

Türkiye’de Farklı Sulama ve İklim Koşullarında Kimi Bitkilerin Bitki Su Stres İndekslerinin (CWSI) İrdelenmesi

Alper BAYDAR^{1*}, Yeşim Bozkurt ÇOLAK², Mete ÖZFİDANER³, Engin GÖNEN⁴

^{1,2,3,4}Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Mersin

¹<https://orcid.org/0000-0002-1426-466X>

²<https://orcid.org/0000-0003-1836-3910>

³<https://orcid.org/0000-0002-8453-8136>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-0471-9376>

*Sorumlu yazar: alper.baydar@tarimorman.gov.tr

Derleme

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 24.05.2022

Kabul tarihi: 24.08.2022

Online Yayınlanma:09.12.2022

Anahtar Kelimeler

Bitki su stres indeksi

Sulama programlaması

Çağ sıcaklığı

ÖZ

Bitki su stres indeksi (CWSI), bitkinin çağ sıcaklığını dikkate alarak su stresini belirlemede kullanılan tekniklerden biridir. Uygun biçimde oluşturulan sulama programı; su, enerji ve gübre üretim girdilerinin etkin kullanımları sağlanmaktadır. Su stresi, bitkilerin büyüme mevsimi boyunca farklı aşamalarındaki verim üzerinde olabilecek etkilerin belirlenmesinde kritik bir öneme sahiptir. Bu anlamda, uygun sulama programlaması için bitki su stresinin güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi önemlidir. Özellikle son yıllarda bitkilerin su içeriği ve düzeyinin belirlenmesine yönelik ölçüm teknikleri oldukça dikkat çeken bir konu durumuna gelmiş ve ülkemizde de araştırmalar giderek artmaktadır. Bitki su stres indeksi (CWSI), sulama uygulamaları için kızılötesi çağ sıcaklıkları, ortamdaki hava sıcaklığı ve buhar basıncı açığı değerlerinden hesaplanmaktadır. Bitki çağ sıcaklığı, su stres seviyesinin belirlenmesinde bitkilerde olumsuz etki oluşturmayan ve hızlı bir yöntem olması nedeni ile CWSI hesaplanmasında pratik olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’de kimi bölgelerde yetiştirilen mısır, pamuk, ayçiçeği, patates, soya, karpuz, fasulye, brokoli, salçalık biber, dolmalık biber, patlıcan, kabak çekirdeği, kabak ve bağ gibi önemli bitkilere ilişkin kısıntılı sulama koşullarına gösterdiği CWSI değerleri irdelenmiştir ve CWSI değerlerinin sulama planlamasındaki uygunlukları değerlendirilmiştir.

Investigation of Crop Water Stress Index (CWSI) of Some Plants under Different Irrigation and Climate Conditions in Turkey

Review Article

Article History:

Received: 24.05.2022

Accepted: 24.08.2022

Available online:09.12.2022

Keywords:

Crop water stress index

Irrigation scheduling

Canopy temperature

ABSTRACT

The Crop Water Stress Index (CWSI) is one of the techniques used to determine the water stress of the plant by considering the canopy temperature of the plant. Effective use of water, energy and fertilizer production inputs are ensured with a properly created irrigation program. Water stress has critical importance in determining the effects that may have on the yield of plants at different stages of the growing season. In this sense, reliable estimation of crop water stress is important for proper irrigation scheduling. Especially in recent years, measurement techniques for determining the water content and level of plants have become a very valuable subject and researches are increasing in our country. CWSI was calculated from infrared canopy temperatures, ambient air temperatures and vapor pressure deficit values for

the irrigation treatments. Canopy temperature is practically used in the calculation of CWSI because it is a fast method that does not have a negative effect on plants in determining the water stress level. In this study, CWSI of important crops grown in some regions in Turkey such as corn, cotton, sunflower, potato, soybean, watermelon, beans, broccoli, tomato, bell pepper, eggplant, pumpkin, squash and vineyard were examined and CWSI values were evaluated for their suitability in irrigation planning.

To Cite: Baydar A, Bozkurt Çolak Y, Özfıdaner M, Gönen E., 2022. Türkiye’de farklı sulama ve iklim koşullarında kimi bitkilerin bitki su stres indekslerinin (CWSI) irdelenmesi. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 2(2): 339-353.

Giriş

Bitkisel üretimde sulu tarım, çevre ve küresel gıda güvenliği açısından önemlidir. İklim değişikliği hidrolojik döngü üzerinde yüksek baskı oluşturmaktadır. Dünyanın bazı bölgelerinde azalan yağış, artan buharlaşma ve sıcaklar nedeniyle son yıllarda kuraklık olasılığı ve şiddeti artmaktadır. Bu nedenle, su ile sınırlı alanlarda su verimliliğini artırma potansiyelinin olması için su tasarrufu stratejilerinin benimsenmesine ihtiyaç vardır.

Sulama programı, sulama süresince verilecek olan sulama suyu miktarının hangi zaman dilimlerinde uygulanması gerektiğini tespit eden işlemdir. Uygun biçimde oluşturulmuş bir sulama programı ile su, enerji ve gübre üretim girdilerinin etkin kullanımları sağlanmaktadır. Ayrıca tarımsal mekanizasyon ve kimyasal mücadele gibi kültürel işlemler ile ilk yatırım maliyetleri açısından dikkate alındığında sulama programının doğru yapılması önem arz etmektedir. Sulama programlama yaklaşımları tam sulama ve kısıntılı sulama olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Kısıntılı sulama (KS) ile sulama planlaması, özellikle gelecek yıllarda ki olası iklim değişikliği dikkate alındığında önemli sulama yönetimi uygulamasıdır. Su eksikliği olan bölgelerde suyu korumak ve bitkisel üretimi sürdürmek için kısıntılı sulama uygulamaları ile bitkinin büyüme aşamaları veya bazen tüm büyüme mevsimi boyunca ihtiyaç duyduğu sudan daha düşük miktarda sulama suyu uygulanmaktadır. Bu nedenle, KS koşulları altında bitkiler belirli bir derecede su stresine maruz kalır ve bu stresi ancak bir dereceye kadar tolere edebilirler. Belirli bir eşik seviyesinin ötesinde, verimde ciddi kayıplar olmaktadır (Liu ve ark., 2006). Anılan eşik düzeyi bitkilerin su stresine tepkisini doğrudan ölçerek belirlenebilir (Ihuoma ve Madramootoo, 2017). Bitkide etkili ve verimli sulama planlamasının sağlanabilmesi için, su stresinin zararlı düzeye gelmeden sulamaların yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, sulamaların uygun biçimde yapılabilmesi için su stresi eşik değerlerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır (Pereira, 1999).

Sulamanın temel amacı, bitkinin ihtiyaç duyduğu suyu doğru zamanda sağlamak olduğundan, bitkinin izlenmesi, sulama zamanının belirlenmesinde daha doğru bir

yaklaşımıdır. Uygulanacak sulama suyu miktarını belirlemede bitki parametrelerinin toprak suyu ile ilişkilendirilmesi gerekir. Bitki, içinde bulunduğu çevreye tepki verdiği için ve su kaynağı olan toprakla atmosfer arasında yer aldığından sulama programlanması için bitkinin içsel su durumunun ortaya konulması amacıyla bitkinin izlenmesi gerekir (Yazar ve ark., 1999).

Özellikle son yıllarda bitkilerin su içeriği ve düzeyinin belirlenmesine yönelik ölçüm teknikleri oldukça dikkat çeken bir konu durumuna gelmiştir. Bu yönden, bitki su stresi kavramı, bir bitkinin kendi bünyesi içerisinde suya olan gereksinimin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bitkinin su stresine maruz kalması, fotosentez hızında azalmalar vb. fizyolojik olarak olumsuz durumlara sebep olmaktadır. Fotosentez hızında azalma ve diğer fizyolojik olumsuz şartlar bitkinin büyüme hızını azaltarak zaman içerisinde ölümüne sebep olmaktadır.

Bu derlemede, su tasarrufu sağlayan kısıntılı sulama uygulamalarında, sulama programlama tekniklerinden olan bitki su stres indeksinin Türkiye’de yetiştirilen ürünlerde uygunlukları incelenmiştir.

Bitki Su Stres İndeksi (CWSI)

Bitkinin içsel su durumunu belirlemeye yönelik yöntemler sulama programlarının hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Reginato ve Howell, 1985; Yazar, 1993). Optimum bitki sıcaklığının korunması, bir bitkinin metabolik aktiviteleri için çok önemlidir. Bitki sıcaklığı terleme ile düzenlenmektedir. Terleme, buharlaşmanın gizli ısıyı almakta ve böylece yaprak yüzeyini soğutmaktadır. Toprak nemi eksikliği altında, daha düşük bir terleme oranı yaprak sıcaklığını yükseltmektedir. Bitki su stres indeksi (CWSI) taş-hava sıcaklığı farkından ve psikometrik ölçümlerden yararlanarak belirlenmektedir (Jackson, 1982). Anılan yöntemde ölçümler sırasında bitkiye temas edilmediğinden, bitkilere zarar verilmemekte, hızlı ve doğru ölçümler yapılabilmektedir (Zipoli, 1990).

Bitki su stresi indeksi, iki farklı yaklaşımla belirlenmektedir. Bunlardan birincisi deneysel (ampirik), ikincisi ise teorik olanıdır. Deneysel yaklaşımda, taş-hava sıcaklığı farkı ($T_c - T_a$) ile buhar basıncı açığı (VPD) arasında regresyon analizi yapılmaktadır (Idso ve ark., 1981). Teorik yaklaşımda ise bitki tacının özelliğini yansıtan hava direnci (r_a) ve taş direncini (r_c) kullanarak enerji denge eşitliklerinden yararlanılmaktadır (Jackson ve ark., 1981). Her iki yöntemde de bulunan ($T_c - T_a$) farkı bitkinin karakteristik özelliğini yansıtmaktadır (O’Toole ve Real, 1986).

Infrared (IR) termometrelerin gelişmesiyle bitki su stresinin belirlenmesinde bitki taç sıcaklığının ölçülmesi geniş çapta uygulanmaya başlamıştır. Kök bölgesinde depolanan su azaldığında terlemenin azalacağı ve absorbe edilen radyasyon nedeniyle bitki yüzey sıcaklığının hava sıcaklığından daha yüksek olacağı varsayımına dayanan bu yaklaşım, pek çok araştırmacı tarafından uzun yıllardır bitki su stresinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Jackson, 1982; Idso ve Clowson, 1986).

Idso ve ark. (1981) bitki su stresi indeksini (CWSI) belirlemede su eksikliğinin olmadığı ve bitkinin potansiyel hızda terleme yaptığı koşullara ilişkin bir alt-sınır çizgisiyle, terlemenin tamamen durduğu koşulları temsil eden bir üst sınır çizgisi kavramlarını geliştirerek ampirik bir yaklaşım belirlemiştir. Ancak, bu yöntemde net radyasyon ve rüzgar hızı dikkate alınmadığından alt sınır çizgisi, bitki çeşitlerine ve yıllara göre farklılıklar göstermektedir (Idso, 1982; Burke ve ark., 1990; Nielsen, 1994). Ampirik yaklaşımda, alt sınır çizgisinin deneysel olarak belirlenme zorunluluğu vardır ve bu durum çizgilerin farklı iklim koşullarına aktarılmasını engellemektedir.

Stockle ve Dugas (1992) ampirik yöntemin sulama zamanını bitkide bir miktar stres oluşuktan sonra gecikmeli olarak belirlediğine işaret ederek, bu yaklaşımın su stresine duyarlı bitkilere uygulanmasını sınırlandırdığını belirtmişlerdir.

Jackson ve ark. (1981) enerji dengesine dayanarak; net radyasyon, aerodinamik direnç, bitki taç sıcaklığı, hava sıcaklığı ve buhar basıncı açığını (VPD) kullanarak CWSI'ni hesaplamak için teorik bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu teorik yöntem, bitki su durumunun direk ve bağımsız ölçümünü sunmaktadır. Sulama programlaması amacıyla, toprak suyu ölçümleri ve/veya su dengesi modeli ile birlikte kullanılabilir (Yazar ve ark., 1999). Teorik yaklaşımda alt ve üst sınır değerlerinin nasıl değerlendirileceği tanımlanmış olsa da, minimum bitki taç direncini belirlemede gerekli olan aerodinamik direnç parametresinin eldesi karmaşık arazi ölçümlerini gerektirdiğini belirtmişlerdir.

Yapılan araştırmalar bitki su stres indeksinin, kolaylıkla ölçülebilen parametreler kullanılarak niceliksel olarak ifade edebileceğini göstermiştir. Bitki su stres indeksi (CWSI), taç-hava sıcaklığı arasındaki doğrusal ilişkiyi temsil etmektedir. CWSI taç sıcaklığı, ıslak ve kuru termometre değerlerinden hesaplanan havanın buhar basıncı açığından yararlanarak Idso ve ark. (1981)'nin önerdiği ampirik yöntemle belirlenmektedir. Idso ve ark. (1981)'a göre CWSI Eşitlik 1. de tanımlanmıştır;

$$CWSI = (T_c - T_a) - LL / (UL - LL) \quad (1)$$

Eşitlikte:

Tc: Taç sıcaklığı, (°C)

Ta: Hava sıcaklığı, (°C)

LL: Bitkide su stresinin olmadığı alt sınır değeri (bitkilerin potansiyel hızda transpirasyon yaptığı sınır değeri);

UL: Bitkilerin tamamen stres altında olduğu üst sınır değeri (bitkinin transpirasyon yapmadığı varsayılan sınır değeri).

VPD ölçümleri ise ıslak kuru termometre yardımıyla arazide yüzey sıcaklıkları ölçümleri öncesinde ve sonrasında alınarak hesaplanmaktadır.

Ayrıca bitkilerden olan yansımanın spektrometreler ile ölçülerek farklı bantlardaki yansıma oranlarından elde edilen vejetasyon indekslerinin son dönemde kullanımı artmaya başlamıştır. Farklı bitkiler üzerinde yapılan çalışmalar CWSI ve vejetasyon indekslerinin sulama programlamasında kullanılabileceğini göstermiştir. Bitkilerin taç sıcaklıklarını belirlemek amacıyla, özellikle teknolojinin de ilerlemesi ile yaygınlaşan termal kameraların kullanım olanakları da artmıştır. Kızılötesi termometreler ile elde edilen sıcaklık değerleri yaprak düzeyinde ve noktasal olmakta, alanın tamamı hakkında bilgi vermemekte ancak kameralar yardımıyla alınan görüntülerde görüntü içerisine giren tüm öğelerin sıcaklıkları ayrı ayrı belirlenebilmektedir. Bu da sıcaklığın yersel dağılımı konusunda bize önemli bilgiler vermekte ve bu sayede istenilen objenin sıcaklığı görüntülerden ayrılabilir. Böylece bitki dışındaki diğer objeler çıkarılabilmekte ve daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir (Çamoğlu ve Genç, 2013).

Yetiştirilen bitkinin türüne göre bire bir temas söz konusu olduğu durumlarda ya da ürünün zarar görme olasılığı koşulları altında arazi düzeyinde ölçüm yapabilen el radyometreleri ve uzaktan algılama tekniği ile birlikte bitkilerin durumlarının izlenmesi daha kolay olmaktadır. Spektral yansımaların ölçülebilmesi durumunda gözle görülemeyen ve farklı nedenlerden dolayı oluşan stresli bitkilerin kapladığı alanlar gözle görülebilir duruma gelmeden önce tespit edilebilmektedir. Bunun nedeni strese maruz kalan ve sağlıklı gelişen bitkilerin farklı yansımalara sahip olmalarıdır. Stres koşullarında bulunmayan bitkiler güneşten gelen mavi ve kırmızı dalga boyunda ki ışığı bünyelerinde absorbe ederken, yeşil dalga boylu ışığı ise geri yansıtmaktadırlar (Çamoğlu ve ark., 2010).

Türkiye’de Bitki Su Stres İndeksi (CWSI) ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Ülkemizde farklı bitkilerde bitki su stres indeksinin belirlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu bağlamda su stresinin çeşitli bitkisel ürünlerin bitki sıcaklığı ve verimi

üzerindeki etkisi ile ilgili çalışmalar Tablo 1’de verilmiştir. Yazar ve ark. (1999), LEPA ile mısır için, günlük bitki taç sıcaklık ölçümleri kullanılarak $T_c - T_a = 1,06 - 2,56$ VPD olarak “su stresi olmayan temel” bir denklem geliştirilmiştir. Mısır bitkisinde CWSI’nin eşik değerini 0,33 olarak belirlemiş ve bu eşik değerden sonra verimde düşüşler olduğu belirtmişlerdir. Gençoğlan ve Yazar (1999), mısır bitkisinde bitki su stres indeksinin belirlenmesinde ihtiyaç duyulan su stresinin olmadığı alt sınır (LL) eşitliklerini sırasıyla $T_c - T_a = 2,9 - 2,66$ VPD ve $T_c - T_a = 2,41 - 2,045$ VPD ve bitkinin tamamen su stresi altında olduğu üst sınır (UL) değerleri ise sırasıyla $4,25^\circ\text{C}$ ve $3,50^\circ\text{C}$ olarak belirlemişlerdir. Sulama zamanındaki infrared termometre ölçümlerinden, mısır dane veriminin düşmeye başladığı eşik CWSI değerini 0,21 olarak saptamıştır. Irmak ve ark. (2000), mısır verimini en üst düzeye çıkarmak için sulama planlaması yaptıkları çalışmada mevsimsel ortalama CWSI değerinin 0,22 değerinde sulanması gerektiğini bu değeri aştığında verimde düşüşler olduğunu belirtmişlerdir. Yazar ve ark. (2007), mısır bitkisinde toprak profilinde ki kullanılan suyun tüketilen yüzdesini (fDEP) doğrudan CWSI ile ilişkilendiren bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bir su stresi katsayısı K_s kullanılarak, su stresi indeksi geliştirilmiş (SWSI) ve CWSI’nin SWSI’ne eşit olduğu varsayılarak, CWSI’nin fDEP ile ilişkilendirilebileceğini açıklamışlardır. Çamoğlu ve ark. (2010), Çanakkale yöresinde mısır bitkisine dair yürüttükleri araştırmada spektral indeksler yardımı ile bitki su stresinin belirlenebileceğini tespit etmişlerdir. Bahsi geçen araştırmada normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi (NDVI), su bandı indeksi (WBI), basit oran (SR), yapısal bağımsız pigment indeksi (SIPI), pigment spesifik basit oran indeksi (PSSR), ayarlanmış klorofil absorpsiyon yansıma indeksi (MCARI), Zarco ve Miller (ZM) indeksini kullanmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre bitkinin maruz kaldığı su stresinin derecesine göre spektral indeks değerlerinin farklılıklar gösterdiği sonucuna varmışlardır. Orta ve ark. (2002), CWSI’nin yaklaşık 0,59 değerinde olduğunda ayçiçeğinin sulanması gerektiğini öne sürmüştür. Erdem ve ark. (2006a), patates bitkisinde sulama öncesi CWSI değerlerinin kullanılabilir nemin %30’u tüketildiğinde 0,49 değerinde; %50’si tüketildiğinde 0,55 ve %70’i tüketildiğinde 0,69 değerinde sulanması gerektiğini ve maksimum verimlerin bu eşik değerlerinde alındığını belirtmişlerdir. Ödemiş ve Baştuğ (1999), pamuk bitkisinde bitki su stresi indeksi değerlerinden sulama zamanının belirlenmesinde yararlanılabileceği ve bu amaçla CWSI değerinin 0,45 olarak alınabileceği saptamışlardır. Ayrıca, mevsimlik ortalama CWSI ile pamuk kütlü verimi arasında doğrusal bir ilişki elde etmişlerdir. Anılan ilişki ile CWSI değerlerinden yararlanılarak pamuk veriminin tahmin edilebileceğini belirlemişlerdir. Ünlü ve ark. (2011), pamuk bitkisinde en yüksek verim için CWSI’nin eşik değerini 0,36 belirlemişler. Yazar (1990) Çukurova bölgesinde soya bitkisinde yaptığı araştırmada bitki taç

sıcaklığı ölçümlerini dikkate alarak CWSI değerleri belirlemiştir. Araştırmada bitki su stres indeksi ve soya verim değerleri arasında $r^2 = 0,96$ gibi yüksek doğrusal ilişki sonucuna varılmıştır. Karaca ve ark. (2018) soya için CWSI değerlerinin sulama uygulamalarına bağlı olarak sezon başında 0-0,4 arasında ve sezon sonunda 0,5-1 arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Orta ve ark. (2003) CWSI'nin yaklaşık 0,41 değerinde olduğunda karpuzun sulanması gerektiğini öne sürmüştür. Erdem ve ark. (2005) karpuzun 0,6 CWSI değerinde sulanmasını tavsiye etmiştir. CWSI'nin eşik değerlerindeki bu farklılıklar, çalışmaların lokasyonları arasındaki genotipik farklılıklar veya çevresel farklılıklardan kaynaklanabilmektedir. Bozkurt Çolak ve ark. (2015) daha yüksek ve kaliteli verim için patlıcanda sulama planlaması için CWSI eşik değerinin 0,18 ile 0,20 arasında olmasını önermiştir. Üçlü ve Büyükcangaz (2020) Yalova koşullarında patlıcan bitkisinde CWSI eşik değerinin 0,20 olmasını önermiştir. Sezen ve ark. (2014) kırmızıbiber için farklı sulama sistemleri (damla = 0,26 ve karık = 0,38) için CWSI'nin farklı eşik değerlerini önermiştir. Yazar ve ark. (2018) dolmalık biber bitkisinde sulama öncesi ortalama CWSI değerleri yüzey damla tam sulama konusunda 0,22; toprakaltı damla tam sulamada ise 0,19 olarak saptamıştır. Erdem ve ark. (2010) brokoli bitkisinde sulama öncesi ortalama 0,51'lik eşik CWSI değerinde maksimum verim almışlardır. Brokoli bitkisinde CWSI'nin sulama planlamasında ve verim tahmininde oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir. Erdem ve ark. (2006b), fasulye bitkisinde verim değerleri ile ortalama CWSI değerleri arasında verim tahmininde kullanılabilir $y=2,731x-2,034$ doğrusal eşitlik elde etmişlerdir. Sonuçta CWSI'nin verim tahmininde kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Köksal ve ark. (2010), bodur yeşil fasulye bitkisinde CWSI'nin 0,25-0,50 arasında sulanması gerektiğini önermişlerdir. Çamoğlu ve Genç (2013) taze fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Gina) bitkisinde, spektral yansıma verilerini ve termal görüntüleme tekniğini kullanarak su stresinin belirlenmesini çalışmışlar ve termal görüntüleri kızılötesi termal kamerayla, spektral verileri ise spektrometreyle elde etmişlerdir. Sınıflandırma ve regresyon ağacı analizlerine göre, su stresinin özellikle I_{100} seviyesinde termal indeksler ile daha iyi açıklanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada, spektral indekslerden Yapısal Bağımsız Pigment İndeksi (SIPI) ve Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksinin (NDVI), termal indekslerden de amprik esasa dayalı hesaplanan bitki su stresi indeksi (CWSI_p) ve yapay referans yüzeylere göre hesaplanan bitki su stresi indeksinin (CWSI_a) taze fasulyede su stresinin belirlenmesinde kullanılabilirliğini önermişlerdir. Araştırmada CWSI_p değerlerini 0,31-0,80, CWSI_e değerlerini 0,40-0,88 ve CWSI_a değerlerini ise 0,32-1,14 şeklinde yetiştirme periyodu boyunca belirlemişlerdir.

Tablo 1. Su stresinin çeşitli bitkisel ürünlerin bitki sıcaklığı ve verimi üzerindeki etkisi

Bitki	Sulama Sistemi	Sulama Konuları	Bitki Su Stres İndeksi (CWSI)	Verim (kg da ⁻¹)	Kaynaklar
Mısır	LEPA (low-energy precision application)	(%100, %80, %60, %40, %20 ve %0) 1,5 m toprak derinliğinde azalan toprak suyunun tamamlanması	0,33 (LL = 1,06-2,56 VPD)	1246	Yazar ve ark., 1999
	Tıkalı karık	Her 10 günde bir 120 cm'lik toprak profilinde tüketilen suyun %100, %80, %40, %20 ve %0	0,21 (LL=2,9-2,66 VPD) (UL=4,25°C)	1001,5	Gençoğlan ve Yazar, 1999
	Tamamlama sulama	90 cm toprak profilinde %25, 50 ve %75'ine düştüğünde tarla kapasitesine getirilmesi	0,22	605,8	Irmak ve ark., 2000
	Tıkalı karık	100 cm toprak profilinde kullanılabilir suyun %40- 60-80'ini tüketildiğinde	-	1032	Yazar ve ark., 2007
Pamuk	Göllendirmeli karık	90 cm profil derinliğindeki kullanılabilir suyun %30-50-70'i tüketildiğinde ve RF	0,45 LL=0,257-0,413 VPD	-	Ödemiş ve Baştuğ, 1999
	Damla sulama	YSP eşik değerlerinde sulama (I ₁₀₀ = -15 bar; I ₇₀ = -17 bar; I ₅₀ = -20 bar); ve RF (I ₀)	0,36 LL=-1,7543VPD+1,56 UL=-0,0217VPD+3,2191	3280	Ünlü ve ark., 2011
Ayçiçeği	Karık sulama	90 cm toprak profilinde bitki su tüketimi kayıplarının (%100, 75, 50, 25, 0)	0,59 (LL=-1,2069VPD-3,595)	529	Orta ve ark., 2002
Patates	Karık sulama	Üç farklı kullanılabilir nemin tüketilen yüzdesi (%30-50-70) ve üç farklı sulama seviyesi (toprak suyunun tüketilen yüzdelerinin tamamlanması %100-50-0)	%30 sulama rejimi: 0,49 (LL=-1,4493VPD+0,046) %50 sulama rejimi: 0,55 (LL=-1,2387VPD-0,068) %70 sulama rejimi: 0,69	3224	Erdem ve ark., 2006b

(LL=-1,7092VPD+0,683)					
Soya	Damla sulama	İki soya çeşidi ATAEM-7 ve SA-88 Class Apan buharlaşması 25±5 mm olduğu zaman (0, 0,25, 0,50, 0,75, 1,00 ve 1,25 pan katsayısı (Kpc))	0,19-0,60	-	Karaca ve ark., 2018
Bağ	Damla sulama	Yaprak su potansiyeli eşik değerlerinde sulama (I ₁ : Ψ _w =-1,0MPa; I ₂ : Ψ _w = -1,3 MPa; I ₃ : Ψ _w = -1,6 MPa); ve RF (I ₄)	0,30-0,40	1125-2390	Yazar ve ark., 2010
	Damla sulama	90cm'de eksik nemin tarla kapasitesine getirilmesi (TS, I ₇₅ , I ₅₀ , PRD ₇₅ , PRD ₅₀ , RF)	0,20 LL= -0,6157VPD-1,2407 UL: 0,002 VPD+1,846	3000	Bozkurt Çolak ve Yazar, 2017
Karpuz	Damla sulama	90 cm profilde tüketilen suyun yüzdeleri (100,75,50,25 ve 0)	0,41 LL=-1,2042VPD+0,4716	8230	Orta ve ark., 2003
	Damla sulama	0,2, 0,4, 0,6, 0,8 ve 1,0 (RF) CWSI değerlerine ulaştığında sulama	0,6 LL=-1,2042 VPD+0,4716	7630	Erdem ve ark., 2005
Fasulye	Damla sulama	60 cm toprak profilinde kullanılabilir nemin %50'si tüketildiğinde (%0-25-50-75-100)	0,10 (LL= 2,6955VPD+3,531)	238	Erdem ve ark., 2006a
Bodur yeşil fasulye	Damla sulama	Haftalık açık su yüzeyi buharlaşmasının %120-90-60-30-10 katları ve RF	0,25-0,50	2279	Köksal ve ark., 2010
Brokoli	Damla sulama	Haftalık Class A pan buharlaşması (kcp= 0-0,50-0,75-1,00 ve 1,25)	0,51 LL=-2,5762VPD+4,6388	İlkbahar	Erdem ve ark., 2010
				Sonbahar	
Salçalık Biber	Damla ve karık sulama	Damla (TS, I ₇₅ , I ₅₀ sabit PRD, alternatif PRD)	YD = 0,26; karık = 0,38	Damla= 4598	Sezen ve ark., 2014
		Karık (Atlamalı karık, PRD karık, Tam sulama)	LL=-1,10VPD-0,49	Karık=3855	

		UL= 0,0005VPD+2,86			
Dolmalık Biber	Yüzey ve toprakaltı damla sulama	2 sulama yöntemi YD ve YAD, dört farklı sulama rejimi (TS; I ₇₅ ve I ₅₀ ; PRD ₅₀ ; RDI)	YD= 0,22, TD= 0,19	7300	Yazar ve ark., 2018
Patlıcan	Yüzey ve toprakaltı damla sulama	2 sulama yöntemi YD ve YAD, 2 sulama aralığı (3 ve 6 gün), dört farklı sulama rejimi (TS; I ₇₅ ; I ₅₀ PRD ₅₀)	0,18-0,20 LL= -1,4502 VPD-1,352 UL= 0,0349 VPD+ 4,088	7870	Bozkurt Çolak ve ark., 2015
	Damla sulama	Dört farklı vejetasyon döneminde, 16 farklı sulama konusu	0,20	3320	Üğlü ve Büyükcangaz., 2020
Kabak çekirdeği	Damla sulama	Altı farklı sulama seviyesi (I ₀ , I ₂₀ , I ₄₀ , I ₆₀ , I ₈₀ ve I ₁₀₀)	LL = - 2,3728VPD + 4,4254	136,2	Kırnak ve ark., 2019
Yaz kabağı	Damla sulama	Class Apan buharlaşması (Epan= 0-0,50-0,75-1,00-1,25)	UL= 3,52 LL= -3,4505VPD+4,2797	3295	Özer ve Ahi., 2020

YD: yüzey damla; YAD: yüzey altı damla; TS: tam sulama; I₇₅: geleneksel kısıntılı sulama %75; I₅₀: geleneksel kısıntılı sulama %50; PRD: kısmi kök kuruluşu; RDI: planlanmış kısıntılı sulama; RF: Yağışa dayalı; CWSI: bitki su stress indeksi; LL: alt sınır çizgisi; UL: üst sınır çizgisi; Ψ_w: YSD değerle

Yazar ve ark. (2010) farklı üzüm çeşitlerinde yaptıkları çalışmada Alphonse Lavallee, Ergin Çekirdeksizi ve Flame Seedless çeşitlerinin CWSI'nin 0,30-0,35 aralığında; Italia çeşidinin ise CWSI'nin 0,35-0,40 değerinde sulanması önermişlerdir. Bozkurt Çolak ve Yazar (2017) Royal sofralık üzüm çeşidinde en yüksek verim için CWSI değerinin yaklaşık 0,20 olduğunda sulanması önermiştir. Bitki su stres indeksini greyfurt sulama yönetimi için de değerlendirmişler ve yüksek su stresi döneminde CWSI değerleri sulama işlemine göre $1,58 \pm 0,29$ tam sulama ve $1,94 \pm 0,42$ kısıntılı sulama (I_{50}) olarak değiştiğini belirtmişler. Özer ve Ahi (2020) yaz kabağında CWSI ile sulama programlaması yaptıkları çalışmada CWSI ile verim arasında doğrusal önemli ilişkiler belirlemişlerdir. CWSI ile verim arasında verim tahmini ve bitki büyüme modellerini geliştirmek için önemli bir anahtar olduğunu belirtmişlerdir. Kırnak ve ark. (2019) kabak çekirdeğinde yürüttükleri çalışmada CWSI hesaplamaları için ortalama alt limit temel denklemini $T_c - T_a = -2,3728 \text{ VPD} + 4,4254$ olarak tanımlamıştır. CWSI değerlerinin 2015 yılında 0,24-1,0 arasında, 2016 yılında ise 0,08-0,93 arasında değiştiğini ve kabak çekirdeği bitkilerinin sulama planlamasında ve verim tahmininde CWSI'nin güvenilir bir şekilde kullanılabilceği sonucuna varmışlardır. Emekli ve ark. (2007) bermuda çimeninde yaptıkları çalışmada CWSI değeri 0,10 civarında tutulabilirse, mevsimsel olarak kabul edilebilir bir renk kalitesi korunabileceğini belirtmişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalar, sulama planlaması için CWSI eşik değerlerinin, ürün türleri ve genotiplerinin yanı sıra sulama yöntemlerine ve çevre koşullarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Çeşitli çevresel koşullar için farklı CWSI eşik değerlerinin gerekliliği, sulama planlamasında kullanımına sınırlamalar getirmesine rağmen, kontrollü çevresel koşullar altında belirli bir bitkinin su stresine verdiği verim tepkisini tahmin etmek için uygun bir yaklaşımdır.

Tartışma ve Sonuç

Bu derlemede, su stresini tespit etmek ve ölçmek için göstergelerden birisi olan bitki su stres indeksinin etkinliğini, su kısıntısı seviyelerinden etkilenen bitkiye dair verim değerleri ve ülkemizde yetişen bazı bitkilerde sulama planlamasında kullanılma potansiyeli araştırılmaya çalışılmıştır. Bitkiye dayalı su stres göstergeleri, düşük toprak nemi durumunda ve su ihtiyacının artması sonucunda su stresini belirlenebilmesi için toprağa dayalı yaklaşımlara göre avantaja sahiptir. Farklı su kısıntısı koşulları altında bitkideki su stres seviyesini tespit etmek ve ölçmek için başarıyla kullanılabilir. Bu derlemede bahsedilen çalışmaların çoğunda su stres sonuçları verim değerleri ile tutarlılık göstermiştir.

Su stresi eşik değerleri, bitkinin büyümesi ve verimi üzerinde olumsuz bir etkisi olmaksızın bitkinin maruz kalabileceği eşik su stresi seviyesini belirlemek için kullanılabilir. Bu anlamda bitki su stresi, bitkilerin su tasarrufu sağlayan yeni sulama uygulamalarına tepkisini ve adaptasyonunu anlamak için etkili olabilmektedir. Yapılan bu derleme ile farklı iklim kuşaklarına sahip ülkemizde sulama planlaması için bitkiye dayalı su stresi göstergesi olan CWSI eşik değerlerinin, bitki türlerinin kuraklığa duyarlı veya toleranslı olmasının yanında değişen çevresel koşulların etkileri de dikkate alınarak her bir bitki türü için belirlenebilmesine dair yoğun araştırmalara ihtiyaç vardır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

Kaynaklar

Bozkurt Çolak Y, Yazar A, Çolak İ, Akça H, Duraktekin G., 2015. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for egg plant under varying irrigation regimes using surface and sub surface drip systems. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4: 372-382.

Bozkurt Çolak Y, Yazar A., 2017. Evaluation of crop water stress index on royal table grape variety under partial root drying and conventional deficit irrigation regimes in the Mediterranean Region. *Scientia Horticulturae*, 224: 384-394.

Burke JJ, Hatfield JL, Wanjura DF., 1990. A thermal stress index for cotton. *Agronomy Journal*, 82: 526-530.

Çamoğlu G, Aşık Ş, Genç L., 2010. Mısır bitkisinin su stresine karşı spektral tepkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1): 37-43.

Çamoğlu G, Genç L., 2013. Taze fasulyede su stresinin belirlenmesinde termal görüntülerin ve spektral verilerin kullanımı. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(1): 15–27.

Emekli Y, Baştuğ R, Büyüктаş D, Emekli NY., 2007. Evaluation of a crop water stress index for irrigation scheduling of bermudagrass. *Agricultural Water Management*, 90(3): 205-212.

Erdem Y, Erdem T, Orta AH, Okursoy H., 2005. Irrigation scheduling for watermelon with crop water stress index (CWSI). *J. Cent. Eur. Agric.*, 6: 449–460.

Erdem Y, Erdem T, Orta AH, Okursoy H., 2006a. Canopy–air temperature differential for potato under different irrigation regimes. *Acta Agricultural Scand.*, 56 (3): 206–216.

Erdem Y, Sehirali S, Erdem T, Kenar D., 2006b. Determination of crop water stress index for irrigation scheduling of bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Turk. J. Agric. Forest.*, 30: 195–202.

Erdem Y, Arin L, Erdem T, Polat S, Deveci M, Okursoy H, Gültas H., 2010. Crop water stress index for assessing irrigation scheduling of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea L. var. italica*). *Agricultural Water Management*, 98(1): 148-156.

Gençoğlan C, Yazar A., 1999. Cukurova koşullarında yetistirilen I. ürün mısır bitkisinde infrared termometreden yararlanılarak bitki su stresi indeksi (CWSI) ve sulama zamanının belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23: 87-95.

Idso SB, Jackson RD, Pinter PJ, Reginato RJ, Hatfield JL., 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24: 45-55.

Idso SB., 1982. Non-water-stressed baselines: A key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*, 27: 59-70.

Idso SB, Clawson KL., 1986. Foliage temperature: Effects of environmental factors with implication for plant water stress assessment and the CO₂ climate connection. *Water Resource Research*, 22: 1702-1716.

Ihuoma SO, Madramootoo CA., 2017. Recent advances in crop water stress detection. *Comput. Electron. Agric.* 141: 267-275.

Irmak S, Dorota ZH, Baştuğ R., 2000. Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal*, 92: 1221-1227.

Jackson RD, Idso SB, Reginato RJ, Pinter JR., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17(4): 1133-1138.

Jackson RD., 1982. Canopy temperature and crop water stress. *Advances in Irrigation*. Edited by Daniel Hillel. Academic Press. New York. London 1:43-85.

Karaca C, Tekelioğlu B, Büyüktaş D, Baştuğ R., 2018. Relations between crop water stress index and stomatal conductance of soybean depending on cultivars. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(6): 4212-4219.

Kırnak H, Irik HA, Ünlükara A., 2019. Potential use of crop water stress index (CWSI) in irrigation scheduling of drip-irrigated seed pumpkin plants with different irrigation levels. *Scientia Horticulturae*, 256: 108608.

Köksal ES, Üstün H, İlbeyi A., 2010. Bodur yeşil fasulyenin sulama zamanı göstergesi olarak yaprak su potansiyeli ve bitki su stres indeksi sınır değerleri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 24(2010): 25-36.

Liu F, Shahnazari A, Andersen MN, Jacobsen SE, Jensen CR., 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. Scientia Horticulture, 109: 113–117.

Nielsen DC., 1994. Non-water-stressed baselines for sunflowers. Agricultural Water Management, 26: 265-276.

Orta AH, Erdem T, Erdem Y., 2002. Determination of water stress index in sun-flower. Helia, 37: 27–38.

Orta AH, Erdem Y, Erdem T., 2003. Crop water stress index for watermelon. Scientia Hort. 98: 121-130.

O’Toole JC, Real JG., 1986. Estimation of aerodynamic and crop resistances from canopy temperature. Agronomy Journal, 78: 305-310.

Ödemiş B, Baştuğ R., 1999. Infrared termometre tekniği kullanılarak pamukta bitki su stresinin değerlendirilmesi ve sulamaların programlanması. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23: 3137.

Özer S, Ahi Y., 2020. Crop water stress assesment of drip irrigated summer squash (Cuburbita Pepo L.). Fresenius Environmental Bulletin, 29: 1-8.

Pereira LS., 1999. Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: A discussion. Agricultural Water Management, 40: 153-169.

Reginato RJ, Howel J., 1985. Irrigation scheduling using crop indicators. Journal of and Drainage Engineering ASCE, 111(2): 125-133.

Sezen SM, Yazar A, Daşgan Y, Yücel S, Akyıldız A, Tekin S, Akhoundnejad Y., 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. Agricultural Water Management, 143: 59-70.

Stockle CO, Dugas WA., 1992. Evaluating canopy temperature-based indices for irrigation scheduling. Irrigation Science, 13: 31-37.

Üğlü G, Büyükcangaz H., 2020. Determination of crop water stress index with infrared thermometer technique of eggplant. Proceedings E-Book. pp:133.

Ünlü M, Kanber R, Kapur B, Tekin S, Koç DL., 2011. The crop water stress index (CWSI) for drip irrigated cotton in a semi-arid region of Turkey. African Journal of Biotechnology, 10(12): 2258-2273.

Yazar A., 1990. Utilization of infrared thermometry technique for assessing crop water stress and irrigation scheduling for soybean. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 14(4): 517-533.

Yazar A., 1993. Infrared termometre ile bitki su stresinin ölçülmesi. S. Şener Edit. Sulama Teknolojisinde Yeni Gelismeler. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Genel Müdürlüğü. Yayın No: 76. Tarsus.

Yazar A, Howell AT, Dusek DA, Copeland KS., 1999. Evaluation of crop water stress index for LEPA Irrigated Corn. Irrig. Sci. 18: 171-180.

Yazar A, Gençel B, Ülger AC, Sezen SM, Bozkurt Y, 2007. Bitki su stres indeksini kullanarak uygulanacak sulama suyu miktarının kestirimi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, TÜBİTAK TOGTAG-3305 Nolu Proje Kesin Sonuç Raporu, 52s, Ankara.

Yazar A, Tangolar S, Sezen SM, Bozkurt Çolak Y, Bilir H, Gençel B., Sabır A., 2010. Yaprak su potansiyeli kullanılarak Çukurova koşullarında yüksek kaliteli verim için optimum sulama zamanının belirlenmesi. TÜBİTAK 106O747 Nolu Proje Sonuç Raporu, 110s.

Yazar A, Bozkurt Çolak Y, Tekin S, İnce Kaya Ç, Sezen SM, Torun B, Yıldız M, Kara O., 2018. Tarımda su tasarrufu: Akdeniz Bölgesinde sınırlı su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için teknolojik geliştirmeler (AB Projesi TÜBİTAK ERA-NET) Proje No: 215O951

Zipoli G., 1990. Remote sensing for scheduling irrigation: Review of thermal infrared approach. Acta Horticulture, I(1-442): 281-288.