verebilecek malzemeler geçiş alanlarında bulunmamalıdır. Kapıların üst kısmı hol alanındaki aydınlatmadan yararlanılması için camlı olmalıdır. Sinek, böcek vb. korunmak için camlara sineklik takılmalıdır. Acil durum yönlendirme işaretleri kesintisiz sağlanmalıdır.
Banyo kapılarının olmaması, çamaşırhane ve ütü yerinin bulunmaması		Temizlik açısından tüm alanlarda olduğu gibi kişisel temizlikte oldukça önemlidir. Bu sebeple, işçilerin çamaşırlarını yıkayabilecekleri çamaşırhane ve ütü yerini bulunması sağlanmalıdır. Ortak kullanım alanındaki banyolara kapı temin edilmelidir.
Odalarda yönetmelikte belirtilen sınır değerlerden fazla personel kalması, tertip düzen eksikliği		Odada bulunan personellerin her birine, hava hacmi en az 12 metreküp olarak belirlenmelidir. Bu sınır değer Covid-19 kapsamında da değerlendirilerek daha az kişi sayısı temini yapılması bulaş riski açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Alanda tertip düzen sağlanmalıdır. Alanda temizlik yapılarak günlük olarak yapan personelin kaydı tutulmalıdır.
Personellerin oda içerisinde, ketil, çaycı ve ısıtıcı kullandığı tespit edilmiştir		Hem yatma kalkmanın hem de dinlenmenin aynı koşutta yapılması, farklı saatlerde ve farklı biçimlerde dinlenme gereksinmesi olanlar için sorun yaratabilmektedir. Odalarda çay, kahve, yemek, elektrikli ısıtıcılar, sigara kullanılması vb. yapılması uygun değildir. Fişte bırakılan ürünler ile sigara yangına sebebiyet verebilmektedir.
Çöp kovası kapaklarının açık bırakılması		Çöp kovalarının içinde tek kullanımlık poşetler kullanılarak kapakları kapalı olmalıdır. Kovalarının düzenli olarak dezenfektanlarla temizlenmesi gerekmektedir.
Yemekhanede tabure kullanılması, yemekhane camların da sineklik eksikliği		İşçi sayısına uygun yeterli sayı ve aralıktaki sandalye temin edilmelidir. Tabure yerine sandalye temini yapılmalıdır. Mutfak girişleri sürekli olarak kapalı tutulmalıdır. Pencere kapalı olmalı ya da sineklik bulunmalıdır.

Sosyal tesislerde (Tablo 14); yönetmeliğe uygun sosyal alanlar oluşturulmaması, acil durum ekipmanların olmaması/eksik olması ve ilaçlama yapılmaması hallerinde risk olduğu gözlemlenmiştir. Tüm sosyal alanlar yönetmelikte geçen asgari şartları sağlayacak şekilde tesis edilmeli ve gerekli hijyen şartları sürekli sağlanmalıdır.

Tablo 15. Diğer araştırma bulguları ve çözüm önerileri

Uygunsuzluk/Gözlem Açıklama	Tespit Görseli	Düzeltilici/Önleyici Faaliyet
Olumsuz hava şartlarında sabitlenmemiş malzemeler		Tüm malzemeler devrilmeyecek şekilde bulundurulmalıdır. Mücbir durumlarda mutlaka stoper vb. ile sabitlemesi yapılmalıdır.
Birbirini etkileyebilecek alt-üst çalışmalarda planlama eksikliği		Tüm çalışmalar sağlık ve güvenlik yönünden birbirini etkilemeyecek şekilde planlanmalıdır.
Saha alanında açık ateş çıkarılması		Saha alanında hiçbir sebeple ateş çıkarılmamalıdır.
Çalışmaların birbirini etkileyebilecek şekilde olmasından kaynaklı planlama eksikliği		Tüm çalışmalar sağlık ve güvenlik yönünden birbirini etkilemeyecek şekilde planlanmalıdır.

Tablo 15 de belirtilen; olumsuz hava şartlarında sabitlenmemiş malzemeler, birbirini etkileyebilecek alt-üst çalışmalarda planlama eksikliği, saha alanında açık ateş çıkarılması ve çalışmaların birbirini etkileyebilecek şekilde olmasından kaynaklı planlama eksiklikleri risk teşkil eden durumlardır. Tüm malzemeler sabitlenmeli, saha alanlarında hiçbir sebeple ateş yakılmaması ve birlikte yapılan çalışmaların İSG şartlarına uygun şekilde planlanması gerekmektedir.

Sonuç ve Tartışma

Çalışmada büyük ölçekli bir konut inşaatında ahşap kalıp ve tünel kalıp ekiplerinin iş ve çalışma ortamından kaynaklı olası tehlike kaynakları gözlemlenerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Kalıp ekiplerinde en yüksek risk olarak yüksekte çalışmalar ve kaldırma operasyonlarındaki tehlikeli durum ve hareketlerden kaynaklı başta olmak üzere, mesleki anlamda gerekli bilgi eksikliğinden ve olumsuz çalışma koşullarından da kaynaklı risklerden kaynaklandığı gözlemlenmiştir. İstihdam edilen personellerin yasal zorunluluk olan İSG eğitimlerine ek olarak, mesleki gerekliliklerini yerine getirebilmesi için özel eğitime sahip

olmaları gerekmektedir. Günay (2020) ve Kaya (2021)' in çalışmaları da kalıp ekiplerine yönelik belirlenen tehlike kaynaklarını benzer şekilde ele aldıkları görülmüştür. Bu durum literatür deki diğer çalışmalar da paralellik göstermektedir.

Büyük çaplı konut projelerinde taahhüt edilen sürelerde inşanın teslim edilebilmesi için; ekiplerin eş zamanlı ve olağandan hızlı çalışması gerekmektedir. Bu durum mevcut tehlikelere ek olarak başka tehlikelerinde oluşmasına neden olmaktadır. Örneğin; blok inşaatında bir kata tünel kalıplar kule vinç ile iletilip kurulum yapılırken, kaldırma yapılan alanda demirci ekipleri çalışabilmekte, ahşap kalıp ekibi tünel kalıp ekibinin alt kotunda çalışabilmekte, hatta sürecin gidişatına göre ince, mekanik, elektrik ve peyzaj ekiplerinin de etkilenebilecek alanlarda çalışmaları olabilmektedir. Ahşap kalıp ve tünel kalıp sisteminde çalışanların, sağlıklı planlama yapılmaması sebebiyle kendi işlerinden kaynaklı risklere ek olarak birbirlerinin ve çevredeki çalışmaların risklerine de maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Çalışmalar bütüncül olarak ele alınmalı birbirini güvenlik yönünden etkilemeyecek şekilde planlama yapılmalıdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

Altan M., 1992. Betonarme Elemanlarda Kalıp, İ.T.Ü. yayınları

Anonim., 2007. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 2007. Deprem Bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. [http:// www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr).

Anonim., 2013a. Resmi Gazete. yapı işlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği. RG: 05.10.2013/28786

Anonim 2013b. Tehlike sınıfları listesi tebliği. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığında: İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ. (2013, 29 Mart). Resmî Gazete (Sayı: 28602). Erişim adresi : <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/03/20130329-4.htm>

Anonim., 2022. <http://www.sgk.gov.tr>, 2022. Sosyal Güvenlik Kurumu, (2022). SGK İstatistik Yıllıkları, <https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/>

Bamyacı ÖE., 2017. Yüksek katlı betonarme binalarda kullanılan tünel kalıp, geleneksel kalıp ve konvansiyonel kalıp sistemlerinin karşılaştırılması. İller Bankası Anonim Şirketi, Uzmanlık Tezi.

Günay Z, Onat SM., 2020. Ahşap kalıp sisteminde iş sağlığı ve güvenliği risklerinin belirlenmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 22(2): 500-509.

Kaya O., 2021. İnşaat şantiyelerinde kullanılan tünel kalıp sistemlerinin iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi ve risk analizi yapılması. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Disiplinlerarası İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kars.

MEGEP., 2018. Ahşap çatı ve kalıp elemanları. Mesleki ve Teknik Eğitim Programlar ve Öğretim Materyalleri, İnşaat Teknolojisi Ders Notları.

Müngen U., 2009. İş güvenliği ders notu. İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı İşletmesi Ana bilim Dalı. İstanbul <https://www.bilgiustam.com/tarihsel-surecte-is-sagligi-ve-guvenligi-alanina-katki-saglayan-bilim-adamlari/> Erişim Tarihi:27.12.2021

Türken H, Yılmaz ÜS, Erkan İH., 2011. Tünel Kalıp sistemlerin geleneksel sistemlerle karşılaştırılması. e-Journal of New World Sciences Academy, 6(4): 1016-1032.

An Affine-Hill Cipher Application with the p -Generalized Fibonacci Q matrices and Steganography

Gülçin ÇİVİ BİLİR^{1*}, İlayda ALTINKOL²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Müh. Bölümü, İstanbul

²İstanbul Üniversitesi YÖK TEBİP Programı, Matematik Bölümü, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0002-8375-980X>

²<https://orcid.org/0000-0002-9517-7874>

*Corresponding author: civi@itu.edu.tr

Research Article

Article History

Received: 13.07.2023

Accepted: 20.09.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Fibonacci Q matrices

Steganography

Affine-Hill cipher

Trellis

Symmetric key

ABSTRACT

Affine-Hill Cipher is a symmetric key cryptographic algorithm. There are many studies in the literature to overcome the disadvantages of the symmetric key which is called the secret key and used both for encryption and decryption. In this work, we proposed a secret key generated by using Fibonacci Q matrices and Trellis-based steganographic method. Our work includes iterative keys, one based on the generalized Fibonacci Q matrix and the other based on Trellis steganography method. What makes this work special is that knowing the secret key is not enough to decrypt it.

Genelleştirilmiş p -Fibonacci Q matrisleri ve Steganografi ile Bir Afin-Hill Şifreleme Uygulaması

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi

Geliş Tarihi: 13.07.2023

Kabul Tarihi: 20.09.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler

Fibonacci Q matrisleri

Steganografi

Affin-Hill şifresi

Kafes

Simetrik anahtar

ÖZ

Afin-Hill şifrelemesi simetrik anahtarlı kriptografik bir algoritmadır. Literatürde, gizli anahtar adı verilen ve hem şifreleme hem deşifreleme için kullanılan simetrik anahtarın dezavantajlarının üstesinden gelmek için önerilmiş birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, Fibonacci Q matrisleri ve Trellis tabanlı steganografik kullanılması ile üretilen bir gizli anahtar önerilmiştir. Çalışmamız biri Fibonacci Q matrislerine diğeri ise Trellis steganografi metoduna dayalı tekrarlı anahtarları içermektedir. Çalışmayı özel kılan şey, gizli anahtarın bilinmesinin deşifre için yeterli olmamasıdır.

To Cite: Çivi Bilir G, Altınkol İ., 2024. An affine-hill cipher application with the p -generalized fibonacci Q matrices and steganography. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 48-59.

Introduction

Hill cipher was invented by Lester S. Hill in 1929, is the first polygraphic substitution based on Linear Algebra. In 1931, L.S. Hill extended Hill Cipher by using the affine transformation. In Hill encryption and decryption, the same invertible key matrix is used (Stallings, 2017). Therefore, it must be secured and protected. In many studies, the different

procedures have been applied to increase the security. Various researchers gave new forms to improve those that already exist results by using the principles of linear algebra. Viswanath and Kumar proposed a public key cryptosystem involving two digital signatures for Hill's cipher (Viswanath and Kumar, 2015). Then, Sundarayya and Prasad (2019) proposed a system involving two or more digital signatures under modulation of prime numbers. An algorithm for Affine-Hill cipher in which the key was taken as the reflection on a line $y = ax + b$ is used by Prasad et al. (2016). In the literature, there are also articles that use Fibonacci sequences for the Affine Hill Cipher, reducing time complexity and increasing security. One of these works was to exchange the order and the power of multinacci matrices instead of exchanging key matrix (Uçar et al., 2019; Prasad and Mahato, 2021). Finally, very recently, Billore and Patel (2023) proposed an extended generalized Fibonacci matrices and modified a public key for Affine-Hill Cipher by using extended generalized Fibonacci matrices).

In this article, a new key exchange model in which the determined key is first hidden by a Trellis-based steganography method, then iterated by using the p- generalized Fibonacci Q matrices and finally transmitted to the receiver as the secret key is proposed.

Steganography is the art of the concealing of confidential or non-confidential data within a message or a video or an object. It is originally derived from the ancient Greek words Steganos meaning secret, and graphia meaning writing. Therefore, it is sometimes compared to cryptography but in reality, they are different. In cryptography data is transmitted to the receiver after encrypted by using various ways. Whereas no encryption or decryption is used in steganography. So, it can be defined as “covered writing” and cryptology as “secret writing” (Kahn, D., 1996). In our paper we use one of the steganography method called Trellis.

Fibonacci Q Matrices

The sequence $\{F_n\}$ defined by the recurrence relation

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2} , \quad n \geq 2 , \quad (1)$$

where $F_0 = F_1 = 1$ is known as the second order Fibonacci sequence (Bruggles and Hoggat, 1963), (Hoggat, 1969), (Koshy 2018). Thus, the Fibonacci sequence is the series of the numbers

$$0, 1, 1, 2, 3, 5, \dots, 8, 13, 21, 34, \dots$$

Now, we consider the recurrence relation given by

$$f_{n+p} = f_n + f_{n+1} + \dots + f_{n+p-1} , \quad p \in Z^+ , \quad (2)$$

where $f_0 = f_1 = \dots = f_{n-2} = 0, f_{n-1} = 1$.

Setting $p = 2$ we find the Fibonacci sequence given by (1).

Setting $p = 3$ we find the recurrence formula

$$f_{n+3} = f_n + f_{n+1} + f_{n+2} , \quad f_0 = f_1 = 0, \quad f_2 = 1,$$

which defines the Tribonacci sequence.

By setting $p = 4, p = 5, p = 6, p = 7, p = 8, p = 9$ in (2), we find Fibonacci sequences called Tetranacci, Pentanacci, Hexanacci, Heptanacci, Octanacci and Enneanacci sequences, respectively.

For any $p \in Z^+$, the sequence defined by (2) is called the p -generalized Fibonacci sequence or Multinacci sequence of order p . By rewriting (2) in the vectoral form found as follows:

$$\begin{bmatrix} f_{n+p} \\ f_{n+p-1} \\ \vdots \\ f_{n+2} \\ f_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_n + f_{n+1} + \dots + f_{n+p-1} \\ f_{n+p-1} \\ \vdots \\ f_{n+2} \\ f_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_{n+p-1} \\ f_{n+p-2} \\ \vdots \\ f_{n+1} \\ f_n \end{bmatrix}, \quad (3)$$

where the matrix denoted by

$$Q_p = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

is a $p \times p$ matrix and it is called the p -generalized Fibonacci Q matrix (Stakhov, 1999).

The sequence obtained by setting $p = 2$ in (3) gives the matrix defined as the Fibonacci Q matrix

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_2 & F_1 \\ F_1 & F_0 \end{bmatrix}$$

The Fibonacci Q matrix was first used by Brenner (1951) and the basic properties of the matrix were given by King (1960).

In this article we used the Multinacci Q matrix of order p to exchange the secret key for Affine Hill-Cipher.

Trellis Steganography Method

One of the methods of steganography used in secret communication was to hide messages by writing them on stencils (Çivi Bilir, 2023). One such variation, called Trellis, which resembles a chessboard, was used by Sir Francis Walsingham (1530-1590) who was a spymaster in the Elizabethan (Kahn, 1996).

To conceal the letters of the plaintext to a Trellis stencil, the following steps are performed.

Step 1. Trellis board similar to the chessboard is taken in the wrong position.

Step 2. Each letter of the plaintext is written in a single white cell as vertically.

Step 3. After filling in 32 letters, the board is turned through in the clockwise direction by 90 degrees.

Step 4. Each of the remaining letters is written in a single white cell vertically.

Step 5. If the plain text is shorter than 64, the remaining cells are filled up with null letters. If the plain text is longer than 64 letters, we require another turn of the board.

Step 6. The hiding process is completed by reading the 64 letters on the cells from left to right horizontally.

Example of Trellis Method

Let us consider the plaintext from Mevlana's wise words as

“In compassion and grace be like a sun, in modesty and humility be like earth”

	M		A		B		U
I		S		R		K	
	P		N		E		N
N		I		A		E	
	A		D		L		I
C		O		C		A	
	S		G		I		N
O		N		E		S	

M		A		I		E	
	E		U		E		T
O		N		T		E	
	S		M		L		H
D		N		Y		A	
	T		I		I		J
E		H		B		R	
	Y		L		K		J

M	M	A	A	I	B	E	U
I	E	S	U	R	E	K	T
O	P	N	N	T	E	E	N
N	S	I	M	A	L	E	H
D	A	N	D	Y	L	A	I
C	T	O	I	C	I	A	J
E	S	H	G	B	I	R	N
O	Y	N	L	E	K	S	J

After following the steps of the Trellis method, the ciphertext is obtained as
 “MMAAIBEUIESUREKTOPNNTEENNSIMALEHDANDYLAICTOICIAESHGBIR
 NOYNLEKSJ”

The Proposed Method

In this paper an application for Affine-Hill cipher with iterated keys is given. The main aim of our work is to transmit the key by exchanging it in two steps. We first applied the idea used in Trellis to conceal the key and then we constructed the exchanged key by using the multinacci Q matrices of order p .

Consider Alice’s message as “Where are you?”. Alice wants to send her message to Bob. Now, we explain our proposal in the following steps:

A. Encryption

Step 1. Alice chooses her key. Let it be “Hello everyone”.

By using the following conversion table, the corresponding key matrix is constructed as

$$K = \begin{bmatrix} 7 & 4 & 11 & 11 \\ 14 & 4 & 21 & 4 \\ 17 & 24 & 14 & 13 \\ 4 & 26 & 26 & 26 \end{bmatrix},$$

where the number 26 is used to represent the null character.

Step 2. Alice takes the shifting vector B as any column of the matrix K . Let it be

$$B = \begin{bmatrix} 7 \\ 14 \\ 17 \\ 4 \end{bmatrix}$$

Step 3. Alice encrypts her message by using the Affine Hill cipher algorithm. In encryption mode E with the key matrix, she finds the ciphertext C that converts the plaintext P , where $C = E(P, K)$.

By applying the Affine-Hill algorithm over Z_{27} , we use

$$C_i = KP_i + B \pmod{27},$$

where

$$p_1 = \begin{bmatrix} W \\ H \\ E \\ R \end{bmatrix}, p_2 = \begin{bmatrix} E \\ A \\ R \\ E \end{bmatrix}, p_3 = \begin{bmatrix} Y \\ O \\ U \\ 9 \end{bmatrix}$$

and corresponding vectors are

$$P_1 = \begin{bmatrix} 22 \\ 7 \\ 4 \\ 17 \end{bmatrix}, P_2 = \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \\ 17 \\ 4 \end{bmatrix}, P_3 = \begin{bmatrix} 24 \\ 14 \\ 20 \\ 26 \end{bmatrix}$$

according to the conversion table.

Table 1. Conversion Table

Thus, the cipher blocks are obtained as

$$C_1 = \begin{bmatrix} 7 & 4 & 11 & 11 \\ 14 & 4 & 21 & 4 \\ 17 & 24 & 14 & 13 \\ 4 & 26 & 26 & 26 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 22 \\ 7 \\ 4 \\ 17 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 7 \\ 14 \\ 17 \\ 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 420 \\ 502 \\ 836 \\ 820 \end{bmatrix} \pmod{27} = \begin{bmatrix} 15 \\ 16 \\ 26 \\ 10 \end{bmatrix},$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} 7 & 4 & 11 & 11 \\ 14 & 4 & 21 & 4 \\ 17 & 24 & 14 & 13 \\ 4 & 26 & 26 & 26 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \\ 17 \\ 4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 7 \\ 14 \\ 17 \\ 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 266 \\ 443 \\ 375 \\ 566 \end{bmatrix} \pmod{27} = \begin{bmatrix} 23 \\ 11 \\ 24 \\ 26 \end{bmatrix},$$

$$C_3 = \begin{bmatrix} 7 & 4 & 11 & 11 \\ 14 & 4 & 21 & 4 \\ 17 & 24 & 14 & 13 \\ 4 & 26 & 26 & 26 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 24 \\ 14 \\ 20 \\ 26 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 7 \\ 14 \\ 17 \\ 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 737 \\ 930 \\ 1379 \\ 1660 \end{bmatrix} \pmod{27} = \begin{bmatrix} 8 \\ 12 \\ 2 \\ 13 \end{bmatrix},$$

which give the cipher blocks as

$$c_1 = \begin{bmatrix} P \\ Q \\ 9 \\ K \end{bmatrix}, c_2 = \begin{bmatrix} X \\ L \\ Y \\ 9 \end{bmatrix} \text{ and } c_3 = \begin{bmatrix} I \\ M \\ C \\ N \end{bmatrix},$$

respectively. Finally, the plaintext is converted to the ciphertext “PQKXLYIMCN”.

B. Key Exchange

Step 1. Determine the number n and construct a Trellis stencil sized $2m \times 2m$, where $n^2 = m + q$, m and q are the key length and the number of the null characters in the key matrix K , respectively.

Step 2. Construct a Trellis stencil and take it in the wrong position. Next, input $\frac{m+q}{2}$ letters of the key into the stencil, vertically.

	L		V
H		O	
	L		E
E		E	

Step 3. Rotate the stencil 90 degrees, clockwise and input the remaining letters, vertically. If the length of the key is less than $\frac{n}{2}$ choose a null character to fill up the squares.

R		E	
	O		9
Y		9	
	N		9

Step 4. By reading from left to right, complete the steganography process.

R	L	E	V
H	O	O	9
Y	L	9	E
E	N	E	9

Step 5. Determine the corresponding matrix K_T by using Table 1.

$$K_T = \begin{bmatrix} 17 & 11 & 4 & 21 \\ 7 & 14 & 14 & 26 \\ 24 & 11 & 26 & 4 \\ 4 & 13 & 4 & 26 \end{bmatrix}$$

Step 6. Consider the number $p = 2m$ and construct the multinacci matrix of order p as follows

$$Q_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Step 7. Calculate $K_F = K_T - Q_p$ as

$$K_F = K_T - Q_4 = \begin{bmatrix} 16 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Step 8. Find key text corresponding the matrix K_F

$$K_E : QKDUGOO\vartheta EEEND\vartheta$$

Step 9. Transmit the pair (C, K_E) to the receiver.

C. Decryption

Step1. Define the key length as p and construct the generalized Fibonacci matrix of order p as follows

$$Q_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Step 2. Calculate $K_T = K_F + Q_p$ as

$$K_T = K_F + Q_4 = \begin{bmatrix} 17 & 11 & 4 & 21 \\ 7 & 14 & 14 & 26 \\ 24 & 11 & 26 & 4 \\ 4 & 13 & 4 & 26 \end{bmatrix}$$

Step 3. Find the corresponding matrix as follows

R	L	E	V
H	O	O	9
Y	L	9	E
E	N	E	9

Step 4. Construct a Trellis stencil with n^2 –cells. Then, input the $\frac{n^2}{2}$ letters corresponding to the white squares of the stencil, horizontally.

R		E	
	O		9
Y		9	
	N		9

Step 5. Rotate the Trellis stencil 90 degrees, counter clockwise and input the remaining letters, to the white squares of the stencil, horizontally.

	L		V
H		O	
	L		E
E		E	

Step 6. Determine the secret key by using the Step 5 and Step 6:

“HELLO EVERYONE”

Step 7. Write the corresponding key matrix as

$$K = \begin{bmatrix} 7 & 4 & 11 & 11 \\ 14 & 4 & 21 & 4 \\ 17 & 24 & 14 & 13 \\ 4 & 26 & 26 & 26 \end{bmatrix}$$

Step 8. Decrypt the ciphertext using the Affine-Hill algorithm. In decryption mode D with key K to recover P use $P = D(C, K) = K^{-1}C \pmod{27}$.

Thus, we solve the message as “WHERE ARE YOU?”

In the following Figure we give the encryption algorithm with iterated keys.

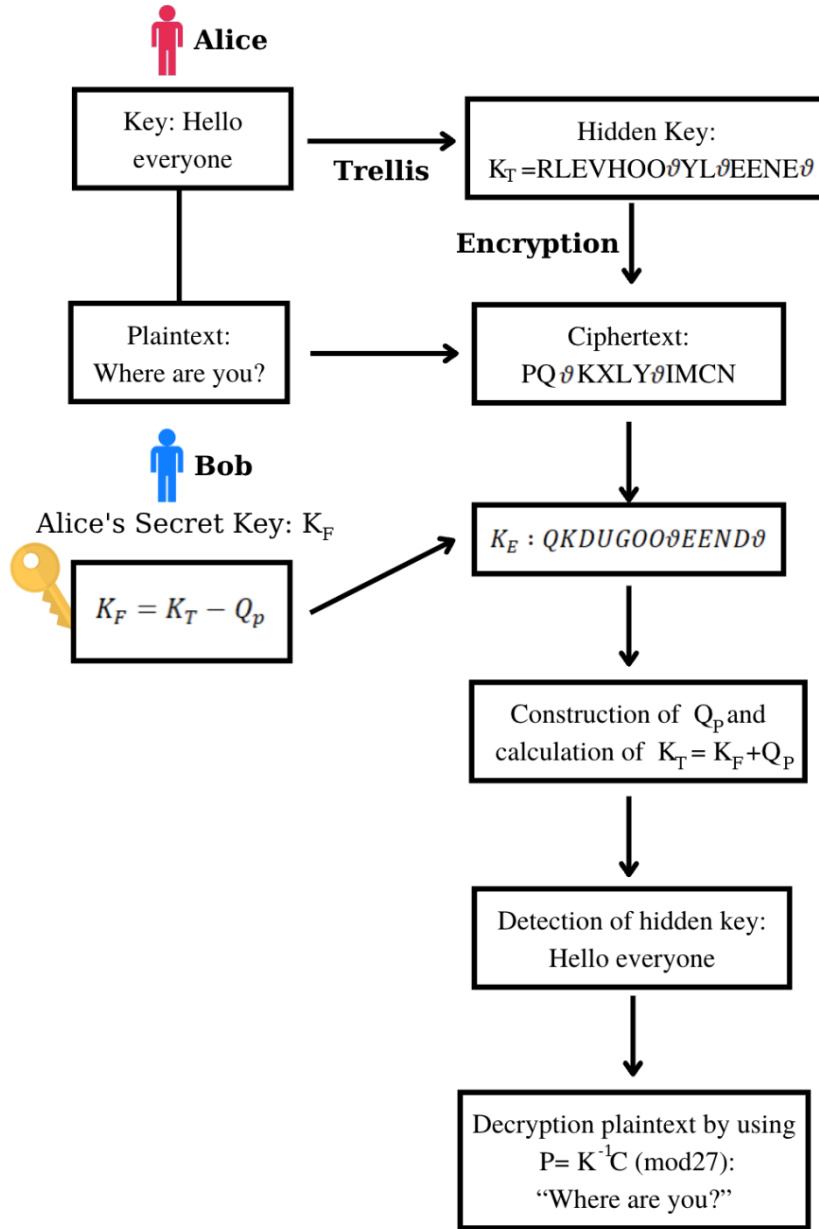


Figure1. The Proposed Algorithm with Iterated Keys

Comparisons and Conclusion

In the original form of the Affine-Hill's cipher, Alice and Bob agree on a common shared key used to encrypt and decrypt, but the main difficulty of the symmetric key is a problem of key transmission. For this reason, in recent decades Affine-Hill cipher are not limited to symmetric key. There are many articles based on public key cryptosystem.

The main result of the present article can be summarized as a new proposal for Affine-Hill cipher involving exchanged key via firstly with Trellis-based steganography method and multinacci Q matrices of order p .

Statement of Conflict Interest

Authors had no conflict of interest

Author's Contributions

All authors have contributed equally

References

- Billore V, Patel N., 2023. Cryptography utilizing the affine hill cipher and extended generalized fibonacci matrices. *Electronic Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 11(2): 1-12.
- Brenner JL., 1951. 1. Lucas matrix. June Meeting of Pasific Nortwest Section. *The American Mathematical Monthly*, 58(3): 220-221.
- Bruggles ID, Hoggat VE., 1963. A primer for the fibonacci numbers part IV. *Fibonacci Q1*, 4: 65-71.
- Çivi Bilir G., 2023. Caesar'ın anahtarı-geçmişten günümüze klasik şifreleme yöntemleri. İTÜ Yayınevi, ISBN 978-975-561-567-7.
- Hoggat VE., 1969. *Fibonacci and Lucas numbers*. Palo Alto, CA, Houghton -Mifflin, ISBN 9789991205311.
- Kahn D., 1996. *The codebreakers the comprehensive history of secret communication from ancient times to the internet*. 1996. ISBN 0-684-83130-9.
- King CH., 1960. Some further properties of the fibonacci numbers. Master's Thesis, San Jose, CA.
- Koshy T., 2018., *Fibonacci and Lucas numbers with applications*. John Wiley&Sons, New Jersey, 1: ISBN: 9781118742082.
- Vara Prasad MG, Pari Purna Chari P, Pydi Satyam K., 2016. Affine hill cipher key generation matrix of order 3 by using reflects in an arbitrary line $y=ax+ b$. *International Journal of Science, Technology and Manajemen*, 5(8): 268-272.
- Prasad K., Mahato H., 2021, Cryptography using generalized Fibonacci matrices with an Affine hill cipher. *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*, 25(8): 2341-2352.
- Stakhov AP., 1999. A generalization of the fibonacci q-matrix. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 9: 46-49.

Stallings W., 2017. Cryptography and network security. Pearson, ISBN 978-9332585225

Sundaraya P, Prasad V., 2019. A public key cryptosystem using affine hill cipher under modulation of prime number. Journal of Information and Optimization Sciences, 40(4): 919-930.

Uçar S., Taş N., Yılmaz Özgür N., 2019. A new application to coding theory via fibonacci and lucas numbers. Mathematical Sciences and Applications E-Notes, 7(1): 62-70.

Viswanath M, Kumar MR., 2015. A public key cryptosystem using Hill's cipher. Journal of Discrete mathematical Sciences and Cryptography, 18(1-2): 129-138.

Sıfır Atık İndeksi Kullanılarak Türkiye'deki Kentsel Katı Atık Yönetiminde Sıfır Atık Yaklaşımının İncelenmesi

Gamze DOĞDU YÜCETÜRK^{1*}, Seda Nur ALKAN²

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bolu

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0002-0278-8503>

²<https://orcid.org/0000-0002-3482-5348>

*Sorumlu yazar: gamzedogdu@ibu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 07.08.2023

Kabul tarihi: 29.10.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler

Atık yönetimi

Sıfır atık

Sıfır atık indeksi

Geri dönüşüm

Türkiye

ÖZ

Doğal kaynakların hızla tüketilmesi ve iklim değişikliğinin yıkıcı sonuçları, hem kaynak kullanımının hem de atık yönetiminin doğru planlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. SA (SA) kavramı, meydana gelen tüm bu problemlerin çözümüne odaklanan bir strateji sunmaktadır. SA projesinin Türkiye'de yaygınlaşmasıyla, 2035'e kadar geri kazanımın %60'a çıkarılması hedeflenmektedir. Ülkemizin SA ile ilgili hedefleri dikkate alındığında; atık yönetim performansını değerlendirme aracı olan SA indeksi (SAİ)'nin rolü oldukça kritiktir. Bu çalışmada, Türkiye'nin 7 bölgesinin TÜİK 2020 verilerine göre en kalabalık illeri olan Ankara, Antalya, İstanbul, İzmir, Samsun, Şanlıurfa ve Van seçilerek bu illerin kötümser (atık geri dönüşümü yapılmadan sadece nüfus artışına bağlı) ve iyimser (atık yönetimi 2035 yılı hedefindeki %60 atık dönüşüm verimine dayalı) şema olmak üzere iki farklı senaryoya göre 2035 yılı için SAİ değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler; 2020 yılı kötümser senaryoya göre Ankara, Antalya, İstanbul, İzmir, Samsun, Şanlıurfa ve Van illeri için sırasıyla 0,27, 0,18, 0,06, 0,16, 0,15, 0,17 ve 0,15 iken 2035 yılındaki kötümser ve iyimser senaryolara göre SAİ değerleri sırasıyla 0,22-0,30; 0,25-0,40; 0,04-0,32; 0,23-0,36; 0,24-0,29; 0,25-0,45 ve 0,24-0,31 olarak hesaplanmıştır. Yani sıra, SAİ, kentsel katı atık kaynaklardan kaynak geri kazanımı sayesinde sera gazı, potansiyel enerji ve su tasarrufu tahmininde de kullanılmıştır. Mevcut çalışmada elde edilen veriler dikkate alındığında, SAİ'nin yenilikçi bir araç olarak SA kapsamında atık yönetim performansının iyileştirilmesi ve malzemelerin ikamesinde kullanılabileceği öngörülmektedir.

Examination of Zero Waste Approach in Municipal Solid Waste Management in Türkiye Using Zero Waste Index

Research Article

Article History:

Received: 07.08.2023

Accept: 29.10.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Waste management

Zero waste

Zero waste index

Recycling

Türkiye

ABSTRACT

Natural resources rapidly consumptions and the devastating consequences of climate change reveal the necessity of proper planning of both resource use and waste management. The concept of zero waste (ZW) offers a strategy that focuses on solving all these problems. With the spread of the ZW project throughout Turkey, the aim is to increase the recovery rate to 60% by 2035. Considering the targets of our country regarding ZW; the role of the zero waste index (ZWI), which is a waste management performance evaluation tool, is very critical. In this study, Ankara, Antalya, İstanbul, İzmir, Samsun, Şanlıurfa and Van, which are the most populous provinces of 7 regions of Turkey according to TUIK 2020 data, were selected and these provinces were chosen as pessimistic (only regarding population growth, no waste recycling) and

optimistic (60% of waste recycling as a ZW strategy of 2035). ZWI values were calculated for the year 2035 according to two different scenarios based on pessimistic and optimistic scenarios. The data obtained are 0.27, 0.18, 0.06, 0.16, 0.15, 0.17 and 0.15 for the provinces of Ankara, Antalya, İstanbul, İzmir, Samsun, Şanlıurfa and Van in pessimistic scenario in 2020, respectively. According to the pessimistic and optimistic scenarios of the year, the ZWI values were obtained as 0.22-0.30; 0.25-0.40; 0.04-0.32; 0.23-0.36, 0.24-0.29; 0.25-0.45 and 0.24-0.31, respectively in 2035. Furthermore, greenhouse gas (GHG), water savings and potential energy which comes from resource recovery of municipal solid wastes are predicted by applying ZWI. Considering the results obtained in the study, it is estimated that ZWI can be applied as a creative tool in the examination of waste management performance and material substitution by a management systems of solid wastes.

To Cite:Doğdu Yüçetürk G, Alkan SN., 2024. Sıfır atık indeksi kullanılarak Türkiye'deki kentsel katı atık yönetiminde sıfır atık yaklaşımının incelenmesi. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 60-88.

Giriş

Dünya genelinde aşırı nüfus artışı ve kentleşme; sınırlı doğal kaynakların hızla tüketilerek yetersizleşmesine ve buna bağlı atık oluşumu neticesinde çevresel kaygıların artmasına neden olmaktadır. Küresel ölçekte değerlendirildiğinde, her türlü atığın hızla artışı çevreye olan olumsuz etkileri her geçen gün artırmakta ve sorunun çözümünü zorlaştırmaktadır. Atık yönetimi, tüm bu olumsuz etkilerin azaltılması ve çözüme yönelik adımların atılması aşamasında kritik rol üstlenmektedir.

Atık yönetimi felsefesi ve entegre tasarımın bir kompozisyonu olan sıfır atık (SA), atık miktarını azaltmak, mevcut atıkların geri dönüşüm aşamalarından geçirilerek yeniden kazanmak ve tüm bu süreçleri bir sistem içerisinde değerlendirmek olarak ifade edilir (URL-2). Ülkemizde SA Projesi; 2017 Haziran'da Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Ankara pilot il belirlenerek başlatılmış, konu ile ilgili yasal düzenlemeler; 12.07.2019 tarih ve 30829 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren SA Yönetmeliği ile yapılmış, ilgili yönetmelik 16.10.2021 tarihinde revize edilmiştir(URL-1).Bu kapsamda SA yönetimini ülke genelinde yaygınlaştırmak üzere; mahalli idareler, havalimanları, limanlar, iş merkezi ve ticari plazalar, alışveriş merkezleri, sanayi tesisleri, eğitim kurumları ve yurtlar, konaklama tesisleri, sağlık kuruluşları gibi pek çok alanda uygulama zorunlu hale getirilmiştir.SA kitabı, ülkemizde sürdürülen SA hareketinin 5. yılına atfedilerek 21 makaleden oluşan kapsamlı bir çalışma sunmaktadır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022).

Ülkemizde SA iyi uygulama örnekleri olarak Kepez Belediyesi (Antalya), Haliliye Belediyesi (Şanlıurfa), Kızılcahamam Belediyesi (Ankara), Beykoz Belediyesi (İstanbul), Selçuklu Belediyesi (Konya), Karatay Belediyesi (Konya), Zeytinburnu Belediyesi (İstanbul) sunulmuştur. Yapılan uygulamalar şu şekildedir (URL-3):

- Kepez Belediyesi (Antalya) İsrar Olmasın Mama Olsun Projesi 20/07/2023: Proje kapsamında, belediye hizmet binası yemekhanesi, belediye kreşleri, okullar, hastaneler ve cezaevlerinden kaynaklı yemek atıkları belediye ekiplerince günlük toplanarak kedi ve köpek maması üretimi gerçekleştirildiği; 20 tondan fazla yemek atığı toplanarak yaklaşık 4,5 ton mama üretimi sağlandığı belirtilmiştir.
- Haliliye Belediyesi (Şanlıurfa) SA Teşvik Market Projesi 12/07/2023: Proje kapsamında, ilçede yaşayan vatandaşların atıklarını ayrı biriktirmeleri teşvik edilerek kurulan “Atığın Sıfır Noktası SA Teşvik Market”lerinden atık miktarlarının kilogram karşılıkları belediye tarafından verilen karta puan olarak yüklenmektedir. Proje ile yaklaşık 1.000.000 kg geri kazanılabilir atık toplandığı açıklanmıştır.
- Kızılcahamam Belediyesi (Ankara)Çevre Puan Projesi 20/06/2023:Proje kapsamında, atıkların kaynağında ayrı toplanması teşvik edilmesi amaçlanarak toplanan atık tür ve miktarlarına göre vatandaşlara alışverişlerinde kullanabilecekleri puan yüklenmektedir. Proje sayesinde, SA Bahçesi ile 1 yılda yaklaşık 83 ton geri kazanılabilir atık; Depozito İade Uygulaması ile 10 ayda 121 bin cam şişe, 300 bin pet şişe, 25 bin teneke kutu, 44 ton içecek ambalajı; SA Otobüsü ile 29,5 ton geri kazanılabilir atık toplandığı belirtilmiştir.
- Beykoz Belediyesi (İstanbul)Ardıç Sofrası 31/05/2023: Proje kapsamında, Beykoz ilçesinde biyobozunur atıkların geri kazanılması ile organik atık kaynaklı karbondioksit emisyonu azaltılması amaçlanmıştır. Proje sayesinde, 1.642.331,4 kg biyobozunur atığın geri kazanıldığı açıklanmıştır.
- Selçuklu Belediyesi (Konya)Atık Kumbaram & Geri Dönüşümde Hayat Var 23/05/2023: Atık Kumbaram Projesi kapsamında, vatandaşların atıkları kaynağında ayrı toplaması teşvik edilerek Atık Kumbaram Kartlarına TL yükleme yapılmaktadır. Bu proje sayesinde, 10 ayda yaklaşık 202 ton geri kazanılabilir atık toplandığı belirtilmiştir. Geri Dönüşümde Hayat Var projesi kapsamında, Selçuklu Belediyesi sınırları içindeki parklardan çıkan çim, ağaç vb. ile semt pazarı ve toptancı halinden çıkan biyobozunur atıklardan kompost elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu proje sayesinde, 2022 yılında 1.060 ton kompost elde edildiği ifade edilmiştir.
- Karatay Belediyesi (Konya)Atığın Sıfır Noktası 18/05/2023: Proje kapsamında, vatandaşların atıkları kaynağında ayrı toplaması ve karşılığında aldıkları puana göre hediye sunulmaktadır. Bu proje sayesinde, 464.559 kg atık toplandığı açıklanmıştır.

- Zeytinburnu Belediyesi (İstanbul) Atık Kazanç 03/05/2023: Proje kapsamında, vatandaşların atıkları kaynağında ayrı biriktirmesi ve buna karşılık kartlarına yüklenen miktarları alışverişlerinde harcaması hedeflenmiştir. Proje sayesinde, 2,5 yılda yaklaşık 5.700 ton geri kazanılabilir atık toplandığı belirtilmiştir.

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, belediyelerin SA yönetiminde kritik rol oynadığı ve yapılan projelerle vatandaşların SA konusunda bilinçlendirilirken teşvik edilmesiyle olumlu sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

SA yönetiminin etkilerini değerlendirme noktasında SAİ'nin incelenmesi önemli veriler sağlamaktadır. SAİ, atıklardan geri kazanılan bakir malzeme, enerji, su ve sera gazı emisyonlarının miktarını tahmin eder. Bu açıklamadan yola çıkıldığında SA yönetim sürecinin ve sonuçlarının etkileri ve katkılarının potansiyelini tespit etmede SAİ rolü önemlidir. Zaman ve Lehmann (2013), yaptıkları araştırmada Stockholm, Adelaide ve San Francisco gibi kentlerin SAİ değerlerini sırasıyla 0,17, 0,23 ve 0,51 olarak hesaplamış; SAİ'nin kentlerdeki atık yönetimi performansı ve atık yönetim sistemleri ile malzeme değerlendirilmesi için yenilikçi bir araç olduğunu açıklamışlardır. Yapılan bir araştırmada Endonezya İslam Üniversitesi için SAİ değeri 0,26 olarak hesaplanmıştır (Kasam Iresha ve Prasojo, 2018). Christiady ve ark. (2021), Bandung kenti SAİ'yi 0,05 olarak belirtmişlerdir.

Türkiye'de SA ile ilgili çalışmalar bulunmakla birlikte; SAİ hesaplaması ve değerlendirilmesi ile ilgili çalışmaların ülke genelindeki durumun değerlendirilmesi bakımından sınırlı kaldığı, daha küçük ölçekte değerlendirmeler yapıldığı görülmüştür. Doğdu (2022), yaptığı çalışmada İstanbul ili için SAİ hesaplamasını 2019 yılı atık miktarlarını kullanarak yapmış; 2023 ve 2035 yıllarını iyimser ve kötümser olarak iki farklı senaryoda değerlendirmiştir. Maçin ve Arıkan (2021), yaptıkları çalışmada İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Yerleşkesi için kampüste SA uygulaması yapıldığında SAİ değerini %63 olarak hesaplamış ve SA uygulamasının olumlu sonuçları olacağını belirtmişlerdir.

Geri kazanım oranının 2035 yılına kadar Türkiye genelinde SA projesinin kapsamlı uygulanmasıyla birlikte 60'a çıkarılması hedeflenmektedir (TÜÇA, 2022). Yapılan literatür taramasında Türkiye için SAİ hesaplanmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmanın özgün yönü, Türkiye'deki 7 farklı bölgenin en kalabalık illeri için ilk defa SAİ hesaplanması ve 2035 yılı için kaynak dönüşümüne bağlı atık yönetiminin ortaya koyulmasıdır. Bu çalışmada, katı atık yönetim sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında kullanışlı bir araç olabilecek SAİ'nin önemini vurgulayarak etkin kullanımının yaygınlaşmasına katkı sunulmuştur. Çalışmanın amacı, atık yönetiminde bir araç olan SAİ'yi kullanarak Türkiye'de kentsel katı atık yönetiminin mevcut ve gelecekteki SA yaklaşımıyla değerlendirilmesidir. Çalışma,

hâlihazırda yürütülen ve/veya yürütülmesi hedeflenen SA yönetimi politikalarının değerlendirilmesi ve gelecekte atılacak adımları belirlemesine yardımcı olması için bilimsel bir temel oluşturması hedeflemektedir.

Materyal ve Metot

Türkiye'nin jeopolitik açıdan önemli bir konuma sahip, nüfus yoğunluğu fazla bir ülke olduğu dikkate alındığında; atık yönetiminin stratejik bir öneme sahip olduğu açıktır. Bu çalışma kapsamında; TÜİK 2020 (URL-4) verilerine göre Türkiye'nin 7 bölgesinin en kalabalık illeri olan Ankara (İç Anadolu Bölgesi), Antalya (Akdeniz Bölgesi), İstanbul (Marmara Bölgesi), İzmir (Ege Bölgesi), Samsun (Karadeniz Bölgesi), Şanlıurfa (Güneydoğu Anadolu Bölgesi) ve Van (Doğu Anadolu Bölgesi) seçilerek bu illerin 2020 kötümser ve 2035 yılı için de iyimser ve kötümser senaryo olmak üzere iki farklı yaklaşıma göre SAİ'leri hesaplanmıştır. Türkiye sıfır atık projesi uygulamaları çerçevesinde, 2023 yılına kadar en az %35 oranında geri kazanım hedefine ulaşılması beklenirken 2035 yılında bu hedefin %60'lara çıkarılması planlanmaktadır (TÜÇA, 2022). Bu çalışmada, kötümser senaryo kapsamında atık geri dönüşümü yapılmadan yalnızca nüfus artışına bağlı hesaplamalar yapılarak sonuçlar buna göre değerlendirilmiştir. İyimser senaryoda ise, Türkiye sıfır atık projesi uygulamaları çerçevesinde oluşan atıkların 2035 yılında %60'nın geri dönüştürüldüğü kabul edilerek bu hedefe dayalı hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca Türkiye'de iller bazında atık istatistikleri toplu halde güncel olarak en son 2020 yılında TÜİK tarafından yayınlanmış olup (URL-5), 2035 yılı için hesaplamalar yapılırken 2020 yılındaki mevcut verilerden faydalanılmıştır.

SAİ ile atık yönetim sistemleri tarafından ikame edilebilecek bakir malzemelerin potansiyeli ölçülür. Yanı sıra, geri kazanılan malzeme ve miktarına bağlı olarak; enerji, sera gazı ve su tasarrufu sağlanmış olur. Zaman ve Swapan (2016), sera gazı, enerji ve su tasarrufunun yanı sıra malzemelerin ikame verimliliği değerlendirilmesinin de SAİ ile ölçülebileceğini ifade etmişlerdir. SAİ hesaplaması, katı atıklardan geri kazanılabilme potansiyeli olan işlenmemiş malzeme miktarının, yönetilebilen toplam katı atık miktarına bölünmesiyle elde edilir. SAİ, Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılarak elde edilmektedir (Zaman ve Lehmann, 2013):

$$SAİ(ZWI) = \frac{\sum \text{kent tarafından yönetilen potansiyel atık miktarı} * \text{sistemler için ikame faktörü}}{\text{kentte oluşan toplam atık miktarı}} \quad (1)$$

$$SAİ (ZWI) = \frac{\sum_{i=1}^n MSW_{ij} \times SF_{ij}}{\sum_{i=1}^n MSW_i} \quad (2)$$

MSW_{ij} =sistem tarafından yönetilebilen atık miktarı ($i= 1,2,3,...n=$ cam, karışık, organik, vb.; $j=1,2,3,... n=$ kaçınılan, geri dönüştürülebilir, arıtılabilir, atık miktarı).

SF_{ij} = sistem tarafından yönetilebilen atık miktarı için ikame faktörü ($i= 1,2,3,...n=$ cam, karışık, organik vb.; $j=1,2,3,... n=$ kaçınılan, geri dönüştürülebilir, arıtılabilir, atık miktarı).

MSW_i = yönetilebilen toplam kentsel katı atık miktarı($i= 1,2,3,...n=$ cam, karışık, organik, vb).

SAİ için atık yönetim sistemlerinden gelen kaynağın ikame değerleri; malzeme, enerji, sera gazları (GHG) emisyonları ve su olarak Tablo 1’de gösterilmiştir (Zaman, 2014).

Tablo 1. SAİ için atık yönetim sistemlerinden gelen kaynağın ikame değerleri(Zaman, 2014)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Bakir malzeme ikame verimliliği (ton)	Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)	Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)	Su tasarrufu (kL/ton)
Geri Dönüşüm	Kâğıt	0,84-1,00	6,33-10,76	0,60-3,20	2,91
	Cam	0,90-1,00	6,07-6,85	0,18-0,62	2,30
	Metal	0,79-0,96	36,09-191,42	1,40-17,8	5,97-181,77
	Plastik	0,90-0,97	38,81-64,08	0,95-1,88	-11,37
Kompostlama	Karışık	0,25-0,45	5,00-15,00	1,15	2,0-10
	Organik	0,60-0,65	0,18-0,47	0,25-0,75	0,44
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	0,00	0,00-0,84 ^b	(-)0,42-1,2	0,00

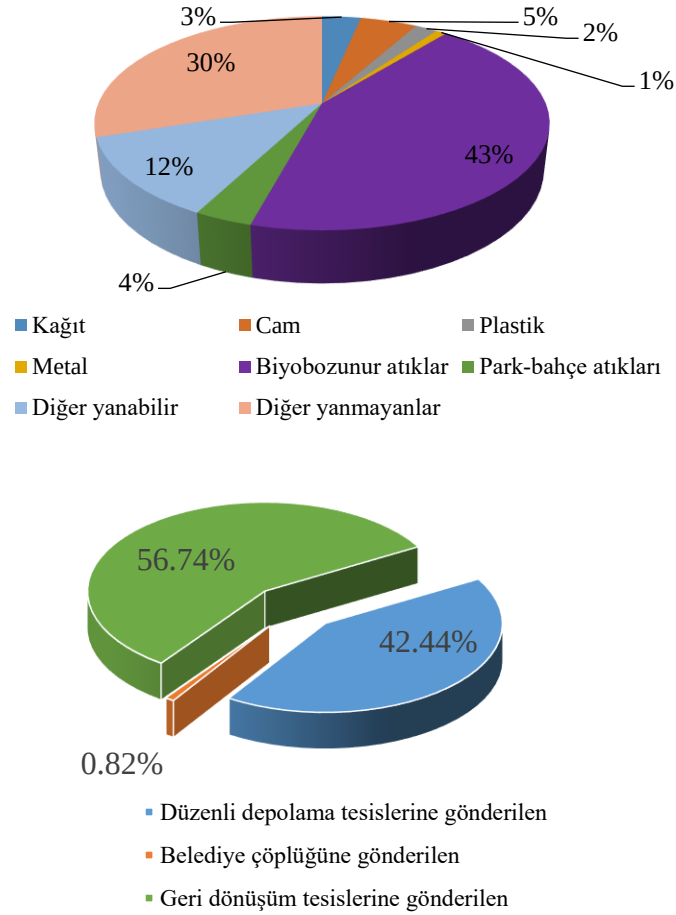
Pozitif bir değer tasarrufları, negatif bir değer ise talebi veya tükenmeyi ifade eder.

^a Kentsel atığın ortalama bileşimi (MW)

^c Depolama tesisinden gelen enerji.

Vaka Çalışması: Türkiye İçin SAİ Model Önerisi

İç Anadolu Bölgesi’nde bulunan başkentimiz Ankara’nın 2020 kentsel atık kompozisyonu ve atık yönetimi Şekil 1-a ve Şekil 1-b’de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 1(a). Ankara'nın 2020 yılı kentsel atık kompozisyonu (URL-6), (b) Ankara 2020 yılı atık yönetimi (URL-5)

2020 ve 2035 yıllarına ait Ankara'daki atık miktarlarına göre SAİ hesaplarının yer aldığı bilgiler Tablo 2, 3 ve 4'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Ankara ilinin 2020 yılı kötümser senaryoya ait SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	39808	0,84	33439	6,33	251985	0,60	23885	2,91	115841
	Cam	58264	0,90	52438	6,07	353665	0,18	10488	2,30	134008
	Metal	10857	0,79	8577	36,09	391819	1,40	15199	5,97	64815
	Plastik	22920	0,90	20628	38,81	889516	0,95	21774	-11,37	-260598
	Karışık	552125	0,25	138031	5,00	2760625	1,15	634944	2,0	1104250
Kompostlama	Organik	522329	0,60	313398	0,18	94019	0,25	130582	0,44	229825
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	902282	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-378959	0,00	0,00
Toplam değer		2108585	566510		4741628,642		457913		1388141,164	
Kişi başına yıllık fayda		0,37	0,10		0,84		0,08		0,25	
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,27								

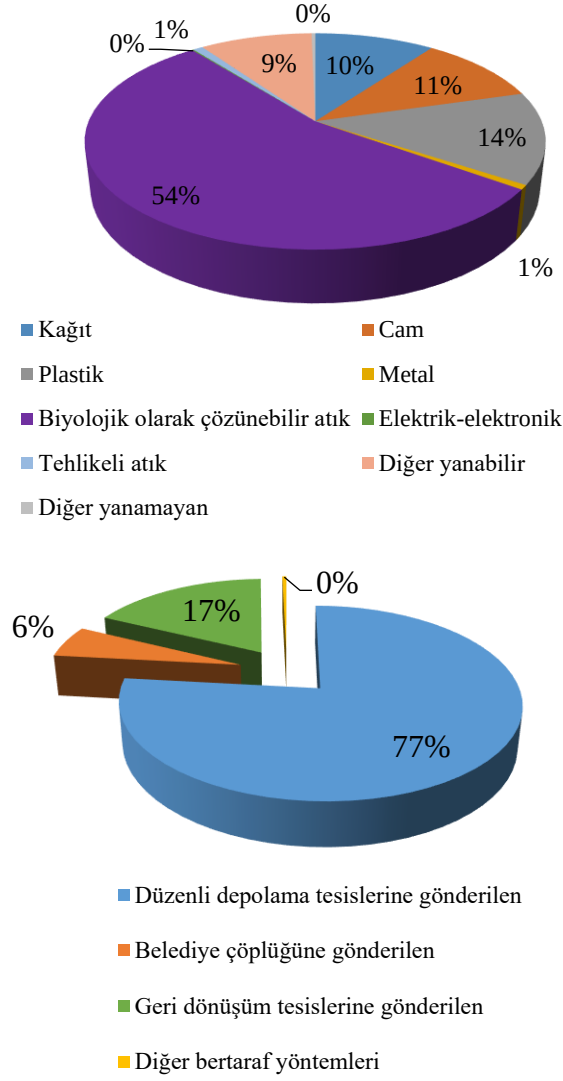
Tablo 3. Ankara ilinin 2035 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakir malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	39808	0,84	33439	6,33	251985	0,60	23885	2,91	115841
	Cam	58264	0,90	52438	6,07	353665	0,18	10488	2,30	134008
	Metal	10857	0,79	8577	36,09	391819	1,40	15199	5,97	64815
	Plastik	22920	0,90	20628	38,81	889516	0,95	21774	-11,37	-260598
	Karışık	552125	0,25	138031	5,00	2760625	1,15	634944	2,0	1104250
Kompostlama	Organik	522329	0,60	313398	0,18	94019	0,25	130582	0,44	229825
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	1317713	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-553439	0,00	0,00
Toplam değer		2524016		566510		4741629		283432		1388141
Kişi başına yıllık fayda		0,38		0,08		0,71		0,04		0,21
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,22								

Tablo 4. Ankara ilinin 2035 yılı iyimser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakir malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	49976	0,84	41979	6,33	316345	0,60	29985	2,91	145429
	Cam	73146	0,90	65831	6,07	443996	0,18	13166	2,30	168236
	Metal	13630	0,79	10767	36,09	491895	1,40	19082	5,97	81369
	Plastik	28774	0,90	25896	38,81	1116710	0,95	27335	-11,37	-327158
	Karışık	552608	0,25	138152	5,00	2763040	1,15	635499	2,0	1105216
Kompostlama	Organik	796277	0,60	477766	0,18	143330	0,25	199069	0,44	350362
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	1009606	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-424035	0,00	0,00
Toplam değer		2524016		760393		5275316,862		500101,9437		1523453,581
Kişi başına yıllık fayda		0,38		0,11		0,78		0,07		0,23
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,30								

Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Antalya'nın 2020 kentsel atık kompozisyonu ve atık yönetimi Şekil 2-a ve Şekil 2-b'de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 2. (a)Antalya'nın 2020 yılı kentsel atık kompozisyonu (URL-7) , (b) Antalya 2020 yılı atık yönetimi (URL-5)

2020 ve 2035 yıllarına ait Antalya'daki atık miktarlarına göre SAİ hesaplarının yer aldığı bilgiler Tablo 5, 6 ve 7'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Antalya ilinin 2020 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakir malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	22775	0,84	19131	6,33	144166	0,60	13665	2,91	66275
	Cam	23761	0,90	21385	6,07	144232	0,18	4277	2,30	54651
	Metal	1479	0,79	1169	36,09	53395	1,40	2071	5,97	8833
	Plastik	31159	0,90	28043	38,81	1209273	0,95	29601	-11,37	-354276
	Karışık	1116103	0,25	279026	5,00	5580513	1,15	1283518	2,0	2232205
Kompostlama	Organik	123335	0,60	74001	0,18	22200	0,25	30834	0,44	54267
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	1015332	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-426439	0,00	0,00
Toplam değer		2333944		422755		7153778,661		937527		2061955,960
Kişi başına yıllık fayda		0,92		0,17		2,81		0,37		0,81
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,18								

Tablo 6. Antalya ilinin 2035 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

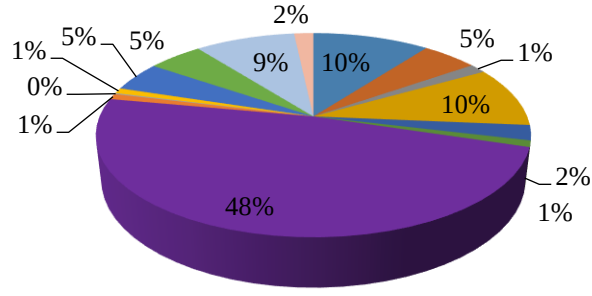
Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakir malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	22775	0,84	19131	6,33	144166	0,60	13665	2,91	66275
	Cam	23761	0,90	21385	6,07	144232	0,18	4277	2,30	54651
	Metal	1479	0,79	1169	36,09	53395	1,40	2071	5,97	8833
	Plastik	31159	0,90	28043	38,81	1209273	0,95	29601	-11,37	-354276
	Karışık	1116103	0,25	279026	5,00	5580513	1,15	1283518	2,0	2232205
Kompostlama	Organik	123335	0,60	74001	0,18	22200	0,25	30834	0,44	54267
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	395584	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-166145	0,00	0,00
Toplam değer		1714196		422755		7153779		1197821		2061956
Kişi başına yıllık fayda		0,52		0,13		2,16		0,36		0,62
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,25								

Tablo 7. Antalya ilinin 2035 yılı iyimser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

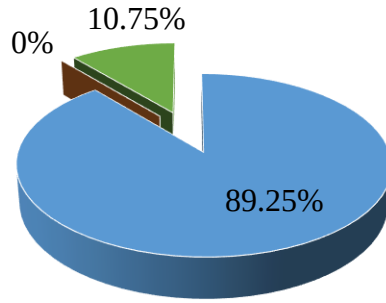
Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	104497	0,84	87778	6,33	661468	0,60	62698	2,91	304087
	Cam	109023	0,90	98121	6,07	661769	0,18	19624	2,30	250753
	Metal	6788	0,79	5363	36,09	244987	1,40	9504	5,97	40526
	Plastik	142964	0,90	128668	38,81	5548431	0,95	135816	-11,37	-1625500
	Karışık	99355	0,25	24839	5,00	496774	1,15	114258	2,0	198710
Kompostlama	Organik	565890	0,60	339534	0,18	101860	0,25	141473	0,44	248992
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	685678	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-287985	0,00	0,00
Toplam değer		1714196		684302		7715289,265		195387,4949		-582433,0797
Kişi başına yıllık fayda		0,52		0,21		2,33		0,06		-0,18
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,40								

Marmara Bölgesi'nde bulunan İstanbul'un 2020 kentsel atık kompozisyonu ve atık yönetimi Şekil 3-a ve Şekil 3-b'de sırasıyla gösterilmiştir.

2020 ve 2035 yıllarına ait İstanbul'daki atık miktarlarına göre SAİ hesaplarının yer aldığı bilgiler Tablo 8, 9 ve 10'da gösterilmiştir.



■ Kağıt
 ■ Hijyenik ped
 ■ Plastik
 ■ Biyolojik olarak çözünebilir atık
 ■ Elektrik-elektronik
 ■ Tekstil
 ■ Diğer yanabilir
 ■ Cam
 ■ Poşet
 ■ Metal
 ■ Kompozit
 ■ Tehlikeli atık
 ■ Bebek bezi
 ■ Diğer yanamayan



■ Düzenli depolama tesislerine gönderilen
 ■ Belediye çöplüğüne gönderilen
 ■ Geri dönüşüm tesislerine gönderilen

Şekil 3. (a) İstanbul'un 2020 yılı kentsel atık kompozisyonu (URL-8) , (b) İstanbul 2020 yılı atık yönetimi (URL-5)

Tablo 8. İstanbul ilinin 2020 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	77657	0,84	65232	6,33	491571	0,60	46594	2,91	225983
	Cam	36884	0,90	33195	6,07	223883	0,18	6639	2,30	84832
	Metal	7481	0,79	5910	36,09	270005	1,40	10474	5,97	44664
	Plastik	17806	0,90	16025	38,81	691044	0,95	16916	-11,37	-202452
	Karışık	247935	0,25	61984	5,00	1239675	1,15	285125	2,0	495870
Kompostlama	Organik	360381	0,60	216229	0,18	64869	0,25	90095	0,44	158568
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	6211337	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-2608762	0,00	0,00
Toplam değer		6959481		398575		2981047,301		-2152918		807464,595
Kişi başına yıllık fayda		0,45		0,03		0,19		-0,14		0,05
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,06								

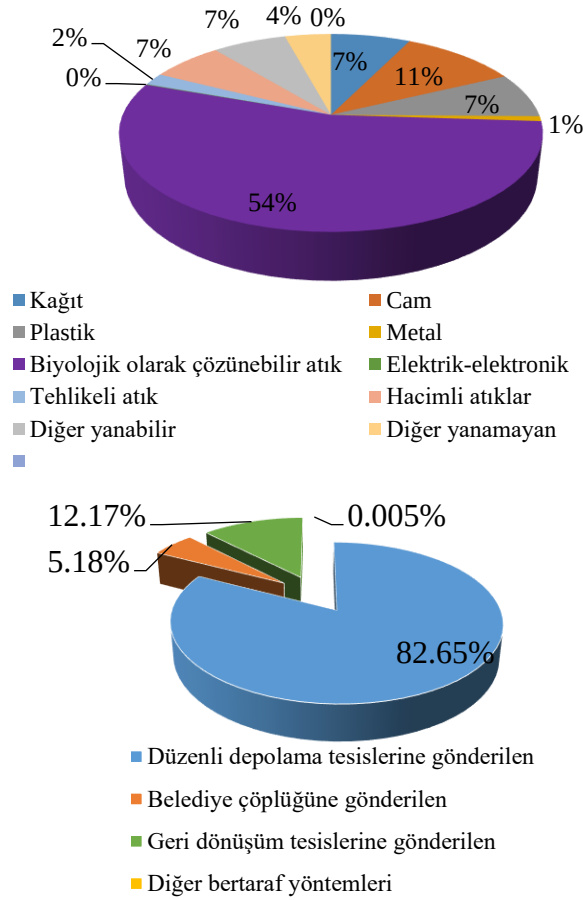
Tablo 9. İstanbul ilinin 2035 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	77657	0,84	65232	6,33	491571	0,60	46594	2,91	225983
	Cam	36884	0,90	33195	6,07	223883	0,18	6639	2,30	84832
	Metal	7481	0,79	5910	36,09	270005	1,40	10474	5,97	44664
	Plastik	17806	0,90	16025	38,81	691044	0,95	16916	-11,37	-202452
	Karışık	247935	0,25	61984	5,00	1239675	1,15	285125	2,0	495870
Kompostlama	Organik	360381	0,60	216229	0,18	64869	0,25	90095	0,44	158568
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	8253638	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-3466528	0,00	0,00
Toplam değer		9001782		398575		2981047		-3010684		807465
Kişi başına yıllık fayda		0,45		0,02		0,15		-0,15		0,04
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,04								

Tablo 10. İstanbul ilinin 2035 yılı iyimser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	560631	0,84	470930	6,33	3548794	0,60	336379	2,91	1631436
	Cam	266273	0,90	239645	6,07	1616275	0,18	47929	2,30	612427
	Metal	54011	0,79	42668	36,09	1949246	1,40	75615	5,97	322444
	Plastik	128545	0,90	115691	38,81	4988849	0,95	122118	-11,37	-1461562
	Karışık	1789914	0,25	447479	5,00	8949572	1,15	2058402	2,0	3579829
Kompostlama	Organik	2601695	0,60	1561017	0,18	468305	0,25	650424	0,44	1144746
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	3600713	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-1512299	0,00	0,00
Toplam değer		9001782		2877430		21521041,47		1778566,732		5829320,126
Kişi başına yıllık fayda		0,45		0,14		1,08		0,09		0,29
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,32								

Ege Bölgesi'nde bulunan İzmir'in 2020 kentsel atık kompozisyonu ve atık yönetimi Şekil 4-a ve Şekil 4-b'de sırasıyla gösterilmiştir.

**Şekil 4.** (a)İzmir'in 2020 yılı kentsel atık kompozisyonu (URL-9) , (b) İzmir 2020 yılı atık yönetimi (URL-5)

2020 ve 2035 yıllarına ait İzmir'deki atık miktarlarına göre SAİ hesaplarının yer aldığı bilgiler Tablo 11, 12 ve 13'te gösterilmiştir.

Tablo 11. İzmir ilinin 2020 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	20676	0,84	17368	6,33	130882	0,60	12406	2,91	60168
	Cam	30147	0,90	27132	6,07	182993	0,18	5426	2,30	69339
	Metal	2304	0,79	1820	36,09	83141	1,40	3225	5,97	13753
	Plastik	20932	0,90	18839	38,81	812386	0,95	19886	-11,37	-238001
	Karışık	2108291	0,25	527073	5,00	10541453	1,15	2424534	2,0	4216581
Kompostlama	Organik	154604	0,60	92762	0,18	27829	0,25	38651	0,44	68026
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	1931492	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-811227	0,00	0,00
Toplam değer		4268446		684995		11778682,42		1692901		4189865,540
Kişi başına yıllık fayda		0,97		0,16		2,68		0,39		0,95
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,16								

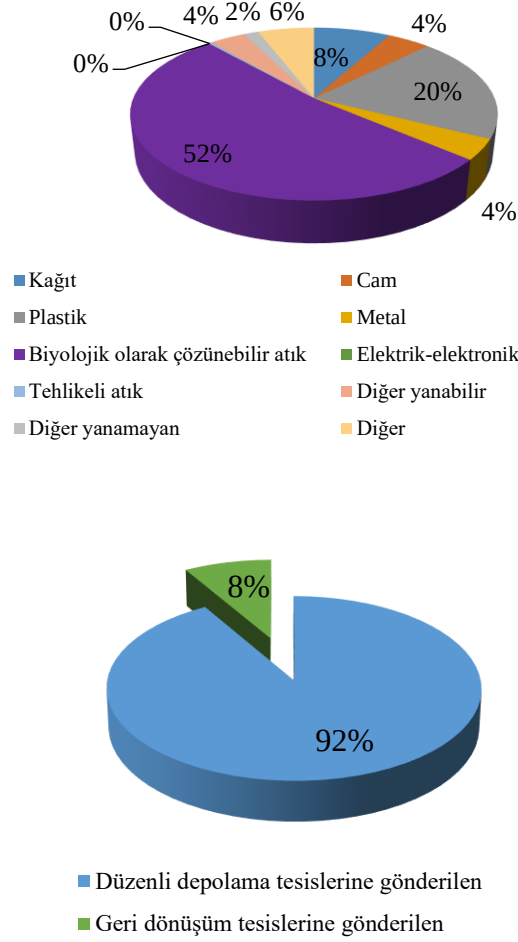
Tablo 12. İzmir ilinin 2035 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	20676	0,84	17368	6,33	130882	0,60	12406	2,91	60168
	Cam	30147	0,90	27132	6,07	182993	0,18	5426	2,30	69339
	Metal	2304	0,79	1820	36,09	83141	1,40	3225	5,97	13753
	Plastik	20932	0,90	18839	38,81	812386	0,95	19886	-11,37	-238001
	Karışık	2108291	0,25	527073	5,00	10541453	1,15	2424534	2,0	4216581
Kompostlama	Organik	154604	0,60	92762	0,18	27829	0,25	38651	0,44	68026
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	701086	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-294456	0,00	0,00
Toplam değer		3038040		684995		11778682		2209672		4189866
Kişi başına yıllık fayda		0,53		0,12		2,06		0,39		0,73
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,23								

Tablo 13. İzmir ilinin 2035 yılı iyimser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	132519	0,84	111316	6,33	838847	0,60	79512	2,91	385631
	Cam	193219	0,90	173897	6,07	1172841	0,18	34779	2,30	444405
	Metal	14765	0,79	11664	36,09	532864	1,40	20671	5,97	88146
	Plastik	134160	0,90	120744	38,81	5206744	0,95	127452	-11,37	-1525398
	Karışık	357274	0,25	89318	5,00	1786368	1,15	410865	2,0	714547
Kompostlama	Organik	990887	0,60	594532	0,18	178360	0,25	247722	0,44	435990
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	1215216	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-510391	0,00	0,00
Toplam değer		3038040		1101472		9716024,407		410609,3609		543321,8937
Kişi başına yıllık fayda		0,53		0,19		1,70		0,072		0,10
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,36								

Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Samsun'un 2020 kentsel atık kompozisyonu ve atık yönetimi Şekil 5-a ve Şekil 5-b'de sırasıyla gösterilmiştir. 2020 ve 2035 yıllarına ait Samsun'daki atık miktarlarına göre SAİ hesaplarının yer aldığı bilgiler Tablo 14, 15 ve 16'da gösterilmiştir.



Şekil 5. (a) Samsun'un 2020 yılı kentsel atık kompozisyonu (URL-10) , (b) Samsun 2020 yılı atık yönetimi (URL-5)

Tablo 14. Samsun ilinin 2020 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	2411	0,84	2025	6,33	15262	0,60	1447	2,91	7016
	Cam	1349	0,90	1214	6,07	8186	0,18	243	2,30	3102
	Metal	1151	0,79	909	36,09	41523	1,40	1611	5,97	6869
	Plastik	5923	0,90	5330	38,81	229853	0,95	5626	-11,37	-67339
	Karışık	366536	0,25	91634	5,00	1832679	1,15	421516	2,0	733072
Kompostlama	Organik	15580	0,60	9348	0,18	2804	0,25	3895	0,44	6855
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	361512	0,00	0,00	0,00	0,00	(-),0,42	-151835	0,00	0,00
Toplam değer		754460	110460		2130307,862		282502		689574,537	
Kişi başına yıllık fayda		0,56	0,08		1,57		0,21		0,51	
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,15								

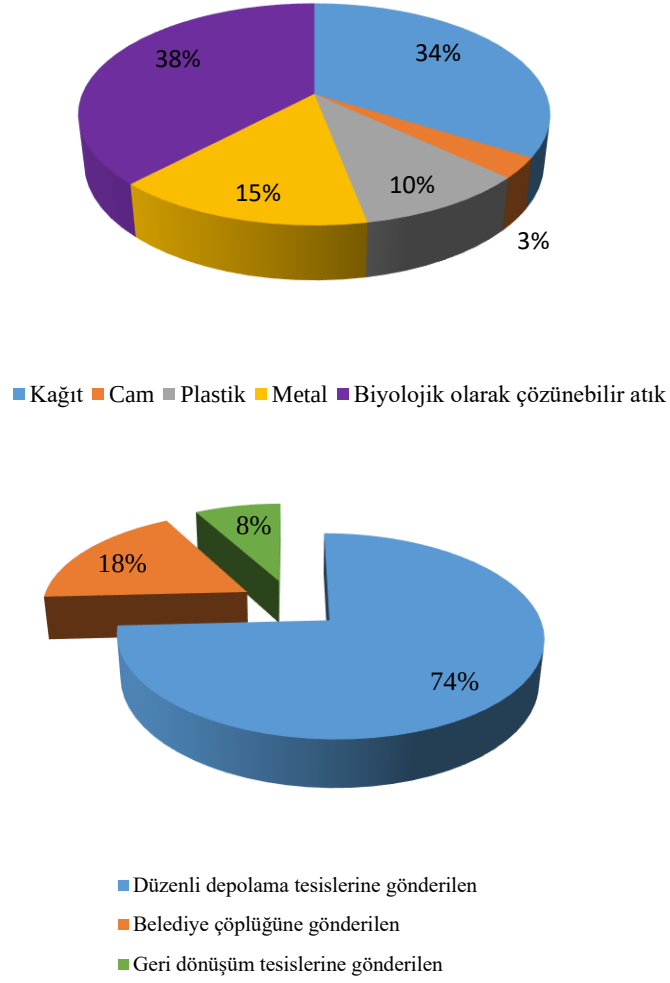
Tablo 15. Samsun ilinin 2035 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakir malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	2411	0,84	2025	6,33	15262	0,60	1447	2,91	7016
	Cam	1349	0,90	1214	6,07	8186	0,18	243	2,30	3102
	Metal	1151	0,79	909	36,09	41523	1,40	1611	5,97	6869
	Plastik	5923	0,90	5330	38,81	229853	0,95	5626	-11,37	-67339
	Karışık	366536	0,25	91634	5,00	1832679	1,15	421516	2,0	733072
Kompostlama	Organik	15580	0,60	9348	0,18	2804	0,25	3895	0,44	6855
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	58942	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-24756	0,00	0,00
Toplam değer		451890		110460		2130308		409582		689575
Kişi başına yıllık fayda		0,29		0,07		1,37		0,26		0,44
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,24								

Tablo 16. Samsun ilinin 2035 yılı iyimser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakir malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	20796	0,84	17469	6,33	131639	0,60	12478	2,91	60516
	Cam	11632	0,90	10468	6,07	70604	0,18	2094	2,30	26753
	Metal	9924	0,79	7840	36,09	358140	1,40	13893	5,97	59243
	Plastik	51082	0,90	45974	38,81	1982480	0,95	48528	-11,37	-580799
	Karışık	162464	0,25	40616	5,00	812318	1,15	186833	2,0	324927
Kompostlama	Organik	15238	0,60	9143	0,18	2743	0,25	3809	0,44	6705
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	180756	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-75918	0,00	0,00
Toplam değer		451890		131509		3357923,827		191716,8528		-102654,4062
Kişi başına yıllık fayda		0,29		0,08		2,15		0,12		-0,07
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,29								

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Şanlıurfa'nın 2020 kentsel atık kompozisyonu ve atık yönetimi Şekil 6-a ve Şekil 6-b'de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 6. (a)Şanlıurfa'nın 2020 yılı kentsel atık kompozisyonu (URL-11) , (b) Şanlıurfa 2020 yılı atık yönetimi (URL-5)

2020 ve 2035 yıllarına ait Şanlıurfa'daki atık miktarlarına göre SAİ hesaplarının yer aldığı bilgiler Tablo 17, 18 ve 19'da gösterilmiştir.

Tablo 17. Şanlıurfa ilinin 2020 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	16740	0,84	14062	6,33	105965	0,60	10044	2,91	48714
	Cam	1477	0,90	1329	6,07	8966	0,18	266	2,30	3397
	Metal	7385	0,79	5834	36,09	266538	1,40	10340	5,97	44091
	Plastik	4924	0,90	4431	38,81	191084	0,95	4677	-11,37	-55981
	Karışık	566211	0,25	141553	5,00	2831055	1,15	651143	2,0	1132422
Kompostlama	Organik	18710	0,60	11226	0,18	3368	0,25	4677	0,44	8232
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	455431	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-191281	0,00	0,00
Toplam değer		1070877		178435		3406975,071		489866		1180874,816
Kişi başına yıllık fayda		0,51		0,08		1,61		0,23		0,56
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,17								

Tablo 18. Şanlıurfa ilinin 2035 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

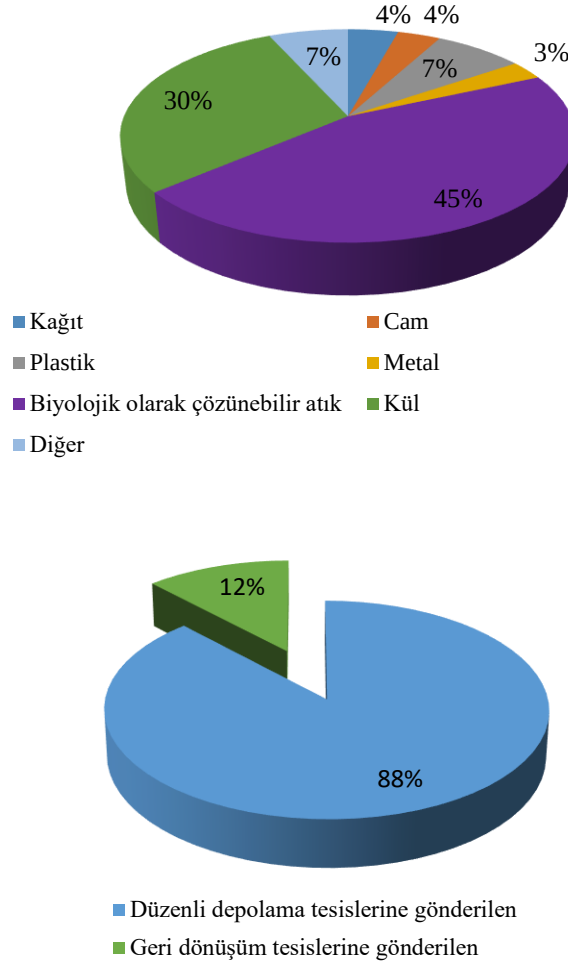
Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	16740	0,84	14062	6,33	105965	0,60	10044	2,91	48714
	Cam	1477	0,90	1329	6,07	8966	0,18	266	2,30	3397
	Metal	7385	0,79	5834	36,09	266538	1,40	10340	5,97	44091
	Plastik	4924	0,90	4431	38,81	191084	0,95	4677	-11,37	-55981
	Karışık	566211	0,25	141553	5,00	2831055	1,15	651143	2,0	1132422
Kompostlama	Organik	18710	0,60	11226	0,18	3368	0,25	4677	0,44	8232
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	92317	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-38773	0,00	0,00
Toplam değer		707764		178435		3406975		642374		1180875
Kişi başına yıllık fayda		0,29		0,07		1,40		0,26		0,49
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,25								

Tablo 19. Şanlıurfa ilinin 2035 yılı iyimser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-5)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	144384	0,84	121282	6,33	913949	0,60	86630	2,91	420157
	Cam	12740	0,90	11466	6,07	77330	0,18	2293	2,30	29301
	Metal	63699	0,79	50322	36,09	2298887	1,40	89178	5,97	380281
	Plastik	42466	0,90	38219	38,81	1648099	0,95	40343	-11,37	-482836
	Karışık	0,00	0,25	0,00	5,00	0,00	1,15	0,00	2,0	0,00
Kompostlama	Organik	161370	0,60	96822	0,18	29047	0,25	40343	0,44	71003
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	283105	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-118904	0,00	0,00
Toplam değer		707764		318111		4967312,166		139882,4187		417906,1573
Kişi başına yıllık fayda		0,29		0,13		2,04		0,06		0,17
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,45								

Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Van'ın 2020 kentsel atık kompozisyonu ve atık yönetimi Şekil 7-a ve Şekil 7-b'de sırasıyla gösterilmiştir.

2020 ve 2035 yıllarına ait Van'daki atık miktarlarına göre SAİ hesaplarının yer aldığı bilgiler Tablo 20, 21 ve 22'de gösterilmiştir.



Şekil 7. (a)Van'ın 2020 yılı kentsel atık kompozisyonu (URL-12) , (b) Van 2020 yılı atık yönetimi (URL-5)

Tablo 20. Van ilinin 2020 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-6)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	2696	0,84	2265	6,33	17068	0,60	1618	2,91	7846
	Cam	2306	0,90	2075	6,07	13995	0,18	415	2,30	5303
	Metal	1843	0,79	1456	36,09	66520	1,40	2580	5,97	11004
	Plastik	4754	0,90	4279	38,81	184522	0,95	4517	-11,37	-54059
	Karışık	502494	0,25	125623	5,00	2512469	1,15	577868	2,0	1004988
Kompostlama	Organik	28657	0,60	17194	0,18	5158	0,25	7164	0,44	12609
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	477621	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-200601	0,00	0,00
Toplam değer		1020372		152893		2799733,347		393562		987691,501
Kişi başına yıllık fayda		0,89		0,13		2,44		0,34		0,86
SA indeksi (SAİ=v/iv)		0,15								

Tablo 21. Van ilinin 2035 yılı kötümser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-6)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	2696	0,84	2265	6,33	17068	0,60	1618	2,91	7846
	Cam	2306	0,90	2075	6,07	13995	0,18	415	2,30	5303
	Metal	1843	0,79	1456	36,09	66520	1,40	2580	5,97	11004
	Plastik	4754	0,90	4279	38,81	184522	0,95	4517	-11,37	-54059
	Karışık	502494	0,25	125623	5,00	2512469	1,15	577868	2,0	1004988
Kompostlama	Organik	28657	0,60	17194	0,18	5158	0,25	7164	0,44	12609
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	81413	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-34193	0,00	0,00
Toplam değer		624163		152893		2799733		559969		987692
Kişi başına yıllık fayda		0,47		0,12		2,12		0,42		0,75
SAİ indeksi (SAİ=v/iv)		0,24								

Tablo 22. Van ilinin 2035 yılı iyimser senaryoya ilişkin SA indeksi (URL-6)

Atık yönetim sistemi	Atık kategorisi	Yönetilen toplam atık (ton) (iv)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)		Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)		Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)		Su tasarrufu (kL/ton)	
			Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel	Verim	Potansiyel
Geri Dönüşüm	Kâğıt	15504	0,84	13024	6,33	98142	0,60	9303	2,91	45117
	Cam	13257	0,90	11932	6,07	80471	0,18	2386	2,30	30492
	Metal	10598	0,79	8373	36,09	382492	1,40	14838	5,97	63272
	Plastik	27338	0,90	24605	38,81	1061002	0,95	25971	-11,37	-310837
	Karışık	143021	0,25	35755	5,00	715104	1,15	164474	2,0	286042
Kompostlama	Organik	164779	0,60	98867	0,18	29660	0,25	41195	0,44	72503
Düzenli depolama	Karışık Kentsel Atık (MW ^a)	249665	0,00	0,00	0,00	0,00	(-)0,42	-104859	0,00	0,00
Toplam değer		624163		192555		2366871,505		153307,1441		186588,0369
Kişi başına yıllık fayda		0,47		0,15		1,79		0,12		0,14
SAİ indeksi (SAİ=v/iv)		0,31								

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, Türkiye’den seçilen 7 ilin TÜİK 2020 verileri dikkate alınarak kötümser senaryoya göre 2020 yılı, iyimser ve kötümser senaryoya göre de 2035 yılı için SAİ değerleri bulunmuştur. Kötümser senaryo kapsamında değerlendirildiğinde, artan nüfusakarşın ülke atık yönetim hedeflerinin gerçekleştirilemediği kabul edildiğinde SAİ 2020 ve 2035 yılları değerlendirilmesi Tablo 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 20, 21’de yer almaktadır.

İyimser senaryo kapsamında, 2020 yılı bulunan SAİ değeriyle karşılaştırıldığında, nüfus artışıyla birlikte atık yönetimi hedeflerindeki %60 atık dönüşüm verimine dayalı (Tablo 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22) SAİ hesaplaması yapılmıştır. Denklem 1-2 ve Tablo 1 kullanılarak seçilen 7 il için hesaplanan SAİ değerleri Tablo 23’de verilmiştir. Buna göre en düşük SAİ değeri İstanbul 0,06, en yüksek SAİ değeri ise Ankara için 0,27 olarak bulunurken ortalama SAİ değeri 7 il için 0,16 hesaplanmıştır. Bu durum, kaynakların İstanbul ili için yaklaşık %6’sının, Ankara için %27’sinin ve 7 il ortalamasına göre %16’sının atık yönetim sistemlerinden üretilen atık miktarından geri kazanılabildiğini ifade eder. 2020 yılı SAİ ortalama değeri dikkate alındığında Van, Samsun ve İstanbul illeri için SAİ değerleri sırasıyla 0,15, 0,15 ve 0,06 olarak elde edilmiş olup her üç il de ortalama değerin altında kalmıştır. 2035 yılı kötümser senaryo için en yüksek SAİ değerlerine sahip iller Antalya (0,25) ve Şanlıurfa (0,25) olarak elde edilmiştir. 2035 kötümser senaryo için 7 ilin SAİ değeri ortalaması 0,21 olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerin altında kalan tek il İstanbul (0,04)’dur. 2035 iyimser senaryo için SAİ değeri en yüksek olan 0,45 ile Şanlıurfa olurken 7 ilin ortalama değeri 0,35 olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerin altında kalan iller Ankara (0,30), İstanbul (0,32), Samsun (0,29) ve Van (0,31) olarak tespit edilmiştir. Antalya, İzmir ve Şanlıurfa her üç senaryo için de ortalama değerin üzerinde hesaplanmıştır (Tablo 23). Buna karşılık İstanbul her üç durum için de ortalama SAİ değerinin altında hesaplanmıştır. Bu durum dikkate alındığında, İstanbul ili için 2020 yılı %6, 2035 yılında ise kötümserde %4 ve 2035 iyimser senaryoya göre ise %32 geri kazanıldığı görülmektedir. Bu durumda İstanbul ili için atık yönetim sisteminde geri dönüşüm payının hızlı nüfus artışı da göz önünde bulundurularak hızla arttırılması gerekmektedir.

Tablo 23. Türkiye’deki 7 il için SAİ değerleri

İl	2020 Kötümser senaryo için SAİ	2035 Kötümser senaryo için SAİ	2035 İyimser senaryo için SAİ
Ankara	0,27	0,22	0,30
Antalya	0,18	0,25	0,40
İstanbul	0,06	0,04	0,32
İzmir	0,16	0,23	0,36
Samsun	0,15	0,24	0,29
Şanlıurfa	0,17	0,25	0,45
Van	0,15	0,24	0,31
ORTALAMA	0,16	0,21	0,35

Tablo 24’de Türkiye’deki 7 il için 3 farklı durumda kişi başına düşen fayda değerleri gösterilmektedir. 2020 yılı için bakır malzeme verimliliği en yüksek olan il 0,17 ton ile Antalya, en düşük olan il ise 0,03 ton ile İstanbul’dur. Yani Antalya ilinde birey kaynaklı kentsel katı atığın %18’i (170 kg) geri kazanılırken İstanbul ilinde birey kaynaklı üretilen

kentsel katı atığın %6'sı (30 kg) geri kazanılabilinmiştir. 2035 yılı kötümser senaryosunda bakır malzeme en yüksek 0,13 ton ile Antalya, en düşük 0,2 ton ile İstanbul'dur. 2035 yılı iyimser senaryoda en yüksek değer 0,21 ton ile Antalya, en düşük 0,08 ton ile Samsun'dur. Atıklar, enerjinin tüketilmesine neden olan unsurlardandır. Atıklardan kaynakların geri kazanılabilmesi, büyük miktarda enerji tasarrufu sağlayan potansiyellerdendir. Kötümser senaryo dikkate alındığında, enerji tasarrufu en yüksek il olan Antalya için 2020'den 2035 yılına gelindiğinde 2,81 GJ'den 2,16 GJ'e kadar gerilerken enerji tasarrufu en düşük il olan İstanbul için 0,19 GJ'den 0,15 GJ'e gerilemiştir. İyimser senaryoya göre, 2035 yılında, Antalya 2,33 GJ ile en yüksek miktarda enerji talebini atık yönetim sistemlerinde geri kazanılan kaynaklardan yerine koymuştur. Çevresel sorunların başlıcalarından biri, atıkların yakılması nedeniyle sera gazı (GHG) emisyonu konsantrasyonlarını artırıp küresel iklim değişikliğine neden olmasıdır. Her kişi 2020 yılında en düşük değere sahip İstanbul ilinde 140 kg CO₂e, en yüksek değere sahip İzmir'de 390 kg CO₂e emisyon azaltımına neden olmuştur. Kötümser senaryoda bu miktar 2035 yılında İstanbul için 150 kg CO₂e emisyon artışına neden olurken, en yüksek değere sahip olan Van için 420 kg CO₂e azaltımlı sağlamıştır. İyimser senaryoda ise her kişi 2035 yılında en düşük değere sahip Antalya ve Şanlıurfa illerinde 60 kg CO₂e emisyonu ve en yüksek değere sahip Samsun ve Van illerinde ise 120 kg CO₂e emisyonu azaltımına yol açacaktır. Atmosfere salınan emisyonlar, atıkların düzenleme depolama ve atıklardan kaynak geri kazanımı sayesinde azalacaktır.

Tablo 24. Türkiye'deki 7 il için kişi başına düşen yıllık fayda değerleri

İl	2020 yılı Kötümser senaryo				2035 Kötümser senaryo				2035 İyimser senaryo			
	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)	Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)	Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)	Su tasarrufu (kL/ton)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)	Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)	Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)	Su tasarrufu (kL/ton)	Bakır malzeme ikame verimliliği (ton) (v)	Enerji ikame verimliliği (GJLHV/ton)	Sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması (CO ₂ e/ton)	Su tasarrufu (kL/ton)
Ankara	0,10	0,84	0,08	0,25	0,08	0,71	0,04	0,21	0,11	0,78	0,07	0,23
Antalya	0,17	2,81	0,37	0,81	0,13	2,16	0,36	0,62	0,21	2,33	0,06	-0,18
İstanbul	0,03	0,19	-0,14	0,05	0,02	0,15	-0,15	0,04	0,14	1,08	0,09	0,29
İzmir	0,16	2,68	0,39	0,95	0,12	2,06	0,39	0,73	0,19	1,70	0,07	0,10
Samsun	0,08	1,57	0,21	0,51	0,07	1,37	0,26	0,44	0,08	2,15	0,12	-0,07
Şanlıurfa	0,08	1,61	0,23	0,56	0,07	1,40	0,26	0,49	0,13	2,04	0,06	0,17
Van	0,13	2,44	0,34	0,86	0,12	2,12	0,42	0,75	0,15	1,79	0,12	0,14

Su ve atık ilişkisi, hammaddelerin işlenmesinde fazla miktarda tatlı su kullanımı gerektirdiği için kaynak geri kazanımında önemli bir yere sahiptir. Her kişi 2020 yılında en düşük orana sahip İstanbul ilinde 50L su tasarrufu sağlarken, kötümser senaryoda 2035 yılında

40 L'ye düşmüştür. 2020 yılında kişiler en yüksek orana sahip İzmir ilinde 950 L su tasarrufu sağlarken kötümser senaryoda en yüksek değere sahip Van ilinin 750 L su tasarrufu sağlayacağı görülmektedir. 2035 yılı iyimser senaryoda ise, en düşük değer olan Antalya ilinde 180 L su ihtiyaç talebi meydana gelirken en yüksek il olan İstanbul için 290 L su tasarrufu sağlanacağı sonucuna ulaşılmaktadır.

Zaman ve Lehmann (2013), Stockholm, Adelaide ve San Francisco gibi şehirlerin SAI değerlerini sırasıyla 0,17, 0,23 ve 0,51 olarak, Christiady ve ark. (2021), Bandung kenti SAI'sini 0,05 olarak hesaplamışlardır. Bu değerler dikkate alındığında, bu çalışmadaki elde edilen sonuçlara göre Türkiye'de 7 ilin ortalama SAI değeri 2020 yılında 0,16, 2035 kötümser senaryoda 0,21, 2035 iyimser senaryoda ise 0,35 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Türkiye'nin 2035 yılı SA hedefi kapsamında %60 geri dönüşümün sağlanması gerçekleştirildiğinde elde edilen SAI değeri literatürdeki şehirlere yaklaşmaktadır. Ancak, SA kapsamında atık yönetiminde özellikle geri dönüşüm payında ciddi düzenlemelerin yapılmasının gerekliliği açıktır.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, "SA İndeksi" aracına dayalı atık yönetiminin Türkiye'nin 7 bölgesinden 2020 TÜİK verilerine göre en kalabalık 7 ilinin 2020 ve 2035 yılları için bir zaman serisi ölçümüdür. Ankara ili için SAI değeri 2020 yılından 2035 yılına kadar kötümser senaryoda yaklaşık %19 düşüş gösterirken İstanbul ili için ise %30 düşüş göstermiştir. Buna karşın, SAI değeri diğer illerde ortalama %50 artış göstermiştir. İyimser senaryoda 2035 yılı kötümser senaryoya kıyasla 7 il için yaklaşık %150'lik SAI değeri artışı görülmektedir. Buradaki değer artışının nedeni, iyimser senaryoda geri dönüşüm ve atık yönetimi yüzdesinin %60'lara yükseltileceği hedeflenmesi kaynaklıdır. Bu çalışma kapsamında belediye atıkları 6 kategoride (karışık, organik, plastik, cam, kağıt ve metal) dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Buna göre elde edilen bu sonuçların Türkiye'deki sıfır atık projesine katkı sağlaması, politika yapıcı ve uygulayıcılar, hükümet ajansları ve atık yönetimi hizmet sağlayıcılarına yol göstermesi amacıyla aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Çalışmada bahsedilen Stockholm, Adelaide, San Francisco, Bandung gibi kentler için literatürde yer alan SAI değerleriyle bu çalışma kapsamında hesaplanan 7 ilin ortalama SAI değerleri karşılaştırıldığında %60 oranında geri dönüşümün ülke çapında sağlanması gerekliliği açıktır.

- Ülke genelinde detaylı bir SAİ geliştirilebilmesi için atıkların denemeye alınması daha kapsamlı verilerle incelemelerin yapılması gereklidir. Politika geliştirme ve karar alma süreçleri dikkate alındığında güvenilir atık verilerinin elzem olduğu görülmüştür.
- SA projesi kapsamında başlatılan atık yönetimi ve bilinçlendirme çalışmalarının bireysel ölçekten başlayarak geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Yapılan SAİ hesaplamaları sonucu, özellikle nüfusun kalabalık olduğu iller için yerel yönetimlerce geri dönüştürülebilir atıkların toplanması, sınıflandırılması, kayıtlarının tutulması kritik bir role sahiptir.
- Türkiye genelinde yürütülen SA projesi kapsamında belediyelerin atık kayıtlarını sağlıklı ve kapsamlı bir şekilde toplayabilmesi ve muhafaza edebilmesi için merkezi atık veri toplama sistemi geliştirilmelidir.
- Türkiye'deki seçilen en kalabalık 7 ile göre, atık yönetiminde geri dönüşüm payının az olduğu özellikle İstanbul gibi biyobozunur içeriği yüksek illerde, bu atıkların ekonomik yönden atık yönetiminin planlanması, kompost olarak maksimum geri dönüşüm ve geri kazanımının yapılması hem enerji hem de maddesel kayıpları ortadan kaldıracağı ön görülmektedir.
- Sürdürülebilir politika ve stratejilerin belirlenmesi ve uygulanması, koordineli bir şekilde düşünülerek ve döngüsel ekonomi ilkeleri de göz önünde bulundurularak mümkün olacaktır.
- Küresel ve yerel bağlamda tüm paydaşların aktif katılımıyla optimum bir sıfır atık stratejisi geliştirilmesi gerekmektedir. Türkiye'de gelecekteki sıfır atık stratejileri için kapasite geliştirme, piyasa yapıları, atık yönetimi politikası ve stratejisi geliştirmenin kilit rol oynayacağı ön görülmektedir.
- Çalışma kapsamında SAİ hakkında yapılan literatür araştırmasında hem ulusal hem de uluslararası literatürde oldukça kısıtlı verinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

Christiady J, Widayarsana IMW, Sutadian AD, Sundana EJ., 2021. Improvement of municipal waste management using dynamics system and zero waste index approaches in Bandung City. Sanitation Value Chain, 5(1): 43.

Doğdu G., 2022. SA indeksi kullanılarak İstanbul İli katı atık yönetim performansının değerlendirilmesi. 1. Uluslararası Çevre, Enerji Ve Ekonomi Kongresi (INTECongress). 20-22 Ekim 2022, p: 88-89, Giresun. E-ISBN: 978 - 975 - 2481 - 27 – 5.

Kasam Iresha FM, Prasojo SA., 2018. Evaluation of solid waste management at campus using the “Zero Waste Index”: The case on campus of Islamic University of Indonesia. The 2nd International Conference on Engineering and Technology for Sustainable Development MATEC Web of Conferences, 154.

Maçın KE, Arıkan OA., 2021. SA yönetimi’nin çevresel etkileri: İTÜ Ayazağa Kampüsü’nün SA Endeksi. 14. Ulusal 2. Uluslararası Çevre Mühendisliği Kongresi. 9-11 Aralık 2021, s: 271-277.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022. SA Kitabı. <https://sifiratik.gov.tr/sifir-atik/sifir-atik-kitabi#2816> (Erişim tarihi: 07.08.2023).

Türkiye Çevre Ajansı (TÜÇA), (2022). Yeşil kalkınma yolunda Türkiye istişare toplantısı sonuç bildirgesi. <https://tuca.gov.tr/haber/yesil-kalkinma-yolunda-turkiye-istisare-toplantisi-sonuc-bildirgesi/20> (Erişim tarihi: 17.10.2023).

URL-1. <https://ankara.csb.gov.tr/sifir-atik-i-86166>. Erişim tarihi: 27.07.2023.

URL-2. SA - Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. <https://sifiratik.gov.tr/> Erişim Tarihi: 10.12.2018.

URL-3. <https://sifiratik.gov.tr/kutuphane/sifir-atik-iyi-uygulama-ornekleri#5923>. Erişim tarihi: 27.07.2023.

URL-4. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları 2020. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>. Erişim tarihi: 04.02.2021.

URL-5. Atık İstatistikleri. 2020. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>. Erişim tarihi: 23.12.2021.

URL-6. Ankara 2020. Çevre Durum Raporu, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/2020_ankara--cdr-20210728144247.pdf. Erişim Tarihi: 5.08.2023.

URL-7 Antalya 2020 Çevre Durum Raporu,
https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/antalya_2020_-cdr-20210812095503.pdf (Erişim Tarihi: 5.08.2023).

URL-8 İstanbul 2020 Çevre Durum Raporu,
https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/-istanbul_2020_-cdr-20220110121837.pdf (Erişim Tarihi: 5.08.2023).

URL-9 İzmir 2020 Çevre Durum Raporu,
https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/2020_-zm-r_cdr-20210622145856.pdf (Erişim Tarihi: 5.08.2023).

URL-10 Samsun 2020 Çevre Durum Raporu,
https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/samsun_-cdr2020-20220128095202.pdf (Erişim Tarihi: 5.08.2023).

URL-11 Şanlıurfa 2020 Çevre Durum Raporu,
https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/sanli-urfa_-cdr2020-20211118131834.pdf (Erişim Tarihi: 5.08.2023).

URL-12 Van 2020 Çevre Durum Raporu,
https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/van_2020_-cdr-20220118151334.pdf (Erişim Tarihi: 5.08.2023).

Zaman AU, Lehmann S., 2013. The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a ‘zero waste city’. *Journal of Cleaner Production*, 50(1): 123-132.

Zaman AU., 2014. Measuring waste management performance using the ‘Zero Waste Index’: the case of Adelaide, Australia. *Journal of Cleaner Production*, 66(2014):407-419. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.032>.

Zaman AU, Swapan MSH., 2016. Performance evaluation and benchmarking of global waste management systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 114: 32–41.

Çukurova Bölgesinde Yetişen Karadut Meyvesinin Yumuşak Çeliğin 0,5 M HCl Çözeltilisindeki Korozyon Davranışına Etkisi

Goncagül AKSARAY¹, Başak DOĞRU MERT^{2*}

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 01330, Adana, Türkiye

²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-4338-6049>

²<https://orcid.org/0000-0002-2270-9032>

*Sorumlu yazar: bdogrumert@atu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 01.06.2023

Kabul tarihi: 18.08.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler

Korozyon

Yeşil inhibitör

Yumuşak çelik

DFT

EIS

ÖZ

Bu çalışmada Çukurova yöresinde bolca yetiştirilen karadut meyvesinin suyunun yumuşak çeliğin (YÇ) 0,5 M HCl çözeltisindeki korozyon davranışına etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre karadut suyu içeren ortamlarda YÇ'nin polarizasyon direncinin arttığı ve anodik polarizasyon eğrilerinden belirlenen akım değerlerinin ise azaldığı görülmektedir. Bu durum meyve içeriğinde bulunan organik maddelerin YÇ yüzeyine adsorpsiyonu sayesinde yüzeyde inhibitör filmi oluştuğu ve bu filmin de korozyon hızını azalttığı şeklinde yorumlanmıştır. Söz konusu inhibisyonun meyve içeriğinde kütleye en çok bulunan p-kumarik asit ve klorojenik asitten kaynaklanabileceği düşüncesiyle kuantum teorik çalışmalar gerçekleştirilerek korozyon mekanizması aydınlatılmak istenmiştir. Bu moleküllerin sulu ortamdaki dipol momentleri sırasıyla 3,9353 Debye ve 6,2839 Debye olarak hesaplanmıştır. Ayrıca p-kumarik asit için E_{HOMO} ve E_{LUMO} değerleri sırasıyla 7,033 eV ve 0,409 eV iken klorojenik asit için söz konusu değerler sırasıyla 5,845 eV ve 4,057 eV'dir. Belirlenen Mulliken yüklerine göre molekül yapılarında bulunan karbonil ve hidroksil uçlarının, bu moleküllerin YÇ yüzeyine adsorpsiyonunda rol oynadıkları tespit edilmiştir. En yüksek inhibitör miktarında, 168 saatlik daldırma süresinin ardından yaklaşık olarak % 99 inhibisyon etkinliği tespit edilmiştir.

The Effect of *Morus nigra* Fruit Harvested from the Çukurova Region on Mild Steel Corrosion in a 0.5 M HCl Solution

Research article

Article History:

Received: 01.06.2023

Accept: 18.08.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Corrosion

Green inhibitor

Mild steel

DFT

EIS

ABSTRACT

In this study, the effects of the juice of mulberry, which is grown abundantly in Çukurova region, on the corrosion behavior of mild steel (MS) in 0.5 M HCl solution was investigated. According to the obtained results, the polarization resistance of MS increases in the presence of mulberry juice and the current values determined from the anodic polarization curves decrease. It was determined that the adsorption of organic molecules from the fruit content on the MS surface caused an inhibitor film to form on the surface, decreasing the corrosion rate. Quantum theoretical investigations were conducted in an effort to better understand the corrosion mechanism with the hypothesis that inhibition in issue may be brought on by p-coumaric acid and chlorogenic acid, which are the most prevalent in fruit content. These molecules' dipole moments are 3.9353 Debye and 6.2839 Debye, respectively. The p-coumaric acid has E_{HOMO} and E_{LUMO} values of 7.033 eV

and 0.409 eV, respectively, while chlorogenic acid has these values of 5.845 eV and 4.057 eV. It has been determined that the carbonyl and hydroxyl terminals in the molecular structures have a role in the adsorption of these compounds on the MS surface based on the calculated Mulliken charges. At the highest inhibitor concentration, approximately 99% inhibition efficiency was observed after an immersion period of 168 hours.

To Cite: Aksaray G, Doğru Mert B., 2024. Çukurova bölgesinde yetişen karadut meyvesinin yumuşak çeliğin 0,5 M HCl çözeltisindeki korozyon davranışına etkisi. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 89-103.

Giriş

Karadut latince adı *Morus nigra* olan ve özellikle Çukurova bölgesinin hava koşulları gibi Akdeniz iklimini seven bir bitkidir. Yapısında fenolik bileşikler bulunur. En yüksek konsantrasyondaki bileşenleri sırasıyla; klorojenik asit, para kumarik asit, kateşin, kuersetin ve rutindir. Ayrıca yapıda asidik bileşenlerden sitrik asit ve malik asit de bulunur (Ercisli ve ark., 2007; Özgen ve ark., 2009; Gundogdu ve ark., 2011; Butkhup ve ark., 2012). Söz konusu bileşiklerin münferit olarak kullanıldığı korozyon çalışmaları olmasına rağmen meyve için gerçekleştirilen çalışmalar sınırlı sayıdadır ve genellikle yaprağının sulu ve organik ekstraktları çalışılmıştır (Sanchez ve ark., 2014; Edrah ve ark., 2016; Sanchez-Salcedo ve ark., 2017). Metal ve alaşımlarının meyve, sebze, bitki vb. organik ürünler kullanılarak korozyonun zararlı etkilerinden korunması “yeşil koruma”, “yeşil inhibitör” veya “yeşil çevreci kimya çalışmaları” olarak da adlandırılır (Şeker ve ark., 2015; Özkır, 2021; Şahin ve ark., 2021). Bu çalışmalar gerek toksik kimyasal maddelerin kullanımını azaltıp onların yerine doğa dostu alternatifler sunması, gerekse insan ve çevreye herhangi bir zararlı etkilerinin olmaması bakımından oldukça önemlidir. Son yıllarda artan çevre bilinci ve doğa dostu ekonomik faaliyetlerin desteklenmesi sebebiyle kimyasal organik/inorganik inhibitör kullanımı yerini yeşil inhibitörlere bırakmıştır (Riccardo ve ark., 2005; El- Haddad, 2013; Verma ve ark., 2018; Popoola, 2019; Wei ve ark., 2020). Literatürde yapılan çalışmalarda, Karima ve ark., (2020), *Retama monosperma* (L.) Boiss'te alkaloitleri içeren tohum özü ile, 1 M HCl ortamında karbon çeliğinin korozyona karşı korunmasını sağlamışlardır. Raja ve ark., (2012), *Alstonia angustifolia* latifolia yaprakları ile 1 M HCl'de yumuşak çeliği korozyona karşı korumuşlardır. 5 mg/L konsantrasyonda yaklaşık %80 inhibisyon etkinliği tespit etmişlerdir. Bouknana ve ark., (2014), zeytinyağı değirmeni atık sularının ekstrakt fraksiyonlarını kullanarak, ağırlık kaybı ölçümleri ve elektrokimyasal polarizasyon ölçümleri ile çeliğin 1 M HCl içinde korozyon davranışını incelemişler ve inhibisyon etkinliğinin yaklaşık %90 olduğunu tespit etmişlerdir. Odewunmi ve ark., (2015), yumuşak çeliğin HCl ortamında korozyon davranışına karpuz kabuğunun inhibisyon etkilerini araştırmıştır ve oldukça yüksek etkinlik tespit etmiştir. Yüce (2019), dut yaprağı ekstresinin inhibisyon

davranışını, 0,5 M HCl çözeltisi içinde farklı konsantrasyonlarda yumuşak çelik için, doğrusal polarizasyon direnci, elektrokimyasal impedans spektroskopisi ve potansiyodinamik polarizasyon teknikleri kullanılarak araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, inhibisyon etkinliğinin dut yaprağı ekstraktının artan derişimi ile arttığını ve 2,00 g L⁻¹ ekstrakt içeren 0,5 M HCl’de maksimum %94 etkinliğe ulaştığını tespit etmiştir. Polarizasyon eğrilerine göre, maddenin hem anodik hem de katodik bölgelerde inhibisyon sağladığı görülmüştür.

Bu çalışmada ise Çukurova bölgesinde yetişen kara dut meyvesinin suyunun, 0,5 M HCl çözeltisi içerisinde yumuşak çeliğin korozyon davranışına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla doğrusal polarizasyon direnci, elektrokimyasal impedans spektroskopisi ve potansiyodinamik polarizasyon teknikleri kullanılmıştır. Ayrıca inhibisyon mekanizmasının aydınlatılması için temel bileşenlerden klorojenik asit, para kumarik asit için yük yoğunluğu teorisi (DFT) ile 6-311++G (d,p) baz seti kullanılarak dipol moment, Mulliken yükler, en yüksek enerjili boş moleküler orbital (HOMO) ve en düşük enerjili dolu moleküler orbital (LUMO) geometrileri ve enerjileri belirlenmiştir.

Materyal ve Metod

Çalışmada kullanılan karadut meyvesi Çukurova bölgesinde (37.029°K; 35.236°D) yetiştirilmiş olup 21.05.2023 tarihinde hasat edilmiştir. Meyveler yapraktan ayrılarak saf su ile yıkandıktan sonra (Şekil 1a), preslenip mavi süzgeç kağıdında süzülerek derişik meyve suyu hazırlanmıştır (Şekil 1b). Bu derişik çözeltiden farklı hacim oranlarında (0; 1; 3 ve 5 mL) alınarak son hacim 100 mL olacak şekilde 0,5 M HCl ile homojen çözeltiler hazırlanmıştır, sırasıyla “D0; D1; D3 ve D5” olarak sembolize edilmiştir. Elektrokimyasal ölçümlerin gerçekleştirilmesi için Şekil 1c’deki deney düzeneği kurulmuştur. Deneyler oda koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bu düzenekte, çalışma elektrotu olarak kullanılan yumuşak çeliğin (YÇ) kimyasal bileşimi; (%); 0,17 C, 0,045 S, 1,40 Mn, 0,009 N ve geri kalan Fe’dir. Çalışma elektrotlarının hazırlanması için gerçekleştirilen prosedürler önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Doğru Mert, 2017). Elektrotların yüzeyi mekanik parlatıcıda (100-320-1200 grid zımparalarla) parlatıldıktan sonra önce etil alkol ile daha sonra distile su ile temizlenmiştir. Elektrokimyasal ölçümler üç elektrot tekniğinden yararlanılarak, CHI 660 D model elektrokimyasal analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir. YÇ çalışma elektrotunun yüzey alanı 0,502 cm²’dir. Sistemde YÇ çalışma elektrotu, platin (Pt) karşı elektrot ve gümüş-gümüş klorür elektrot (Ag/AgCl, 3M KCl) referans elektrot olarak kullanılmıştır. Doğrusal polarizasyon direnci (R_p) açık devre potansiyelinden itibaren ±10 mV aralıkta 1 mV s⁻¹ tarama hızı ile elde edilen I/V eğrilerinden belirlenmiştir. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi

(EIS) ölçümleri $10^5 - 10^{-1}$ Hz frekans aralığında, 5 mV genlik uygulanarak elde edilmiştir. Elde edilen veriler Zview2 programı ile modellenmiştir. Ayrıca anodik polarizasyon eğrileri 1 mV s⁻¹ tarama hızı ile elde edilmiştir. Karadut meyve içeriğinde bulunan temel bileşenlerden p-kumarik asit ve klorojenik asit molekülleri için kuantum teorik hesaplamalar GaussView 4.1 ve Gaussian 03W programlarıyla gerçekleştirilmiştir. DFT yaklaşımıyla, 6-311++G (d,p) baz seti kullanılmıştır. Belirlenen değişkenler; Mulliken yükler, E_{HOMO} (en yüksek enerjili dolu moleküler orbital enerjisi), E_{LUMO} (en düşük enerjili boş moleküler orbital enerjisi), ΔE ($E_{LUMO} - E_{HOMO}$), μ (dipol moment) vb.'dir.

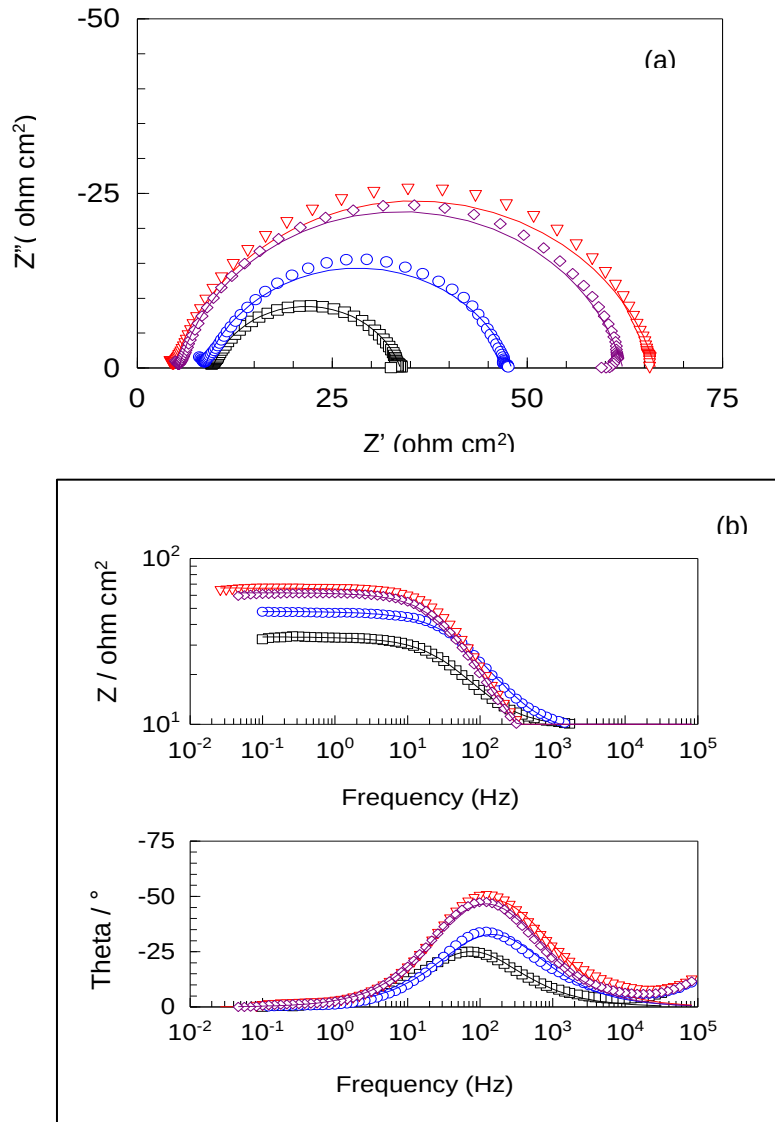


Şekil 1. Karadut (a), Karadut suyu (b), Elektrokimyasal ölçümlerin gerçekleştirildiği deney düzeneği (c)

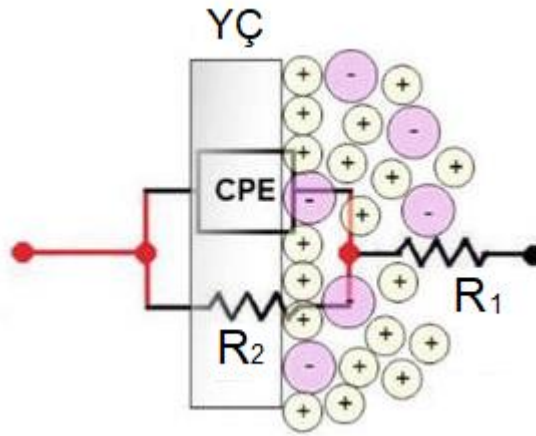
Bulgular ve Tartışma

YÇ'nin 0,5 M HCl çözeltisindeki korozyon davranışına karadut meyvesinin etkilerinin belirlenmesi amacıyla 1 saatlik daldırma süresinin ardından gerçekleştirilen EIS ölçümlerine ait Nyquist ve Bode eğrileri Şekil 2'de görülmektedir. Elde edilen verilere ait eşdeğer devre modeli Şekil 3'de sunulmuştur. Devre elemanlarından R_1 çözelti direncini, R_2 polarizasyon direncini, CPE sabit faz elementini temsil etmektedir. Şekil 2 a'da görüldüğü gibi D0'dan itibaren D5'e kadar çözeltide artan miktar ile birlikte polarizasyon direncinin arttığı görülmüştür. Bu durum karadut meyve suyunun YÇ nin 0,5 M HCl çözeltisindeki korozyon hızını inhibe etmesinden kaynaklanmaktadır. Karadut meyve suyu içermeyen 0,5 M HCl çözeltisinde (D0) 1 saatlik daldırma süresi sonunda YÇ için belirlenen direnç değeri 24,11 ohm cm² iken en yüksek miktar olan D5 çözeltisinde bu değer yaklaşık 2,6 kat artarak 61,77 ohm cm² olarak belirlenmiştir. Şekil 2 b'de geniş bir alanda değişen frekans değerlerine karşılık reel direnç değerlerinin temsil edildiği tek bir kapasitif bölge görülmektedir. Bu durum meydana gelen korozyon mekanizmasının yük transferinin kontrolünde gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca D0'dan itibaren D5'e kadar YÇ için artan direnç değerleri ile uyumlu olarak en yüksek faz açısının da artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bilindiği üzere faz açısı yüzey homojenitesi hakkında bilgi verir ve faz açılarındaki meydana gelen artış, karadut meyve

suyu içerisinde yer alan organik moleküllerin (p-kumarik asit ve klorojenik asit) elektrot yüzeyine adsorpsiyonu sonucu ara yüzeyin kapasitör davranışı üzerine etkisi olarak yorumlanabilir. Korozyon reaksiyonu sırasında elektrot (metal) / elektrolit (çözücü ve çözünen tüm türler) “ara yüzey”i oluşturur fakat bu ara yüzey ideal kapasitörün karakteristiklerini gösteremez, bu durum Şekil 2 b’de sunulan Bode eğrisindeki faz açılarının 90 dereceden küçük olması ile de anlaşılmaktadır. Bu yüzden EIS sonuçlarının modellendiği eşdeğer devrede ideal kapasitans (C) yerine sabit faz elementi (CPE) kullanılmıştır. D0’dan - D5’e artan derişimine göre CPE değerleri azalmıştır. YÇ’nin D0 çözeltisinde elde edilen CPE değeri $5,43 \times 10^{-4} \text{ S.s}^n$ iken D5 çözeltisinde $2,01 \times 10^{-4} \text{ S.s}^n$ dir.



Şekil 2. YÇ’nin D0 (□); D1 (○); D3 (◇) ve D5 (Δ) çözeltilerinde 1 saat daldırma süresi sonunda elde edilen Nyquist (a) ve Bode (b) eğrileri



Şekil 3. EIS verilerinin modellenmesinde kullanılan eşdeğer devre (R_1 çözelti direnci, R_2 polarizasyon direnci, CPE sabit faz elementi)

1 saatlik daldırma süresinin ardından gerçekleştirilen EIS ölçümleri ile belirlenen bütün veriler ve doğrusal polarizasyon yöntemi ile belirlenen direnç değerleri (LR_p) Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. YÇ’nin 1 saatlik daldırma süresi ardından gerçekleştirilen EIS ölçümlerine ait eşdeğer devre elemanları ve doğrusal polarizasyon yöntemi ile belirlenen direnç (LR_p) değerleri.

Çözelti	R_1 (ohm cm^2)	R_2 (ohm cm^2)	CPE (S.sec ⁿ)	n	LR_p (ohm cm^2)	İE
D0	9,63	24,11	$5,43 \times 10^{-4}$	0,81	34,27	-
D1	8,58	39,42	$2,55 \times 10^{-4}$	0,79	41,84	39
D3	5,31	56,91	$2,17 \times 10^{-4}$	0,84	58,73	58
D5	4,64	61,77	$2,01 \times 10^{-4}$	0,83	66,22	61

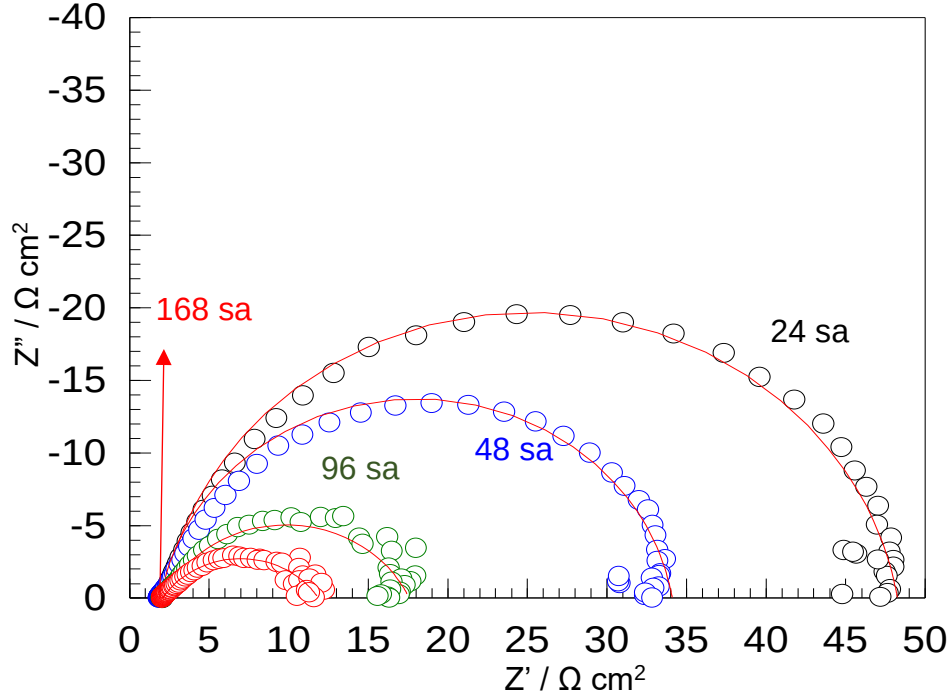
Tablo 1’de görüldüğü gibi D0’dan D5’e artan derişimler ile polarizasyon direncinin arttığı görülmektedir. YÇ nin 0,5 M HCl çözeltisindeki LR_p değeri 34,27 ohm cm^2 iken D5 çözeltisinde bu değerin 66,22 ohm cm^2 olduğu tespit edilmiştir. EIS ölçümlerinden belirlenen direnç değerlerinden yola çıkarak her bir çözeltinin korozyona karşı inhibisyon etkinliğinin tespiti için Eşitlik 1 kullanılmıştır;

$$\%İE = (R_{\text{inhibitörlü}} - R_{\text{inhibitörsüz}}) / R_{\text{inhibitörlü}} * 100 \quad (1)$$

$R_{\text{inhibitörlü}}$: İnhibitör kullanılan çözeltide elektrotun polarizasyon direnci

$R_{\text{inhibitörsüz}}$: İnhibitör kullanılmayan çözeltide elektrotun polarizasyon direnci

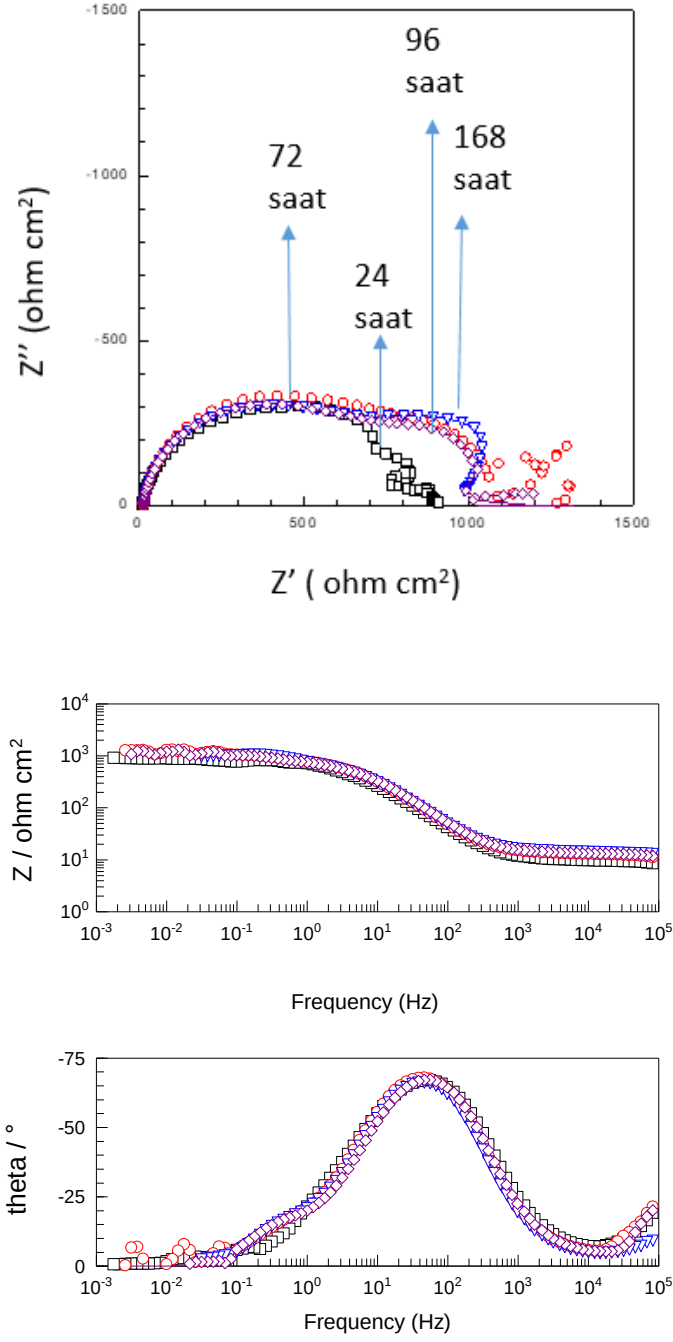
Karadut suyunun polarizasyon direncini hesaplamak için işlem görmemiş yumuşak çelik elektrot ve D5 çözeltisinde bekletilen elektrotun 168 saat süre ile EIS ölçümleri alınmıştır.



Şekil 4. YÇ'nin D0 çözeltisinde çeşitli daldırma süreleri sonunda elde edilen Nyquist eğrileri

Şekil 4'de YÇ elektrot için 24; 48; 96 ve 168 saatlik daldırma sürelerinin ardından EIS ölçümleri ile belirlenen polarizasyon dirençleri sırasıyla 46,1; 32,2; 15,5 ve 9,8 ohm cm² olarak belirlenmiştir.

Şekil 5'te görüldüğü üzere D5 çözeltisi içerisinde 24 saat daldırma süresi sonunda YÇ elektrotun direnç değerinde, 1 saat bekletilen elektrotun direnç değerine oranla önemli bir artış olduğu gözlenmiştir.



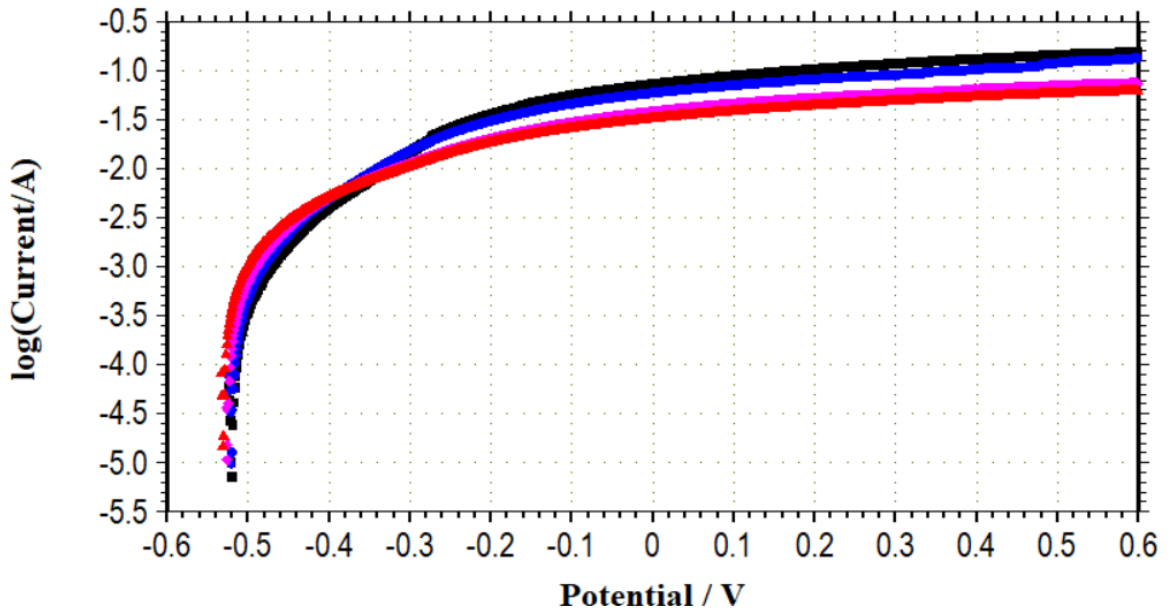
Şekil 5. YÇ'nin D5 çözeltisinde çeşitli daldırma süreleri sonunda elde edilen Nyquist ve Bode eğrileri

Tablo 2. YÇ'nin D5 çözeltisinde çeşitli daldırma süreleri sonunda elde edilen EIS ölçümlerine ait eşdeğer devre elemanları değerleri

Çözelti	R ₁ (ohm cm ²)	R ₂ (ohm cm ²)	CPE (S.sec ⁿ)	n	İE / %
1 sa	4,64	61,77	2,01x10 ⁻⁴	0,83	61
24 sa	9,35	837,2	1,04x10 ⁻⁴	0,85	95
72 sa	13,55	972,6	9,21x10 ⁻⁵	0,85	97
96 sa	12,51	1037	4,57x10 ⁻⁶	0,83	98
168 sa	12,31	1101	4,41x10 ⁻⁶	0,84	99

Tablo 2’de karadut suyunun inhibisyon etkinliği artan daldırma sürelerinde artış göstermektedir. 168 saat sonunda İE% değeri yaklaşık %99 olarak tespit edilmiştir. Bu durum meyve suyunda bulunan organik asitlerin ve diğer meyve bileşenlerinin sinerjistik etkisinden kaynaklanabilir; Raja ve ark. (2012), benzer bir çalışmada yumuşak çelik elektrotun 1 M HCl çözeltisindeki korozyon davranışlarına *Alstonia angustifolia latifolia*’nın etkilerini araştırmıştır, 5 mg/L konsantrasyonda yaklaşık olarak %80 inhibisyon etkinliği tespit edilmiştir. Karima S ve ark., 2020; *Retama monosperma* (L.) tohum özü kullanarak 1 M HCl çözeltisinde yaklaşık %94 inhibisyon etkinliği tespit etmişlerdir. Tablo 2’de Karadut suyunun inhibitör etkinliğinin yüksek olması, yeşil inhibitör olarak kullanım potansiyelinin olduğunu ve YÇ’nin HCl çözeltisinde korozyona karşı korunmasında etkili olduğunu göstermektedir.

Şekil 6’da YÇ’nin açık devre potansiyelinden itibaren 1 mV s⁻¹ tarama hızı ile elde edilen yarı logaritmik anodik polarizasyon eğrileri görülmektedir. Farklı potansiyel değerleri için eğrilerden belirlenen akım değerleri Tablo 3’te sunulmuştur.

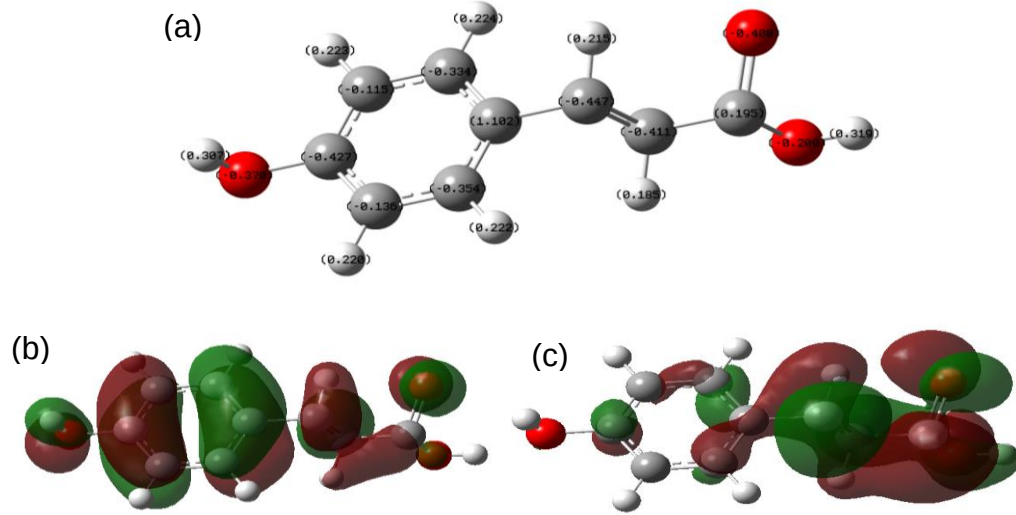


Şekil 6 . YÇ'nin D0 (□); D1 (○); D3 (◇) ve D5 (Δ) çözeltilerinde 1 saat daldırma süresi sonunda elde edilen anodik polarizasyon eğrileri

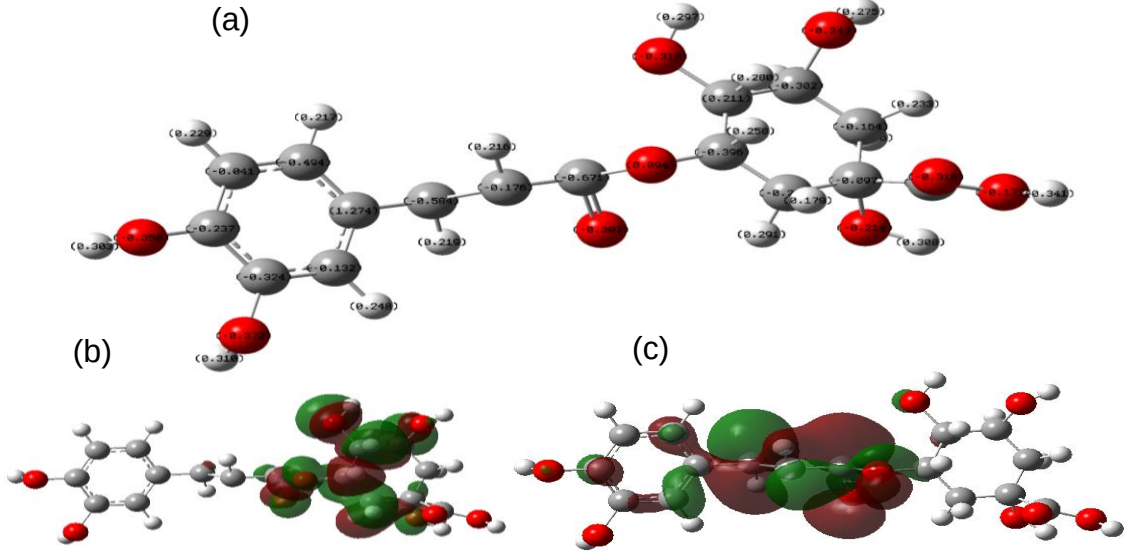
Tablo 3. YÇ'nin anodik polarizasyon ölçümleriyle farklı potansiyellerde belirlenen akım değerleri.

Çözelti	I / 0,0 V (A)	I / 0,1V (A)	I / 0,2V (A)	I / 0,3V (A)	I / 0,4V (A)	I / 0,5V (A)	I / 0,6V (A)	E _{ocp} (V)
D0	7,13x10 ⁻²	8,67 x10 ⁻²	1,01x10 ⁻¹	1,15x10 ⁻¹	1,28x10 ⁻¹	1,42x10 ⁻¹	1,52x10 ⁻¹	-0,523
D1	5,82x10 ⁻²	6,96x10 ⁻²	8,05x10 ⁻²	8,91x10 ⁻²	1,02x10 ⁻¹	1,17x10 ⁻¹	1,4x10 ⁻¹	-0,525
D3	3,23x10 ⁻²	3,82x10 ⁻²	4,38x10 ⁻²	4,88.x10 ⁻²	5,31x10 ⁻²	5,80x10 ⁻²	6,18x10 ⁻²	-0,527
D5	1,9x10 ⁻²	2,26x10 ⁻²	2,61x10 ⁻²	2,94x10 ⁻²	3,22x10 ⁻²	3,48x10 ⁻²	3,73x10 ⁻²	-0,533

Şekil 6 ve Tablo 3'te açıkça görüldüğü gibi D0'dan D5'e artan derişimler ile 0,0 V'dan itibaren 0,6 V'a kadar tüm potansiyeller için akım değerleri kıyaslandığında belirgin bir azalma söz konusudur. Özellikle D0 ve D5 çözeltileri için 0,6 V'da YÇ için akım değerlerinin sırasıyla 1,52x10⁻¹ A ve 3,73x10⁻² A olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun karadut meyve suyunda bulunan p-kumarik asit ve klorojenik asitten kaynaklanabileceği düşüncesiyle kuantum teorik çalışmalar gerçekleştirilerek korozyon mekanizması aydınlatılmak istenmiştir. Elde edilen Mulliken yükler, HOMO ve LUMO orbital geometrileri Şekil 7 ve 8'de sunulmuştur.



Şekil 7. p-kumarik asit'in Mulliken atomik yükleri (a), HOMO (b) ve LUMO (c) orbital geometrileri



Şekil 8. Klorojenik asit'in Mulliken atomik yükleri (a), HOMO (b) ve LUMO (c) orbital geometrileri

Şekil 7 ve 8'de p-kumarik asit ve klorojenik asit moleküllerindeki atomların Mulliken yükleri incelendiğinde negatif yüklü merkezlerin karbonil ve hidroksil oksijenleri olduğu ve YÇ yüzeyine adsorpsiyonun bu bölgelerden gerçekleşebileceği düşünülmektedir. p-kumarik asit molekülünde ; C=O* (*= -0,400 au) ve O=C=O*—H (*= -0,200 au) iken klorojenik asit molekülünde C=O* (*= -0,307 au) ve —C—O*—H (*= -0,319 au) olarak tespit edilmiştir. Söz konusu mekanizmanın aşağıda belirtilen şekilde olduğu düşünülmektedir. YÇ içerisindeki en yüksek kütlece bileşim Fe olduğu için mekanizmada bu elektrot Fe olarak temsil edilmektedir. Karadut meyve suyunda bulunan etken bileşenler için D sembolü kullanılmıştır.





Asidik çözeltide meyve suyu içeriğindeki bileşiklerin protonlanabileceği düşünülerek katyon (D^+) formun adsorpsiyonda daha etkin rol üstleneceği öngörülmektedir;



Korozif ortam olarak kullanılan 0,5 M HCl çözeltisindeki klorür iyonlarının spesifik adsorpsiyon karakteri bilinmektedir. Bu negatif yük sayesinde pozitif yüklü elektrot yüzeyi üzerinde iç Helmholtz tabakasına kadar ilerleyerek adsorplanabilirler. Bu durumda yüzeyden çözelti tarafına doğru negatif yük fazlalığı oluşturabilirler ve pozitif yüklü inhibitör moleküllerin (D^+) adsorpsiyonunu destekleyebilirler. Dolayısıyla, yüzey ile bu türler arasında bağlantı köprüleri oluşturan adsorbe edilmiş Cl^- iyonları ile elektrostatik etkileşim yoluyla inhibitör filmi oluşturabilir. Söz konusu adsorpsiyon fiziksel karakterdedir fakat yüzeyde oluşan inhibitör filmi korozyonun zararlı etkilerine karşı yüzeyi korumaktadır. Ayrıca gerçekleştirilen teorik hesaplamalar sonucunda; p-kumarik asitin en düşük enerjili boş orbital (LUMO) enerjisi 0,409 eV; en yüksek enerjili dolu orbital (HOMO) enerjisi 7,033 eV olarak hesaplanmıştır. Bu orbitaller Şekil 7’de görülmektedir. Ayrıca bu molekülün dipol moment değeri (3,9353 Debye), YÇ yüzeyine adsorpsiyonunun kolay bir şekilde gerçekleşebileceğini göstermektedir. Aynı koşullarda gerçekleştirilen teorik hesaplamalarda klorojenik asitin en düşük enerjili boş orbital (LUMO) enerjisi 4,057 eV; en yüksek enerjili dolu orbital (HOMO) enerjisi 5,845 eV olarak hesaplanmıştır. Bu orbitaller Şekil 8’de görülmektedir. Klorojenik asitin dipol moment değeri oldukça yüksektir (6,2839 Debye), artan dipol moment ile elektrot yüzeyine adsorpsiyonun daha avantajlı hale geldiği bilinmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, sentetik, toksik ve yüksek maliyetli korozyon inhibitörlerine alternatif olarak doğal, çevre dostu ve uygun maliyetli muadillerin araştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Çukurova bölgesinde yetiştirilen ve mevsiminde hasat edilen karadut meyvesinin suyunun alternatif bir korozyon inhibitörü olabileceği hipotezi üzerinde durulmuştur. Koroziv ortam olarak 0,5 M HCl çözeltisi kullanılmıştır ve elektrokimyasal ölçüm teknikleri ile yumuşak çelik (YÇ) elektrotların korozyon davranışları izlenmiştir. Elde edilen EIS sonuçlarına göre, karadut meyvesi suyu içeren koroziv çözeltide yumuşak çeliğin polarizasyon direncinin 1 saatlik daldırma süresinin ardından yaklaşık olarak 2 kat arttığı tespit edilmiştir. 168 saatlik daldırma süresinin sonrasında ise en yüksek inhibisyon etkinliği değeri yaklaşık olarak % 99 olarak belirlenmiştir. Doğrusal polarizasyon direnci belirlenen numunelerin direnç değerlerinin EIS ölçümlerini destekler nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen anodik polarizasyon ölçümlerinden belirlenen akım değerlerinde artan meyve suyu miktarları ile belirgin olarak azalma görülmektedir. Kuantum teorik hesaplamalarda hem p-kumarik asitin hem de klorojenik asitin YÇ yüzeyine adsorpsiyonun karbonil grubunda yer alan oksijen atomları ve hidroksil gruplarındaki oksijen atomları üzerinden gerçekleşebileceği kanaati oluşmuştur. Belirlenen dipol momentleri sırasıyla 3,9353 Debye ve 6,2839 Debye'dir. Sonuçlar bu moleküllerin YÇ yüzeyine adsorpsiyonunun istemli olarak gerçekleşebileceğini göstermektedir. Adsorpsiyon sayesinde YÇ yüzeyinde oluşan inhibitör film tabakasının malzemeyi korozyonun zararlı etkilerine karşı koruduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu araştırmanın gerçekleştirilmesi için teşvikleri ve bilimsel desteklerinden dolayı Prof.Dr. Birgül YAZICI ve Prof.Dr. Gülfeza KARDAS'a teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

- Bouknana D, Hammouti B, Messali M, Aouniti A, Sbaa M., 2014. Phenolic and non-Phenolic Fractions of the olive oil mill wastewaters as corrosion inhibitor for steel in HCl medium. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 32(1): 19.
- Butkhup L, Samappito W, Samappito S., 2012. Phenolic composition and antioxidant activity of white mulberry (*Morus alba* L.) fruits. *Food Science and Technology*, 48: 934-940.
- Doğru Mert B., 2017. Yumuşak çeliğin korozyon davranışı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2): 145-152.
- Edrah S, Alkais AR., 2016. The corrosion inhibition of mild steel in acid solutions media by adsorption of leaves of *Morus nigra* L. from Libya. *International Journal of Science and Research*, 5(4): 730-734.
- El-Haddad MN., 2013. Chitosan as a green inhibitor for copper corrosion in acidic medium. *International Journal of Biological Macromolecules*, 55: 142-149.
- Ercisli S, Orhan E., 2007. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*, 103(4): 1380-1384.
- Gundogdu M, Muradoglu F, Gazioglu-Sensoy RI, Yilmaz H., 2011. Determination of fruit chemical properties of *Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L. by HPLC. *Scientia Horticulturae*, 132: 37-41.
- Karima S, El Hamdani N, Hachim ME, Byadi S, Bahadur I, Aboulmauhajir A., 2020. Towards a theoretical understanding of alkaloid-extract Cytisine derivatives of *Retama monosperma* (L.) Boiss. Seeds as eco-friendly inhibitor for carbon steel corrosion in acidic 1M HCl solution. *Journal of Theoretical and Computational Chemistry*, 19(658): 2050013.
- Odewunmi NA, Umoren SA, Gasem ZM, Ganiyu SA, Muhammad Q., 2015. l-citrulline: An active corrosion inhibitor component of watermelon rind extract for mild steel in HCl medium. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 51: 177-185.
- Özkır D., 2021. The role of *Lavandula* sp. extract for effective inhibiting the mild steel corrosion in the hydrochloric acid solution. *International Journal of Chemistry and Technology*, 5(2): 125-132.
- Özgen M, Serçe S, Kaya C., 2009. Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morus nigra* and *Morus rubra* fruits. *Scientia Horticulturae*, 119: 275-279.
- Popoola LT., 2019. Organic green corrosion inhibitors (OGCIs): a critical review. *Corrosion Reviews*, 37(2): 71-102.

Raja PB, Qureshi AK, Rahim AA, Awang K, Mukhtar MR, Osman H., 2012. Indole Alkaloids of *Alstonia angustifolia* var. *latifolia* as green inhibitor for mild steel corrosion in 1 M HCl media. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22: 1072-1078.

Riccardo AA, Guerrieri MM, Goteri G, Muzzarelli C, Armeni T, Ghiselli R, Cornelissen M., 2005. The biocompatibility of dibutyl chitin in the context of wound dressings. *Biomaterials*, 26(29): 5844-5854.

Sanchez EM, Calin-Sanchez A, Carbonell-barrachina A, Melgarejo P, Hernandez F, Martinez JJ., 2014. Physico-chemical characterization of eight Spanish mulberry clones: processing and fresh market aptitudes. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(2): 477-483.

Sanchez-Salcedo EM, Amoros A, Hernandez F, Martinez JJ., 2017. Physicochemical properties of white (*Morus alba*) and black (*Morus nigra*) mulberry leaves, a new food supplement. *Journal of Food and Nutrition Research*, 5(4): 253-261.

Şahin EA, Dursun YA, Tunç M, Geçibesler İ, Solmaz R., 2021. Bakırın asidik ortamdaki korozyonuna hurma (*Phoenix dactylifera*) çekirdeğinin inhibisyon etkisinin incelenmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(2): 258-264.

Şeker A, Gürten A., 2015. Asidik ortamda yumuşak çeliğin korozyonu üzerine *Melia Azedarach* özütünün inhibitör davranışı. *El-Cezeri*, 2(3): 1-13.

Verma C, Ebenso EE, Bahadur I, Quraishi MA., 2018. An overview on plant extracts as environmental sustainable and green corrosion inhibitors for metals and alloys in aggressive corrosive media. *Journal of Molecular Liquids*, 266: 577-590.

Yüce AO., 2019. Asidik çözeltide yumuşak çeliğin korozyonu üzerine yeşil inhibitör olarak *Morus Nigra Pendula* yaprak ekstraktının inhibisyon etkisinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1): 183-192.

Wei H, Heidarshenas B, Zhou L, Hussain G, Li Q, Ostrikov KK., 2020. Green inhibitors for steel corrosion in acidic environment: state of art. *Materials Today Sustainability*, 10: 100044.

Türk Bisiklet Sporcularının Yarışma Yönelik Beslenme Davranışlarının İncelenmesi*

Esra KÜRKÇÜ AKGÖNÜL^{1**}, Gökmen ÖZEN², Ömer Cumhuri BOYRAZ³

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Necatı Hekim Spor Bilimleri Fakültesi, İzmir

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Çanakkale

³ Çukurova Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0003-3771-937X>

²<https://orcid.org/0000-0001-5756-653X>

³<https://orcid.org/0000-0002-7348-3029>

**Sorumlu yazar: bestfemalecyclist@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 12.04.2023

Kabul tarihi: 10.07.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler

Beslenme stratejisi

Beslenme davranışı

Bisiklet sporcusu

Sporcu beslenmesi

Yarışma stratejisi

ÖZ

Çalışmanın amacı, uluslararası düzeyde mücadele eden Türk bisiklet sporcularının müsabaka haftasına yönelik olarak, yarışma öncesi, sırası ve sonrası uyguladıkları beslenme stratejilerinin ve yarışma sonrası toparlanma yöntemlerinin belirlenmesidir. Araştırmaya, 19 erkek ve 13 kadın toplam 32 bisikletçi katılmıştır. Beslenme alışkanlıklarının ve toparlanma yöntemlerinin belirlenebilmesi için “Sporcu Beslenme Formu” uygulanmıştır. Araştırma bulgularına göre; sporcuların düzenli üç öğüne sahip oldukları; öğünlerini düzenli alanlar ile almayanlar arasında, düzenli alanların lehine anlamlı fark olduğu ($P=0,034$); sporcuların %59,4’ünün öğün atlamadığı; ana öğüne ek olarak sporcuların %71,9’unun en az bir ara öğün aldığı tespit edilmiştir. Yarışma sabahı bisikletçilerin %53,1’i karbonhidrat, %6,3’ü protein, %40,6’sı karma ağırlıklı beslendiği; yarış esnasında sporcuların %37,5’inin muz, %52,5’inin enerji jeli tükettiği tespit edilmiştir. Bisikletçilerin yarıştan sonra ortalama 48 dk (± 41) içinde içecek, ortalama 78,5 dk ($\pm 48,6$) içinde yiyecek tükettikleri, yarış bitiminden 10 dk sonrasında itibaren farklı beslenme stratejileri uyguladıkları ortaya konmuştur. Yarış öncesi, sporcuların %53,1’inin karbonhidrat, %18,8’inin protein, %28,1’inin karma ağırlıklı beslendiği; yarış sonrası, sporcuların %40,6’sının karbonhidrat, %28,1’inin karma, %18,8’inin protein ağırlıklı beslendiği tespit edilmiştir. Yarış sonrası tüketilen bu makro besin öğelerinden karbonhidratın ortalama 241,9 g ($\pm 192,9$), proteinin 46,0 g ($\pm 29,1$), yağın ise 13,3 g (± 7) olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak uluslararası düzeydeki kadın ve erkek bisikletçilerin yarışma sabahı, yarış sonrası ana öğün ve yarıştan 3 saat sonraki öğünde karbonhidrat ağırlıklı, yarışmadan bir gün sonra ise karma ağırlıklı beslendikleri tespit edilmiştir. Sonuçların, bu sporu üst seviyede yapmak isteyen sporculara, beslenme bilgisi edinmek isteyen antrenör ve diyetisyen gibi spor çalışanlarına faydalı olacağı düşünülmektedir.

*Çalışmanın yürütülmesi için “Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü”, Bilimsel Araştırma Etik Kurul’undan 03.02.2022 tarih ve 03/31 sayılı karar ile etik onay alınmıştır.

Examination of Race Oriented Nutritional Behaviors of Turkish Cyclists

Research Article

Article History:

Received: 12.04.2023

Accepted: 10.07.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Cyclist

Nutrition strategy

Nutrition behaviour

Race strategy

Sports nutrition

ABSTRACT

The aim of the study is to determine the nutritional strategies and post-competition recovery methods applied by Turkish cyclists competing at the international level before, during and after the competition week. A total of 32 athletes, 19 men and 13 women, participated in the research. "Athlete Nutrition Form" was applied to determine nutritional habits and recovery methods. According to the research findings; that athletes have three regular meals; there is a significant difference between those who take their meals regularly and those who do not ($P=0.034$); 59% of the athletes did not skip meals; It was determined that 71.9% of the athletes took at least one snack in addition to the main meal. On the morning of the competition, 53.1% of the cyclists ate mainly carbohydrates ($n=17$), 6.3% protein ($n=2$), and 40.6% mixed diet ($n=13$); It was determined that 37.5% of the athletes consumed banana ($n=12$), 50% energy gel ($n=16$) and 6.3% energy bar ($n=2$) during the race. It has been revealed that cyclists consume beverages within an average of 48 minutes (± 41) and food within an average of 78.5 minutes (± 48.6) after the race, and apply different nutritional strategies within 10 minutes of the end of the race. Before the competition, 53.1% of the athletes had a carbohydrate diet ($n=17$), 18.8% a protein ($n=9$), 28.1% a mixed diet ($n=6$); after the race, it was determined that 40.6% of the cyclists had a carbohydrate, 28.1% a mixed and 18.8% a protein-based diet. It has been determined that among these macronutrients consumed after the race, the average of carbohydrates is 241.9 g (± 192.9), protein is 46.0 g (± 29.1), and fat is 13.3 g (± 7). As a result, it has been determined that well-trained male and female cyclists have a carbohydrate-based diet on the morning of the competition, the main meal after the race and the meal 3 hours after the race, they have a mixed diet one day after the competition. It is thought that the results will be beneficial for athletes who want to do this sport at a high level and for sports workers such as trainers and dietitians who want to gain nutritional information.

To Cite: Kürkcü Akgönül E, Özen G, Boyraz ÖC., 2024. Türk bisiklet sporcularının yarışa yönelik beslenme davranışlarının incelenmesi. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 104-128.

Giriş

İcadı 18. yüzyıla uzanan bisiklet, ulaşım, serbest zaman, sağlık ve yarışma amacıyla kullanılan bir araçtır. İlk yarışları 1868 yılında yapılmış olan bisiklet sporu, 1896 Atina'da düzenlenen ilk olimpiyat oyunlarına da dâhil olmuştur. Bisiklet sporcuları çok uzun süre ve mesafelerde bisikletin üzerinde zaman geçirirler. Özellikle profesyonel bisikletçiler yılda 35 bin km kadar antrenman yaparlar (Süme ve Özsoy, 2010; Zarzecny, 2013; Topraklı, 2016; Kürkcü Akgönül ve ark., 2023). Bisiklet sporunda yarışmalar ise, sekiz farklı ana kategoride, tek gün 500 m ile 280 km arasında yapılırken, çoklu etaplar şeklinde 21 günde toplam 3500 km arasında değişen süre ve mesafelerde yapılmaktadır. Antrenman ve müsabakaların türü, yarışma süresi ve şiddetine göre farklı enerji yolları aktif olur (Boyraz, 2018). Müsabakaların sürdüğü gün sayısı ve yarışların frekansına göre farklı dinlenme, toparlanma ve beslenme stratejileri söz konusudur. Aktif olan enerji yolları ve egzersiz şiddetine göre,

antrenman ve müsabaka öncesi, esnası ve sonrası beslenme stratejileri planlanmalıdır (Wright ve ark., 1991; Burke ve Deakin, 2010; McArdle ve ark., 2015).

Müsabaka performansına etki eden faktörlere bakıldığında genetik yapı, uygun antrenman ve beslenme ilk sıralarda gelmektedir (Perez-Gomez ve ark., 2008). Performansın ortaya çıkışında fizyolojik ve psikolojik faktörler, antrenman durumu, beslenme durumu, sağlık, çevresel faktörlerin etkili olmasıyla birlikte, bu faktörlerden hangilerinin performansa katkısının daha fazla olduğunu söylemek oldukça zordur. Normal koşullarda, bu faktörlerin performansa etkisinin ayrımı zor olsa da, yanlış beslenen bir sporcunun performansı olumsuz etkilenebilmekte ve yüksek performans sergileyememektedir (Schlumberger, 2006; Heismans ve Mallon, 2011). Bisiklet sporunda performansın üst düzeye çıkarılabilmesi için yılda 35 bin km, haftalık 16-20 saat antrenman yapan sporcular, çabalarını boşa çıkarmamak için doğru ve kaliteli beslenmelidir (Schlumberger, 2006; Impellizzeri ve Marcora, 2007). Egzersiz öncesi enerji depolarının dolu olması, egzersizin süresi ve şiddetine göre aktivite esnasında performansın düşmemesi, egzersiz sonrası toparlanma ve sonraki egzersize hazırlık için doğru beslenme oldukça önemlidir (Burke ve Deakin, 2010).

Bisiklet gibi dayanıklılık gerektiren sporlar için beslenmenin planlaması bir sanat ve bilimdir. Dayanıklılık sporcusunun günlük sıvı ve besin ihtiyacı, özellikle güç ve takım sporlarıyla uğraşan sporcularla karşılaştırıldığında büyük ölçüde değişebilir. Dayanıklılık sporcularının normal bireyler gibi beslenmeleri ve özel beslenme stratejileri olmaksızın müsabakalara katılmaları büyük dezavantajlar yaratmaktadır. (Burke ve Deakin, 2010). Bu sebeple, performans beslenmesi için müsabakanın olduğu hafta, önceki gece, müsabaka sabahı, esnası ve sonrası göz ardı edilmemelidir (Wright ve ark., 1991; Power ve Howley, 2009; Burke ve Deakin, 2010; Hall, 2016).

İnsan vücudunda yaklaşık olarak, 400 g kaslarda ve 100 g karaciğerde olmak üzere toplam 500 g karbonhidrat deposu vardır. Bu depo 2000 kalorilik enerjiye karşılık gelmekte ve 90 dakikalık orta-yüksek şiddetli egzersizler için yeterli olmaktadır (Burke ve Deakin, 2010). Limitli olan enerji deposu nedeniyle, egzersizin öncesinde, esnasında ve sonrasında alınan karbonhidratın miktarı ve alımı sportif performansta belirleyici etkindir. Konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalarda, karbonhidratlı beslenmenin karbonhidratsız beslenme türüne göre, bireysel zamana karşı performansta tükenme süresini uzattığı gözlemlenmiştir (Wright ve ark., 1991; Power ve Howley, 2009; McArdle ve ark., 2015; Hall, 2016).

Yaklaşık olarak 90 dakikadan kısa süren dayanıklılık müsabakaları; cyclo-cross, short track, cross country ve kriteriyum yarışları, dengeli beslenme durumunda karbonhidrat yüklemesi gerektirmeyen fakat alınan karbonhidrat türünün dikkat edilmesi gereken

mesafelerdir. Müsabaka sabahı 4 saat öncesi 4 g karbonhidrat/kg ile müsabaka süresinin bir saati aştığı durumlarda 30 g/saat karbonhidrat alımı kısa süreli bisiklet müsabakaları için performansta anahtar rol oynamaktadır. İki saat ve üzeri dağ bisikleti müsabakaları, üç saat ve üzeri yol bisikleti ve yol bisikleti saate karşı gibi uzun süreli dayanıklılık müsabakalarında klasik beslenmede sahip olunan karbonhidrat deposu yetersiz kalabilir. Bu tarz müsabakalardan önce karbonhidrat yüklemesi gibi stratejiler uygulanmaktadır. Bu dönemlerde sporcular, diyetlerinin yaklaşık olarak %70'i kadar ya da kg başına 8-10 g karbonhidrat tüketmelidirler. Kadın sporcular için de 10-12 g/kg karbonhidrat almaları önerilmektedir (Burke ve Deakin, 2010). Karbonhidrat yüklemesi ile depo edilebilen glikojen miktarının yaklaşık %50 oranında arttırılabildiği bilinmektedir. Bu miktar maksimum kg başına 15 g karbonhidrata denk gelmekte ve 70 kg ağırlığında erkek bir sporcu için yaklaşık 1050 grama tekabül etmektedir (McArdle ve ark., 2015).

Uzun süreli müsabakalarda yarış içi performansa etki eden en önemli faktörlerden biri beslenmedir. Beslenme, yarışlarda karbonhidrat depolarının tükenerek olması, sıvı kaybı ve elektrolit dengesinin bozulması nedeniyle ortaya çıkabilen; sporcularda duvara çarpma, performans düşüşü ve kramplarla mücadelede yarış dışı kalmamak için en önemli silahtır (Burke ve Deakin; 2010; Hall, 2016). Bu bakımdan beslenmede her 15-20 dakikada 60-240 ml sıvı alımı da oldukça önemlidir. Süresi 3 saate kadar olan müsabakalar esnasında her saat için 25-60 g karbonhidrat, 3 saati geçen sürelerde ise saat başı 90 g karbonhidrat alımı performansı olumlu etkilemektedir. Hiponatremi, sodyum azlığı oluşumunun engellenmesi için ise sodyum alımı göz ardı edilmemelidir. Bu tarz müsabakalarda karbonhidrat ve sodyuma ilave olarak bazı sporcuların dallı zincirli amino asitler (BCAA) ve kafein tabletleri kullandıklarında bilinmektedir (Burke ve Deakin, 2010).

Gün aşırı yapılan müsabakalar ve toparlanma için karbonhidrat penceresi veya altın saat olarak adlandırılan müsabakanın bitiminden sonraki 30 dakikalık süreçte 1 g/kg karbonhidrat ile 10-15 gram protein alımı protein sentezi ve karbonhidratın yeniden depo edilebilmesi için avantaj sağlamaktadır (Burke ve Deakin, 2010). Dayanıklılık sporcularının vitamin-mineral ihtiyaçları, karbonhidrat ve protein miktarında olduğu gibi spor yapmayan bireylere göre daha fazladır. A, B, C, E vitamini, demir, kalsiyum, sodyum, potasyum gibi minerallerin dengeli ve yeterli miktarlarda tüketilmesi, hem sağlık hem de sportif performans açısından önem ihtiva etmektedir (Burke ve Deakin, 2010; McArdle ve ark., 2015).

Nitekim beslenme, sporcuların enerji ve besin ögesi gereksinimlerini karşılayabilmek için gereklidir. Sportif performansın korunması ve geliştirilmesi, vücut glikojen depolarının korunması ve artırılması, kas protein yıkımının önlenmesi amacıyla bilinçli beslenme

programları hazırlanmalıdır. Sporcunun antrenman ya da müsabaka esnasında optimum performansı gösterebilmesi için egzersiz öncesi karbonhidrat depolarının yeterli düzeyde olması, egzersiz sırasında uzun süreli performansı sürdürülebilmesi, performans kaybının önlenmesi, egzersiz sonrası toparlanmanın sağlanması ve kas doku kaybının önlenmesi amacıyla gerekli sağlıklı beslenme alışkanlığının sağlanması gerekmektedir (Karagöz ve Şanlıer, 2018). Özellikle bisiklet sporunda, elit düzeyde mücadele edebilmek uzun süreli antrenmanlara ve gün aşırı yarışlara üst düzeyde hazırlık ve adaptasyon gerektirmektedir. Antrenmanlarda ve yarışlarda yüksek verim düzeyine ulaşmak ve verimi korumak için güncel antrenman ilkelerine bağlı kalınarak yapılan yüklenmeler kadar, antrenmanlara ve yarışmalara yönelik beslenme ve toparlanma stratejileri de oldukça önemlidir. Bu bağlamda bu çalışmanın amacı, ülkemizde uluslararası düzeyde bisiklet yarışmalarına katılan sporcuların yarışmaya yönelik beslenme ve toparlanma davranışlarını belirlemek, varsa eksiklikleri tespit etmek ve önerilerde bulunmaktır.

Materyal ve Metod

Araştırma Etiği

Çalışmanın yürütülmesi için “Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü”, Bilimsel Araştırma Etik Kurul’undan 03.02.2022 tarih ve 03/31 sayılı karar ile etik onay alınmıştır.

Araştırma Modeli

Araştırmada betimsel yöntem kullanılmıştır. Betimsel araştırma yöntemi, herhangi bir durum, olay ve problemi etrafıca tanımlamak, yorumlamak ve irdelemek için kullanılır ve ölçütler belirleyerek incelenen olaylar ve değişkenler arasında ilişkinin varlığı ve derecesi sorgulanır. Betimsel araştırmalarda, araştırmanın incelediği mevcut ortam bozulmaz, farklı bir ortam oluşturulmaya çalışılmaz. Tarama yöntemi betimsel bir yöntemdir ve örnekleme çalışıp evren hakkında anketlerle çıkarımlar yapmaya yarar (Çepni, 2010).

Çalışma Grubu

Araştırmaya Türkiye Bisiklet Federasyonu’nda lisanslı, uluslararası yarışmalara katılan, ülke şampiyonasında ilk sıralarda yer alan, 19 erkek ve 13 kadın, toplam 32 sporcu gönüllü

olarak katılmıştır. Katılımcılar, haftada en az 5 gün, 16 saat antrenman yapan, uluslararası müsabakalara katılan sporculardan oluşmaktadır.

Sporcuların demografik bilgileri incelendiğinde, katılımcıların %59,4'u erkek (n=19), %40,6'sı kadındır (n=13). Katılımcıların yaş, vücut ağırlığı, boy uzunluğu, beden kütle indeksleri (BKİ), bel, kalça, quadriceps kası çevresi ve bel-kalça oranı gibi fiziksel özelliklerine dair ölçüm sonuçları, cinsiyete göre değerlendirilerek Tablo 1'de verilmiştir. Tablodaki bulgulara göre, katılımcıların fiziksel özellikleri incelendiğinde erkek sporcuların ortalama 17,58±1,38 yıl yaş, 174,34±4,87 cm boy, 65,37±3,66 kg ağırlık, 21,52±1,28 kg/m² BKİ oranına; kadın sporcuların ise ortalama 19,46±2,81 yıl yaş, 160,58±5,02 cm boy, 55,79±5,98 kg ağırlık, 21,65 ±2,30 kg/m² BKİ oranına sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Cinsiyete göre katılımcıların genel fiziksel karakteristik özellikleri

Değişken	Ort - Ss		Min		Max	
	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek
Fiziksel Ölçümler						
Yaş (yıl)	19,46±2,81	17,58±1,38	17	17	26	23
Boy (cm)	160,58±5,02	174,34±4,87	150,50	167	167	183
Ağırlık (kg)	55,79±5,98	65,37±3,66	44,75	58,25	68,65	70,20
BKİ (kg/(cm ²))	21,65 ±2,30	21,52±1,28	17,70	18,19	25,39	23,86
Çevre Ölçümleri						
Bel (cm)	69,42±4,58	73,39±2,58	62,00	67,00	78,5	78,00
Kalça (cm)	93,92±5,99	91,71±3,39	85,00	82,00	109,0	97,0
Bel/Kalça Oranı	0,74±0,54	0,80 ±0,03	0,63	0,74	0,83	0,91
Quadriceps ^a (cm)	46,69±4,05	43,70±2,70	39,00	39,50	51,00	49,50
Quadriceps ^b (cm)	47,65±3,68	44,21±3,15	40,50	40,00	52,50	50,50

^a) kas rahat iken ^b) kas kasılı iken alınan çevre ölçümleridir.

Çevre ölçümleri incelendiğinde; erkek sporcuların ortalama 73,39±2,58 cm bel, 91,71±3,39 cm kalça, 0,80±0,03 bel-kalça oranı, 43,70±2,70 cm quadriceps (rahat), 44,21±3,15 cm quadriceps (kasılı) çevresine sahip olduğu bulunmuştur.

Veri Toplama Aracı

Bisikletçilerin beslenme alışkanlıklarının belirlenebilmesi için daha önce yapılmış bilimsel çalışmalardan yararlanılarak, araştırmacılar tarafından geliştirilen, 12 kişisel bilgi, 8 genel beslenme alışkanlığı ve 21 sportif beslenme stratejileri alt başlıkları altında toplam 41 sorudan oluşan “Sporcu Beslenme Formu” sporcuların yarış sonrası dinlenme saatlerinde,

açıklamalar yapıldıktan sonra araştırmacılar tarafından uygulanmıştır. “Sporcu Beslenme Formu” daha önce konuyla ilgili yapılan araştırmalardan elde edilen soruların, konuya uygun olanlarının araştırmacılar tarafından seçilmesi ile oluşturulmuştur.

Verilerin Analizi

Araştırmada elde edilen verilerin istatistiksel hesaplaması SPSS programı ile yapılmıştır. Verilerin normalliği “Shapiro Wilk” testi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerin frekans ve yüzde değerleri hesaplanarak, sonuçlar tanımlayıcı istatistiğe göre yorumlanmıştır. Bağımsız değişkenlere göre alt gruplar arasındaki farkın istatistiği “Ki Kare” analizi ile değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Bisikletçilerin antrenman döneminde genel beslenme ve uyku verileri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Sporcuların antrenman döneminde genel beslenme ve uyku verileri

Değişken	Ort - Ss	Min	Max
Öğün ile ilgili veriler			
Sabah	8,00 ±1,04	6,50	9,00
Öğle	12,45 ±1,07	11,00	14,00
Akşam	18,35 ±1,24	16,00	20,00
Uyku ile ilgili veriler			
Kalkma saati	7,20 ±1,10	6,00	9,00
Yatma saati	22,20 ±0,54	21,00	23,50
Toplam uyku süresi (sa)	9,0 ± 1,21	7,25	10,50
Öğlen uyku süresi (dk)	71,54 ± 45,06	30,00	180

Katılımcıların gündelik yaşantılarındaki öğün verilerine bakıldığında, gün içinde düzenli olarak üç öğüne sahip oldukları; sabah kahvaltısını ortalama saat 8:00’da, öğlen yemeklerini saat 12:45’te, akşam yemeklerini ise saat 18:30’da aldıkları belirlenmiştir. Uyku ile ilgili verilere bakıldığında; sporcuların günlük toplam 9-10 saate yakın gece uykusu ve yaklaşık 1-2 saat öğlen uykusu olmak üzere, gün içinde toplam 10-11 saat uyku uyudukları tespit edilmiştir. Bisikletçilerin antrenman dönemindeki genel beslenme davranışları ile ilgili farkın istatistiği Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Sporcuların antrenman dönemindeki genel beslenme davranışları istatistiği

Değişken		f	%	X ²	P
Öğün ile ilgili veriler					
Ana Öğün	2	4	12,5	17,065	0,000*
	3	27	84,4		
Ara Öğün	Hiç	1	3,1	0,438	0,804
	1	12	37,5		
	≥2	11	34,4		
Öğünler düzenli mi?	Evet	22	68,8	4,500	0,034*
	Hayır	10	31,3		
Öğün atlama	Evet	13	40,6	1,125	0,289
	Hayır	19	59,4		
Hangi öğünü atlarsınız	Sabah	5	15,6	14,533	0,002*
	Öğle	7	21,9		
	Akşam	2	6,3		
	Hiçbiri	16	50,0		
Dışarda yeme alışkanlığı ile ilgili veriler					
Dışarıda yeme sıklığı	Evet	28	87,5	18,000	0,000*
	Hayır	4	12,5		
Dışarda yenen öğün	Kahvaltı	1	3,1	16,250	0,001*
	Öğle	15	46,9		
	Akşam	12	37,5		
	Hiçbiri	4	12,5		
Dışarıda fast food yer misiniz?	Evet	9	28,1	6,125	0,013*
	Hayır	23	71,9		
Beslenme planı kaynağı	Dış kaynaklar	15	46,9	0,125	0,724
	Hayır	23	71,9		

*P<0,05

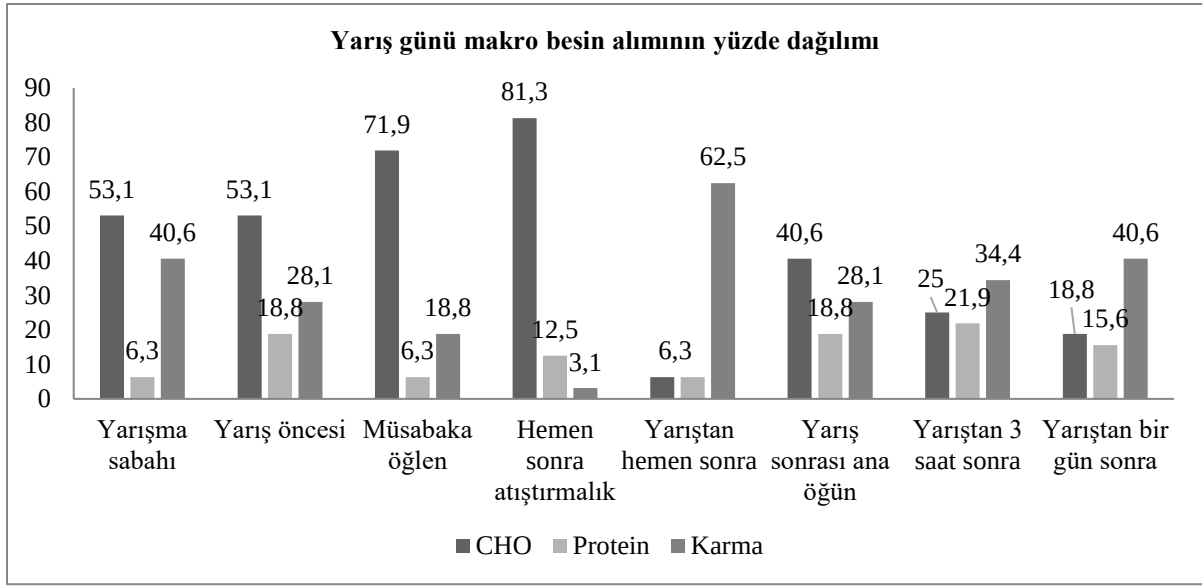
Araştırma bulgularına göre, büyük oranda bisikletçinin (%68,8) öğünlerini düzenli aldığı ve öğünlerini düzenli alanların almayanlara göre anlamlı düzeyde daha fazla olduğu (P=0,034) tespit edildi. Sporcuların %59,4'ünün öğün atlamadığı, öğün atlayan sporcuların da genellikle öğle öğününü atladığı tespit edilmiştir. Sporcuların günlük ana öğün sayılarının 2 veya 3 olduğu; %84,4 oranında bisikletçinin 3 ana öğün aldığı; ana öğün sayısı fazla olan sporcuların lehine, gruplar arasında anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir (P=0,000). Ana öğüne ek olarak, sporcuların %37,5'inin 1 ara öğün, %34,4'ünün ise iki ve daha fazla ara

öğün aldıkları gözlemlenmiş; ara öğün alma sayısına göre gruplar arasında anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir ($P=0,804$). Sporcuların dışarıda yemek yeme alışkanlıkları incelendiğinde bisikletçilerin %87,5 oranında dışarıda yemek yeme alışkanlığı olduğu görülmektedir. Dışarıda hiç yemek yemeyen sporcuların oranı %12,5 olarak bulunmuş; dışarıda yemek yeme alışkanlığı olan bisiklet sporcularının lehine gruplar arası anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir ($P=0,000$). Bisikletçilerin dışarıda yemek yedikleri öğünlerin çoğunlukla öğle (%46,9) ve akşam yemekleri (%37,5) olduğu, bisikletçilerin kahvaltı öğününü dışarıda yemedikleri sonucuna ulaşılmış; dışarıda yenen öğün bakımından gruplar arasında anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir ($P=0,001$). Bisikletçiler, beslenme ile ilgili planlama kaynağı olarak %53,1 oranında kendileri; %46,9 oranında antrenör, aile, arkadaş olduğunu belirtmişlerdir. Sporcuların yarışma günü yarıştan sonra tükettikleri yiyecek ve içeceklerin miktarı ve zamanlaması ile ilgili veriler Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Sporcuların yarışma günü yarış sonrası beslenme davranışları

Değişken	n	Ort $\pm$ Ss	Min	Max
Tüketim zamanlaması				
Yarıştan sonra içecek (dk)	32	48,0 $\pm$ 41,0	10,00	180,00
Yarıştan sonra yiyecek (dk)	32	78,5 $\pm$ 48,6	10,00	180,00
Tüketim miktarı				
Yarış içi sıvı miktarı (mL)	24	292,7 $\pm$ 155,4	50,00	500,00
Karbonhidrat miktarı(g)	19	241,9 $\pm$ 192,9	15,00	600,00
Protein miktarı(g)	19	46,0 $\pm$ 29,1	10,00	100,00
Yağ miktarı (g)	9	13,3 $\pm$ 7,0	10,00	30,00

Araştırma bulgularına göre, bisikletçilerin yarıştan sonra ortalama 48 $\pm$ 41 dk içinde içecek, ortalama 78,5 $\pm$ 48,6 dk içinde yiyecek tükettikleri saptanmıştır. Sporcuların yarış sonrası 10'uncu dakikadan itibaren beslenmeye başlayıp, üçüncü saate kadar farklı saatlerde beslenme davranışı gösterdikleri tespit edilmiştir. Ancak bisikletçilerin çoğunlukla yarışmadan sonra ilk 1 saat 15 dk içerisinde, karbonhidrat ağırlıklı beslendikleri tespit edilmiştir. Yarış sonrası tüketilen makro besin öğeleri miktarlarına bakıldığında, ortalama 241,9 $\pm$ 192,9 g karbonhidrat, 46,0 $\pm$ 29,1 g protein, 13,3 $\pm$ 7,0 g yağ olduğu belirlenmiştir. Bisikletçilerin %28'inin yarışma sonrası beslenmede yağ tükettiği, geri kalanın tüketmediği de ayrıca bulgularda dikkati çekmektedir. Yarış içi tüketilen sıvı miktarının ise 15 km veya 15 dakika için ortalama 292,7 $\pm$ 155,4 ml olduğu tespit edilmiştir. Yarış günü sporcuların beslenmeleri ile ilgili makro besin alımının yüzdelik dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yarış günü makro besin alımının yüzde dağılımı

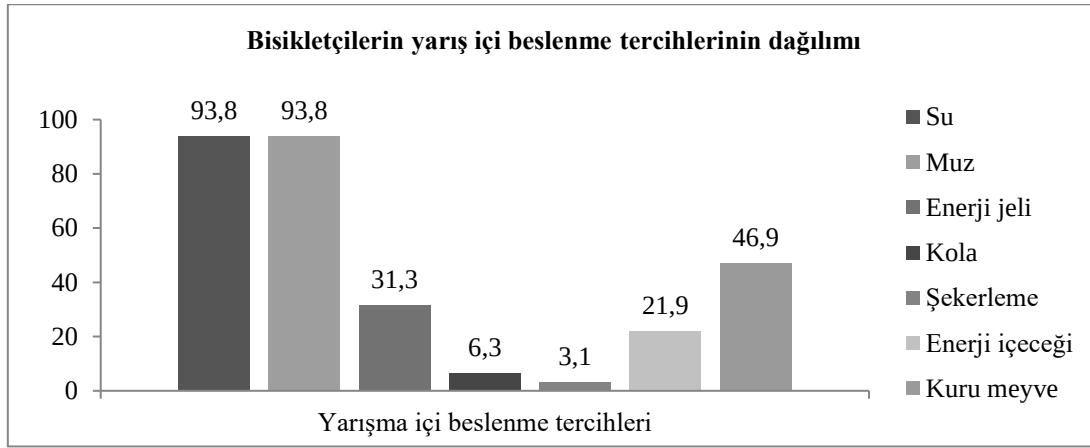
Şekil 1’deki verilere göre, bisikletçiler yarışma öncesinde ve yarıştan kısa süre sonra ağırlıklı olarak karbonhidrat ağırlıklı beslenirken, yarışma sonrası belli bir süre sonra karma ağırlıklı olarak beslenmektedirler. Yarışma sabahı hem karbonhidrat (%53,1) hem de karma (%40,6) beslenen sporcular mevcuttur, fakat protein ağırlıklı tüketim (%6,3) fazla tercih edilmemektedir. Yarış öncesi öğünde beslenme karbonhidrat ağırlıklı iken (%53,1), karma beslenme bu orana yakın olup (%28,1), bisikletçilerin protein tüketimi yarışma sabahına göre artış göstermektedir (%18,8). Yarışmadan üç saat sonraki öğünde bisikletçilerin %25’i karbonhidrat ağırlıklı, %34,4’u karma, %21,9’u protein ağırlıklı beslenmektedirler. Yarışmadan bir gün sonra öğünlerinde %40,6’sının karma, %18,8’inin karbonhidrat, %15,6’sının protein ağırlıklı beslendiği görülmektedir. Sonuç olarak üst düzey bisiklet sporu yapan kadın ve erkek bisikletçilerin yarışma sabahı, yarıştan hemen sonra atıştırma, yarış sonrası ana öğün ve yarıştan üç saat sonraki öğünde karbonhidrat ağırlıklı, yarışmadan bir gün sonrasında karma ağırlıklı beslendikleri tespit edilmiştir. Bisikletçilerin yarış içi ve yarış gecesi ile ilgili beslenme davranışları Tablo 5’te gösterilmiştir. Tablo 5’te verilen bilgiler ışığında, bisikletçiler yarışmada çoğunlukla muz, enerji jeli ve enerji barı tüketmekte olup, sırasıyla bisikletçilerin %52,5’i enerji jeli ve barı, %37,5’i muz tükettiğini bildirmişlerdir. Sporcuların yarış sırasında ihtiyaç duydukları sıvı miktarının, yarışın toplam süresine ve toplam mesafeye göre değişiklik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Yol bisikleti ağırlıklı yarışan sporcuların (%50) mesafeye göre, dağ bisikleti ağırlıklı yarışan sporcuların (%50) ise süreye göre sıvı miktarını belirledikleri saptanmıştır. Sporcuların %68,8’inin beslenme durumlarının yarışın zorluğuna göre anlamlı derecede değiştiği ($P=0,013$), %65,6’sının ise yarış öncesi gece yemek yeme beslenme alışkanlığının olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5. Sporcuların yarış içi ve yarış gecesi ile ilgili beslenme davranışları

Değişken		f	%	X ²	P
Yarış içi beslenme ile ilgili veriler					
Yarış içi beslenme	Muz	12	37,5	2,000	0,157
	Enerji jeli-barı	20	52,5		
Sıvı miktarı belirleme yöntemi	Süreye göre	16	50,0	0,000	1,000
	Mesafeye göre	16	50,0		
Yarış zorluğuna göre beslenme durumu	Evet	23	68,8	6,125	0,013*
	Hayır	9	28,1		
Yarış öncesi gece yeme içme	Evet	21	65,6	3,125	0,077
	Hayır	11	34,4		

*P<0,05

Sporcuların yarış içi beslenme tercihlerinin geniş dağılımı Şekil 2’de sunulmuştur.

**Şekil 2.** Bisikletçilerin yarış içi beslenme tercihlerinin dağılımı

Bisikletçilerin yarış içi tükettikleri besinler geniş kapsamda sorgulandığında; sporcuların yarış içerisinde su, muz, enerji jeli, kola, şekerleme, enerji içeceği ve kuru meyve gibi besinlerin tükettiği sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 2’deki bilgilere göre, bisikletçilerin %93,8’inin su-muz, %46,9’unun kuru meyve, %31,3’ünün enerji jeli, %21,9’unun enerji içeceği, %6,3’ünün kola ve %3,1’inin şekerleme tercih ettikleri tespit edilmiştir. Bisikletçilerin yarışma sonrası atıştırmalık, ana öğün ve birbirini takip eden öğünlerde gösterdikleri beslenme davranışlarına ait farkın ki kare analizi Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. Bisikletçilerin yarışma sonrası beslenme davranışları ile ilgili ki kare analizleri

Değişken		f	%	X ²	P
Yarıştan hemen sonra atıştırma	Karbonhidrat ağırlıklı	27	84,4	15,125	0,000*
	Protein ağırlıklı	5	15,6		
Yarıştan hemen sonra öğün	Karbonhidrat ağırlıklı	7	21,9	12,438	0,002*
	Protein ağırlıklı	5	15,6		
	Karma ağırlıklı	20	62,5		
Yarıştan sonra ana öğün	Karbonhidrat ağırlıklı	17	53,1	6,063	0,048*
	Protein ağırlıklı	6	18,8		
	Karma ağırlıklı	9	28,1		
Yarıştan 3 saat sonra	Karbonhidrat ağırlıklı	14	43,8	2,312	0,315
	Protein ağırlıklı	7	21,9		
	Karma ağırlıklı	11	34,4		
Yarıştan 1 gün sonra	Karbonhidrat ağırlıklı	8	25,0	10,188	0,006*
	Protein ağırlıklı	5	15,6		
	Karma ağırlıklı	19	59,4		

*P<0,05

Tablo 6'ya göre, bisikletçilerin %84,4'ünün yarışmadan hemen sonra karbonhidrat ağırlıklı, %15,6'sının ise protein ağırlıklı atıştırma yaptıkları ve gruplar arasında, karbonhidrat ağırlıklı beslenenler lehine anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir (P=0,000). Yarıştan hemen sonraki beslenme alışkanlığı incelendiğinde, bisikletçilerin %62,5'inin karma, %21,9'unun karbonhidrat, %15,6'sının protein ağırlıklı beslendiği ve makro besin frekanslarına göre gruplar arasında karma beslenme lehine anlamlı fark olduğu bulunmuştur (P=0,002). Yarıştan sonra ana öğünde ise bisikletçilerin %53,1'inin karbonhidrat, %28,1'inin karma, %18,8'inin protein ağırlıklı beslendiği ve gruplar arasında karbonhidrat ağırlıklı beslenenler lehine anlamlı fark olduğu (P=0,048) tespit edilmiştir. Buradan hareketle yarıştan sonra ana öğüne kadar sporcuların atıştırma olarak karbonhidrat ağırlıklı, ana öğün öncesi karma ağırlıklı, ana öğünde ise karbonhidrat ağırlıklı beslendikleri ve bisiklet sporcularının tercihlerinin bireysel olarak birbirinden anlamlı derecede farklı olduğu görülmektedir. Yarıştan sonra belli bir süre geçtiğinde, sporcuların beslenme tercihlerinin daha da değişiklik gösterdiği dikkati çekmektedir. Bu doğrultuda, yarıştan 3 saat sonra bisikletçilerin %43,8'inin karbonhidrat ağırlıklı, %34,4'ünün karma ağırlıklı, %21,9'unun protein ağırlıklı beslendiği; ancak bu tercihler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bulunmuştur (P=0,315). Yarıştan bir gün sonrasında ise bisikletçilerin %59,4'ünün karma, %25,0'inin karbonhidrat,

%15,6'sının protein ağırlıklı beslendiği; yarıştan bir gün sonraki beslenme tercihleri arasında karma beslenme lehine anlamlı fark olduğu ($P=0,006$) tespit edilmiştir. Bulgulara göre bisikletçilerin yarışmadan hemen önce ve hemen sonrasında karbonhidrat ağırlıklı beslendikleri, yarış sonrası ana öğünü takip eden öğünlerde karma beslenmeye doğru geçiş olduğu görülmektedir.

Tartışma

Bu çalışma iyi antrenman düzeyine sahip, kadın ve erkek bisiklet sporcularının yarışa yönelik beslenme ve toparlanma davranışlarını tespit etmek amacıyla yapıldı. Spor yapan bireylerin; sağlığını koruyarak vücudunu geliştirmesi, yüksek sportif performansa ulaşabilmesi ve bu seviyeyi koruyabilmesinin yalnızca dengeli, düzenli ve amaca uygun beslenme stratejileriyle olabileceği bilinmektedir (Saygın ve ark., 2009). Bu doğrultuda sporcunun doğru ve dengeli beslenme stratejisi uygulaması, sportif performansını olumlu şekilde etkilerken, kötü ve bilinçsiz beslenme stratejisi uygulaması hem antrenman hem de müsabaka performansını olumsuz yönde etkileyebilir (Yarar ve ark., 2011).

Çalışmaya katılan sporcuların öğünlerini düzenli aldıkları, bisikletçilerin % 84,4'ünün günde üç öğün beslendiği, % 37,5'inin bir ara öğün, % 34,4'ünün ise iki ve daha fazla ara öğün aldığı tespit edilmiştir. Bisikletçilerin %40,6'sının öğün atladığı, atlanılan öğünün ise uzun süren antrenmanlar sebebiyle genellikle öğle öğünü olduğu bildirilmiştir. Bisikletçilere atlanılan öğünün öğle öğünü olması ve ara öğün alma nedenleri sorulduğunda, bisiklet antrenmanlarının uzun olması, harcanan enerjinin fazla olması ve bu enerjinin bir öğünde alınmasındansa öğün sayısını artırarak sık sık beslenmenin daha etkili olduğunu; ayrıca ana öğünlerde fazla miktarda besin almanın mide ve barsak sorunları yaşattığını bildirmişlerdir. Öğün sayısının fazla olması, özellikle dayanıklılık sporlarında enerji harcamasının fazla olması sebebiyle önemlidir (Özdemir, 2002). Bu konuda yapılan bir çalışmada, günde beş öğün alan bisikletçilerin üç öğün alan bisikletçilerden daha iyi sportif performans sergiledikleri; ayrıca kısa aralıklarla alınan diyetin gün boyu toplam verimi artırdığı rapor edilmiştir (Yarar ve ark., 2011). Dinç ve ark., (2017), düzenli fitness yapan bireylerin beslenme alışkanlıklarını incelediği çalışmada, katılımcıların ana öğünlerini atlamadıkları; %81,2'sinin kahvaltı yaptığı, %92,2'sinin öğle yemeği yediği, %97,4'ünün akşam yemeği yediği, ara öğün alanların ise %51,3 oranında olduğunu bildirmişlerdir. Aynı şekilde Özerson'un (2013) futbolcular üzerinde yaptığı çalışmada, sporcuların %90'ının güne kahvaltı ile başladığını, öğün atlayan grubun çoğunlukla amatör futbolculardan (%28,6) ziyade profesyonel futbolcular (%70) olduğunu rapor etmiştir. Bu çalışma sonucunda öğün

atlayan amatör futbolcuların çoğunlukla öğle öğününü atlaması (%33,2), mevcut çalışma sonuçları ile örtüşmektedir. Bisikletçilerin %15,6'sının kahvaltı öğününü atladığı sonucuna ulaşılmıştır; buradan hareketle sporcuların kahvaltı öğünü alması ile ilgili sonuçların da literatürde amatör sporcuların beslenme davranışları ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, sporcuların sportif düzeyine bakılmaksızın beslenme alışkanlığının, tüm branşlardaki sporcularda benzer olduğunu; sporcuların genel olarak üç öğün beslendikleri, %50 ve üzeri oranda ara öğün aldıkları ve büyük oranda sporcuların kahvaltı öğününe önem verdiğini; sporcuların atladıkları öğünün istendik veya istenmedik nedenlerle öğle öğünü olduğunu göstermektedir.

Egzersiz esnasında sindirim zorluğu çekmemek için, spor yapmadan önce kolay sindirilebilir besinlerin tüketilmesi gerekmektedir; bununla birlikte öğünün egzersizden ne kadar süre öncesinde alınması gerektiği de sportif performansı ortaya koymada önemli noktalardan biri olduğu bilinmektedir (Karagöz ve Şanlıer, 2018). Konuyla ilgili literatür çalışmalarına göre; çikolatalı süt, muz, fındık ezmesi sandviç gibi orta veya yüksek glisemik indekse sahip besinlerin egzersizden en az bir saat öncesinde (Austin ve Seeböhar, 2011), peynirli makarna ile tavuk sote gibi düşük glisemik indeksli besinlerin egzersizden en az iki saat veya daha uzun süre öncesinde tüketilmesi önerilmiştir (Jeukendrup ve Baker, 2016). Beslenme stratejilerinin öneminin, antrenmandan ziyade yarış performansını ortaya koyabilme açısından daha kritik olduğu düşünülmektedir. Yarış öncesinde, karbonhidratla birlikte belirli miktarda protein ve yağ tüketiminin, kandaki glukoz seviyesinde devamlılık sağladığı bilinmektedir (Austin ve Seeböhar, 2011). Konuyla ilgili yapılan bir araştırmaya göre, egzersiz öncesi karma besin öğelerini içeren sporcu içecekleri (14 g fruktoz, orta zincirli trigliserit, aminoasit karışımı ve 240 ml su), sporculara egzersizden 30 dk önce plasebo ile birlikte uygulanmış, çalışma sonucunda sporcuların VO_{2max} ortalama değerinin spor içeceği alanlarda daha yüksek, tükenme süresinin daha uzun olduğu rapor edilmiştir (Byars ve ark., 2010). Bu sonuçlar doğrultusunda uzun süreli egzersiz öncesinde karma beslenmenin önemli olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmada, yarış öncesinde, bisikletçilerin %53,1'inin karbonhidrat, %28,1'inin karma, %18,8'inin protein ağırlıklı beslendiği; yarış sabahında ise yine %53,1 oranında karbonhidrat, %40,6 oranında karma, %6,3 oranında protein ağırlıklı beslendiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlarla birlikte, bisikletçilerin %28,1-40,6'sının bilinçli beslenme stratejisi uyguladığı, bu oranın düşük olmasından dolayı, bisiklet sporcuları ve antrenörlerinin genel olarak literatür çalışmalarından haberdar olmadıkları, uluslararası düzeyde bisiklet sporu yapan Türk sporcuların egzersiz öncesi beslenme ile ilgili bilgi eksikliklerinin olduğu söylenebilir.

Kaslarda ve karaciğerde bulunan mevcut glikojen depolarının, %65-85 VO_{2max} düzeyindeki orta-yüksek yoğunluklu bir egzersizde 90-180 dakikada tükendiği bilinmektedir (Potgieter, 2013). Bisiklet yarışmalarında sporcuların ortalama KÂH 165-190 atım/dk ve yarışma süresinin en az 90 dk olduğu düşünüldüğünde, bisiklet sporcularının yarış içerisinde glikojen depolarının tamamen tükenebileceği ve bu nedenle yarışmadan önce glikojen depolarının %100 dolu olması gerektiği söylenebilir. Bu doğrultuda dayanıklılık sporcuları, yarışma haftasında glikojen depolarını doldurmak için bilinen en eski yöntemlerden biri olan karbonhidrat yüklemesi yapmaktadırlar. Karbonhidrat yüklemesi, yarışmadan 5-7 gün önce enerjinin yaklaşık %70'inin karbonhidrattan sağlandığı beslenme planıdır ve yükleme yapılmadan önce 3-6 gün süreyle glikojen depoları boşaltılır. Bu süreçte karbonhidrat alımı artırılırken fiziksel aktivite oranı eş zamanlı olarak azaltılmaktadır ve sonuçta 1-3 gün içinde en yüksek glikojen seviyesine ulaşılmaktadır (Tipton ve ark., 2001). Yarışmalardan 24-36 saat önce 6-12 g/kg karbonhidrat alımının glikojen depolarını olumlu yönde etkilediği bildirilmiş (Close ve ark., 2016); özellikle uzun süreli ve yüksek yoğunluklu egzersizlerden 1-4 saat öncesinde ortalama 1-4 g/kg karbonhidrat alınması önerilmiştir (Kerksick ve ark., 2018).

Egzersiz öncesi beslenmede, dayanıklılık sporcuları için yüksek karbonhidratlı bir öğünün yaklaşık olarak 90 dk önce tüketilmesinin egzersiz esnasında performansa olumlu etki ettiği bilinmekte; ayrıca egzersizden hemen önce 60-120 ml karbonhidrat içeceği ve 15 dk aralıklarla karbonhidrat bakımından zengin atıştırma ürünleri tüketilmesi önerilmektedir (Benardot, 2012). Yarış öncesi beslenme ile ilgili, araştırmada yer alan bisikletçilerin %53,1'i karbonhidrat ağırlıklı, %40,6'sı karma ağırlıklı, %6,3'ü protein ağırlıklı beslendiklerini bildirmişlerdir. Bu sonuçlarla birlikte bisikletçilerin yarısından fazlasının yarış öncesi beslenme ile ilgili stratejisinin doğru olduğu tespit edilmiş; ancak doğru uygulama yapan sporcu oranının çok daha fazla olması gerektiği düşünülmektedir. Bu konuda bisiklet sporcularına ve antrenörlere düzenli olarak gelişim seminerlerinin verilmesi mevcut yanlışların düzelmesini ve doğru uygulama yapan sporcu sayısını artırmayı sağlayabilir. Egzersiz öncesi beslenme içeriğinde makro besin öğelerinden karbonhidrat dışında, protein ağırlıklı beslenmeye özgü net bir kılavuz bulunmamaktadır. Ancak bu konuda Uluslararası Sporda Beslenme Topluluğu (ISSN), egzersizden 3-4 saat önce, kg başına 0,15-0,25 g protein ile kg başına 1-2 g karbonhidratın birlikte öğün olarak tüketilmesini önermektedir (Kerksick ve ark., 2018). Bu bağlamda egzersiz öncesi karbonhidratın yalnız tüketilmesinden ziyade proteinle birlikte tüketilmesinin daha verimli olduğu çıkarımı yapılabilir. Bisiklet sporcularının, yarış öncesinde makro besin öğelerinin hepsini tükettikleri, makro besin öğeleri

içerisinde karbonhidrat oranının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bisikletçilerin beslenme davranışlarının literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Sporcuların glikojen depoları tam olarak dolu olsa dahi 90 dakikayı aşan bir yarışmada mevcut glikojen deposu yeterli olmayabilir. Bu nedenle bisiklet gibi dayanıklılık sporlarında, egzersiz öncesi beslenmenin önemli olduğu kadar, egzersiz sırasındaki beslenmenin de önemli olduğu bir gerçektir. Egzersiz başladığında anabolik ve katabolik etkili hormonlar, özellikle insülin ve kortizol miktarı artmaya başlamaktadır. İnsülin ve glukagonun birbiri üzerine yaptığı zıt etkiyle kas yıkılması gerçekleşmekte ve glikojen depoları boşalmaktadır. Egzersiz sırasında besin tüketimi insülin seviyesini yükseltirken, kortizol seviyesini düşürmektedir (Ivy ve Portman, 2004). Artan insülin salınımı kortizol üzerine baskılayıcı etki yaparken, karbonhidratın hücreye girişi artmakta ve kas protein sentezi desteklenmektedir (Benardot, 2012). Bu nedenle egzersiz sırasında özellikle karbonhidrat bakımından zengin katı-sıvı besinlerle beslenme egzersiz performansını geliştirmektedir (Jeukendrup, 2004). Bu doğrultuda bisikletçilerin yarışma sırasında çoğunlukla muz, enerji jeli ve enerji barı tükettiği; yarış sırasında ihtiyaç duydukları sıvı miktarının, yarışın toplam süresine ve toplam mesafeye göre değişiklik gösterdiği; yol bisikleti ağırlıklı yarışan sporcuların (%50, n=16) mesafeye göre, dağ bisikleti ağırlıklı yarış koşan sporcuların (%50, n=16) ise süreye göre sıvı miktarını belirledikleri tespit edilmiştir. Sonuçlar bisiklet sporcularının yarış içi beslenmede doğru strateji uyguladıkları; ancak yol bisikleti gibi uzun süreli yüksek yoğunluklu egzersizler için, sporcuların beslenme önerileri almaları gerektiği düşünülmektedir. Yarış içi doğru strateji uygulamanın ve beslenmenin tam tersine, egzersiz sırasında yeterli enerjinin alınamaması performansın düşmesine, kas kaybına, kemik yoğunluğunda azalmaya, bağışıklık sisteminin zayıflamasına neden olabilir (Rodriguez ve ark., 2009). Dolayısıyla bir saatten uzun süren dayanıklılık egzersizlerinde saatte 30-60 g ya da 2,5 saatten uzun süren dayanıklılık egzersizlerinde saatte 90 g karbonhidrat içeceği tüketilmelidir (Jeukendrup ve ark., 2011). Bisikletçilerin araştırmaya verdikleri yanıtlara göre, yol bisikletçileri yarış sırasında her 15 km de bir, dağ bisikletçileri ise her 15 dakikada bir 500 ml karbonhidratlı sıvının yanında ayrıca, su, muz, enerji jeli ve kuru meyve tükettiklerini bildirmişlerdir. Bu bakış açısıyla, bisikletçilerin literatürde sunulan önerilere uygun strateji uyguladıkları belirlenmiştir. Ancak ileride yapılacak çalışmalarda bisikletçilerin uyguladıkları stratejilerin miktar, süre ve besin ögesi içerik oranı bakımından daha detaylı incelenmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmaların çoğu, egzersiz sırasında karbonhidrat tüketiminin performansa olumlu yönde etki ettiğini bildirir de protein tüketiminin de önemli olduğu, çalışmalarla rapor edilmiştir. Protein alımı, uyku kalitesini geliştirmede, kan glikoz seviyesini sabit tutmada ve

daha iyi glisemik cevap oluşturmada avantaj sağlamaktadır (Austin ve Seebogar, 2011; Ormsbee ve ark., 2014). Konuyla ilgili olarak bir grup bisikletçide yapılan bir araştırmada, 20 dakika sıklıkla tüketilen, karbonhidrat içeren sıvıya eklenen proteinin (karbonhidrat: %7,75, protein: %1,94/200 ml), sadece karbonhidrat (%7,75/200 ml) veya plasebo tüketenlere göre aerobik dayanıklılığa olumlu etki ettiği; anlamlı derecede uzamış yorulma süresi ortaya koyduğu ve performansla olumlu katkı sağladığı bildirilmiştir (Ivy ve ark., 2003). Mevcut araştırmada, bisikletçilerin yarış içi beslenme tercihlerinin çoğunlukla su, muz, enerji jeli ve kuru meyve olduğu; bisikletçilerin yarış içi beslenmede makro besin ögesi olan proteini almadıkları gözlemlenmiştir. Bu konuda bisikletçilerin yarış içi beslenme uygulamaları konusunda daha bilinçli olmaları ve bu konuda yardım almaları gerektiği düşünülmektedir.

Toparlanma açısından, karbonhidrat tüketim formlarından biri olan oral yol alımının, egzersiz sırasında 15-20 dakikada bir uygulanması, iki saat süren uzamış egzersizlerden sonra karbonhidratın damar yoluyla alınmasının performans üzerine daha fazla katkısı vardır. Bu nedenle dayanıklılık sporlarında, aktiviteye başladıktan sonra, düzenli aralıkla oral yol ile karbonhidrat alınması tavsiye edilmiştir (Dawson, 2002). Aynı şekilde Amerika Spor Hekimliği Koleji egzersiz sırasında, saatte bir, 0,7 g/kg, %6-8 oranında karbonhidrat içeren sıvı tüketilmesini önermektedir (Rodriguez ve ark., 2009). Bisikletçilerin yarış içerisinde bu öneriye uygun davrandıkları belirlenmiştir. Dolayısıyla bisiklet sporcularının yarış sonrası toparlanma düzeylerinin iyi seviyede olduğu düşünülmektedir. Karbonhidrat tüketiminin, hem egzersiz sırasında hem de egzersizden hemen sonra, kas protein sentezini uyardığı, tüm vücut protein sentezini de artırdığı bulunmuş (Beelen ve ark., 2008), dolayısıyla bu beslenme davranışının toparlanma üzerine ciddi derecede olumlu etkisi olduğu söylenebilir. Mevcut araştırmada bisikletçilerin hem egzersiz sırasında hem de egzersizden hemen sonra (%81,3) karbonhidrattan zengin atıştırmalık tükettikleri belirlenmiştir. Buradan hareketle uluslararası düzeydeki Türk bisiklet sporcularının yarışa yönelik beslenme stratejilerinin toparlanmayı hızlandırıcı yönde olduğu söylenebilir. Bunun en büyük etkisinin sporcuların bir günlük yarışmaların yanında birkaç gün süren etaplı yarışlara katılmaları da olabilir. Diğer yandan, bisikletçilerin %12,5'i yarıştan hemen sonra protein ağırlıklı atıştırmalıklar tükettiğini bildirmişlerdir. Karbonhidrata ek olarak protein tüketiminin toparlanmayı hızlandırdığı göz önüne alınırsa, bisikletçilerin %95'inin beslenme yönteminin performansına katkı sağladığı; ancak hem sporcuların hem de antrenörlerin, besin öğelerinin zamanlaması, miktarı, alım süresi ve tüketim formu konuları ile ilgili kapsamlı bir seminere ihtiyaç duydukları düşünülmektedir.

Egzersiz bitiminden sonraki dönemde kas ve karaciğer depolarının yenilenmesi ana hedef olup, depoların yenilenmesinde, enerji ihtiyacına göre karbonhidrat alım miktarı, çeşidi, zamanlaması önemli etkiye sahiptir. İki egzersiz arası sekiz saatten az ise, birinci egzersizden hemen sonra karbonhidrat alımı önerilmektedir (Burke ve ark., 2011). Egzersiz sonrası, anabolik evre sürecinde, özellikle 45 dk insülin anabolik etkiye daha duyarlı olduğundan, bu süreçte beslenmenin doğru yapılması gerekir (Clark ve ark., 2003). Bu evrede, kas glikojen depolarını yenilemek için birincil olarak özellikle karbonhidratlar kullanılmaktadır (Kerksick ve ark., 2018). Mevcut çalışmada bisikletçilerin %84,4'ünün yüksek yoğunluk içeren yarışmalardan hemen sonra, karbonhidratlı atıştırma tükettiği, yarışmadan sonraki öğünü ortalama 48 dk içinde aldıkları, bu öğünde karma beslendikleri ve ilk 24 saat içinde bisikletçilerin çoğunun karbonhidrat ağırlıklı beslendiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, bisikletçilerin büyük oranda doğru strateji uyguladığı; ancak bu oran dışındaki sporcuların veya antrenörlerin bilgilendirilmesi gerektiği açıkça ortadadır. Nitekim, doğru strateji uygulayan sporcuların da ne oranda bilinçli olarak bu yöntemleri uyguladıklarının da sorgulanması gerekmekte, bu doğrultuda sonuçlar tüm bisiklet sporcularına yordanalıdır.

Egzersizden sonraki birkaç saat içinde glikojen sentez hızı yarıya düştüğünden, egzersizden hemen sonra 1,5 g/kg oranında karbonhidrat alınmalı, sonraki 2 saatte bir ara öğünlerle tekrarlanmalıdır (Tarnopolsky ve ark., 2005). Glikojen sentez hızının 5 mmol/kg/sa olduğu, bu nedenle tam toparlanma için, sporcuların en az 20 saate ihtiyaç duyduğu söylenebilir (Burke ve ark., 2004). Bu bakımdan egzersiz sonrası ana öğün alımının, egzersizden hemen sonraki 5 saat içinde 15-30 dk aralıklarla karbonhidrat tüketimi şeklinde olması ile glikojen sentez hızının artacağı düşünülmektedir. Bu nedenle ilk 2 saat içinde yüksek glisemik indeksli karbonhidrat tüketiminin düşük glisemik indeksli karbonhidratlara göre glikojen sentezine daha çok katkı sağladığı bildirilmiştir (Burke ve ark., 1996; Kiens ve Richter, 1996). Bisikletçilerin yarış sonrasında tükettikleri ortalama karbonhidrat miktarının 241,9 g olduğu, katılımcıların ortalama vücut ağırlığının 61,38 kg olduğu göz önüne alındığında, ortalama 4 g/kg karbonhidrat tükettikleri hesaplanmıştır. Bu bağlamda yarış sonrası tüketilen karbonhidrat miktarının olması gerekenden daha fazla olduğu; bu noktada, fazla tüketilen karbonhidratın, glikojen depolamaktan ziyade yağ dokusuna dönüşeceğinden, bu miktarın sporculara dezavantaj sağlayacağı söylenebilir. Dolayısıyla, bisiklet sporcularının yarış sonrası ya da yüksek yoğunluklu antrenman sonrasında tüketmesi gereken karbonhidrat miktarı konusunda bilgilendirilmeleri gerekmektedir. Ayrıca ara öğün tüketenlerin oranının %40 olmasının az olduğu, bu noktada da sporcu ve antrenörlerin bilgilerinin artırılması

gerektiği; çünkü günlük öğün sayısının sık ve fazla olmasının sportif performansa olumlu etkisi olduğu düşünülmektedir.

Ana veya ara öğünde karbonhidratla birlikte protein alımı da glikojen depolarını geliştirerek etkinliğini artırmaktadır (Kreider ve ark., 2007; Burke ve ark., 2011). Dolayısıyla dayanıklılık sporcularında glikojen depolarının dolması için yalnızca karbonhidrat tüketmek yerine, protein desteği ile birlikte tüketmenin daha etkin ve verimli olduğu söylenebilir. Mevcut araştırmada, yarışın hemen akabinde bisikletçilerin %12,5'inin, yarış sonrası öğünde ise %6,3'ünün protein ağırlıklı beslendiği, bu noktada çok az sayıda bisikletçinin yarış sonrası protein tükettiği görülmektedir. Bu bağlamda yarış sonrası karbonhidrat tüketim stratejisini bilen ve uygulayan bisikletçi sayısı ve oranı daha fazla iken, protein tüketim stratejisini bilen ve uygulayan bisikletçi sayısının oldukça az olduğu; bu konuda bisiklet sporcularının ve antrenörlerin tümünün yarış sonrası optimum beslenme stratejileri konusunda bilgilendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak, bisiklet sporcuları ve antrenörlerin, beslenme davranışları ile ilgili bilgi ve alışkanlıklarının genel olarak bireysel ve kulaktan duyma olduğu görülmüştür. Ulusal ve uluslararası düzeyde yarışan bisikletçiler ve antrenörler, spor ve beslenme ile ilgili konularda, alanında uzman kişi ve kurumlarla birlikte hareket etmeli, güncel gelişmeleri takip edebilmek için sürekli ve düzenli bir şekilde eğitim almalıdırlar. Bu çalışmada elde edilen veriler, gelecekte yapılacak olan çalışmalara destek olacaktır. Bilimsel çalışmalarla desteklenen sporcu beslenmesi ile ilgili bilgiler, bisiklet sporcuları ve antrenörlerin uluslararası düzeyde gelişimi açısından katkı sağlayacaktır. Bu bakımdan gelecekte yapılacak olan çalışmalar, katılımcı cinsiyeti, yaşı, spor yapma düzeyi açısından farklı gruplar üzerinde yapılarak, her seviyedeki bisiklet sporcusu ve antrenöre yol gösterebilir.

Bisiklet sporcularının ana ve ara öğünlerine dikkat etmeleri, öğünde çok fazla miktarda besin almalarından ziyade ara öğün sayısını artırarak sık sık ve az miktarda besin almaları önerilir.

Uzun süreli antrenman veya yarışma öncesinde karma beslenme yöntemi uygulanmalı, özellikle karbonhidrat miktarı 1-4 g/kg, protein ise 0,15-0,25 g/kg olacak şekilde birlikte alınmalıdır.

Antrenman veya yarış süresinin bir saatten uzun sürmesi durumunda, 30-60 g/saat karbonhidrat sağlayan, %6-8 oranında karbonhidrat içeren sıvı ile birlikte, %1-2 oranında protein içeren sıvı tüketilmelidir.

Egzersiz sırasında alınamayan besinlerin, egzersizden sonra damar yoluyla alınması da hızlı toparlanma açısından katkı sağlayabilir.

Bisiklet sporcularına ve antrenörlere, besin öğelerinin zamanlaması, miktarı, alım süresi ve tüketim formu konuları ile ilgili, kapsamlı bir eğitim verilmelidir. Doğru strateji uygulayan sporcu ve antrenörlerin hangi oranda bilinçli olarak beslenme yöntemi uyguladıklarının sorgulanması gerekmekte, bu doğrultuda sonuçlar tüm bisiklet sporcularına ve antrenörlerine yordanmalıdır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Araştırma Dizaynı- E. Kürkcü Akgönül, G. Özen; İstatistik analiz- E. Kürkcü Akgönül, G. Özen; Makalenin hazırlanması, E. Kürkcü Akgönül, G. Özen, Ö. C. Boyraz; Verilerin Toplanması- E. Kürkcü Akgönül; Veri Analizi- E. Kürkcü Akgönül, G. Özen; Kaynak Taraması- E. Kürkcü Akgönül, G. Özen, Ö. C. Boyraz; Makale Yazımı- E. Kürkcü Akgönül, G. Özen, Ö. C. Boyraz tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar notu

Bu çalışma, 24-25 Aralık 2020 tarihinde düzenlenen “4. Uluslararası Beslenme Obezite ve Toplum Sağlığı” kongresinde sözlü bildiri olarak sunulmuş, özet bildiri olarak yayınlanmıştır (s: 486).

Kaynaklar

Austin K, Seebohar B., 2011. Performance nutrition: Applying the Science of Nutrition Timing. USA: Associated Press.

Beelen M, Tieland M, Gijsen AP, Vandereyt H, Kies AK, Kuipers H, van Loon LJ., 2008. Coingestion of carbohydrate and protein hydrolysate stimulates muscle protein synthesis during exercise in young men, with no further increase during subsequent overnight recovery. The Journal of Nutrition, 138(11): 2198-2204.

Benardot D., 2012. Advanced sports nutrition (2nd ed.). USA: Versa Press.

Boyraz ÖC., 2018. Pliometrik antrenmanın elit dağ bisikletçilerinde anaerobik performans ve maksimal kuvvete etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Brown F, Gissane C, Howatson G, van Someren K, Pedlar C, Hill J., 2017. Compression garments and recovery from exercise: A meta-analysis. *Sports Medicine*, 47 (11): 2245–2267.

Burke LM, Collier GR, Davis PG, Fricker PA, Sanigorski AJ, Hargreaves M., 1996. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the frequency of carbohydrate feedings. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 64(1): 115-119.

Burke LM, Kiens B, Ivy JL., 2004. Carbohydrates and fat for training and recovery. *Food, Nutrition and Sports Performance II*, 22(1): 15-30.

Burke L, Deakin V., 2010. *Clinical sports nutrition*. 4th Ed. (p-209-260)

Burke LM, Hawley JA, Wong SH, Jeukendrup AE., 2011. Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sport Science*, 29 (Suppl): 17-27.

Byars A, Keith S, Simpson W, Mooneyhan A, Greenwood M., 2010. The influence of a pre-exercise sports drink (PRX) on factors related to maximal aerobic performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7(1): 1-6.

Cintineo HP, Arent MA, Antonio J, Arent SM., 2018. Effects of protein supplementation on performance and recovery in resistance and endurance training. *Frontiers in Nutrition*, 83.

Clark MG, Wallis MG, Barrett EJ, Vincent MA, Richards SM, Clerk LH, Rattigan S., 2003. Blood flow and muscle metabolism: a focus on insulin action. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 284(2): 241-258.

Close GL, Hamilton DL, Philp A, Burke LM, Morton JP., 2016. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radical Biology and Medicine*. 98: 144-158.

Çepni S., 2010. Araştırma ve proje çalışmalarına giriş. 5. Baskı. Trabzon

Dawson WJ., 2002. American college of sports medicine. American Dietetic Association, and Dietitians of Canada: Nutrition and athletic performance (joint position statement). *Medical Problems of Performing Artists*, 17(1): 51-53.

Dinç N, Gökmen MH, Ergin E., 2017. Düzenli egzersiz yapan bireylerin beslenme alışkanlıklarının incelenmesi. *Ulusal Spor Bilimleri Dergisi*, 1(1): 43-53.

Driller MW, Halson SL., 2013. The effects of lower-body compression garments on recovery between exercise bouts in highly-trained cyclists. *Journal of Science and Cycling*, 2(1): 45–50.

Hall JE., 2016. Guyton and hall: Textbook of Medical Physiology. 13th ed. Philadelphia, PA: Elsevier.

Heismans J, Mallon B., 2011. Historical dictionary of cycling. Human kinetic e-book.

Impellizzeri FM, Marcora SM., 2007. The physiology of mountain biking. Sports Medicine, 37(1): 59-71.

Ivy JL, Sprague RC, Widzer MO., 2003. Effect of a carbohydrate-protein supplement on endurance performance during exercise of varying intensity. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 13(3): 382-395.

Ivy J, Portman R., 2004. Nutrient timing: The future of sports nutrition (C. Rosenberg Ed.). Laguna Beach, CA: Basic Health Publications, Inc.

Jeukendrup AE., 2004. Carbohydrate intake during exercise and performance. Nutrition, 20(7): 669-677.

Kara E, Ünver G., 2019. Masaj ve toparlanmaya etkileri. Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi, 4(1): 28-49.

Karagöz MF, Şanlıer N., 2018. Egzersizde makro besin öğelerinin planlanması. Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 23(1): 43-57.

Kerksick C, Harvey T, Stout J, Campbell B, Wilborn C, Kreider R, Antonio J., 2008. International Society of Sports Nutrition position stand: nutrient timing. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 5: 17.

Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan A, Kleiner SM, Jäger R, Kreider RB., 2018. ISSN exercise & sports nutrition review update: Research & recommendations. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 15(1): 1-57.

Kiens B, Richter EA., 1996. Types of carbohydrate in an ordinary diet affect insulin action and muscle substrates in humans. The American Journal of Clinical Nutrition, 63(1): 47-53.

Kreider RB, Earnest CP, Lundberg J, Rasmussen C, Greenwood M, Cowan P, Almada AL., 2007. Effects of ingesting protein with various forms of carbohydrate following resistance-exercise on substrate availability and markers of anabolism, catabolism, and immunity. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 4(1): 18.

Kürkcü Akgönül E, Özen G, Boyraz ÖC., 2023. Elit bisiklet sporcularının toparlanma davranışlarının incelenmesi. Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi, 8(2): 116-130.

Machado AF, Ferreira PH, Micheletti JK, de Almeida AC, Lemes ÍR, Vanderlei FM, Pastre CM., 2016. Can water temperature and immersion time influence the effect of cold

water immersion on muscle soreness? A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(4): 503–514.

McArdle WD, Katch FI, Katch VL., 2015. *Exercise physiology energy nutrition and human performance*. Lee & Febiger. 8th edition. 10-68

Orer GE, Guzel NA., 2014. The effects of acute L-carnitine supplementation on endurance performance of athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(2): 514-519.

Ormsbee MJ, Bach CW, Baur DA., 2014. Pre-exercise nutrition: The role of macronutrients, modified starches and supplements on metabolism and endurance performance. *Nutrients*, 6(5): 1782-1808.

Özdemir G., 2002. Dumlupınar üniversitesi beden eğitimi ve spor yüksekokulunda okuyan ve aktif spor yapan öğrencilerin beslenme alışkanlıklarının tespiti ve değerlendirilmesi. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.

Özerson Z., 2013. Amatör ve profesyonel milli takım futbolcularında beslenme alışkanlıkları ve bilgi düzeylerinin incelenmesi. İstanbul Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Perez-Gomez J, Olmedillas H, Delgado-Guerra S, Royo IA, Vicente-Rodriguez G, Ortiz RA, Calbet JA., 2008. Effects of weight lifting training combined with plyometric exercises on physical fitness, body composition, and knee extension velocity during kicking in football. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(3): 501-510.

Poppendieck W, Wegmann M, Ferrauti A, Kellmann M, Pfeiffer M, Meyer T., 2016. Massage and performance recovery: A meta-analytical review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(2): 183–204.

Potgieter S., 2013. Sport nutrition: A review of the latest guidelines for exercise and sport nutrition from the American College of Sport Nutrition, the International Olympic Committee and the International Society for Sports Nutrition. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 26(1): 6-16.

Power SK, Howley ED., 2009. *Theory and application to fitness and performance*. 7th edition. McGraw-Hill Publishing Company, 379-381.

Richard NA, Koehle MS., 2019. Optimizing recovery to support multi-evening cycling competition performance. *European Journal of Sport Science*, 19(6): 811-823.

Rodriguez NR, Di Marco NM, Langley S., 2009. American college of sports medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3): 709-731.

Saygın Ö, Göral K, Gelen E., 2009. Amatör ve profesyonel futbolcuların beslenme alışkanlıklarının incelenmesi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 6(2): 176-196.

Schlumberger A., 2006. Training of sprinting and jumping abilities in soccer. *Deutsche Zeitschrift fuer Sportmedizin*, 57(5): 125-131.

Süme M, Özsoy S., 2010. Osmanlı'dan günümüze Türkiye'de bisiklet sporu. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24: 345-360

Struhár I, Kumstát M, Kapounková K, Mertová KŠ, Hrnčířiková I., 2020. Effects of immediate mechanotherapy and intermittent contrast water immersion on subsequent cycling performance. *Sport and Quality of Life* 7–9 November 2019, pp: 159.

Tarnopolsky MA, Gibala M, Jeukendrup AE, Phillips SM., 2005. Nutritional needs of elite endurance athletes. Part I: Carbohydrate and fluid requirements. *European Journal of Sport Science*, 5(1): 3-14.

Tessitore A, Meeusen R, Cortis C, Capranica L., 2007. Effects of different recovery interventions on anaerobic performances following preseason soccer training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3): 745-750.

Tipton KD, Rasmussen BB, Miller SL, Wolf SE, Owens-Stovall SK, Petrini BE, Wolfe RR., 2001. Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 281(2): 197-206.

Topraklı M., 2016. Elit dağ bisikletçilerin sezon başı performans analizine bağlı uygulanan antrenmanların performanslarına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Weerapong P, Hume PA, Kolt GS., 2005. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(3): 235–256.

Wright DA, Sherman WM, Dernbach AR., 1991. Carbohydrate feedings before, during, or in combination improve cycling endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, 71(3): 1082–1088.

Yarar H, Gökdemir K, Eroğlu H, Özdemir G., 2011. Elit seviyedeki sporcuların beslenme bilgi ve alışkanlıklarının değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 13(3): 368–371.

Zarieczny R, Podleśny M, Polak A., 2013. Anaerobic capacity of amateur mountain bikers during the first half of the competition season. *Biology of Sport*, 30(3): 189-194.

Distributions of Soft Binary Piecewise Operations over Complementary Soft Binary Piecewise Star (*) and Theta (θ) Operations

Aslıhan SEZGİN^{1*}, Murat SARIALIOĞLU², Ahmet Mücahit DEMİRCİ³

¹Department of Mathematics and Science Education, Faculty of Education, Amasya University, Amasya, Türkiye

²Department of Mathematics, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Amasya University, Amasya, Türkiye

³Department of Mathematics, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Amasya University, Amasya, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-1519-7294>

²<https://orcid.org/0000-0009-3416-5923>

³<https://orcid.org/0009-0003-2275-3820>

*Corresponding author: aslihan.sezgin@amasya.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 29.05.2023

Accepted: 11.07.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords

Soft sets

Soft set operations

Conditional complements

Star operation

Theta operation

ABSTRACT

Soft set theory deals with uncertainty and it has been applied to many fields both as a theoretical and application aspect. Since its inception, different kinds of soft set operations have been defined and used in various types. This paper is a theoretical study of soft sets and in this paper, it is aimed to contribute to the soft set literature by obtaining the distributions of different kinds of soft binary piecewise operations over complementary soft binary piecewise star and theta operations in order to obtain some algebraic structures.

Esnek İkili Parçalı İşlemlerin Tümleneyli Esnek İkili Parçalı Yıldız (*) ve Teta (θ) İşlemleri Üzerine Dağılımı

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 29.05.2023

Kabul tarihi: 11.07.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler

Esnek kümeler

Esnek küme işlemleri

Koşullu tümleneyler

Yıldız işlemi

Teta işlemi

ÖZ

Esnek küme teorisi belirsizliklerle ilgilenir ve hem teorik hem de uygulama yönüyle birçok alana uygulanmıştır. Başlangıcından bu yana, farklı çeşitlerde esnek küme işlemleri tanımlanmış ve çeşitli türlerde kullanılmıştır. Bu makale esnek kümelerin teorik bir çalışmasıdır ve bu çalışmada, bazı cebirsel yapılar elde etmek için tümleneyli esnek ikili parçalı yıldız ve teta işlemleri üzerine esnek ikili parçalı işlemlerin dağılımlarının elde edilmesiyle esnek küme literatürüne katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

To Cite: Sezgin A, Sarialioğlu M, Demirci AM., 2024. Distributions of soft binary piecewise operations over complementary soft binary piecewise star(*)and theta(θ)operations. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 129-165.

1. Introduction

Molodtsov (1999) introduced Soft Set Theory as a mathematical tool to overcome uncertainties. This theory has been applied to many fields by Özlü (2022a, 2022b) and Paik and Mondal (2022). As regards algebraic structures, it has been implemented by Atagün and Aygün

(2016) and Addis et al. (2022). Riaz and Hashimi (2019) and Ayub et al. (2021) studied on Linear Diophantine Fuzzy Sets, Riaz et al. (2023) on Linear Diophantine Fuzzy aggregation operators, Riaz et al. (2021) on Spherical Linear Diophantine Fuzzy Sets, and they are all top recent topics as novel mathematical approaches to model vagueness and uncertainty in decision-making problems. Maji et al. (2003) and Pei and Miao (2005) were the first to study on soft set operations. After then, Ali et al. (2009) introduced several soft set operations (restricted and extended soft set operations) and Sezgin and Atagün (2011) examined their basic properities. Sezgin et al. (2019) introduced a new soft set operation called extended difference of soft sets and Stojanovic (2021) defined extended symmetric difference of soft sets and investigated its properties.

Çağman (2021) introduced two conditional complements of sets as (inclusive complement and exclusive complement) and the relationships between them were explored. After this study, Sezgin et al. (2023c) defined new complements. They also transferred these complements to soft set theory, and Aybek (2023) introduced some new restricted soft set operations and extended soft set operations. By changing the form of extended soft set operations using the complement at the first and second row of the piecewise function of extended soft set operations, Demirci (2024), Sarıalioğlu (2024) and Akbulut (2024) proposed a new type of soft set operation and studied their basic properties. Also, Eren (2019) defined a new type of soft difference operations and by being inspired this study, Yavuz (2024) and Sezgin and Yavuz (2023a) defined some new soft set operations, which they call soft binary piecewise operations and they studied their basic properties. Also, Sezgin and Demirci (2023), Sezgin and Atagün (2023), Sezgin and Yavuz (2023b), Sezgin and Aybek (2023), Sezgin et al. (2023a, 2023b), Sezgin and Dagtoros (2023) continued their work on soft set operations by defining a new type of soft binary piecewise operation by changing the form of soft binary piecewise operation using the complement at the first row of the soft binary piecewise operations.

Sezgin and Demirci (2023) and Sezgin and Sarıalioğlu (2024) defined complementary soft binary piecewise theta and complementary soft binary piecewise star operation, respectively. The algebraic properties of these new operations were examined in detail. Especially the distributions of these operations over extended soft set operations, complementary extended soft set operations, soft binary piecewise operations, complementary soft binary piecewise operations and restricted soft set operations were handled. In this study, with Section 3, we aim to contribute to the literature of soft set theory by obtaining the

distributions of soft binary piecewise operations over complementary soft binary piecewise star and theta operations in order to acquire some algebraic structures.

2. Preliminaries

Definition 2.1. Let U be the universal set, E be the parameter set, $P(U)$ be the power set of U and $A \subseteq E$. A pair (F, A) is called a soft set over U where F is a set-valued function such that $F: A \rightarrow P(U)$. (Molodtsov, 1999)

The set of all the soft sets over U is designated by $S_E(U)$, and throughout this paper, all the soft sets are the elements of $S_E(U)$.

Çağman (2021) defined two conditional complements of sets, for the ease of illustration, we show these complements as $+$ and θ , respectively. These complements are defined as following: Let A and B be two subsets of U . B -inclusive complement of A is defined by, $A+B=A' \cup B$ and B -exclusive complement of A is defined by $A\theta B=A' \cap B'$. Here, U refers to a universe, A' is the complement of A over U . Sezgin et al. (2023c) introduced such new three complements as binary operations of sets as following: Let A and B be two subsets of U . Then, $A*B=A' \cup B'$, $A\gamma B=A' \cap B$, $A\lambda B=A \cup B'$. Aybek (2024) conveyed these classical sets to soft sets, and they defined restricted and extended soft set operations and examined their properties.

As a summary for soft set operations, we can categorize all types of soft set operations as following: Let " ∇ " be used to represent the set operations (i.e., here ∇ can be $\cap, \cup, \setminus, \Delta, +, \theta, *, \lambda, \gamma$), then restricted operations, extended operations, complementary extended operations, soft binary piecewise operations, complementary soft binary piecewise operations are defined in soft set theory as following:

Definition 2.2. Let (D, K) and (J, R) be soft sets over U . The restricted ∇ operation of (D, K) and (J, R) is the soft set (Y, S) , denoted by, $(D, K)\nabla_R(J, R) = (Y, S)$, where $S = K \cap R \neq \emptyset$ and $\forall s \in S, Y(s) = D(s) \nabla J(s)$. (Ali et al., 2009; Sezgin and Atagün, 2011; Aybek, 2024)

Definition 2.3. Let (D, K) and (J, R) be soft sets over U . The extended ∇ operation of (D, K) and (J, R) is the soft set (Y, S) , denoted by, $(D, K)\nabla_\epsilon(J, R) = (Y, S)$, where $S = K \cup R$ and $\forall s \in S$,

$$Y(s) = \begin{cases} D(s), & s \in K \setminus R, \\ J(s), & s \in R \setminus K, \\ D(s) \nabla J(s), & s \in K \cap R. \end{cases}$$

(Maji et al., 2003; Ali et al., 2009; Sezgin et al., 2019; Stojanovic, 2021; Aybek, 2024)

Definition 2.4. Let (D, K) and (J, R) be soft sets over U . The complementary extended ∇

operation of (D, K) and (J, R) is the soft set (Y, S) , denoted by, $(D, K) \overset{*}{\nabla}_{\varepsilon} (J, R) = (Y, S)$, where $S = K \cup R$ and $\forall s \in S$,

$$Y(s) = \begin{cases} D'(s), & s \in K \setminus R \\ J'(s), & s \in R \setminus K, \\ D(s) \nabla J(s), & s \in K \cap R. \end{cases}$$

(Saralioğlu, 2024; Demirci, 2024; Akbulut, 2024)

Definition 2.5. Let (D, K) and (J, R) be soft sets over U . The soft binary piecewise ∇ operation of (D, K) and (J, R) is the soft set (Y, K) , denoted by, $(D, K) \overset{\sim}{\nabla} (J, R) = (Y, P)$, where $\forall s \in K$,

$$Y(s) = \begin{cases} D(s), & s \in K \setminus R \\ D(s) \nabla J(s), & s \in K \cap R \end{cases}$$

(Eren, 2019; Yavuz, 2024, Sezgin and Yavuz, 2023a)

Definition 2.6. Let (D, K) and (J, R) be soft sets over U . The complementary soft binary piecewise ∇ operation of (D, K) and (J, R) is the soft set (Y, K) , denoted by, $(D, K) \overset{*}{\sim}_{\nabla} (J, R) = (Y, K)$, where $\forall s \in K$;

$$Y(s) = \begin{cases} D'(s), & s \in K \setminus R \\ D(s) \nabla J(s), & s \in K \cap R \end{cases}$$

(Sezgin and Demirci, 2023; Sezgin and Atagün, 2023; Sezgin and Aybek, 2023; Sezgin et al., 2023a; Sezgin et al., 2023b; Sezgin and Yavuz, 2023b; Sezgin and Dagtoros, 2023; Sezgin and Çağman, 2024; Sezgin and Saralioğlu, 2024)

Definition 2.7. Let (A, F) and (B, G) be soft sets over U . The complementary soft binary piecewise star operation of (A, F) and (B, G) is the soft set (C, F) , denoted by, $(A, F) \overset{*}{\sim}_{*} (B, G) = (C, F)$, where $\forall t \in F$,

$$C(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

(Sezgin and Demirci, 2023)

Definition 2.8. Let (A, F) and (B, G) be soft sets over U . The complementary soft binary piecewise theta operation of (A, F) and (B, G) is the soft set (C, F) , denoted by, $(A, F) \overset{*}{\sim}_{\theta} (B, G) = (C, F)$, where $\forall t \in F$,

$$C(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

(Sezgin and Sarialioğlu, 2024)

3. Distribution of Soft Binary Piecewise Operations Over Complementary Soft Binary Piecewise Star and Theta Operations

3.1.1. Distribution of soft binary piecewise operations over complementary soft binary piecewise star operation:

$$1) (A, F) \overset{*}{+} [(B, G) \overset{*}{\sim} (C, H)] = [(A, F) \overset{*}{\sim} (B, G)] \overset{*}{\cup} [(C, H) \overset{*}{\sim} (A, F)], \text{ where } F \cap G' \cap H = \emptyset.$$

Proof: Let $(B, G) \overset{*}{\sim} (C, H) = (M, G)$, where $\forall s \in G$;

$$M(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cup C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(A, F) \overset{*}{+} (M, G) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup M(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup [B'(s) \cup C'(s)], & s \in F \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A, F) \overset{*}{\sim} (B, G)] \overset{*}{\cup} [(C, H) \overset{*}{\sim} (A, F)]$. Let $(A, F) \overset{*}{\sim} (B, G) = (V, F)$, where

$$\forall s \in F; \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \end{cases}$$

$$V(s)=$$

$$A'(s) \cup B'(s), \quad s \in F \cap G$$

Suppose that $(C, H) \overset{\sim}{*} (A, F) = (W, H)$, where $\forall s \in H$;

$$W(s) = \begin{cases} C(s), & s \in H \setminus F \\ C'(s) \cup A'(s), & s \in H \cap F \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cup} (W, H) = (T, F) \quad \forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup C(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ A(s) \cup [C'(s) \cup A'(s)], & s \in (F \setminus G) \cap (H \cap F) = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cup B'(s)] \cup C(s), & s \in (F \cap G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ [A'(s) \cup B'(s)] \cup [C'(s) \cup A'(s)], & s \in (F \cap G) \cap (H \cap F) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Since $F \setminus G = F \cap G'$, if $s \in G'$, then $s \in H \setminus G$ or $s \in (G \cup H)'$. Hence, if $s \in F \setminus G$, $s \in F \cap G' \cap H'$ or $s \in F \cap G' \cap H$. Thus, it is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$\overset{*}{2) [(A, F) \overset{\sim}{*} (B, G)] \tilde{\cap} (C, H) = [(A, F) \overset{\sim}{*} (C, H)] \tilde{\cap} [(B, G) \tilde{\cup} (C, H)], \text{ where } F \cap G \cap H' = \emptyset.$$

Proof: Let $(A, F) \overset{\sim}{*} (B, G) = (M, F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M, F) \tilde{\cap} (C, H) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M'(s) \cup C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup C(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cap B(s)] \cup C(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

*
Now let's handle $[(A,F) \sim (C,H)] \tilde{\cap} [(B,G) \tilde{\cup} (C,H)]$. Let $(A,F) \sim (C,H) = (V,F)$, where
U

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A(s) \cup C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $(B,G) \tilde{\cup} (C,H) = (W,G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B(s), & s \in G \setminus H \\ B(s) \cup C(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V,F) \tilde{\cap} (W,H) = (T,F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cup C(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cap B(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap [B(s) \cup C(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A(s) \cup C(s)] \cap B(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A(s) \cup C(s)] \cap [B(s) \cup C(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N,F) = (T,F)$.

*
3) $(A,F) \tilde{\cap} [(B,G) \sim (C,H)] = [(A,F) \tilde{\cap} (B,G)] \tilde{\cap} [(C,H) \tilde{\cap} (A,F)]$, where $F \cap G' \cap H = \emptyset$.
*

*
Proof: Let $(B,G) \sim (C,H) = (M,G)$, where $\forall s \in G$;
*

$$M(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cup C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(A, F) \tilde{\gamma} (M, G) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap M(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap [(B'(s) \cup C'(s))], & s \in F \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A, F) \tilde{\theta} (B, G)] \tilde{\cup} [(C, H) \tilde{\theta} (A, F)]$. Let $(A, F) \tilde{\theta} (B, G) = (V, F)$, where $\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Suppose that $(C, H) \tilde{\theta} (A, F) = (W, H)$, where $\forall s \in H$;

$$W(s) = \begin{cases} C(s), & s \in H \setminus F \\ C'(s) \cap A'(s), & s \in H \cap F \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cup} (W, H) = (T, F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup C(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ A(s) \cup [C'(s) \cap A'(s)], & s \in (F \setminus G) \cap (H \cap F) = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cap B'(s)] \cup C(s), & s \in (F \cap G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ [A'(s) \cap B'(s)] \cup [C'(s) \cap A'(s)], & s \in (F \cap G) \cap (H \cap F) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Since $F \setminus G = F \cap G'$, if $s \in G'$, then $s \in H \setminus G$ or $s \in (G \cup H)'$. Hence, if $s \in F \setminus G$, $s \in F \cap G' \cap H'$ or $s \in F \cap G' \cap H$. Thus, it is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$4) \underset{*}{[(A, F) \sim (B, G)]} \underset{*}{\tilde{\cap}} \underset{*}{(C, H)} = \underset{*}{[(A, F) \sim (C, H)]} \underset{\cap}{\tilde{\cap}} \underset{\cap}{[(B, G) \sim (C, H)]}, \text{ where } F \cap G \cap H' = \emptyset.$$

Proof: Let $(A, F) \sim (B, G) = (M, F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M, F) \tilde{\cap} (C, H) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M'(s) \cap C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap C(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cap B(s)] \cap C(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $\underset{\cap}{[(A, F) \sim (C, H)]} \underset{\cap}{\tilde{\cap}} \underset{\cap}{[(B, G) \sim (C, H)]}$. Let $(A, F) \sim (C, H) = (V, F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A(s) \cap C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $(B, G) \sim (C, H) = (W, G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B(s) \cap C(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cap} (W, H) = (T, F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cap C(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap [B(s) \cap C(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A(s) \cap C(s)] \cap B'(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A(s) \cap C(s)] \cap [B(s) \cap C(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$5) (A, F) \overset{*}{\sim} [(B, G) \overset{*}{\sim} (C, H)] = [(A, F) \overset{*}{\sim} (B, G)] \overset{*}{\sim} [(C, H) \overset{*}{\sim} (A, F)], \text{ where } F \cap G' \cap H = \emptyset.$$

Proof: Let $(B, G) \overset{*}{\sim} (C, H) = (M, G)$, where $\forall s \in G$;

$$M(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cup C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(A, F) \overset{*}{\sim} (M, G) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cap M'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cap B(s), & s \in F \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap [(B(s) \cap C(s))], & s \in F \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A, F) \overset{*}{\sim} (B, G)] \overset{*}{\sim} [(C, H) \overset{*}{\sim} (A, F)]$. Let $(A, F) \overset{*}{\sim} (B, G) = (V, F)$, where $\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cap B(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Suppose that $(C, H) \overset{*}{\sim} (A, F) = (W, H)$, where $\forall s \in H$;

$$W(s) = \begin{cases} C(s), & s \in H \setminus F \\ C(s) \cap A(s), & s \in H \cap F \end{cases}$$

Let $(V, F) \overset{*}{\sim} (W, H) = (T, F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cap B(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap C(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ A(s) \cap [C(s) \cap A(s)], & s \in (F \setminus G) \cap (H \cap F) = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cap B(s)] \cap C(s), & s \in (F \cap G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ [A(s) \cap B(s)] \cap [C(s) \cap A(s)], & s \in (F \cap G) \cap (H \cap F) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Since $F \setminus G = F \cap G'$, if $s \in G'$, then $s \in H \setminus G$ or $s \in (G \cup H)'$. Hence, if $s \in F \setminus G$, $s \in F \cap G' \cap H'$ or $s \in F \cap G' \cap H$. Thus, it is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$\textbf{6) } \begin{matrix} * & * & * \\ [(A, F) \sim (B, G)] \tilde{\setminus} (C, H) = [(A, F) \sim (C, H)] \tilde{\cup} [(B, G) \sim (C, H)]. \\ * & \emptyset & \emptyset \end{matrix}$$

Proof: Let $(A, F) \sim (B, G) = (M, F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M, F) \tilde{\setminus} (C, H) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M(s) \cap C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap C'(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cup B'(s)] \cap C'(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $\begin{matrix} * & * & * \\ [(A, F) \sim (C, H)] \tilde{\cup} [(B, G) \sim (C, H)]. \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset \end{matrix}$. Let $(A, F) \sim (C, H) = (V, F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A'(s) \cap C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

*

Suppose that $(B, G) \sim (C, H) = (W, G)$, where $\forall s \in G$;

θ

$$W(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cap C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cup} (W, H) = (T, F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap C'(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup [B'(s) \cap C'(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A'(s) \cap C'(s)] \cup B'(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A'(s) \cap C'(s)] \cup [B'(s) \cap C'(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N, F) = (T, F)$.

*

7) $(A, F) \tilde{\lambda} [(B, G) \sim (C, H)] = [(A, F) \tilde{\cup} (B, G)] \tilde{\cap} [(C, H) \tilde{\cup} (A, F)]$.

*

*

Proof: Let $(B, G) \sim (C, H) = (M, G)$, where $\forall s \in G$;

*

$$M(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cup C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(A, F) \tilde{\lambda} (M, G) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cup M'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Hence,

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cup B(s), & s \in F \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup [(B(s) \cap C(s))], & s \in F \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A, F) \tilde{\cup} (B, G)] \tilde{\cap} [(C, H) \tilde{\cup} (A, F)]$. Let $(A, F) \tilde{\cup} (B, G) = (V, F)$, where

$$\forall s \in F; \quad V(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cup B(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Suppose that $(C, H) \tilde{\cup} (A, F) = (W, H)$, where $\forall s \in H$;

$$W(s) = \begin{cases} C(s), & s \in H \setminus F \\ C(s) \cup A(s), & s \in H \cap F \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cap} (W, H) = (T, F) \quad \forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Hence

$$T(s) = \begin{cases} A(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cup B(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap C(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ A(s) \cap [C(s) \cup A(s)], & s \in (F \setminus G) \cap (H \cap F) = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cup B(s)] \cap C(s), & s \in (F \cap G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ [A(s) \cup B(s)] \cap [C(s) \cup A(s)], & s \in (F \cap G) \cap (H \cap F) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

$$T(s) = \begin{cases} A(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cup B(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap C(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ A(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \cap F) = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cup B(s)] \cap C(s), & s \in (F \cap G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ [A(s) \cup B(s)] \cap [C(s) \cup A(s)], & s \in (F \cap G) \cap (H \cap F) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Since $F \setminus G = F \cap G'$, if $s \in G'$, then $s \in H \setminus G$ or $s \in (G \cup H)'$. Hence, if $s \in F \setminus G$, $s \in F \cap G' \cap H'$ or $s \in F \cap G' \cap H$.

Thus, it is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$\textbf{8) } \overset{*}{[(A,F) \sim (B,G)]} \overset{*}{\tilde{\lambda}} \overset{*}{(C,H)} = \overset{*}{[(A,F) \sim (C,H)]} \overset{*}{\tilde{\cup}} \overset{*}{[(B,G) \sim (C,H)]}.$$

Proof: Let $(A,F) \sim (B,G) = (M,F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M,F) \tilde{\lambda} (C,H) = (N,F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M(s) \cup C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup C'(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cup B'(s)] \cup C'(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $\overset{*}{[(A,F) \sim (C,H)]} \overset{*}{\tilde{\cup}} \overset{*}{[(B,G) \sim (C,H)]}$. Let $(A,F) \sim (C,H) = (V,F)$, where

$$\forall s \in F; \quad V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A'(s) \cup C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $(B,G) \sim (C,H) = (W,G)$, where $\forall s \in G$

$$W(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cup C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V,F) \tilde{\cup} (W,H) = (T,F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup C'(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup [B'(s) \cup C'(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A'(s) \cup C'(s)] \cup B'(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A'(s) \cup C'(s)] \cup [B'(s) \cup C'(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$\textbf{9) } [(A, F) \sim (B, G)] \tilde{\theta}(C, H) = [(A, F) \sim (C, H)] \tilde{\cap} [(B, G) \tilde{\setminus} (C, H)], \text{ where } F \cap G \cap H' = \emptyset.$$

Proof: Let $(A, F) \sim (B, G) = (M, F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M, F) \tilde{\theta}(C, H) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M'(s) \cap C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap C'(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cap B(s)] \cap C'(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A, F) \sim (C, H)] \tilde{\cap} [(B, G) \tilde{\setminus} (C, H)]$. Let $(A, F) \sim (C, H) = (V, F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A(s) \cap C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $(B, G) \tilde{\setminus} (C, H) = (W, G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B(s), & s \in G \setminus H \\ B(s) \cap C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cap} (W, H) = (T, F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Therefore,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cap C'(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cap B(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap [B(s) \cap C'(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A(s) \cap C'(s)] \cap B(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A(s) \cap C'(s)] \cap [B(s) \cap C'(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$10) [(A, F) \overset{*}{\sim} (B, G)] \overset{*}{\sim} (C, H) = [(A, F) \overset{*}{\sim} (C, H)] \tilde{\cap} [(B, G) \tilde{\cap} (C, H)], \text{ where } F \cap G \cap H' = \emptyset.$$

Proof: Let $(A, F) \overset{*}{\sim} (B, G) = (M, F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M, F) \overset{*}{\sim} (C, H) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M'(s) \cup C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup C'(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cap B(s)] \cup C'(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $\overset{*}{[(A,F) \sim (C,H)]} \overset{\lambda}{\tilde{}} \overset{*}{[(B,G) \tilde{\lambda}(C,H)]}$. Let $\overset{*}{(A,F) \sim (C,H)} = (V,F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A(s) \cup C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $\overset{*}{(B,G) \tilde{\lambda}(C,H)} = (W,G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B(s), & s \in G \setminus H \\ B(s) \cup C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $\overset{*}{(V,F) \tilde{}} \overset{*}{(W,H)} = (T,F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cup C'(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cap B(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap [B(s) \cup C'(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A(s) \cup C'(s)] \cap B(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A(s) \cup C'(s)] \cap [B(s) \cup C'(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $\overset{*}{(N,F)} = (T,F)$.

$$\mathbf{11) \overset{*}{[(A,F) \sim (B,G)]} \overset{\lambda}{\tilde{}} \overset{*}{(C,H)} = [\overset{*}{(A,F) \sim (C,H)}] \overset{\gamma}{\tilde{}} [\overset{*}{(B,G) \sim (C,H)}]}$$

Proof: Let $\overset{*}{(A,F) \sim (B,G)} = (M,F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $\overset{*}{(M,F) \tilde{}} \overset{*}{(C,H)} = (N,F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M(s) \cap C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap C(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cup B'(s)] \cap C(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $\underset{\gamma}{*}[(A, F) \sim (C, H)] \underset{\gamma}{*} \tilde{\cup} \underset{\gamma}{*}[(B, G) \sim (C, H)]$. Let $(A, F) \sim (C, H) = (V, F)$, where $\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A'(s) \cap C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $\underset{\gamma}{*}(B, G) \sim (C, H) = (W, G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cap C(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V, F) \underset{\gamma}{*} \tilde{\cup} (W, H) = (T, F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap C(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup [B'(s) \cap C(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A'(s) \cap C(s)] \cup B'(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A'(s) \cap C(s)] \cup [B'(s) \cap C(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$\underset{*}{12} \underset{*}{[(A, F) \sim (B, G)] \underset{*}{\tilde{\cup}} (C, H)} = \underset{+}{[(A, F) \sim (C, H)] \underset{+}{\tilde{\cup}} [(B, G) \sim (C, H)]}$$

*

Proof: Let $(A,F) \sim (B,G)=(M,F)$, where $\forall s \in F$;

*

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M,F) \tilde{\cup} (C,H) = (N,F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M(s) \cup C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup C(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cup B'(s)] \cup C(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

* * *

Now let's handle $[(A,F) \sim (C,H)] \tilde{\cup} [(B,G) \sim (C,H)]$. Let $(A,F) \sim (C,H) = (V,F)$, where

+ + +

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A'(s) \cup C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

*

Suppose that $(B,G) \sim (C,H) = (W,G)$, where $\forall s \in G$;

+

$$W(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cup C(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V,F) \tilde{\cup} (W,H) = (T,F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup C(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup [B'(s) \cup C(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A'(s) \cup C(s)] \cup B'(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A'(s) \cup C(s)] \cup [B'(s) \cup C(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N, F) = (T, F)$.

3.1.2. Distribution of soft binary piecewise operations over complementary soft binary piecewise theta operation:

$$1) (A, F) \tilde{\tau} [(B, G) \underset{\theta}{\sim} (C, H)] = [(A, F) \underset{\theta}{\sim} (B, G)] \tilde{\tau} [(C, H) \underset{\theta}{\sim} (A, F)], \text{ where } F \cap G' \cap H = \emptyset.$$

Proof: Let $(B, G) \underset{\theta}{\sim} (C, H) = (M, G)$, where $\forall s \in G$;

$$M(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cap C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(A, F) \tilde{\tau} (M, G) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup M(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup [B'(s) \cap C'(s)], & s \in F \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A, F) \underset{\theta}{\sim} (B, G)] \tilde{\tau} [(C, H) \underset{\theta}{\sim} (A, F)]$. Let $(A, F) \underset{\theta}{\sim} (B, G) = (V, F)$, where $\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Suppose that $(C, H) \underset{\theta}{\sim} (A, F) = (W, H)$, where $\forall s \in H$;

$$W(s) = \begin{cases} C(s), & s \in H \setminus F \\ C'(s) \cup A'(s), & s \in H \cap F \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cap} (W, H) = (T, F)$, where $\forall s \in F$

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap C(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ A(s) \cap [C'(s) \cup A'(s)], & s \in (F \setminus G) \cap (H \cap F) = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cup B'(s)] \cap C(s), & s \in (F \cap G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ [A'(s) \cup B'(s)] \cap [C'(s) \cup A'(s)], & s \in (F \cap G) \cap (H \cap F) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Since $F \setminus G = F \cap G'$, if $s \in G'$, then $s \in H \setminus G$ or $s \in (G \cup H)'$. Hence, if $s \in F \setminus G$, $s \in F \cap G' \cap H'$ or $s \in F \cap G' \cap H$. Thus, it is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$\text{2) } \underset{\theta}{[(A, F) \underset{*}{\sim} (B, G)] \underset{*}{\tilde{\cap}} (C, H)} = \underset{U}{[(A, F) \underset{*}{\sim} (C, H)] \underset{*}{\tilde{\cup}} [(B, G) \underset{*}{\tilde{\cup}} (C, H)]}, \text{ where } F \cap G \cap H' = \emptyset.$$

Proof: Let $(A, F) \underset{\theta}{\sim} (B, G) = (M, F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M, F) \tilde{\cap} (C, H) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M'(s) \cup C(s), & s \in F \cap H \\ A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup C(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cup B(s)] \cup C(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A,F) \underset{U}{\sim}^* (C,H)] \tilde{\cup} [(B,G) \tilde{\cup} (C,H)]$. Let $(A,F) \underset{U}{\sim}^* (C,H) = (V,F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A(s) \cup C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $(B,G) \tilde{\cup} (C,H) = (W,G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B(s), & s \in G \setminus H \\ B(s) \cup C(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V,F) \tilde{\cup} (W,H) = (T,F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Hence,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cup C(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cup B(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup [B(s) \cup C(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A(s) \cup C(s)] \cup B(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A(s) \cup C(s)] \cup [B(s) \cup C(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N,F) = (T,F)$.

3) $(A,F) \underset{\theta}{\tilde{\gamma}}^* [(B,G) \underset{\theta}{\sim}^* (C,H)] = [(A,F) \underset{\theta}{\sim}^* (B,G)] \tilde{\cap} [(C,H) \underset{\theta}{\sim}^* (A,F)]$, where $F \cap G' \cap H = \emptyset$.

Proof: Let $(B,G) \underset{\theta}{\sim}^* (C,H) = (M,G)$, where $\forall s \in G$;

$$M(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cap C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(A,F) \underset{\gamma}{\sim}^* (M,G) = (N,F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap M(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap [(B'(s) \cap C'(s))], & s \in F \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A, F) \sim_{\theta} (B, G)] \tilde{\cap} [(C, H) \sim_{\theta} (A, F)]$. Let $(A, F) \sim_{\theta} (B, G) = (V, F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Suppose that $(C, H) \sim_{\theta} (A, F) = (W, H)$, where $\forall s \in H$;

$$W(s) = \begin{cases} C(s), & s \in H \setminus F \\ C'(s) \cap A'(s), & s \in H \cap F \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cap} (W, H) = (T, F) \quad \forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap C(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ A(s) \cap [C'(s) \cap A'(s)], & s \in (F \setminus G) \cap (H \cap F) = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cap B'(s)] \cap C(s), & s \in (F \cap G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ [A'(s) \cap B'(s)] \cap [C'(s) \cap A'(s)], & s \in (F \cap G) \cap (H \cap F) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Since $F \setminus G = F \cap G'$, if $s \in G'$, then $s \in H \setminus G$ or $s \in (G \cup H)'$. Hence, if $s \in F \setminus G$, $s \in F \cap G' \cap H'$ or $s \in F \cap G' \cap H$. Thus, it is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$\textbf{4) } \underset{\theta}{\overset{*}{[(A, F) \sim (B, G)]}} \underset{\cap}{\tilde{\cap}} \underset{\cap}{\overset{*}{[(C, H) \sim (A, F)]}} = \underset{\cap}{\overset{*}{[(A, F) \sim (C, H)]}} \underset{\cap}{\tilde{\cap}} \underset{\cap}{\overset{*}{[(B, G) \sim (A, F)]}}, \text{ where } F \cap G \cap H' = \emptyset.$$

*

Proof: Let $(A,F) \sim (B,G) = (M,F)$, where $\forall s \in F$;
 θ

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M,F) \tilde{\theta} (C,H) = (N,F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M'(s) \cap C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap C(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cup B(s)] \cap C(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

* * *

Now let's handle $[(A,F) \sim (C,H)] \tilde{\cup} [(B,G) \sim (C,H)]$. Let $(A,F) \sim (C,H) = (V,F)$, where
 $\cap$ $\cap$ $\cap$

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A(s) \cap C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

*

Suppose that $(B,G) \sim (C,H) = (W,G)$, where $\forall s \in G$;
 $\cap$

$$W(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B(s) \cap C(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V,F) \tilde{\cup} (W,H) = (T,F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Hence,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cap C(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cup B'(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup [B(s) \cap C(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A(s) \cap C(s)] \cup B'(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A(s) \cap C(s)] \cup [B(s) \cap C(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$5) (A, F) \underset{\theta}{\sim}^* [(B, G) \underset{\theta}{\sim}^* (C, H)] = [(A, F) \tilde{\cap} (B, G)] \tilde{\cup} [(C, H) \tilde{\cap} (A, F)].$$

Proof: Let $(B, G) \underset{\theta}{\sim}^* (C, H) = (M, G)$, where $\forall s \in G$;

$$M(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cap C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(A, F) \tilde{\cap} (M, G) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cap M'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cap B(s), & s \in F \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap [(B(s) \cup C(s))], & s \in F \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A, F) \tilde{\cap} (B, G)] \tilde{\cup} [(C, H) \tilde{\cap} (A, F)]$. Let $(A, F) \tilde{\cap} (B, G) = (V, F)$, where $\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cap B(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Suppose that $(C, H) \tilde{\cap} (A, F) = (W, H)$, where $\forall s \in H$;

$$W(s) = \begin{cases} C(s), & s \in H \setminus F \\ C(s) \cap A(s), & s \in H \cap F \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cup} (W, H) = (T, F) \quad \forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cap B(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup C(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ A(s) \cup [C(s) \cap A(s)], & s \in (F \setminus G) \cap (H \cap F) = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cap B(s)] \cup C(s), & s \in (F \cap G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ [A(s) \cap B(s)] \cup [C(s) \cap A(s)], & s \in (F \cap G) \cap (H \cap F) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

$$T(s) = \begin{cases} A(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cap B(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup C(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ A(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \cap F) = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cap B(s)] \cup C(s), & s \in (F \cap G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ [A(s) \cap B(s)] \cup [C(s) \cap A(s)], & s \in (F \cap G) \cap (H \cap F) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Since $F \setminus G = F \cap G'$, if $s \in G'$, then $s \in H \setminus G$ or $s \in (G \cup H)'$. Hence, if $s \in F \setminus G$, $s \in F \cap G' \cap H'$ or $s \in F \cap G' \cap H$. Thus, it is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$\textbf{6) } \underset{\theta}{\overset{*}}[(A, F) \sim (B, G)] \underset{\theta}{\overset{*}} \tilde{\sim} (C, H) = \underset{\theta}{\overset{*}}[(A, F) \sim (C, H)] \underset{\theta}{\overset{*}} \tilde{\sim} [(B, G) \sim (C, H)].$$

Proof: Let $(A, F) \underset{\theta}{\overset{*}} \sim (B, G) = (M, F)$, where $\forall s \in F$

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M, F) \tilde{\sim} (C, H) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M(s) \cap C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap C'(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \end{cases}$$

$$[A'(s) \cap B'(s)] \cap C'(s), \quad s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H$$

Now let's handle $[(A,F) \underset{\theta}{\sim} (C,H)] \underset{\theta}{\tilde{\cap}} [(B,G) \underset{\theta}{\sim} (C,H)]$. Let $(A,F) \underset{\theta}{\sim} (C,H) = (V,F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A'(s) \cap C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $(B,G) \underset{\theta}{\sim} (C,H) = (W,G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cap C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V,F) \underset{\theta}{\tilde{\cap}} (W,H) = (T,F)$, where $\forall s \in F$

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap C'(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap [B'(s) \cap C'(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A'(s) \cap C'(s)] \cap B'(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A'(s) \cap C'(s)] \cap [B'(s) \cap C'(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N,F) = (T,F)$.

$$7) (A,F) \underset{\theta}{\tilde{\cap}} [(B,G) \underset{\theta}{\sim} (C,H)] = [(A,F) \underset{\theta}{\sim} (B,G)] \underset{\theta}{\tilde{\cap}} [(C,H) \underset{\theta}{\sim} (A,F)], \text{ where } F \cap G' \cap H = \emptyset.$$

Proof: Let $(B,G) \underset{\theta}{\sim} (C,H) = (M,G)$, where $\forall s \in G$;

$$M(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cap C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(A,F) \underset{\theta}{\tilde{\cap}} (M,G) = (N,F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cup M'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

$$N(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cup B(s), & s \in F \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup [(G(s) \cup C(s))], & s \in F \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A,F) \tilde{\cup} (B,G)] \tilde{\cup} [(C,H) \tilde{\cup} (A,F)]$. Let $(A,F) \tilde{\cup} (B,G) = (V,F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A(s), & s \in F \setminus G \\ A(s) \cup B(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Suppose that $(C,H) \tilde{\cup} (A,F) = (W,H)$, where $\forall s \in H$;

$$W(s) = \begin{cases} C(s), & s \in H \setminus F \\ C(s) \cup A(s), & s \in H \cap F \end{cases}$$

Let $(V,F) \tilde{\cup} (W,H) = (T,F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cup B(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup C(s), & s \in (F \setminus G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ A(s) \cup [C(s) \cup A(s)], & s \in (F \setminus G) \cap (H \cap F) = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cup B(s)] \cup C(s), & s \in (F \cap G) \cap (H \setminus F) = \emptyset \\ [A(s) \cup B(s)] \cup [C(s) \cup A(s)], & s \in (F \cap G) \cap (H \cap F) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Since $F \setminus G = F \cap G'$, if $s \in G'$, then $s \in H \setminus G$ or $s \in (G \cup H)'$. Hence, if $s \in F \setminus G$, $s \in F \cap G' \cap H'$ or $s \in F \cap G' \cap H$. Thus, it is seen that $(N,F) = (T,F)$.

$$8) \underset{\theta}{\overset{*}} [(A,F) \sim (B,G)] \tilde{\wedge} \underset{\theta}{\overset{*}} (C,H) = \underset{\theta}{\overset{*}} [(A,F) \sim (C,H)] \tilde{\wedge} \underset{\theta}{\overset{*}} [(B,G) \sim (C,H)].$$

Proof: Let $(A,F) \sim (B,G) = (M,F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M, F) \tilde{\lambda} (C, H) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M(s) \cup C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup C'(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cap B'(s)] \cup C'(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A, F) \sim (C, H)] \tilde{\cap} [(B, G) \sim (C, H)]$. Let $(A, F) \sim (C, H) = (V, F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A'(s) \cup C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $(B, G) \sim (C, H) = (W, B)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cup C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cap} (W, H) = (T, F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup C'(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap [B'(s) \cup C'(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A'(s) \cup C'(s)] \cap B'(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A'(s) \cup C'(s)] \cap [B'(s) \cup C'(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N,F)=(T,F)$.

$$9) [(A,F) \underset{\theta}{\sim} (B,G)] \underset{\theta}{\tilde{\theta}}(C,H) = [(A,F) \underset{\theta}{\sim} (C,H)] \underset{\theta}{\tilde{\theta}}[(B,G) \underset{\theta}{\sim} (C,H)], \text{ where } F \cap G \cap H' = \emptyset$$

Proof: Let $(A,F) \underset{\theta}{\sim} (B,G) = (M,F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M,F) \tilde{\theta}(C,H) = (N,F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M'(s) \cap C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cap C'(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cup B(s)] \cap C'(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A,F) \underset{\theta}{\sim} (C,H)] \underset{\theta}{\tilde{\theta}}[(B,G) \underset{\theta}{\sim} (C,H)]$. Let $(A,F) \underset{\theta}{\sim} (C,H) = (V,F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A(s) \cap C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $(B,G) \underset{\theta}{\sim} (C,H) = (W,G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B(s), & s \in G \setminus H \\ B(s) \cap C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V,F) \tilde{\theta}(W,H) = (T,F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cap C'(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cup B(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup [B(s) \cap C'(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A(s) \cap C'(s)] \cup B(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A(s) \cap C'(s)] \cup [B(s) \cap C'(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$10) [(A, F) \underset{\theta}{\overset{*}{\sim}} (B, G)] \underset{\lambda}{\overset{*}{\sim}} (C, H) = [(A, F) \underset{\lambda}{\overset{*}{\sim}} (C, H)] \tilde{\cup} [(B, G) \underset{\lambda}{\overset{*}{\sim}} (C, H)], \text{ where } F \cap G \cap H' = \emptyset.$$

Proof: Let $(A, F) \underset{\theta}{\overset{*}{\sim}} (B, G) = (M, F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M, F) \underset{*}{\sim} (C, H) = (N, F)$, where $\forall s \in F$,

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M'(s) \cup C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A(s) \cup C'(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A(s) \cup B(s)] \cup C'(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let $[(A, F) \underset{\lambda}{\overset{*}{\sim}} (C, H)] \tilde{\cup} [(B, G) \underset{\lambda}{\overset{*}{\sim}} (C, H)]$. Let $(A, F) \underset{\lambda}{\overset{*}{\sim}} (C, H) = (V, F)$, where $\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A(s) \cup C'(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $(B, G) \underset{\lambda}{\overset{*}{\sim}} (C, H) = (W, G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B(s), & s \in G \setminus H \\ B(s) \cup C'(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V, F) \tilde{\cup} (W, H) = (T, F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cup W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Hence,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A(s) \cup C'(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cup B(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup [B(s) \cup C'(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A(s) \cup C'(s)] \cup B(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A(s) \cup C'(s)] \cup [B(s) \cup C'(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N, F) = (T, F)$.

$$11) [(A, F) \underset{\theta}{\sim} (B, G)] \underset{\gamma}{\tilde{\cap}} (C, H) = [(A, F) \underset{\gamma}{\sim} (C, H)] \underset{\gamma}{\tilde{\cap}} [(B, G) \underset{\gamma}{\sim} (C, H)].$$

Proof: Let $(A, F) \underset{\theta}{\sim} (B, G) = (M, F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M, F) \tilde{\cap} (C, H) = (N, F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M(s) \cap C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Thus,

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap C(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cap B'(s)] \cap C(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $\underset{\gamma}{*}[(A,F) \sim (C,H)] \tilde{\cap} \underset{\gamma}{*}[(B,G) \sim (C,H)]$. Let $\underset{\gamma}{*}(A,F) \sim (C,H) = (V,F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A'(s) \cap C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $\underset{\gamma}{*}(B,G) \sim (C,H) = (W,G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cap C(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V,F) \tilde{\cap} (W,H) = (T,F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Hence,

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap G' \\ A'(s) \cap C(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap [B'(s) \cap C(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A'(s) \cap C(s)] \cap B'(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A'(s) \cap C(s)] \cap [B'(s) \cap C(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N,F) = (T,F)$.

$$\mathbf{12) \underset{\theta}{*}[(A,F) \sim (B,G)] \tilde{\cup} (C,H) = \underset{+}{*}[(A,F) \sim (C,H)] \tilde{\cap} \underset{+}{*}[(B,G) \sim (C,H)].}$$

Proof: Let $\underset{\theta}{*}(A,F) \sim (B,G) = (M,F)$, where $\forall s \in F$;

$$M(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus G \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in F \cap G \end{cases}$$

Let $(M,F) \tilde{\cup} (C,H) = (N,F)$, where $\forall s \in F$;

$$N(s) = \begin{cases} M(s), & s \in F \setminus H \\ M(s) \cup C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

$$N(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus G) \setminus H = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \cap G) \setminus H = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cup C(s), & s \in (F \setminus G) \cap H = F \cap G' \cap H \\ [A'(s) \cap B'(s)] \cup C(s), & s \in (F \cap G) \cap H = F \cap G \cap H \end{cases}$$

Now let's handle $[(A,F) \sim (C,H)] \tilde{\cap} [(B,G) \sim (C,H)]$. Let $(A,F) \sim (C,H) = (V,F)$, where

$\forall s \in F$;

$$V(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in F \setminus H \\ A'(s) \cup C(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

Suppose that $(B,G) \sim (C,H) = (W,G)$, where $\forall s \in G$;

$$W(s) = \begin{cases} B'(s), & s \in G \setminus H \\ B'(s) \cup C(s), & s \in G \cap H \end{cases}$$

Let $(V,F) \tilde{\cap} (W,H) = (T,F)$, where $\forall s \in F$;

$$T(s) = \begin{cases} V(s), & s \in F \setminus H \\ V(s) \cap W(s), & s \in F \cap H \end{cases}$$

$$T(s) = \begin{cases} A'(s), & s \in (F \setminus H) \setminus G = F \cap G' \cap H' \\ A'(s) \cup C(s), & s \in (F \cap H) \setminus G = F \cap G' \cap H \\ A'(s) \cap B'(s), & s \in (F \setminus H) \cap (G \setminus H) = F \cap G \cap H' \\ A'(s) \cap [B'(s) \cup C(s)], & s \in (F \setminus H) \cap (G \cap H) = \emptyset \\ [A'(s) \cup C(s)] \cap B'(s), & s \in (F \cap H) \cap (G \setminus H) = \emptyset \\ [A'(s) \cup C(s)] \cap [B'(s) \cup C(s)], & s \in (F \cap H) \cap (G \cap H) = F \cap G \cap H \end{cases}$$

It is seen that $(N,F) = (T,F)$.

4. Conclusion

In this paper, we explore more about soft binary piecewise theta and star operation by examining the relationships between this soft set operation and other types of soft set

operations. In this paper, it is aimed to contribute to the soft set literature by obtaining the distributions of soft binary piecewise operations over soft binary piecewise θ and $\star$ operations with complement. This paper is a theoretical study of soft sets and some future studies may continue by defining and examining some other distribution rules. For future studies, this research is to serve as a basis for many applications, especially decision making cryptography. Since soft set is a powerful mathematical tool for uncertain object detection, with this study, researchers may suggest some new encryption based on soft sets.

Author's Contribution

The contribution of authors is equal.

Conflict of Interest

The authors have declared that there is no conflict of interest.

References

- Addis GM, Engidaw DA, Davvaz B., 2022. Soft mappings: a new approach. *Soft Computing*, 26: 3589-3599.
- Akbulut E., 2024. New type of extended operations of soft set: complementary extended λ and difference operations. Amasya University The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Amasya.
- Ali MI, Feng F, Liu X, Min WK, Shabir M., 2009. On some new operations in soft set theory. *Computers and Mathematics with Applications*, 57(9): 1547-1553.
- Atagün AO, Aygün E., 2016. Groups of soft sets. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30: 729-733.
- Aybek F., 2024. New restricted and extended soft set operations. Amasya University The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Amasya.
- Ayub S, Shabir M, Riaz M, Aslam M, Chinram R., 2021. Linear diophantine fuzzy relations and their algebraic properties with decision making. *Symmetry*, 13(6): 945.
- Çağman N., 2021. Conditional complements of sets and their application to group theory. *Journal of New Results in Science*, 10(3): 67-74.
- Demirci AM., 2024. New type of extended operations of soft set: complementary extended plus, union and θ operations. Amasya University The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Amasya.

Eren ÖF, 2019. On some operations of soft sets. Ondokuz Mayıs University The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Samsun.

Molodtsov D., 1999. Soft set theory-first results. Computers and Mathematics with Applications, 37(1): 19-31.

Maji PK, Bismas R, Roy AR., 2003. Soft set theory. Computers and Mathematics with Applications, 45(1): 555-562.

Özlü Ş. 2022a. Interval valued q- rung orthopair hesitant fuzzy choquet aggregating operators in multi-criteria decision making problems. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 10(4): 1006-1025.

Özlü Ş., 2022b. Interval valued bipolar fuzzy prioritized weighted dombi averaging operator based on multi-criteria decision making problems. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 10(4): 841-857.

Paik B, Mondal SK., 2022. Introduction to soft-cryptosystem and its application. Wireless Pers Commun 125:1801–1826.

Pei D, Miao D., 2005. From soft sets to information systems. in: proceedings of granular computing. IEEE, 2: 617-621.

Riaz M, Hashmi MR., 2019. Linear diophantine fuzzy set and its applications towards multi-attribute decision-making problems. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 37: 5417-5439.

Riaz M, Farid HMA., 2023. Linear diophantine fuzzy aggregation operators with multi-criteria decision-making. Journal of Computational and Cognitive Engineering, 1–12.

Riaz M, Hashmi MR, Pamucar D, Chu Y., 2021. Spherical linear diophantine fuzzy sets with modeling uncertainties in mcdm. Computer Modeling in Engineering and Sciences, 126: 1125-1164.

Sarialioğlu M., 2024. New type of extended operations of soft set: complementary extended gamma, intersection and star operations. Amasya University The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Amasya.

Sezgin A, Atagün AO., 2011. On operations of soft sets. Computers and Mathematics with Applications, 61(5): 1457-1467.

Sezgin A, Atagün AO., 2023. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise plus operation. Matrix Science Mathematics, 7(2): 110-127.

Sezgin A, Aybek F., 2023. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise gamma operation. Matrix Science Mathematic, 7(1): 27-45.

Sezgin A, Aybek F, Atagün AO., 2023a. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise intersection operation. Black Sea Journal of Engineering and Science, 6(4): 330-346.

Sezgin A, Aybek F, Güngör NB., 2023b. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise union operation. Acta Informatica Malaysia, 1(7): 38-53.

Sezgin A, Çağman N, Atagün AO, Aybek F., 2023c. Complemental binary operations of sets and their application to group theory, Matrix Science Mathematic, 7(2): 91-98.

Sezgin A, Çağman N., 2024. A new soft set operation: Complementary soft binary piecewise difference operation. Osmaniye Korkut Ata University Journal of the Institute of Science and Technology, 7(1): 58-94.

Sezgin A, Dagtoros K., 2023. Complementary soft binary piecewise symmetric difference operation: A novel soft set operation. Scientific Journal of Mehmet Akif Ersoy University, 6(2): 31-45.

Sezgin A, Demirci AM., 2023. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise star operation. Ikonion Journal of Mathematics, 5(2): 24-52.

Sezgin A, Sarıalioğlu M., 2024. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise theta operation. Journal of Kadirli Faculty of Applied Sciences. (in press)

Sezgin A, Shahzad A, Mehmood A., 2019. New operation on soft sets: Extended difference of soft sets. Journal of New Theory, 27: 33-42.

Sezgin A, Yavuz E., 2023a. A new soft set operation: soft binary piecewise symmetric difference operation. Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering, 5(2): 150-168.

Sezgin A, Yavuz E., 2023b. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise lambda operation. Sinop University Journal of Natural Sciences, 8(2):101-133.

Stojanovic NS., 2021. A new operation on soft sets: extended symmetric difference of soft sets. Military Technical Courier, 69(4): 779-791.

Yavuz E., 2024. Soft binary piecewise operations and their properties, Amasya UniversityçalıThe Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Amasya.

NM-polynomials and Neighborhood Degree Based Topological Indices of Some Benzenoid Systems

Özge ÇOLAKOĞLU^{1*}

¹Mersin University, Science Faculty, Mathematics Department, Mersin, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-4094-3380>

*Corresponding author: ozgeclkg1@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 03.07.2023

Accepted: 21.09.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Graph theory

Topological index

NM-polynomials

Neighborhood degree-based-

topological index

Benzenoids

ABSTRACT

Topological indices are numerical descriptors of a chemical structure represented by a graph. Topological indices are used to predict the physical, chemical, and biological properties of chemical structures without experimentation. In this study, the closed forms of the NM-polynomials of and neighborhood degree-based topological indices of the triangular, zigzag, and rhombic benzenoids are calculated. In addition, the topological indices of the studied benzenoids are compared.

Bazı Benzenoid Sistemlerin NM-polinimleri ve Komşuluk Derecesine Dayalı Topolojik İndeksleri

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 03.07.2023

Kabul tarihi: 21.09.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler

Graf teori

Topolojik indeks

NM-polinimleri

Komşuluk derecesine dayalı topolojik

indeksler

Benzenoidler

ÖZ

Topolojik indeksler, bir grafla temsil edilen bir kimyasal yapının sayısal tanımlayıcılarıdır. Topolojik indeksler, kimyasal yapıların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini deney yapmadan tahmin etmek için kullanılır. Bu çalışmada, üçgen, zikzak ve eşkenar dörtgen benzenoidlerin NM-polinimlerinin kapalı formları ve komşu derecesine dayalı topolojik indeksleri hesaplanmıştır. Ayrıca her bir benzenoid için topolojik indeksleri karşılaştırılmıştır.

To Cite: Çolakoğlu Ö., 2024. NM-polynomials and neighborhood degree based topological indices of some benzenoid systems. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 166-178.

Introduction

Chemical graph theory is a field that studies polynomials and topological indices that predict the properties of chemical structures with graph theory, an area of discrete mathematics. Topological indices are numerical descriptors of the graph representation of a chemical

structure. A graph representation of a chemical structure, that is, a chemical graph, is a 2D image of a dehydrogenated chemical. The atoms of the chemical structure are represented as the tops of the graph and the interatomic bonds as the edges of the graph. Topological indices have been used to predict the properties of chemical structures since 1947 (Wiener, 1947). Since then, numerous topological indices have been defined that depend on the topology of the graph (Liu and Singaraj, 2021; Rosary, 2022; Rosary and Fufa, 2022). In some graphs, it can be difficult to calculate topological indices. Therefore, polynomials related to topological indices are defined. One of them is NM-polynomials depending on the neighborhood degree. Havare found that the neighborhood harmonic index for the molar volume property of new cancer drugs is the best predictor index among many topological indices (Havare, 2021). Mondal studied NM-polynomials for Titanium (Mondal et al., 2021). Afzal et al. calculated the NM-polynomials of starphene (Afzal et al., 2022). Çolakoğlu calculated the neighborhood degree-based topological indices of cycle-related graphs (Çolakoğlu, 2022). Sözen and Eryaşar calculated the NM-coindices of potential drug candidates against COVID-19 and obtained QSPR modeling (Sözen and Eryaşar, 2023).

Benzenoids are chemicals with a C_nH_s structure, consisting of hexagons. These chemicals are used in pharmaceutical industry, and food. Akhter and Imran calculated topological indices of triangular benzenoids (Akhter and Imran, 2016). Kwun et al. obtained Zagreb indices and polynomials of benzenoid systems (Kwun et al., 2018a). Afzala calculated the Banhattin indices of zigzag benzenoids (Afzala et al., 2021). Awais et al. studied the irregularity indices of benzenoid graphs (Awais et al., 2023). The M-polynomial and degree-dependent topological indices of some benzenoids were calculated (Ali et al., 2018; Kwun, 2018b; Mumammed et al., 2020). Rosary et al. studied valency-based irregular indices of some benzenoids (Rosary et al., 2023).

In this study, benzenoid systems used in chemistry and industry are discussed with graph theory. The results are intended to be used in QSPR and QSAR modeling for the production of new chemicals. For this purpose, neighborhood polynomials of the zigzag, triangular and rhombic benzenoids are obtained. Using these polynomials, topological indices depending on the neighborhood degree are calculated. The graphics obtained using the MATLAB program are compared.

Material and Methods

If a graph G has $p, q \in V(G)$ vertex set and $pq \in E(G)$ edge set, then the order (size) of vertices (edges) is defined as $|V(G)|$ ($|E(G)|$). The degree of the vertex p of a graph G is denoted by d_p . The neighborhood of a vertex p in a graph G , $N(p)$, is the set of all vertices adjacent to p (Chartrand et al., 2010). Let $\delta_q = \sum_{p \in N(q)} d_p$ and $\tau^*_{ij} = \{|\widetilde{NE}_{i,j}| \mid \delta_p = i, \delta_q = j\}$.

The neighborhood M-polynomial is defined in (Verma et al., 2019) as

$$NM(G, r, s) = \sum_{i \leq j} \tau^*_{ij} r^i s^j. \quad (1)$$

Neighborhood degree-based topological indices are respectively defined as

$$NTI(G) = \sum_{uv \in E_{i,j}} \varphi(\delta_u, \delta_v).$$

The formulas of third version of Zagreb ($\acute{M}_1$), neighborhood second modified Zagreb ($\acute{M}_2$), neighborhood forgotten ($\acute{F}$), third NDe (ND_3), fifth NDe (ND_5), neighborhood inverse sum indeg ($I\acute{S}I$), neighborhood harmonic ($\acute{H}$) which are neighborhood degree-based topological indices are given in the following table (see Table 1).

Table 1. The formulas of neighborhood degree-based topological indices.

Topological Indices	Formulas	Derivation From $NM(G, r, s)$
$\acute{M}_1(G)$	$\sum_{uv \in E(G)} (\delta_u + \delta_v)$	$((D_r + D_s)NM(G, r, s))_{r=s=1}$
$\acute{M}_2(G)$	$\sum_{uv \in E(G)} (\delta_u \delta_v)$	$(D_r D_s)(NM(G, r, s))_{r=s=1}$
$\acute{F}$	$\sum_{uv \in E(G)} (\delta_u^2 + \delta_v^2)$	$(D_r^2 + D_s^2)(NM(G, r, s))_{r=s=1}$
ND_{e_3}	$\sum_{uv \in E(G)} (\delta_u \delta_v)(\delta_u + \delta_v)$	$D_r D_s (D_r + D_s)(NM(G, r, s))_{r=s=1}$
ND_5	$\sum_{uv \in E(G)} \left(\frac{\delta_u}{\delta_v} + \frac{\delta_v}{\delta_u} \right)$	$(D_r E_s + E_r D_s)(NM(G, r, s))_{r=s=1}$
$I\acute{S}I$	$\sum_{uv \in E(G)} \left(\frac{\delta_u \delta_v}{\delta_u + \delta_v} \right)$	$(E_r J D_r D_s)(NM(G, r, s))_{r=1}$
$\acute{H}$	$\sum_{uv \in E(G)} \frac{2}{(\delta_u + \delta_v)}$	$(2E_r J)(NM(G, r, s))_{r=1}$

Where:

$$D_r = r \left(\frac{\partial(NM(G, r, s))}{\partial r} \right), \quad D_s = s \left(\frac{\partial(NM(G, r, s))}{\partial s} \right), \quad E_r = \int_0^r \frac{NM(G, t, r)}{t} dt, \quad E_s = \int_0^s \frac{NM(G, r, t)}{t} dt, \quad J(\varphi(r, s)) = NM(G, r, r).$$

The graphs of zigzag benzenoids, ZZ_n , have $8n + 2$ vertices and $10n + 1$ edges. Figure 1 shows the zigzag benzenoids with the hydrogen atoms removed (Kwun et al, 2018a).

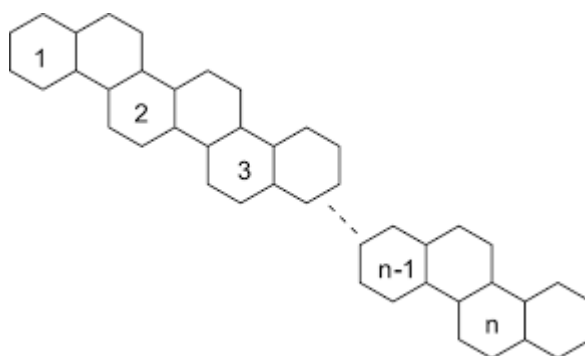


Figure 1. The graph of zigzag benzenoids (Kwun et al, 2018a).

The graphs of triangular benzenoids, $TB(n)$, have $8n + 2$ vertices and $10n + 1$ edges. Figure 2 shows the graph of triangular benzenoids (Kwun et al, 2018a).

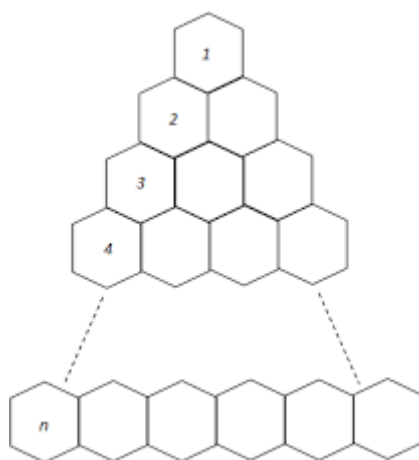


Figure 2. Triangular benzenoids (Kwun et al, 2018a).

The graphs of rhombic benzenoids, $RB(n)$, have $2n(n + 2)$ vertices and $3n^2 + 4n - 1$ edges. Figure 3 shows the rhombic benzenoids and its graph.

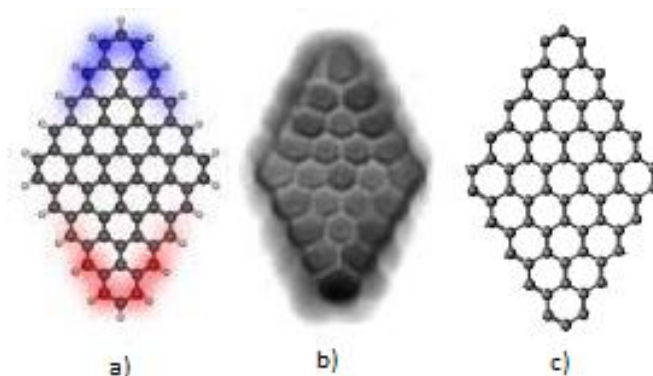


Figure 3. a) [5]-Rhombene (Mishra et al.,2021), b) $C_{70}H_{22}$ open-shell (Mishra et al., 2021) c) its graph,

$RB(5)$

Results and Discussion

In this section, the neighborhood M-polynomials of zigzag benzenoids, triangular benzenoids, and rhombic benzenoids are calculated. Using these polynomials, the first and second Zagreb, forgotten, harmonic, inverse sum indices, third NDe and fifth NDe indices based on neighborhood are calculated.

Theorem 1. The neighborhood M-polynomial of ZZ_n is

$$NM(ZZ_n, r, s) = 2r^4s^4 + 4r^4s^5 + 4r^5s^7 + (2n - 2)r^5s^5 + (4n - 4)r^5s^8 + 2r^7s^8 + (4n - 5)r^8s^8.$$

Proof. From Figure 1, $|\widetilde{NE}_{4,4}| = 2, |\widetilde{NE}_{4,5}| = 4, |\widetilde{NE}_{5,7}| = 4, |\widetilde{NE}_{5,5}| = 2n - 2, |\widetilde{NE}_{5,8}| = 4n - 4, |\widetilde{NE}_{7,8}| = 2, |\widetilde{NE}_{8,8}| = 4n - 5.$

From the Equation (1), it is obtained

$$NM(ZZ_n, r, s) = \sum_{4 \leq 4} \tau_{44}^* r^4 s^4 + \sum_{4 \leq 5} \tau_{45}^* r^4 s^5 + \sum_{5 \leq 5} \tau_{55}^* r^5 s^5 + \sum_{5 \leq 7} \tau_{57}^* r^5 s^7 + \sum_{5 \leq 8} \tau_{58}^* r^5 s^8 + \sum_{7 \leq 8} \tau_{78}^* r^7 s^8 + \sum_{8 \leq 8} \tau_{88}^* r^8 s^8$$

or

$$NM(ZZ_n, r, s) = 2r^4s^4 + 4r^4s^5 + 4r^5s^7 + (2n - 2)r^5s^5 + (4n - 4)r^5s^8 + 2r^7s^8 + (4n - 5)r^8s^8.$$

Corollary 2. The topological indices based on the neighborhood degree of the ZZ_n graph are

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. $\acute{M}_1(ZZ_n) = 136n - 22.$ | 4. $NDe_3(ZZ_n) = 6676n - 3364.$ |
| 2. $\acute{M}_2(ZZ_n) = 466n - 166.$ | 5. $ND_5(ZZ_n) = \frac{209}{10}n + \frac{251}{140}.$ |
| 3. $\acute{F}(ZZ_n) = 968n - 346.$ | 6. $\acute{I}\acute{S}I(ZZ_n) = \frac{433}{13}n - \frac{3092}{585}.$ |
| | 7. $\acute{H}(ZZ_n) = \frac{197}{130}n + \frac{3191}{4680}.$ |

Proof. Using Theorem 1 and Table 1, the following equations are obtained

$$D_r(NM(ZZ_n, r, s)) = 8r^4s^4 + 16r^4s^5 + 20r^5s^7 + 5(2n - 2)r^5s^5 + 5(4n - 4)r^5s^8 + 14r^7s^8 + 8(4n - 5)r^8s^8,$$

$$D_s(NM(ZZ_n, r, s)) = 8r^4s^4 + 20r^4s^5 + 28r^5s^7 + 5(2n - 2)r^5s^5 + 8(4n - 4)r^5s^8 + 16r^7s^8 + 8(4n - 5)r^8s^8,$$

$$D_r D_s(NM(ZZ_n, r, s)) = 32r^4s^4 + 80r^4s^5 + 140r^5s^7 + 25(2n - 2)r^5s^5 + 40(4n - 4)r^5s^8 + 112r^7s^8 + 64(4n - 5)r^8s^8,$$

$$D_r^2(NM(ZZ_n, r, s)) = 32r^4s^4 + 64r^4s^5 + 100r^5s^7 + 25(2n-2)r^5s^5 + 25(4n-4)r^5s^8 + 98r^7s^8 + 64(4n-5)r^8s^8,$$

$$D_s^2(NM(ZZ_n, r, s)) = 32r^4s^4 + 100r^4s^5 + 196r^5s^7 + 25(2n-2)r^5s^5 + 64(4n-4)r^5s^8 + 128r^7s^8 + 64(4n-5)r^8s^8,$$

$$D_r D_s (D_r + D_s)(NM(ZZ_n, r, s)) = 256r^4s^4 + 720r^4s^5 + 1680r^5s^7 + 250(2n-2)r^5s^5 + 520(4n-4)r^5s^8 + 1680r^7s^8 + 1024(4n-5)r^8s^8,$$

$$(D_r E_s + E_r D_s)(NM(ZZ_n, r, s)) = 4r^4s^4 + \frac{41}{5}r^4s^5 + \frac{296}{35}r^5s^7 + 2(2n-2)r^5s^5 + \frac{89}{40}(4n-4)r^5s^8 + \frac{113}{28}r^7s^8 + 2(4n-5)r^8s^8,$$

$$(E_r J D_r D_s)(NM(ZZ_n, r, s)) = 4r^8 + \frac{80}{9}r^9 + \frac{35}{3}r^{12} + 5(n-1)r^{10} + \frac{40}{13}(4n-4)r^{13} + \frac{112}{15}r^{15} + 4(4n-5)r^{16},$$

$$(2E_r J)(NM(ZZ_n, r, s)) = \frac{1}{2}r^8 + \frac{8}{9}r^9 + \frac{2}{3}r^{12} + \frac{(2n-2)}{5}r^{10} + \frac{2(4n-4)}{13}r^{13} + \frac{4}{15}r^{15} + \frac{(4n-5)}{8}r^{16},$$

The following results are obtained:

1. $\dot{M}_1(ZZ_n) = (16r^4s^4 + 36r^4s^5 + 48r^5s^7 + 10(2n-2)r^5s^5 + 13(4n-4)r^5s^8 + 30r^7s^8 + 16(4n-5)r^8s^8)(1,1) = 136n - 22.$
2. $\dot{M}_2(ZZ_n) = (32r^4s^4 + 80r^4s^5 + 140r^5s^7 + 25(2n-2)r^5s^5 + 40(4n-4)r^5s^8 + 112r^7s^8 + 64(4n-5)r^8s^8)(1,1) = 466n - 116.$
3. $\dot{F}(ZZ_n) = (64r^4s^4 + 164r^4s^5 + 296r^5s^7 + 50(2n-2)r^5s^5 + 89(4n-4)r^5s^8 + 226r^7s^8 + 128(4n-5)r^8s^8)(1,1) = 968n - 346.$
4. $NDe_3(ZZ_n) = (256r^4s^4 + 720r^4s^5 + 1680r^5s^7 + 250(2n-2)r^5s^5 + 520(4n-4)r^5s^8 + 1680r^7s^8 + 1024(4n-5)r^8s^8)(1,1) = 6676n - 3364.$
5. $ND_5(ZZ_n) = \left(4r^4s^4 + \frac{41}{5}r^4s^5 + \frac{296}{35}r^5s^7 + 2(2n-2)r^5s^5 + \frac{89}{40}(4n-4)r^5s^8 + \frac{113}{28}r^7s^8 + 2(4n-5)r^8s^8\right)(1,1) = \frac{209}{10}n + \frac{251}{140}.$
6. $I\dot{S}I(ZZ_n) = \left(4r^8 + \frac{80}{9}r^9 + \frac{35}{3}r^{12} + 5(n-1)r^{10} + \frac{40}{13}(4n-4)r^{13} + \frac{112}{15}r^{15} + 4(4n-5)r^{16}\right)(1) = \frac{433}{13}n - \frac{3092}{585}.$
7. $\dot{H}(ZZ_n) = \left(\frac{1}{2}r^8 + \frac{8}{9}r^9 + \frac{2}{3}r^{12} + \frac{(2n-2)}{5}r^{10} + \frac{2(4n-4)}{13}r^{13} + \frac{4}{15}r^{15} + \frac{(4n-5)}{8}r^{16}\right)(1) = \frac{197}{130}n - \frac{3191}{4680}.$

Theorem 2. The neighborhood M-polynomial of TB_n is

$$NM(TB_n, r, s) = 6r^4s^5 + 6r^5s^7 + (6n - 12)r^6s^7 + (3n - 3)r^7s^9 + \frac{3}{2}(3n^2 + n)r^9s^9.$$

Proof. From Figure 2, $|\widetilde{NE}_{4,5}| = 6$, $|\widetilde{NE}_{5,7}| = 6$, $|\widetilde{NE}_{6,7}| = 6n - 12$, $|\widetilde{NE}_{7,9}| = 3n - 3$, $|\widetilde{NE}_{9,9}| = \frac{3}{2}(3n^2 + n)$.

From the Equation (1), it is obtained

$$NM(TB_n, r, s) = \sum_{4 \leq 5} \tau_{45}^* r^4 s^5 + \sum_{5 \leq 7} \tau_{57}^* r^5 s^7 + \sum_{6 \leq 7} \tau_{67}^* r^6 s^7 + \sum_{7 \leq 9} \tau_{79}^* r^7 s^9 + \sum_{9 \leq 9} \tau_{99}^* r^9 s^9$$

or

$$NM(TB_n, r, s) = 6r^4s^5 + 6r^5s^7 + (6n - 12)r^6s^7 + (3n - 3)r^7s^9 + \frac{3}{2}(3n^2 + n)r^9s^9$$

Corollary 2. The topological indices based on the neighborhood degree of the TB_n graph are

- | | |
|---|--|
| 1. $\acute{M}_1(TB_n) = 81n^2 + 153n - 78$. | 4. $NDe_3(TB_n) = 6561n^2 + 8487n - 5976$ |
| 2. $\acute{M}_2(TB_n) = \frac{729}{2}n^2 + \frac{1125}{2}n - 363$. | 5. $ND_5(TB_n) = 9n^2 + \frac{64}{3}n - \frac{1153}{210}$ |
| 3. $\acute{F}(TB_n) = 729n^2 + 1143n - 720$. | 6. $I\acute{S}I(TB_n) = \frac{81}{4}n^2 + \frac{7893}{208}n - \frac{12323}{624}$ |
| | 7. $\acute{H}(TB_n) = \frac{n^2}{4} + \frac{457}{312}n + \frac{35}{312}$ |

Proof. Using Theorem 2 and Table 1, the following results are obtained

1. $\acute{M}_1(TB_n) = (54r^4s^5 + 72r^5s^7 + 13(6n - 12)r^6s^7 + 16(3n - 3)r^7s^9 + 27(3n^2 + n)r^9s^9)(1,1) = 81n^2 + 153n - 78$.
2. $\acute{M}_2(TB_n) = (120r^4s^5 + 210r^5s^7 + 42(6n - 12)r^6s^7 + 63(3n - 3)r^7s^9 + \frac{243}{2}(3n^2 + n)r^9s^9)(1,1) = \frac{729}{2}n^2 + \frac{1125}{2}n - 363$.
3. $\acute{F}(TB_n) = (246r^4s^5 + 444r^5s^7 + 85(6n - 12)r^6s^7 + 144(3n - 3)r^7s^9 + 243(3n^2 + n)r^9s^9)(1,1) = 729n^2 + 1185n - 762$.
4. $NDe_3(TB_n) = (1080r^4s^5 + 2520r^5s^7 + 546(6n - 12)r^6s^7 + 1008(3n - 3)r^7s^9 + 2187(3n^2 + n)r^9s^9)(1,1) = 6561n^2 + 8487n - 5976$.

5. $ND_5(TB_n) = \left(\frac{123}{10}r^4s^5 + \frac{444}{35}r^5s^7 + \frac{85}{42}(6n-12)r^6s^7 + \frac{130}{63}(3n-3)r^7s^9 + 3(3n^2+n)r^9s^9 \right) (1,1) = 9n^2 + \frac{64}{3}n - \frac{1153}{210}.$
6. $ISI(TB_n) = \left(\frac{40}{3}r^9 + \frac{35}{2}r^{12} + \frac{42}{13}(6n-12)r^{13} + \frac{63}{16}(3n-3)r^{16} + \frac{27}{4}(3n^2+n)r^{18} \right) (1) = \frac{81}{4}n^2 + \frac{7893}{208}n - \frac{12323}{624}.$
7. $\dot{H}(TB_n) = \left(\frac{4}{3}r^9 + r^{12} + \frac{2}{13}(6n-12)r^{13} + \frac{1}{8}(3n-3)r^{16} + \frac{1}{6}(3n^2+n)r^{18} \right) (1) = \frac{n^2}{2} + \frac{457}{312}n + \frac{35}{312}.$

Theorem 3. The neighborhood M-polynomial of RB_n is

$$NM(RB_n, r, s) = 4r^4s^5 + 2r^5s^5 + 8r^5s^7 + (8n-16)r^6s^7 + (4n-4)r^7s^9 + (3n^2-8n+5)r^9s^9.$$

Proof. From Fig. 3, $|\widetilde{NE}_{4,5}| = 4$, $|\widetilde{NE}_{5,5}| = 2$, $|\widetilde{NE}_{5,7}| = 8$, $|\widetilde{NE}_{6,7}| = 8n-16$, $|\widetilde{NE}_{7,9}| = 4n-4$, $|\widetilde{NE}_{9,9}| = 3n^2-8n+5$.

From the Equation (1), it is obtained

$$NM(RB_n, r, s) = \sum_{4 \leq 5} \tau_{45}^* r^4s^5 + \sum_{5 \leq 5} \tau_{55}^* r^5s^5 + \sum_{5 \leq 7} \tau_{57}^* r^5s^7 + \sum_{6 \leq 7} \tau_{67}^* r^6s^7 + \sum_{7 \leq 9} \tau_{79}^* r^7s^9 + \sum_{9 \leq 9} \tau_{99}^* r^9s^9$$

or

$$NM(RB_n, r, s) = 4r^4s^5 + 2r^5s^5 + 8r^5s^7 + (8n-16)r^6s^7 + (4n-4)r^7s^9 + (3n^2-8n+5)r^9s^9$$

Corollary 3. The topological indices based on the neighborhood degree of the RB_n graph are

1. $\dot{M}_1(RB_n) = 54n^2 + 24n - 30.$
2. $\dot{M}_2(RB_n) = 243n^2 - 60n - 109.$
3. $\dot{F}(RB_n) = 486n^2 - 168n - 142.$
4. $ND_3(RB_n) = 4374n^2 - 3264n - 7463$
5. $ND_5(RB_n) = 6n^2 + \frac{76}{9}n - \frac{479}{315}$
6. $ISI(RB_n) = \frac{27}{2}n^2 + \frac{291}{52}n - \frac{3613}{468}$
7. $\dot{H}(RB_n) = \frac{n^2}{3} + \frac{197}{234}n + \frac{253}{1170}.$

Proof. Using Theorem 3 and Table 1, the following results are obtained

1. $\dot{M}_1(RB_n) = (36r^4s^5 + 20r^5s^5 + 96r^5s^7 + 13(8n - 16)r^6s^7 + 16(4n - 4)r^7s^9 + 18(3n^2 - 8n + 5)r^9s^9)(1,1) = 54n^2 + 24n - 30.$
2. $\dot{M}_2(RB_n) = (80r^4s^5 + 50r^5s^5 + 280r^5s^7 + 42(8n - 16)r^6s^7 + 63(4n - 4)r^7s^9 + 81(3n^2 - 8n + 5)r^9s^9)(1,1) = 243n^2 - 60n - 109.$
3. $\dot{F}(RB_n) = (164r^4s^5 + 100r^5s^5 + 592r^5s^7 + 85(8n - 16)r^6s^7 + 112(4n - 4)r^7s^9 + 162(3n^2 - 8n + 5)r^9s^9)(1,1) = 486n^2 - 168n - 142.$
4. $ND_3(RB_n) = (720r^4s^5 + 500r^5s^5 + 3360r^5s^7 + 546(8n - 16)r^6s^7 + 1008(4n - 4)r^7s^9 + 1458(3n^2 - 8n + 5)r^9s^9)(1,1) = 4374n^2 - 3264n - 7463.$
5. $ND_5(RB_n) = \left(\frac{41}{5}r^4s^5 + 4r^5s^5 + \frac{592}{35}r^5s^7 + \frac{85}{42}(8n - 16)r^6s^7 + \frac{130}{63}(4n - 4)r^7s^9 + 2(3n^2 - 8n + 5)r^9s^9\right)(1,1) = 6n^2 + \frac{76}{9}n - \frac{479}{315}.$
6. $I\dot{S}I(RB_n) = \left(\frac{80}{9}r^9 + 5r^{10} + \frac{70}{3}r^{12} + \frac{42}{13}(8n - 16)r^{13} + \frac{63}{16}(4n - 4)r^{16} + \frac{9}{2}(3n^2 - 8n + 5)r^{18}\right)(1) = \frac{27}{2}n^2 + \frac{291}{52}n - \frac{3613}{468}.$
7. $\dot{H}(RB_n) = \left(\frac{8}{9}r^9 + \frac{2}{5}r^{10} + \frac{4}{3}r^{12} + \frac{2(8n-16)}{13}r^{13} + \frac{(4n-4)}{8}r^{16} + \frac{(3n^2-8n+5)}{9}r^{18}\right)(1) = \frac{n^2}{3} + \frac{197}{234}n + \frac{253}{1170}.$

The graphs of the topological indices depending on the neighborhood of the zigzag benzenoid graphs are given in Figure 4.

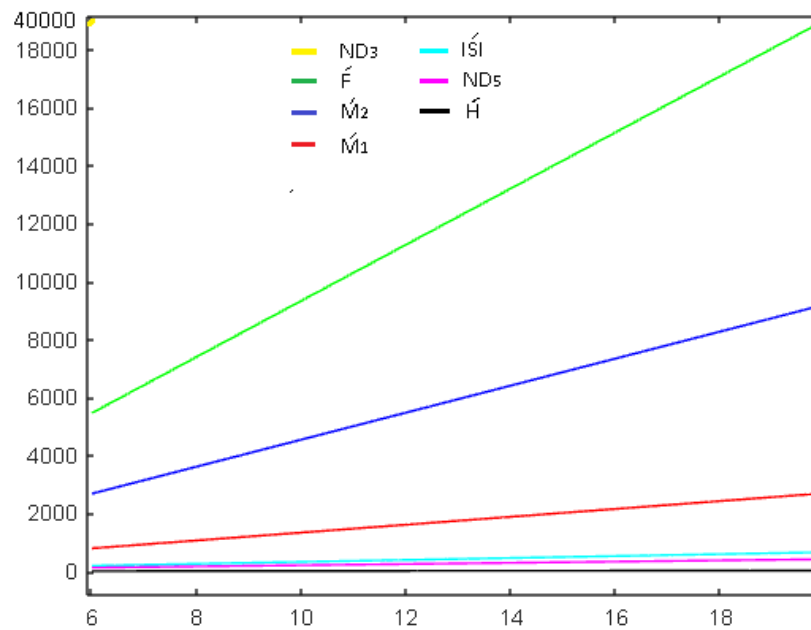


Figure 4. The topological indices of zigzag benzenoid graphs

The fastest growing topological index for zigzag benzenoids is the ND_3 index from Figure 4. It was observed that $ND_3, \hat{F}, \hat{M}_2, \hat{M}_1, I\hat{S}I, ND_5,$ and $\hat{H}$, from largest to smallest, respectively. Figure 5 shows the graph of the topological indices depending on the degree of neighborhood of the triangular benzenoid graphs.

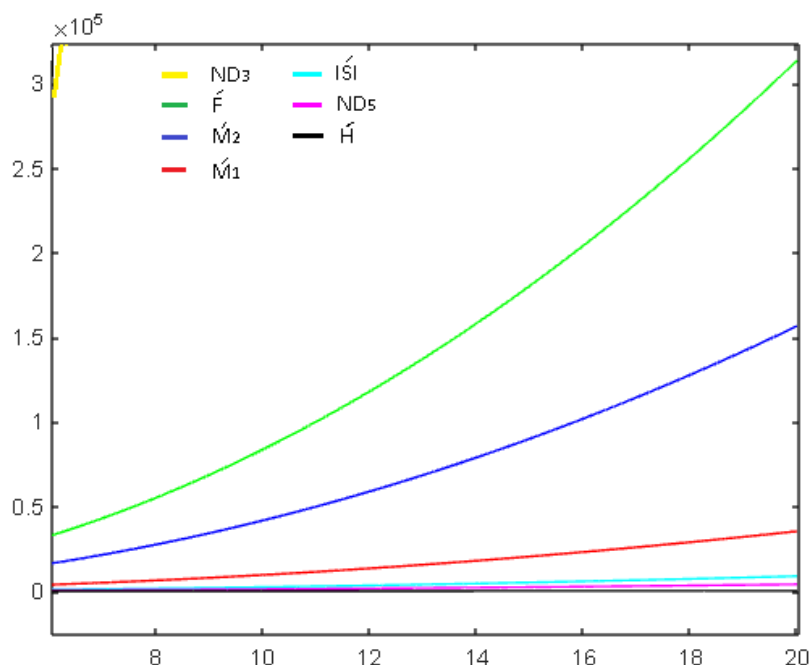


Figure 5. The topological indices of triangular benzenoid graphs

The fastest growing index for triangular benzenoid graphs from Figure 5 is ND_3 . The topological indices of triangular benzenoid graphs are $ND_3, \hat{F}, \hat{M}_2, \hat{M}_1, I\hat{S}I, ND_5,$ and $\hat{H}$ respectively, from the largest to the smallest values. Figure 6 is a plot of topological indices depending on the degree of adjacency of rhombic benzenoid graphs.

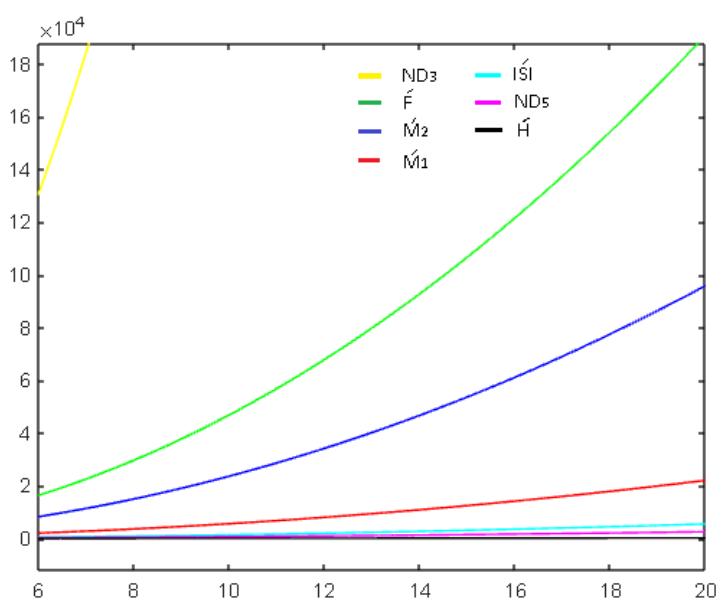


Figure 6. The plots of topological indices for rhombic benzenoid graphs

It is seen from Figure 6 that values of the topological indices depending on the neighborhood of the rhombic benzenoid graphs are $ND_3, \acute{F}, \acute{M}_2, \acute{M}_1, ISI, ND_5$, and $\acute{H}$, from the largest to the smallest, respectively.

Conclusion

Recently, it has been important to predict the properties of chemicals for rapid chemical production unexperimented. Therefore, topological indices and studies on this subject have increased. In this study, zigzag benzenoids, triangular benzenoids, and rhombic benzenoids are considered. The neighborhood polynomials of the graphs of these chemicals are found and the topological indices depending on the neighborhood degree are calculated via these polynomials. The neighborhood degree based on first and second Zagreb indices, the neighborhood degree based forgotten, harmonic, inverse sum indices, third NDe and fifth NDe indices are studied.

While the topological indices values of zigzag benzenoids increase linearly, the values of the indices of triangular and rhombic benzenoids increase curvilinearly. For all of these benzenoids, the order of values of the topological indices is the same and the ND_3 index has the largest values, the $\acute{H}$ index has the smallest values. The order of the values of the topological indexes is $ND_3 > \acute{F} > \acute{M}_2 > \acute{M}_1 > ISI > ND_5 > \acute{H}$.

The results of this study can be used to predict the properties of new chemicals with the benzenoid system. It will shed light on the fields of chemistry, pharmaceutical industry, mathematical chemistry. These results can be used in QSPR and QSAR studies.

Author's Contributions

The author declares that she has contributed 100% to the article.

Conflict of Interest

The author has declared that that there are no competing interests.

References

Afzala F, Zamanb M, Chaudhryb F, Afzalb D, Farahanic MR, Cancan M., 2021. Computational analysis of new degree-based descriptors of zig-zag benzenoid system. Eurasian Chemical Communications, 3(6): 418-424.

- Afzal D, Hameed S, Ashraf U, Mehmood A, Chaudhry F, Thapa DK., 2022. Study of neighborhood degree-based topological indices via direct and NM-polynomial of Starphene graph. *Journal of Function Spaces*, 2022:1-11.
- Akhter S, Imran M., 2016. On molecular topological properties of benzenoid structures. *Canadian Journal of Chemistry*, 94(8): 687-698.
- Ali A, Nazeer W, Munir M, Min Kang S., 2018. M-polynomials and topological indices of zig-zag and rhombic benzenoid systems. *Open Chemistry*, 16(1): 73-78.
- Awais M, Ahmed Z, Khalid W, Bonyah E., 2023. Analysis of zigzag and rhombic benzenoid systems via irregularity indices. *Journal of Mathematics*, 2023: 1-12.
- Chartrand G, Lesniak L, Zhang P., 2010. *Graphs & digraphs*, Basım: 4, CRC press.
- Chel Kwun Y, Zahid MA, Nazeer W, Ali A, Ahmad M, Kang SM., 2018a. On the zagreb polynomials of benzenoid systems. *Open Physics*, 16(1): 734-740.
- Çolakoğlu Ö., 2022. NM-polynomials and topological indices of some cycle-related graphs. *Symmetry*, 14(8): 1706-1716.
- Havare ÖÇ., 2021. Topological indices and QSPR modeling of some novel drugs used in the cancer treatment. *International Journal of Quantum Chemistry*, 121(24): e26813.
- Kwun YC, Ali A, Nazeer W, Ahmad Chaudhary M, Kang SM., 2018b. M-polynomials and degree-based topological indices of triangular, hourglass, and jagged-rectangle benzenoid systems. *Journal of Chemistry*, 2018: 1-12.
- Liu JB, Singaraj RM., 2021. Topological analysis of para-line graph of Remdesivir used in the prevention of corona virus. *International Journal of Quantum Chemistry*, 121(22): e26778.
- Mishra S, Yao X, Chen Q, Eimre K, Gröning O, Ortiz R, Di Giovannantio M, Sancho-Garcia JC, Rossier JF, Pignedoli CA, Ruffieux P, Narita A, Fasel R., 2021. Large magnetic exchange coupling in rhombus-shaped nanographenes with zigzag periphery. *Nature Chemistry*, 13: 581–586.
- Mohammed MA, Haoer RS, Ali A, Ahmad M, Farahani MR, Nazeer S., 2020. Redefined zagreb indices of rhombic, triangular, hourglass and jagged-rectangle benzenoid systems. *Proyecciones (Antofagasta)*, 39(4): 851-867.
- Mondal S, Imran M, De N, Pal A., 2021. Neighborhood M-polynomial of titanium compounds. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(8): 103244.
- Öztürk Sözen E, Eryaşar E., 2023. QSPR analysis of some drug candidates investigated for COVID-19 via new topological coindices. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 1-18.

Rosary MS, Fufa SA., 2022. On reverse valency based topological characterization of a chemical compound. *Journal of Mathematics*, 2022: 1-17.

Rosary MS., 2022. Topological study of line graph of Remdesivir compound used in the treatment of corona virus. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42(8): 5731-5747.

Rosary MS, Alsinai A, Siddiqui MK, Ahmed H., 2023. A perspective approach to study the valency-based irregular indices for benzenoid planar octahedron structures. *Journal of Chemistry*, 1-19.

Verma A, Mondal S, De N, Pal A., 2019. Topological properties of bismuth Tri-iodide using neighborhood M-polynomial. *International Journal of Mathematics Trends and Technology*, 67(10): 83-90.

Wiener H., 1947. Structural determination of paraffin boiling points. *Journal of the American Chemical Society*, 69(1): 17-20.

Numerical Study of Hydrodynamic and Thermal Characteristics in a Rectangular Grooved Duct with Circular Obstacles at Different Positions

Selma AKÇAY^{1*}

¹Çankırı Karatekin University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Çankırı

¹<https://orcid.org/0000-0003-2654-0702>

*Corresponding author: selmaakcay@karatekin.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 16.09.2023

Accepted: 17.11.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Rectangular grooved duct

Circular obstacles

Heat transfer

Turbulent flow

Friction factor

ABSTRACT

This study numerically evaluated the impact of the positions of circular obstacles on hydraulic and thermal characteristics in a rectangular grooved channel. Numerical study was solved by the ANSYS Fluent solver. In the study, circular obstacles were placed in the rectangular grooved channel in three different positions (Case 1, Case 2, and Case 3), and the findings were compared to the grooved duct without circular obstacles (Case 0). The walls of the grooved duct were kept at 350 K. The working fluid is air. The study was conducted for different Reynolds numbers ($2000 \leq Re \leq 10000$). The numerical findings were validated with previous study results. The simulation results indicated that the velocity and thermal fields were significantly affected by Reynolds number, position of the circular obstacles, and the geometry of the channel. According to the results, while less pressure drop occurred at the Case 3, the highest pressure drop and heat transfer were obtained at the Case 1. Convection heat transfer improved 1.78 times at Case1 and $Re=10000$ compared to the Case 0. For all the flow cases, the Nusselt number and the pressure loss increased with the Reynolds number. Thermo-hydraulic performance values decreased with Reynolds number due to the increase in friction factor.

Farklı Pozisyonlarda Dairesel Engellere Sahip Dikdörtgen Oluklu Bir Kanalda Hidrodinamik ve Termal Karakteristiklerin Sayısal Çalışması

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 16.09.2023

Kabul tarihi: 17.11.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar kelimeler:

Dikdörtgen oluklu kanal

Dairesel engeller

Isı transferi

Türbülanslı akış

Sürtünme faktörü

ÖZ

Bu çalışma, dikdörtgen oluklu bir kanalda hidrolik ve termal karakteristikler üzerinde dairesel engellerin pozisyonlarının etkisini sayısal olarak değerlendirdi. Sayısal çalışma, ANSYS Fluent çözücü ile çözüldü. Çalışmada, dairesel engeller, dikdörtgen oluklu kanala üç farklı pozisyonda (Durum 1, Durum 2 ve Durum 3) yerleştirildi ve bulgular dairesel engellerin olmadığı oluklu kanal (Durum 0) ile karşılaştırıldı. Oluklu kanalın duvarları 350 K'de korundu. İş yapan akışkan havadır. Çalışma farklı Reynolds sayıları için gerçekleştirildi ($2000 \leq Re \leq 10000$). Sayısal bulgular önceki çalışma sonuçları ile doğrulandı. Simulasyon sonuçları, hız ve sıcaklık alanlarının kanal geometrisinden, dairesel engellerin pozisyonundan ve Reynolds sayısından önemli derecede etkilendiğini göstermiştir. Sonuçlara göre, en az basınç düşüşü Durum 3'de meydana gelirken, en yüksek basınç düşüşü ve ısı transferi Durum 1'de elde edilmiştir. Taşınım ısı transferi, $Re=10000$ ve Durum 1'de Durum 0'a göre 1,78 kat iyileşmiştir. Tüm akış durumları için, Reynolds sayısı ile Nusselt sayısı ve basınç düşüşü artmıştır. Artan sürtünme faktörü nedeniyle Reynolds sayısı ile termo-hidrolik performans değerleri düşmüştür.

Introduction

Wavy and grooved channels have been widely used in many engineering applications in recent years. These channels have more heat transfer surface area than straight channels. Therefore, higher thermal improvement is achieved by increasing the heat transfer area. It is preferred in many heating and cooling applications, especially in heat exchangers (Ajarostaghi et al. 2022). Many researchers examined the thermal and hydraulic behavior of wavy/grooved ducts with different geometries in experimental and numerical studies. The results of the works indicated that grooved/wavy channels provide higher thermal performance than straight channels. However, it was observed an increase in pressure drop in these channels (Kurtulmuş and Şahin 2019; Krishnan et al. 2021; Nfawa et al. 2021; Zontul et al. 2021; Alfellag et al. 2022).

Zhang and Che (2011) examined pressure drop and thermal characteristics in five different grooved ducts (elliptical, sinusoidal, trapezoidal, rectangular, and triangular) and declared that trapezoidal groove profile provided higher thermal performance and pressure drop than other channels. In their three different studies, Akdag et al. evaluated the thermal improvement under pulsating flow in sinusoidal wavy (2014), trapezoidal wavy (2016), and triangular wavy (2019) channels, and reported that heat transfer enhanced in wavy ducts with an increasing friction factor. In numerical work, Ahmet et al. (2014) examined the thermal behaviors in corrugated channels with different waveforms (sinusoidal, trapezoidal, and triangular). Their results noticed that the trapezoidal wave profile provided the highest thermal enhancement and friction factor. The results of Salami et al. (2019) indicated that the maximum Nusselt number was found in the trapezoidal corrugated duct, while the highest hydro-thermal performance was provided in the sinusoidal wavy duct. Ameer and Sahel (2019) reported that the Nusselt number increased but the friction factor decreased in rectangular, triangular, and semicircular wavy channels, respectively. Shahsavari et al. (2021) examined hydrodynamic and thermal characteristics of nanofluid flow in different waveforms (triangular, sinusoidal, and trapezoidal), and declared that heat transfer in the sinusoidal wave profile improved more than other ducts. Togun et al. (2022) executed a numerical work examining convective heat transfer of hybrid nanofluid flow in a circular corrugated duct for varying modifications of ribs at $10000 \leq Re \leq 25000$. They indicated that Nusselt number in the corrugated duct increased with Reynolds number.

Use of grooved/wavy duct to improve thermal performance is restricted. High heat transfer enhancement can be provided by using extended surfaces/obstacles and corrugated ducts together. For that reason, baffles or obstacles in different configurations are attached to corrugated ducts. The use of these modifications increases thermal performance. However, they will increase pumping power due to obstruction of flow in the duct. The effects of the obstacles inserted into the duct have been examined by many researchers. The study results indicated that the obstacles provide important improvement in heat transfer with an increasing pressure loss (Bensaci et al. 2020; Akcay, 2022; Li et al. 2022; Inan et al. 2023). In the numerical work, Handoyo and Ichsani (2016) studied impacts of delta-type obstacles on thermal improvement and flow structure in V-type wavy ducts. They examined four different ratios of obstacles (S/H : 0.5, 1, 1.5, 2). They reported that in the presence of obstacles, heat transfer can be enhanced more than 3 times compared to the without obstacles situation. Selimefendigil and Öztop (2016)'s numerical study indicated that heat transfer increase of 6.66% for the diamond-type obstacle compared to the corrugated duct without obstacles. Feng et al. (2022) investigated thermal performance of the triangular corrugated duct with trapezoidal baffles in different arrangements. They found that the friction factor and Nusselt number increased by 3.5 times and 1.7 times, respectively. The performance factor increased by 30% with the baffles. In a numerical work, Akcay and Akdag (2023) examined the impacts of the inclined baffles on thermal enhancement in a straight duct. Akcay (2023a) numerically investigated convective heat transfer for different flow velocities in a semicircular shaped grooved duct with vertical baffles. It was reported that convective heat transfer and flow structure were highly influenced by duct geometry and baffles. In another numerical study, Akcay (2023b) investigated the thermal and hydraulic behavior in a zigzag duct with winglets and declared that thermal enhancement significantly increased with the increase in friction factor in zigzag wavy channel with winglets.

As can be seen from the above works, the wavy/grooved channels greatly improve thermal performance with an increase in friction factor. The fact that there are too many parameters to be examined such as geometries of wavy channels and obstacles, arrangements of obstacles in duct, and fluid/flow properties have led to an increase in studies. The main purpose of these studies is to increase heat transfer without a significant increase in pressure loss. The studies on this subject are still ongoing. In addition, according to the open literature, no study has been found investigating the effects of different positions of circular obstacles on turbulent flow and heat transfer in a rectangular grooved channel. Therefore, the present study focuses investigating the flow and thermal characteristics in the rectangular grooved channels

with different positions of circular obstacles.

Materials and Methods

Description of Numerical Geometry

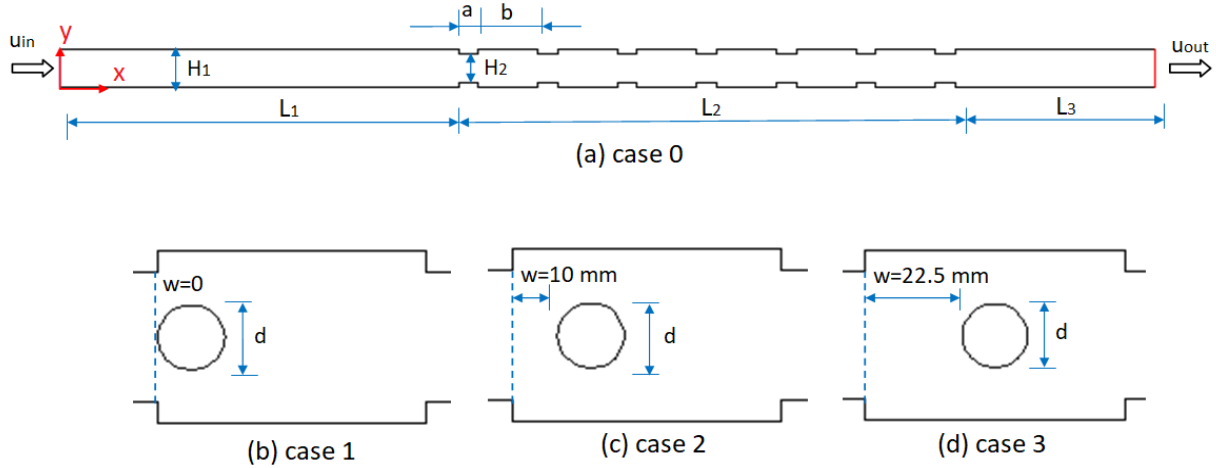


Figure 1. Geometries of the numerical model, (a) case 0, (b) case 1, (c) case 2, (d) case 3.

Figure 1 indicates 2d numerical model of rectangular grooved channels with circular obstacles in different positions. The maximum and minimum height of the channel are $H_1 = 40$ mm and $H_2 = 30$ mm, respectively. There is an adiabatic flat part of $L_1 = 10H_1$ and $L_3 = 5H_1$ at the inlet and outlet of the duct, respectively. The length of the grooved part of the duct is $L_2 = 500$ mm. The lengths a , and b of the rectangular corrugated parts are 20 and 60 mm, respectively. The diameters of the obstacles are $d=15$ mm. The channel consists of a total of 6 grooved sections. Channel flow without circular obstacles is defined as Case 0. Other channel flows are named according to the positioning of the circular obstacles in the rectangular corrugated channel and presented in Table 1.

Table 1. Descriptions of the channel flows

Channel flow	The position of the circular obstacles, (w)
Case 0	without circular obstacles
Case 1	$w = 0$ mm, with circular obstacles
Case 2	$w = 10$ mm, with circular obstacles
Case 3	$w = 22.5$ mm, with circular obstacles

Governing Equations

In the present study, the medium fluid is air. The fluid is considered as incompressible and Newtonian type. The fluid flows in the turbulent regime and at steady conditions. Fluid

properties are constant. Radiation and gravity effects are ignored. For these assumptions, the conservation equations are written by (Zontul et al. 2021):

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] - \rho \overline{u'_i u'_j} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c \bar{T}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\Gamma + \Gamma_t) \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right) \right] \quad (3)$$

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = (\mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k \bar{u}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon \bar{u}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

In this work, the hydrodynamic and thermal behaviors in the rectangular grooved duct with different positions of the circular obstacles were studied for varying Reynolds numbers ($2000 \leq Re \leq 10000$).

Reynolds number, Re is given by (Akçay, 2023b):

$$Re = \frac{\rho u_{in} D_h}{\mu} \quad (7)$$

where D_h , u_{in} , ρ , and μ show the hydraulic diameter, the velocity of fluid, the density, and the dynamic viscosity, respectively.

The mean Nusselt number, Nu is calculated by (Akçay 2023b):

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (8)$$

where h is heat transfer coefficient, and k indicates thermal conductivity.

The heat transfer coefficient, h is obtained by (Akçay 2023a):

$$h = \frac{q''}{\Delta T} \quad (9)$$

where ΔT is temperature difference, and q'' indicates heat flux.

The relative Nusselt number, Nu_{rel} is described as the ratio of the Nusselt number (Nu_d) in the rectangular grooved duct with obstacles to the Nusselt number (Nu_o) in the rectangular grooved duct without obstacles and is calculated as (Akçay 2023a):

$$Nu_{rel} = \frac{Nu_d}{Nu_o} \quad (10)$$

The friction factor, f is found by (Zontul et al. 2021):

$$f = \frac{2\Delta P D_h}{\rho L u_{in}^2} \quad (11)$$

The relative friction factor, f_{rel} is obtained by (Akçay 2022):

$$f_{rel} = \frac{f_d}{f_o} \quad (12)$$

where, f_o and f_d are the friction factors for grooved duct without obstacles and grooved duct with obstacles, respectively.

The thermo-hydraulic performance, THP can be computed by (Zontul et al. 2021):

$$THP = \frac{Nu_{rel}}{(f_{rel})^{1/3}} \quad (13)$$

Numerical Procedure

The numerical simulations were carried out with FLUENT software (2015). The solution domain was first divided into cells. Due to the high mesh quality (0.92), the triangular-shaped elements were preferred in the numerical model. Detail of the mesh structure for Case 3 was shown in Figure 2. The second-order upwind scheme was utilized to discretize of the convectional terms. The SIMPLE algorithm was employed for the pressure-velocity coupling. The standard k- ϵ turbulence model was considered as viscous model. The convergence values were set to 10^{-7} in the energy equations, 10^{-5} in other equations. As a result of the mesh independence test, it was decided that 101254 element numbers are sufficient for the calculations in the rectangular grooved duct with circular obstacle (Case 3). Nusselt numbers with grid numbers for Case 3 at $Re=10000$ were given in Table 2.

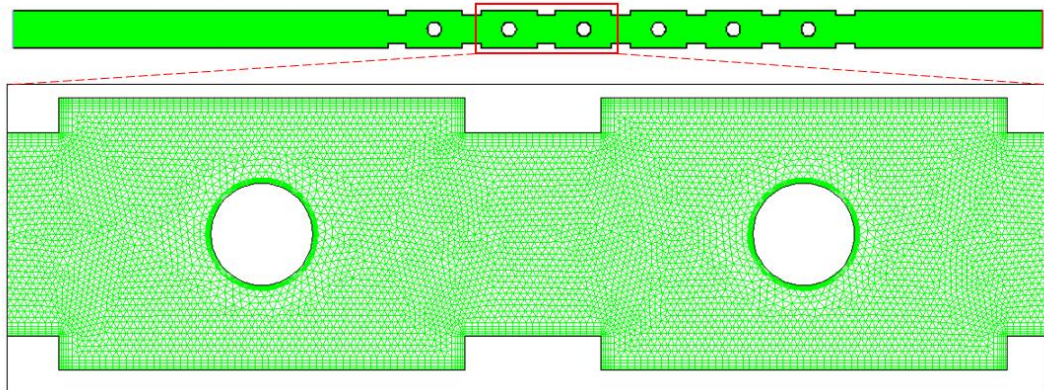


Figure 2. Mesh structure of the numerical model for Case 3.

Table 2. Grid independence testing (Case 3 and $Re=10000$)

Element number	Nusselt number	Difference, %
47824	10.825	-
72826	12.187	11.18
101254	13.152	7.37
134468	13.412	1.98
166542	13.524	0.83

Boundary Conditions and Validation

For the solutions, some boundary conditions were performed to the numerical model. The medium fluid enters the duct with a uniform velocity (u_{in}) and a constant temperature ($T_{in} = 300$ K). The pressure outlet condition was applied at the duct exit. The straight sections of the duct (L_1 and L_3) were described as adiabatic. The rectangular corrugated walls of the channel (L_2) were maintained at a constant temperature ($T_w = 350$ K). The obstacles have non-slip and adiabatic conditions. Moreover, the non-slip conditions were set for flat and grooved walls of the duct.

The results of this numerical study were compared to the results of Brodniansk'a and Kot'smíd (2023). The reference study (Brodniansk'a and Kot'smíd, 2023) experimentally and numerically calculated the heat transfer coefficient at the mass flow rate of $5 \text{ m}^3/\text{h}$ for a straight duct with a height of 40 mm. In this study, a straight duct with the same hydraulic diameter as the reference study was considered and solutions were compared using similar flow conditions. The findings of this work and the results of the previous work were indicated in Figure 3.

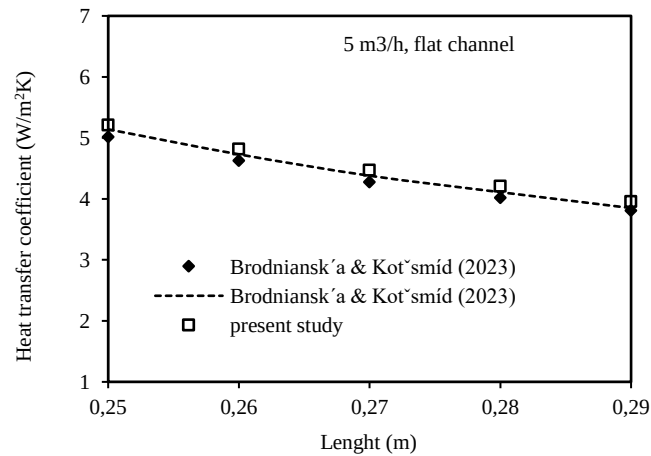


Figure 3. Validation of the numerical study.

In the numerical work, the velocity and temperature contours were obtained in the rectangular grooved channel at varying Reynolds numbers to determine the effects of circular obstacles with different positions on the flow and temperature fields. Figure 4 indicated the images of the velocity contours for all channel flows at $Re = 2000$ (Fig. 4a) and $Re = 10000$ (Fig. 4b). It was observed that the flow fields significantly varied by the channel geometry, the positions of the circular obstacles and Re . In the Case 0, it was observed that the velocity increased in the sections where the cross-sectional area narrowed.

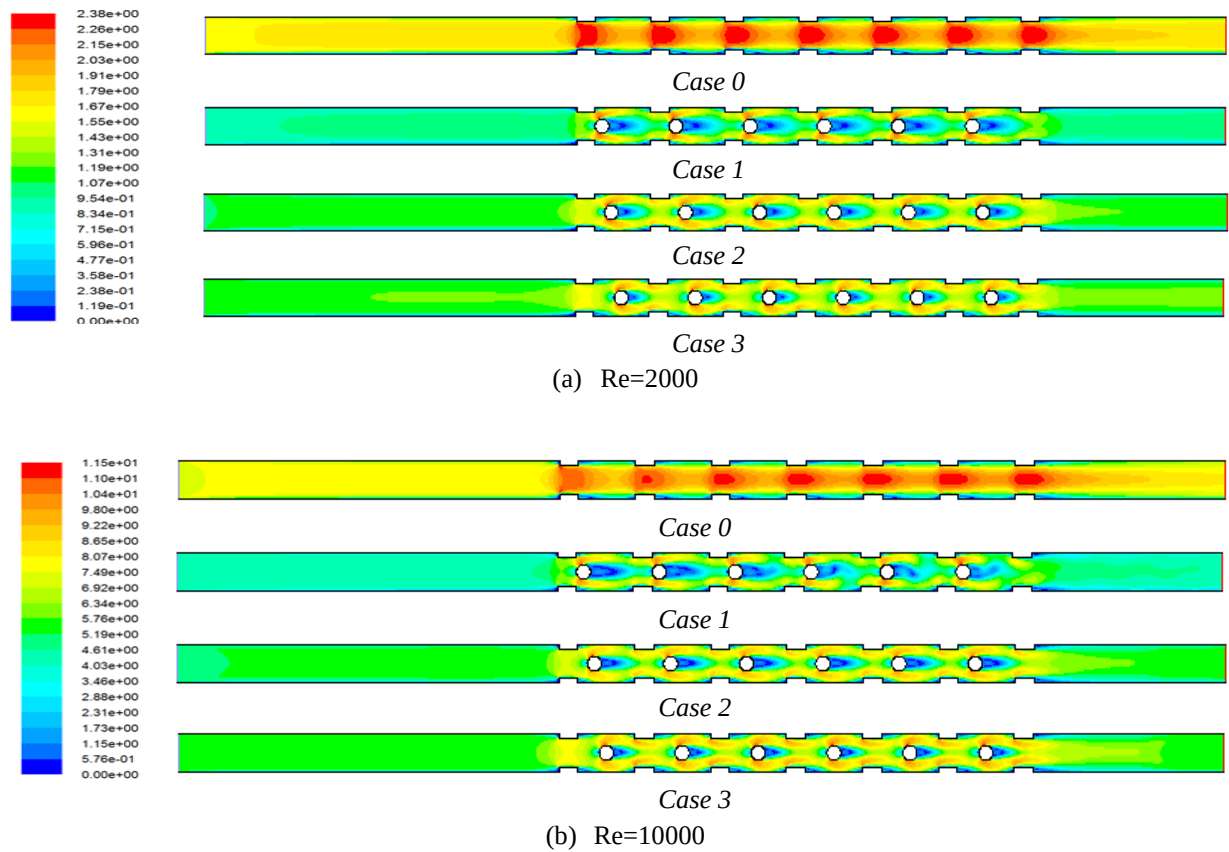


Figure 4. The velocity contours, a- $Re=2000$, b- $Re=10000$.

The flow velocity increased in the narrowing channel sections and the primary flow was divided into two different branches due to circular obstacles. Also, the circular obstacles were directed the fluid towards the hot corrugated walls. The contact of the colder fluid with the hot corrugated walls was ensured. It was observed that the flow rejoined after each circular obstacle (Fig. 4a). As the Reynolds number increases, momentum and mass transfer in the channel increases. Thus, the hot corrugated walls were brought into contact with more cold fluid (Fig. 4b). At Case 1, it was observed that the stagnant fluid region behind the obstacles is larger than Case 3.

Figure 5 indicated the images of the temperature fields for all channel flows at $Re = 2000$ (Fig. 5a) and $Re = 10000$ (Fig. 5b). The temperature gradients in the channels were affected by the position of the circular obstacles and the Reynolds numbers. At $Re = 2000$, the temperature gradient is quite high in all channel flows. It was seen that the temperature gradient highly decreased at $Re = 10000$. Increasing Reynolds number allowed more cold fluid to contact the grooved channel surfaces. The obstacles directing the fluid to the corrugated surfaces contributed to the reduction of surface temperature of the channel.

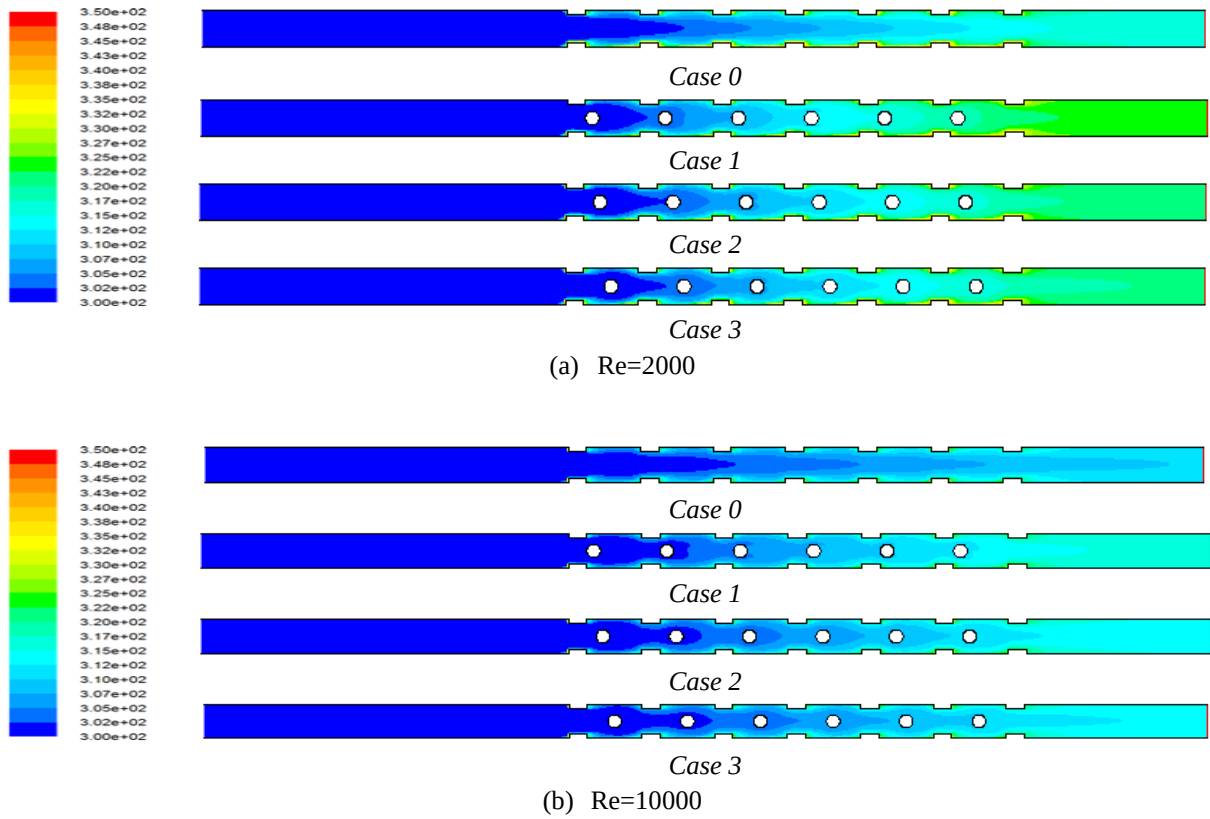


Figure 5. Temperature contours, (a) Re=2000, (b) Re=10000

Figure 6 presented the velocity contours (a) and temperature fields (b) at $Re = 8000$ for all channel flows. It was understood from Figure 6a that the location of circular obstacles has a significant effect on the flow fields. Placing circular obstacles at the beginning of each corrugated cavity provides better fluid contact with the corrugated channel surfaces (Case 1). Because in Case 1, the fluid divides into two at the entrance of the corrugated cavity and moves along the corrugated surface. The shifting of circular obstacles towards the middle of the corrugated cavity delays the separation of the flow into two branches and causes the corrugated surfaces to come into less contact with the fluid (Case 3). Figure 6b indicated changes of temperature fields in the channels due to the circular obstacles. The positions of circular obstacles greatly affected the temperature structures in the channel and on the corrugated surfaces. It was observed that the minimum temperature gradient was in Case 1 and the maximum temperature gradient was in Case 0.

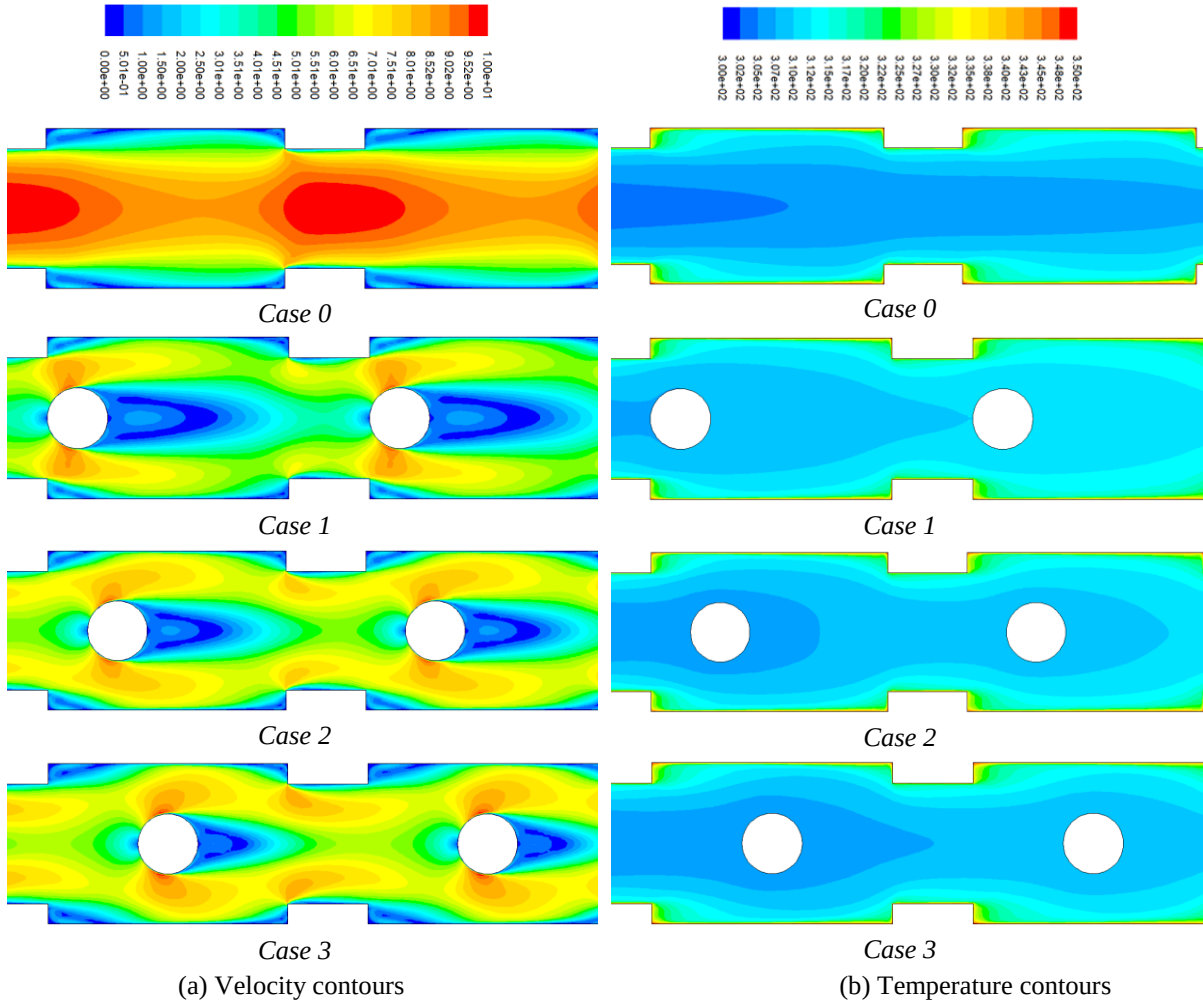
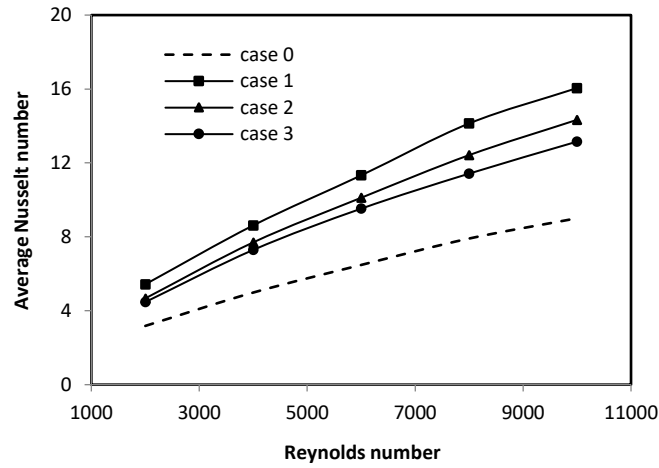
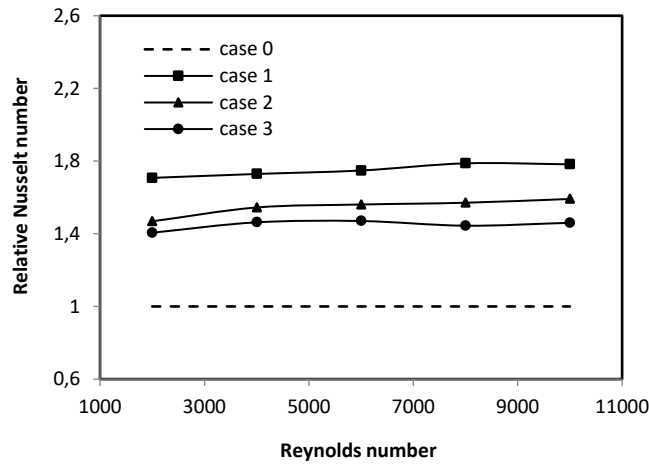


Figure 6. (a) Velocity contours, (b) Temperature contours at $Re=8000$ for all channel configurations

Figure 7a indicates the Nusselt number versus the Reynolds number for all channel cases. The heat transfer improved with increasing Reynolds number. The all positions of the circular obstacles remarkably increased the Nusselt number compared to duct without circular obstacles (Case 0). The maximum heat transfer was obtained in the Case 1, followed by the Case 2 and Case 3, respectively. At $Re = 10000$, the highest heat transfer was achieved to be $Nu = 16.05$ in the Case 1 and the lowest Nusselt number was to be $Nu = 9$ in the Case 0. Figure 7b demonstrated the relative Nusselt number versus the Reynolds number. The Nusselt number obtained in the channel flow without circular obstacles (named Case 0) was accepted as a reference. The relative Nusselt number for all positions of the circular obstacles was obtained to be higher than the Case 0. However, this increment for the Case 1 is to be greater. In Case 1, heat transfer improved by 1.78 times compared to Case 0 at $Re=10000$.



a

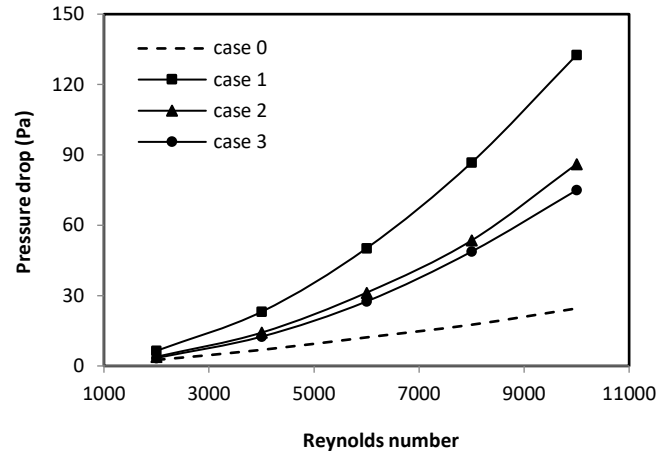


b

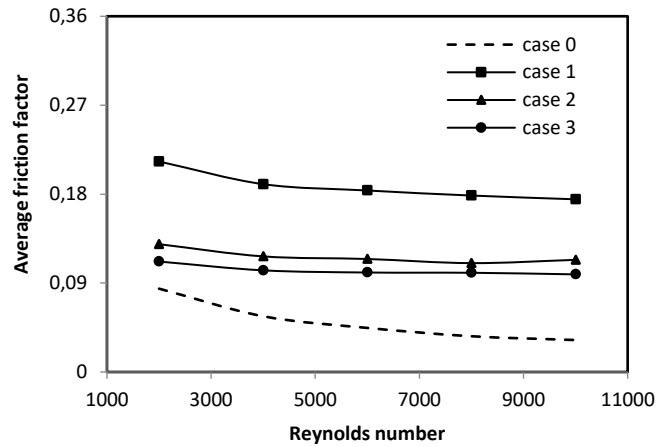
Figure 7. (a) Nusselt number with Re, **(b)** Relative Nusselt number with Re for all channel cases.

Figure 8a demonstrates the pressure drop with the Reynolds number for all channel configurations. The pressure drop increased with Re. Because the circular obstacles block the flow path in the channel and create resistance to flow. In Case 1, higher Nu was obtained than in other obstacle cases because the flow contacts hot surfaces better (Fig. 7a). However, Case 1 considerably blocks the flow path. Therefore, the pressure drop increased in Case 1. The shifting of circular obstacles towards the flow direction partially opens the flow path. For this reason, less pressure drop was obtained in Case 3 than in Case 1. The obstacles considerably increased the pressure drop compared to Case 0. The maximum pressure loss was found in the Case 1, followed by the Case 2 and Case 3. At Re = 10000, the highest-pressure drop was found to be 132.59 Pa in the Case 1 and the lowest pressure drop was to be 24.53 Pa in the Case 0. In Figure 8b was given the friction factor with Re in all flow cases. The friction factor diminished with Re. The friction factor of Case 3 is much less than Case 1 and Case 2. The friction factor

was found to be higher in Case 1 than in Case 2 and Case 3 due to more obstruction of the flow field. The highest average friction factor was obtained to be 0.213 in Case 1 at $Re=2000$.



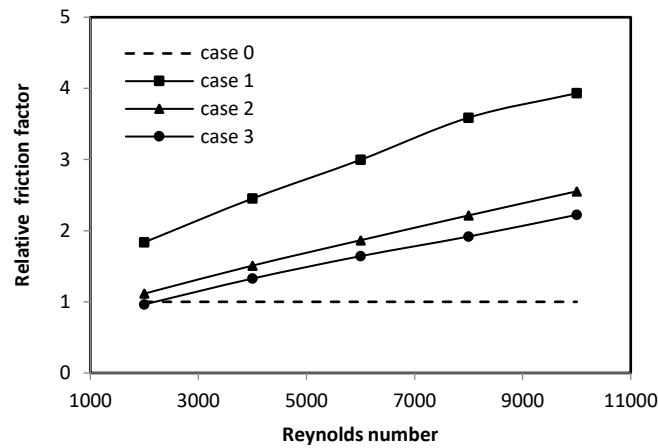
a



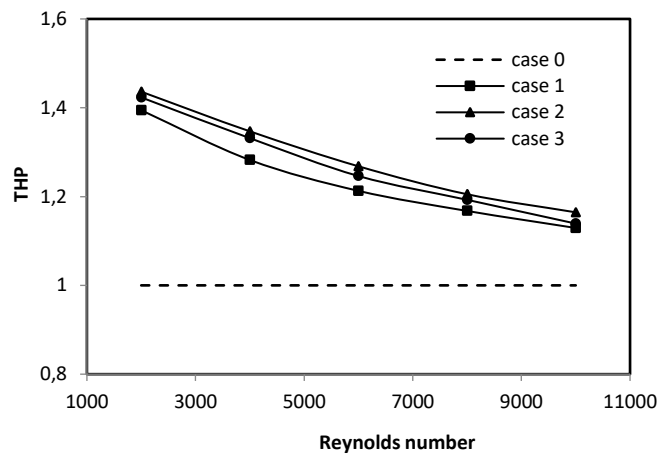
b

Figure 8. (a) Pressure drop versus Re , (b) Average friction factor versus Re .

Figure 9a indicates the relative friction factor with the Reynolds number for all flow configurations. The corrugated channel without obstacles (Case 0) is considered as reference. The relative friction factor increased with Re . The circular obstacles were increased the relative friction factor according to Case 0. The highest relative friction factor was found to be 3.93 in the Case 1 at $Re = 10000$. Figure 9b demonstrates the thermo-hydraulic performance (THP) versus the Re . As Re increases, the performance factor decreases. Although the obstacles increased the heat transfer, they also caused an increment in pressure loss in the duct. The best performance value was found in the Case 2. Because the pressure drop in the Case 2 is lower than the Case 1, and heat transfer in the Case 2 is higher than the Case 3. The highest THP was calculated to be 1.44 in the Case 2 and at $Re = 2000$.



a



b

Figure 9. (a) Relative friction factor versus Re, (b) THP versus Re

Conclusion

The effects on hydraulic and thermal performance of different placements of circular obstacles in a rectangular grooved channel have not been investigated to date according to the open literature. Therefore, the work numerically evaluated the impacts of circular obstacles with three different positions on hydrodynamic and thermal performance in a rectangular grooved duct. The simulations were carried out for different Reynolds numbers ($2000 \leq Re \leq 10000$). The thermal and flow fields were obtained in the duct to observe the effects of the circular obstacles with different positions. The important findings obtained in the work were given below:

- The thermal and flow contours were significantly affected by the positions of the circular obstacles and the Reynolds numbers.
- For all flow cases, the average Nusselt number increased with the Reynolds number.

The maximum Nusselt number was obtained to be $Nu = 16.05$ in the Case 1 and at $Re = 10000$.

- The maximum relative Nu was found to be 1.78 in the Case 1 and at $Re = 10000$.
- For all flow cases, as the Re increased, the average friction factor diminished. The average friction factor of the Case 3 was obtained much less than Case1 and Case 2.
- In the presence of circular obstacles, the maximum pressure drop was 132.59 Pa in Case 1, while the lowest was 24.53 Pa in Case 3.
- For all channel configurations, as the Re increased, the thermo-hydraulic performance decreased. The best THP was obtained to be 1.44 in the Case 2 and at $Re = 2000$.

Nomenclature

D_h	hydraulic diameter (m)	ΔP	pressure difference (Pa)
d	diameter of circular obstacles (m)	u	average velocity (m/s)
f	friction factor	w	distance of circular obstacles (m)
h	heat convection coefficient (W/m^2K)		
H	channel height (m)	Greek symbols	
k	heat conduction coefficient (W/mK)	μ	dynamic viscosity (kg/ms)
L	channel length (m)	ρ	density of fluid (kg/m^3)
Nu	Nusselt number [hD/k]	ν	kinematic viscosity (m^2/s)
Pr	Prandtl number [$\mu C/k$]	Subscripts	
Re	Reynolds number (uD_h/ν)	d	circular obstacle case
T	temperature (K)	o	without circular obstacle case
THP	Thermo-hydraulic performance [$Nu_{rel}/f_{rel}^{1/3}$]	rel	relative

Researchers' Contribution Rate Declaration Summary

The author has declared that she provides its own contribution to the article.

Conflict of Interest

The author has declared that there are no competing interests.

References

- Ahmed M, Yusoff M, Ng K, Shuaib N., 2014. Effect of corrugation profile on the thermal–hydraulic performance of corrugated channels using CuO–water nanofluid. *Case Studies in Thermal Engineering*, 4: 65-75.
- Ajarostaghi SSM, Zaboli M, Javadi H, Badenes B, Urchueguia JF., 2022. A review of recent passive heat transfer enhancement methods. *Energies*, 15: 986.
- Akcaý S, Akdag U., 2023. Heat transfer enhancement in a channel with inclined baffles under pulsating flow: A CFD study. *Journal of Enhanced Heat Transfer*, 30(5): 61-79.
- Akcaý S., 2022. Numerical analysis of heat transfer improvement for pulsating flow in a periodic corrugated channel with discrete V-type winglets. *International Communications in Heat Mass Transfer*, 134: 105991.
- Akcaý S., 2023a. Heat transfer analysis of pulsating nanofluid flow in a semicircular wavy channel with baffles. *Sādhanā*, 48: 57.
- Akcaý S., 2023b. Numerical analysis of hydraulic and thermal performance of Al₂O₃-water nanofluid in a zigzag channel with central winglets. *Gazi University Journal of Science*, 36(1): 383-397.
- Akdag U, Akcaý S, Demiral D., 2014. Heat transfer enhancement with laminar pulsating nanofluid flow in a wavy channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 59: 17–23.
- Akdag U, Akcaý S, Demiral D., 2016. Heat transfer enhancement with nanofluids under laminar pulsating flow in a trapezoidal-corrugated channel. *Progress in Computational Fluid Dynamics*, 17(5): 302-312.
- Akdag U, Akcaý S, Demiral D., 2019. Heat transfer in a triangular wavy channel with CuO-water nanofluids under pulsating flow. *Thermal Science*, 23(1): 191-205.
- Alfellag MA, Ahmed HE, Jehad MG, Farhan AA., 2022. The hydrothermal performance enhancement techniques of corrugated channels: A review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147: 10177-10206.
- Ameur H, Sahel D., 2019. Effect of some parameters on the thermo-hydraulic characteristics of a channel heat exchanger with corrugated walls. *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, 3: 53-60
- ANSYS Inc., 2015. ANSYS fluent user guide and theory guide- release 15.0, USA.
- Bensaci CE, Moumni A, Sanchez de la Flor FJ, Rodriguez Jara EA, Rincon-Casado A, Ruiz-Pardo A., 2020. Numerical and experimental study of the heat transfer and hydraulic

performance of solar air heaters with different baffle positions. *Renew Energy*, 155: 1231–1244.

Brodniansk'a Z, Kot'smíd S., 2023. Heat transfer enhancement in the novel wavy shaped heat exchanger channel with cylindrical vortex generators. *Applied Thermal Engineering*, 220: 119720.

Feng CN, Liang CH, Li ZX., 2022. Friction factor and heat transfer evaluation of cross-corrugated triangular flow channels with trapezoidal baffles. *Energy and Buildings*, 257: 111816.

Handoyo EA, Ichsani D., 2016. Numerical studies on the effect of delta-shaped obstacles' spacing on the heat transfer and pressure drop in V-corrugated channel of solar air heater. *Solar Energy*, 131: 47-60.

Inan AT, Koten H, Kartal MK., 2023. Experimental comparison and CFD analysis of conventional shell and tube heat exchanger with new design geometry at different baffle intervals. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 83(5): 522-533.

Krishnan EN, Ramin H, Guruabalan A., Simonson CJ., 2021. Experimental investigation on thermo-hydraulic performance of triangular cross-corrugated flow passages. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 122: 105160.

Kurtulmus N, Sahin B., 2019. A review of hydrodynamics and heat transfer through corrugated channels. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 108: 104307.

Li ZX, Sung SQ, Wang C, Liang CH, Zeng S, Zhong T, Hud WP, Feng CN., 2022. The effect of trapezoidal baffles on heat and flow characteristics of a cross-corrugated triangular duct. *Case Studies in Thermal Engineering*, 33: 101903.

Nfawa SR, Abu-Talib AR, Masuri SU, Basri AA, Hasini H., 2021. Heat transfer enhancement in a corrugated-trapezoidal channel using winglet vortex generators. *CFD Letter*, 11: 69-80.

Salami M, Khoshvaght-Aliabadi M, Feizabadi A., 2019. Investigation of corrugated channel performance with different wave shapes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138: 3159-3174.

Selimefendigil F, Öztop HF., 2016. Numerical study of forced convection of nanofluid flow over a backward facing step with a corrugated bottom wall in the presence of different shaped obstacles. *Heat Transfer Engineering*, 37(15): 1280-1292.

Shahsavar SS, Alimohammadi I, Askari B, Ali HM., 2021. Numerical investigation of the effect of corrugation profile on the hydrothermal characteristics and entropy generation

behavior of laminar forced convection of non-Newtonian water/CMC-CuO nanofluid flow inside a wavy channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 121: 105117.

Togun H, Homod RZ, Yaseen ZM, Abed AM, Dhabab JM, Ibrahim RK, Dhahbi S, Rashidi MM, Ahmadi G, Yaïci W, Mahdi JM., 2022. Efficient heat transfer augmentation in channels with semicircle ribs and hybrid Al_2O_3 -Cu/water nanofluids. *Nanomaterials*, 12(15): 2720.

Zhang L, Che D., 2011. Turbulence models for fluid flow and heat transfer between cross corrugated plates. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 60: 410-440.

Zontul H, Hamzah H, Kurtulmuş N, Şahin B., 2021. Investigation of convective heat transfer and flow hydrodynamics in rectangular grooved channels. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 126: 105366.

General Situation, Problems, and Solution Proposals of Village Poultry in Uşak Province*

Yüksel AKIN^{1**}

¹Uşak University Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, 64200, Uşak, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-7240-2031>

**Corresponding author: yuksel.akin@usak.edu.tr

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 04.09.2023

Accepted: 10.01.2024

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Uşak

Village poultry

Problems

Solutions proposals

Credit support and incentive

This study was carried out in order to reveal the current situation of village poultry in Uşak and to determine the important problems encountered in breeding. The material of the study consisted of 125 survey data obtained from 25 different villages in Uşak. At the end of the study, it was seen that 79.2% of the breeders were under the age of 60. 72.8% of the breeders stated that they preferred local breeds, and the majority of them did not use additional lighting, heating, and ventilation. The main problems are disease, feed prices, lack of shelter, and marketing. Supporting the main problems of breeders with various support and incentive packages can contribute to the sustainability and development of village poultry in Uşak.

Uşak İli Köy Tavukçuluğunun Genel Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 04.09.2023

Kabul tarihi: 10.01.2024

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Uşak

Köy tavukçuluğu

Sorunlar

Çözüm önerileri

Kredi desteği ve teşvik

Bu çalışma, Uşak, ili köy tavukçuluğunun mevcut durumunun ortaya konulması ve yetiştiricilikte karşılaşılan önemli sorunların tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın materyalini; Uşak'ta köy tavukçuluğunun yaygın olduğu köylerde üreticilerden elde edilen 125 adet anket verileri oluşturmuştur. Çalışma sonunda yetiştiricilerin %79.2'sinin 60 yaş altında olduğu görülmüştür. Yetiştiricilerin %72.8'i yerli ırkları tercih ettiklerini, büyük çoğunluğu ek aydınlatma, ısıtma ve havalandırma kullanmadığını belirtmiştir. Başlıca sorunlar; hastalık, yem fiyatları, barınak yetersizliği ve pazarlamadır. Çeşitli destek ve teşvik paketleriyle yetiştiricilerin başlıca sorunlarına destek sağlanması Uşak ilinde köy tavukçuluğunun sürdürülebilir olmasına ve geliştirilmesine katkı sunabilir.

To Cite: Akın Y., 2024. General situation, problems, and solution proposals of village poultry in Uşak province. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 196-209.

* This study was conducted within the scope of the decision of Uşak University Scientific Research and Publication Ethics Committee (protocol code: 2023/04-23 and date: 07 June 2023).

Introduction

Hens constitute approximately 99% of the total poultry stock in Türkiye (TUIK, 2023). The poultry sector has been one of the most successful sectors in agricultural production, where modern breeding activities can be applied at every stage of production. Sarıca and Türkoğlu (2004) stated that the demand for hen eggs and meat increased in parallel with the urbanization and population growth in the 19th century, and thus the capacities and numbers of the enterprises producing hens increased. At this point today, it has been possible to reach advanced levels in genetics and molecular biology and to produce high-yield hybrids with breeding research in biochemistry, microbiology, immunology, etc. The developments in the fields of science have enabled the creation of more successful intensive production systems. Thus, it has been possible to develop cage systems that can accommodate more animals per unit area in poultry farming and it has become possible to develop 90% of intensive egg poultry as cage poultry. With cage poultry, egg production has reached 300-310 per hen, and the feed conversion ratio has been reduced to 2.1-2.3 kg. (Appleby et al., 1992; Simons, 1997; Sheldon, 2000; Şekeroğlu and Akşimşek, 2009).

According to TUIK, 2022 data, the number of poultry in the regions in Türkiye is shown in Table 1, and the number of animals at a provincial level in the Aegean Region is shown in Table 2. In terms of poultry, the Marmara Region ranks first with a production exceeding 141 million, while the Aegean Region ranks second with 102 million animals. The Marmara Region ranks first in meat poultry and accounts for 48% of the total production, while it meets 18% in egg poultry. The Aegean Region supplies 34% of laying hens and 25% of broilers. Approximately 45% of turkey production and 6% of total production in terms of geese are produced in the Aegean Region.

While Afyonkarahisar ranks first with 15 million in egg poultry in the Aegean Region; Manisa has 11 million and İzmir 6.6 million animals. In broiler farming, Manisa ranks first with 30 million units, İzmir with 13 million, and Uşak with 12 million units. Village poultry farming is one of the oldest livestock activities in the world, especially in rural areas. It is also known by different names such as family poultry, garden poultry, and extensive poultry. (İnci et al., 2015). Although the hatchability, egg, and meat yields are low and mortality rates are high in village poultry, it is one of the indispensable livestock activities of rural areas. Generally, the primary purpose of production is to meet the animal protein needs of the family, to give gifts to relatives, and to contribute to the family's livelihood. The village poultry is a means of exchange (material) or a source of income for meeting the family's

protein needs, as well as medicine, clothing, and school needs (İnci et al., 2015). There are some differences between village poultry and commercial poultry, especially in yield.

Table 1. Number of poultry in 2022 by regions (TUIK, 2023)

Region	Poultry Species					Total
	Broiler	Laying Hen	Turkey	Goose	Duck and Guinea	
İstanbul TR1	738.000	793.596	8.986	6.552	5.825	1.552.959
West Marmara TR2	40.777.460	6.250.702	132.409	40.558	62.440	47.263.569
Aegean TR3	63.122.111	37.250.831	1.645.896	84.886	29.891	102.133.615
East Marmara TR4	78.437.668	12.809.256	916.463	53.367	43.758	92.260.512
West Anatolia TR5	11.202.319	15.463.687	54.828	38.992	46.920	26.806.746
Mediterranean TR6	29.426.956	6.330.307	62.686	40.510	52.433	35.912.892
Middle Anatolia TR7	1.486.850	6.655.441	78.512	121.132	29.749	8.371.674
West Black Sea TR8	11.892.379	8.917.462	124.508	102.275	47.684	21.084.308
East Black Sea TR9	129.450	544.350	2.516	10.253	2.162	688.731
Northeast Anatolia TRA	852.764	1.481.206	117.562	690.692	34.301	3.176.525
Middle East Anatolia TRB	12.319.076	3.411.991	126.791	92.447	29.697	15.980.002
Southeast Anatolia TRC	904.766	9.897.498	398.579	103.843	47.597	11.352.283
Total	251.289.799	109.806.327	3.669.726	1.385.507	432.457	366.583.816

Table 2. Number of poultry for 2022 at the provincial level in the Aegean Region (TUIK, 2023)

Provinces	Poultry Species					Total
	Broiler	Laying Hen	Turkey	Goose	Duck % Guinea fowl	
Afyonkarahisar	389.500	14.915.331	41.014	21.407	6.995	15.374.247
Aydın	2.112.260	779.476	24.785	3.032	2.472	2.922.025
Denizli	4.670.186	1.560.157	64.503	5.537	3.039	6.303.422
İzmir	13.210.816	6.644.436	525.798	4.041	3.055	20.388.146
Kütahya	402.000	1.328.194	80.360	33.539	5.292	1.849.385
Manisa	30.361.070	11.278.055	876.216	2.680	1.624	42.519.645
Muğla	0*	516.650	17.126	2.338	4.226	540.340
Uşak	11.976.279	228.532	16.094	12.312	3.188	12.236.405
Total	63.122.111	37.250.831	1.645.896	84.886	29.891	102.133.615

*It was announced as “0” by TUIK.

In the village poultry; It can be said that it is advantageous compared to commercial poultry in that it does not require special equipment for housing, feeding costs, and labor requirements are low. In addition, its other advantages are that it has a low-fatty preferred texture in terms of meat quality features and - it has less impact on the environment.

The main disadvantages of village poultry are; animals remain not immune to diseases due to low levels of health and protection measures. This situation causes high losses and low productivity (Alders and Spradbrow, 2001; Alders and Pym, 2009; Şekeroğlu and Sarıca, 2010).

Although there are negative situations mentioned, village poultry maintains its importance among important alternative livestock activities for rural areas. In Türkiye, village poultry is generally done with traditional methods. Either without any additional feeding, the animal is allowed to roam to meet its own nutritional needs (feeding with small animals such as grazing, insects, worms, etc., food-bread scraps) or additionally, it is fed with grain feeds such as wheat, barley, corn, and factory feed. In Türkiye, the average number of animals varies between 1-10 in traditional village poultry, 10-50 in developed village poultry and 50-200 in intensive village poultry. Hen meat and eggs produced in traditional village poultry are consumed within the family, and women are generally responsible for the care of the animals. Advanced village poultry is carried out by certain families in rural areas, all family members can take care of the animals, and additional income is provided by selling surplus consumption. In semi-intensive village poultry, on the other hand, since the number of animals is high, the care of animals requires additional labor, is carried out as a commercial activity, and is carried out by some families in rural areas. We can summarize the other differences in these three production methods in Table 3. (Riise et al., 2004; Güngördü, 2009; Şekeroğlu and Sarıca, 2010).

Table 3. Differences between traditional village poultry, advanced village poultry, and semi-intensive village poultry (TUIK, 2023)

Traditional village poultry	Advanced village poultry	Semi-intensive village poultry
-Domestic races	-Domestic race and culture race	-Hybrids
-High mortality	-Medium	-Low
-No additional feeding	-Free-roaming + additional feed	-Supplementary feeding as needed
-No vaccination	-Vaccination against Newcastle	-A few vaccinations against illnesses
-No use treatment for diseases	-Rarely treatment	-Complete treatment
-No cage for housing	-Simple structure cage	-With litter floor or cage system
-Egg yield 30-50 pieces egg/hen	-50-150 pieces egg/hen	-250-300 pieces egg/hen
-Weight gain 5-10 g/day	-10-20 g/day	-50-55 g/day

Many studies on village poultry have been carried out in different regions and provinces in Türkiye before (Yurt, 2002; Güngördü, 2009; Şekeroğlu and Akşimşek, 2009; Bayraktar, 2012; Eleroğlu et al., 2014; İnci et al., 2015; İnci et al., 2018; İnci et al., 2019; İnci et al.,

2020). Table 4 shows the presence of poultry for the last 5 years at the district level of Uşak province, which was prepared by utilizing the data announced by TUIK between the years 2018-2022.

Table 4. Number of poultry in Uşak province between 2018-2022 (TUIK, 2023)

Districts	Years	Poultry Species					Total	Rate of Change +/- %
		Broiler	Laying Hen	Turkey	Goose	Duck & Guinea fowl		
Banaz	2018	119.000	12.500	2.400	2.750	350	137.000	-
	2019	119.000	13.100	2.850	3.000	390	138.340	0.98
	2020	119.001	145.730	6.156	7.162	771	278.820	101.55
	2021	119.000	112.950	2.513	4.664	450	239.577	-14.07
	2022	164.000	28.816	6.900	3.385	350	203.451	-15.08
Eşme	2018	6.883.286	218.000	220	110	900	7.102.516	-
	2019	6.850.000	20.000	380	140	780	6.871.300	-3.26
	2020	7.635.000	32.650	380	160	450	7.668.640	11.60
	2021	7.635.002	30.501	0*	120	320	7.665.943	-0.4
	2022	7.308.159	45.730	12	0*	0*	7.353.901	-4.07
Karahallı	2018	30.500	30.000	220	210	235	61.165	-
	2019	30.500	27.000	250	180	175	58.105	-5.00
	2020	30.500	78.000	650	407	348	109.905	89.15
	2021	119.000	16.200	440	156	256	136.052	23.79
	2022	119.000	6.620	56	202	23	125.901	-7.46
Merkez	2018	1.975.368	69.246	1.500	5.000	1.500	2.052.614	-
	2019	1.975.368	69.246	1.500	5.000	1.500	2.052.614	0
	2020	2.195.154	2.551.543	12.761	14.656	5.821	4.779.935	132.87
	2021	1.439.353	105.064	11.400	13.180	3.640	1.572.637	-67.10
	2022	2.414.810	90.106	8.041	8.285	2.730	2.523.972	60.49
Sivashi	2018	973.700	10.400	725	530	250	985.605	-
	2019	983.500	10.350	739	515	275	995.379	0.99
	2020	519.501	26.034	680	512	198	546.925	-45.05
	2021	1.124.960	21.125	640	415	158	1.147.298	109.77
	2022	1.413.910	21.200	740	440	85	1.436.375	25.20
Ulubey	2018	432.400	9.600	650	250	200	443.100	-
	2019	483.156	20.000	640	105	20	503.921	13.73
	2020	502.157	533.300	1.270	299	67	1.037.093	105.80
	2021	412.590	21.750	520	130	0*	434.990	-58.06
	2022	556.400	36.060	345	0*	0*	592.805	36,28

*It was announced as "0" by TUIK.

Uşak meets 19% of the region and approximately 5% of the total production with its production approaching 12 million in meat poultry production. More than 60% of broiler breeding is carried out in the Eşme district throughout the province. Laying hen breeding

shows a balanced distribution at the district level. Banaz and Merkez districts counties occurred to stand out in turkey and goose production.

This study, it is aimed to determine the structure and general situation of village poultry in Uşak and to present solutions to the problems by determining the problems faced by the breeders.

Material ve Method

Ethic Committee

This study was conducted within the scope of the decision of Uşak University Scientific Research and Publication Ethics Committee (protocol code: 2023/04-23 and date: 07 June 2023).

Material

The material of the study consisted of questionnaire data filled in face-to-face interviews with 125 producers in 25 villages in 6 districts of Uşak. Before the questionnaire forms were filled, the producers were informed about the questionnaire questions and the study, and after the consent process, the questionnaire questions were answered. After the study area was determined at the district level from the 2022 TUIK data, information about the poultry activities at the village level was collected with the support of the Uşak Provincial Directorate of Agriculture. Belonging to the breeders who participated in the survey; questions were asked about the determination of socio-demographic and socio-economic characteristics, reasons for village poultry breeding, livestock activities, characteristics, diseases seen in chickens, treatment application status, precautions and losses, and information was collected from farmers about village poultry in Uşak.

Method

The questionnaire forms used in the study were prepared by making use of the previously arranged questionnaires on zootechnics and agricultural management. While determining the sample size of the study, a grouped one-stage random probability sampling method based on population ratios was used (İnci, et al., 2020). In determining the sample size, the following formula, which was used in limited societies as reported by Karasar (1994), was used. Accordingly, it has been determined that a survey should be conducted with 125 farmers in Uşak with equality. In Uşak, 10 villages of the central district and 3 villages in

Banaz, Ulubey, Sivaslı, Karahallı, and Eşme were reached, and face-to-face survey questions were answered with a total of 125 breeders.

Formula

$$n = (z^2 * N * p * q) / (N * d^2 + z^2 * p * q)$$

n: Sample volume

z: “z” table value corresponding to 95% significance level

N: Number of main masses

p: The probability of occurrence of the investigated event in the main mass is taken as 50%

q: The probability that the investigated event will not occur (1-p)

d: Accepted margin of error (In this study, margin of error was taken as 5%)

Statistical analyzes

The study, it is aimed to present the village poultry activities carried out in Uşak, the demographic structure and educational status of the breeders, the problems related to the sector, and the solutions to the problems encountered. The data of the study were evaluated in the SPSS 16.0 package program and expressed as descriptive statistics and percentage values.

Result and Discussion

The socio-demographic characteristics of the breeders who participated in the survey in the study area are shown in Table 5. 57.6% of the breeders participating in the survey were male, 42.4% were female, 87.2% were married, and 83.2% of them declared their profession as farmers. The priority order of the breeders in agricultural activities was 48% field agriculture, 38.4% horticultural agriculture, and 9.4% animal husbandry. In a study conducted in Batman, it was reported that 52.6% of the breeders were engaged in field agriculture (Güngördü, 2009). In previous studies, it was reported that 75.7% in Bingöl, 84.9% in Muş, 84% and 24% in Diyarbakır and Tekirdağ were male, respectively (Demirulus et al., 2013; İnci et al., 2015; İnci et al., 2020). İnci et al., (2020) stated in their study in Muş that 87.5% of the breeders are married and 49.3% are free-employed, while Bural (2015) states that 59.5% of the breeders in Bingöl are farmers declared that.

Considering the age distribution, it was seen that the rate of breeders under the age of 60 was 79.2%, which gives hope for the development and sustainability of village poultry in Uşak. It has been reported that 68% of the breeders in Diyarbakır and Bingöl are under the age of 50, and the average age is 44.09 in Muş (İnci et al., 2015; İnci et al., 2019; İnci et al., 2020). In terms of education level, it was determined that 67.2% of the breeders were primary school graduates, and 80.8% of the households consisted of 1-6 people. While it was reported that 73.2% of them were primary school graduates in Batman, it was stated in the studies

conducted by Muş and Bingöl that most of the breeders were illiterate (Güngördü, 2009; Bural, 2015; İnci et al., 2020).

32.8% of the breeders' state that poultry, 27.2% sheep, and 20% cattle make up a large part of the animal's existence. Among the poultry, the hen took first place with 61.6%, while the rate of geese was 28%. While 78.4% of the breeders preferred laying hens, it was determined that 72.0% of the breeders stated that they were breeding to meet the family's needs. While 17.6% stated that the products produced were given as gifts, 12% stated that they sold them. 42.4% of the farmers stated that they obtained 100-150 eggs in a year, and 67.2% of them stated that they obtained meat between 1-5 kg.

Table 5. Socio-demographic characteristics of breeders

Age	Family (n)	N.F. (%)	Education	Family (n)	N.F. (%)	Number of individuals	Family (n)	N.F. (%)
18-39	15	12.0	Illiterate	2	1.6	1-3	32	25.6
40-59	84	67.2	Primary	84	67.2	4-6	69	55.2
60-80	23	18.4	Secondary	19	15.2	≥7	24	19.2
>80	3	2.4	High	15	12.0	-		
-			University	5	4.0	-		
Gender	Family	N.F.	Marital status	Family	N.F. (%)	Job	Family	N.F. (%)
Man	72	57.6	Married	109	87.2	Farmer	104	83.2
Woman	53	42.4	Single	16	12.8	Retired	13	10.4
-			-			Self-employment	8	6.4
Total	125	100	-	125	100	-	125	100

n: Number of families surveyed, *N.F*: Relative frequency

The business characteristics of the breeders participating in the survey are shown in Table 6. At the end of the study; Most of the breeders prefer native breeds (72.8%) and obtain their animals through natural hatching (67.2%). The results of the study were found to be in harmony with the study conducted by Bayraktar (2012) in Artvin. In the study conducted in Tokat, 96.3% of the breeders, 74.9% in Bingöl, and 68% in Batman stated that they obtained it by natural hatching, and the findings of the study were similar to the study carried out in Batman (Akşimşek, 2008; Güngördü, 2009; İnci et al., 2015). It was determined that men (79.2%) played a role in the construction of the shelter and women (82.4%) in the animal maintenance, the animals were generally kept together, and the soil was preferred in terms of roaming areas. The results of the study were found to be partially different from the study conducted in Batman, in harmony with the study conducted in Muş (Güngördü, 2009; İnci et al., 2020). While more than half of the breeders preferred plate-type feeders and drinkers in the poultry houses, the rate of those who stated that they did not use feeders and drinkers was

34.4% and 26.4%, respectively. The nesting-box usage rate is around 74.4%. Most of the growers stated that they do not use additional lighting (78.4%), heating (84.0%), and ventilation (91.2%). While the cleaning of the shelters was carried out on a weekly basis (68.0%), the rate of those who stated that they applied disinfection to the henhouses was 64.8%. It has been observed that the findings obtained as a result of the study are in harmony with many studies and differ partially from some of them (Güngördü, 2009; İnci et al., 2015; İnci et al., 2020).

Table 6. General characteristics of village poultry enterprises

Breeding race	Family (n)	N.F. (%)	Animal supply	Family (n)	N.F. (%)	Shelter making	Family (n)	N.F. (%)
Domestic	91	72.8	Market + neighbor	28	22.4	Mother	11	8.8
Culture	13	10.4	Natural hatching	84	67.2	Father	99	79.2
Mixed flock	21	16.8	Market + hatching	13	10.4	All family	15	12.0
Roaming area	Family (n)	N.F. (%)	Shelter type	Family (n)	N.F. (%)	Disinfection	Family (n)	N.F. (%)
None	24	19.2	Separate cage	32	25.6	Not applicable	44	35.2
Soil	70	56.0	Single cage	93	74.4	Lime 1 a year	38	30.4
Concrete	31	24.8	-			Lime 2 a year	33	26.4
-			-			Other methods	10	8.0
Care	Family (n)	N.F. (%)	Manger Type	Family (n)	N.F. (%)	Drinker type	Family (n)	N.F. (%)
Mother	103	82.4	None	43	34.4	None	33	26.4
Father	12	9.6	Plate type	67	53.6	Plate type	72	57.6
Kids	10	8.0	Nipple type	15	12.0	Nipple type	20	16.0
Additional lighting	Family (n)	N.F. (%)	Additional lighting	Family (n)	N.F. (%)	Additional ventilation	Family (n)	N.F. (%)
None	98	78.4	None	105	84.0	None	114	91.2
Available	27	21.6	Available	20	26.0	Available	11	8.8
Total	125	100	-	125	100	-	125	100

n: Number of families surveyed, N.F: Relative frequency

The feeds used by the breeders in feeding, feeding time, diseases seen in chickens, precautions, and mortality rates are shown in Table 7. It was observed that mixed feeding consisting mostly of grain feeds and bread-meal residues was adopted (60.8%) and the rate of those who stated that they fed the animals morning and evening was 71.2%. In previous studies, the proportion of those who used mixed feeding was 73.4% in Muş, 36% in Batman, and 34.3% in Tokat, while in the study conducted in Sivas, 89.9% of the breeders stated that they used the most wheat in feeding (Güngördü, 2009; Şekeroğlu and Akşımşek, 2009; Eleroğlu et al., 2014; İnci et al., 2020).

Almost all of the breeders in Muş and Bingöl stated that they do the feeding process twice a day, morning and evening, and the findings of the study differed partially from these two studies (İnci et al., 2015; İnci et al., 2020). While the incidence of disease in animals was 79.2%, diarrhea and Newcastle disease were the most common diseases with 48.5% and 33.3%. 67.2% of the breeders stated that they could not take any precautions and that the diseases increased mostly in the winter-autumn periods. After the diseases, 60.8% of the breeders stated that less than half of the herd was dead. In the study conducted by İnci et al. (2020) in Muş, 81.7% of the breeders stated that animals had diseases. 27.5% of breeders suffered from diarrhea and 22% of them suffered from viral diseases. In the related study, 49.5% of the breeders reported the highest incidence of disease in winter, 29.4% in autumn, and 56% reported that more than half of the animals were dead.

In the study conducted in Bingöl, the rate of those who stated that all animals died was 53.2%, while 8.3% stated that less than half of them died, and the study findings were different from the two studies (İnci et al., 2015). In the studies carried out in Tokat, while Akşimşek (2008) stated that 86.3% of the breeders applied a treatment method against diseases, Şekeroğlu and Akşimşek (2009) reported that all breeders could not make any vaccine to protect chickens. Güngördü (2009) stated that 62.9% of the breeders in Batman, and İnci et al., (2015) 75% of the breeders in Bingöl could not take any precautions against diseases. It was observed that the study findings were between the values found in these two studies.

Table 7. Nutrition of hens, diseases observed, precautions taken and mortality rate

Preferred feed	Family (n)	N.F. (%)	Feeding time	Family (n)	N.F. (%)	Seen diseases	Family (n)	N.F. (%)
Wheat	25	20.0	Morning	18	14.4	Diarrhea	48	48.5
Maize	12	9.6	Night	13	10.4	Newcastle	33	33.3
Barley	8	6.4	Morning-night	89	71.2	Cholera	8	8.1
Mixed	76	60.8	Tree meals	5	4.0	colibacilli	7	7.1
Industrial feed	4	3.2	-			Hen pox	3	3.0
Taken measures	Family (n)	N.F. (%)	Periods of illness	Family (n)	N.F. (%)	Post-illness death	Family (n)	N.F. (%)
None	84	67.2	Winter	74	59.2	Less than half	76	60.8
Antibiotic	25	20.0	Spring	13	10.4	Half	34	27.2
Drug-vaccine	16	12.8	Summer	7	5.6	Whole herd	15	12.0
-			Autumn	31	24.8	-		

n: Number of families surveyed, N.F: Relative frequency

The opinions of the breeders about the problems experienced in village poultry and village poultry are shown in Table 8. The breeders stated that the meat and eggs they obtained were not sufficient for them and that they obtained the rest of their needs from the markets. While 84% of them declared that they did not receive any training during breeding, the rate of those who stated that the training provided would not be sufficient was 68.8%. While diseases and feed prices were the first two problems with 51.2% and 30.4%, the inadequacy of shelters and marketing were reported as other problems. The findings of the study were found to be in agreement with the study conducted by İnci et al., (2020) in Muş.

Table 8. Opinions of breeders about village poultry

Egg-meat adequacy	Family (n)	N.F. (%)	Education support status	Family (n)	N.F. (%)	Basic issues	Family (n)	N.F. (%)
Sufficient	33	26.4	No	105	84.0	Illness	64	51.2
Market	92	73.6	Agriculture Dep.	15	12.0	Feed prices	38	30.4
-			University	5	4.0	Shelter problem	13	10.4
-			-			Marketing	10	8.0

n: Number of families surveyed, N.F: Relative frequency

Conclusion

Uşak is an important province of the Aegean Region that draws attention, especially to meat poultry production in terms of the presence of poultry. According to TUIK 2022 data, with broiler production approaching 12 million, it meets 19% of the region and approximately 5% of the total production. It is also the 3rd province after Kütahya and Afyonkarahisar in goose production and is suitable for poultry breeding. Besides commercial poultry farming, village poultry farming is one of the important alternative livestock activities traditionally carried out by farmers. Almost all of the breeders stated that they do village poultry farming to meet their egg needs and that the demand for backyard hen eggs is high and they earn additional income, especially today when the concept of organic eggs has become widespread. While the majority of breeders complained about diseases and feed prices, insufficient shelter was one of the major problems. They also reported that they had problems in the sale of the products or that they could not sell them at their worth, and that they also received complaints that the animals harmed the agricultural products of their neighbors.

In light of the information obtained from the study, the following suggestions for sustainable village poultry farming in Uşak can contribute to the solution of the problems.

- As in Türkiye, village poultry farming is carried out by women in Uşak. Especially "Uşak University, Uşak Provincial and District Directorates of Agriculture" should organize various seminars and training courses on disease, care, and feeding.
- A cooperation protocol should be arranged between the Municipality and the Provincial Directorate of Agriculture in order to deliver the products obtained to the primary consumer without any loss of value. Sales places should be provided to breeders to sell their products comfortably. This situation may increase the demand for village poultry and may lead to the transformation of village poultry from traditional village poultry to advanced village poultry in a short time, and then to intensive village poultry.
- Adequate level of veterinarians and health personnel should be employed within the body of the Provincial Directorate of Agriculture. By providing vaccine and treatment support, infectious diseases can be prevented before they turn into epidemics.
- It should be ensured that breeders are organized with cooperative-like formations, and they should be encouraged to act together to quickly solve common problems.
- Incentive packages should be prepared for the sustainability of village poultry in the annual budgets of the state, and the applications to be made through the Provincial Directorates of Agriculture and village headmen should be announced to the farmers.

There are a limited number of research and project proposals on the structure, problems, and sustainability of village poultry in Türkiye. The development of village poultry can provide opportunities to increase the family economy and welfare level of the rural population. Thus, when the intensive village poultry production model is adopted, the number of organic eggs and hen meat will increase and it will also contribute to the country's economy.

Conflict of Interest Statement

The authors of the article declare that there is no conflict of interest between them.

Contribution Rate of Researchers Statement Summary

The authors declare that they have contributed equally to the article.

References

- Akşimşek ŞD., 2008. Ülkemizde kuş gribi görülmesinden sonra Tokat ili köy tavukçuluğunun yapısı. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootehni Anabilim Dalı. Tokat.
- Alders R, Spradbrow P., 2001. Controlling Newcastle disease in village chickens. A Field Manual, ACIAR Monograph, 82: 112.
- Alders RG, Pym RAE., 2009. Village poultry: Still important to millions, eight thousand years after domestication. World's Poultry Science Journal, 65: 181-190.
- Appleby MC, Hughes BO, Elson HA., 1992. Poultry production systems, behaviour, management and welfare. CAB International, Wallingford.
- Bayraktar E., 2012. Artvin ili köy tavukçuluğunun yapısı. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootehni Anabilim Dalı, Tokat.
- Bural R., 2015. Bingöl ili köy tavukçuluğunun yapısı. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootehni Anabilim Dalı. Bingöl.
- Demirulus H, Aydın A, Beşkaya S, Dursun SG., 2013. Geliştirilmesi açısından Diyarbakır ve Tekirdağ illerinde köy tavukçuluğunun durumunu belirlemeye yönelik karşılaştırmalı bir çalışma. 8. Ulusal Zootehni Bilim Kongresi, Çanakkale.
- Eleroğlu H, Yıldırım A, Şekeroğlu A., 2014. Sivas ili agro-ekolojik alt bölgelerinde köy tavukçuluğunun yapısı. Tavukçuluk Araştırma Dergisi, 11(2): 10-15.
- Güngördü S., 2009. Batman ili köy tavukçuluğunun durumu. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- İnci H, Bural R, Şengül T., 2015. Bingöl ili köy tavukçuluğunun yapısı. Tavukçuluk Araştırma Dergisi, 12(2): 13-17.
- İnci H, Ekinci MA, Karakaya E, Söğüt B, Ayaşan T., 2018. Diyarbakır ili köy tavukçuluğunun yapısı. Tavukçuluk Araştırma Dergisi, 15(2): 23-27.
- İnci H, Ekinci MA, Karakaya E, Ayaşan T, Yılmaz HŞ., 2019. Diyarbakır ilinde köy tavukçuluğunun mevcut durumu, sorunları ve çözüm önerileri. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6(4): 609-616.
- İnci H, Barik S, Karakaya E., 2020. Muş ili köy tavukçuluğunun mevcut durum analizi, sorunları ve çözüm önerileri. EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, 4(15): 535-548.
- Karasar N., 1994. Bilimsel araştırma yöntemi: Kavramlar, İlkeler, Teknikler. Nonel Akad Yayınları, Ankara, Türkiye.

Riise JC, Permin A, Mcainsh CV, Frederiksen L., 2004. Keeping village poultry a technical manual on small-scale poultry production. Network for small holder Poultry Development, Copenhagen, Denmark.

Sarıca M, Türkoğlu M., 2004. Tavukçuluktaki gelişmeler ve Türkiye tavukçuluğu. Editör, M. Türkoğlu ve M. Sarıca, Tavukçuluk Bilimi, Yetiştirme ve Hastalıkları. Bey Ofset Matbaacılık, Ankara, s.1-32.

Sheldon BL., 2000. Research and development in 2000:directions and priorities fort he world's poultry science community. Poultry Science, 79: 147-158.

Simons P., 1997. Tavukçuluk endüstrisinin dünyadaki geleceği (Çeviren Prof.Dr.Nizamettin Şenköylü). YUTAV-97, Uluslararası Tavukçuluk Fuarı, İstanbul.

Şekeroğlu A, Akşimşek ŞD., 2009. Tokat ili köy tavukçuluğunun bazı özellikleri. Anadolu Tarım Bilim. Dergisi, 24(2): 108-113.

Şekeroğlu A, Sarıca M., 2010. Bir üretim sistemi olarak köy tavukçuluğu. Tavukçuluk Araştırma Dergisi, 9(1): 41-47.

TUIK., 2023. Hayvancılık istatistikleri, Diğer Kümes Hayvanları Sayıları. (Web sayfası: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>) (Erişim Tarihi: 07 Mayıs, 2023).

Yurt Z., 2002. Çanakkale ilindeki kimi köylerde köy tipi kümes hayvanı yetiştiriciliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootečni Anabilim Dalı. Çanakkale.

Siber Güvenlikte Kali Linux ve Sızma Araçlarının Kullanımı

Hakan ETİK¹, Özgü CAN^{2*}

¹Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Fakültesi, İzmir

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Fakültesi, 35100 Bornova-İzmir

¹<https://orcid.org/0009-0003-0589-9756>

²<https://orcid.org/0000-0002-8064-2905>

*Sorumlu yazar: ozgu.can@ege.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 21.07.2023

Kabul tarihi: 06.12.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler

Siber güvenlik

Güvenlik açığı

Kali Linux

Sızma araçları

Bilişim güvenliği

Siber güvenliğin sağlanmasında Kali Linux ve sunduğu sızma araçlarının sunucu sistemlerine yönelik penetrasyon testlerinde kullanımı önemlidir. Bu çalışmada, test ortamı olarak Linux Ubuntu işletim sistemi ve üzerinde çalışan bir web sunucusu kullanılmıştır. Test ortamında, Kali Linux üzerindeki sızma araçları kullanılarak yapılan tüm tarama ve sızma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, hedef sistem üzerindeki açık portları tespit etmek için port taraması uygulanmıştır. Tarama ile sistemdeki aktif servisler ve servislerin çalıştığı portlar belirlenmiştir. Sonraki adımda, kullanıcı adı ve parola kombinasyonlarının bir listesi kullanılarak oturum açma bilgilerini elde etmek hedeflenmiştir. Sözlük saldırısı ile parola kırma işlemi yapılmıştır. Böylelikle, zayıf parolaların kullanıldığı hesapların belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca, SQL saldırısı gerçekleştirilerek hedef sistemin veritabanına yetkisiz erişim sağlanmıştır. Saldırı yöntemiyle güvenlik açıklarının olduğu web uygulamaları hedef alınarak veritabanına sızma girişiminde bulunulmuştur. Veritabanına erişim sağlandıktan sonra hassas verilere erişilmiş ve veriler manipüle edilmiştir. Son olarak, yetki yükseltme işlemi gerçekleştirilerek hedef sistemin tam kontrolünün ele geçirilmesi sağlanmıştır. Sistemdeki zayıf yapılandırmalar, güvenlik açıkları veya yetkilendirme hatalarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak, Kali Linux ve sızma testi araçlarının sunucu sistemlerindeki güvenlik açıklarını tespit etmek ve gidermek için önemli bir araç olduğu gösterilmektedir. Çalışmanın sonuçları, Kali Linux ve sızma testi araçlarının güçlü yeteneklerini ve potansiyel güvenlik açıklarını ortaya çıkarmada etkinliğini göstermektedir. Böylelikle, sistem yöneticileri benzer araçları kullanarak yönettikleri sistemleri test ederek güvenlik açıklarını tespit edebilir ve gerekli önlemleri alabilirler. Bu çalışmada, bu önemin açıklanması ve oluşturulan deneysel test ortamında gösterilmesi hedeflenmektedir.

Using Kali Linux and Infiltration Tools in Cyber Security

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 21.07.2023

Accepted: 06.12.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Cyber security

It is important to use Kali Linux and the penetration tools that it offers in penetration tests for server systems to ensure cyber security. For this purpose, Linux Ubuntu operating system and a web server running on it are used as test environment. In this test environment, all scans and penetrations are performed using the penetration tools on Kali Linux. First, port scanning is performed to detect open ports on the target system. With this scan, the active

services in the system and the ports where these services are running are determined. The next step is to obtain login information using a list of username and password combinations. Password cracking with dictionary attack is performed. Thus, the identification of accounts with weak passwords is achieved. Unauthorized access to the database of the target system is achieved by performing a SQL attack. With this attack method, an attempt is made to infiltrate the database by targeting web applications with security vulnerabilities. After accessing the database, sensitive data is accessed and manipulated. Finally, full control of the target system is achieved by performing privilege escalation. In this step, weak configurations are aimed to detect vulnerabilities or authorization errors in the system. Consequently, Kali Linux and penetration testing tools are an important tool for detecting and resolving vulnerabilities in server systems. The results of the study show the powerful capabilities of Kali Linux and penetration testing tools and their effectiveness in determining potential vulnerabilities. Thus, system administrators can use such tools to detect vulnerabilities and take the appropriate actions by testing the systems they manage. In this study, it is aimed to explain this importance and to show this in an experimental test environment.

To Cite: Etik H, Can Ö., 2024. Siber güvenlikte kali linux ve sızma araçlarının kullanımı. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 210-226.

Giriş

Günümüzde güvenlik açıklarının tespit edilmesi ve kapatılması büyük bir önem taşımaktadır. Kurumlar ve bireyler; bilgisayar sistemlerini, ağlarını ve uygulamalarını potansiyel tehditlere karşı korumak için güvenlik testlerine ihtiyaç duyarlar. Bu ihtiyaca cevap veren sızma testi (penetrasyon testi), güvenlik açıklarının belirlenmesi ve hedef sistemlere yetkisiz erişim sağlanarak gerçekleştirilen saldırı senaryolarını içerir.

Bu çalışmada kullanılan Kali Linux, özel olarak sızma testi ve etik saldırılar için tasarlanmış bir Linux dağıtımıdır. Kali Linux içerisinde birçok güvenlik aracı ve kaynak bulundurur ve sızma testi süreçlerinde kullanıcıya esneklik ve güç sağlar.

Sızma testleri, bir organizasyonun veya bireyin sistemlerini güvenli hale getirmek için proaktif bir yaklaşımı temsil eder. Bu testlerde, gerçek dünya saldırı senaryolarının gerçekleştirilmesi ve potansiyel zayıf noktaların belirlenmesi hedeflenir. Kali Linux, güvenlik testlerinde kullanılabilecek birçok araç sunar: Ağ taraması, zayıf parola analizi, güvenlik açığı taramaları, ağ saldırıları, veritabanı güvenliği, kablosuz ağ güvenliği ve daha fazlası gibi alanlarda uzmanlaşmış araçlara erişim sağlar.

Bu çalışmanın kapsamı sızma testi süreci, planlama, bilgi toplama, zafiyet taraması, saldırı senaryolarının oluşturulması gibi temel adımları içermektedir. Her adımın nasıl gerçekleştirileceği ve hangi araçların kullanılacağı ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Sızma testleri, organizasyonların güvenlik politikalarını güncellemelerine ve potansiyel riskleri azaltmalarına yardımcı olmaktadır. Çalışmanın sonuçları da sızma testlerinin önemini ve etkinliğini vurgulamaktadır. Sızma testleri, hedeflenen sistemlerin güvenlik açıklarını tespit

etmek ve bunlara karşı önlemler almak için önemli bir araçtır. Sızma testleri, bilgi güvenliği konusunda sürekli bir çaba gerektiren ve tehditlere karşı savunma mekanizmalarını güçlendiren bir disiplindir.

Çalışmada Kali Linux kullanarak gerçekleştirilen bir sızma testi süreci detaylı bir şekilde sunulmaktadır. Çalışmada, Ubuntu 14.0 üzerinde çalışan bir web sunucusu hedef alınmış ve farklı sızma testi adımları kullanılarak saldırı senaryoları gerçekleştirilmiştir. Bu adımlar arasında port taraması, parola kırma, SQL saldırısı ve yetki yükseltme gibi işlemler yer almaktadır. SQL saldırısı, bir web uygulamasının arkasındaki veritabanına yönelik olarak gerçekleştirilen bir saldırı türüdür. Yetki yükseltme ise bir sisteme veya uygulamaya ait sınırlı bir erişim düzeyinin yetkisiz şekilde daha yüksek bir seviyeye yükseltilmesi işlemidir.

Sızma testi süreci Kali Linux ve sızma testi araçlarının kullanımı üzerinde odaklanmaktadır. Çalışmanın sonuçları sızma testlerinin önemini, güvenlik açıklıklarını tespit etmek ve gidermek için bu tür testlerin düzenli olarak yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Materyal ve Metod

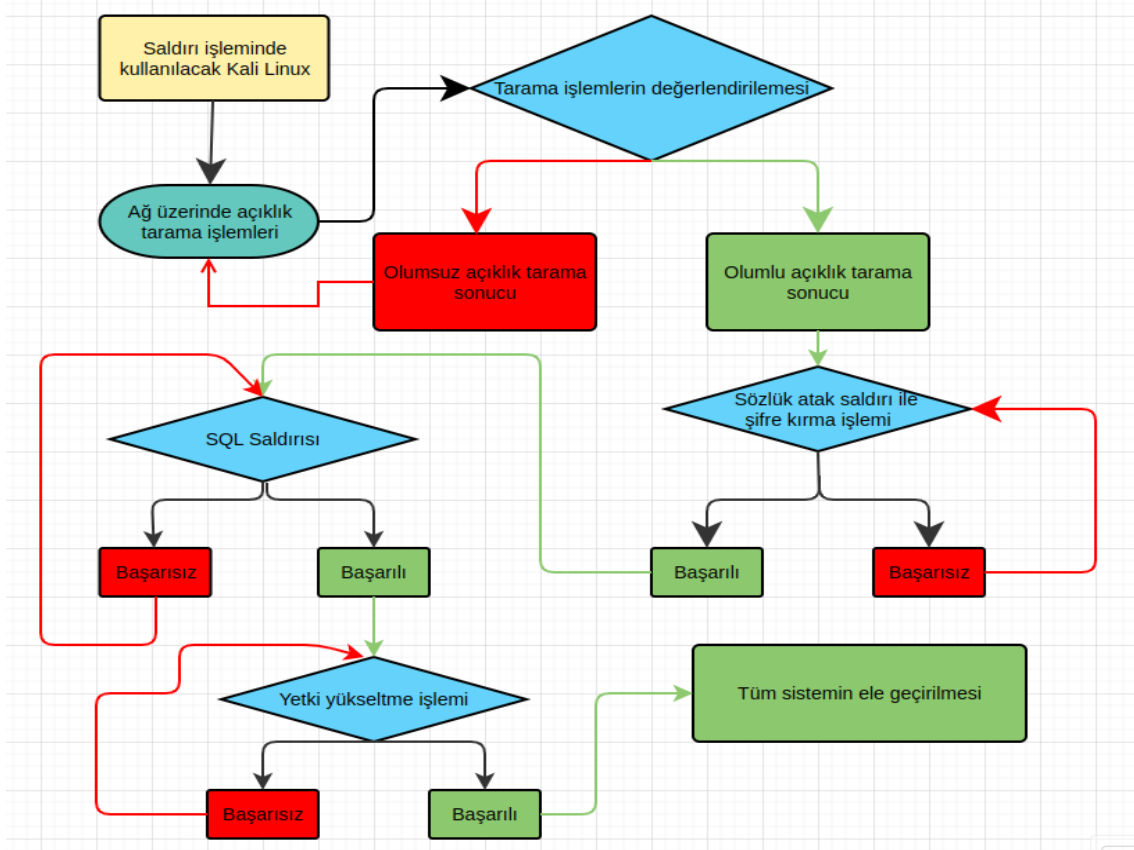
Çalışmada, beş ana konu temel alınmaktadır. Bunlar, (i) hedef sistemde açıklık barındıran bir web uygulaması tespit etmek, (ii) parola saldırısı ile admin (yönetici) parolasını ele geçirmek, (iii) SQL saldırısı ile hedef sistemde sistem komutları çalıştırabilmek, (iv) ters bağlantı ile hedef sisteme bağlantı sağlamak ve (v) yetki yükseltme ile sistemin ele geçirilmesi şeklindedir. Bütün bu aşamalar ve gerçekleştirilen saldırıların olay akış şeması Şekil 1’de blok diyagramı olarak verilmiştir.

Çalışmada temel alınan saldırılar aşağıdaki gibidir:

Açıklık Arama: Bağlı bulunulan ağ içerisinde herhangi bir açıklık barındıran bir web uygulaması tespit edilmeye çalışılmıştır. İlgili işlem için Kali Linux tarafından hazır gelen ağ taraması için kullanılan Netdiscover aracı komutu ile arama işlemi yapılmıştır. Ağ içerisinde tespit edilen bir IP Nmap aracı kullanılarak port taraması işlemi uygulanmıştır. Yapılan tarama işlemleri sonrası elde edilen bilgilerin internet yardımıyla herhangi bir açık barındırıp barındırmadığı kontrol edilmiştir.

Parola Saldırısı: Açıklık taramasında tespit edilen bir web sayfası admin girişine parola saldırısı gerçekleştirilerek parola kırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan işlem için Kali Linux tarafından hazır gelen CEWL (Cewl, 2024) ve John The Ripper (Ripper, 2024) araçları ile bir parola sözlüğü oluşturulup bu sözlük OWASP (OWASP, 2024) uygulaması ile kaba kuvvet uygulanarak web sayfası admin giriş parolası tespit edilmiştir.

SQL Saldırısı ve Ters Bağlantı Saldırısı: Saldırı kapsamında, admin sayfasına giriş yapabildiğimiz web sunucusu üzerinde PHP ve SQL enjeksiyonu yaparak sayfa üzerinde sistem komutlarını çalıştırması sağlanmıştır. İşlem sonrası bir adım öteye gidilerek ters bağlantı işlemi, MSFVenom aracı ile payload oluşturulup bunu Netcat üzerinden yüklenerek hedef sistem üzerinden bağlantı sağlanmıştır. Burada yapılan işlemler bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 1. Kali Linux ile hedef sisteme saldırı akış şeması

Yetki Yükseltme ve Sistemin Ele Geçirilmesi: Senaryoda, hedef sisteme bağlantı gerçekleştirildikten sonra bağlanılan sistemde yetki yükseltme işlemi (*local privilege escalation exploit*) açığı taraması yapılmaktadır. İşletim sistemine özgü bulunan açık Meterpreter aracı kullanılarak yetki yükseltme işlemi gerçekleştirilmekte ve hedef sistem ele geçirilmektedir.

Literatürde, bu konuyla ilgili birçok araştırma, makale ve kaynak bulunmaktadır. Kali Linux, açık kaynaklı bir Linux tabanlı işletim sistemidir ve içerisinde bir dizi sızma testi aracı barındırmaktadır. Kullanılan araçlar, ağ güvenliği açıklarını tespit etmek, zayıf noktaları

analiz etmek ve potansiyel saldırı senaryolarını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Cisar ve Pinter, 2019; Kissi ve Asante, 2020).

Literatürdeki çalışmalar genellikle Kali Linux'in kullanımını, sızma testi adımlarını ve araçlarının yeteneklerini ve sızma testi sürecinin planlanması, hedef sistemlerin belirlenmesi, saldırı senaryolarının oluşturulması, güvenlik açıklıklarının keşfedilmesi ve raporlama gibi adımları kapsamaktadır. Yapılan çalışmalar, sızma testi sürecinin etik ve profesyonel bir şekilde yapılmasının önemini vurgulamakta ve güvenlik açıklıklarının tespit edilmesi ve giderilmesi için sızma testlerinin yaygın olarak kullanılması gerektiğini savunmaktadır (Gunawan ve ark., 2018a; Gunawan ve ark., 2018b). Ayrıca, gerçek dünya senaryolarında genellikle Kali Linux ve sızma testi araçlarının etkinliği ve verimliliği değerlendirilmektedir. Bu çalışmalar, farklı ağ yapıları, web uygulamaları, sunucular ve mobil cihazlar gibi çeşitli hedef sistemler üzerinde sızma testi senaryoları gerçekleştirerek, güvenlik açıklıklarının ve zayıf noktaların tespit edilmesi konusunda önemli bir bilgi sağlamaktadır.

Sonuç olarak, Kali Linux ve kullanılan sızma araçları hakkında yapılan araştırmalar, bilgisayar güvenliği ve siber güvenlik alanında önemli bir yer tutmaktadır. Araştırmalar, sızma testi sürecinin önemini vurgulamakta, güvenlik açıklıklarının tespit edilmesi ve giderilmesi için bu tür araçların etkin kullanımını desteklemekte ve güvenlik uzmanlarına rehberlik etmektedir (Şentürk, 2018).

Çalışmamızda, üç farklı saldırı türü kullanılarak hedef sistem ele geçirilmektedir. Bunlar sırasıyla parola saldırısı, SQL saldırısı ve yetki yükseltme şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Parola saldırısı, bir sistemde kullanılan parolaları keşfetmek veya çalmak amacıyla gerçekleştirilen bir saldırı türüdür. Literatürde parola saldırıları ve bunların önlenmesi üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur. Çalışmalar, güvenli şifreleme algoritmaları, parola karmaşıklığı politikaları ve güvenli kimlik doğrulama yöntemleri gibi konuları içermektedir (Lu ve Yu, 2021).

SQL saldırısı, kullanıcının girişlerini manipüle ederek veya kötü niyetli SQL ifadeleri kullanarak veritabanına yetkisiz erişim sağlamayı hedeflemektedir. SQL saldırıları, güvenlik açıklıklarının olduğu web uygulamalarında yaygın olarak görülmektedir. Saldırıları, veritabanı sistemlerinin zayıf doğrulama veya sorgu işleme mekanizmalarından yararlanmaktadır. Yetki yükseltme, bir sistemin veya uygulamanın güvenlik mekanizmalarındaki hatalardan veya zayıf yapılandırmalardan yararlanarak gerçekleştirilebilmektedir. Yetki yükseltme saldırıları, sistemin koruma mekanizmalarını aşarak yönetici veya root düzeyinde erişim elde etmeyi hedeflemektedir. Literatürde, yetki yükseltme saldırıları, güvenlik açıklıkları, ayrıcalık

ayrıştırması ve kullanıcı yetkilendirme konularında farklı çalışmalar bulunmaktadır (Vouteva, 2015).

Bu çalışma, parola saldırıları, SQL saldırıları ve yetki yükseltme gibi güvenlik açıklıklarına yönelik olarak Kali Linux ve sızma testi araçlarının kullanımını içermektedir. Bu konular üzerine birçok çalışma ve kaynak bulunmasına rağmen, çalışmamızda mevcut bilgi birikimini bir araya getirerek, Kali Linux'un benzer saldırılarda nasıl kullanılabileceği konusunda pratik bir bakış sunmaktadır.

DeneySEL Çalışmalar

Saldırı işlemleri sırasında sadece Kali Linux ve onunla birlikte gelen araçlar kullanılmıştır. Ağ içerisinde bir açıklık arama işlemine başlamadan önce Kali Linux'una ait makinenin IP adresinin tespit işlemi görülmektedir (Şekil-2).

```
(base) └─(kali@kali)-[~]
└─$ ifconfig
eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.0.11 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.0.255
    inet6 fe80::4694:dc1:70ee:60fb prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 08:00:27:22:46:4f txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 103 bytes 8164 (7.9 KiB)
    RX errors 0 dropped 92 overruns 0 frame 0
    TX packets 42 bytes 5278 (5.1 KiB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 4 bytes 240 (240.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 4 bytes 240 (240.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

(base) └─(kali@kali)-[~]
└─$
```

Şekil 2. Kali Linux IP tespiti

Elde edilen IP adresinden bulunan ağa ait tüm IP adreslerinin taramasının yapılacağı netdiscover komutu çalıştırılmıştır (Şekil-3).

```
(base) └─(kali@kali)-[~]
└─$ sudo netdiscover -r 192.168.0.0/24
```

Şekil 3. Netdiscover ile ağ tarama komutu

Bu tarama sonucunda ağ üzerinde bulunan aktif IP'ler tespit edilmiştir. Tespit edilen IP'ler sunulmaktadır (Şekil-4).

Currently scanning: Finished! | Screen View: Unique Hosts

5 Captured ARP Req/Rep packets, from 5 hosts. Total size: 300

IP	At MAC Address	Count	Len	MAC Vendor / Hostname
192.168.0.1	fc:4a:e9:b5:a6:db	1	60	Castlenet Technology Inc.
192.168.0.12	08:00:27:16:c6:af	1	60	PCS Systemtechnik GmbH
192.168.0.14	54:af:97:57:a5:40	1	60	TP-Link Corporation Limited
192.168.0.22	b0:4f:13:f3:de:c1	1	60	Dell Inc.
192.168.0.16	e2:f9:fe:9d:ca:19	1	60	Unknown vendor

Şekil 4. Netdiscover ile ağ taraması sonuçları

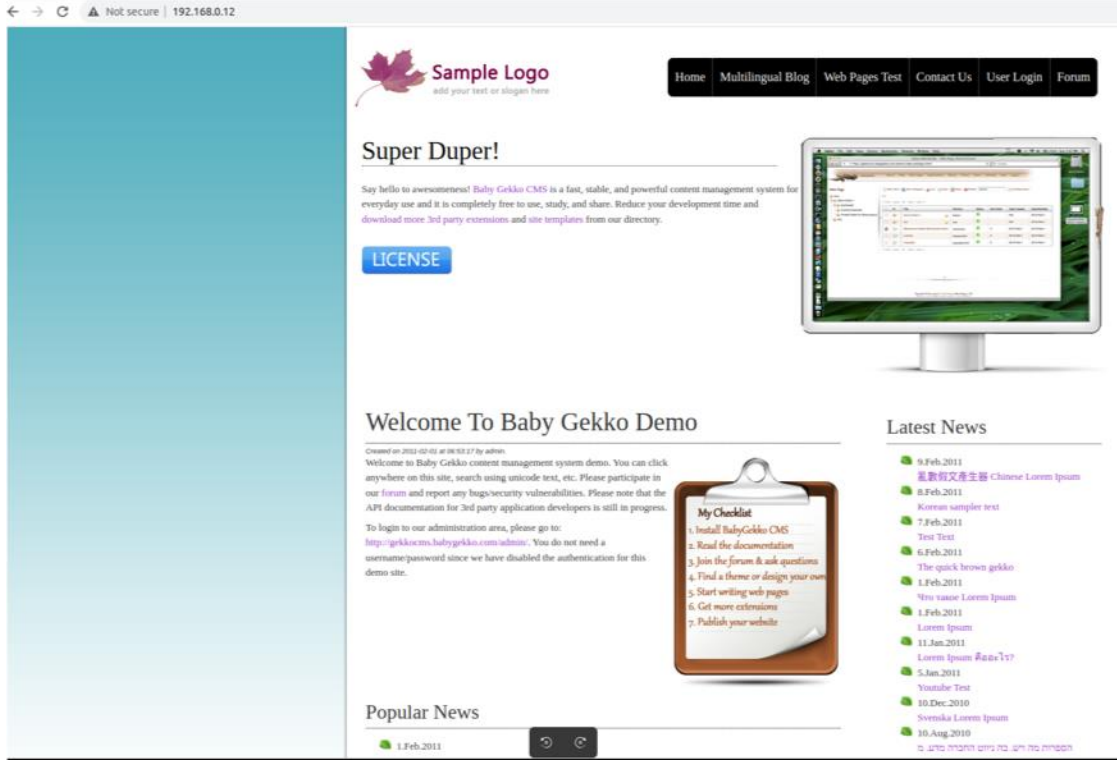
Bir sonraki adım bu IP'ler üzerinde port araması yapılarak herhangi bir web sunucu olup olmadığını tespit etmektir. Bu işlem için Nmap aracı kullanılmıştır. Bu araç kullanımı ve elde edilen sonuç gösterilmektedir (Şekil-5).

```
(base) └─(kali@kali)-[~]
└─$ nmap -A 192.168.0.12
Starting Nmap 7.93 ( https://nmap.org ) at 2023-06-04 08:32 EDT
Nmap scan report for 192.168.0.12
Host is up (0.00017s latency).
Not shown: 999 closed tcp ports (conn-refused)
PORT      STATE SERVICE VERSION
80/tcp    open  http      Apache httpd 2.4.7 ((Ubuntu))
|_http-generator: Gekko Web Builder / Baby Gekko CMS / gekkocms
|_http-server-header: Apache/2.4.7 (Ubuntu)
|_http-title: btrisk - Welcome to Baby Gekko Demo

Service detection performed. Please report any incorrect results at https://nmap.org/submit/ .
Nmap done: 1 IP address (1 host up) scanned in 6.76 seconds
```

Şekil 5. Nmap ile port taraması ve sonuçları

Tarama işlemi sonucunda ağ üzerinde 192.168.0.12 IP ile bir Baby Gekko isimli web sunucusu olduğu görülmektedir. Tespit edilen IP bir İnternet tarayıcı üzerinde açıldığında ön tanımlı kurulumda bırakılmış bir CMS uygulaması görülmektedir (Şekil-6).



Şekil 6. CMS uygulaması

Tarama işlemi sonucu bulunan bu uygulamaya ait açıklıkların olup olmadığı Searchploit aracı ile aranmaktadır. Bu arama sonucuna göre ilgili uygulamaya ait güvenlik açıkları listelenmektedir (Şekil-7).

```
(root@kali)-[/home/kali]
# searchsploit baby gekko

Exploit Title
-----
Baby Gekko CMS 1.1.5c - Multiple Persistent Cross-Site Scripting Vulnerabilities
BabyGekko 1.2.2e - Multiple Vulnerabilities

Shellcodes: No Results
```

Şekil 7. Searchploit arama sonucu

Bir sonraki adımda Nikto uygulamasını kullanarak ilgili web sayfasına ait bir admin girişi bulunup bulunmadığının tespit edilmesi sağlanmıştır. Nikto uygulamasının sonucuna göre /admin link uzantısı ile bir admin giriş sayfası olduğu görülmektedir (Şekil-8).

```
(base) └─(kali㉿kali)-[~]
└─$ nikto -h 192.168.0.12
- Nikto v2.5.0

+ Target IP: 192.168.0.12
+ Target Hostname: 192.168.0.12
+ Target Port: 80
+ Start Time: 2023-06-04 08:50:02 (GMT-4)

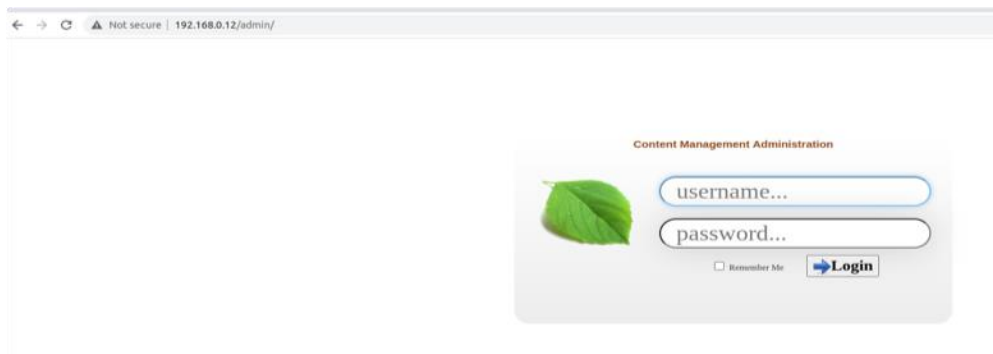
+ Server: Apache/2.4.7 (Ubuntu)
+ /: Retrieved x-powered-by header: PHP/5.5.9-1ubuntu4.20.
+ /: The anti-clickjacking X-Frame-Options header is not present. See: https://devel
+ /: The X-Content-Type-Options header is not set. This could allow the user agent t
sing-content-type-header/
+ /: Cookie gusr07f2684feea5bdd5615c52a0fd5d5e20 created without the httponly flag.
+ No CGI Directories found (use '-C all' to force check all possible dirs)
+ /images: IP address found in the 'location' header. The IP is "127.0.1.1". See: ht
+ /images: The web server may reveal its internal or real IP in the Location header.
+ Apache/2.4.7 appears to be outdated (current is at least Apache/2.4.54). Apache 2.
+ /: Cookie gusr0b8f998d1bad0f4facfe5745edc4d3e2 created without the httponly flag.
+ /: Web Server returns a valid response with junk HTTP methods which may cause fals
+ /admin/login.php?action=insert&username=test&password=test: phpAuction may allow u
g/cgi-bin/cvename.cgi?name=CVE-2002-0995
+ /admin/: Cookie gadms07f2684feea5bdd5615c52a0fd5d5e20 created without the httponly
+ /admin/: This might be interesting.
+ /apps/: Directory indexing found.
+ /apps/: This might be interesting.
+ /downloads/: This might be interesting.
+ /includes/: Directory indexing found.
+ /includes/: This might be interesting.
+ /install/: Cookie gusrinstall created without the httponly flag. See: https://devel
+ /install/: This might be interesting.
+ /tmp/: This might be interesting.
+ /admin/index.php: This might be interesting: has been seen in web logs from an unk
+ /icons/README: Apache default file found. See: https://www.vntweb.co.uk/apache-res
+ /admin/login.php: Admin login page/section found.
+ /test.php: This might be interesting.
+ /#wp-config.php#: #wp-config.php# file found. This file contains the credentials.
+ 8103 requests: 0 error(s) and 25 item(s) reported on remote host
+ End Time: 2023-06-04 08:50:17 (GMT-4) (15 seconds)

+ 1 host(s) tested

(base) └─(kali㉿kali)-[~]
└─$
```

Şekil 8. Nikto arama sonucu

İlgili IP'nin devamında Nikto uygulaması ile bulunan admin link uzantısı eklenerek oluşturulan link web tarayıcısı üzerinden açılmaktadır. Link açıldığında Şekil 9'da sunulan admin sayfasına ulaşılmaktadır.



Şekil 9. Web sunucu admin sayfası

Admin sayfasına ulaşıldıktan sonra bir sonraki işlem olarak bu sayfayı Kali Linux'un sunduğu çeşitli parola saldırı araçlarını kullanarak parolayı ele geçirmektir. Yapılan işlemlerin

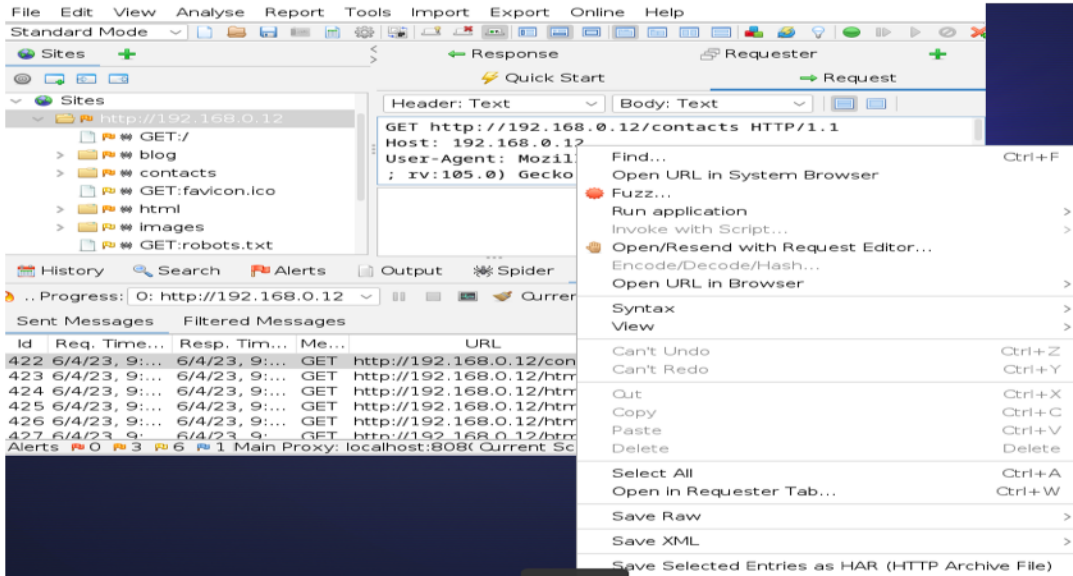
ilki için CEWL kullanılmıştır. Bu araç ilgili sayfadaki verileri kullanarak olası kelimelerden bir parola sözlüğü oluşturmaktadır. Sözlüğü genişletmek için John The Ripper uygulaması ile farklı algoritmalar kullanılarak olası parola ihtimalini arttırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Araçlar ile oluşturulan parola listesi şekil üzerinde görülmektedir (Şekil-10).

```
(root@kali)~/home/kali
# cewl http://192.168.0.12 > passwordlist.txt

(root@kali)~/home/kali
# head passwordlist.txt
CeWL 5.5.2 (Grouping) Robin Wood (robin@diginiinja) (https://diginiinja/)
Not
Found
this
not
The
html
requested
URL
was
```

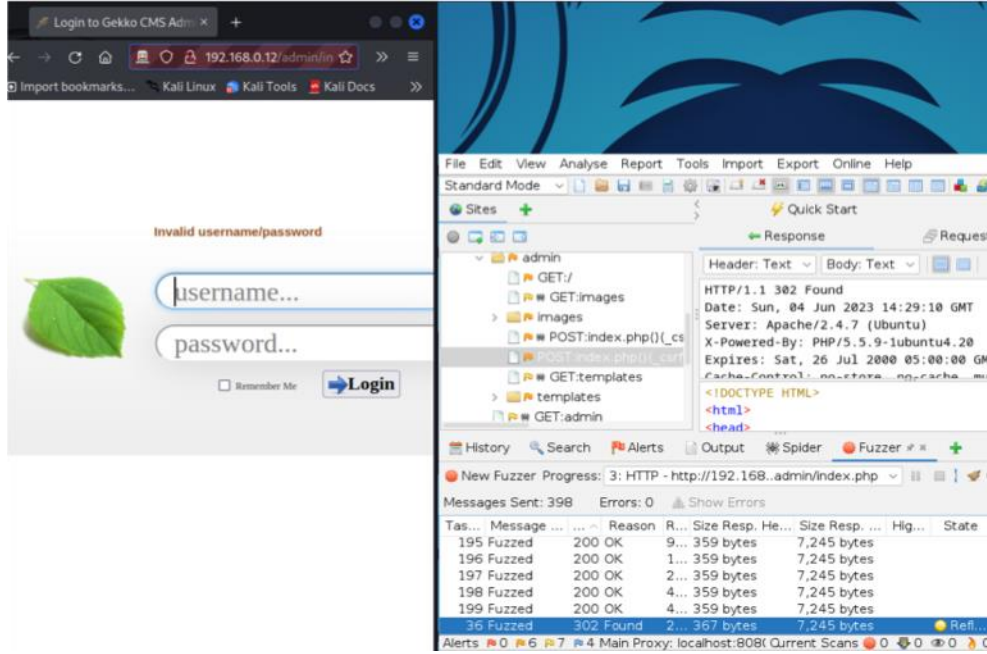
Şekil 10. CEWL ve John The Ripper uygulaması ile oluşturulan parola listesi

Parola listesini kullanabilmek için bir atak proxy kullanılması gerekmektedir. İşlem için Kali Linux'un sağladığı OWASP uygulaması kullanılmaktadır. Yapılan uygulama ile web sayfasının admin kısmına bağlandıktan sonra parola listesindeki parolaların teker teker denenmesi gerçekleştirilmektedir. OWASP uygulamasının hedeflenen web sayfasına bağlantısı gösterilmektedir (Şekil-11).



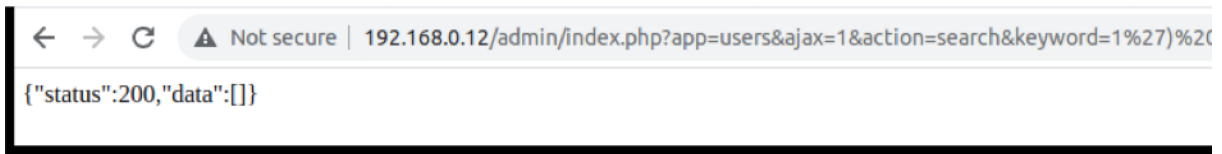
Şekil 11. OWASP ile hedef siteye bağlantının gerçekleştirilmesi

Uygulama üzerinden daha önce elde edilen parola listesi paylaşılarak admin sayfasında parolaların denenmesi otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Yapılan işlem sırasında; web sunucusundan doğru parola durumunda gönderilen “302 found” cevabı görülmektedir (Şekil-12). Böylelikle, admin sayfasının parolası elde edilmiş olmaktadır.



Şekil 12. OWASP ile hedef site admin parolasının tespiti

Gerçekleştirilen uygulama açık taraması işleminde bulunan açıklardan biri olan ve Şekil 6’da sunulan SQL enjeksiyon açığı, admin sayfasına erişim sağlandıktan sonra uygulanabilir bir duruma gelmektedir. İlgili SQL denemesi uygulandığında işlemin etkili olduğu görülmektedir (Şekil-13).



Şekil 13. Tarayıcı üzerinden yapılan test enjeksiyonu

Böylelikle, web uygulaması üzerinde yapılan enjeksiyonun başarılı olduğu görülmektedir. Bir sonraki adım olarak web sunucu tarafından Netcat ile TCP portundan gelen veri dinlenmekte ve gelen veriyi reverse.php dosyasına aktaracak bir komut çalıştırılmaktadır. Sunucu üzerine yollanacak ters bağlantıyı sağlayacak PHP dosyası MSFVenom uygulaması ile oluşturulmaktadır (Şekil-14). Uygulanan işlemten sonra, saldırıyı gerçekleştiren bilgisayarda oluşturulan PHP payload’u hedef bilgisayara aktarılmaktadır.

Bağlantı sağlandıktan sonra hedef sistem üzerinde gerekli değişiklikler yapılarak ele geçirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Hedef sistemde yapılan bağlantıda root yetkili olarak bağlanıp bağlanılmadığı kontrol edilmektedir. Yapılan yetki sorgulamasında root yetkisine sahip olunmadığı Şekil 16’da gösterilmektedir.

Ters bağlantı sağlanan hedef sunucuda root yetkisi olmadığı durumlarda yapılacak işlemler kısıtlı olacağı için sağlanan bağlantının tam yetkili olması gerekmektedir. Tam yetkiyi ele geçirmek için hedef sistemin işletim sistemi hakkında bilgi edinilmeli ve yetki yükseltme işleminin gerçekleştirilmesi için kullanılan işletim sisteminin açıkları incelenmelidir.

```
Metasploit tip: Display the Framework log using the
log command, learn more with help log
Metasploit Documentation: https://docs.metasploit.com/

msf6 > use exploit/multi/handler
[*] Using configured payload generic/shell_reverse_tcp
msf6 exploit(multi/handler) > set PAYLOAD
PAYLOAD => generic/shell_reverse_tcp
msf6 exploit(multi/handler) > set PAYLOAD php/meterpreter/reverse_tcp
PAYLOAD => php/meterpreter/reverse_tcp
msf6 exploit(multi/handler) > set LHOST 192.168.0.12
LHOST => 192.168.0.12
msf6 exploit(multi/handler) > SET LPORT 4444
[-] Unknown command: SET
msf6 exploit(multi/handler) > set LPORT 4444
LPORT => 4444
msf6 exploit(multi/handler) > run

[-] Handler failed to bind to 192.168.0.12:4444:- -
[*] Started reverse TCP handler on 0.0.0.0:4444
[*] Sending stage (39927 bytes) to 192.168.0.12
[*] Meterpreter session 1 opened (192.168.0.11:4444 → 192.168.0.12:44667) at 2023-06-04 13:55:39 -0400

meterpreter > clear
[-] Unknown command: clear
meterpreter > cls
[-] Unknown command: cls
meterpreter > whoami
[-] Unknown command: whoami
meterpreter > shell
Process 2099 created.
Channel 0 created.

whoami
www-data

uname -a
Linux ubuntu 3.13.0-32-generic #57-Ubuntu SMP Tue Jul 15 03:51:08 UTC 2014 x86_64 x86_64 x86_64 GNU/Linux

cat /etc/*-release
DISTRIB_ID=Ubuntu
DISTRIB_RELEASE=14.04
DISTRIB_CODENAME=trusty
DISTRIB_DESCRIPTION="Ubuntu 14.04.1 LTS"
NAME="Ubuntu"
VERSION="14.04.1 LTS, Trusty Tahr"
ID=ubuntu
ID_LIKE=debian
PRETTY_NAME="Ubuntu 14.04.1 LTS"
VERSION_ID="14.04"
HOME_URL="http://www.ubuntu.com/"
SUPPORT_URL="http://help.ubuntu.com/"
BUG_REPORT_URL="http://bugs.launchpad.net/ubuntu/"
```

Şekil 16. Metasploit üzerinde sunucu bağlantısı

Çalışmada hedef sistem olarak Kernel versiyonu Linux Ubuntu Kernel 3.13.0-32-generic olan Ubuntu 14.04 versiyonu kullanılmaktadır. Çalışmada uygulanan sistemde yetki

yükseltme için osf_64 uygulaması olduğu tespit edilmiştir. Uygulamamızda; Metasploit Meterpreter üzerinden yüklendiğinde root kullanıcısı olarak tam yetki sahibi olunabilmektedir. Uygulanan işlem sonrasında tüm hedef sistemi ele geçirilmiş olmaktadır. Böylelikle, tam yetkili olarak hedef sistem üzerinde her türlü değişikliği ve işlemi yapabilme kabiliyeti kazanılmaktadır.

Çalışma Sonucunda Elde Edilen Bulgular ve Tartışma

Kali Linux ve sızma testi araçlarının kullanımı, siber güvenlik alanında parola saldırıları, SQL saldırıları ve yetki yükseltme gibi güvenlik açıklıklarının tespiti ve önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmamızda, sızma testlerinin önemi ve bu testlerin düzgün bir şekilde gerçekleştirilmesinin kritikliği vurgulanmakta, Kali Linux ve sızma testi araçları kullanılarak sızma testi sürecinin temel adımları, ilgili adımların planlanma süreci ve hedeflenen sisteme yönelik saldırı senaryolarının gerçekleştirilmesi gösterilmektedir.

Sızma testlerinin etik kurallara uygun şekilde yapılması, hedeflenen sistemlere zarar vermek yerine güvenlik açıklıklarının ortaya çıkarılmasını hedeflemektedir. Çalışmamızda, sunulan deneysel gösterimler ve sızma testleri etik ve yasal konular dikkate alınarak yalnızca yasal izinler dahilinde ve hedef sistem sahibinin izniyle gerçekleştirilmelidir ve sunulan saldırı senaryoları ve kullanılan araçlar, sadece sızma testi amaçlı olarak belirlenen sistem üzerinde kullanılmalıdır. Ayrıca, sızma testlerinin sonuçları ve bulguları, hedef sistemin yönetici ve ilgili güvenlik ekipleriyle paylaşılmalıdır. Böylelikle, güvenlik açıklıkları tespit edilebilir ve gelecekteki saldırılara karşı etkili önlemlerin alınması sağlanabilir.

Sızma testlerine ek olarak; şifreleme, güvenlik duvarı kuralları, erişim kontrolleri ve diğer güvenlik önlemleri gibi önleyici güvenlik önlemlerinin de önemli olduğu unutulmamalıdır. Bu önlemler, potansiyel saldırıların engellenmesine ve sistemin güvenliğinin artırılmasına yardımcı olmaktadır (Altulaihan ve ark., 2023). Parola saldırıları, genellikle oturum açma bilgilerini ele geçirme veya yetkisiz erişim elde etme amacıyla ve Brute Force saldırıları, sözlük saldırıları, karma tablosu saldırıları gibi yöntemlerle gerçekleştirilmektedir.

Sonuç olarak, Kali Linux ve sızma testi araçlarının kullanımı siber güvenlik alanında çalışan uzmanlar için önemli bir yere sahiptir. Ancak, bu araçların dikkatli ve etik bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Sızma testlerinin amacı, güvenlik açıklıklarını belirlemek ve sistemlerin güvenliğini artırmaktır. Sızma testlerinin yasal ve etik kurallara uygun olarak gerçekleştirilmesi ve sonuçların doğru şekilde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Sistem güvenliği, güncel ve güvenli yazılımların kullanılması, zayıf noktaların düzenli olarak tespit edilmesi ve uygun önlemlerin alınması ile sağlanabilir. Sızma testleri, sistemlerin güvenlik açıklarını belirlemek ve açıkları kapatmak için etkili bir yöntemdir. Böylelikle, sistem yöneticileri ve güvenlik uzmanları sistemlerindeki güvenlik açıklarını tespit edebilmekte ve gerekli önlemleri alarak sistemlerinin güvenliğini arttırabilmektedir.

Tablo 1. OWASP en önemli 10 web uygulaması güvenliği riskleri

Sıralama	Risk	Açıklama
1	Enjeksiyon (<i>Injection</i>)	Kötü niyetli kullanıcıların veri tabanına veya komuta girmesine izin veren hatalı giriş denetimi
2	Kırık Kimlik Doğrulama (<i>Broken Authentication</i>)	Kimlik doğrulama ve oturum yönetimi zafiyetleri
3	Hassas Veri Açığa Çıkarma (<i>Sensitive Data Exposure</i>)	Hassas verilerin gereksiz yere açığa çıkması veya korunmaması
4	XML Harici Varlık Saldırısı (<i>XML External Entity, XXE</i>)	Kötü amaçlı XML dokümanları kullanarak saldırı yapma yeteneği
5	Kırık Erişim Denetimi (<i>Broken Access Control</i>)	Kullanıcıların yetkilendirmeden kaçma veya yetkilerini yükseltme riski
6	Yanlış Güvenlik Yapılandırması (<i>Security Misconfiguration</i>)	Uygulama, sunucu veya veritabanı yanlış yapılandırıldığında ortaya çıkan riskler
7	Siteler Arası Betik Çalıştırma (<i>Cross-Site Scripting, XSS</i>)	Kötü niyetli kodların tarayıcılarda çalışmasına izin veren hatalı giriş denetimi
8	Güvensiz Serileştirme (<i>Insecure Deserialization</i>)	Serileştirme işleminin güvensiz kullanılması sonucu oluşan risk
9	Bilinen Güvenlik Açıkları Bulunan Bileşenlerin Kullanılması (<i>Using Components with Known Vulnerabilities</i>)	Güvenlik açıkları içeren üçüncü taraf bileşenlerin kullanılması
10	Yetersiz Günlükleme ve İzleme (<i>Insufficient Logging & Monitoring</i>)	Olayların ve hataların yeterince günlüklenmemesi veya izlenmemesi

Açık Web Uygulama Güvenliği Projesi (Open Web Application Security Project, OWASP) tarafından belirlenen 2017 yılındaki en önemli 10 web uygulaması güvenliği riskini içeren sıralama Tablo 1’de sunulmaktadır. Bu liste, web uygulamalarının güvenliği ile ilgili en büyük tehditleri sıralamaktadır. Yıllara göre güvenlik risk açıklarının sıralaması değişmekte ve listeye yeni yöntemler eklenmektedir. Örneğin, 2021 yılında Enjeksiyon (*Injection*) yöntemi üçüncü sıraya gerilerken Kırık Erişim Kontrolü (*Broken Access Control*) birinci sıraya gelmiştir. Çalışmamızda SQL saldırısı örneği uygulaması ile web

uygulamasındaki en büyük güvenlik açıklıklarından birinin uygulanması gösterilmiştir. Bu çalışmayla birlikte OWASP benzeri güvenlik açıklık listelerinin takip edilmesi ve bunlara sistemlerde önlem alınmasının önemi gösterilmektedir.

Çalışmamızın amacı, siber güvenlik alanında çalışmak isteyen araştırmacılar için bir kılavuz niteliğindedir. Çalışmada, Ubuntu 14.04 üzerinde Baby Gekko web sunucusu kullanılan bir hedef sisteme Kali Linux ve Kali Linux'te bulunan sızma testi araçları kullanılarak bir saldırı gerçekleştirilmiştir. Saldırı sürecinde, farklı araçlar ve teknikler kullanılarak hedef sisteme yetkisiz erişim sağlanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel saldırı sonucunda, hedef sistemde kullanılan sunucunun güvenlik açıkları tespit edilmiş ve zafiyetlerin saldırı olarak kullanılabilceği gösterilmiştir.

Sonuç olarak, yapılan çalışmada gerçekleştirilen saldırı örneği, siber güvenlik bilincini arttırmanın ve güvenlik önemlerini güçlendirmenin önemini göstermektedir. Çalışma ile alanda çalışmak isteyen araştırmacılara yönelik rehber bir kaynak sunulması hedeflenmiştir.

Sızma testleri, hedef sistemlerin güvenliğini sağlamak için önemlidir. Ancak, ilgili çalışmaların yasal ve etik kurallara uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Sistem yöneticileri, güvenlik açıklarını tespit etmek ve düzeltmek için düzenli olarak sızma testlerin, yürütmeli ve güncel güvenlik önemlerini uygulamalıdır. Güvenlik açıklıkları, sürekli bulunan açıklıklar ve geliştirilen teknolojiler ile birlikte sürekli değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, risklerle başa çıkmak ve uygulamaları daha güvenli hale getirmek için gelecekteki çalışmalarımızda güncel OWASP riskleri ve bu riskleri gerçekleştiren çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

Altulaihan EA, Alismail A, Frikha M., 2023. A Survey on web application penetration testing. Electronics, 12(5): 1229.

Cewl. <https://www.kali.org/tools/cewl> (Son Erişim: 01 Şubat, 2024).

Cisar P, Pinter R., 2019. Some ethical hacking possibilities in Kali Linux environment. Journal of Applied Technical and Educational Sciences, 9(4): 129-149.

Gunawan TS, Lim MK, Zulkurnain NF, Kartiwi M., 2018a. On the review and setup of security audit using Kali Linux. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 11(1): 51-59.

Gunawan TS, Lim MK, Kartiwi M, Malik NA, Ismail N., 2018b. Penetration testing using kali linux: SQL injection, XSS, Wordpres, and WPA2 Attacks. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 12(2): 729-737.

Kissi MK, Asante M., 2020. Penetration testing of IEEE 802.11 encryption protocols using Kali Linux Hacking Tools. International Journal of Computer Applications, 176: 32.

Lu HJ, Yu Y., 2021. Research on wiFi penetration testing with kali linux. Complexity, 2021: 5570001.

Ripper. John the Ripper password cracker. <https://www.openwall.com/john> (Son Erişim: 01 Şubat, 2024).

Şentürk MY., 2018. Güncel siber saldırı yöntemleri, sızma testi araçları ve temsili bir kurumsal ağ üzerinde uygulaması. Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, s.16.

Vouteva S., 2015. Feasibility and deployment of bad USB. System and Network Engineering Master Research Project, University of Amsterdam, 1-17.

OWASP. OWASP Top 10 Vulnerabilities. <https://owasp.org/www-project-top-ten> (Son Erişim: 01 Şubat, 2024).

 Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi Cilt 4, Sayı 1, 227-250, 2024	Journal of Kadirli Faculty of Applied Sciences Volume 4, Issue 1, 227-250, 2024  UYGULAMALI BİLİMLER FAKÜLTESİ DERGİSİ JOURNAL OF FACULTY OF APPLIED SCIENCES
Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi	Journal of Kadirli Faculty of Applied Sciences

Yalıtım Amaçlı Kullanılan Taşyünü Levhaların Üretim Aşamalarının İncelenmesi ve İSG Açısından Değerlendirilmesi

İsmail KÖSELİ¹, Belkis ZERVENT ÜNAL²

^{1,2}Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Adana

¹<https://orcid.org/0009-0003-6071-8815>

²<https://orcid.org/0000-0001-8591-2217>

*Sorumlu yazar: belzer@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 03.10.2023

Kabul tarihi: 22.01.2024

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler:

İş sağlığı ve güvenliği

Taşyünü üretimi

Riskler

Önlemler

KKD

ÖZ

Çalışma kapsamında Türkiye’de üretim yapan seçilmiş bir taşyünü üretim tesisinin iş sağlığı ve güvenliği yönünden değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla ülkemiz için ticari anlamda büyük öneme sahip bir işletmede, yerinde ziyaretler ve işletme bünyesinde çalışan teknik personel ile iş güvenliği uzmanlarıyla detaylı görüşmeler yapılmıştır. Bu incelemeler sonucunda, çok tehlikeli sınıfa giren bu tesisin mevcut riskler, kullanılan kişisel koruyucu donanımlar vb. açılarından değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca riskleri ortaya koymak için üretim aşamaları detaylı olarak ele alınmış ve en büyük risk faktörlerinin hangi üretim aşamalarında/hangi bölümlerde olduğu irdelenmiştir. Buna göre taşyünü üretim tesislerindeki kimyasal risk faktörlerinin en önemlisinin karbonmonoksit zehirlenmesi olduğu, en önemli fiziksel risklerin ise yüksek sıcaklıkta üretim yapmaktan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Examination of the Production Stages of Rockwool Boards Used for Insulation Purposes and Evaluation in Terms of OHS

Research Article

Article History:

Received: 03.10.2023

Accepted: 22.01.2024

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Occupational health and safety

Rockwool production

Risks

Precautions

PPE

ABSTRACT

Within the scope of the study, it is aimed to evaluate a selected stone wool production facility in Turkey in terms of occupational health and safety. For this purpose, on-site visits and detailed interviews were made with the technical personnel and occupational safety experts working in an enterprise of great commercial importance for our country. As a result of these examinations, the current risks, the personal protective equipment used, etc. aspects were evaluated. In addition, the production stages are discussed in detail in order to reveal the risks. As a result of the evaluations, it has been determined in which production stages/in which sections the biggest risk factors are in a rock wool production facility.

To Cite: Köseli İ, Zervent Ünal B., 2024. Yalıtım amaçlı kullanılan taşyünü levhaların üretim aşamalarının incelenmesi ve İSG açısından değerlendirilmesi. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 227-250.

Giriş

Günümüzde enerji dünya ülkelerinin en önemli gündem maddelerinden birisidir. Hızla artan insan nüfusu ile doğru orantılı olarak enerji tüketimi de hızla artmaktadır. Ancak dünya

üzerindeki mevcut kaynaklar da aynı hızla tükenmektedir. Bu sebepten enerji günümüzde çok değerli bir hal almıştır. Birçok ülke yenilenebilir enerji kaynaklarına önemli kaynaklar ayırmaktadır, elektrikli araçların yaygınlığı hızla artmaktadır, güneş enerji panelleri ile enerji üretilmesi yaygınlaşmaktadır.

Ülkemiz de enerjinin büyük bir kısmını ithal eden ülkelerden biri olarak, yıllık enerji tüketim miktarının artması ile birlikte ithalatı artmakta ve cari açığı çoğalmaktadır. Artan enerji maliyetlerinin cari açığa olumsuz etkileri hemen hemen bütün ekonomistler tarafından dile getirilmektedir.

Türkiye’de kullanılan enerjinin büyük bir bölümü de konutlarda kullanılmaktadır. Bu enerjinin yaklaşık dörtte üçü ısıtma ve soğutma için harcanmaktadır (<https://www.dtkdergisi.com/2022/03/14/binalarda-tuketilen-enerjinin-yuzde-80i-isitma-ve-sogutma-amacli-tuketiliyor/>).

Isı yalıtımsız binalarda ısıtma ve soğutma için harcanan enerjinin büyük kısmı dış cepheler üzerinden kaybolmaktadır. Isı yalıtımı iç ortamdaki ısının dışarıya kaçmasını engelleyerek enerji tasarrufu sağlamaktadır. Sadece kış aylarında değil, yaz aylarında da dış ortamdaki sıcak havanın içeriye girmesini engellemektedir. Bina içlerinde dengeli ısı dağılımı yaratarak insanların yaşamına elverişli konforlu ortamlar oluşturmakta ve konutlarda %50’ye varan enerji tasarrufu sağlamaktadır (Akıncı, 2007).

Taşyünü, üstün ısı yalıtım özellikleri, ısıya karşı direnci, yüksek sıcaklıklarda yangın direnci, yüksek ses tutma performansı, korozyon ve paslanma dayanımı sayesinde önemli yalıtım malzemelerinden biridir. Taşyünü 0,035 W/mK ısı iletkenlik değeri ile önemli ölçüde yüksek ısı iletkenlik değerine ($0,035 \leq \lambda \leq 0,040$ W/mK) sahip bir ısı yalıtım malzemesidir (TS 825, 2008). Yüksek ısılara ve rutubete karşı dayanıklıdır. Kullanım sıcaklığı -50/+650 °C aralığındadır (Dikici ve Kocagül, 2019).

Taşyünü levha, şilte ve boru olarak üretilmektedir. Çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Bunlar aşağıda belirtilmiştir:

- Binaların çatılarında ısı yalıtımı için kullanılmaktadır.
- Bölme duvarlarda ısı ve ses yalıtımı için kullanılmaktadır.
- Dış cephelerde ısı yalıtımı için kullanılmaktadır.
- Eğimli çatılarda dolgu malzemesi olarak ses ve ısı yalıtımı için kullanılmaktadır.
- Fırınlarda ısı yalıtımı için kullanılmaktadır.
- Eğlence mekanlarının ve sinemaların ses yalıtımında kullanılmaktadır.
- Gemi inşaatlarında kullanılmaktadır.
- Flexible hava kanalları borularında kullanılmaktadır.

- Tesisat yalıtımında kullanılmaktadır.
- Pasif yangın durdurucu sistem uygulamalarında kullanılmaktadır.
- Ses yalıtımında kullanılmaktadır.

Yükselen enerji fiyatları, enerji tasarrufunu çok önemli bir seviyeye getirmiştir. Enerjinin yaklaşık %37'si yaşanan binalarda kullanılmakta, bunun da dörtte üçü binaları ısıtmak ve soğutmak için harcanmaktadır. Bu sebepten binalarda dış cephe ısı yalıtımının önemi çok büyüktür. 2018 yılsonu itibariyle kamu binalarında ve 2020 yılsonu itibariyle de tüm yeni binalarda yaklaşık sıfır enerjili binalar (NSEB) zorunlu hale getirilmiştir (Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı, 2016).

Avrupa Birliğinde Enerji Verimliliği Direktifi (2012/27/EU) 2012 yılında yürürlüğe konulmuştur. Ekim 2014 yılında Avrupa Konseyi 2030 yılına kadar enerji verimliliğini Avrupa seviyesinde en az %27 artırılması hedefini koymuştur.

Ülkemizde son yıllarda konutlarda dış cephe mantolamada kullanımı artış göstermiştir. 2015 yılında 2015/7401 karar sayılı “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ile binaların dış cephelerinde kullanılan malzemeler binaların yüksekliğine bağlı şekilde değişiklik göstermektedir. Dış cephelerde kullanılan malzemeler, yüksekliği 28,5 metreden fazla olan binalarda zor yanıcı malzemedir, diğer binalarda ise en az zor alevlenici malzemedir olması gereklidir (<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=200712937&MevzuatTur=21&MevzuatTertip=5>, 2022). Bu yönetmelik ile birlikte ülkemizde dış cephelerde zor yanıcı malzeme olarak sınıflandırılan taşıyıcı kullanımı ve buna bağlı olarak üretimi oldukça artmıştır.

Çalışma kapsamında taşıyıcı levha üretim aşamalarının detaylı olarak incelenmesi ve taşıyıcı üretim tesislerinin iş sağlığı ve güvenliği yönünden değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla Türkiye’de faaliyet gösteren seçilmiş bir taşıyıcı üretim tesisine yerinde ziyaretler gerçekleştirilmiş, gözlemler yapılmış, sorumlu iş güvenliği uzmanlarıyla detaylı görüşmeler yapılmış, konuyla ilgili işletmedeki mevcut uygulamalar incelenmiş ve durum tespiti yapılarak önerilerde bulunulmuştur. Bu kapsamda öncelikle detaylı bir literatür taraması yapılmış olup ulusal ve uluslararası literatür tarandığında konuyla ilgili olarak ulaşılan bazı yayınlar aşağıda kısaca özetlenmiştir. Çalışmaların genellikle taşıyıcı yalıtım malzemelerinin performanslarının değerlendirilmesine yönelik olduğu görülmüş olup, taşıyıcı üretim aşamalarının irdelendiği ve söz konusu tesislerin iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından detaylı olarak değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Lipworth ve ark., (2009)’nın Journal of Occupational and Environmental Medicine Dergisinde yayımlanan makalesinde taşıyıcı ve camyünü maruziyetinden kaynaklanan

akciğer ve beyin kanser risklerinin analizi yapılmıştır (Lipworth ve ark., 2009). Eroğlu (2015)'nin yaptığı araştırmada, bir organize sanayi bölgesinde plastik mamul üretimi yapan işletmelerde İSG sorunları incelenmiştir. Aykaş (2018) tarafından yapılan çalışmada, endüstri tesislerinde kapalı alanlarda yapılan çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği riskleri ve güvenli çalışma sistemleri incelenmiştir. Araştırmanın temel amacı; kapalı alanda gözle görülmeyen tehlikelerin (zehirleyici ve boğucu gazlar) termal şartlardan etkilenmesi ve bu tehlikelerden korunmanın yollarının incelenmesidir. Yiğitalp Rençber (2019) tarafından yapılmış olan araştırmada, “Bir Tekstil Fabrikasında Çalışan İşçilerin İş Sağlığı ve Güvenliği Konusundaki Bilgi Düzeyleri ve Sağlık Risklerinin Değerlendirilmesi” konu başlığı altında inceleme yapılmıştır. Bu araştırmanın amacı, bahsi geçen fabrikadaki çalışanların İSG bilgi düzeylerini belirlemek ve işyerindeki tehlike ve riskleri tespit edip değerlendirerek öneriler geliştirmektir. Yörükoğlu ve arkadaşlarının “Construction and Building Materials” dergisinde yayınlanan makalesinde, Taşyünü üretiminde bor kullanılabilirliği araştırılmıştır. Taşyünü üretimi için bor ilavesinin bazalt ve bazalt-dolomit karışımlarına etkisi test edilmiştir. Eriyiklerin erime sıcaklıkları ve viskoziteleri belirlenmiş, bor ilavesinin etkisini bulmak için bazı numuneler üzerinde çeşitli analizler yapılmıştır (Yörükoğlu ve ark., 2020).

Aksoy (2021) tarafından yapılan araştırmada, Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyetini sürdüren bir mobilya üretim tesisinde, mobilya sektöründe meydana gelebilecek iş kazası ve meslek hastalıklarına ilişkin faktörler incelenmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında işyerindeki mevcut tehlikeler ile bunlara ait riskler belirlenerek, risk değerlendirme çalışması yapılmıştır.

Arslan ve Aydın (2023)'in yaptıkları çalışmada, elyaf takviyeli polimer (FRP) donatılı betonarme yapı elemanlarında farklı yangın yalıtım malzemelerinin ve beton dayanımının sıcaklık geçişlerine etkilerini deneysel çalışmalar ile belirlemişlerdir. Ortam sıcaklığının beton yüzeyine etkisinde taş yünü %13 oranında sıcaklık geçişine izin verirken bu değer cam yününde %22 ve kırmızı alçıpanda %26 oranında gerçekleşmiştir. Fertelli (2019) tarafından yapılan çalışmada çeşitli akustik süngerlerin, EPS, XPS, cam yünü ve taş yünü malzemelerinin ses yalıtım özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. 0,05 m kalınlığındaki yalıtım malzemeleri 0,5 m × 0,5 m × 0,5 m boyutlarındaki bir kutu içerisine yerleştirilmiştir. İç ortamda 80 dB, 100 dB ve 110 dB değerlerinde gürültü oluşturulmuştur. Deneyler sonucunda taş yünü ve cam yünü gibi lifli malzemelerin ses yalıtımı açısından diğer yalıtım malzemelerinden daha etkin olduğu görülmektedir.

Dikici ve Kocagül (2019) çalışmalarında farklı türden yalıtım malzemelerinin (EPS, XPS, Taş Yünü) ısı transferine etkisini ve kullanılabilirliklerini incelemişlerdir. En iyi

sonuçlar taşyünü kullanımıyla elde edilmiş olup taşyününü sırasıyla XPS ve EPS takip etmektedir. İlgürel ve şerefhanoğlu Sözen (2005) tarafından yapılan çalışma kapsamında, gürültü düzeyleri değişik nitelikteki sanayi kuruluşlarında, yerinde gürültü ölçümleri ve anket çalışması yapılmıştır. Ölçmelerde, Bruel & Kjaer Precision Integrating Sound Level Meter (type 2236) ölçme aleti kullanılmıştır. En yüksek gürültü düzeyi Taşyünü Üretim Tesisinde 117,3 dBA olarak ölçülmüştür. Özgüven (2015) tamamladığı tez çalışmasında, EPS, XPS ve taş yünü yalıtım levhalarının sıva ile kaplı durumdayken, fiziksel ve mekanik özelliklerini, ısı geçirgenlik katsayılarını, yangın durumunda oluşan yangın hasarı vb. özelliklerini incelemiştir. Yangın dayanımı açısından en iyi yalıtım levhasının taş yünü olduğu; yangın önlemleri alındığında ise mekanik etkiler açısından XPS yalıtım levhasının en iyi performansı gösterdiği tespit edilmiştir.

Materyal ve Metod

Çalışma taşyünü üretim aşamalarının İSG yönünden incelenmesini içermektedir. Belirlenen tesis; üretim aşamaları, iş sağlığı ve güvenliği prosesleri ve uygulamaları üzerine detaylı şekilde incelenmiştir.

Bu kapsamda ölkemizde faaliyet gösteren bir taşyünü üretim tesisi seçilmiş ve çalışma bu tesis özelinde sürdürölmüştür. Öncelikle seçilmiş olan taşyünü üretim tesisi hakkında, yerinde ziyaretler ile detaylı şekilde araştırma yapılmış, tesis hakkında bilgiler toplanmıştır. Tesisin üretim aşamaları adım adım incelenmiş ve üretilen ürünün özellikleri ortaya konulmuştur.

Ardından taşyünü üretim tesisi iş sağlığı ve güvenliği yönünden araştırılmış, iş sağlığı ve güvenliği prosesleri incelenmiştir. Tesiste alışan iş güvenliği uzmanları ile görüşmeler yapılmıştır. Uzmanlarla yapılan görüşmelerde tesisteki var olan riskler/tehlikeler ve bunlara karşı alınan önlemler belirlenmiştir. Risklerin iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelemesi yapılmıştır.

Bulgular

Taşyünü Levha Üretim Aşamaları

Taşyünü, doğada bulunan volkanik kayalardan elde edilen mineral, inorganik taşların 1500 °C de eritilip, elyaf haline gelmesiyle oluşturulan ve % 98 oranında doğal elyaf içeren yalıtım (ısı-ses-yanđın-nem) malzemesidir. Taşyünü üretimi 10-14 günlük periyotlar halinde uygulanmaktadır. Üretim periyodu sonrası sistem yaklaşık olarak 20 saat durdurularak temizlik ve bakım çalışması yapılmaktadır (Doğru ve Pulat, 2020).

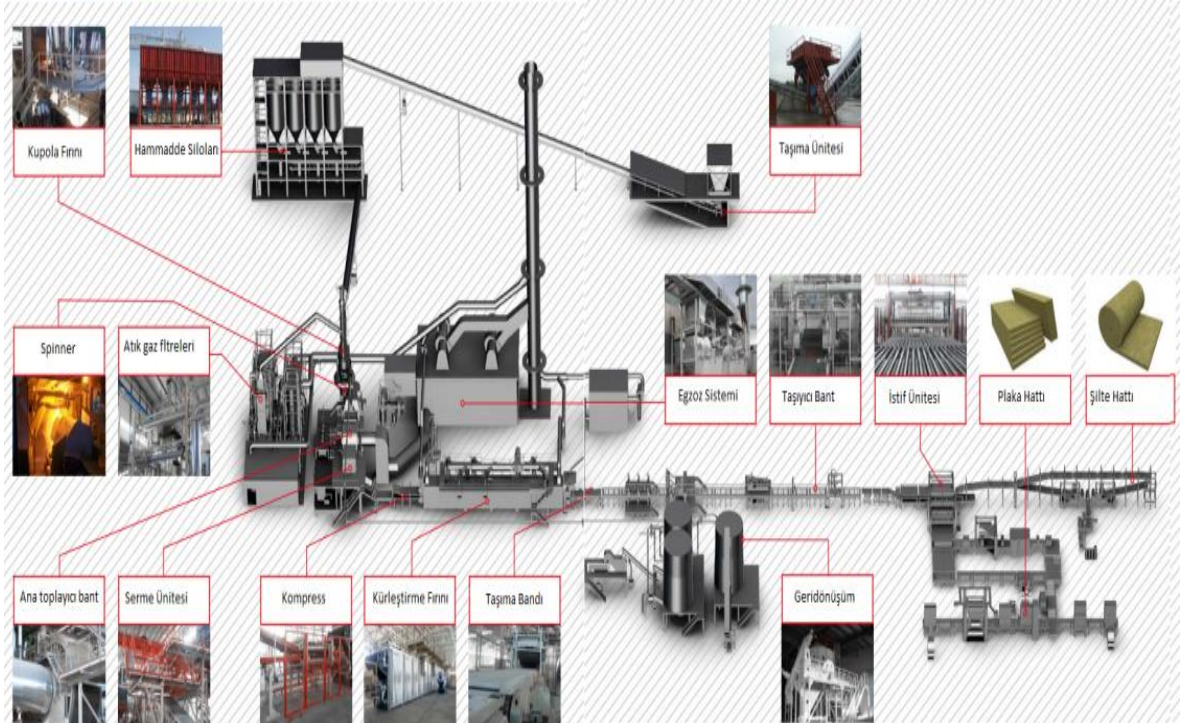
İlk olarak hammadde silolarına alınan bazalt ve dolomit maddeleri, belirlenen oranlarda silolardan çekilerek kupola fırınına aktarılır. Kupola fırınında kömür ateşi ile sağlanan sıcaklıkta, belirli oranlarda çekilen hammaddeler yaklaşık 1500 °C de eriyik haline getirilir ve yüksek hızda dönen spinner'lara aktarılır. Spinner üzerindeki nozzle lardan, fiberleşmiş bazalt üzerine bağlayıcılar püskürtülür.

Spinner'dan lifler halinde çıkan hammaddeler ana toplayıcı bant üzerine serilir. Ürünler taşıyıcı bant yardımı ile kürleştirme fırınına taşınır. Taşyününün yoğunluğu bu bandın hızına göre belirlenir. Kürleştirme fırınında bağlayıcılar çapraz bağ yaptırılarak inert hale getirilir. Ürünün su iticiliği, mukavemeti, esnekliği gibi birçok özelliği burada kazandırılır.

Bu aşamadan sonra taşyünü, enine kesim hattına alınarak belirlenen boyutlara göre kesilir ve bu aşamadan sonra kullanıma hazır hale gelen ürün, paketleme hattına alınır. Paketleme hattında belirlenen ölçülerde ve kalınlıklarda üretilen taşyünü paketlenerek sevkiyata hazır hale getirilir.

Tesiste taşyünü üretimi sırasında tüm sistem dijital olarak takip edilmekte; prosesin her bölümünde üretim şartlarının ve nihai ürünün istenilen koşullarda olması sağlanmaktadır.

Şekil 1'de bu aşamalar detaylı olarak açıklanmıştır (Seçilmiş Taşyünü Üretim Tesisi, 2022).



Şekil 1. Taşyünü üretim aşamaları

Hammaddeler

Taşıyünü bazalt ve dolomit gibi inorganik volkanik kayaçların yüksek sıcaklıklarda eriyik haline getirilmesi ile üretilmektedir. Taşıyününün ana hammaddeleri Şekil 2’de görülen bazalt ve dolomit gibi inorganik volkanik kayaçlardır.

Spinner aşamasında eriyik haline getirilen inorganik volkanik kayaçların bir araya getirilmesi için fenolik reçine türünde bir bağlayıcı kullanılmaktadır. Bu aşamada taşıyününe katılan kimyasallarından diğeri de su iticilik özelliği veren hidrofob katkı malzemesidir. Fenolik reçine ve hidrofob katkı, taşıyününün kimyasal hammaddelerindendir.

Taşıyünü üretimi için en önemli etken inorganik kayaçların eriyik haline getirilmesi için gerekli olan sıcaklıktır. Bu sıcaklık, kesintiye uğramaması, sürekli ve devamlı olarak aynı kaliteli sıcaklığı sağlayabilmesi için kömür kullanılarak sağlanmaktadır. Taşıyünü hammaddelerinden birisi de kömürdür.



Şekil 2. Bazalt ve dolomit (Seçilmiş Taşıyünü Üretim Tesis, 2022)

Hammadde Siloları ve Taşıyıcı Bant

Taşıyünü üretimi için gerekli bazalt ve dolomit inorganik volkanik kayaçları, kimyasal hammaddeler olan fenolik reçine ve hidrofob katkı maddesi, kayaçları eriyik haline getirmek için gerekli ısıyı sağlayacak kömür ayrı ayrı olacak şekilde farklı silolarda depolanır.

Bu hammaddelerin Şekil 3’te verilen silolardan tesis içerisindeki kupola fırınına taşınması Şekil 4’te görülen taşıyıcı bantlar ile gerçekleştirilir.

Hammadde silolarına alınan hammaddeler arasından üretim için en uygun olanlar seçilir. Hammadde silolarında hammaddelerin seçilerek kullanılması; ürünlerdeki kaliteyi önemli ölçüde etkiler. Bazalt ve dolomit hammaddelerinin üretime en uygun olanlarının seçimi; ürünün lif uzunluğunu, lambda (λ) değerini, hammadde içerisindeki geri dönüşüm miktarını etkiler. Hammadde silolarından alınan bazalt ve dolomit maddelerinin büyük olanları, üretime uygun kullanılacak olanlardan ayrılır.



Şekil 3. Hammadde siloları



Şekil 4. Taşıyıcı bant

Kupola Fırını

Kupola fırını, kömür ateşi yardımı ile inorganik volkanik kayaların eriyik haline getirildiği bölümdür. Bu bölümde sıcaklık, bir volkanın sıcaklığı kadar olan yaklaşık 1500 °C'ye yükselir. Bu sıcaklık sayesinde inorganik volkanik kayalar bazalt ve dolomit ergimeye bırakılır. Hammaddeler bu aşamada eriyik haline getirilerek, bir sonraki proses olan yüksek hızda dönen spinnerlara aktarılır (Şekil 5).

Bu aşamada eriyiğin homojenliği ve fırının iç basınç stabilizasyonu doğrudan ürün kalitesine etki eder. Ürünün lif boyu, elyaflaşmamış lif oluşumu ve malzeme performansının homojenliği bu detaya bağlıdır. Eriyiğin homojen bir yapısının oluşması için; hammaddelerin en uygun olanlarının seçilmesi ve ısı enerjisini sağlayan kömürlerin kalitesinin yüksek olması ve sürekli aynı ısıyı sağlaması çok önemlidir. Kupola fırınının iç basınç stabilizasyonu ise, fırının tasarımı aşamasında dikkat edilmesi gereken ve sonrasında üretilen ürün kalitesine etki eden bir durumdur (Seçilmiş Taşyünü Üretim Tesisi, 2022).



Şekil 5. Kupola fırını

Spinner

Kupola fırınında eriyik haline getirilen hammaddeler, fırının orta alanında bulunan akış kanalından yüksek hızda dönen spinnerların üzerine aktarılır (Şekil 6). Spinnerlar yüksek

devir/dakika hızda dönen disklerdir. Bu bölümde eriyik haline gelen hammadde disklerin dönmesi sonucu oluşan merkezkaç kuvveti yardımı ile lif haline gelir.

Oluşan bu liflere spinner üzerindeki nozzle elemanlarından bağlayıcılar püskürtülerek, liflerin bir arada stabil olarak durması sağlanır. Bağlayıcının her bölgeye homojen ve yeterli miktarda katılması üretilcek ürünün kalitesi açısından çok önemlidir. Üretilcek ürünün çeşidine göre kullanılan bağlayıcı değişiklik göstermektedir. Bu aşamada taşıyıcıya hidrofob özelliği verecek kimyasallarda uygulanmaktadır.

Spinner bölümünde bulunan diskler ve spinnerın belirli bir çalışma ömrü vardır. Bu süreç sonrasında bu bölümdeki diskler ve spinner değiştirilmektedir.



Şekil 6. Spinner

Toplayıcı Bant / Silindir

Spinnerda lif haline gelen hammaddeler, üzerlerine püskürtülen bağlayıcıların yardımı ile bir araya gelerek bir bant üzerine serilirler. Ana toplayıcı bant üzerinde toplanan lifler, hareket eden taşıyıcı banda alınır. Birim zamanda toplayıcı bantta biriken lif miktarı yoğunluk homojenizasyonunu etkiler. Bu bandın silindirik bir yapısı olduğundan silindir olarak da isimlendirilir. Şekil 7’de bu bandın üzerine serilmiş taşıyıcı ile birlikte görünümü bulunmaktadır.



Şekil 7. Toplayıcı bant / silindir

Taşıyıcı Bant / Basınç Ünitesi

Toplayıcı bantta toplanan lifler, belirli bir hızda ilerleyen taşıyıcı bant yardımı ile kürleştirme fırınına taşınır. Bu aşamada ürünün yoğunluğu belirlenir. İstenilen ürün yoğunluğuna göre taşıyıcı bandın hızı ayarlanır ve üzerine serilen lif miktarı buna göre değişir.

Taşıyıcı banda birim zamanda serilen lif miktarı eşit olmalıdır, aksi takdirde heterojen yapıda bir ürün elde edilir. Bu da ürünün kalitesini olumsuz etkiler. Ayrıca beklenen yoğunluk elde edilirken istenilen hassasiyette çalışılmazsa tolerans dışı yoğunlukta ürün elde edilir. Şekil 8’de taşıyıcı bandın dışarıdan görünümü yer almaktadır.



Şekil 8. Taşıyıcı bant / Basınç ünitesi

Kürleştirme Ünitesi / Kürleştirme Fırını

Spinnerdan çıkan lifler taşıyıcı bant yardımı ile kürleştirme fırınına getirilir. Her bölümü ayrı sıcaklıklara ayarlanmış kürleştirme fırınında çapraz bağların oluşması sağlanır. Fırın içi sıcaklık yaklaşık 230 – 250 °C’dir. Kürleştirme fırınında bağlayıcılar çapraz bağ yaptırılarak inert hale getirilir. Ürünün su iticiliği, mukavemeti, esnekliği gibi birçok özelliği burada kazandırılır.

Kürleştirme ünitesinin boyu, üretilen ürünün kalitesi için son derece önemlidir. Eğer bu ünitenin boyu yeterli uzunlukta değil ise, bağlayıcı kürleşmesi ve çapraz bağ yapabilmesi için gerekli süreyi bulamayacağından bu işlemleri yapmadan ya da eksik yaparak fırından çıkar. Bu da ürün kalitesini olumsuz etkileyen ve aynı zamanda ürünün mekanik değerlerinin istenilenden düşük çıkmasına neden olan, üründe dağılmalar/kopmalar meydana getirebilecek durumlar yaratmaktadır.

Bu üretim aşamasında üründe iki büyük sorun oluşabilmektedir. Bunlar; “wet spot” denilen fırından kurumamış ıslak ürün çıkması ve “hot spot” denilen fırından kürlenmemiş lav

halindeki ürünün çıkmasıdır. Bu iki sorun, özel sistemlerle dijital ortamda denetlenerek engellenmeye çalışılmaktadır.

Kürleştirme ünitesinde, sıcak plakalar arasında ürüne istenilen kalınlık verilmektedir. Kalınlık toleransı istenilen hassasiyette değilse uygulamada ondülasyonlar (üründe kıvrılmalar) gerçekleşir. Şekil 9’da kürleştirme fırını görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 9. Kürleştirme ünitesi / Kürleştirme fırını

Yatay Kesim Ünitesi

Kürleştirme ünitesinden çıkan taşıyıcı, ölçüleri dışında artık kullanıma hazır hale gelmiştir. Üretilen taşıyıcının istenilen ölçülerde kesilmesi ve kullanıma hazır hale gelmesi gerekmektedir. Tesiste belirlenen ölçülerde üretilen taşıyıcı, yatay kesim hattında bu ölçülere sahip olması için kesilir (Şekil 10). Ürünün en ve boyunda oluşabilecek boyutsal sapmalar birçok uygulama problemine sebep olur.



Şekil 10. Yatay kesim ünitesi

Trimming Ünitesi

Yatay kesim ünitesinde kesimi yapılan taşıyıcı, trimming ünitesinde kırma işlemi yapılarak yüzey ve şekilsel bozuklukları giderilir (Şekil 11). Taşıyıcının yüzey düzgünlüğü uygulama açısından önemlidir.



Şekil 11. Trimming ünitesi

Testere Hattı / Dikey Kesim

Yüzey bozuklukları giderilen taşıyıcı, paketleme aşamasından önce son olarak dikey kesim testere hattına alınarak istenilen boyuta göre kesilir (Şekil 12). Daire testerelerin kesimdeki avantajı, malzemeyi neredeyse hiç talaşsız ve pürüzsüz kesmesidir. Farklı yoğunluktaki taşıyıcıları için, testere hattındaki testerenin bıçakları değiştirilebilir. Pürüzsüz kesici kenarlı bıçakların, tırtıklı taşlamalı bıçakların veya süreksiz kesimli bıçakların hangisinin kullanılacağı üretilen malzemenin yoğunluğuna göre belirlenir.



Şekil 12. Testere hattı / Dikey kesim ünitesi

İstifleme ve Paketleme Ünitesi

Kullanıma hazır hale gelen, yüzey düzgünlüğü sağlanan, istenilen ölçülerde kesilen ve gerekli kontrol aşamalarından geçen taşıyıcılar (Şekil 13), istifleme aşamasına ve sonrasında paketleme ünitesine gönderilir (Şekil 14). Üretilen ürünlerin sahadaki stoklama performansı düzgün paketleme ile doğru orantılıdır. Paket sağlamlığı ve paketleme şekli stok sahasında ürünün dayanımını ve muhafazasını kolaylaştırır.



Şekil 13. Taşıyıcı levhalar



Şekil 14. İstifleme ve paketleme ünitesi

Geri Dönüşüm Ünitesi

Bu aşamada, üretimden arta kalan malzemeler, tekrar üretime katılması amacı ile geri dönüşüm ünitesinde toplanır. Üretime katılabilecek olan malzemeler, kalite kontrolü yapıldıktan sonra tekrar üretim aşamalarına gönderilir.

Genel olarak atıklar üç farklı şekilde geri dönüşümde kullanılmaktadır. Atıklar, ilk olarak spinner üzerinden üretim hattına beslenmektedir. İkinci olarak formlama tamburu üzerinden tekrar hatta beslenmektedir. Üçüncü olarak da geri dönüşüm hattında öğütülerek briketlemeye gönderilmektedir. Şekil 15'te geri dönüşüm ünitesinin görüntüsü yer almaktadır.

Ayrıca bertaraf edilmesi gereken atıklarda bulunmaktadır. Bunlar; zararlı kimyasal atıklar ve taşıyıcı üretiminden çıkan atıklardır. Bu atıklar tesis dışından alınan hizmet ile toplanarak bertaraf edilmektedir.



Şekil 15. Geri dönüşüm ünitesi

Tesisin İSG Yönünden İncelenmesi

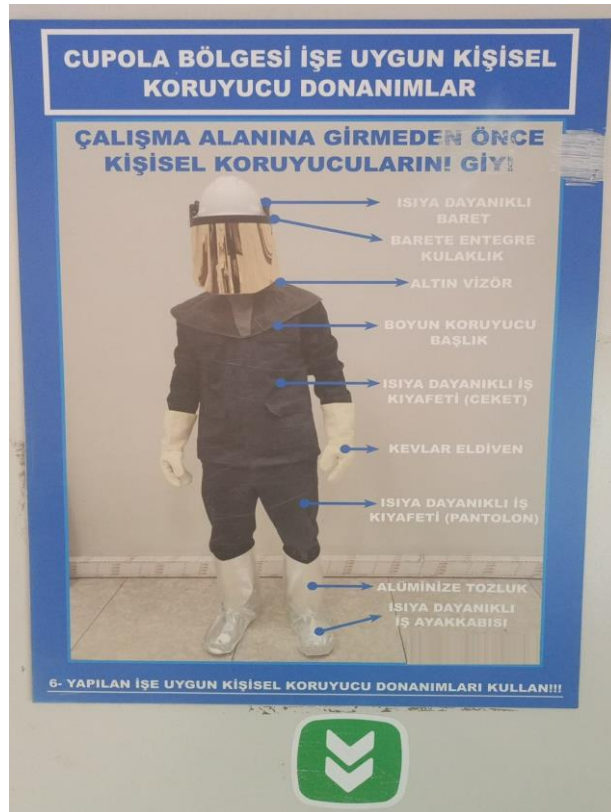
28539 sayılı ve 25.01.2013 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan “Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik” gereği (Madde 5) ülkemizde de asbest ve asbestli ürün üretimi ve bunların her türlü ticareti yasaklanmıştır (<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=17050&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>). Bunun sonucu olarak da asbeste alternatif taşıyıcı ürünleri yalıtım malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Taşıyıcı ürünü insan yapımı mineral lif grubuna girmektedir. Bu malzemelerin üretimi sırasında çalışanların maruziyet riskleri ortaya çıkmaktadır.

Taşıyıcı üretim tesislerinin işyeri tehlike sınıfı, 2012 yılında yayınlanan iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin tehlike sınıfları listesi tebliğine göre, çok tehlikeli işyeri olarak belirlenmiş olup bünyelerinde A sınıfı iş güvenliği uzmanı istihdam etmektedirler. İş sağlığı ve güvenliği prosesleri çok tehlikeli işyeri sınıfına uygun olarak belirlenmiştir.

Tesiste çalışan her personel, çalışma alanına bağlı olarak kişisel koruyucu donanım kullanmak zorundadır. Çalışma kapsamında incelenen tesiste kullanılan kişisel koruyucu donanım matrisi Tablo 1’de yer almaktadır. Şekil 16’da örnek bir iş elbisesi örneği görülmektedir.

Tablo 1. Tesiste kullanılan kişisel koruyucu donanımlar matrisi

NO	EKİPMAN	KULLANIM AMACI
1	Alev Almaz Pantolon Takım	Cupola Genel Kullanım
2	Alüminize Ceket Pantolon Takım	Cupola Acil Durum
3	Alüminize Tozluk	Cupola Acil Durum
4	Alüminize Eldiven	Cupola Acil Durum
5	Alüminize Başlık	Cupola Acil Durum
6	Beyaz Vidalı 150C Baret	Cupola Genel Kullanım
7	Vizörü Barete Takma Aparatı	Cupola Genel Kullanım
8	Altın Vizör	Cupola Genel Kullanım
9	U-Power Bulls Ayakkabı	Cupola Genel Kullanım
10	Emniyet Kemeri	Yüksekte Çalışma
11	Lanyard Çelik	Yüksekte Çalışma
12	Geri Sarımlı Düşüş Durdurucu 2 mt.	Yüksekte Çalışma
13	2 A Çelik Burunlu Çarık	Ziyaretçi kişisel koruyucu donanımları
14	3M 6800 Tam Yüz Maskesi	
15	Barete Takılabilir Kulaklık Optime I	Genel kişisel koruyucu donanımlar
16	Ventilli İnce Toz Maskesi	Genel kişisel koruyucu donanımlar
17	Siperlik İçin Baret Adaptörü-Plastik	Cupola Genel Kullanım
18	Siperlik pc Şeffaf 1.8 mm	Cupola Genel Kullanım



Şekil 16. Kupola firmı üretim aşaması işe uygun kişisel koruyucu donanımlar (Seçilmiş Taşyünü Üretim Tesisi)

Taşıyını üretim tesislerinde İSG açısından birçok risk ve tehlike bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki şekilde listelenebilmektedir:

- Karbonmonoksit zehirlenmesi
- Hidrojen patlaması
- Tozlu ortam maruziyeti
- Üretim hattında yüksek sıcaklıktaki lavların insanlara sıçraması
- Soğutma sistemi arızası
- Yangın riski.

Karbonmonoksit Zehirlenmesi

Kupola ocağı yani fırını yaklaşık 1500 °C sıcaklığa sahip inorganik volkanik kayaçların ergitildiği bir fırın sistemidir. Fırın için gerekli ısı kömürlerin yanması ile elde edilmektedir. Kömürler verimli olarak yanmaz ise karbonmonoksit gazı açığa çıkmaktadır. Kupola fırınında yaklaşık olarak 10000 – 15000 parts per million (PPM) karbonmonoksit gazı açığa çıkmaktadır.

Fırından çıkan bu gaz, havalandırma bacaları yardımı ile soğutma baca kulesine gönderilmektedir. Ancak havalandırma bacaları iyi çalışmıyorsa ve ocakta kaçaklar var ise karbonmonoksit gazı fırın dışına çıkmaktadır. Bu durum ortamda bulunan insanların karbonmonoksit gazını solumalarına ve maruziyet sınır değerlerinin aşılması sonucu zehirlenmeye hatta ölüme neden olabilmektedir.

Kupola fırınına hammadde beslemesi yapılan, fırının üst katında bulunan kapaklı sistemde kapağın tam kapanmaması sonucu karbonmonoksit gazı yine fırının dışına çıkabilmektedir. Hammadde beslemesi yapmak amacı ile üst kata çıkan çalışanlar gerekli güvenlik önlemlerini almazlar ise bu gazdan zehirlenebilmektedirler.

Tesislerde genellikle, kupola fırınının bulunduğu alanda ve üst katlardaki hammadde besleme odalarında sabit halde karbonmonoksit seviyelerini ölçen cihazlar bulunmaktadır. Ayrıca izinsiz ve tek olarak hiçbir personel kupola fırının üst katlarını çıkartılmamaktadır. Üst katlara çıkan personeller yanlarında mutlaka, yüksek hassasiyete sahip portatif gaz algılama cihazı bulundurmak zorundadır. Çalışanlar, kupola fırını çalışma alanında ve fırının üst katlarındaki çalışma alanında gaz maskesi kullanmak zorundadır.

Hidrojen Patlaması

Kupola fırınında inorganik volkanik kayaçların ergitilmesi sırasında fırının en alt kısmında demir birikmektedir. İnorganik volkanik kayaçların yapısından kaynaklı olarak

biriken demir düzenli aralıklarla kupola fırınından temizlenmektedir. Bu işleme demir alma “iron tapping” denilmektedir. Kupola fırınının dip kısmında biriken demirin alınması için bir kapak bulunmaktadır. Buradaki kapak yardımı ile ergimiş hammaddelerin dibinde biriken demir alınabilmektedir. Demir alma işlemi sırasıyla şu şekilde yapılmaktadır; demir alma deliği kontrol edilir, delik çevresinde pot yapmış kil (tabaka) var ise spatula ile kazınıp delik ortaya çıkarılır. Kil tavaasına yeterli miktarda, tepe noktası konik olacak şekilde yaklaşık 20 cm yüksekliğinde kil hazırlanır. Demir alma işleminden önce kilin yumuşaklığı ve kuruluk durumu kontrol edilir. Demir alma işlemine az bir zaman kala operatör gerekli çevre güvenliğini sağlar ve kişisel koruyucu donanım ekipmanlarını giyerek operasyon alanına gider. Yanma mili hazırlanır. Gaz vanası açılır. Ergitme ucu şase yapıp ateşlenir. Kupola fırını altında bulunan boşaltma noktasına yanma mili ucu ile kuvvet uygulanır. Kuvvet ile birlikte dairesel hareketler ile delik ağzı açılır. Eriyik bir süre pite akıtılır. Eriyik akmaya başladığında kil kovanı akış merkezine eşitlenerek hidrolik tertibat devreye alınıp akış ağzı kapatılır. Akış kesilmez ise mekanizma tekrar çıkarılıp merkezlenmeye çalışılır. Kupola fırını basıncından dolayı kapanmama durumunda fırın basıncı düşürülür.

Fırının alt kısmından demir alma işlemi yapılırken, ergimiş durumda lav şeklindeki hammaddenin akıtıldığı “pit alanı” olarak adlandırılan bölüm bulunmaktadır. Bu alan kuru kum ile kaplı bir bölümdür. Eğer bu bölümde bir su birikintisi ya da nemli bir zemin bulunursa ve yaklaşık 1500 °C sıcaklıkta eriyik halindeki lavlar bu suyun üzerine dökülürse hidrojen patlaması olabilmektedir. Bu patlama insan sağlığını ve iş güvenliğini büyük ölçüde tehdit edebilmektedir.

Bu risk durumu için genellikle alınan önlem, pit alanı olarak adlandırılan bölümün kum ile kaplı ve sürekli olarak kuru tutulmasıdır. Kupola fırınının alt katında demir alma çalışması yapmadan pit alanının gerekli kontrolleri yapılmaktadır. Bu alanda çalışan personelin, ısıya dayanıklı baret, altın vizör, ısıya dayanıklı başlık, ısıya dayanıklı kıyafetler ve ısıya dayanıklı ayakkabı gibi kişisel koruyucu donanımları kullanması zorunludur.



Şekil 17. Kupola fırınında yapılan demir alma işlemi

Tozlu Ortam Maruziyeti

Taş yünü ve cam yünü insan yapımı mineral lif grubuna girmektedir. Bu malzemelerin üretimi, taşınması, kullanılması ve bertaraf edilmesi sırasında çalışanın maruziyet riski ortaya çıkmaktadır. Bu malzemelerin üretiminde çalışan personelde havadaki lifsi toz (asbest ve insan yapımı mineral lifler) konsantrasyonu parametresinde ölçüm yapılması gerekmektedir (https://www.csgb.gov.tr/media/89497/cam-tas_yunu-2022-agustos.pdf, 2022).

İnceleme yapılan taşıyünü üretim tesisinde de taşıyünü tozundan kaynaklı havadaki maruziyet değerleri sürekli olarak, taşınabilir toz ölçüm cihazı (partikül sayım cihazı) ile ölçülmektedir. Taşıyününün ölçülerinin verildiği kesim hatlarında sürekli olarak havadaki lifsi toz konsantrasyonu ölçümü yapılmaktadır. Sıfır atık projesi kapsamında bu hatta taşıyününden kesilen parçalar tekrar lif ve toz haline getirilerek, geri dönüşüm hattında üretime katılmaktadır. Geri dönüşüm hattında toz miktarının daha yoğun olması sebebi ile havadaki lifsi toz maruziyet değerleri sürekli ölçümlerle kontrol edilmektedir. Tesiste havadaki lifsi toz maruziyet değerlerinin yüksek olduğu bölümlerde çalışanların maske kullanması zorunludur. Kullanılan maskelerin belirli aralıklarla değiştirilmesi gerekmektedir.

Üretim Hattında Yüksek Sıcaklıktaki Lavların İnsanlara Sıçraması

Kupola fırınında ergitilen inorganik volkanik kayalar lav halinde spinner disk sisteminin üzerine atılır. Buradaki diskler 8000 devir/dakika hız ile dönmektedir. Spinner üretim aşamasında yüksek hızda dönen disklerin üzerine dökülen lavların sıçrama ihtimali bulunmaktadır. Yaklaşık 1500 °C sıcaklıkta bulunan lavlar etrafa sıçrayarak çevreye ve çalışanlara zarar verebilmektedir. Etrafa sıçrayan lavlarla birlikte gaz ve duman açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan gaz ve duman da insan sağlığına zarar verebilmektedir.

Bu üretim aşamasında çevre güvenliğinin alınması gerekmektedir. Bu alanda çalışan personel, yanmaz baret, altın vizör, yüksek sıcaklıktaki lavların üzerinden akıp gitmesini sağlayan ısıya dayanıklı kıyafet, bağciksız özel üretilen ısıya dayanıklı ayakkabı kullanmak zorundadır. Kişisel koyucu donanımlarını takmayan çalışanlar sahaya girememektedir.

Soğutma Sistemi Arızası

Taşıyünü üretimi yapılırken volkanik kayaçların ergitildiği fırın 1500 – 1600 °C sıcaklığa ulaşmaktadır. Fırının kendisi ve besleme ile tahliye kapakları demirden yapılmıştır ve demirin erime noktası 1538 °C'dir (<https://tr.wikipedia.org/wiki/Demir>, 2022). Kupola fırını demirin erime sıcaklığına ulaşp bu sıcaklığı geçebildiği için, fırının hammaddesi olan demir erime sıcaklığına ulaşp eriyebilmektedir. Bu üretim hattı için büyük bir tehlikedir. Bu sebepten, kupola fırını ve fırının kapakları soğutma suyu sistemi ile soğutulmaktadır. Bu sistemin durması ya da soğutma suyu sisteminin çalışmadığı zamanlarda fırının yakılması demirin erime sıcaklığına ulaşmasına ve bu nedenle patlamalara yol açabilmektedir. Kapakların ergimesi ile oluşan delik sonrası fırın iç basıncı sebebi ile patlamalar oluşabilmekte ve fırın içindeki lavlar dışarıya saçılabilir. Bu durum çevre güvenliğini ve insan sağlığını tehdit edebilmektedir.

Tesislerde genellikle, kupola fırını soğutma suyu sistemi ile suyun devridaimi sayesinde soğutulmaktadır. Soğutma suyu sistemi dijital ortamda kontrol odasındaki personel ile sürekli olarak izlenmektedir. Fırın iç ve dış sıcaklığı sürekli olarak ölçülmekte ve bu değerler kontrol odasında yetkili personeller tarafından izlenmektedir. Her türlü duruma karşı, kupola fırını bölümünde çalışanlar, yanmaz baret, ısıya dayanıklı kıyafet, bağciksız özel üretilen ısıya dayanıklı ayakkabı kullanmak zorundadır. Kişisel koyucu donanımlarını takmayan çalışanlar sahaya girememektedir.

Yangın Riski

Yangın taşıyünü üretim tesisleri için önemli risklerden bir tanesidir. Tesisteki üretim aşamalarında yüksek sıcaklıklarda çalışmalar yapılmaktadır. Bu sıcaklıklar ve lav halinde yüksek sıcaklıktaki ergimiş hammaddeler yangın riskine neden olabilmektedir.

Spinner ünitesinde, kupola fırınından çıkan yüksek sıcaklıktaki eriyik halindeki lavlar disklerle dökülür ve disklerden spinner yardımı ile güçlü fanlar ile çekilerek tambura tutundurulur. Söz konusu fanlar soğutma sistemi ile soğutulmaz ise yüksek sıcaklık nedeni ile yangın riski ortaya çıkabilir. Ayrıca fanlarda filtre sistemleri olması veya iyi çalışmaması halinde lav parçaları taşıyününe yapışabilir ya da fanların içine girebilir. Bu durum hem

ürünün kalitesine zarar vermekte hem de fan içinde yangın riskine sebep olabilmektedir. Filtre sistemleri düzenli olarak temizlenmez ve değişmez ise, içeride biriken lavlar ve yanıcı kimyasallardan oluşan bağlayıcılar sebebi ile bu kısımlarda yangın riski ortaya çıkabilmektedir.

Kürleme fırını ünitesinde, fırın içi sıcaklık yaklaşık 230–250 °C’dir. Bu sıcaklığın sağlanabilmesi için fırının iki ucunda sıcak hava üfleyen fanlar bulunmaktadır. Fırının üstünde sıcak hava sirkülasyonunu sağlayan davlumbazlar bulunmaktadır. Eğer bu davlumbazlarda ve sıcak hava üfleyen fanlarda düzenli temizlik yapılmaz ise kirliliğe bağlı olarak yangın riski olabilmektedir.

Taşıyünü üretim tesisinde, kupola fırınında ergitilen lavların spinner ünitesinde lif haline getirildikten sonra toplayıcı bant ünitesine serilmesi ile birlikte bir bant sistemi yardımı ile paketleme aşamasına kadar iletilmektedir. Bu bant sistemi hareketli zincirler yardımı ile ilerlemektedir. Bu zincirlerin belirli periyotlarla yağlanması ve temizlenmesi gerekmektedir. Zincirlerin içerisindeki toz ve kir belirli aralıklarla temizlenmez ise yangına sebep verebilmektedir. Zincir yağının parlama noktası düşük ise bu durum da yangın riski oluşturabilmektedir.

Sonuçlar

Çalışma kapsamında ısı yalıtımında asbestin kullanımının yasaklanması sonrası en önemli yalıtım malzemelerinden biri konumuna gelen taşıyünü üretim aşamaları detaylı olarak ele alınmış ve bu aşamalar İSG açısından incelenmiştir.

Taşıyünü üretimi, çok yüksek sıcaklıklarda üretim yapılan, inorganik volkanik kayaçların eriyik haline getirilmesiyle oluşan lavların lif haline getirilmesi ve bu liflerin çeşitli kimyasal bağlayıcılar ve belirli bir ısı yardımı ile bir araya getirilmesi, sonrasında istenilen kalınlığa göre ayarlanıp istenilen ölçülerde kesilerek ürünün elde edilmesi ile sonuçlanmaktadır. Taşıyünü üretiminde üretilen ürünün kaliteli ve hatasız olması için birçok faktör bulunmaktadır. Bunların bir kısmı kullanılan hammadde ile ilgilidir ama büyük çoğunluğu üretim tesisinin sahip olduğu üretim teknolojisi ile ilgilidir.

Taşıyünü üretimi, İSG açısından çok tehlikeli sınıfta yer alan endüstriyel tesislerde yapılmakta olup, üretim aşamalarının her birisi kendi içinde İSG açısından farklı riskler ve tehlikeler barındırmaktadır. Bu risklere/tehlikelere göre özel önlemler alınmalıdır. Her üretim aşamasına göre kullanılan kişisel koruyucu donanımlar ve alınan önlemler farklılık göstermektedir. Bu riskler önlem alınmaz ise çeşitli yaralanmalar ile sonuçlanabilmektedir.

Taşıyünü üretim tesislerindeki kimyasal risk faktörlerinin en önemlisi, karbonmonoksit zehirlenmesi olup öldürücü etkisi olan çok önemli bir risk olduğu ve alınacak önlemler ile en aza indirgenebileceği görülmüştür. Ayrıca üretimde kullanılan kimyasalların maruziyet sınır değerlerine dikkat edilmesi ve bu değerlerin ortamda sürekli olarak ölçülmesi gerekmektedir. Üretim sahasında çalışanların gerekli kişisel koruyucu donanımları olmadan çalışmamaları gerekmektedir.

Taşıyünü üretim tesislerinde birçok fiziksel risk etmeni de bulunmaktadır. En önemli fiziksel risklerin yüksek sıcaklıkta üretim yapmaktan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu tesislerde iş kazalarının yaşanmaması için üretim aşamalarında gerekli bütün önlemlerin alınması ve üretim hattının yüksek sıcaklıkta üretim yapmaya uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Taşıyünü üretim tesislerinde yaşanan iş kazalarının ve iş kazası risklerinin büyük bölümünün düzenli kontrollerin yapılmamasından, düzenli temizliğin yapılmamasından ve düzenli olarak değiştirilmesi gereken parçaların değiştirilmemesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Çalışanların gerekli güvenlik önlemlerini almadan ve kişisel koruyucu donanımlarını takmadan sahaya çıkmamaları gerekmektedir.

Çalışma kapsamında seçilen taşıyünü üretim tesisinde tespit edilen riskler/tehlikeler ve bunlara karşı alınan önlemler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Kupola fırınında oluşabilecek riskler ve tehlikeler; karbonmonoksit zehirlenmesi, hidrojen patlaması, soğutma sistemi arızasıdır. Bu riskleri ve tehlikeleri önlemek için, düzenli kontroller yapılmalı, tesisteki İSG proseslerine uyulmalı ve çalışanların kişisel koruyucu donanımlarını kullanmaları gerekmektedir.
2. Spinner üretim aşamasında; üretime katılan kimyasalların maruziyet sınır değerlerinin aşılması insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır. Yüksek hızlarda dönen disklerin üzerine dökülen lavların insanların üzerine sıçraması riski bulunmaktadır. Bu riskler için alınan önlemler ise, ortamdaki kimyasalların maruziyet değerleri hassas cihazlarla sürekli ölçülmektedir. Çalışanlar, yanmaz baret, altın vizör, üzerinde lav tutmayan yanmaz kıyafetler, ısıya dayanıklı ayakkabı gibi kişisel koruyucu donanımları giymek zorundadır.
3. Toplayıcı ve taşıyıcı bantlarda, sistemi oluşturan zincirlerin yağlarından dolayı yangın riski bulunmaktadır. Zincirlerin yağlarının parlama noktası düşük ise ve zincirler belirli periyotlarla yağlanıp temizlenmiyor ise yangın riski ortaya çıkabilmektedir.
4. Kürleştirme ünitesinde, spinner üretim aşamasında ürüne katılan kimyasalların kimyasal bağlar yaparak inert hale gelmesi sağlanır, eğer burada kürleşme tam sağlanamaz ise ürüne katılan kimyasallar insan sağlığına zarar verebilmektedir. Ortamda bulunan amonyak

maruziyet sınır değerleri aşıldığı takdirde insan sağlığına zararlı hale gelebilmektedir. Bu riskin insan sağlığına ve iş güvenliğine zarar vermemesi için, ortamdaki kimyasalların maruziyet değerleri ölçülmektedir, ayrıca çalışanların gaz maskesi kullanmaları sağlanmaktadır.

5. Geri dönüşüm ünitesinde tozlu ortam maruziyeti riski bulunmaktadır. Sıfır atık kapsamında taşıyınünden kesilen parçalar lif ve toz haline getirilerek tekrar üretime katılmaktadır. Tüm tesiste oluşabilecek tozlu ortam maruziyet riskinin bu üretim aşamasında en yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bu bölümde sürekli olarak havadaki tozun maruziyet değerleri ölçülmektedir ve çalışanların maske kullanmaları zorunludur, maskeler belirli aralıklarla değiştirilmektedir.

Çalışma kapsamında, yalıtım amaçlı kullanılan taşıyını levhaların üretim aşamaları detaylı olarak ortaya konulmuş ve tesis İSG yönünden değerlendirilmiştir. Üretimin her aşaması için mevcut riskler ve tehlikeler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sonraki çalışmalarda bu riskleri önlemeye ve tehlike düzeylerini azaltmaya yönelik analizler ve uygulamalar yapılabilir. Ayrıca işletmede fiziksel, kimyasal ve biyolojik risk faktörlerine yönelik ölçümler yapılarak tehlikeler sayısal verilerle ortaya konulabilir.

Not: Bu çalışmanın ön bulguları 08-10 Aralık 2022 tarihlerinde düzenlenen 8th International Congress on Engineering and Technology Management'ta sunulmuştur.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

Akıncı H., 2007. Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulama teknikleri ve fiyat analizleri. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 225 sayfa, Sakarya.

Aksoy G., 2021. Afyonkarahisar'daki bir mobilya üretim tesisinin iş sağlığı ve güvenliği açısından risk analizi ve değerlendirilmesi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 170 sayfa, Kütahya.

Arslan Ş, Aydın F., 2023. Experimental investigation of the effects of insulation materials and concrete strength on temperature transitions in FRP reinforced structural elements under high temperature. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi PART C: Tasarım ve Teknoloji, 11(1): 222-235.

Aykaç S., 2018. Endüstri tesislerinde kapalı alanlarda yapılan çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği riskleri ve güvenli çalışma sistemleri. Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 65 sayfa, İstanbul.

Dikici A, Kocagül M., 2019. Isı yalıtımında kullanılan EPS, XPS ve Taş yünü izolasyon malzemelerinin deneysel olarak karşılaştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 31(1): 129-136.

Doğru T, Pulat E., 2020 Otomotivde kullanılan elyafli malzemelerin akustik özelliklerinin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(2): 889-902.

Eroğlu E., 2015. Bir organize sanayi bölgesinde plastik mamul üretimi yapan işletmelerde iş sağlığı ve güvenliği sorunları. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 150 sayfa, Kocaeli.

Fertelli A., 2019. Bina duvarlarındaki ısı yalıtım malzemelerinin ses yalıtımı açısından kullanılabilirliğinin incelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(1): 18-22.

İlgürel N, Şerefhanoglu Sözen M., 2005. Değişik sanayi kuruluşlarında gürültünün nesnel, öznel ve yönetmelikler bağlamında incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi e-Dergisi, 1(1): 9-17.

Köseli İ., 2022. Seçilmiş bir taşıyıcı üretim tesisinin iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 97 sayfa, Adana.

Köseli İ, Zervent Ünal B., 2022. Seçilmiş bir taşıyıcı üretim tesisinin iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelenmesi, 8th International Congress on Engineering and Technology Management, 08-09-10 December 2022 p:362-368.

Lipworth L, Vecchia C, Bosetti C, McLaughlin J., 2009. Occupational exposure to rock wool and glass wool and risk of cancers of the lung and the head and neck: A systematic review and meta-analysis. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 59: 1075-1087.

Özgüven S., 2015. Dış cephe mantolama malzemelerinin performanslarının karşılaştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72 sayfa, Afyon.

Seçilmiş taşıyıcı üretim tesisi işletme bilgileri, 2022.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı, 2016.

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 2022. Yalıtım amaçlı kullanılan cam yünü / Taş yünü ile yapılan çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği. https://www.csgb.gov.tr/media/89497/cam-tas_yunu-2022-agustos.pdf.

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 2008. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

Yiğitalp Rençber S., 2019. Bir tekstil fabrikasında çalışan işçilerin iş sağlığı ve güvenliği konusundaki bilgi düzeyleri ve sağlık risklerinin değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 214 sayfa, Diyarbakır.

Yörükoğlu A, Akkurt F, Çulha S., 2020. Investigation of boron usability in rock wool production. Construction and Building Materials. 243: 118222.

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>, Erişim Tarihi: Ağustos 2022.

<https://tr.wikipedia.org/wiki/Demir>, Erişim Tarihi: Eylül 2022.

<https://www.dtkdergisi.com/2022/03/14/binalarda-tuketilen-enerjinin-yuzde-80i-isitma-ve-sogutma-amacli-tuketiliyor/>, Erişim Tarihi: Ekim 2023.

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=17050&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, Erişim Tarihi: Aralık 2023.

ZrB₂ ve TiB₂'nin Ultra Yüksek Sıcaklık Uygulamalarında Kullanımı

Emine Gizem YILDIZ¹, Yasemin YILDIZ^{2*}

¹Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Sakarya, Türkiye

²Sakarya Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sakarya, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-7153-8970>

²<https://orcid.org/0000-0003-2855-0496>

*Sorumlu yazar: yyildiz@sakarya.edu.tr

Derleme

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 22.05.2023

Kabul tarihi: 07.08.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler

Ultra yüksek sıcaklık seramikleri

Termal şok

Metal diborür

Termal iletkenlik

Hipersonik uçuş teknolojisi

ÖZ

Bu araştırma, ileri teknolojik uygulamalarda ultra yüksek sıcaklık seramiklere (UHTC) artan ilgiyi vurgulamaktadır. UHTC'ler ultra yüksek sıcaklık seramiklerdir, 1950'lerin sonunda ilgi çekmeye başlamışlardır, olağanüstü özellik ve nitelikleri olan malzemelere duyulan ihtiyacın artmasıyla da kullanımı da artmaktadır. Ultra yüksek sıcaklık seramiklerin uzay ve havacılık sektöründeki uygulamalarında bu seramiklerin içinde matris malzemesi olarak borürlerin kullanılması bir hayli yaygındır. Borürler ailesinde önde gelen grup ise diborürlerdir. Zirkonyum, titanyum ve hafniyum diborürler yüksek sıcaklıkta en kararlı diborürlerdir. Havacılık-uzay sanayii, nükleer sanayi, kesici takımlar, savunma sanayii (kurşun geçirmez malzemeler), ısıya dayanıklı kaplama malzemeleri gibi genel kullanım alanları bulunmakta ve ilerleyen teknolojiyle birlikte gittikçe kullanım alanları artmaktadır. Bu inceleme, bugüne kadar literatürde rapor edilen UHTC'lerin uygulamalarına genel bir bakış sağlar ve çok yönlü uygulama alanlarına dikkat çekmektedir.

Use of ZrB₂ and TiB₂ Ultra High Temperature Applications

Reviews

Article History:

Received: 22.05.2023

Accepted: 07.08.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Ultra high temperature ceramics

Thermal shock

Metal diboride

Thermal conductivity

Hypersonic flight technology

ABSTRACT

This research highlights the growing interest in ultra-high temperature (UHTC) in advanced technological applications. UHTCs are ultra-high temperature ceramics, which began to attract attention in the late 1950s, and their use is increasing as the need for materials with extraordinary properties and qualities increases. The use of borides as matrix material in these ceramics is quite common in applications of ultra-high temperature ceramics in the aerospace and aerospace industries. The leading group in the borides family is the diborides. Zirconium, titanium, and hafnium diborides are the most stable diborides at high temperatures. There are general usage areas such as the aerospace industry, nuclear industry, cutting tools, defense industry (bullet-proof materials), and heat-resistant coating materials, and their usage areas are increasing with the advancing technology. This review provides an overview of the applications of UHTCs reported in the literature to date and draws attention to their versatile application areas.

Giriş

Teknolojideki hızlı değişim ve gelişmeler; güvenilirlik, yüksek performans, hafiflik ve yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilme gibi zorlu ihtiyaçları ortaya çıkarmaktadır. Bu ihtiyaçlar da olağanüstü özellik ve nitelikleri olan malzemelere duyulan gereksinimi giderek artırmaktadır (Ersan, 2019; Tülbez ve ark., 2019). Bilhassa uzay ve havacılık sektöründeki kullanımları nedeniyle seramik malzemelerde, yüksek sıcaklık dayanımı en fazla istenilen bir özelliktir. Günümüz teknolojisindeki ultra yüksek sıcaklık seramikleri (UHTC) 3000°C üzerinde ergime sıcaklığına, kimyasal reaktivite ve aşındırıcı ortamlarda kullanılabilme gibi özelliklere sahip özel malzemelerdir (Akin ve ark., 2019; Ersan, 2019).

Ultra yüksek sıcaklık seramikleri sentezi 1800'lü yılların sonunda olsa da, bu malzemelere duyulan teknolojik alaka 1950'lerin sonunda başlamış ve 1960'larda genişleyen uzay yarışlarıyla beraber etkin olarak artmıştır. Bu dönemde Sovyet Rusya ve ABD roket motorunda, ısı kalkanında ve yüksek sıcaklığa maruz kalan yapısal parçalarda kullanılabilecek malzeme arayışlarına girmişlerdir. Teknolojik sorunlara çözüm arayışı bilim adamları önderliğinde gerçekleşen bir araştırmanın temel motivasyonu olmuştur. Ultra yüksek sıcaklık seramiklerine olan ilgi havacılık ve uzay uygulamalarında hücum jeti, hipersonik araçlar ve yüksek performanslı roket motorlarının gelişmesiyle artış göstermiştir. Örneğin, ABD Hava Kuvvetleri ve ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), hipersonik uçuşta ihtiyaç duyulan teknolojileri test etmek için bu duruma uygun araç tasarlanmışlardır (Şekil 1.1). Bu sistemdeki teknolojik sorunlardan biri, tasarımda kullanılan keskin hücum kenarları ve kontrol yüzeylerinde yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme teknolojisinin yeterli teknolojik seviyede olmamasıdır. Şekil 1'de test uçuşu öncesinde B-52'nin kanadına monte edilen X-51 uçuş aracı göstermektedir (Tülbez ve ark., 2019). X-51 uçuş aracı en uzun süre hipersonik uçuş rekoruna sahiptir.

Hipersonik hızlarda uçan platformların keskin hücum kenarları, 2000°C'in üstündeki sıcaklıklarla karşılaşmaktadır. Aynı zamanda uçuş sırasında parçanın karşılaştığı yüksek entalpili akış nedeniyle aerodinamik ısınma meydana gelir. Parçanın uç kısmındaki yüksek ısı, iç kısımlara ısı iletim yolu ile ve dış yüzeylerden de ısı radyasyonla çevreye aktarılmaktadır. Bu sayede yalnızca parçanın uç kısımları ısınırken, iç kısımlarındaki sıcaklık değerleri alçak kalır. Malzemenin termal iletkenlik değerinin yüksek olması aerodinamik ısınmanın bir kısmının ısı iletim yoluyla iç kısımlara iletilebilmesini sağlar. Örneğin, hücum

kenarlarında yüksek termal iletkenlik özelliğinde parçanın varlığı, kanadın karşılaştığı termal gradyanı düşürüp stresi azaltmaya yardımcı olur. Uzay araçlarındaki manevra yeteneğinin artırılması ile yüksek performanslarda çalışabilmesi için ince aerodinamik keskin hücum kenarları tasarımı hedeflenmiştir (Şekil 2.) (Tülbez ve ark., 2019).



Şekil 1. B-52 kanadına monte edilen X-51 uçuş aracı (Tülbez ve ark., 2019).



Şekil 2. Küt ve keskin burun konisi ile hücum kenarı (Tülbez ve ark., 2019).

Hipersonik atmosfere yeniden giriş araçlarının hızlı gelişimi ile katı roket motorunun burun ucu veya uçağın ön kenarları gibi kritik termal yapısal bileşenler, havacılık ile ilgili ve roket ortamında yaklaşık 2000–3000°C ultra yüksek sıcaklıkta oksidasyona ve aşınmaya maruz kalmaktadır (Xu ve ark., 2021). Keskin hücum kenarı malzemelerinin seçiminde ve tasarımında; çalışma ortam şartlarında oksidasyon davranışı, termal şok direnci ve malzemenin termo-fiziksel özellikleri gibi faktörlerin incelendiği titiz çalışmaların gerçekleştirilmesi gereklidir. Bu nedenlerle ileri teknoloji malzemeler gereksinimi hipersonik

araçlarda keskin hücum kenarları ve burun konisi tasarımında öne çıkmaktadır. Ultra yüksek sıcaklık seramikleri, bu ihtiyacı karşılayabilecek malzeme sınıfında yer alırlar. Teknolojinin zorunlu kıldığı yüksek sıcaklık sınırlarına çözüm getiren ultra yüksek sıcaklık seramik malzeme ve yapılarındaki gelişmeler, uzay uygulamalarında önemli sonuçları da getirmektedir (Tülbez ve ark., 2019). Ultra yüksek sıcaklık seramikleri balistik füzelerin burun konileri, hipersonik araçların ön kenarları, roket motorları, uzaya yeniden giriş araçları vb. gibi aşırı ortamlardaki uygulamalar için uygun yüksek ergime noktasına ve oksidasyon direncine, yüksek sıcaklıklarda termal gerilmelere direnme yeteneğine sahiptir (Jia ve ark., 2021). Ultra yüksek sıcaklık seramikleri, aşırı yüksek sıcaklık, kimyasal reaktivite ve aşındırıcı yerlerde tercih edilebilen bir malzeme sınıfıdır. Ultra yüksek sıcaklık seramikler sözü edilen ortamlarda kararlılıklarını koruyabilirler (Ersan, 2019). Bu seramiklerin sahip oldukları temel özellikler yüksek sertlik, yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik, iyi ısı şok dayanımı ve kimyasal kararlılık şeklinde sıralanabilir (Kaya, 2016; Akin ve Kaya, 2017). Ultra yüksek sıcaklık seramikler 2000 °C (Altuncu ve Esen, 2015) ve 3000 °C üzerinde erime noktasına sahip malzemeler olarak sınıflandırılabilirler. Malzeme sınıflarından çok az malzeme bu kriteri karşılamaktadır. Metaller arasında yalnızca Renyum (Re), Tungsten (W), ve Tantal (Ta) elementleri 3000°C üzerindeki sıcaklıklarda erime noktasına sahip olan metallerdir (Tülbez ve ark., 2019).

Zirkonyum (Zr), titanyum (Ti) ve hafniyum (Hf) gibi geçiş elementlerinin borür, karbür ve nitrür bileşikleri 3000°C'nin üstünde erime sıcaklığına sahip malzemelerdendir. Bu malzemeler zorlu çalışma ortamlarında yüksek kimyasal ve termal kararlılık, yüksek sertlik, yüksek mekanik dayanım ve bilhassa borür bileşikleri için yüksek termal iletkenlik göstermeleri ortak özellikleridir (Tülbez ve ark., 2019).

Ultra yüksek sıcaklık seramik malzemeleri, yüksek elektrik iletkenliği, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek termal iletkenliği ve olağanüstü oksidasyon dirençleri, kimyasal inertlik gibi metallerle kıyaslanmayacak farklı özelliklere sahiptir bundan dolayı da benzersiz mühendislik ve refrakter özellikleri kombinasyonu nedeniyle onlarca yıldır çalışma alanı oluşturmıştır. Genel olarak ultra yüksek sıcaklık malzemeleri kullanım amacı, çalışma ortamı ve sıcaklığına bağlı olarak seçilmektedir (Atasoy ve Demir, 2019; Xia ve ark., 2020).

Bu derlemede, ultra yüksek sıcaklık seramikleri ve uygulama alanları ele alınmıştır. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı ultra yüksek sıcaklık seramiklerini tanımak ve borürlerden zirkonyum diborür ve titanyum diborürlerin ultra yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanımını araştırmak ve bu borürleri ele alacak muhtemel çalışmalara da referans olması beklenmektedir.

Materyal ve Metod

Derleme, 22 Nisan 2023 tarihine kadar olan yayınlar için aşağıdaki veri tabanlarında literatür taramasına dayalı olarak hazırlanmıştır; Pub Med; Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar ve ResearchGate'den faydalanılmıştır. Arama için kullanılan anahtar kelimeler; ultra yüksek sıcaklık seramikler veya UHTC'ler, borürler ve/veya termal iletkenlik, metal diborür, hipersonik uçuş teknolojisi, yüksek ergime sıcaklığı şeklinde sıralanabilir. Aramanın tüm sonuçları ile ilgili bilgiler manuel olarak tarandı ve ilgili olabilecek ek yayınlar için referansları da arandı. Ultra yüksek sıcaklık seramikleri hakkında bilgi vermeyen seramikler ile ilgili makaleler, ancak borürler, nitrürler ve karbürler hakkında bilgi vermeleri şartıyla dikkate alınmıştır.

Ultra Yüksek Sıcaklık Seramik Malzemeleri

Ultra yüksek sıcaklık seramikleri 3000°C üzerinde ergime sıcaklığına sahip olan malzemelerdir ve bu sınıftaki malzemeler geçiş metallerinin nitrürleri (HfN, ZrN, vb.), borürleri (HfB₂, ZrB₂, TiB₂, NbB₂, TaB₂ vb.) ve karbürleridir (HfC, ZrC, TiC) (Ersan, 2019). Ultra yüksek sıcaklık seramikleri özellikle de refrakter metal karbürler, nitrürler ve borürler, hipersonik uçuş teknolojisindeki ilerlemenin anahtarıdır (Backman ve ark., 2020). Bu gruptaki bazı karbür, borür ve nitrürlerin ergime sıcaklıkları, yoğunlukları, vickers mikro sertlik ve kristal yapıları ile termal iletkenlik değerleri incelendiğinde en yüksek termal iletkenliğe (60,0 W/m.K, 20°C'de) sahip olan HfB₂ aynı zamanda en yüksek mikrosertlik değerine (29,0 GPa)'de sahiptir. HfB₂'nin kristal yapısı ise hegzagonaldir. Zirkonyum diborür ve titanyum diborürün termal iletkenliğinin ise (24,3 W/m.K, 20°C'de) aynı olduğu ve her ikisinin de hegzagonal kristal yapısına sahip olması dikkat çekicidir.

Ultra yüksek sıcaklık seramikleri genellikle 4. ve 5. grup metal (M:Ta, Ti, Hf, Zr gibi) elementlerinin oksitli (MO), borürlü (MB), karbürlü (MC) ve nitrürlü (MN) bileşiklerinden meydana gelmektedir (Altuncu ve Esen, 2015).

Metal Borürler-Metal Diborürler

Periyodik tabloda geçiş metallerinden titanyum, zirkonyum ve hafniyum metallerinin bulunduğu kısım IV B grubu olarak adlandırılır. Bu elementler bor metali ile uygun bir prosesle etkileştirilmesi sonucu IV B grubuna ait metallerin borürleri elde edilir. Metallerin borürleri ileri teknoloji seramiklerinin mühim bir alt grubudur (Aynibal, 2009). Borürler, bor elementi ile metal ve ametallerin meydana getirdiği bileşiklerdir ve genellikle diborür

formunda iki adet bor elementi ihtiva eder. Diborürlerin çoğunlukla geçiş metallerinin bileşikleri olduğu görülmektedir. Pek çok borür yüksek ergime sıcaklığına sahiptir, bunlardan bilhassa geçiş metallerinin diborürleri önde gelir. Bundan dolayı yüksek sıcaklık malzemeleri olarak nitrürler, karbürler ve silikatlarla beraber refrakter sert metal bileşikleri diye tanımlanmaktadırlar.

Metal borürler, son zamanlarda dikkat çekici bileşikler içerisinde yer almaktadırlar bunun sebebi sergiledikleri üstün özelliklerdir. Ayrıca yüksek sertlik, yüksek sıcaklık dayanımı, korozyon direnci ve aşınma gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle pek çok alanda kullanım imkanı vardır. Metal borürlerin oksitli yapıdaki seramiklere kıyasla yüksek sertlik, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik, yüksek ergime sıcaklığı, termal şok, iyi korozyon ve aşınma direncine sahip olmaları onların en belirgin özellikleridir (Akkaş, 2010). Zirkonyum, titanyum ve hafniyum diborürler yüksek sıcaklıkta en kararlı diborürlerdir ve her biri 3000°C civarında ergime noktasına sahiptir. Geçiş metallerinin diborürleri ise, en yüksek oksidasyon direncine sahip metal borürlerdir. Borun yüzeyde oluşturduğu oksit tabakası ve yapıdaki geçiş metalleri oksidasyon direncini sağlayan faktördür. Yüzeyde meydana gelen oksit tabakası, yaklaşık 1000°C'ye (bor oksidin (B_2O_3) buharlaşmaya başladığı sıcaklığa) kadar yüzeyi korur. Metal borürlerin çoğu, karbon, hidrojen ve azot atmosferinde yüksek sıcaklıklara kadar inert özellik gösterir (Kurtoğlu, 2007). Metal borürler elektriksel özellikler bakımından birbirlerinden çok farklıdırlar. Örneğin ZrB_2 ve TiB_2 metalik iletken, ZrB_{12} , NbB ve YB_6 gibi pek çok geçiş metale ait borürler ise süper iletkenlik gösterir (Akkaş, 2010). Borür sistemlerinin oksidasyon dirençleri karşılaştırıldığında en iyi özellikler HfB_2 'de görülmüştür. HfB_2 'yi ZrB_2 ve TiB_2 izlemektedir (Kaya, 2016). Borürler bilhassa yüksek sertlik ve yüksek ergime noktası gibi mekanik ve ısıl özelliklerinden dolayı yüksek aşınma direncine ihtiyaç duyulan uygulamalarda ve öğütme sistemlerinde kullanılmış olsalar da teknik seramiklerde son gelişmelerle birlikte önemlerinin arttığı görülmüştür. Borürler olağanüstü kimyasal, mekanik, ısıl ve elektriksel özellikleri nedeniyle ileri teknoloji uygulamalar için muhtemel adaylardır (Turan, 2014). Son zamanlarda tüm dünyada UHTC'lerin en mühim uygulama alanlarından biri olan uzay ve havacılık uygulamalarında borürlerin ve borür esaslı kompozitlerle yönetilen araştırmalar ilgi görmektedir. Bu malzemelerin geliştirilmesindeki ve performanslarının artırılmasındaki araştırmalarda kullanılmak için NASA her yıl milyonlarca dolar fon ayırmaktadır (Altuncu ve Esen, 2015). 1997 yılında NASA metal borür esaslı bileşiği deneysel uçuşta burun ucu malzemesi olarak kullanmıştır. Borür sistemlerinden HfB_2 ve ZrB_2 burun ucu ve hücum kenarı uygulamalarında en fazla çalışılan borürlerdir. Kanadın keskin köşesi en yüksek sıcaklık değerine maruz kalan

kısımdır. Uçuş sırasında bu bölgenin maruz kaldığı ısı akısı sonucu sıcaklık 2000°C'nin üzerine çıkar.

Hipersonik ve atmosfere giriş sistemlerinde burun ucu ve hücum kenarlarında ultra yüksek sıcaklık seramikler ve/veya kompozitler, aşırı aerothermal ısıtma ortamlarında çalışmalıdır (Marschall ve Fletcher, 2010). Keskin köşeli parçalarda üç boyutlu ısı transferi etkili olur bu bölgelerde ısı enerjisinin malzeme boyunca iletilmesi ve sıcaklığın daha alçak yüzeylere doğru tekrar yayılması için termal iletkenliği yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Burun ucu ve hücum kenarlarında yüksek termal iletkenliğe sahip metalik borürler kullanıldığında ısı enerjisi bu bölgelerden kanat, gövde kısımlarına kontrollü ve etkili biçimde uzaklaştırılabilir. Ultra yüksek sıcaklık seramiklerin içinde matris malzemesi olarak borürlerin kullanılması ve uzay ve havacılık sektörü gibi alanlarda borür kullanımının tercih edilme sebepleri; nitrürlere ve karbürlere kıyasla daha iyi oksidasyon direnci göstermeleri, daha yüksek termal iletkenlik göstermeleri ve elektro erozyonla işlemeye imkan vermesi bakımından önem arz eden bir özellik olan elektriksel iletkenliğinin de daha yüksek olmasıdır (Kaya, 2016).

Ultra yüksek sıcaklıklardaki yapısal uygulamalar bağlamında di-borürler; refrakterlik, yüksek sertlik, yüksek elastik modül, iyi kırılma mukavemeti, iyi termal iletkenlik, iyi elektriksel iletkenlik ve kayda değer oksidasyon direnci gibi mükemmel mekanik ve fiziksel özellikler sergiler. Geçiş metali di-borürlerinin özelliklerinin benzersiz kombinasyonu, onu erimiş metal potalar, kesici aletler, aşınmaya dayanıklı parçalar, elektro deşarj işleme için elektrotlar, hall-heroult hücresi için katot malzemesi, elektrikli cihazlar, diğer malzemelerin iletkenliği ve özelliklerini iyileştirme için güçlendirme, zırh malzemeleri, alüminyum buharlaştırma botu, enerji uygulamaları (nükleer ve güneşte), roket nozulları, refrakter parçalar ve yüksek sıcaklık yapısal parçalar vb. çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir (Golla ve ark., 2020). Borürler ailesinde diborürler önemli bir bileşik grubunu oluştururlar. Oksitli yapıdaki seramiklere kıyasla yüksek termal ve elektriksel iletkenlik, yüksek ergime sıcaklığı, termal şok ve korozyon direnci, yüksek sertlik, iyi aşınma dayanımı göstermeleri metal borürlerin en belirgin özellikleridir. Zirkonyum ve titanyum elementleri IV B grubundaki geçiş metalleridir ve IV B grubu metal borürlerin genel özellikleri: düşük yoğunluk, yüksek sertlik, yüksek termal iletkenlik, yüksek ergime noktası, yüksek elektrik iletkenliği, yüksek kimyasal kararlılıktır (Yıldızçelik, 2015; Bugdayci ve ark., 2018).

Yüksek aşınma direnci, yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dayanımına sahip olan metal borürler aynı zamanda asit ve erimiş metal dayanımı, yüksek sertlik, yüksek ısıda elastikiyet ve elektrik iletkenliği gibi olağanüstü özellikleri nedeniyle de sanayide çok yaygın bir

kullanım alanları vardır. Havacılık -uzay sanayii, nükleer sanayi, kesici takımlar, savunma sanayii (kurşun geçirmez malzemeler), ısıya dayanıklı kaplama malzemeleri genel kullanım alanlarıdır. Metal borürler ilerleyen teknolojiyle bu kullanım alanlarını gittikçe artırmaktadırlar. (Yıldızçelik, 2015).

Ultra Yüksek Sıcaklık Seramik Malzemelerin Kıyaslanması

- Seramik borürler (M_xB_y), 3000°C'den yüksek yüksek ergime sıcaklığına, yaklaşık 107 S/m elektrik iletkenliğine, termal iletkenliğe (60-120 W/m.K), yaklaşık 500 GPa esneklik katsayısına, ve 20 GPa'dan yüksek sertliği de dahil metallere benzeri alışılmışın dışında bir özellik birleşimi göstermektedir (Altuncu ve Esen, 2015).
- Borürlü bileşikler, karbürlü bileşikler ile kıyaslandığında düşük ergime sıcaklıklarına rağmen ısı ve elektriksel iletkenlikleri nispeten yüksektir (ZrC- 106 S/m) (Altuncu ve Esen, 2015).
- Seramikler arasında en yüksek ergime sıcaklığına 3800°C erime noktası ile TaC sahiptir (Altuncu ve Esen, 2015).
- Seramik borürler müthiş oksidasyon dirençlerine sahipken seramik karbürler daha düşük oksidasyon direncine sahiptirler (Altuncu ve Esen, 2015).
- Karbürlerin ergime sıcaklıkları daha yüksektir bunun nedeni güçlü kovalent bağ yapılarına sahip olmalarıdır. Yine de, borürlerde bağ yapılarındaki özel elektronik dizilim sebebiyle, elektriksel ve termal iletkenlik değerleri nitrürlere ve karbürlere kıyasla yüksektir (Kaya, 2016).

Ultra Yüksek Sıcaklık Seramiklerinin Kullanım Alanları

Ultra yüksek sıcaklık seramikleri; yüksek sertliğe, aşınma direncine sahip olmanın yanı sıra çok yüksek sıcaklıklara karşı dayanımları sebebiyle bilhassa havacılık ve uzay endüstrisinde kullanım ihtimali yüksek ileri teknolojik seramik esaslı malzeme sınıfında yer almaktadırlar (Yıldırım, 2021). Ultra yüksek sıcaklık seramikleri yeni nesil hipersonik araçta kullanım için potansiyel malzemelerdir. 3000°C'yi aşan ergime noktalarına sahiptirler ve bu da onları hipersonik uçuş sırasında aracın ön kenarlarının yaşadığı aşırı sıcaklıklara dayanmak için uygun adaylar haline getirir. Yüksek ısı iletkenliğe ve iyi oksidasyon direncine sahiptirler, bu nedenle ses altı uçuştan hipersonik uçuşa hızlanma sırasında yaşanabilecek ani sıcaklık değişikliklerine ek olarak yüksek sıcaklık yüklemesini sürdürmek için ideal hale getirirler (Backman ve ark., 2020; Povolny ve ark., 2022). Bu malzemeler termal

kararlılıklarının yüksek olması nedeniyle yeniden giriş ve hipersonik araçların bileşenleri olarak kullanılmaktadır (Marumo ve ark., 2022). Ultra yüksek sıcaklık seramikler 1950'lerde nükleer reaktörlerde ve uzay uçağı konseptleri için termal koruma sistemleri (TPS) olarak kullanılmak üzere geliştirilmiştir (Povolny ve ark., 2021). O zamandan beri araştırmalar aralıklı olmasına rağmen, bir dizi yüksek performanslı havacılık aracı ve sistemi için ihtiyaç duyulduğundan UHTC'lere olan ilgi yeniden canlanmıştır. Bunlar;

- Füzeler ve diğer savunma uygulamaları,
- Yüksek irtifa ve uzay uçuşu,
- Yüksek hızlı hava soluma motorlarıdır.

Ultra yüksek sıcaklık seramikler için tipik uygulamalar, roket nozulleri, burun konileri ve hipersonik füzelerdeki kanatların ve stabilizatörlerin ince ön kenarları, ters itme yaprakları ve itme saptırıcılarıdır. Bu uygulamaların tümü, malzemelerin yüksek sıcaklıklarda kararlı olmasını gerektirir. Ayrıca, kimyasal ve yapısal olarak kararlı ve aşınmaya dayanıklı, ayrıca hafif ve aerodinamik olmalıdırlar. Hipersonik araçlarda keskin ön kenarlar için ısı yalıtım malzemeleri çok yüksek sıcaklıklarda (2000°C 'ye yakın) kararlı olmalıdır. Malzemeler buharlaşmaya, erozyona ve oksidasyona direnmelidir. Bileşen ağırlığını en aza indirmek için UHTC'nin kendi içinde düşük yoğunluklu olması veya ince bir kaplama veya bağımsız bir bileşen olarak etkili olacak kadar verimli olması gerekir. Borürler, yüksek erime sıcaklığı, sertlik ve mükemmel termal iletkenlik ile karakterize edilir. Bu nedenle hipersonik araçlarda hücum kenarlarında uygulanırlar (Cotton, 2010).

Özellikle hipersonik uçuş sırasında aerodinamik ısıtma, bir seferde 2000°C 'yi aşan sıcaklıklara maruz kaldığında kimyasal ve yapısal bütünlüklerini koruyan malzemeler gerektirir. Ek olarak, bu malzemeler, ön kenarlar, girişler ve itici bileşenler gibi keskin araç geometrilerinin yakınında yaşanan muazzam ısı akışlarını sürdürmeli ve yönlendirmelidir. Ultra yüksek sıcaklık seramikleri bu rolü yerine getirmektedir (Povolny ve ark., 2021).

İleri teknolojik seramikler; yapıları, kullanım alanları ve özellikleri bakımından çeşitli sınıflara ayrılabilir. Ultra yüksek sıcaklık seramikleri olarak tanımlanan nitrür ve karbür, borür seramikleri (4. ve 5. grup elementleri) üstün yüksek sıcaklık ve atmosfer şartlarında kullanılabilen malzemelerdir ve bu sınıflandırmada en dikkat çekici malzeme grubudur. Genellikle yüksek sıcaklıkların kullanılması gereken uygulamalarda ön plandadırlar. Nitrür, borür ve karbür bileşikler olan bu malzemeler, yüksek sıcaklıklarda çok yüksek termofiziksel ve termokimyasal özelliklere sahiptir ve kararlıdırlar. Tüm bu özelliklerinin yanı sıra uzay araçlarının yüzey kaplamalarında da kullanılmaktadır (Atasoy ve

Demir, 2019). Ultra yüksek sıcaklık seramikleri olumsuz ve kimyasal olarak agresif ortamları içeren uygulamalar için onları güçlü rakipler yapan olağandışı özelliklere sahip refrakter malzemelerdir. Son derece yüksek erime sıcaklıkları, yüksek oksidasyon direnci ve yüksek sıcaklık kararlılığı ile gelişmekte olan bir seramik malzeme sınıfıdır ve bu da onları aşırı ve kimyasal olarak agresif ortamları içeren uygulamalar için güçlü bir rakip haline getirir (Pasagada ve ark., 2022). Ultra yüksek sıcaklık seramikler, hipersonik havacılık araçları için termal koruma ve tahriklerdeki ve gelişmiş nükleer yakıtlardaki çekirdek bileşenler gibi ultra yüksek sıcaklık ortamlarıyla karşılaşan uygulamalar için en umut verici aday malzemeler olarak kabul edilmiştir (Jin ve ark., 2021). Burun konisi ve keskin hücum kenarları gibi yüksek sıcaklık uygulamalarındaki kullanımının yanı sıra pota ve ısı çift astarı yapımında, refrakter ve döküm özellikli malzeme üretim proseslerinde, çelik üretimi termovel tüplerinde, kesme ve aşındırma takımlarında, nozullarda ve zırh uygulamalarında kullanılmakta ya da kullanıma aday gösterilmektedir (Tülbez ve ark., 2019).

ZrB₂' nin Ultra Yüksek Sıcaklık Uygulamalarında Kullanımı

Refrakter diborür bileşiklerinin diğer intermetalik bileşikler (nitürler, karbürler, silisitler) ile karşılaştırıldığında kısmen yüksek oksidasyon dayanımına sahip olmaları geçiş metali borürleri üzerinde yapılan araştırmaları arttırmıştır. Ultra yüksek sıcaklık seramiklerinin bir türü olarak, ZrB₂ gibi diboridlerin oksidasyona karşı oldukça dirençli olduğu kanıtlanmıştır (Jin ve ark., 2021). Yüksek ergime sıcaklığına ek olarak kimyasal kararlılığa, yüksek elektrik ve termal iletkenliğe, mekanik aşınmaya ve korozyon dayanımına sahip olmaları, onların aşırı termal ve kimyasal koşullarda kullanılmasını sağlar. Yüksek termal iletkenliklerinin sayesinde elde edilen termal şok dayanımı bu malzemelerin yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilmesine imkan verir. Zirkonyum diborürün 3000°C üzerinde ergime sıcaklığına sahip olması, 1800°C üzerinde sıcaklıklara gereksinim olan uygulamalarda, yüksek sıcaklık seramikleri arasında 6,1 g/cm³ yoğunlukla en alçak yoğunluğu olan seramik olması sebebiyle uzay teknolojisinde en çok kullanılan malzeme olmasını sağlar. ZrB₂, ultra yüksek sıcaklık seramikleri grubuna aittir ve ZrB₂, termal koruma sistemlerinde, hipersonik araç sistemlerinde, güneş yoğunlaştırıcılarında ve fırın elemanlarında kullanılabilir (Kumar Thimmappa ve ark., 2021). Ultra yüksek sıcaklık seramikleri arasında, diğer boridlere kıyasla nispeten düşük yoğunluğu, yüksek mukavemeti, sertliği, termal iletkenliği ve korozyon direnci nedeniyle ZrB₂'ye özel bir önem verilmektedir (Nowak ve ark., 2021). ZrB₂, yüksek erime noktası, yüksek sertlik, mükemmel aşınma ve kimyasal direnci ve yüksek termal kararlılık gibi çok özel fizikokimyasal özelliklere sahiptir.

Bu benzersiz özellikler, bu malzemenin çeşitli alanlardaki geniş uygulamaları için kilit faktörlerdir; örneğin termal koruma sistemler, yeniden giriş araçlarında uygulanan aşınma parçaları, yüksek sıcaklık elektrotları, erimiş metal potalar, nozullar ve kesme aletlerinde ZrB_2 kullanılmaktadır (Nayebi ve ark., 2016). ZrB_2 , $3250^\circ C$ ergime noktasıyla ve görelî olarak yaklaşık $\sim 6,09 \text{ g/cm}^3$ düşük yoğunluğu yanı sıra bir hayli iyi yüksek sıcaklık mukavemeti, bu malzemenin sesten hızlı uçaklarda (hipersonik) ya da roket ateşleme sistemlerindeki gibi yüksek sıcaklık uzay aracı uygulamalarında aday malzeme olmasına sebep olur. ZrB_2 görelî olarak yüksek termal ve elektrik iletkenliği ile aşımışın dışında bir seramik malzemedir (Üşümezel, 2016). Bu malzemenin buharlaştırma kayıkcıkları ve metal ergitme potaları gibi yüksek sıcaklık dayanımına ihtiyaç duyulan uygulamalar, alüminyumun elektrokimyasal prosesle üretiminde hava sahası taşıtlarında yapı malzemesi, katot malzemesi ve aşındırıcı zırh uygulamaları olarak kullanım alanı bulmaktadır. Bu durum malzemenin kimyasal kararlılık, yüksek ergime sıcaklığı, elektrik iletkenliği ve yüksek termal şok dayanımı gibi özelliklerinden dolayıdır. Ayrıca nükleer reaktörlerde yapı malzemesi olarak da uygulama alanı bulur ki bu da korozyona dayanıklılığı ve nötron yakalama özelliğinin düşüklüğü nedeniyle. Aynı zamanda ZrB_2 , yüksek termal iletkenlik ve yüksek ısı kapasitesi gibi özelliklere de sahiptir ve bu nedenle uçak ön kenar ve uç kısımlarında yapı malzemesi olarak da hipersonik hava sahası uygulamalarında kullanılmaktadır (Akkaş, 2010). Bahsi geçen diğer özellikler gibi ZrB_2 esaslı seramiklerin ultra yüksek sıcaklık malzemeleri yüksek sıcaklıklardaki olağanüstü fiziksel ve kimyasal kararlılık nedeniyle, nozul ve zırh malzemeleri olarak, fırınlarda korozyona dirençli malzemeleri olarak kullanılmasının yanı sıra uzay ve havacılık endüstrisinde uygulama alanları bulmaktadır (Öztürk, 2017).

Ultra yüksek sıcaklık seramiklerin termal ve kimyasal kararlılıkları aynı zamanda yüksek fiziksel dayanımda olmalarına imkan verir. ZrB_2 yapısının yüksek oksidasyon dayanımı onun askeri alanlarda ve uzay endüstrisinde de kullanılmasını sağlar. Bilhassa son zamanlarda Çin, İtalya, ABD, Hindistan ve Japonya'da diborürler ile gerçekleştirilen çalışmalarda artma görülmektedir. Hipersonik uzay araçlarında, tekrar kullanılabilir atmosfere giriş araçlarında ve roket yanma sistemlerinde kullanım alanı bulmaktadır (Özkan, 2019). ZrB_2 , korozyona karşı ve sıcaklık değişmelerine oldukça dayanıklıdır. Bundan dolayı termo elementlerde koruyucu kaplama ve pota malzemesi olarak kullanılır. Roket motoru parçalarında, jet motoru parçalarında, kesici aletler ve elektrik kontaktörleri üretiminde zirkonyum diborür şeklinde borlar kullanılmaktadır (Kuştutar, 2008). ZrB_2 yüksek sıcaklıklarda bile bir hayli iyi mekanik özellikler sergiler ve bu nedenle nozul gibi parçalarda yapısal eleman olarak kullanılabilir (Turan, 2014). Zirkonyum diborür artan sıcaklık

değerlerinde yüksek oksidasyon direnci gösterir (Aynibal, 2009). Zirkonyum diborür termal şok direnci ve oksidasyon direnci ve yüksek sertliğe sahip, nükleer reaktör çekirdeklerinde tutuşma emici, eriyik metal kabı, yarı iletkenlerde difüzyon bariyeri olarak kullanılmaktadır. Zirkonyum diborür, bilhassa karbon çeliği, eriyik Zn, Mg, Fe, Cu, Cd, Sn, Pb, Rb, Bi, Cr, pirinç, pik demir, itriya, kriyolit, alümina ve zirkonya sıcak pres proseslerinde kroze olarak kullanılmaktadır. Atmosfer şartlarında 1100-1400°C sıcaklıklarda ciddi biçimde oksitlene bile inert atmosferde 2000°C üzerindeki sıcaklıklarda da kararlılığını kaybetmemektedir (Şimşek, 2014).

Atmosfere geri dönen uzay araçları uzay boşluğundan dünyamıza girdiklerinde astronotların karşılaştığı direnç yaklaşık 12 G kuvvetindedir. Bu sırada aracın hızı saniyede yaklaşık 8 kilometredir ve sürtünme nedeniyle 1500°C ila 2100°C arasında bir yüzey sıcaklığı olduğu rapor edilmiştir. Bundan dolayı Termal Koruma Sistemlerinde (TPS) zirkonyum diborür gibi 2000°C üzeri sıcaklıklara dayanıklı ultra yüksek sıcaklık seramikleri kullanılır (Anonim, 2023a).

Zirkonyum diborür üstün özellikleri nedeniyle son zamanlarda endüstriyel uygulamalar içerisinde takviyeli kompozit malzeme imalatında kullanılmaktadır. Bu nedenle sertlik ve tokluk değeri bakımından otomotiv sektörünün gereksinimleri karşılayabilecek seramik kompozit malzemeler çalışılmaktadır. Bu malzemeler otomotiv sektöründe sıcaklığın ve sürtünmenin çok olacağı parçaların kaplanması ya da yapımı gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir.

TiB₂' nin Ultra Yüksek Sıcaklık Uygulamalarında Kullanımı

Zirkonyum diborür gibi metal diborürler arasında geniş çapta kullanıma sahip olanlardan bir tanesi de titanyum diborürdür (Akkurt, 2019). 3000°C üzerinde yüksek ergime sıcaklığına sahip olan titanyum diborür, yüksek sertlik, yüksek elektriksel iletkenlik, yüksek ısı iletkenlik ve yüksek aşınma direnci gösteren bir geçiş malzemesi olup, ultra yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Titanyum diborür UHTC'lerinden olup, sahip olduğu bunlar gibi özellikleri nedeniyle uzay ve havacılık sektörleri önde gelmekle birlikte pek çok alanda kullanım alanı bulmaktadır (Ersan, 2019).

TiB₂ bazlı ultra yüksek sıcaklık seramikleri mükemmel mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmüştür (Cai, 2022). Geçiş grubu metali diborürleri bir hayli çeşitli ve olağanüstü kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olan kapsamlı bir bileşik grubudur. Titanyum diborür grubun ilk akla gelen üyeleri arasında olup, elektriksel iletkenliği ve ergimiş sıvılara karşı direnci sebebiyle alüminyum buharlaştırma kayıkçıklarının

vazgeçilmez yapısal elemanlarından biridir. Bu bileşikler, genellikle kimyasallara karşı yüksek inertlik, yüksek sıcaklıklarda bir hayli iyi kararlılık ve yüksek sertlik gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadırlar (Turan, 2014). Titanyum diborür, bir dizi yüksek teknolojik uygulama için temel malzeme olarak kabul edilen, artan ilgi gören bir malzemedir. Titanyum diborürün, sertlik, termal iletkenlik, elektriksel iletkenlik ve oksidasyon direnci özelliklerinin kombinasyonu, TiB_2 'yi özellikle yüksek sıcaklıklarda aşınma uygulamaları için aday bir malzeme yapar. TiB_2 , termal şok direnci ve ani sıcaklık değişimlerine karşı direnci oldukça yüksek olan, ultra yüksek sıcaklık seramikleri sınıfında yer alan ve benzersiz özellikleri nedeniyle bir hayli dikkate değer bir malzemedir (Ersan, 2019). Yüksek sıcaklık uygulamalarında WC esaslı malzemeler yerine TiB_2 esaslı malzemeler tercih edilmelidir.

Yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığı ve iyi elektriksel iletkenliği TiB_2 'yi özel elektrik uygulamaları için (örneğin, alüminyum elektro-ergitme için katotlar veya vakumlu metal biriktirme ekipmanları için buharlaştırma elemanları) mükemmel bir aday yapar (Yanardağ, 2022). Titanyum diborür nan-oksit (oksit olmayan) seramik olarak kullanımının yanı sıra contalar, kesici takımı, yüksek sıcaklıkta bağlantı parçaları, nozuller, aşınma plakaları olarak da kullanılır. Kimyasal atağa ve yüksek sıcaklığa maruz kalan kısımlarda kaplama veya parça olarak (örneğin jet motoru parçalarında, motor parçalarında, metal ergitme nozulleri ve roket motor parçalarında) kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda elektrik kontak malzemesi olarak kullanılır. TiB_2 alüminyum fırınlarda (Hall-Herault) elektrot olarak kullanılır (Maraşlıoğlu, 2005). TiB_2 sertliğe, mukavemete, kimyasal kararlılığa, ergimiş alüminyum tarafından ıslanabilirliğe ve iyi elektrik iletkenliğine sahip olması nedeniyle aşınma ve yüksek sıcaklık içeren uygulamalarda mühim olan borürler arasında bir adım öndedir. Ayrıca TiB_2 , yapısında bulunan bor çiftinin nötron absorblama özelliği nedeniyle yüksek sıcaklık nükleer reaktörlerinde kontrol malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yüksek sertliğe (25 GPa), yüksek ergime noktasına (3225°C), düşük yoğunluğa (4,5 g/cm³), kimyasal kararlılığa, iyi derecede termal iletkenliğe (96 W/mK) sahip olması titanyum diborürü aşınma ve yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda mühim bir borür yapmaktadır. Geçmişte edilgen savunma zırhlarında zırh çelikleri kullanılırken yoğunluğu, yüksek aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı üstünlüğünden dolayı artık titanyum diborürler kullanılmaktadır (Aynibal, 2009). Titanyum diborür seramikleri ek olarak, yüksek ergime noktası, yüksek yoğunluk/mukavemet oranı (spesifik mukavemet), yüksek sertlik, düşük termal genleşme katsayısı, yüksek elektriksel iletkenlik, iyi korozyon dayanımı ve yüksek aşınma direncine sahip iyi bilinen bir ileri teknoloji seramiğidir. Titanyum diborürlerin tüm özellikleri dikkate alındığında metal ergitme nozulleri, kaplama olarak yüksek sıcaklığa maruz kalan parçalarda,

roket motor parçalarında ve yüksek sertlikte olan büyük mermilerin yapısında, jet motoru parçalarında kullanılan silisyum karbür (SiC) kompozitlerinin mukavemetlerinin artırılmasında da kullanıldığı görülmektedir (Ersan, 2019). TiB₂'ün bir başka mühim özelliği aşınma direncidir. Yüksek sıcaklıkta meydana gelen aşınmaya karşı dirence ihtiyaç duyulan uygulamalarda bile kullanılabilir. TiB₂ esaslı seramikler, tekrar kullanılabilir fırlatma araçları, hipersonik uçaklar, ya da roket motorlarında potansiyel malzeme olmaya ve 1800°C üstündeki hipersonik tekrar giriş alanı araçlarındaki ön kenar parçaları için termik koruma yapıları olmaya aday olduğu görülmektedir. Ayrıca nötron absorblama özelliği olması nedeniyle, yüksek sıcaklık nükleer reaktörlerde kontrol çubuk malzemesi olarak da kullanılmaktadır (Akkurt, 2019). 1100°C'lere kadar ki sıcaklıklarda havada oksidasyona karşı dirençlidir (Anonim, 2023b).

Zirkonyum Diborür ve Titanyum Diborür

Zirkonyum Diborür – Titanyum Diborürün Karşılaştırması, Avantaj, Dezavantajları

Ti-B sistemindeki gibi Zr-B sisteminde Zr₃B₄ ara fazı bulunmamaktadır (Aynibal, 2009). Zirkonyum diborür, titanyum diborürden sonra ikinci en düşük yoğunluğa (6.17 g/cm³) sahip olan ultra yüksek sıcaklık seramiklerinin bir üyesidir (Yücel, 2022). TiB₂'nin ısı iletkenliği yüksek, elektrik iletkenliği orta seviyededir (Anonim, 2023a). ZrB₂'nin TiB₂'ye kıyasla avantajları vardır. ZrB₂ daha yüksek yoğunluğa sahiptir ve takviyeli kompozit malzemelerde daha çok tercih edilir. ZrB₂'in tercih nedeni pek çok dengeli ara faza sahip olmasıdır (Kuştutar, 2008).

Sonuçlar

Ultra Yüksek Sıcaklık Seramikleri, agresif çalışma atmosferi, çok yüksek sıcaklık ve yüksek termal gerilme koşullarında kullanılan yüksek maliyetli spesifik, ileri teknoloji bir seramik malzeme sınıfıdır. Bu malzemelerin genel ortak özelliği yüksek sıcaklıklarda kararlı bir yapıya sahip olması ve ergime sıcaklıklarının 2000°C'nin üzerinde olmalarıdır. Bu nedenle havacılık ve uzay malzemelerinin seçiminde ve tasarımında sıcaklık-zaman çevrimine bağlı olarak çalışma ortam koşullarında oksidasyon ve sıcak korozyon davranışı, termal şok direnci, termal yorulma dayanımı, termal çevrim ömrü yanında malzemenin termofiziksel özellikleri; ısı iletkenlik, ısı genleşme, difüzyon hızı, reaksiyon kinetiği gibi faktörlerin üzerinde hassas çalışmaların yapılması zorunludur.

Aynı zamanda maliyetleri malzeme tasarımcıları uygulamalarda kullanılacak parçanın performansının ve dayanımının yanında üretim ve şekillendirme kabiliyetini de dikkate alması gerekmektedir.

Metal borürler (titanyum/zirkonyum diborürler) diborürler yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dayanımı, yüksek aşınma direnci, özelliklerinin yanı sıra asit ve erimiş metal dayanımı, yüksek sertlik, yüksek ısıda elastikiyet ve elektrik iletkenliği gibi olağanüstü özelliklere sahip olmaları onların endüstride çok yaygın bir kullanım alanı bulmalarına neden olmaktadır. Titanyum diborür, bir dizi yüksek teknolojik uygulama için temel malzeme olarak kabul edilen, artan ilgi gören bir malzemedir. ZrB_2 'de TiB_2 üstün özelliklere sahip bir malzemedir ve oksidasyona karşı oldukça dirençli olduğu kanıtlanmıştır Aynı zamanda ZrB_2 'nin TiB_2 'ye kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Diborürler otomotiv, havacılık sektöründe sıcaklığın ve sürtünmenin olabileceği parçaların kaplanması veya yapımında kullanılabilir. İlerleyen teknolojiyle birlikte bu kullanım alanları gittikçe genişleyerek artmakta ve artması beklenmektedir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

Altuncu E, Esen SG., 2015. Ultra yüksek sıcaklığa dayanıklı seramik malzemeler: tantalum karbür (TaC). Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 8(1): 67-74.

Akkaş B., 2010. Kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi yöntemi ile zirkonyum diborür tozu üretimi. İTÜ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Akkas B, Alkan M, Derin B, Onüralp Y., 2010. Production of zirconium diboride powder by self propagating high temperature synthesis. Advances in Science and Technology, 63: 251-256.

Akkurt F, Kalender E, Yörükoğlu A., 2019. Üstün özelliklere sahip ileri teknoloji seramiği: Titanyum diborür. Boron, 4(4): 203-208.

Akin I, Cagri Ocak B, Sahin F, Goller G., 2019. Effects of SiC and SiC-GNP additions on the mechanical properties and oxidation behavior of NbB₂. Journal of Asian Ceramic Societies, 7(2): 170-182.

Akin I, Kaya O., 2017. Microstructures and properties of silicon carbide- and graphene nanoplatelet-reinforced titanium diboride composites. Journal of Alloys and Compounds, 729: 949-959.

Anonim., 2023a. Zirkonyum diborür. <https://pavtec.com.tr/tr/zirkonyum-diborur-zrb2/> (Çevrimiçi) (Alınma Tarihi: 20.04.2023).

Anonim., 2023b. Titanyum diborür. <https://pavtec.com.tr/tr/titanyum-diborur-ti-b2/> (Alınma Tarihi: 20.04.2023).

Atasoy A, Demir B., 2019. Zirkonyum karbür esaslı aşırı yüksek sıcaklık seramik kompozit tozların metalotermik yöntemle üretimi. Engineering Sciences (NWSAENS), 14(1): 17-25.

Aynibal F., 2009. IVB grubu metal borürlerin ve lantan hekzaborürün mekanokimyasal reaksiyon ortamında sentezlenmesi. İTÜ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Backman L, Joshua G, Jian L, Opila EJ., 2020. Part II: Experimental verification of computationally predicted preferential oxidation of refractory high entropy ultra-high temperature ceramics. Acta Materialia 197: 81–90.

Bugdayci M, Turan A, Benzesik K, Yucel O., 2018. Production of nano ZrB₂-TiB₂ composite powder mixtures composite powder mixtures composite powder mixtures via self-propagating high propagating high propagating high-temperature synthesis. Nano Studies, 5-16.

Cai XQ, Wang DP, Qi FG, Wang Y, Qiu QW, Yang ZW., 2022. Joining of titanium diboride-based ultra high-temperature ceramics to refractory metal tantalum using diffusion bonding technology. Journal of the European Ceramic Society, 42: 344–353.

Cotton J., 2010. Ultra-high-temperature ceramics. Advanced Materials & Processes. 2010.

Ersan FD., 2019. Titanyum diborür seramiklerinin yitriyum oksit ve yitriyum oksit+alüminyum oksit katkıları kullanılarak spark plazma sinterleme yöntemi ile üretilmesi ve karakterizasyonu. İTÜ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Golla RB, Mukhopadhyay A, Basu B, Thimmappa Kumar S., 2020. Review on ultra-high temperature boride ceramics. Progress in Materials Science, 111: 100-651.

Jia Y, Shashvat TM, Ryan L, Chowdhury MAR, Horn T, Xu C., 2021. Additive manufacturing of ZrB_2 – $ZrSi_2$ ultra-high temperature ceramic composites using an electron beam melting process. *Ceramics International*, 47: 2397–2405.

Jin X, Yang J, Sun Y, Li P, Hou C, Zhao Y, Fan X., 2021. Fabrication and characterisation of high-performance joints made of ZrB_2 –SiC ultra-high temperature ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 41: 7412–7422.

Kaya Ö., 2016. Silisyum karbür ve grafen nano plaka (GNP) takviyeli titanyum diborür seramiklerin spark plazma sinterleme yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonu. İTÜ Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Kumar Thimmappa S, Golla BR, Pitchuka SB, Bhanu Prasad VV., 2021. Nanoindentation and high temperature oxidation behavior of ZrB_2 –20SiC-(0–10 wt.%) Ta UHTCs. *Ceramics International*, 47: 22184–22190.

Kurtoğlu K., 2007. Titanyum diborürün karbotermik redüksiyon yöntemi ile üretimi. İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kuşutur S., 2008. Yanma sentezi ile zirkondan nitrür ve karbür tozu üretiminin araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

Maraşlıoğlu D., 2005. Titanyum diborür (TiB_2) üretimi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Marschall J, Fletcher DG., 2010. High-enthalpy test environments, flow modeling and in situ diagnostics for characterizing ultra-high temperature ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 30(11): 2323-2336.

Marumo T, Koide N, Arai Y, Nishimura T, Hasegawa M, Inoue R., 2022. Characterization of carbon fiber-reinforced ultra-high temperature ceramic matrix composites fabricated via Zr-Ti alloy melt infiltration. *Journal of the European Ceramic Society*, 42: 5208–5219.

Nayebi B, Shahedi MA, Kakroudi MG, Farahbakhsh I, Shokouhimehr M., 2016. Interfacial phenomena and formation of nano-particles in porous ZrB_2 –40 vol% B_4C UHTC. *Ceramics International*, 42: 17009–17015.

Nowak R, Bruzda G, Polkowski W., 2021. High temperature interaction between molten Ni50Al50 alloy and ZrB_2 ultra-high temperature ceramics. *Materials Letters*, 290: 129447.

Özkan S., 2019. Ergimiş tuz elektrolizi yöntemiyle ZrB_2 sentezi ve karakterizasyonu. İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Öztürk OÖ., 2017. Zirkonyum karbür esaslı seramiklerin spark plazma sinterleme yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonu. İTÜ, Doktora Tezi, İstanbul.

Pasagada VKV, Yang N, Xu C., 2022. Electron beam sintering (EBS) process for Ultra-High Temperature Ceramics (UHTCs) and the comparison with traditional UHTC sintering and metal Electron Beam Melting (EBM) processes. *Ceramics International* 48: 10174–10186.

Povolny SJ, Seidel GD, Tallon C., 2021. Investigating the mechanical behavior of multiscale porous ultra-high temperature ceramics using a quasi-static material point method. *Mechanics of Materials*, 160: 103-976.

Povolny SJ, Seidel GD, Tallon C., 2022. Numerical investigation of thermomechanical response of multiscale porous ultra-high temperature ceramics. *Ceramics International*, 48: 11502–11517.

Şimşek T., 2014. Zirkonyum diborür nano kristal kaplanmış farklı malzemelerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması. Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Ankara.

Simsek T, Baris M, Ozcan S., 2019. Investigation of machinability properties of laser treated S355JR carbon steel with ZrB₂ nanoparticles. *Turkish Journal of Engineering (TUJE)*, 3(2): 51-59.

Turan A., 2014. Yerli hammaddelerden hareketle TiB₂ esaslı ileri teknoloji seramiklerin üretilmesi. İTÜ, Doktora Tezi, İstanbul.

Tülbez S, Kocaoğlu BC, Akgün B., 2019. Sıcaklık algısını değiştiren malzemeler: ultra yüksek sıcaklık seramikleri. *Roketsan*, 15.

Üşümezel C., 2016. Yapısal amaçlı uygulamalar için zirkonya-zirkonyum diborür (ZrO₂-ZrB₂) kompozitlerinin üretimi ve karakterizasyonu Dumlupınar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.

Xia C, Shahedi AM, Sabahi Namini A, Ahmadi Z, Delbari SA, Van Le Q, Shokouhimehr M, Mohammadi M., 2020. Enhanced fracture toughness of ZrB₂-SiCw ceramics with graphene nanoplatelets. *Ceramics International* 46: 24906–24915.

Xu Y, Sun W, Xiong X, Liu F, Miao C., 2020. Chloride salt assisted reactive molten infiltration method for Cf-UHTCs and their unique microstructure. *Ceramics International*, 46: 6424–6435.

Yanardağ B., 2022. TiB₂ takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin ve fonksiyonel dereceli malzemelerin sıcak pres ve basınçsız sinterleme ile üretimi ve karakterizasyonu Akdeniz Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Antalya.

Yıldırım B., 2021. Seramik malzemenin kullanım alanları ve ülkemizde “seramik üniversitesi” kurulması önerisi. Yeni Fikir Dergisi, 13(26): 18–34.

Yıldızçelik AE., 2015. Zirkonyum diborür-titanyum diborür kompozit seramik tozlarının kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi yöntemi ile üretilmesi. İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Yücel Ö., 2022. The effect of reactive sintering on the densification of boron carbide zirconium diboride composite. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

Toxic Effects of Disinfectants on Aquatic Organisms

Burcu YEŞİLBUDAK^{1*}

¹Department of Biology, Çukurova University, Adana, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-3627-0024>

*Corresponding author: yesilbudak@gmail.com

Review Article

Article History:

Received: 17.08.2023

Accepted: 19.11.2023

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Environmental welfare

Disinfectant

Toxicology

Aquatic ecosystem

Public health

ABSTRACT

Depending on increasing chaotic climatic and microbial changes in recent years, various approaches have emerged to ensure environmental welfare and stabilization of public health. Although disinfection processes are one of them, the presence of disinfection products in the environment has also become a concern, and their toxicological effects on organisms have been questioned. This study was conducted to comparatively investigate and evaluate the effects of various disinfectants on organisms in aquatic ecosystems. For this purpose, toxicity significance levels based on life cycle studies with certain species in the aquatic environment were investigated, and a significant number of studies including the effects of different disinfectant types on target species were grouped. According to the studies examined, it has been observed that organisms are most affected by chlorine exposure due to its economical and easy use. The results showed that disinfectants pose a risk to the ecosystem and may even cause more genotoxic, mutagenic and teratogenic consequences for organisms in long-term exposures.

Dezenfektanların Sucul Organizmalar Üzerindeki Toksik Etkileri

Derleme

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 17.08.2023

Kabul tarihi: 19.11.2023

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Çevre refahı

Dezenfektan

Toksikoloji

Sucul ekosistem

Halk sağlığı

ÖZ

Son yıllarda artan kaotik iklimsel ve mikrobiyal değişimlere bağlı olarak çevre refahı ve halk sağlığının stabilizasyonunu sağlamaya yönelik çeşitli yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Dezenfeksiyon işlemleri bunlardan biri olmasına karşın, çevrede dezenfeksiyon ürünlerinin mevcudetiye düşündürücü bir duruma gelmiş ve organizmalar üzerindeki toksikolojik etkileri sorgulanmaya başlanmıştır. Bu çalışma, çeşitli dezenfektanların sucul ekosistemlerdeki organizmalara etkilerini karşılaştırmalı olarak araştırmak ve değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, su ortamındaki belirli türlerle yapılan yaşam döngüsü çalışmalarına dayalı toksisite önem seviyeleri araştırılmış, farklı dezenfektan türlerinin hedef türler üzerindeki etkilerini içeren önemli sayıda çalışma gruplandırılmıştır. İncelenen araştırmalara göre organizmaların, ekonomik oluşu ve kullanım kolaylığı nedeniyle en çok klor maruziyetinden etkilendikleri görülmüştür. Sonuçlar dezenfektanların ekosistem için bir risk oluşturduğunu ve hatta uzun süreli maruziyetlerde organizmalar için daha fazla genotoksik, mutajenik ve teratojenik sonuçlara neden olabileceğini göstermiştir.

To Cite: Yeşilbudak B., 2023. Toxic effects of disinfectants on aquatic organisms. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 270-284.

Introduction

Water is an essential chemical compound for every organism and vital for the sustainability of life (Gheraout, 2017). Aquatic ecosystems are contaminated not only by the

mineral deposits, technological changes, agricultural production and the process of food becoming a suitable shelf product, but also by hospital wastes, veterinary services and disinfection processes, concurrently with a growing global population (Zhou et al., 1997; IARC, 2000). Disinfectants have numerous applications, and the main disinfectant sources are categorized in accordance with the European Union directive (Smith, 2015) (Figure 1). Additionally, it has been reported in a number of studies that various disinfectants are preferred to destroy harmful viruses and bacteria in water treatment facilities, aquaculture, agricultural uses, domestic and health institutions (Gümüş et al., 2013; Holm et al., 2019; Yun et al., 2020; Choi et al., 2021; Huang et al., 2021).

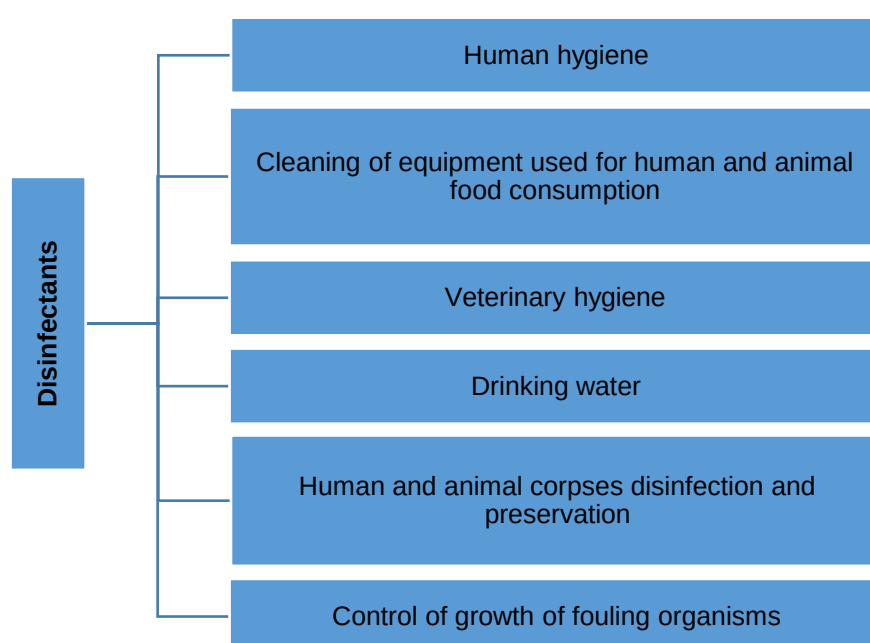


Figure 1. Diagram of usage areas of disinfectants used according to EU legislation (Smith, 2015)

The final destination that disinfectants reach as a result of excessive and irregular use is again the aquatic ecosystems as depicted in Figure 2. Disinfectants reaching the aquatic ecosystem from different sources react with natural organic substances such as humic and fulvic acids in the environment, causing occurrence of numerous disinfection byproducts with mutagenic, carcinogenic and teratogenic effects (Zhou et al., 1997; IARC, 2000). An essential component of the antioxidant defense system in organisms is formed by glutathione and antioxidant enzymes (Livingstone, 2001). As is common knowledge, chlorine compounds are pro-oxidants so strong that they can damage the antioxidant defense system and antioxidant components of exposed vertebrate and invertebrate organisms (Ueno et al., 2000; Pozzetti et al., 2003). In a study, although correlation results were determined between public health and

disinfected drinking water, the level of this correlation was found to be relatively low (Barceló, 2012). However, a number of epidemiological studies have revealed that drinking water cleaned using disinfectants may increase the risk of contracting a number of diseases, including cancer of the bladder, kidneys, colon and rectum (Richardson et al., 2007; Yang and Zhang, 2016).

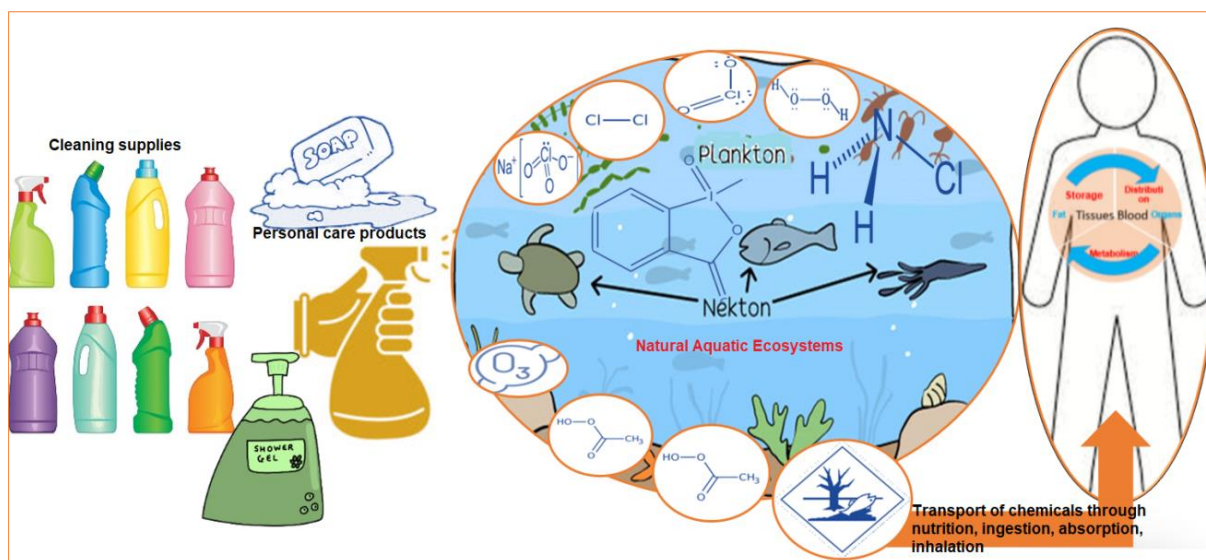


Figure 2. Illustration of disinfectants affecting organisms in the aquatic ecosystem and indirectly human health

The fact that the different disinfectants used cause changes in the structure of drinking water, surface water and underground water have led scientists to develop eco-friendly alternative materials both commercially and ecologically (Rai et al., 2018; Ghernaout et al., 2019). This review focused on the most commonly utilized disinfectants in various literatures such as chlorine, bromine chloride, monochloramine, hypochlorous acid, hypochlorite ion, dichloramine, sodium hypochlorite, malachite green, chloramine-T, ozone, potassium permanganate (VII), chlorine dioxide, peracetic acid, hydrogen peroxide. Furthermore, the toxic effects of these substances on aquatic organisms have been accordingly evaluated. For this, a literature review on disinfectants from various databases was made, and the effects of different types of disinfectants were categorized in Table 1 according to the years.

Chlorine

Chlorine is a highly reactive chemical oxidizing reagent. Once mixed with water, it easily reacts with inorganic substances such as oxidizable hydrogen sulfide, ferrous, and organic impurities such as microorganisms and nitrogen compounds, which decompose in the water due to animal residues (Shamrukh and Hassan, 2005).

Because of its powerful antibacterial properties and affordable price, chlorine has been the most popular of the commercial disinfectants available for usage (Reddy and Elias, 2021). Chlorination has generally been the most used method to prevent contamination of both wastewater and drinking water, but several studies have reported that chlorination leads to the formation of by-products that are potentially harmful to public health and aquatic organisms (Zhou et al., 1997; IARC, 2000; Lee et al., 2001). It has been determined that the increased chlorine level in water as a result of chlorination combines with organic substances to form carcinogenic trihalomethanes (THM) and other halogenated hydrocarbons, and it has been emphasized that disinfection techniques should be revised withal (Cotruvo, 1981).

Hypochlorous Acid and Hypochlorite Ion

Chlorine in the gaseous state becomes a strong oxidizing agent in aqueous solutions. Chlorine interacts in aqueous solution and produces hypochlorous acid and hypochlorite ions, as shown in the equation; $[Cl_2 (g) + H_2O \rightleftharpoons HOCl + H^+ + Cl^- ; HOCl \rightleftharpoons H^+ + OCl^-]$ (USEPA, 1999). Hypochlorous acid ionizes depending on pH, temperature, and organic matter in the water. The level of hydrogen ions in the water ensures the formation of 100% hypochlorite acid at pH=5, and 100% hypochlorite ions at pH=10. This circumstance could be used to explain the key distinction between hypochlorous acid and hypochlorite ion (USEPA, 1999). Hypochlorous acid is identified as non-hazardous by regulations of the Environmental Protection Agency (EPA, 1999).

Bromine Chloride

Bromine was first applied to water as liquefied bromine as a disinfectant. Bromine chloride can be applied as gaseous or solid brominates. According to numerous researches, bromine chloride is less hazardous to fish than chlorine and is a more effective disinfectant. In addition, it has been stated that bromine chloride is as cost-effective as chlorine and its use is widespread enough to compete with chlorine (Mills, 1973; Mills, 1975). It has been determined that bromine chloride has a number of advantages over chlorine, including the capacity to disinfect the polio virus, convenience of usage, and safety. Toxicological information on organisms in aquatic ecosystems is relatively scarce, nevertheless (Keswick et al., 1978).

Monochloramine and Dichloramine

Monochloramine and dichloramine have been reported to have significant disinfecting power. However, it was also stated that high concentrations or contact times of chloramine

derivatives should be high (Shull, 1981). However, some disadvantages have been reported in the use of chloramines as a primary disinfectant. It has been stated that a series of chromosome aberrations are observed with a radiomimetic reaction in a short-term exposure of monochloramine to plant and animal cells, but the incidence is low (Shull, 1981). Chlorine can be found in different forms in aqueous solutions, these are; free chlorine, hypochlorous acid, hypochlorite ion, monochloramine and dichloramine. However, the presence of ammonia in water affects the concentration of monochloramine and dichloramine. One can determine the type of chlorine by observing changes in the ammonia content of the water. The concentration of chloramine derivatives rises as a result of organic pollution in the water (Seegert et al., 1979).

Sodium Hypochlorite

Sodium hypochlorite, produced by adding elemental chlorine to sodium hydroxide contains 5-15% chlorine and is less dangerous than elemental chlorine, but has a short shelf life. It can form inorganic byproducts such as chlorate, chloride and bromate in their reaction with water. On the other hand, the high level of corrosion effect can damage the application sites (Oğur et al., 2004). It is thought that sodium hypochlorite alone does not contaminate the environment, since the hypochlorite ion is chemically degraded immediately before being accumulated by organisms (ASC-PT Asahimas Chemical, 2009). However, in a study in which physical and chemical parameters were kept constant, it was reported that adding sodium hypochlorite to wastewater increases toxicity in organisms (Chen et al., 2001). This can be explained by the fact that other inorganic and organic substances carried by the wastewater activate the toxicity of the hypochlorite ion.

Malachite Green

Malachite green is an important biocide that is highly effective against protozoal and fungal infections in aquatic organisms and is widely used in the aquaculture industry (Schnick, 1988). In addition, it is preferably used as a colorant, food additive, medical disinfectant and anthelmintic in the textile, paper and food industries (Culp and Beland, 1996). It has observed to have ecotoxic effects on various metabolic functional systems such as immunity and reproduction in aquatic organisms. As a consequence, it has become a highly controversial compound in terms of public health due to the risks it poses to processed seafood products (Alderman and Clifton-Hadley, 1993; Gouranchat, 2000).

Chloramine-T

Although chloramine-T is not licensed for use in fish as a therapeutic agent, it is used in freshwater fish aquaculture as an effective treatment of bacterial gill diseases at varying concentrations as a prophylactic and disinfectant for which there are unfortunately no alternatives (Bullock et al., 1991; Smith et al., 1993; Thorburn and Moccia, 1993). However, despite its unconscious use, literature on the mechanism of action of chloramine T, its physiology in fish or its toxicity to fish is still lacking (Powell and Perry, 1996).

Ozone

Ozone is preferably used for the disinfection of water, as well as for the removal of taste, odor, color, turbidity, cyanide, nitrite, ammonia and metals in drinking, surface waters and contaminated ground waters (Gray, 2014). In addition, they are used in cleaning the residues of agricultural pesticides, in cold storage where food is stored, in the disinfection of infection in livestock, in the removal of aflatoxin, in the ventilation systems of medical and research laboratories, in swimming pools and in many other daily areas. Ozone is a very common and powerful disinfectant (Guzel-Seydim et al., 2004). However, its production in situ makes it more costly than other disinfectants such as chlorination or UV. Although ozone is an effective disinfectant against harmful microorganisms in water, a lower level of chlorination is used to ensure that residual pests are destroyed in the public distribution of disinfected water in treatment facilities after ozone is applied (Guzel-Seydim et al., 2004; Gray, 2014). Undesirable aldehydes and ketones may be formed as a result of the reaction of ozone with various organic substances. This may cause toxic effects in aquatic organisms (Uzun, 2011).

Potassium Permanganate (VII)

Potassium permanganate is an oxidizing agent used in aquaculture, removal of harmful pathogens, and medical therapy for humans. However, in water treatment, organic residues are precipitated by oxidation and removed from the water by filtration. In addition, it is used as a chemical oxidant in the stabilization of odor, taste, color, plankton, iron and manganese chemicals in water (EPA, 1999). Along with such beneficial applications of potassium permanganate, several alarming situations have been observed in environmental toxicology. For instance, based on ecotoxicological studies, it has been pointed out that potassium permanganate concentrations above 0.12 mg/L may have chronic toxic effects on aquatic organisms and that other ecosystem elements may accumulate these toxicants by transport in the food chain (França et al., 2011).

Chlorine Dioxide

Used as a primary disinfectant and pre-oxidant in the treatment of drinking water, groundwater and surface water, chlorine dioxide has been used as an alternative to chlorine because it has a long-lasting effect and appears to be safe for public health (Berg et al., 1980; Elia et al., 2006). Because chlorine dioxide does not react with organic compounds in aqueous solutions to form serious carcinogenic trihalomethanes such as chloroform (Opresko, 1980). Chlorine dioxide, one of the chlorine compounds, is a powerful oxidant and biocide (Berg et al., 1980; Elia et al., 2006). Persistence of chlorite residues in aquatic ecosystems suggests that this compound may cause toxic effects against aquatic organisms. Various studies have been conducted on the eco-physiological effects of these disinfectants on viruses, bacteria, phytoplankton, zooplankton and fish, but negative effects have been determined (Huang et al., 1997, Svecičius et al., 2005). In a study, it was observed that chlorine dioxide was 2-4 times more toxic than total residual chlorine (TRC) in *Pimephales promelas* and *Lepomis macrochirus* under the influence of chlorine dioxide (Wilde et al., 1983).

Peracetic Acid

Peracetic acid is known to be a useful disinfectant and has applications in medical establishments, research laboratories, clinics, factories and wastewater facilities (Baldry et al., 1995). It has been reported that the use of peracetic acid may cause the production of free radicals and halogenated organic by-chemicals as well as chlorine compounds (Booth and Lester, 1995). However, disinfection of river or lake water for potabilization with peracetic acid has been reported to produce several by-products that are not recognized as mutagenic (Monarca et al., 2002). Peracetic acid actually accelerates the proliferation of microorganisms by increasing the decay of organic matter in the process due to acetic acid (Kitis, 2004; Pedersen et al., 2013). Depending on time, low levels of peracetic acid support biofilm and microbial zone formation, which essentially creates a disadvantage for aquatic ecosystems (Liu et al., 2017).

Hydrogen Peroxide

Hydrogen peroxide is used in many areas and is an oxidizer as strong as other disinfectants. The unstable nature of Hydrogen peroxide and the difficulty of preparing its concentrated solution limit its usage areas. In addition to its use in disinfection of contaminated water, it can also be used safely in medical, agriculture, pharmaceutical, textile, mining, wastewater treatment facilities, paper production sectors and food industry with its

disinfectant effect (Campbell, 2003). This compound destroys harmful pathogenic cells oxidatively, and essential structural components such as nucleic acids, proteins and lipids are broken down (Demirci and Ngadi, 2012).

Table 1. Toxic effects of some common disinfectants on aquatic species

Disinfectants IUPAC name (Chemical formula)	Test animal	Exposure results	References
Chlorine (Cl ⁻)	<i>Pimephales promelas</i>	Oxidation of hemoglobin to methemoglobin and mortality due to anoxia	Grothe and Eaton, 1975
Bromine chloride (BrCl)	<i>Pimephales promelas</i>	No fish survived to maturity. A 50% decrease was observed in the second generations.	Ward and DeGraeve, 1978
Monochloramine (ClH ₂ N)	<i>Notropis atherinoides</i>	LC50 value was 0.51 mg/L	Seegert et al., 1979
Monochloramine (ClH ₂ N)	<i>Catostomus commersonii</i>	LC50 value was 0.73mg/L	Seegert et al., 1979
Monochloramine (ClH ₂ N)	<i>Notropis spilopterus</i>	LC50 value was 0.59 mg/L	Seegert et al., 1979
Monochloramine (ClH ₂ N)	<i>Notropis cornutus</i>	LC50 value was 0.59 mg/L	Seegert et al., 1979
Monochloramine (ClH ₂ N)	<i>Ictalurus punctatus</i>	LC50 value was 0.65 mg/L	Seegert et al., 1979
Monochloramine (ClH ₂ N)	<i>Stizostedion canadense</i>	LC50 value was 0.68 mg/L	Seegert et al., 1979
Monochloramine (ClH ₂ N)	<i>Aplodinotus grunniens</i>	LC50 value was 1.75 mg/L	Seegert et al., 1979
Monochloramine (ClH ₂ N)	<i>Morone chrysops</i>	LC50 value was 1.80 mg/L	Seegert et al., 1979
Monochloramine (ClH ₂ N)	<i>Lepomis macrochirus</i>	LC50 value was 1.72 mg/L	Seegert et al., 1979
Monochloramine (ClH ₂ N)	<i>Cyprinus carpio</i>	LC50 value was 1.82 mg/L	Seegert et al., 1979
Hypochlorous acid (HOCl)	<i>Gambusia affinis</i>	The HOCl alone causing 50% mortality of <i>G. affinis</i> at a concentration of 0.38 ppm.	Mattice et al., 1981
Hypochlorite ion (ClO ⁻)	<i>Gambusia affinis</i>	The ClO ⁻ is approximately one-quarter as toxic to <i>G. affinis</i> as HOCl	Mattice et al., 1981
Dichloramine (NHCl ₂)	<i>Salmo gairdneri</i>	LC50 value was 0.57 mg/L	Brooks and Bartos, 1984
Dichloramine (NHCl ₂)	<i>Ictalurus punctatus</i>	LC50 value was 0.20 mg/L	Brooks and Bartos, 1984
Dichloramine (NHCl ₂)	<i>Notropis atherinoides</i>	LC50 value was 0.15 mg/L	Brooks and Bartos, 1984
Sodium hypochlorite (NaClO)	<i>Salmo gairdneri</i>	Depletion of liver glycogen and inhibition of liver UDP-glucuronosyltransferase and swelling and vacuolization of the gill epithelium observed	Soivio et al., 1988
Malachite green [4-[[4-(Dimethylamino) phenyl](phenyl)methylidene}-N,N-dimethylcyclohexa-2,5-dien-1-iminium chloride] (C ₂₃ H ₂₅ ClN ₂)	<i>Heteropneustes fossilis</i>	LC50 value was 1.0 mg/L for 96h	Srivastava et al., 1995
Hypochlorite ion (ClO ⁻)	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Respiratory acidosis	Powell and Perry, 1996
Sodium hypochlorite (NaClO)	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Increase in haematocrit level	Powell and Perry, 1996

Chloramine-T [Sodium chloro(4-methylbenzene-1-sulfonyl)azanide] ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NCINa}$)	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Hyperventilation	Powell and Perry, 1996
Ozone (O_3)	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Only ozone which can cross the membrane increased reactive oxygen	Fukunaga et al., 1999
Potassium permanganate (VII) (KMnO_4)	<i>Ictalurus punctatus</i>	Toxicant effect significantly reduced fish survival	Darwish et al., 2002
Chlorine dioxide (ClO_2)	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	LC50 value was 8.3 mg/L for 96h	Svecevičius et al., 2005
Sodium hypochlorite (NaClO)	<i>Cyprinus carpio</i>	Significant increase in total glutathione and glutathione reductase levels	Elia et al., 2006
Chlorine dioxide (ClO_2)	<i>Cyprinus carpio</i>	Irregularity in total glutathione level	Elia et al., 2006
Peracetic acid ($\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$)	<i>Cyprinus carpio</i>	Changes in total glutathione level	Elia et al., 2006
Potassium permanganate (VII) (KMnO_4)	<i>Clarias gariepinus</i>	A decrease in blood values was observed	Kori-Siakpere et al., 2009
Hydrogen peroxide (H_2O_2)	<i>Salmo salar</i> (diploid)	Significantly elevated the expression of catalase and superoxide dismutase and glutathione reductase, interleukin 1 beta and crp/sap1b in gills, while significantly decreased the expression of serum amyloid A-5 and C-reactive protein (CRP)/serum amyloid	Chalmers et al., 2018
Hydrogen peroxide (H_2O_2)	<i>Salmo salar</i> (triploid)	The levels of catalase, heat shock protein 70, superoxide dismutase, serum amyloid A-5, C-reactive protein (CRP)/serum amyloid P 1a and C-reactive protein (CRP)/serum amyloid P 1 b in liver and glutathione reductase, superoxide dismutase and interleukin 1 beta in gills was elevated	Chalmers et al., 2018
Peracetic acid ($\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$)	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Post-treatment fish growth was not affected, but high mortality was observed.	Suurnäkki et al., 2020

Conclusion

Understanding the importance of public health is possible only with considering the welfare of organisms and the formation of environmental quality from a holistic perspective. The reason for increasing concern about the sustainability of environmental quality is actually that the chemicals used in wastewater treatment do not function as effective disinfectants in terms of quality. However, this concern might be diminished by having disinfectants that are biotechnological, inexpensive, degradable, and have minimal toxic effects on organisms in aquatic biomes. Based on the literature data that we have investigated so far, it has been observed that disinfectants have as many disadvantages as their advantages. For this reason, the correct use and use of disinfectants should be kept under control and monitored regularly. The results obtained in this study have a high potential to be very informative for the researchers working in the field of major species in aquatic ecosystems in order to address the toxicological effects of disinfectants on a regular basis.

Contribution Rate Statement Summary of the Researcher

The author declares that she has contributed to the article 100%.

Conflict of Interest Statement

The author declares no conflicts of interest.

References

- Alderman DJ, Clifton-Hadley RS., 1993. Malachite green: a pharmacokinetic study in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of Fish Diseases*, 16(4): 297-311.
- ASC-PT Asahimas Chemical., 2009. Sodium hypochlorite 10% Archived 12 July 2018 at the Wayback Machine. Online Material Safety Data Sheet. https://web.archive.org/web/20180712174651/http://www.asc.co.id/uplimg/File/03%20zMSDS_NaClO_ASC%20R3.pdf .Accessed on 16 Aug 2023.
- Baldry MGC, Cavadore A, French MS., 1995. Effluent disinfection in warm climates with peracetic acid. *Water Sci. Technol.*, 31: 161-164.
- Barceló D., 2012. *Emerging organic contaminants and human health*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Berg JD, Aieta EM, Roberts PV., 1980. Comparison of viral and bacterial indicators of disinfection in wastewater with chlorine dioxide and chlorine. *Water Chemical. Environmental Impact and Healthy Effect*, 3: 7-11.
- Booth RA, Lester JN., 1995. The potential formation of halogenated by-products during peracetic acid treatment of final sewage effluent. *Water Res.*, 29: 1793-1801.
- Brooks AS, Bartos JM., 1984. Effects of free and combined chlorine and exposure duration on rainbow trout, channel catfish, and emerald shiners. *Transactions of the American Fisheries Society*, 113(6): 786-793.
- Bullock GL, Herman RL, Waggy C., 1991. Hatchery efficacy trials with chloramine-T for control of bacterial gill disease. *Journal of Aquatic Animal Health*, 3(1): 48-50.
- Campbell WD., 2003. *Hydrogen peroxide medical miracle*. Rhino Pub., SA.
- Chalmers L, Vera LM, Taylor JF, Adams A, Migaud H., 2018. Comparative ploidy response to experimental hydrogen peroxide exposure in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fish & Shellfish Immunology*, 81: 354-367.
- Chen CM, Shih ML, Lee SZ, Wang JS., 2001. Increased toxicity of textile effluents by a chlorination process using sodium hypochlorite. *Water Science and Technology*, 43(2): 1-8.

Choi K, Sim S, Choi J, Park C, Uhm Y, Lim E, Kim AY, Yoo SJ, Lee Y., 2021. Changes in handwashing and hygiene product usage patterns in Korea before and after the outbreak of COVID-19. *Environmental Sciences Europe*, 33(1): 79.

Cotruvo JA., 1981. Trihalomethanes (THMs) in drinking water. *Environmental Science & Technology*, 15(3): 268-274.

Culp SJ, Beland FA., 1996. Malachite green: a toxicological review. *Journal of the American College of Toxicology*, 15(3): 219-238.

Darwish AM, Griffin BR, Straus DL, Mitchell AJ., 2002. Histological and hematological evaluation of potassium permanganate exposure in channel catfish. *Journal of Aquatic Animal Health*, 14(2): 134-144.

Demirci A, Ngadi MO., 2012. Microbial decontamination in the food industry: Novel methods and applications, Edition: 1, Pages: 1-840, Elsevier.

Elia AC, Anastasi V, Dörr AJM., 2006. Hepatic antioxidant enzymes and total glutathione of *Cyprinus carpio* exposed to three disinfectants, chlorine dioxide, sodium hypochlorite and peracetic acid, for superficial water potabilization. *Chemosphere*, 64(10): 1633-1641.

EPA, 1999. Potassium permanganate. In: EPA Guidance Manual: Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. EPA 815-R-99-014., 5: 1-14.

França JG, Paiva MJ, Carvalho S, Miashiro L, Lombardi JV., 2011. Toxicity of the therapeutic potassium permanganate to tilapia *Oreochromis niloticus* and to non-target organisms *Ceriodaphnia dubia* (microcrustacean cladocera) and *Pseudokirchneriella subcapitata* (green microalgae). *Aquaculture*, 322: 249-254.

Fukunaga K, Nakazono N, Suzuki T, Takama K., 1999. Mechanism of oxidative damage to fish red blood cells by ozone. *IUBMB Life*, 48(6): 631-634.

Gheraout D., 2017. Environmental principles in the Holy Koran and the Sayings of the Prophet Muhammad. *American Journal of Environmental Protection*, 6(3): 75-79.

Gheraout D, Elboughdiri N, Al Arni S., 2019. Water reuse (WR): Dares, restrictions, and trends. *Applied Engineering*, 3: 159-170.

Gouranchat C., 2000. Malachite green in fish culture (state of the art and perspectives). Bibliographic study. Ecole Natl. Veterinaire ENVT, Nantes (France).

Gray NF., 2014. Ozone disinfection. In *Microbiology of waterborne diseases*. Academic Press.

Grothe DR, Eaton JW., 1975. Chlorine-induced mortality in fish. *Transactions of the American Fisheries Society*, 104(4): 800-802.

Guzel-Seydim ZB, Greene AK, Seydim AC., 2004. Use of ozone in the food industry. LWT-Food Science and Technology, 37(4): 453-460.

Gümüş NE, Karataş M, Akküz C., 2013. Chemical and bacteriological properties of fresh water fountains of Karaman province. Journal of Applied Biological Sciences, 7(1): 61-65.

Holm SM, Leonard V, Durrani T, Miller MD., 2019. Do we know how best to disinfect child care sites in the United States? A review of available disinfectant efficacy data and health risks of the major disinfectant classes. American Journal of Infection Control, 47(1): 82-91.

Huang J, Wang L, Ren N, Ma F., 1997. Disinfection effect of chlorine dioxide on bacteria in water. Water Research, 31(3): 607-613.

Huang J, Chen S, Ma X, Yu P, Zuo P, Shi B, Wang H, Alvarez PJ., 2021. Opportunistic pathogens and their health risk in four full-scale drinking water treatment and distribution systems. Ecological Engineering, 160: 106-134.

IARC., 2000. Disinfectants and disinfectant by-products. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. The International Agency for Research on Cancer, France.

Keswick BH, Fujioka RS, Burbank Jr NC, Loh PC., 1978. Comparative disinfection efficiency of bromine chloride and chlorine for poliovirus. Journal-American Water Works Association, 70(10): 573-577.

Kitis M., 2004. Disinfection of wastewater with peracetic acid: a review. Environment International, 30(1): 47-55.

Kori-Siakpere O, Ogbe MG, Ikomi RB., 2009. Haematological response of the African catfish: *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) to sublethal concentrations of potassium permanganate. Scientific Research and Essay, 4(5): 45-466.

Lee KJ, Kim BH, Hong JE, Pyo HS, Park SJ., 2001. A study on the distribution of chlorination by-products (CBPs) in treated water in Korea. Water Research, 35(12): 2861-2872.

Liu D, Straus DL, Pedersen LF, Meinelt T., 2017. Pulse versus continuous peracetic acid applications: Effects on rainbow trout performance, biofilm formation and water quality. Aquacultural Engineering, 77: 72-79.

Livingstone DR., 2001. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. Marine Pollution Bulletin, 42(8): 656-666.

Mattice JS, Tsai SC, Burch MB., 1981. Comparative toxicity of hypochlorous acid and hypochlorite ions to mosquitofish. Transactions of the American Fisheries Society, 110(4): 519-525.

Mills JF., 1973. The disinfection of sewage by chlorobromination. Proc. Div. Wtr. Air Waste Chem., ACS, Dallas, Tex.

Mills JF., 1975. Interhalogens and halogen mixtures as disinfectants. Disinfection-Water and Wastewater. JD Johnson.

Monarca S, Richardson SD, Feretti D, Grottolo M, Thruston A, Zani C, Navazio G, Ragazzo P, Zerbini I, Alberti A., 2002. Mutagenicity and disinfection by-products in surface drinking water disinfected with peracetic acid. Environ. Toxicol. Chem., 21: 309-318.

Oğur UDR, Tekbaş ÖF, Hasde M., 2004. Klorlama rehberi (içme ve kullanma sularının klorlanması). Gülhane Askeri Tıp Akademisi Halk Sağlığı Anabilim Dalı Doktora Tezi, Ankara.

Opresko DM., 1980. Review of open literature on effects of chlorine on aquatic organisms (No. EPRI-EA-1491). Oak Ridge National Lab., TN (USA).

Pedersen LF, Meinelt T, Straus DL., 2013. Peracetic acid degradation in freshwater aquaculture systems and possible practical implications. Aquacultural Engineering, 53: 65-71.

Powell MD, Perry SF., 1996. Respiratory and acid-base disturbances in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) blood during exposure to chloramine T, paratoluenesulphonamide, and hypochlorite. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53(4): 701-708.

Pozzetti L, Broccoli M, Potenza G, Canestro D, Affatato A, Sapone A, Antelli A, D'Amico E, Vangelisti S, Cantelli-Forti G, Paolini M, Ferrara G, Elia AC, Dorr AJM, Taticchi MI, Mantilacci L, Natali M., 2003. Tecniche enzimatiche per valutare la tossicità di acque potabilizzate. Acqua Aria, 4: 64-68.

Rai PK, Lee J, Kailasa SK, Kwon EE, Tsang YF, Ok YS, Kim KH., 2018. A critical review of ferrate (VI)-based remediation of soil and groundwater. Environmental Research, 160: 420-448.

Reddy ND, Elia AJ., 2021. Chlorine and the chemistry of disinfectants: A fascinating journey-18th Century to the COVID Times. Resonance, 26: 341-366.

Richardson SD, Plewa MJ, Wagner ED, Schoeny R, DeMarini DM., 2007. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research. Mutation Research/Reviews in Mutation Research, 636(1-3): 178-242.

Schnick RA., 1988. The impetus to register new therapeutants for aquaculture. *The Progressive Fish-Culturist*, 50(4): 190-196.

Seegert GL, Brooks AS, Castle JRV, Gradall K., 1979. The effects of monochloramine on selected riverine fishes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 108(1): 88-96.

Shamrukh M, Hassan Y., 2005. Chlorination and optimal chlorine dosage for Nile water. In *Proc. First Ain Shams University Int. Conf. on Environmental Engineering*, ASCEE, p: 644-654, Egypt.

Shull KE., 1981. Experience with chloramines as primary disinfectants. *Journal-American Water Works Association*, 73(2): 101-104.

Smith SA, McAllister PE, Hrubec TC, Veil HP., 1993. Survey of endemic diseases of cultured rainbow trout in Virginia. USA *Proc. Aquac. Assoc. Can*, 10: 62.

Smith R., 2015. Directive 98/5/EC of the European parliament and of the council of 16 February 1998. *Core EU Legis*. 41: 197-202.

Soivio A, Nikunen E, Tuurala H., 1988. Acute response to sodium hypochlorite in rainbow trout acclimatized to pulp and paper mill effluents. *Aquatic Toxicology*, 13(1): 77-87.

Srivastava SJ, Singh ND, Srivastava AK, Sinha R., 1995. Acute toxicity of malachite green and its effects on certain blood parameters of a catfish, *Heteropneustes fossilis*. *Aquat. Toxicol.*, 31: 241-247.

Suurnäkki S, Pulkkinen JT, Lindholm-Lehto PC, Tirola M, Aalto SL., 2020. The effect of peracetic acid on microbial community, water quality, nitrification and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) performance in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, 516: 734534.

Svecevičius G, Šyvokienė J, Stasiūnaitė P, Mickėnienė L., 2005. Acute and chronic toxicity of chlorine dioxide (ClO₂) and chlorite (ClO₂) to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) (4 pp). *Environmental Science and Pollution Research*, 12: 302-305.

Thorburn MA, Moccia RD., 1993. Use of chemotherapeutics on trout farms in Ontario. *Journal of Aquatic Animal Health*, 5(2): 85-91.

Ueno H, Sayato Y, Nakamuro K., 2000. Hematological effects of chlorine dioxide on in vitro exposure in mouse, rat and human blood and on subchronic exposure in mice. *J. Health Sci.* 46: 110-116.

USEPA, 1999. *Guidance Manual Alternative Disinfectants and Oxidants*. United States Environmental Protection Agency, Office of Drinking Water, Cincinnati, Ohio.

Uzun S., 2011. Su kalitesinin iyileştirilmesinde ozon kullanımı ve kimyasal etkileri. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 68(2): 105-113.

Ward RW, DeGraeve GM., 1978. Residual toxicity of several disinfectants in domestic and industrial wastewaters. Journal (Water Pollution Control Federation), 2703-2722.

Wilde EW, Soracco RJ, Mayack LA, Shealy RL, Broadwell TL, Steffen RF., 1983. Comparison of chlorine and chlorine dioxide toxicity to fathead minnows and bluegill. Water Research, 17(10): 1327-1331.

Yang M, Zhang X., 2016. Current trends in the analysis and identification of emerging disinfection byproducts. Trends in Environmental Analytical Chemistry, 10: 24-34.

Yun S, Yoon SY, Hong EJ, Giri SS, Kim SG, Kim SW, Han SJ, Kwon J, Oh WT, Lee SB, Park SC., 2020. Effect of plasma-activated water, used as a disinfectant, on the hatch rate of dormant cysts of the *Artemia salina*. Aquaculture, 523: 735232.

Zhou SW, Xu FD, Li SM, Song RX, Qi S, Zhang Y, Bao YP., 1997. Major origin of mutagenicity of chlorinated drinking water in China: humic acid or pollutants. Science of the Total Environment, 196(3): 191-196.

Derleme: Koyunlarda Yapağı Özelliklerine Etkili Olan Keratin İle İlişkili Protein Genleri

Emine MUTLU^{1*}, Deniz DİNÇEL²

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Veteriner-Genetik A.D., Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Genetik A.D., Bursa, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-6260-4497>

²<https://orcid.org/0000-0002-8015-9032>

*Sorumlu yazar: mutluemine26@gmail.com

Derleme

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 02.01.2024

Kabul tarihi: 07.02.2024

Online Yayınlanma: 08.03.2024

Anahtar Kelimeler

Koyun

Keratin

Yün folikülü

Yapağı

KAP

ÖZ

Koyun yapağısının değeri, geçmişten günümüze yapısı ve genetiği ile ilgili kapsamlı araştırmalara ilham vermiştir. Keratin ile ilişkili proteinler (KAP'lar) yapağı liflerinin en önemli yapısal bileşenleridir. Bu protein genlerinin ekspresyonunun belirlenmesi, düzenlenmesi ve karakterizasyonu moleküler gelişmelerle hızla ilerlemiştir. Bu derlemede, KAP genlerindeki genetik varyasyon ile lif özellikleri arasındaki potansiyel ilişki incelenmiş ve KAP genlerinin daha kaliteli yapağı üretmek için koyun yetiştiriciliğinde seleksiyon için bir belirteç olarak kullanımı değerlendirilmiştir. Bu çalışma, son on yılda yüksek kaliteli yapağı verimi ve kaliteli yapağı üretimi ile koyun ırklarının ıslahı ile ilgili KAP genleri hakkındaki literatürün bir derlemesini sunmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, bu gen ailelerinin genotipik önemine dikkat çekilmesi amaçlanmıştır.

A Review: Keratin-Related Protein Genes Affecting Wool Traits in Sheep

Reviews

Article History:

Received: 02.01.2024

Accepted: 07.02.2024

Available online: 08.03.2024

Keywords:

Sheep

Keratin

Wool follicle

Fleece

KAP

ABSTRACT

The value of sheep fleece has inspired extensive research into its structure and genetics from the past to the present. Keratin-associated proteins (KAPs) are the most important structural components of fleece fibres. The determination of expression, regulation, and characterization of these protein genes has been rapidly advanced by molecular advances. In this review, the potential relationship between genetic variation in KAP genes and fibre traits was examined and the use of KAP genes as a marker for selection in sheep breeding to produce higher-quality fleece was evaluated. The present study aims to provide a review of the literature on the KAP genes related to the breeding of sheep breeds with high-quality fleece yield and quality fleece production in the last decade. In this way, it is aimed to draw attention to the genotypic importance of these gene families.

To Cite: Mutlu E, Dinçel D., 2024. Derleme: Koyunlarda yapağı özelliklerine etkili olan keratin ile ilişkili protein genleri.

Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(1): 285-302.

Giriş

Koyunculuk ve Yapağı

İnsan ve hayvan arasında asırlar boyu gözlenen birliktelik beslenme ve korunma odaklı gibi değerlendiriliyor olsa da dönemin ihtiyaçlarına göre şekillendiği açıkça görülmektedir. Bu durum Rast-Eicher (2014) tarafından toplumlarda meydana gelen değişimlerin hayvansal ürün taleplerinde değişiklik yaptığı görüşüyle ifade edilmiştir. Benzer şekilde Sallaberger (2014) ile Tümertekin ve Özgüç (2013) ilk radikal değişikliğin avcı bir toplumun yerleşik hayata geçip tarım ve hayvancılık faaliyetleriyle uğraşmaya başlaması sonucu yapıldığını ifade etmişlerdir. Diğer yandan insanların koyunculukta elde ettikleri deneyimlerine etkili olan temel faktörlerden birisi tarımsal alanların bitkisel üretime elverişsiz olmasıdır.

Koyunun eski Yakın Doğu’da evcilleştirildiği, üretim unsurlarından biri olan yapağının Mezopotamya’da yolculuğuna başladığı bilinse de insan hareketliliği koyunun diğer kıtalara yayılmasını kolaylaştırmıştır (Ryder ve ark., 1964). MÖ 4000 yılında yapağının bir ticaret aracı olarak kullanıldığı, yapağının ilk kentsel toplumlardan evrensel imparatorluklara kadar ekonomide şekillendirici bir gücü olduğu, parasal olmayan ekonominin para birimi haline geldiği ifade edilmektedir (Michel & Breniquet 2014; Koyuncu 2019). Öz (2014)’e göre yapağının kıymetli bir armağan olarak görülmesi, saraylarda özel depolarda saklanması günümüze göre yapağının daha kıymetli olduğunu göstermektedir. Yapağının bu kadar değerli olmasının sebebinin her yönüyle muadilinin olmaması olduğu düşünülürken; bugün geri planda kalmasının birçok nedeni olmasına rağmen suni elyafın tekstilde yoğun bir şekilde kullanılması en önemlilerindendir (Öz, 2014).

Tarımsal planlamada koyun yetiştiriciliğinin yüksek talep görme nedenleri; kurak iklim koşullarında ve meralarda yetiştiriciliğinin yapılabilir olması, kuru tarım yapılan bölgelerde tarla ürünlerinin hasadından sonra anızın değerlendirilmesi, yapağı örtüsüne sahip olmaları nedeniyle barınak gereksinimlerinin daha ucuz olması, et, süt, yapağı gibi ürünlerin elde edilebilirliği ve işletmeye yarar sağlaması, gübresinin bitkileri beslemesi için kullanılması, generasyonlar arası sürenin daha kısa olması nedeniyle hızlı üremesi olarak sıralanabilir (Koyuncu, 2019).

Ülkemizde mevcut durum değerlendirildiğinde kentleşme oranının artması, mera alanlarının daralması ve tekstil sanayinde yapay liflerin kullanılması, yapağı üretiminin teşvik edilmemesi, yerli ırklardan elde edilen yapağının kalitesinin düşük olması, tekstil sanayisinin ihtiyacı olan bir örnek ince yapağının temin edilememesi sanayicileri yapağı ithalatına itmiştir.

Düzgüneş (1973) yapağı kalitesini incelik ve tek-tip yapı ile ilişkilendirirken; Koyuncu'ya (2019) göre ise incelik; yapağı kalitesinin ilk koşulunu oluşturmaktadır ve yapağı incelidikçe kalite ve fiyatının artacağı da belirtilmektedir.

Yapağının kalite özelliklerinde incelik, uzunluk ve ondülasyon gibi morfolojik özelliklerinin yanı sıra elastikiyet, mukavemet, keçelenme kabiliyeti, yumuşaklık, sertlik, sıklık, randıman, renk, bir örneklik, parlaklık ve rutubeti emme gibi fiziksel özellikleri de bulunmaktadır (Simm ve ark., 2022). Yapağı miktarı koyunların yaş, ırk, cinsiyet, beslenme ve vücut ağırlığı faktörlerine göre değişmekle birlikte 2-5 kg arasında yapağı elde edilebileceği bildirilmiştir (Simm ve ark., 2022). Yapağının en önemli özelliklerinden olan lif çapı ise yapağı kalitesi tayininde önemli düzeyde rol oynamaktadır. Lif çapı kaba yapağılarda genellikle 10-70 mikron, ince yapağı da ise 10-30 mikron arasındadır. Yapağı kalite tayininde birçok ülkede farklı sistemler uygulandığı bilinmektedir. Ancak günümüzde en yaygın olarak kullanılan sistem İngilizler tarafından geliştirilen Bradford Sortiman (Spinning Count) sistemidir ve Tablo 1'de sistemin değerlendirme skalası sunulmuştur.

Tablo 1. İngiliz Bradford Sortiman sisteminde yapağı kalite tayin özellikleri (Simm ve ark., 2022).

İNGİLİZ BRADFORD	ABD KAN DERECELERİ	ALMAN HARF	UZUNLUK (CM)	İNCELİK (MİKRON)
80S	EN İNCE	AAAAA	2--3	<18
70S	İNCE	AAAA	3--5	19-20
64S	ORTA İNCE	AAA	5--8	21-22
62S	YÜKSEK YARIM KAN	AA	6--8	23-24
60S	YARIM KAN	A	8--10	25-26
58S	3/8 KAN	AB	10--12	27-28
56S	YÜKSEK KAN	B	10--12	29-30
50S	1/4 KAN	C	12--15	21-37
48S	1/4 KAN	D	12--15	38-45
46S	DÜŞÜK KAN	E	15-18	46-60
44S	ADİ	EE	16-18	61-62
40S	KABA KIL	F	18-20	>62

Yapağının sortiman tayini esas alındığında genel olarak 5 sınıfa ayrılıp incelenmektedir. Merinos tipi yapağı dendiğinde 58'S kalitesinden 90'S kalitesine kadar geniş bir aralıkta kalın, orta ve ince olarak sınıflandırılabilen fazla kıvrımlı ve yüksek keçeleşme özelliği olan yumuşak elbiselik kumaş üretiminde tercih edilen ince yapağı tipi belirtilmektedir (Simm ve ark., 2022).

Vasat veya orta yapağı tipinde ise daha az kıvrım bulunurken; 46'S ile 60'S arasındaki sınıflandırmaya girmektedir. Elbise ve battaniye kumaşı yapımında kullanılan orta kalite yapağlar genellikle yerli İngiliz ırklarından elde edilmektedir. Uzun tip yapağlar 18-23 cm arasında olan ve 44-50'S kalitesinde bulunup genellikle palto ve pardösü kumaşlarında, keçe yapımında kullanılan yapağı tipidir. Merinos ve yerel ırkların melezinden elde edilen orta ince sınıfa uygun; 48-60'S kalitesinde bulunan kamgarn kumaş yapımında kullanılan sınıfı ifade etmektedir. Çeşitli koyun ırklarından üretilen ince, vasat ve uzun liflerin yanında kemp kıllarını da içeren ve bu özelliği sebebiyle boyar madde ile temas ettirildiğinde boyayı ememeyen yapıda bulunan tip ise halı tipi yapağı olarak sınıflandırılmaktadır. Genellikle kemp kılı bulunduran bu yapağlar; örtü, döşemelik ve keçe yapımı için kullanılan ipliklerin yapımında kullanılır. Tablo 2'de yapağının sınıflandırılması ve kullanım alanları verilmiştir (Simm ve ark., 2022).

Tablo 2. Irklara göre yapağının sınıflandırılması ve kullanım alanları (Simm ve ark., 2022)

Yapağı Sınıfı	Elyaf Çapı	Irklar	Kullanım Alanı
İnce	25'e Kadar	Merinos, Porlwarth	Triko, Yüksek Kalite Kumaş
Orta	25-30	Corridale, Romney, Coopworth	Tekstil, Orta Kalite Kumaş
Kaba	30'un Üstü	Borderleicester, Drydale, Tudidale	Tekstil, Mobilya Kumaşı, Ağır Gramaj
Halı	Ortalama 40	Carpetmaster, Eliotdale, Scottish Blackface	Halı, Döşemelik Dolgu

Yapağının Yapısı ve Kullanım Alanları

Yapağının geleneksel kullanım alanları olarak nitelendirilen konfeksiyon, ev tekstili, halıcılık, döşemecilik ile tıbbi tekstiller, geotekstiller, zirai tekstiller, teknik tekstiller gibi geleneksel kullanım alanlarının yanı sıra, akıllı materyaller, koruyucu giysiler, izolasyon-yalıtım, organik gübre ve hayvan örtüleri gibi yeni ve modern alanlarda da yaygın kullanım alanı bulunduğu görülmektedir. Yapay liflerden elde edilen tekstil ürünlerine göre yapağının daha sağlıklı olması özellikle konfeksiyon alanında kullanım oranını arttırmaktadır. Johnson ve ark. (2003) yapağının kendi yapısıyla ilişki olan fiziksel ve kimyasal özelliklerinden sıcak ve soğuğu tutma, nefes alabilirliği, nem ve koku emme gücü ile esnekliği gibi parametreler sebebiyle tekstil ve dokumacılıkta daha sağlıklı ve tercih edilebilir olduğunu belirtmektedir. Yapağının döşemecilik, halıcılık ve ev tekstilinde yaygın kullanımı yine yapağının özelliklerinden olan kirlenme ve lekelenmeye karşı dayanıklılığı ile yanmaya karşı dirençli oluşuyla ilgilidir. Yapağının toprak örtüsü veya tarım teknik tekstili olarak kullanılması geotekstil olarak adlandırılırken; yapağı lifinin sargı, basınçlı bandaj, yara örtüsü yapımında kullanılması tıbbi

olarak da medikal alanda kullanıldığının ifadesidir (Bahtiyari ve ark., 2008). Isıyı sabit tutabilme özelliği sayesinde doğal bir sıcaklık tamponlama sistemi olarak kullanılabilir olması sayesinde enerji tasarrufu amacıyla yalıtım maddesi olarak tercih edilmektedir (Johnson ve ark., 2003). Tarımsal bakış açısı ile değerlendirildiğinde yapağının azot, kükürt ve karbon içeren keratin yapıdan oluşması ve bunun yanında yıkanmış yapağının değerli ve çevre dostu denilebilecek gübre olarak kullanılabilmesi bitki beslemesindeki önemli yönünü göstermektedir (Tümertekin ve ark.,2013; Olfaz ve ark., 2015).

Yapağının Genetiği

Yapağının kalitesini genetik ve çevresel faktörler etkilemektedir. Hayvanın genotipi yapağının kalitesini etkileyen en önemli faktör olmasına rağmen aynı ırkın bireyleri arasında da yapağı üretimi ve kalitesi açısından farklılıklar bulunmaktadır (Khan ve ark., 2012). Yapağının genetik olarak incelenmesiyle birlikte kalite ve miktarını etkileyen temel özelliğinin folikül yoğunluğu olduğu ifade edilmektedir (Doyle ve ark., 2021). Diğer yandan yüksel folikül yoğunluğu daha düşük ortalama lif çapı ile ilişkiliyken daha düşük temiz yapağı ağırlığını etkilemektedir. Dolayısıyla genotip farklılıkları ile ifade edilen yapağı özellikleri arasında negatif korelasyon bulunmaktadır. Bu bağlamda yüksek yapağı verimine sahip koyunların genetik altyapısının belirlenmesinin yetiştiricilere avantaj sağlayacağı ve kapsamlı seleksiyon stratejilerinin oluşturulmasında önemli rol oynayacağı düşünülmektedir (Doyle ve ark., 2021). Merinos ırkı koyunlarının yapağı verimi hususunda üstün ırk olarak sınıflandırılmasının sebebi derilerinde düz ve derin folikül bulundurmalarıdır (Doyle ve ark., 2021). Islah stratejilerinde folikül sayısında arttırım gözetmeden yüksek yapağı üretimi elde edebilmek için lif üretim hızı arttırılmalıdır. Lif yapısı ve folikül özellikleri seçim yapılarak değiştirilebilecek kalıtsal özelliklerdendir. Yapağı folikülünün temel lif üretim bölgeleri bulunmaktadır. Bunlar; folikül soğanı, keratinizasyon bölgesi ve sertleşme bölgesidir. Hücrelerin hızla çoğaldığı bölge folikül soğanı olarak isimlendirilir ve çoğalan hücreler yüksek kükürt içeriğine sahip olduğu bilinen amino asit proteini olan keratini hızla sentezler. Keratin, çevresinde bulunan kan damarlarındaki amino asitlerden sentezlenip yapıya uygun taşıma sistemleri ile hücrelere dağıtılır. Yapağı proteinleri gen ifadesi kapsamında transkripsiyon ve translasyon mekanizmaları sayesinde memeli hücrelerinde olgunlaştırılır. Hücreler keratinizasyon bölgesinin son kısmına doğru ilerledikçe dış kılıf kuruyarak sertleşmeye başlar. Sertleşme keratin ilişkili proteinlerin yapısında bulunan sisteinlerin kükürt ile disülfid bağı kurmasının bir sonucu olarak gerçekleşir (Doyle ve ark., 2021).

Keratin Genleri

Yapağı lifinin temel yapısal bileşeni olan keratinler koyunlarda toplam lifin %90'ını sağlayan yapısal ara filament proteinleridir. İfade edilen Keratin Gen Proteinleri (*KRTs*), Keratin Ara Filament proteinleri (*KIF*) ve Keratin İlişkili Proteinler (*KAPs*) şeklinde iki gruba ayrılarak sınıflandırılır (Yardibi ve ark., 2015). *KIF* proteinleri, *KAP* matrisi içinde yer alan bir disülfid ağı aracılığıyla filamentler oluşturur. Keratinle ilişkili proteinler, *KIF*'lerin köklendiği yarı sert bir matris oluşturdıkları için saç ve yapağı liflerinin fizik-mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Gong ve ark., 2015; Gong ve ark., 2016). *KAP*'lar bileşenlerindeki aminoasit bakılarak üç gruba sınıflandırılır; yüksek sülfürlü proteinler (*KAP1.n*, *KAP2.n* ve *KAP3.n*), ultra yüksek sülfürlü proteinler (*KAP4.n*, *KAP5.n* ve *KAP10*) ve yüksek glisin-tirozin proteinler (*KAP6.n*, *KAP7.n* ve *KAP8.n*). Yapılarında bulunan aminoasit kompozisyonlarından sülfür miktarına göre ; yüksek sülfür (HS) ($\leq$ %30 mol sistein içeriği), ultra yüksek sülfür (UHS) ($\geq$ %30 mol sistein içeriği) ve yüksek glisin ve tirozin (HGT) (%30-60 mol glisin ve tirozin) olacak şekilde ayrılırlar (Gong ve ark., 2016).

Günümüzde küçükbaş hayvanlarda *KAP* genlerinden *KAP4-n*, *KAP3-n* ve *KAP1-n* gen aileleri OAR11 ile (Mclaren ve ark., 1997; Gong ve ark., 2011; Gong ve ark., 2012) ; *KAP24*, *KAP13*, *KAP11*, *KAP8* ve *KAP6* gen aileleri OAR1 ile (Mclaren ve ark., 1997; Gong ve ark., 2011; Zhou ve ark., 2012; Gong ve ark., 2014; Yardibi ve ark., 2015) ; *KAP5-n* genleri ise OAR21 ile eşleştirilmiştir (Mclaren ve ark., 1997; Gong ve ark., 2012). Wang ve ark. (2014) OAR11 kromozomu üzerindeki *KAP* genlerinden 30 MB uzaklıkta yapağı kıvrımını etkilediği ifade edilen bir Kantitatif Özellik Lokusu (QTL) tanımlamıştır. Parson ve ark. (1994) ise *KAP6* geninde gözlenen varyasyonun, orta yapağı sınıfında betimlenen Peppin Merinoslarında ortalama lif çapı ile ilişkili olduğunu buna benzer olarak Beh ve ark. (2001) ise orta yapağılı Merinoslarda ortalama lif çapını etkileyen bir QTL'in kromozom 1 ile eşleştiğini ifade etmektedir. OAR1 üzerinde Roldan ve ark. (2016) ortalama lif çapı için herhangi bir QTL saptayamamış olmalarına karşın kıvrım ve verim gibi yapağı özelliklerini kapsayan bir QTL saptamışlardır. Yakın dönemde, *KRTAP6-1*'de gözlenen varyasyonun yapağı elyaf çapı ile ilişkili özellikleri etkilediği ve 57 bp'lik bir delesyon sonucunda daha büyük elyaf çapı standart sapması ile daha kaba yapağı oluşumu ilişkilendirilmiştir (Zhou ve ark., 2015). Rogers ve ark. (1994), Romney koyunlarında gerçekleştirdikleri bir çalışmada OAR11 üzerinde *KRT1-2*'yi kapsayan bölgede yapağı elyaf dayanıklılığını etkileyen bir QTL bildirmişlerdir. Aynı kromozom için Roldan ve ark. (2016) kirli yapağı ağırlığı, yapağı ağırlığı ve elyaf mukavemeti için geçerli bir QTL tespit edip; *KRTAP1-2* bölgesinin yapağı ağırlığı üzerinde daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. İfade edilen çalışma ve bulgular yapağı özellikleri üzerinde etkisi

bulunan ve daha kapsamlı araştırmalara aday olan *KAP* geninin önemini göstermektedir. Potansiyel olarak yapağı lifinde ifade edilen genlerin varyasyonu ile elyaf özelliklerinin ilişkisi, yapağı kalitesini iyileştirmek için yapılacak seçim hedeflerinde *KAP* genlerinin önemli rol oynayacağını düşündürmektedir.

Keratin-İlişkili Protein Geni 1 (KAP1n)

KAP1 geni koyunlarda 11.kromozom üzerinde diğeri *KAP* genleri ile kümelenmiş olarak bulunan, 4 üyeden (*KAP1.1/KRTAP1-1*, *KAP1.2/KRTAP1-2*, *KAP1.3/KRTAP1-3*, *KAP1.4/KRTAP1-4*) oluşan ve yüksek düzeyde varyasyon içeren gen ailesidir. Bu kromozom bölgesinde yapılan önceki çalışmalarda ortalama elyaf mukavemeti , elyaf çapı varyasyon katsayısı , kirli yapağı ağırlığı ve temiz yapağı ağırlığı dahil olmak üzere yapağı özellikleri ile ilişkili olan birçok QTL daha önce bildirilmiştir (Gong ve ark., 2015).

Yardibi ve ark. (2015)'nın Sakız, Kıvrıcık ve İvesi koyun ırklarında *KAP1.1*, *KAP1.3* ve *K33* gen polimorfizmlerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışma sonucunda; *KAP1.1* için 3 alel (A,B,C) elde edilmiş ve bu alellerden A ve B'nin İvesi ırkında ; C alelinin ise Sakız ırkında daha yüksek oranda olduğu belirtilmiştir. *KAP1.3* için ise 9 alel elde edilmiş (A-I), elde edilen C alelinin İvesi ırkında, G alelinin ise Kıvrıcık ırkında en yüksek olduğu gözlemlenmiştir. A ve D alelleri ise her üç koyun ırkında da ifade edilememiştir. Çalışmada yapağı kalitesi için tercih edilen Kıvrıcık koyun ırkının ve yapağı özellikleri için tercih edilen İvesi koyun ırkının yapağı kalitesi ile yapağı ürünleri arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Gong ve ark. (2015), Merinos x Southdown koyunlarda *KAP1-2* gen varyasyonunu araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada temiz yapağı ağırlığı, kirli yapağı ağırlığı, yapağı verimi, ortalama lif çapı, lif çapı standart sapması, lif kıvrımı parametrelerini değerlendirmek amacıyla altı ortak *KAP1-2* genotipinde (AF, AG, BF, FF, FG ve FH) hepsi potansiyel olarak polimorfik olan çok sayıda varyasyon elde ettiklerini bildirmiş; bununla birlikte *KAP1-2*'nin tek başına potansiyel olarak yapağı ağırlıkları için bir belirteç olduğunu ifade etmişlerdir. Kumar ve ark. (2016)'nın Hint yapağı verimli koyun ırklarında (Malpura, Avikalin, Chokla, Sonadi, Nali, Nellore, Garole, Magra, Deccani, Patanwadi ve Kendrapara) gerçekleştirdiği çalışmalarında; *KAP1-3* gen polimorfizmi incelemesinde XX, XY ve YY olmak üzere 3 genotip belirlenerek yapağı verimi yüksek olan koyunlarda X alelinin baskın olduğu ve buna bağlı olarak bazı koyun ırklarında genetik mesafe açısından Y alelinin baskın olduğu ifade edilmiştir. *KAP1.1* ve *KAP1.3* genlerinin polimorfizm tespiti ve Mısır koyun ırklarında yapağı özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Farag ve ark. (2018)'nın yaptığı çalışmada ise elyaf mukavemeti, elyaf uzunluğu, temiz yapağı ağırlığı ve elyaf çapı gibi bazı ekonomik yapağı özellikleri

değerlendirilmiştir. Sonuç olarak *KAP1.1* geninde 3 alel (A, B, C) gözlenirken AB genotipine sahip hayvanların daha uzun elyaf yapısına, BC genotipine sahip hayvanların daha yüksek elyaf mukavemetine, AA genotipine sahip hayvanların ise daha yüksek temiz yapağı verimine; sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu bağlamda *KAP1.3* geni için 10 genotip ve 7 alelin varlığını doğrulayarak en yüksek elyaf uzunluğu, elyaf mukavemeti, temiz yapağı ağırlığı ve elyaf çapı özelliklerini sırasıyla DJ, FG, AB ve CC genotipi ile ilişkilendirdiklerini ifade etmişlerdir. Nyoni ve ark. (2019), Karakul koyunundan köken aldığı ifade edilen Swakara koyununda yaptıkları çalışmada *KAP1.1* geni için 3 alel (A, B, C) gözleyerek B alelinin yüksek oranda dağılım gösterdiğini ve bu ırkın moda sektöründe çeşitli renklerde post üretimi için yetiştirildiğini bildirmişlerdir. Singh ve ark. (2018)'nin yaptığı *KAP1.2* geni için filogenetik analiz çalışmasında gen bölgesi için 15 nükleotid değişikliği gözlemleyerek Rambouillet koyunlarında ifade edilen gende çoklu alel varlığını saptamışlardır. Bu ırk içindeki değişikliğin korunmasına bağlı olarak yapağı için seleksiyon uygulamalarının daha etkili olacağı sonucuna varmışlardır. Nyoni ve ark. (2020)'nin yaptığı bir başka çalışmada ise Nabibya bölgesinde yetiştiriciliği yapılan Swakara koyununda *KAP1.3* ve *KRT33A* genlerindeki polimorfizmin üstün yapağılı postlar ile ilişkisi incelenmiştir. Çalışmada, tanımlanan polimorfizmler ile ifade edilen bölgede bulunan koyunların akrabalık ilişkisi gösterilmiş ve *KAP* genleri üzerine daha fazla çalışma yapılmasının üstün özellikli post için gerekli olduğuna vurgu yapılmıştır. Singh ve ark. (2022), Rambouillet koyunlarında *KAP1.2* polimorfik varyantlarının kirli yapağı ağırlığı, elyaf uzunluğu, elyaf çapı gibi yapağı kayıtlarının ilişkisini incelemek için gerçekleştirdikleri çalışmada 3 genotip (AA, AB, BB) gözlemleyerek çalışılan popülasyonun *KAP1.2* geni için polimorfik olduğunu ifade etmiş ve en yüksek kirli yapağı üretiminin BB genotipinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Keratin-ilişkili Protein Geni 2 (KAP2n)

Günümüze kadar koyun genomunda tanımlanan birçok keratin ilişkili protein genindeki varyasyonun yapağı verimi, yapağı ağırlığı, ortalama lif çapı, ortalama elyaf uzunluğu ve ortalama lif kıvrımı olmak üzere çeşitli parametrelerle ilişkili olduğu bildirilirken bu durumun keratin ilişkili protein genlerinin yapağı özelliklerinin iyileştirilebilmesi için aday belirteçler olarak yararlı olabileceği gösterilmiştir. Ancak *KAP2(n)* gen ailesi henüz tamamen koyunlarda tanımlanmamıştır (Wang ve ark., 2020).

Wang ve ark. (2020) kaba, orta ve ince yapağılı ırklar olarak ayırdıkları Çin Merinosu, Tibet, Kazak ve Gansu Alpin koyunlarında gerçekleştirdikleri çalışmada *KAP2(n)* geninin nükleotid dizisi ve çeşitli varyasyonlarını saptamayı amaçladıkları çalışmada genin OAR11

üzerinde bilinen birkaç *KAP(n)* ile kümelendiği ancak daha önce kaydedilmemiş bir lokasyonda bulunduğu belirtilmiştir. *KAP2(n)* genindeki varyasyon, ele alınan çalışma kapsamında yapağı fenotip verileri yetersizliği sebebiyle karşılaştırılamamış olsa da ince, kaba ve orta incelikte yapağı sınıfındaki koyun ırklarında gözlenen varyant farklılıkları sebebiyle genin seçim baskısında olabileceği veya yapağı lif çapının değerlendirilmesinde aday olabileceği bildirilmiştir (Wang ve ark., 2020).

Keratin-ilişkili Protein Geni 3 (KAP3n)

Koyun derisinde yüksek oranda ifade edilen keratin ailesi genlerinden olan keratin-ilişkili protein geni 3.2'nin transkriptom analizine yönelik Fan ve ark. (2013)'nın sunduğu çalışmada siyah koyun derisinde *KAP3.2* genleri down-regülasyon göstermiş ve tek keratin geninin kürk rengi özelliğinden sorumlu olmadığını; ancak yüksek miktarda sistein kalıntısı içermesi sebebiyle yapağının mukavemetini etkilediği görüşünü ifade etmişlerdir. Tibet koyunlarında yapağı folikül soğanı ve doku ekspresyon seviyelerinin analizi için yapılan transkriptom çalışmasında; Zhao ve ark. (2016) yapağı folikülü ve deride *KAP3.3* ve *KAP11.1*'in mRNA ekspresyonunun *Keratin 83* ve *Keratin 5* referans genlerine göre yüksek oranda ifade edildiği bildirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada 11. ve 1. kromozom üzerinde bulunan *KAP11.1* ve *KAP3.3* genlerinin yüksek sülfür içermelerinden kaynaklı sadece yapağı liflerinin kortikal bölgesinde güçlü bir şekilde ifade edildiğinin ortaya koymuşlardır. *KAP* genlerinin transkripsiyon başlangıç bölgesi (TBB) ve motifler yardımıyla promotör bölgelerinin ve transkripsiyon faktörlerinin analizi amacıyla yapılan in silico çalışmada ise Wagari ve ark. (2022), *M-KAP3*'ün koyun *KAP* genleri için en yaygın motif olarak tanımlandığını ifade edilmiştir. *Pro-KAP-3-2* promotör bölgesi ise başlangıç kodonuna daha yakın olan TBB olarak seçilmiştir böylece yaptıkları analizde keratin ilişkili protein genlerinin %72,4 'ten fazlasının iki veya beş TBB arasında değişen çoklu TBB'lere sahip olduğu ve tanımlanan aday motifler arasında *M-KAP3*'ün, çoğunlukla Çinko Parmak (ZNF) için bağlanma bölgesi olarak çalıştığı ortaya konmuştur. Mahajan ve ark.(2015), *KAP3.2*'nin Rambouillet koyun ırkında polimorfik varyantlarını belirlemek için yaptıkları bir çalışmada ilgili gene ilişkin AA, AB ve BB olmak üzere 3 genotip tespit etmişlerdir. Kirli yapağı ağırlığı (KYA) ile ilişkilendirdikleri gende AB genotipine sahip hayvanların daha yüksek KYA'ya sahip olduğu ve sırasıyla AA ve BB genotipin bunu takip ettiğini bildirmişlerdir. Wang ve ark. (2010) ise aynı polimorfizm açısından AA genotipine sahip hayvanlarda yapağı uzunluğunun önemli oranda yüksek olduğunu ve AA genotipine sahip hayvanların yapağı veriminin yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Benzer bulgular yine Wang ve ark. (2011)'nin bir başka çalışmasında Tibet,

Oula ve Qiaoke koyunlarında da bildirilmiştir. Dolayısıyla kıl folikülünde ve deride eksprese olduğu tespit edilen *KAP3* geninin kirli yapağı ağırlığı ve yapağı uzunluğuna etki edebileceği düşünülmektedir.

Keratin-iliskili Protein Geni 6 (KAP6n)

Çok genli *KAP6* ailesi (*KAP-n*) düşük sülfür ve yüksek glisin-tirosin içeriğine sahip *KAP*'ları içerir (Gong ve ark., 2011). *KAP8* ailesinden genlerle birlikte ortokortekste ifade edilirler (Gong ve ark., 2015; Zhou ve ark., 2015). *KAP-n* ailesi bilinen genlerinin çoğunda varyasyon içerir; *KRTAP6-1*, 6-2, 6-3, 6-4 ve 6-5.

Liu ve ark. (2014) tarafından Çin Merinosu, Hu koyunu, Romney ve Hu x Merinos melezinde yapılan çalışmada *KAP6* geni için 6 farklı dizi elde edilmiş ancak ifade edilen diziler dört koyun ırkında da farklı bulunmuştur. B ve C dizilerinin Çin Merinosu ve Hu x Çin Merinosu melezlerinde gözlenmesi büyük lif çapına sahip Çin Merinosu x Hu melezi koyunlarda varyasyon olduğu görüşüyle açıklanmıştır. Merinos melez sürülerinde *KAP6* genindeki varyasyonun kapsamını ve yapağı özellikleriyle olan ilişkisini araştırma amacıyla Zhou ve ark. (2015)'nin yaptığı çalışmada tespit edilen altı genotipten (AA, AB, AC, BB, BC, CC) C alelinin varlığı lif çapı varyasyon katsayısı, ortalama lif çapı ve lif çapı standart sapması ile ilişkili bulunmuştur. Bu kapsamda değerlendirilen çalışma *KAP6-1*'deki varyasyonun yapağı lif çapı ile ilişkili özellikleri etkilediği böylece kaba yapağı üretimine yol açtığı görüşüyle açıklanmaktadır. Zhou ve ark. (2015)'nin yaptığı çalışmaya benzer olarak Yeni Zelanda Wiltshire koyununda, bildirilen varyant ve genotiplere ek olarak F ve G varyantları saptayan Wilding (2016) bu ırkta gözlenen kıl dökülmesini yüksek dağılıma sahip F ve G varyantları ile ilişkilendirmiştir. *KAP6-1* geninde gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise Tao ve ark. (2017) 2 yeni varyant (D, E) tespit etmiştir. Çin Tan Koyunlarında D varyantı doğumda artan düz lif uzunluğu ile ilişkili bulunurken, E varyantı doğum sonrası artan düz lif uzunluğu ve kıvrım sayısı ile ilişkili bulunmuştur. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda *KAP6-1*'de ki varyasyonun koyun yaşamının erken dönemlerinde etkili olabileceği sonucuna varılmıştır.

Merinos x Southdown melezi kuzularda *KAP6-3* geninde gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise Li ve ark. (2017) tanımlanan dört varyanta (A, B, C ve F) ek olarak G varyantı tanımlamışlardır. AG genotipine sahip koyunlar AA genotipine sahip koyunlara göre daha düşük ortalama lif çapına ve lif çapı standart sapmasına ; AB genotipli koyunlar ise AA genotipine göre daha yüksek ortalama lif çapına ve lif çapı standart sapmasına sahip olduğu belirtilmiştir. Gözlenen etkilerin *KAP6-3* geninde G varyantı ile yapağı uzunluk varyasyonlarının azaldığı; B varyantı ile arttığı şeklinde çıkarımda bulunmuşlardır. Sandyno ve

Nilagiri koyun ırklarında *KAP6-1* geni için yapılan bir başka çalışmada ise Bharathesree ve ark. (2019) AC genotipi için yüksek temiz yapağı ağırlığı üretimi; BB genotipi için düşük temiz yapağı üretimi saptamıştır. Lif çapı, AC genotipinde AA genotipine göre daha yüksek bulunmuştur. Merinos melezi ve Romney koyunlarında *KAP6-1* varyasyonu için Li ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada 9 genotip (AA, AB, AE, AF, BB, BE, BF, EE ve FF) karşılaştırılmıştır. A alelinin varlığının artmış lif çapı varyasyon katsayısı ve ortalama lif çapı ile ilişkili olduğu; B alelinin varlığının ise azalmış kaba kenar ölçümü ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Lif çapı standart sapması ve lif kıvrımı parametreleri için genotip ilişkisi saptanmamıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda *KAP6-1* gen varyasyonunun yapağı lif çapını etkilediği ifade edilmiştir. Beş Pakistan koyun ırkında gerçekleştirilen çalışmada Ullah ve ark. (2020) *KAP6-3* geni için daha önce bildirilen varyantlara ek olarak H varyantı bildirilmiştir. Değerlendirdikleri yapağı özellikleri arasında lif çapı varyasyon katsayısı ile lif çapı standart sapması ve lif çapı standart sapması ile medullasyon arasında güçlü korelasyon gözlemlenmiştir. B varyantının varlığının, yokluğuna göre daha yüksek lif çapı varyasyon katsayısı ile ilişkili olduğunu saptanmıştır. Barki ırkı koyunlarda incelenen *KAP6-1* geni için Sallam ve ark. (2021) tarafından üç genotip (GG, GC ve CC) tanımlanmıştır. GC genotipi daha yüksek frekansta gözlenmiştir ve kirli yapağı ağırlığı, elyaf uzunluğu, lif çapı, kemp skoru, parlaklık derecesi, kirli renk skalası ve diken faktörü üzerinde etkili olduğu ifade edilmiştir. Ancak CC genotipine sahip hayvanların diğer genotiplere göre daha uzun elyaf uzunluğuna sahip olduğunu ve daha ince yapağı ürettiği belirlenmiştir. Dolayısıyla çok genli ve yüksek varyasyonlu olduğu bilenen *KAP6* gen ailesi özellikle *KAP6-1* ve *KAP6-3* genleri açısından yapağı lif uzunluğu ile ilişkilendirilmiştir.

Keratin-iliskili Protein Geni 7 (KAP7)

Rambouillet koyunlarında *KAP7* geni için Mahajan ve ark. (2017) tarafından üç genotip (AA, AB, BB) tanımlanmıştır. Bildirilen genotipleri erkek ve dişi hayvanlar üzerinde karşılaştırarak elde ettikleri sonuçlarda; erkeklerde daha yüksek temiz yapağı verimi ve kirli yapağı ağırlığı gözlenirken, dişilerde daha üstün lif çapı gözlemledikleri ifade edilmiştir. Ayrıca BB genotipine sahip hayvanların yüksek stapel lif uzunluğu ve yüksek kirli yapağı ağırlığına sahip olduğunu bildirilmiştir. Sunulan veriler Sulaiman ve ark. (2015)'nin Heitan koyunlarındaki bulguları ile uyumlu iken; Tibet koyunlarında Wang ve ark. (2010)'nın sonuçlarından farklılık gösterdiği görülmüştür. Beş farklı Pakistan koyun ırkında gerçekleştirilen çalışmada Ullah ve ark. (2020) *KAP7-1* geninde daha önce bildirilen (AA, AB, BB) genotiplerden AA genotipinin ortalama verim ile ilişkili olduğunu; AB genotipinin ise

ortalama elyaf uzunluğu ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Dolayısıyla incelenen *KAP7* geninin verim özellikleri, lif çapı ve elyaf uzunluğu ile ilişkili olduğu görülmektedir.

Keratin-ilişkili Protein Geni 8 (KAP8n)

KAP8 gen ailesinin tanımlanmış sadece bir üyesi bulunur ve intron içermeyen tek bir gen tarafından kodlanır (McLaren ve ark., 1997; Gong ve ark., 2012). Daha önceki çalışmalarda Wood ve ark. (1992), *KAP8* geni için akraba olmayan 33 koyun ırkında 11 alel bildirmiştir. Bu kapsamda incelenen gen ailesinde bol miktarda varyasyon olduğu ifade edilmektedir. Dört Çin koyununda incelenen *KAP8* geni için Liu ve ark. (2014), birbiriyle homolog olan beş alel olduğunu bildirmişlerdir. Bu alellerin incelenen tüm ırklarda benzer ifadesinin olmasını, genin yapıları özelliklerindeki farklılıkları yansıtamayacağı görüşüyle açıklamışlanmıştır. *KAP8* gen ailesi üyesi *KAP8-2*'yi tanımlamayı amaçlayan Gong ve ark. (2014) tarafından A ve B olmak üzere iki varyant tespit edilmiştir. Romney melez koyunlarda AA, AB ve BB genotiplerinden A varyantının daha yüksek frekansta bulunduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmaya benzer olarak Tao ve ark. (2017) ise Çin Tan koyunlarında 2 alel tespit etmiştir. Ancak B alel varyantının Yeni Zelanda Romney melez koyunlarına göre daha yüksek frekansta gözlemlendiğini belirtmişlerdir. A alel varyantının düzleştirilmiş yapıları uzunluğu üzerinde negatif korelasyonlu bir etkiye sahip olduğunu ifade edilmiştir. Mahajan ve ark. (2019)'nın yaptığı bir başka çalışmada ise Rambouillet koyunlarında tanımlanan 3 genotipten (AA, AB, BB) AA genotipine sahip koyunların üstün lif çapına; AA ve AB genotipine sahip koyunların ise üstün kirli yapıları ağırlığına sahip olduğunu saptanmıştır. Pakistan koyun ırkları ise *KRTAP8-2* genindeki varyasyon açısından Ullah ve ark. (2022) tarafından incelenmiştir. *KRTAP8-2*'de C olarak adlandırılan yeni bir varyant tespit edilmiştir. Söz konusu çalışmada, *KRTAP8-2*'deki varyasyonun ortalama stapel lif uzunluğunu ve medullasyondaki varyasyonu etkilediği tespit edilmiştir.

Sonuç

Küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinde yapıları kalitesi ve verimini arttırmak amacıyla yapılacak ıslah çalışmalarında çevre faktörünün yanında genetik faktörlerinde bir bütün olarak değerlendirilmesi gereklidir. Genetik faktörlerin dolayısıyla aday genlerin değerlendirilmesi moleküler araştırmalardaki gelişmelere paralel olarak zaman içerisinde artmıştır. Yüksek varyasyona sahip olduğu gözlemlenen ve yapıları özellikleri üzerinde doğrudan etkisi olduğu ifade edilen *KAP* genlerinin daha geniş popülasyonlarda ve farklı koyun ırklarında değerlendirilmesi literatürü zenginleştirirken; elde edilen sonuçların seleksiyon programlarına

dahil edilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Moleküler genetik teknikleri ile tanımlanan genlerin ve tek nükleotid polimorfizmlerinin erken dönemde yapağı kalitesi ve üretimi için seleksiyon çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

Anonim., 2022. Erişim Adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Y%C3%BCn>

Bahtiyari M, Akça C, Duran K., 2008. Yün lifinin yeni kullanım olanakları. Journal of Textile & Apparel/Tekstil ve Konfeksiyon, 18(1): 4-8.

Beh KJ, Callaghan MJ, Leish Z, Hulme DJ, Lenane I, Maddox JF., 2001. A genome scan for QTL affecting fleece and wool traits in Merino sheep. Wool Technology and Sheep Breeding, 49(2): 88-97

Bharathesree R, Murali N, Saravanan R, Anilkumar R., 2019. Polymorphism of keratin-associated protein (KAP) 6.1 gene and its association with wool traits of Sandyno and Nilagiri breeds of sheep. Indian Journal of Animal Research, 53(12): 1566-1571.

Breniquet C, Michel C., 2014. Wool economy in the ancient Near East and the Aegean. Wool Economy in the Ancient Near East and the Aegean: from the beginnings of sheep husbandry to institutional textile industry. Ancient Textile Series, 17: 1-11.

Doyle EK, Preston JW, McGregor BA, Hynd PI., 2021. The science behind the wool industry. The importance and value of wool production from sheep. Animal Frontiers, 11(2): 15-23.

Düzgüneş O., 1973. Hayvancılık. Türkiye Zirai Donatım Kurumu Kültür Yayınları. Yenigün Matbaası. 3.Baskı. 249-277s.

Fan R, Xie J, Bai J, Wang H, Tian X, Bai R, Dong C., 2013. Skin transcriptome profiles associated with coat color in sheep. BMC Genomics, 14: 1-12.

Farag IM, Darwish HR, Darwish AM, El-Shorbagy HM, Ahmed RW., 2018. Effect of genetic polymorphisms of the KAP1. 1 and KAP1. 3 genes on wool characteristics in Egyptian sheep. Journal of Biological Sciences, 18(4): 158-164.

Gong H, Zhou H, Plowman JE, Dyer JM, Hickford JG., 2010. Analysis of variation in the ovine ultra-high sulphur keratin-associated protein KAP5-4 gene using PCR-SSCP technique. *Electrophoresis*, 31(21): 3545-3547.

Gong H, Zhou H, Hickford JG., 2011. Diversity of the glycine/tyrosine-rich keratin-associated protein 6 gene (KAP6) family in sheep. *Molecular Biology Reports*, 38: 31-35.

Gong H, Zhou H, Dyer JM, Hickford JG., 2011. Identification of the ovine KAP11-1 gene (KRTAP11-1) and genetic variation in its coding sequence. *Molecular Biology Reports*, 38: 5429-5433.

Gong H, Zhou H, Yu Z, Dyer J, Plowman JE, Hickford J., 2011. Identification of the ovine keratin-associated protein KAP1-2 gene (KRTAP1-2). *Experimental Dermatology*, 20(10): 815-819.

Gong H, Zhou H, McKenzie GW, Yu Z, Clerens S, Dyer JM., Hickford JG., 2012. An updated nomenclature for keratin-associated proteins (KAPs). *International Journal of Biological Sciences*, 8(2): 258.

Gong H, Zhou H, Dyer JM, Hickford JG., 2014. The sheep KAP8-2 gene, a new KAP8 family member that is absent in humans. *SpringerPlus*, 3(1): 1-5.

Gong H, Zhou H, Hodge S, Dyer JM, Hickford JG., 2015. Association of wool traits with variation in the ovine KAP1-2 gene in Merino cross lambs. *Small Ruminant Research*, 124: 24-29.

Gong H, Zhou H, Forrest RH, Li S, Wang J, Dyer JM, Hickford JG., 2016. Wool keratin-associated protein genes in sheep-A review. *Genes*, 7(6): 24.

Johnson NAG, Wood EJ, Ingham PE, McNeil SJ, McFarlane ID., 2003. Wool as a technical fibre. *Journal of the Textile Institute*, 94(3-4): 26-41.

Kaymakçı M, Sönmez R., 1992. Koyun yetiştiriciliği. Hasad Yayıncılık Hayvancılık Serisi No: 3 İzmir. 303-313s.

Khan MJ, Abbas A, Ayaz M, Naeem M, Akhter MS, Soomro MH., 2012. Factors affecting wool quality and quantity in sheep. *African Journal of Biotechnology*, 11(73): 13761-13766.

Koyuncu M., 2019. Koyun yetiştiriciliği. Dora Yayıncılık. 367-386s.

Kumar R, Meena AS, Kumari R, Jyotsana B, Prince LLL, Kumar S., 2016. Polymorphism of KRT 1.2 and KAP 1.3 genes in Indian sheep breeds. *Indian Journal of Small Ruminants*, 22(1): 28-31.

Li S, Zhou H, Gong H, Zhao F, Wang J, Luo Y, Hickford JG., 2017. Variation in the ovine KAP6-3 gene (KRTAP6-3) is associated with variation in mean fibre diameter-associated wool traits. *Genes*, 8(8): 204.

Li W, Gong H, Zhou H, Wang J, Li S, Liu X, Hickford JG., 2019. Variation in KRTAP6-1 affects wool fibre diameter in New Zealand Romney ewes. *Archives Animal Breeding*, 62(2): 509-515.

Liu YX, Shi GQ, Wang HX, Wan PC, Tang H, Yang H, Guan F., 2014. Polymorphisms of KAP6, KAP7, and KAP8 genes in four Chinese sheep breeds. *Genetics and Molecular Research*, 13(2): 3438-3445.

Mahajan V, Das AK, Taggar RK, Kumar D, Sharma R., 2017. Polymorphism of keratin-associated protein (KAP) 7 gene and its association with wool traits in Rambouillet sheep. *Indian Journal of Animal Sciences*, 88: 206-209.

Mahajan V, Das AK, Taggar RK, Kumar D, Khan N., 2019. Keratin-associated protein (KAP) 8 gene polymorphism and its association with wool traits in rambouillet sheep. *International Journal of Life Sciences and Applied Sciences*, 1(1): 50-57.

Mahajan V, Das AK, Taggar RK, Kumar D, Kumar N., 2015. Polymorphism of keratin-associated protein (KAP) 3.2 gene and its association with wool traits in Rambouillet sheep. *Indian J. Anim. Sci*, 85: 262-265.

McLaren RJ, Rogers GR, Davies KP, Maddox JF, Montgomery GW., 1997. Linkage mapping of wool keratin and keratin-associated protein genes in sheep. *Mammalian Genome*, 8: 938-940.

Nyoni NF, Itenge TO, Shipandeni MN., 2019. Genetic variation in the KRTAP1. 1 gene and its potential to supplement Indigenous Knowledge Systems within the Swakara sheep in Namibia. In *Proceedings of the 5th Annual Conference of the African Association for the Study of Indigenous Knowledge Systems*. 43-50pp.

Nyoni NF, Itenge TO, Shipandeni MN., 2020. Polymorphism of the KAP1. 3 and KRT33A genes in the Swakara sheep of Namibia. *Welwitschia International Journal of Agricultural Sciences*, 2: 81-93.

Olfaz M, Tüfekçi H., 2015. Yapağının alternatif kullanım alanları. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 1(1-2): 18-28.

Öz E., 2014. Kültepe metinleri ışığında eski Anadolu'da tarım ve hayvancılık. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sumeroloji Anabilim Dalı Doktora Tezi*.

Parsons YM, Cooper DW, Piper LR., 1994. Evidence of linkage between high-glycine-tyrosine keratin gene loci and wool fibre diameter in a Merino half-sib family. *Animal Genetics*, 25(2): 105-108.

Parsons YM, Piper LR, Cooper DW., 1994. Linkage relationships between keratin-associated protein (KRTAP) genes and growth hormone in sheep. *Genomics*, 20(3): 500-502.

Rast-Eicher A., 2014. Bronze and iron age wools in Europe. *Wool Economy in the Ancient Near East and the Aegean*, 12-21.

Rogers GR, Hickford JGH, Bickerstaffe R., 1994. A potential QTL for wool strength located on ovine chromosome 11. In *Proceedings of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 21: 291-294.

Roldan DL, Doderio AM, Bidinost F, Taddeo HR, Allain D, Poli MA, Elsen JM., 2010. Merino sheep: a further look at quantitative trait loci for wool production. *Animal*, 4(8): 1330-1340.

Ryder ML., 1964. The history of sheep breeds in Britain. *The Agricultural History Review*, 12(1): 1-12.

Sallaberger W., 2014. The value of wool in Early Bronze Age Mesopotamia: On the control of sheep and the handling of wool in the Presargonic to the Ur III periods (c. 2400–2000 BC). *Wool Economy in the Ancient Near East and the Aegean*, Oxford and Philadelphia: Oxbow Books, 94-144.

Sallam AM, Gad-Allah AA, Al-Bitar EM., 2021. Association analysis of the ovine KAP6-1 gene and wool traits in Barki sheep. *Animal Biotechnology*, 32(6): 733-739.

Simm G, Pollott G, Mrode R, Houston R, Marshall K., 2022. Çiftlik hayvanlarının genetik ıslahı. Ankara, Türkiye: Nobel Akademik Yayıncılık. 325-351s.

Singh VP, Taggar RK, Chakraborty D, Pratap B, Singh PK, Singh S, Gupta P., 2022. KRT 1.2 gene polymorphism & its association with wool traits in Rambouillet sheep. *Pharma Innovation*, 6: 2619-2621.

Singh VP, Taggar RK, Khajuria P, Chakraborty D, Kumar D, Kumar N, Wazir VS., 2018. Phylogenetic analysis of KRT1. 2 gene in Rambouillet sheep. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 5(2): 22-26.

Tao J, Zhou H, Gong H, Yang Z, Ma Q, Cheng L, Hickford JG., 2017. Variation in the KAP6-1 gene in Chinese Tan sheep and associations with variation in wool traits. *Small Ruminant Research*, 154: 129-132.

Tao J, Zhou H, Yang Z, Gong H, Ma Q, Ding W, Hickford JG., 2017. Variation in the KAP8-2 gene affects wool crimp and growth in Chinese Tan sheep. *Small Ruminant Research*, 149: 77-80.

Tümertekin E, Özgüç N., 2013. Ekonomik coğrafya. Küreselleşme ve kalkınma. Çantay Kitabevi. İstanbul.

Ullah F, Jamal SM, Ekegbu UJ, Haruna IL, Zhou H, Hickford JG., 2020. Polymorphism in the ovine keratin-associated protein gene KRTAP7-1 and its association with wool characteristics. *Journal of Animal Science*, 98(1): 381.

Ullah F, Jamal SM, Zhou H, Hickford JG., 2020. Variation in the KRTAP6-3 gene and its association with wool characteristics in Pakistani sheep breeds and breed-crosses. *Tropical Animal Health and Production*, 52: 3035-3043.

Ullah F, Jamal SM, Zhou H, Hickford JG., 2022. Variation in ovine KRTAP8-2 and its association with wool characteristics in Pakistani sheep. *Small Ruminant Research*, 207: 106-598.

Ullah F, Jamal SM, Zhou H, Hickford JG., 2023. Variation in ovine KRTAP8-1 affects mean staple length and opacity of wool fiber. *Animal Biotechnology*, 34(3): 602-608.

Wagari G, Cho D, Abera B., 2022. In silico analysis of promoter region and regulatory elements of sheep keratin-associated protein genes using bioinformatics tools. *Animal Gene*, 24: 200126.

Wang ZY, Qi Q, Chen Y., 2010. Analysis on single nucleotide polymorphisms of keratin-associated proteins gene in plateau Tibetan sheep. *China Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 37(10): 120-24.

Wang ZY, Chen YL, Xu QL, Ma ZR., 2011. Polymorphism of KAP 3. 2 gene and its effect on partial economic traits in Tibetan Sheep. *Acta Veterinaria Et Zootechnica Sinica-Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 42(2): 284-288.

Wang Z, Zhang H, Yang H, Wang S, Rong E, Pei W, Wang N., 2014. Genome-wide association study for wool production traits in a Chinese Merino sheep population. *PloS One*, 9(9): e107101.

Wang J, Zhou H, Hickford JG, Luo Y, Gong H, Hu J, Wang J., 2020. Identification of the ovine keratin-associated protein 2-1 gene and its sequence variation in four Chinese sheep breeds. *Genes*, 11(6): 604.

Wilding E., 2016. Analysis of the keratin associated protein gene KRTAP6-1 in New Zealand Wiltshire sheep. Doctoral Dissertation, Lincoln University.

Yardibi H, Fe G, Ateş A, Akiş I, Hacıhasanoğlu N, Öztapak KÖ., 2015. Polymorphism of the Kap 1.1, Kap 1.3 and K33 genes in Chios, Kivircik and Awassi. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 21(4): 535-538.

Zhou H, Gong H, Yan W, Luo Y, Hickford JG., 2012. Identification and sequence analysis of the keratin-associated protein 24-1 (KAP24-1) gene homologue in sheep. Gene, 511(1): 62-65.

Zhou H, Gong H, Li S, Luo Y, Hickford JGH., 2015. A 57-bp deletion in the ovine KAP 6-1 gene affects wool fibre diameter. Journal of Animal Breeding and Genetics, 132(4): 301-307.

Zhao Z, Liu G, Li X, Huang J, Xiao Y, Du X, Yu M., 2016. Characterization of the promoter regions of two sheep keratin-associated protein genes for hair cortex-specific expression. PloS One, 11(4): e0153936.

Zhou H, Gong H, Wang J, Dyer JM, Luo Y, Hickford JG., 2016. Identification of four new gene members of the KAP6 gene family in sheep. Scientific Reports, 6(1): 24074.