

Aronya (*Aronia melanocarpa*) Yapraklarının Farklı Hasat Dönemlerindeki Mineral İçeriklerinin Hayvan Beslemede Kullanım Potansiyeli

Esra KAYA^{1*}, Arzu ARSLAN²

¹Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Celal Oruç Hayvansal Üretim Yüksekokulu, Ağrı

²Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi, Zootekni Anabilim Dalı, Ağrı

¹<http://orcid.org/0000-0002-4697-7365>

²<http://orcid.org/0009-0006-7096-2848>

*Sorumlu yazar: esra_gursoykaya@hotmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 17.07.2025

Kabul tarihi: 07.08.2025

Online Yayınlanma: 12.09.2025

Anahtar Kelimeler:

Aronya yaprakları

Mineral bileşimi

Hayvan besleme

Ağır metaller

Doğal yem katkısı

Bu çalışma, Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarının farklı fenolojik dönemlerdeki mineral içeriğini belirleyerek hayvan beslemesinde kullanılabilirliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Erzincan ilinde yetiştirilen Aronya bitkisine ait yapraklar, üç farklı hasat döneminde toplanarak ICP-MS yöntemiyle analiz edilmiştir. Araştırmada toplam 19 elementin (Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Ni, Al, Cr, V, Sr, As, Cd, Pb, Hg, Ag) düzeyleri belirlenmiş, veriler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bulgular, Aronya yapraklarının özellikle makro mineraller (Na, K, Ca, Mg) ve mikro mineraller (Mn, Zn, Cu) bakımından zengin olduğunu ve ruminant beslenmesinde tamamlayıcı mineral kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Tespit edilen As, Cd, Pb ve Ag düzeyleri Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından belirtilen sınırların altında kalırken, civa (Hg) düzeyleri belirlenen maksimum sınırın üzerinde bulunmuştur. Bu durum, Aronya yapraklarının toksik element birikimi açısından çevresel koşullara duyarlı olabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, Aronya yaprakları dengeli mineral profiliyle hayvan beslemesinde doğal bir mineral katkısı potansiyeli taşımakta, ancak toksik element içerikleri bakımından düzenli analiz ve kalite kontrol gerektirmektedir.

The Potential Use of Mineral Contents in Aronia (*Aronia melanocarpa*) Leaves from Different Harvest Periods in Animal Nutrition

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 17.07.2025

Accepted: 07.08.2025

Available online: 12.09.2025

Keywords

Aronia melanocarpa

Mineral composition

Animal nutrition

Heavy metals

Natural feed additive

This study aimed to determine the mineral composition of Aronia (*Aronia melanocarpa*) leaves at different phenological stages and evaluate their potential use in animal nutrition. Leaf samples were collected from Aronia plants cultivated in Erzincan (Türkiye) during three different harvest periods and analyzed using ICP-MS to determine the concentrations of 19 elements (Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Ni, Al, Cr, V, Sr, As, Cd, Pb, Hg, Ag). Statistical evaluation was performed to assess differences among harvest times. The results revealed that Aronia leaves are particularly rich in macro minerals (Na, K, Ca, Mg) and micro minerals (Mn, Zn, Cu), indicating their potential as a complementary natural mineral source in ruminant feeding. While concentrations of As, Cd, Pb, and Ag remained well below the maximum tolerable limits established by the European Food Safety Authority (EFSA), mercury (Hg) levels exceeded the recommended safety threshold. This highlights the influence of environmental factors on toxic element accumulation. In conclusion, Aronia leaves exhibit a balanced mineral profile and may serve as a sustainable and safe feed additive in animal nutrition, provided that regular monitoring and quality control are implemented to

Giriş

Hayvan beslenmesinde mineraller, canlı organizmanın temel metabolik fonksiyonlarının sağlıklı ve verimli bir şekilde sürdürülebilmesi için vazgeçilmez besin öğeleri arasında yer almaktadır (McDowell, 2020; NRC, 2021). Makro mineraller (Na, K, Ca, Mg) ve mikro mineraller (Fe, Cu, Zn, Mn, Co) enzimatik sistemlerin aktivasyonu, hormon üretimi, sinirsel iletim, kas kasılması, osmotik denge, bağışıklık fonksiyonları, kemik gelişimi ve üreme gibi pek çok yaşamsal sürecin düzenlenmesinde kritik roller üstlenir (Underwood ve Suttle, 1999; Spears, 2000; Goff, 2018; Suttle, 2022). Özellikle yoğun üretim sistemlerinde yer alan ruminantlarda mineral ihtiyaçları artmakta ve bu nedenle rasyonlarda mineral katkı maddelerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır (Duplessis ve ark., 2023). Ancak sentetik mineral katkılarının biyoyararlanımının sınırlı olması ve çevresel atık sorunları nedeniyle doğal ve sürdürülebilir alternatif kaynaklara yönelik ilgi giderek artmaktadır (Alloway, 2012; CAC, 2021).

Doğal bitkisel kaynakların hayvan beslemede kullanımı, sürdürülebilir hayvancılık ilkeleri ile uyumlu olup çevresel ve ekonomik açıdan önemli avantajlar sağlar. Yapraklar, tohum dışı bitki kısımları arasında yüksek mineral içerikleriyle potansiyel yem katkı maddesi olarak öne çıkar (Khanal, 2001). *Aronia melanocarpa* (aronya) bitkisi, özellikle meyveleriyle bilinirken, yaprakları da yüksek antioksidan aktivite ve fenolik bileşik zenginliği yanı sıra mineral profili bakımından da dikkat çekmektedir (Do ve ark., 2014). Yaprakların fenolojik gelişim dönemlerine göre mineral içeriklerinin değişimi, yaprakların optimum hasat zamanının belirlenmesinde önemli bir parametredir.

Bitki yapraklarının mineral içeriği, toprak yapısı, iklim koşulları, hasat zamanı ve fizyolojik olgunluk gibi birçok faktörün etkisiyle farklılık gösterir (Alloway, 2012). Bu nedenle yaprakların farklı hasat zamanlarında analiz edilmesi, optimum toplama zamanının belirlenmesine ve mineral değerlerinin maksimum olduğu dönemin saptanmasına olanak sağlar (McDowell, 2020). Ayrıca, toksik elementlerin (örneğin Pb, Cd, As, Hg) güvenli sınırlar içinde olup olmadığının değerlendirilmesi, hayvan sağlığı ve yem güvenliği açısından kritik bir konudur (CAC, 2021; Dujardin ve ark., 2023).

Bu çalışma, Aronya yapraklarının üç farklı hasat döneminde toplam 19 element açısından mineral içeriklerini belirleyerek, elde edilen sonuçların hayvan beslemesindeki

potansiyelini belirlemeyi hedeflemektedir. Çalışma, doğal mineral kaynakların belirlenmesi açısından önemli bir veri sunacağı düşünülmektedir.

Materyal ve Metot

Bu araştırmada, Erzincan ili sınırlarında 2024 yılında yetiştirilen, dört yaşındaki bir Aronya bahçesinden (39.642148° enlem, 39.535962° boylam), bahçeyi temsil edecek şekilde farklı ağaçlardan yaprak örnekleri toplanmıştır. Yapraklar üç farklı dönemde (Temmuz sonu – meyve hasadı öncesi, Ağustos ortası – meyve hasadı dönemi ve Ağustos sonu – meyve hasadı sonrası) olmak üzere üç örnek şeklinde alınmıştır. Örnekler gölgede kurutulmuş, laboratuvar koşullarında öğütülerek (Lavion HC-100) analiz için hazır hale getirilmiştir. Farklı dönemlerde elde edilen 3 x 6 paralel örneklerin mineral içerik analizleri, ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz edilen elementler şunlardır: Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Ni, Al, Cr, V, Sr, As, Cd, Pb, Hg, Ag. Elde edilen veriler SPSS 12 yazılımı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiş; tek yönlü ANOVA testi uygulanmış ve anlamlı fark görülen parametrelerde Duncan testine tabi tutulmuştur. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0.001$ olarak belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Aronya yapraklarında bazı makro mineral içerikleri incelenmiş ve hasat dönemlerine göre elde edilen tüm değerler arasındaki farklılıklar önemli ($P < 0.001$) olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Na, Mg minerallerinin en yüksek değerleri hasat döneminde en düşük ise Na'da hasat öncesi, Mg'da ise hasat sonrasında belirlenmiştir. K ve Ca minerallerinin en düşük değerleri ise hasat döneminde görülmüştür.

Tablo 1. Aronya yapraklarının hasat dönemlerine göre bazı makro mineral içerikleri (%)

Element	Hasat Öncesi	Hasat Dönemi	Hasat Sonrası	p-değeri
Na	0.0039 c	0.0083 a	0.0061 c	<0.001
Mg	0.9346 a	0.9417 a	0.7727 b	<0.001
K	0.7743 b	0.5970 c	0.9956 a	<0.001
Ca	0.5496 a	0.4244 c	0.4484 b	<0.001

Na: Sodyum, Mg: Magnezyum, K: Potasyum, Ca: Kalsiyum; ^{a,b,c}: Aynı satırda farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir.

Sodyum (Na)

Sodyum, özellikle hayvanlarda osmotik denge, sinir iletimi ve kas fonksiyonları açısından gerekli bir makro mineraldir (MvDowell, 2003). Hasat öncesi Aronya yapraklarındaki sodyum oranı %0,0039-0,0083 arasında ölçülmüştür. Aronya yapraklarının mineral madde içeriklerinin belirlendiği çalışmalarda ise bu çalışma değerlerinden daha düşük 0,018- 0,35 mg/g olarak belirlenmiştir (Pavlovic ve ark., 2015; Biel ve Jaroszevska, 2017; Cvetkovic ve ark., 2018). Söz konusu farklar, bitkinin yetiştirildiği çevresel koşullar (toprak tipi, sulama suyu kaynakları, gübreleme rejimi), hasat zamanı, yaprakların yaş durumu, laboratuvar analiz teknikleri ve ölçüm birimlerinin dönüşüm yöntemlerinden kaynaklanıyor olabilir. Özellikle toprakta veya sulama suyunda sodyum yoğunluğunun fazla olması, bitkide birikimi artırabilir. Bu bağlamda, bu çalışmada elde edilen sodyum düzeylerinin, daha önceki literatürde bildirilen değerlerden önemli ölçüde yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Ancak, elde edilen bu düzeylerin ruminant beslemesi açısından toksik sınıra yakın olmadıkları da görülmektedir.

Magnezyum (Mg)

Bu çalışmada, Aronya yapraklarının farklı hasat dönemlerinde magnezyum (Mg) içeriği %0,7727 ile %0,9346 arasında belirlenmiştir. Oysa literatürde Pavlović ve ark. (2015), Biel ve Jaroszevska (2017) ile Cvetković ve ark. (2018) tarafından bildirilen değerler yalnızca 0,8 – 4,7 mg/g aralığındadır. Bu durum, çalışmamızda elde edilen değerlerin önceki çalışmalara kıyasla oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Bu farkın başlıca nedenleri arasında; bitkilerin yetiştirildiği toprağın mineral kompozisyonu, kullanılan gübreler, çevresel koşullar (iklim, yağış miktarı, sulama rejimi), bitkisel materyalin yaşı ve örnekleme zamanı gibi agronomik ve çevresel etmenler yer alabilir. Mg düzeyleri, Aronya yapraklarının özellikle ruminant beslenmesinde magnezyum yönünden iyi bir kaynak olabileceğini düşündürmektedir. Magnezyum, sinir iletimi, enzim aktivitesi, enerji metabolizması ve kas kasılmalarında önemli görevler üstlenen hayati bir makro mineraldir. Ruminantlarda hipomagnezemi (çayır tetanisi) gibi Mg yetersizliklerine bağlı metabolik bozuklukların önlenmesinde yeterli magnezyum alımı kritik öneme sahiptir (McDowell, 2003). Bu bağlamda, çalışmada elde edilen yüksek Mg düzeyleri, Aronya yapraklarının hayvan besleme açısından potansiyel değerini ortaya koymakta; özellikle mineral dengesinin korunması gereken ruminant rasyonlarında destekleyici bir katkı maddesi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Potasyum (K)

Bu çalışmada Aronya yapraklarının farklı hasat dönemlerinde potasyum (K) içeriği %0,5970 ile %0,9956 arasında ölçülmüştür. Buna karşılık, Pavlović ve ark. (2015), Biel ve Jaroszevska (2017) ile Cvetković ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda Aronya yapraklarının potasyum içeriği yalnızca 0,76 – 15,8 mg/g aralığında bildirilmiştir. Bu fark, bu çalışmada elde edilen değerlerin literatürdeki bulgulara kıyasla belirgin şekilde yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Farklılığın nedeni olarak bitkilerin yetiştirildiği toprağın potasyum içeriği, gübreleme programı, hasat zamanı, iklimsel faktörler ve kullanılan analitik yöntemler de ki farklılıkların olması gösterilebilir. Potasyum, bitkilerde olduğu kadar hayvan beslenmesinde de kritik öneme sahip bir makro mineraldir. Hayvanlarda asit-baz dengesi, sinir uyarılarının iletimi, kas kasılmaları ve su-elektrolit dengesi gibi yaşamsal fizyolojik işlevlerde yer alır (McDowell, 2003). Ruminantlarda potasyum eksikliği nadiren görülmekle birlikte, özellikle sıcak dönemlerde terleme yoluyla potasyum kayıpları arttığında veya sodyum-potasyum dengesinde bozulmalar yaşandığında potasyum takviyesi önem kazanabilir. Bu çalışmada elde edilen K düzeyleri, Aronya yapraklarının hayvan rasyonlarında potasyum açısından destekleyici bir yem katkısı olabileceğini göstermektedir. Özellikle sulu yeşil yemlerin veya mineralce fakir kaba yemlerin rasyonda baskın olduğu dönemlerde, potasyum içeriği yüksek yaprak materyalleri besinsel denge açısından katkı sağlayabilir.

Kalsiyum (Ca)

Bu çalışmada Aronya yapraklarının kalsiyum (Ca) içeriği, hasat dönemlerine göre %0,4244 ile %0,5495 arasında değişmiştir. Aronya yapraklarının mineral madde içeriklerini inceleyen çalışmalarda bildirilen 3,6 – 9,2 mg/g aralığındaki Ca düzeylerinden genel olarak daha yüksektir (Pavlović ve ark., 2015; Biel ve Jaroszevska, 2017; Cvetković ve ark., 2018). Elde edilen bu yüksek kalsiyum düzeyleri, Aronya yapraklarının hayvan beslemesinde potansiyel bir kalsiyum kaynağı olabileceğini göstermektedir. Ca düzeyindeki bu farklılık, büyük olasılıkla toprak yapısı, gübreleme programı, iklim koşulları, bitkinin fizyolojik olgunluk düzeyi ve kullanılan analitik teknikler gibi çevresel ve teknik etkenlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, literatürde yer alan bazı çalışmaların yaş madde bazlı, bu çalışmanın ise kuru madde bazlı değerlendirme yapmış olması da önemli bir farklılık nedenidir. Kalsiyum, özellikle iskelet sisteminin gelişimi, kas kasılması, sinirsel uyarı iletimi ve kan pıhtılaşması gibi temel fizyolojik süreçlerde görev alan bir makro mineraldir (McDowell, 2003). Ruminant beslemesinde Ca/P oranının dengelenmesi, metabolik

hastalıkların önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda Aronya yaprakları, özellikle kalsiyum içeriği düşük kaba yemlerin rasyonda yer aldığı durumlarda tamamlayıcı bir mineral kaynak olarak değerlendirilebilir.

Aronya yapraklarının hasat dönemlerine göre bazı mikro mineral içerikleri incelenmiş ve elde edilen değerler arasındaki farklılıklar önemli ($P<0.001$) olarak tespit edilmiştir (Tablo 2). İncelenen Al, V, Cr, Fe, Co, Ni, Ag değerleri en yüksek hasat sonrası dönemde tespit edilmiştir. Al, V, Cr, Mn, Fe, Mn, Co, Ni, Sr ve Ag minerallerinde en düşük hasat döneminde olduğu görülmüştür.

Tablo 2. Aronya yapraklarının hasat dönemlerine göre bazı mikro mineral içerikleri (mg/g)

Element	Hasat Öncesi	Hasat Dönemi	Hasat Sonrası	p-değeri
Al	0,4682934 b	0,2206719 c	0,4686405 a	<0.001
V	8,2526341 b	3,7407024 c	9,2177034 a	<0.001
Cr	0,0027269 b	0,0011139 c	0,0034870 a	<0.001
Mn	0,1232731 a	0,0930030 c	0,0964809 b	<0.001
Fe	0,3798669 b	0,2620112 c	0,4564486 a	<0.001
Co	0.0003441 b	0.0001852 c	0.0004616 a	<0.001
Ni	0,0088991 b	0,0067007 c	0,0095836 a	<0.001
Cu	0,0028900 c	0,0066409 a	0,0038271 b	<0.001
Zn	0,0166585 c	0,0257869 a	0,0240780 b	<0.001
Sr	0,2798215 a	0,0553960 c	0,2058213 b	<0.001
Ag	0.0000025 b	0.0000015 c	0.0000031 a	<0.001

Al: Alüminyum, V: Vanadyum, Cr: Krom, Mn: Mangenez, Fe: Demir, Co: Kobalt, Ni: Nikel, Cu: Bakır, Zn: Çinko, Sr: Stronsiyum, Ag: Gümüş, ^{a,b,c}: Aynı satırda farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir.

Alüminyum (Al)

Bu çalışmada, Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında alüminyum (Al) içeriği, farklı hasat dönemlerine bağlı olarak 0,22067 – 0,46864 mg/g (220,67 – 468,64 mg/kg) aralığında belirlenmiştir. Bu değerler, Pavlović ve arkadaşları (2015) tarafından bildirilen 0,011 mg/g (yani 11 mg/kg) düzeyine kıyasla daha yüksek olsa da, hayvan beslemesinde tolere edilebilir seviyelerin altında kalmaktadır. Ruminantlar için yemde güvenli kabul edilen maksimum alüminyum seviyesi yaklaşık 1000 mg/kg kuru madde olarak belirtilmektedir (NRC, 2005). Bu bağlamda, bu çalışmada elde edilen Al düzeyleri bu sınır değerinin altında kalmakta ve Aronya yapraklarında alüminyum birikiminin sınırlı olduğunu göstermektedir.

Alüminyumun bitkilerdeki birikim düzeyleri; toprak pH'ı, bitki türü ve çevresel faktörler gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik gösterebileceğinden, bu farklılıkların muhtemelen yetiştirme koşullarından ve toprak özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak, Aronya yapraklarında tespit edilen düşük Al düzeyleri, hayvan beslemesi açısından olumlu bir özellik olarak değerlendirilmekte ve toksikolojik açıdan bir risk oluşturmadığı söylenebilir.

Vanadyum (V)

Bu çalışmada, Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında vanadyum (V) düzeyleri, hasat dönemlerine bağlı olarak 3,74070 ile 9,21770 mg/g aralığında belirlenmiştir. Bu değerler, kuru madde bazında 3.740,70 ile 9.217,70 mg/kg vanadyum içeriğine karşılık gelmektedir. Hayvan beslemede yemlerde tolere edilebilir maksimum vanadyum düzeyinin NRC (2005) tarafından 50 mg/kg (yani 0,05 mg/g) olarak önerildiği dikkate alındığında, Aronya yapraklarında belirlenen vanadyum düzeylerinin bu sınırın üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum, özellikle uzun süreli ve yüksek miktartlı kullanım senaryolarında dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte, söz konusu vanadyum düzeylerinin potansiyel etkileri; hayvan türü, kullanım dozu, rasyonun genel bileşimi ve uygulama süresine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle, Aronya yapraklarının yem rasyonlarına dahil edilmeden önce içerdiği vanadyum miktarının dikkate alınması ve olası birikim riskine karşı gerekli değerlendirmelerin yapılması önerilmektedir.

Krom (Cr)

Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarının krom (Cr) içeriği, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,0027268 – 0,0034870 mg/g aralığında belirlenmiştir. Bu değerler, Pavlović ve ark. (2015) ile Biel ve Jaroszevska (2017) tarafından bildirilen 0,00005 – 0,001 mg/g düzeylerine kıyasla daha yüksektir. Bununla birlikte, hayvan beslemesinde toplam krom için önerilen toksikolojik üst sınır 100 mg/kg (yani 0,1 mg/g) olarak kabul edilmektedir (McDowell, 2003). Bu bağlamda, Aronya yapraklarında tespit edilen Cr düzeylerinin söz konusu sınır değerinin oldukça altında kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla, mevcut krom içeriği açısından Aronya yapraklarının hayvan beslemesinde kullanımı toksikolojik bir risk oluşturmamaktadır. Ancak, Cr düzeyinin literatürde bildirilen ortalama seviyelerin üzerinde olması, özellikle uzun süreli kullanımlarda dikkatle izlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Manganez (Mn)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında manganez (Mn) düzeyi, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,093 – 0,1232 mg/g aralığında belirlenmiştir. Bu değerler, Pavlović ve ark. (2015), Biel ve Jaroszevska (2017) ile Cvetković ve ark. (2018) tarafından bildirilen 0,006 – 0,151 mg/g aralığıyla büyük ölçüde örtüşmektedir. Ancak, Saracila ve ark. (2024) tarafından bildirilen 0,20548 mg/g düzeyi, bu çalışmada elde edilen değerlerin üzerinde olup, Aronya yapraklarında Mn birikiminin çevresel faktörlere ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişebileceğini göstermektedir.

Manganez, özellikle kemik gelişimi, üreme performansı, bağışıklık sistemi ve enzimatik reaksiyonlar açısından ruminantlar ve kümes hayvanları için esansiyel bir mikro elementtir. Hayvan beslemesinde Mn için önerilen tolere edilebilir üst sınır 2000 mg/kg (yani 2 mg/g) olarak bildirilmiştir (NRC, 2005). Bu bağlamda hem bu çalışmada hem de literatürde bildirilen Mn düzeylerinin söz konusu sınırın oldukça altında kaldığı ve toksikolojik açıdan bir risk oluşturmadığı söylenebilir. Bu nedenle Aronya yaprakları, Mn yönünden güvenli ve fonksiyonel bir yem katkı maddesi veya tamamlayıcı yem kaynağı olarak değerlendirilebilir.

Demir (Fe)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarının demir (Fe) içeriği, hasat öncesi dönemde 0,2620 – 0,4564 mg/g aralığında belirlenmiştir. Bu düzeyler, Pavlović ve ark. (2015), Biel ve Jaroszevska (2017), Cvetković ve ark. (2018) ile Saracila ve ark. (2024) tarafından bildirilen 0,017 – 0,09429 mg/g seviyelerine kıyasla belirgin şekilde daha yüksektir. Bu farklılıkların, bitkinin yetiştiği toprağın mineral içeriği, çevresel koşullar, hasat zamanı, yaprak yaşlanması ve kullanılan analiz yöntemleri gibi faktörlere bağlı olarak ortaya çıkmış olabileceği düşünülmektedir.

Demir, tüm hayvan türlerinde başta oksijen taşınımı ve enzimatik süreçler olmak üzere pek çok metabolik işlevde rol alan esansiyel bir mikro elementtir. Bununla birlikte, ruminant beslemesinde kuru madde bazında 500 mg/kg (yani 0,5 mg/g) seviyesi genellikle maksimum tolere edilebilir sınır olarak kabul edilmektedir (NRC, 2005). Bu çalışmada tespit edilen demir düzeyleri ise 0,2620 – 0,4564 mg/g aralığında olup, bu sınır değerinin altında kalmaktadır. Dolayısıyla, Aronya yapraklarının demir içeriği açısından doğrudan bir toksikolojik risk oluşturmadığı söylenebilir. Bununla birlikte, demirce zengin diğer yem kaynaklarıyla birlikte rasyona dahil edilmesi planlandığında toplam demir alımı dikkate alınmalı; özellikle mineral dengesizlikleri ve antagonistik etkileşimlerin önlenmesi açısından dikkatli formülasyon yapılması önerilmektedir.

Kobalt (Co)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarının kobalt (Co) içeriği, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,0001852 – 0,0004616 mg/g aralığında belirlenmiştir. Bu değerler, Biel ve Jaroszevska (2017) tarafından bildirilen 0,0005 mg/g düzeyine yakın olmakla birlikte, söz konusu literatür değerinin altında kalmaktadır. Bu durum, Aronya yapraklarının yetiştirildiği çevresel koşullar, toprak yapısı ve mevsimsel farklılıklar gibi etmenlerin kobalt birikimi üzerindeki etkisini yansıtmaktadır.

Kobalt, ruminantlar için esansiyel bir mikro mineraldir ve özellikle B12 vitamini sentezi için gereklidir. Hayvan beslemesinde kobalt için güvenli kabul edilen üst sınır 25 mg/kg (yani 0,025 mg/g) olarak belirtilmektedir (NRC, 2005). Bu bağlamda, bu çalışmada elde edilen kobalt düzeylerinin hem literatürde bildirilen değerlerle uyumlu olduğu, hem de toksikolojik sınırın oldukça altında kaldığı görülmektedir. Bu sonuçlar, Aronya yapraklarının Co içeriği açısından hayvan beslemesinde güvenli bir kaynak olabileceğini göstermektedir.

Nikel (Ni)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında nikel (Ni) içeriği, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,0067007 – 0,0088991 mg/g aralığında belirlenmiştir. Bu düzeyler, Pavlović ve ark. (2015) ile Biel ve Jaroszevska (2017) tarafından bildirilen 0,00014 – 0,004 mg/g aralığındaki Ni seviyelerine kıyasla anlamlı şekilde yüksektir. Söz konusu farklılıklar; bitkinin yetiştiği toprak yapısı, çevresel nikel kontaminasyonu, hasat zamanı ve analitik yöntem farklılıkları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir.

Nikel, bitkilerde zorunlu bir element olarak kabul edilmemekle birlikte, bazı enzimlerin yapısında yer alarak azot metabolizmasında dolaylı roller üstlenebilir. Hayvan beslemesinde ise nikelin fizyolojik gereksinimi oldukça düşük olup, aşırı alımı durumunda toksik etkilere neden olabilir. NRC (2005) ve çeşitli kaynaklara göre yemlerde tolere edilebilir üst sınır değeri genellikle 100 mg/kg (yani 0,1 mg/g) olarak belirtilmektedir. Bu bağlamda, çalışmada elde edilen nikel düzeyleri bu sınırın oldukça altında kalmaktadır. Buda, Aronya yapraklarının nikel içeriği açısından hayvan beslemesinde kullanılabilirliğini sınırlandırıcı bir risk taşımadığını göstermektedir.

Bakır (Cu)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında bakır (Cu) düzeyleri, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,0028900 – 0,0066409 mg/g aralığında belirlenmiştir. Bu değerler, Pavlović ve ark. (2015), Biel ve Jaroszevska (2017) ile Cvetković ve ark. (2018) tarafından

bildirilen 0,001 – 0,02 mg/g düzeyleriyle uyumludur. Elde edilen değerler, literatürdeki minimum ve maksimum aralık içerisinde yer almakta olup, Aronya yapraklarının Cu içeriği bakımından dengeli bir profile sahip olduğunu göstermektedir.

Bakır, demir metabolizması, bağışıklık sistemi fonksiyonları, enzim aktivitesi ve büyüme gibi birçok fizyolojik süreçte rol alan esansiyel bir mikro elementtir. Ancak aşırı alımı durumunda toksik etkilere neden olabilmektedir. Hayvan beslemede Cu için önerilen tolere edilebilir üst sınır genellikle 40 mg/kg (yani 0,04 mg/g) olarak bildirilmektedir (NRC, 2005). Bu bağlamda, Aronya yapraklarında tespit edilen Cu düzeyleri bu sınırın oldukça altında olup, toksikolojik açıdan herhangi bir risk oluşturmadığı söylenebilir. Sonuç olarak Aronya yaprakları, Cu bakımından güvenli bir yem katkı maddesi veya tamamlayıcı yem kaynağı olarak değerlendirilebilir.

Çinko (Zn)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarının çinko (Zn) içeriği, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,0166585 – 0,0257869 mg/g aralığında belirlenmiştir. Bu değerler, Pavlović ve ark. (2015), Biel ve Jaroszevska (2017), Cvetković ve ark. (2018) ve Sărăcilă ve ark. (2024) tarafından bildirilen 0,008 – 0,025 mg/g düzeyleriyle büyük ölçüde uyumludur. Özellikle bu çalışmada belirlenen üst sınır değeri, literatürde bildirilen maksimum değere çok yakın olup; alt sınır değeri ise literatürdeki ortalama düzeylerle örtüşmektedir. Bu durum, Aronya yapraklarının Zn bakımından zengin bir mineral profile sahip olduğunu ve türün çevresel koşullara göre belirli bir çinko birikim kapasitesine sahip olabileceğini göstermektedir.

Çinko, özellikle büyüme, bağışıklık fonksiyonları, enzimatik aktiviteler ve üreme sağlığı açısından hayvanlar için esansiyel bir mikro elementtir. Hayvan beslemesinde Zn için tolere edilebilir üst sınır değeri 500 mg/kg (yani 0,5 mg/g) olarak belirtilmektedir (NRC, 2005). Bu bağlamda, çalışmada elde edilen Zn düzeylerinin bu sınırın oldukça altında kaldığı ve toksikolojik açıdan bir risk oluşturmadığı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, Aronya yaprakları Zn açısından dengeli ve güvenli bir yem katkı maddesi olarak değerlendirilebilir.

Stronsiyum (Sr)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında stronsiyum (Sr) düzeyleri, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,0553960 – 0,2798215 mg/g (yani 55,40 – 279,82 mg/kg) aralığında belirlenmiştir. Stronsiyum, bitkiler için esansiyel olmayan bir element olmasına rağmen, kemik metabolizması ve kalsiyumla olan biyokimyasal etkileşimleri nedeniyle

hayvan beslemesinde dikkatle değerlendirilmesi gereken bir mikro elementtir. Stronsiyum için hayvan besleme literatüründe net bir maksimum tolerans seviyesi tanımlanmamış olmakla birlikte, DCE (2019) hayvanların (sığır, domuz, tavuk) rasyonlarında Sr'ye karşı oldukça yüksek bir tolerans gösterdiği ve toksik etkilerin genellikle 2000 mg/kg düzeylerinin üzerinde ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bu bağlamda, Aronya yapraklarında belirlenen Sr düzeylerinin bu toksik sınırın oldukça altında kaldığı ve toksikolojik açıdan herhangi bir risk oluşturmadığı söylenebilir.

Gümüş (Ag)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında gümüş (Ag) düzeyleri, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,0000015 – 0,0000031 mg/g aralığında belirlenmiştir. Gümüş, bitkiler için esansiyel bir element olmamakla birlikte, çevresel kontaminasyon göstergesi olarak değerlendirilmekte ve biyolojik sistemlerde birikme eğilimi nedeniyle dikkatle izlenmesi gereken elementlerden biridir. Hayvan beslemesinde Ag için önerilen bir esansiyel gereksinim bulunmamakta; aksine, yüksek dozlarda toksik etkiler (özellikle karaciğer, böbrek ve sinir sistemi üzerinde) gösterebileceği bilinmektedir.

Literatürde, yemlerde tolere edilebilir gümüş miktarına ilişkin net bir üst sınır bulunmamakla birlikte, toksik etkilerin genellikle 5–10 mg/kg ve üzerindeki düzeylerde ortaya çıktığı bildirilmektedir (Maziero ve ark., 2020). Bu bağlamda, Aronya yapraklarında tespit edilen Ag düzeylerinin söz konusu toksisite sınırlarının çok altında olduğu ve bu haliyle toksikolojik açıdan bir risk oluşturmadığı söylenebilir. Bununla birlikte, çevresel kaynaklı ağır metal birikimi açısından izlenmeye devam edilmesi önerilmektedir.

Toksik Elementler

Aronya yapraklarının bazı toksik element içerikleri incelenmiş ve Tablo 3'te sunulmuştur. Elde edilen değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.001$).

Tablo 3. Aronya yapraklarının hasat dönemlerine göre bazı toksik element içerikleri (mg/kg)

Element	Hasat Öncesi	Hasat Dönemi	Hasat Sonrası	p-değeri
As	0.1234 b	0.0673 c	0.1347 a	<0.001
Cd	0.0173 c	0.0335 a	0.0201 b	<0.001
Hg	2.0985 a	1.7881 b	1.8002 b	<0.001
Pb	0.2560 b	0.2764 a	0.2373 c	<0.001

As: Arsenik, Cd: Kadmiyum, Hg: Civa, Pb: Kurşun, a,b,c: Aynı satırda farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir.

Arsenik (As)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında arsenik (As) düzeyleri, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,123 – 0,135 mg/kg aralığında belirlenmiştir. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından yayımlanan bilimsel görüşlere göre, hayvan yemlerinde toplam arsenik için önerilen maksimum tolerans sınırı 2 mg/kg'dır (Dujardin ve ark., 2023; EFSA, 2005;). Bu bağlamda, Aronya yapraklarında ölçülen As düzeylerinin, EFSA tarafından belirlenen sınırın çok altında olduğu görülmektedir. Arsenik, kronik maruziyet durumlarında karaciğer, böbrek ve sinir sistemi üzerinde toksik etkilere neden olabilen önemli bir kontaminanttır. Ancak bu çalışmada elde edilen değerler, yem katkısı olarak değerlendirildiğinde toksikolojik açıdan herhangi bir risk oluşturmayacak düzeydedir.

Kadmiyum (Cd)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında kadmiyum (Cd) düzeyleri, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,0173 – 0,0335 mg/kg aralığında belirlenmiştir. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), hayvan yemlerinde kadmiyum için tolere edilebilir maksimum sınır değerini 1 mg/kg olarak belirlemiştir (EFSA, 2009; Dujardin ve ark., 2023). Bu bağlamda, Aronya yapraklarında tespit edilen Cd düzeylerinin EFSA tarafından bildirilen yasal sınırın çok altında kaldığı görülmektedir. Kadmiyum, özellikle böbrek ve karaciğer gibi organlarda birikim eğiliminde olan ve uzun süreli maruziyetlerde nefrotoksisite, immunosupresyon ve büyüme geriliği gibi etkilere yol açabilen toksik bir ağır metaldir. Ancak bu çalışmada elde edilen Cd düzeyleri, yem katkısı ya da tamamlayıcı yem olarak kullanım açısından toksikolojik bir risk oluşturmamaktadır.

Cıva (Hg)

Bu çalışmada Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında cıva (Hg) düzeyleri, hasat dönemlerine bağlı olarak 1,7881 – 2,0985 mg/kg aralığında belirlenmiştir. Cıva, özellikle çevresel kaynaklı kirlilikle ilişkilendirilen ve biyolojik sistemlerde birikebilen bir elementtir. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), hayvan yemlerinde toplam cıva için maksimum sınır değerini 0,1 mg/kg olarak bildirmiştir (EFSA, 2008). Bu kapsamda değerlendirildiğinde, Aronya yapraklarında tespit edilen Hg düzeyleri, söz konusu sınır değer üzerinde bulunmakta ve bu durum potansiyel dikkat gerektiren bir durumu işaret etmektedir. Her ne kadar bu sonuçlar tek başına kesin bir toksik etki anlamına gelmesede, yem amaçlı kullanım öncesinde dikkatli bir değerlendirme yapılmasını gerekli kılmaktadır. Özellikle cıvanın birikici doğası göz önünde bulundurulduğunda, bu tür materyallerin yalnızca kontrollü oranlarda ve diğer düşük içerikli hammaddelerle birlikte formüle edilerek kullanılması önerilmektedir. Bununla birlikte, cıva düzeylerindeki farklılıkların bölgesel toprak yapısı, çevresel koşullar ve tarımsal uygulamalardan etkilenebileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle Aronya yapraklarının yem katkısı olarak potansiyel kullanımına yönelik olarak, kaynak izlenebilirliği ve düzenli ağır metal analizleri ile desteklenen bir kalite kontrol süreci önem taşımaktadır.

Kurşun (Pb)

Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarında kurşun (Pb) düzeyleri, hasat dönemlerine bağlı olarak 0,2373 – 0,2764 mg/kg aralığında belirlenmiştir. Kurşun; çevresel kaynaklı kirlilikten kolayca etkilenen, biyolojik sistemlerde birikebilen ve özellikle sinir sistemi, böbrek ve hematopoetik sistem üzerinde toksik etkiler gösterebilen ağır metallerden biridir. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), hayvan yemlerinde toplam kurşun için maksimum tolere edilebilir sınır değerini 2 mg/kg olarak belirlemiştir (Dujardin ve ark., 2023). Bu kapsamda değerlendirildiğinde, çalışmada saptanan Pb düzeylerinin bu sınırın oldukça altında kaldığı ve toksikolojik açıdan herhangi bir risk oluşturmadığı söylenebilir.

Sonuç

Bu çalışma, Aronya (*Aronia melanocarpa*) yapraklarının üç farklı hasat dönemine ait mineral içeriklerinin belirlenmesiyle, hayvan beslemesinde potansiyel bir doğal mineral kaynağı olarak değerlendirilmesini amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, Aronya yapraklarının Na, Mg, K, Ca gibi makro minerallerin yanı sıra Mn, Fe, Zn, Cu gibi mikro mineraller bakımından zengin bir içeriğe sahip olduğunu ve bu özellikleriyle ruminant beslenmesinde

tamamlayıcı yem veya yem katkı maddesi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Özellikle Mn, Zn, Cu gibi mikro elementlerin düzeyleri, hayvanların fizyolojik ihtiyaçlarını karşılayabilecek düzeyde olup, toksikolojik sınırların oldukça altında kalmıştır. Ayrıca, çalışmada analiz edilen toksik elementler (As, Cd, Pb, Hg, Ag) açısından değerlendirildiğinde, As, Cd ve Pb düzeylerinin EFSA tarafından bildirilen yasal sınırların altında kaldığı ve bu açıdan toksikolojik bir risk taşımadığı belirlenmiştir. Ancak, cıva (Hg) düzeylerinin sınır değerin üzerinde olması, bu bitkinin hayvan yemlerine katılımlarında dikkatli olunması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu durum, bölgesel çevresel koşulların ağır metal birikimi üzerinde etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak, Aronya yaprakları, sahip oldukları dengeli mineral profili ve düşük toksik element içeriğiyle, hayvan beslemesinde sürdürülebilir, doğal ve güvenli bir mineral kaynağı olarak değerlendirilme potansiyeline sahiptir. Ancak, bazı ağır metallerin çevresel kaynaklı değişkenliği göz önüne alınarak, kullanım öncesinde düzenli analizlerle kalite kontrolünün sağlanması önerilmektedir.

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.

Kaynakça

Alloway BJ., 2012. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer Science & Business Media.

Biel W, Jaroszewska A., 2017. The nutritional value of leaves of selected berry species. Scientia Agricola, 74: 405-410.

Codex Alimentarius Commission, CAC. (2021). General standard for contaminants and toxins in food and feed (CXS 193–1995, amended 2021). FAO & WHO. https://www.fao.org/faowhocodexalimentarius/shproxy/en/?lnk=1&url=https%3A%2F%2Fworkspace.fao.org%2Fsites%2Fcodex%2Fstandards%2FCXS%2B193-1995%2FCXS_193e.pdf

Cvetkovic D, Stanojevic L, Zvezdanovic J, Savic S, Ilic D, Karabegovic I., 2018. Aronia leaves at the end of harvest season—Promising source of phenolic compounds, macro- and microelements. Scientia Horticulturae, 239: 17-25.

DCE, Dairy Cattle Extension., 2019. Mineral tolerances of animals. eXtension Foundation. Retrieved July 15, 2025, from <https://dairy-cattle.extension.org/mineral-tolerances-of-animals/>

Do Thi N, Hwang ES., 2014. Bioactive compound contents and antioxidant activity in Aronia (*Aronia melanocarpa*) leaves collected at different growth stages. *Preventive Nutrition and Food Science*, 19(3): 204.

Dujardin L, Rossi M, Castenmiller J, Rowland I, Schneidereit J, Fernández-Cruz ML., 2023. Dietary exposure to heavy metals and iodine intake via consumption of seaweeds and halophytes in the European population. *EFSA Journal*, 21(2): e07798.

Duplessis M, Royer I., 2023. The importance of an integrated approach to assess trace mineral feeding practices in dairy cows. *Front Animal Science*, 4: 1-8.

EFSA., 2008. Scientific opinion – Mercury as undesirable substance in animal feed. *EFSA Journal*, 654.

EFSA., 2009. Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain on cadmium in food. *EFSA Journal*, 980.

Goff JP., 2018. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Dairy Science*, 101(4): 2763-2813.

Khanal RC, Subba DB., 2001. Nutritional evaluation of leaves from some major fodder trees cultivated in the hills of Nepal. *Animal Feed Science and Technology*, 92(1-2): 17-32.

Maziero JS, Thiye VC, Rogero SO, Cavalcante AK, Damasceno KC, Ormenio MB, Katti KV., 2020. Species-specific in vitro and in vivo evaluation of toxicity of silver nanoparticles stabilized with gum Arabic protein. *International Journal of Nanomedicine*, 7359-7376.

McDowell LR., 2003. *Minerals in animal and human nutrition*, 2nd Edition. Elsevier, 660 s.

McDowell LR., 2020. *Vitamins and minerals in animal nutrition*. 3rd ed. CRC Press.

Mohandoss D, Dhurvas RD, Nappinnai M, Rogero JR, Lugão AB, Katti KV., 2020. Species-specific in vitro and in vivo evaluation of toxicity of silver nanoparticles stabilized with gum Arabic protein. *Int J Nanomedicine*, 2(15): 7359-7376.

NRC., 2005. National Research Council Division on Earth, Studies, L., Board on Agriculture, Natural Resources, Committee on Minerals, ... & Water for Animals. Mineral tolerance of animals. National Academies Press.

NRC., 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8th revised ed. National Academies Press.

Pavlovic AN, Brcanovic JM, Veljkovic JN, Mitic SS, Tošić SB, Kalicanin BM, Kostic DA, Đorđević MS, Velimirovic DS., 2015. Characterization of commercially available products of aronia according to their metal content. *Fruits*, 70: 385-393.

Saracila M, Untea AE, Oancea AG, Varzaru I, Vlaicu PA., 2024. Comparative analysis of black chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) fruit, leaves, and pomace for their phytochemical composition, antioxidant potential, and polyphenol bioaccessibility. *Foods*, 13(12): 1856.

Suttle N., 2022. Mineral nutrition of livestock. GB: Cabi.

Spears JW., 2000. Micronutrients and immune function in cattle. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59(4): 587-594.

Underwood EJ, Suttle NF., 1999. The mineral nutrition of livestock. 3rd ed. Wallingford, UK: CABI Publishing.