



## Farklı Sulama Yöntemi ve Stratejilerinin Dolmalık Biber Bitkisinin Verim ve Stoma Direncine Etkilerinin Belirlenmesi

Yeşim BOZKURT ÇOLAK<sup>1\*</sup>,  Attila YAZAR<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Malatya

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana

\*Sorumlu Yazar: [yesim.colak@ozal.edu.tr](mailto:yesim.colak@ozal.edu.tr)

Geliş Tarihi: 05.06.2024 Düzeltme Geliş Tarihi: 04.08.2024 Kabul Tarihi: 05.08.2024

### ÖZ

Bu çalışma Akdeniz iklim koşullarında yüzey ve toprak altı damla sulama yöntemleri kullanılarak uygulanan farklı sulama stratejilerinin dolmalık biberin stoma direnci (rs) üzerine etkilerinin belirlenmesi ve verimle stoma direnci arasındaki ilişkileri değerlendirmek amacıyla 2016-2017 yıllarında Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Lokasyonunda yürütülmüştür. Araştırmada iki farklı sulama yöntemi (Yüzey damla sulama (YD), Toprakaltı damla sulama (TD) ve beş farklı sulama stratejisi (Tam sulama, FI; geleneksel kısıntılı sulama, DI<sub>75</sub> ve DI<sub>50</sub>; kısmi kök kuruluğu, PRD<sub>50</sub> ve planlanmış kısıntılı sulama RDI) test edilmiştir. Dolmalık biber bitkisinin içsel su durumu stoma direnci ile belirlenmiştir. Yüzey ve toprakaltı damla sulama sistemlerinin her ikisi için de FI konusunda kısıntılı sulama konularına kıyasla I<sub>75</sub>, I<sub>50</sub> ve PRD<sub>50</sub>'ye göre daha düşük stoma direnci değerleri belirlenmiştir. Stoma direnci ve biber verim arasında önemli doğrusal ilişkiler ( $P < 0.01$ ) saptanmıştır. Sonuç olarak yüksek verim için dolmalık biber rs'nin 58-65 s m<sup>-1</sup> değeri arasında sulanabileceği ve rs'nin sulamaların planlanmasında kullanılabileceği kanıtlanmıştır. Stoma direncinin su stresine tepkisi, suyun kıt olduğu bölgelerde sürdürülebilir bitkisel üretiminde kullanılabilir.

**Anahtar kelimeler:** : Dolmalık biber, Planlı kısıntılı sulama (RDI), kısıntılı sulama, kısmi kök kuruluğu (PRD), sulama programlaması

## Determination of the Effects of Different Irrigation Methods and Strategies on the Yield and Stoma Resistance of Bell Pepper Plant

### ABSTRACT

This study was carried out in Tarsus Soil and Water Resources Location in 2016-2017 to evaluate the effect of the different irrigation strategies using surface and subsurface drip irrigation methods on the stomatal resistance (rs) and to determine the relationship between rs and yield of bell pepper under in Mediterranean climatic conditions. In the study, two different irrigation methods (Surface drip irrigation (YD), Subsurface drip irrigation (TD) and five different irrigation strategies (Full irrigation, FI; traditional deficit irrigation, DI<sub>75</sub> and DI<sub>50</sub>; partial root dry, PRD<sub>50</sub> and regulated deficit irrigation RDI) were tested. Water status of bell pepper plant was determined by stomatal resistance. Lower stomatal resistance were observed in FI as compared to I<sub>75</sub>, I<sub>50</sub> and PRD<sub>50</sub> in both surface and subsurface drip irrigation systems. A significant linear relation was determined between the rs and yield. The result revealed that, bell pepper can be irrigated at rs values between 58- 65 s m<sup>-1</sup> for high yield. Therefore, rs can be used to plan irrigation and the response of stomatal resistance to water stress can be used for sustainable crop production in areas where water is scarce.

**Key words:** : Bell pepper, Regulated deficit irrigation (RDI), deficit irrigation, partial root-zone drying (PRD), irrigation scheduling.

## GİRİŞ

Ülkemiz biber üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye'de 2.782.354 ton biber üretimi gerçekleşmektedir. Bu üretimin %8.17'si kuru biberden, %91.83'ü ise taze biberden oluşmaktadır. Dolmalık biber üretimi ise 2023 yılı verilerine göre yılda 395.441 ton olarak kaydedilmiştir (Anonim, 2023). Akdeniz ve Ege bölgelerinde ise Türkiye'nin toplam sebze üretiminin %49'u gerçekleşmektedir. Türkiye'de sebze tüketimi son 30 yılda genel olarak artış eğilimi göstermektedir. Bitkisel ürünler hem endüstriyel üretimde hem de ihracatımızda önemli bir yere sahip olup toplam tarımsal ihracatımızın yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır (Akbay ve ark., 2005). Dolmalık biber, diğer sebzeler gibi, yüksek vitamin içeriği ve mineral bakımından önemlidir. Bu nedenle, sebze üretimi birçok ülkede yüksek ekonomik değere sahiptir.

Birçok ülkede sebze üretimi sulamaya dayalıdır. Bu nedenle kaliteden ödün vermeden verim artışını sağlamak için sulama miktarının optimize edilmesi önemlidir. Tüm dünyada sulamada kullanılan su miktarının azalması ve çevresel kaygılar, birim sudan en fazla faydanın sağlanmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle sulu tarımda kıt olan su kaynaklarının verimli kullanılması, verimin artırılması ve su tasarrufu için yüzey damla sulama (YD) ve toprak altı damla sulama sistemleri (TD) gibi mikro sulama sistemleri gereklidir.

Kısıntılı sulama, sulu tarımda önemli bir su tasarrufu uygulamasıdır. Kısıntılı sulama, gelişmiş sulama teknolojileri ile birlikte yarı ıslatmalı (PRD) ve planlanmış kısıntılı sulama (RDI) teknikleriyle sulama sırasında gereğinden az su uygulanarak tam sulamayla aynı verim alınırken önemli miktarda su tasarrufu elde edilmektedir. (Bozkurt Çolak ve ark., 2019).

Su stresi, belirli bitki büyüme aşamasında verim tepkisi açısından çok kritik olabilir. Bu nedenle, bitkinin su stresinde olup olmadığının en güvenilir şekilde tespit edilmesi verimli sulama planlaması için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bitki su durumunun doğrudan göstergesi olan stoma direnci bitkisel üretimde sulama planlamasında kullanılabilir bir parametredir (Bozkurt Çolak, 2019).

Bitkiler, su stresini azaltmak için stomalarını kapatır ve böylece su kaybını en aza indirirler. Stoma direncinin veya iletkenliğinin ölçülmesi, bitkinin suya olan gereksinimini ve su stresi seviyesini belirlemeye yardımcı olabilir. Genellikle stoma direncinin yüksek olması, bitkinin su stresi altında olduğunu ve suya ihtiyacı olduğunu göstergesidir. Stoma açıklığı hem bitki yapraklarından su kaybını hem de CO<sub>2</sub> fotosentezinin alımını kontrol eden yaprak yüzeylerinin stoma iletkenliğinde önemli faktördür. Stoma iletkenliği veya direnci ölçümleri bitki su durumunun önemli bir göstergesidir. Stoma iletkenliğini ve direnci porometre aygıtı ile ölçülür. Stoma iletkenliğine ilişkin porometre okumaları terleme hızına, radyasyon ve neme bağlıdır. Stomaların açık olduğu yerde su yapraktan buharlaşır ve böylece yaprak yüzey sıcaklığı serinleme etkisiyle düşmeye başlar. Buharlaşma hızı arttıkça yaprağın soğuması da artar. Toprak suyu temininin sınırlı olduğu yerlerde, daha az su buharlaşır, yapraklar daha az soğur ve taç sıcaklığı yeterli su sağlanan bitkiye kıyasla daha yüksek olur (Cock ve Connor, 2021).

Stomaların, fotosentez ve bitki büyümesi için terleme ve CO<sub>2</sub> alımı yoluyla su kayıplarını düzenlemede önemli bir görevi vardır (Gerosa ve ark., 2012). Ayrıca stoma kontrolü kuraklık koşullarında su kullanımını optimize etmenin önemli bir fizyolojik yoludur (Makbul ve ark., 2011). Tarımda sınırlı su kaynaklarının verimli kullanımını geliştirmek için yaprak stoma iletkenliğinden taç iletkenliğine bitki su tüketiminin tahmini büyük önem taşımaktadır (Zhang ve ark., 2011).

Yüzey ve toprakaltı damla sulama ile sulanan farklı kısıntılı sulama stratejilerinin düzenlenmiş kısıntılı sulama (RDI), kısmi kök kuruluğu (PRD) ve geleneksel kısıntılı sulama (DI<sub>75</sub> ve DI<sub>50</sub>) stratejilerinin dolmalık biber bitkisine olan fizyolojik tepkileri hakkında sınırlı bilgi mevcut olduğu için bu çalışma yapılmıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın temel amacı, stoma direnci kullanılarak açık alanda yetiştirilen dolmalık biberin tam sulama, geleneksel kısıntılı sulama, RDI, PRD gibi çeşitli kısıntılı sulama rejimleri ile yüzey ve toprakaltı altı damla sistemlerinin verime ve fizyolojik tepkisine etkilerini araştırmak ve Doğu Akdeniz çevre koşullarında dolmalık biberde sulamanın başlatılmasında stoma direnci için en uygun eşik seviyelerini belirlemek amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve METOT

Bu araştırma Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Lokasyonu'nda 2016 ve 2017 yıllarında yürütülmüştür. Bölgede yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı geçen tipik Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Denemenin kurulduğu araştırma yerinin iklim verilerine göre, uzun yıllar (1950-2015) yağış ortalaması 616 mm olup yağışların büyük bir çoğunluğu Kasım ve Mayıs aylarında düşmektedir. Yıllık toplam buharlaşma miktarı 1487 mm, yıllık ortalama sıcaklık 17.8 °C ve ortalama nem %71.0'dir (Anonim, 2019).

Deneme alanının 0-20 cm'lik kısmından alınan toprak örneklerinin diğer katmanlara kıyasla killi bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Toprak pH'ının 7.91-8.08, tuz içeriğinin 0.91<sup>-1</sup>-1.03 dS m<sup>-1</sup>, hacim ağırlığının 1.30-1.42 g cm<sup>-3</sup>, hacimsel olarak su içeriği değerlerinde tarla kapasitesinin %41.3-%43.9 ve solma noktasının %20.9-

%25.7 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca 60 cm toprak derinliğinden alınan toprak örneklerine göre kullanılabilir su miktarı 116 mm olarak belirlenmiştir.

Araştırma tesadüf blokları bölünmüş parseller deneme desenine göre dört yinelemeli olarak yürütülmüştür. Denemede iki farklı sulama yöntemi (yüzey damla sulama (YD) ve toprakaltı damla sulama (TD) ana parselleri, beş farklı sulama stratejisi alt parselleri oluşturmaktadır. Bunlar; Tam sulama (FI), 60 cm'lik etkili kök derinliğindeki kullanılabilir suyun %25'i tüketilince eksik toprak neminin tarla kapasitesine getirildiği konu; Geleneksel kısıntılı sulamalar ( $DI_{50}$ ) ve ( $DI_{75}$ ), FI konusuna uygulanacak suyun yarısının ve %75'inin verildiği konular; Kısmi kök kuruluşu ( $PRD_{50}$ ), her bir sulamada FI konusuna verilecek suyun yarısının dönüşümlü olarak bir lateralden uygulandığı konu; bir sulamada bir lateralden, izleyen sulamada diğer lateralden su uygulanmıştır. Planlanmış kısıntılı sulama (RDI), vejetatif büyüme döneminden çiçeklenme başlangıcına dek %50 kısıntılı sulama, fizyolojik olgunluğa ulaşana kadar ise tam sulama uygulanan konu olarak sulamalar yapılmıştır. Ayrıca deneme yıllarında yapılan tarımsal uygulamalar Tablo1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneme yıllarında yapılan tarımsal uygulamalar

Tarımsal Uygulamalar	2016	2017
Bitki Çeşidi	Zafer F1 dolmalık biber	Zafer F1 dolmalık biber
Dikim Tarihi	19 Nisan	11 Nisan
Dikim mesafeleri	Sıra arası 0.70 m, sıra üzeri 0.25 m	Sıra arası 0.70 m, sıra üzeri 0.25 m
Parsel Bitki Sırası	5	5
Parsel boyutu	Uzunluğu 10 m, genişliği 3.5 m	Uzunluğu 10 m, genişliği 3.5 m
Hasat Tarihi	23 Haziran-8 Ağustos	19 Haziran- 11 Ağustos
Toplam Hasat Sayısı	5	5
Sulama Sistemi	Yüzey ve toprakaltı damla sulama	Yüzey ve toprakaltı damla sulama
Sulama Sisteminin Özellikleri		
Lateral Çapı	Q20	Q20
Debi	2.0 L h <sup>-1</sup>	2.0 L h <sup>-1</sup>
Damlatıcı Aralığı	0.33 m	0.33 m
Lateral Derinliği	Toprak altı damla, 0.20 m	Toprak altı damla, 0.20 m
Laterallerin bitki sıralarına yerleştirilme düzeni	Yarı ıslatmalı (PRD) konuları hariç tüm konularda her bitki sırasına bir lateral. PRD konusunda ise bitki sırasının her iki yanında 15 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir.	Yarı ıslatmalı (PRD) konuları hariç tüm konularda her bitki sırasına bir lateral. PRD konusunda ise bitki sırasının her iki yanında 15 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Toprak su içeriği ölçümleri ekimden hemen sonra başlatılmış ve son hasat tarihinde sonlandırılmıştır. Toprak su içeriği geleneksel (gravimetrik) 0-60 cm toprak derinliğinde izlenmiştir. Toprak-su içeriği, tam sulama parsellerinde dört tekerrürlü olarak sulamalardan bir gün önce hasada kadar 0-20, 20-40 ve 40-60 cm'lik toprak katmanlarında gravimetrik örnekleme yöntemiyle belirlenmiştir. Diğer uygulamalarda toprak su içeriği ölçümleri her sulamadan bir gün önce yapılmıştır.

Denemede tam sulama konusuna uygulanan sulama suyu miktarı aşağıdaki eşitlikle (1) hesaplanmıştır (Bozkurt Çolak ve ark., 2015):

$$V = A \times P \times \Delta s \quad (1)$$

Eşitlikte, V: uygulanacak sulama suyu miktarı (L); A: parsel alanı (m<sup>2</sup>);  $\Delta s$ : sulama öncesi toprak nem açığı (mm); P: Örtü yüzdesi (%) olup örtü genişliğinin sıra arası uzaklığa oranlanmasıyla hesaplanmıştır.

Dolmalık biber yapraklarında stoma direncini belirlemek için porometre (AP4 Delta-T) aygıtı kullanılmıştır. Ölçümler her bir parselin ortasında seçilen iki bitki üzerinde güneşi gören tam gelişmiş üst iki yaprağın altından ve üstünden açık hava koşullarında saat 12:00-14:00 arasında haftada bir sulamalardan önce yapılmıştır. Her bir porometre okumalarından önce aygıtın kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon değerlerinden yararlanarak yaprağın alt ve üst yüzey dirençleri Clawson ve Blad (1982) tarafından verilen aşağıdaki eşitlikle (2) yaprağın ortalama stoma direnci hesaplanmıştır.

$$r_s = \frac{r_u + r_a}{r_u \cdot r_a} \quad (2)$$

Burada;  $r_s$ : ortalama stoma direnci s cm<sup>-1</sup>;  $r_u$ : yaprağın üst yüzeyinin stoma direnci, s cm<sup>-1</sup>;  $r_a$ : yaprağın alt yüzeyinin stoma direnci, s cm<sup>-1</sup>.

$$I_s = 1 r_s^{-1} \quad (3)$$

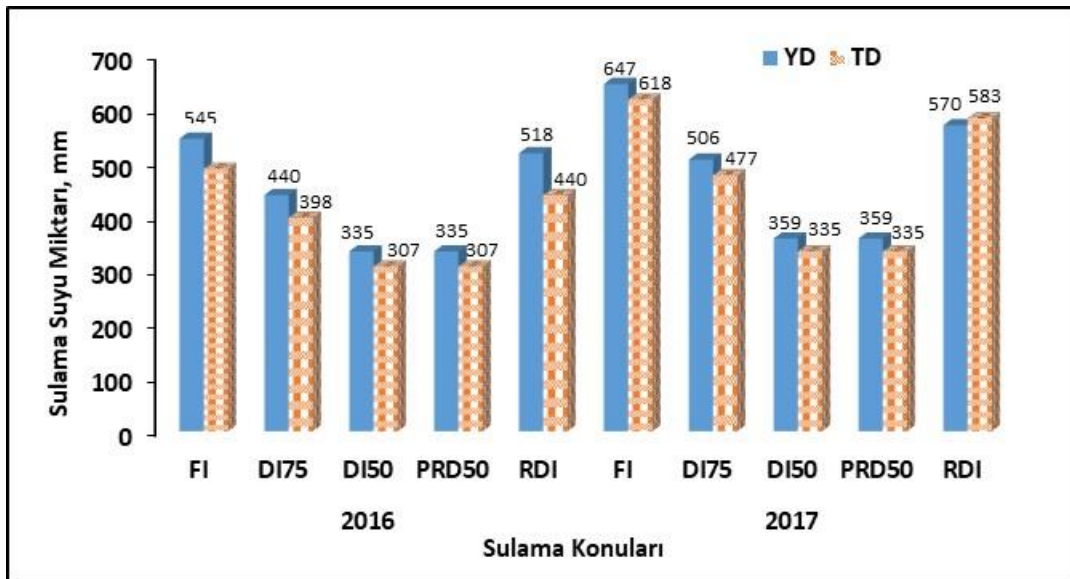
Burada Is ortalama stoma iletkenliğidir ( $\text{cm s}^{-1}$ ).

İki yıllık arazi çalışmalarından elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalama değerler arasındaki farkları karşılaştırmak için LSD çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Verim ile stoma direnci arasındaki ilişkileri belirlemek için regresyon analizi kullanılmıştır. MS Excel programında regresyon grafikleri hazırlanmış ve denemeden elde edilen verilerin varyans analizlerinde JUMP paket programından yararlanılmıştır.

## BULGULAR ve TARTIŞMA

Dolmalık biber bitkisinin yetiştirildiği 2016-2017 yıllarında mevsim iklim koşulları tamamen Akdeniz Bölgesinin özelliklerini yansıtmıştır. Bununla birlikte, 2017 bitki büyüme sezonunda Mayıs-Temmuz ayları arasındaki ortalama hava sıcaklıkları, 2016 yılına ve uzun yıllar ortalamalarına göre birkaç derece daha yüksek olmuştur. Aylık yağışlar araştırmanın yapıldığı her iki deneme yılında büyüme mevsimi sırasında farklılıklar görülmüştür. Genel olarak bitki büyüme sezonunda 2016 ve 2017 yıllarında sırasıyla toplam 17.2 ve 81.8 mm yağış düşmüştür.

Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları Şekil 1’de verilmiştir. Araştırmada 2016 dolmalık biber yetiştirme döneminde konulu sulamalara ilk yıl 20 Haziran 2016 tarihinde başlanmış ve 8 Ağustos 2016 tarihinde son sulamalar yapılmıştır. Konulara 9 eşit sulama 15 konulu sulama uygulanmıştır. Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları yüzey damla sulama için 335-545 mm ve toprakaltı damla sulamada ise 307-489 mm arasında değişmiştir. İkinci yılda konulu sulamalara 9 Mayıs 2017 tarihinde başlanmış ve 8 Ağustos 2017 tarihinde son verilmiştir. İkinci yıl deneme konularına 3 eşit sulama ve 22 konulu sulama uygulaması yapılmıştır. İkinci yılda konulara uygulanan toplam sulama suyu miktarları yüzey damla sulama konularında 359-647 mm ve toprakaltı damla sulama konularında ise 335-618 mm arasında değişmiştir. Her iki yılda da sulama aralıkları mevsim boyunca 3-5 gün arasında değişim göstermiştir. Çamoğlu ve ark., (2021) Çanakkale koşullarında biber bitkisinde farklı kısıntılı sulama uygulamalarında yaptıkları çalışmada sulama suyu miktarı ilk yıl 242-684 mm, ikinci yıl ise 209-524 mm arasında değişmiştir. Yine aynı koşullarda Erken (2004) beş farklı pan buharlaşma katsayısı (0.25, 0.50, 0.75, 1.00 ve 1.25) kullanmış ve sulama suyu miktarı deneme yıllarında sırasıyla 121.8–609.0 mm ve 183–915 mm arasında uygulamıştır. Demirel ve ark. (2014) biber bitkisine dört farklı sulama seviyesini (%100, %66, %33 ve %0 toprak nemine göre) uygulamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda farklı sulama uygulamalarında 72 mm ile 801 mm arasında sulama suyu uygulamışlardır. Demir ve ark. (2018) Ankara koşullarında toprakaltı ve yüzey damla sulama sistemlerinde farklı su düzeyi ve fertigasyon uygulamalarının biber bitkisine etkisini araştırdıkları çalışmada araştırmanın 2015 yılında TD sulama konularında 317-615 mm, YD konularında 354-624 mm arasında, 2016 yılında TD sulama konularında 299- 554 mm, YD konularında ise 318-568 mm arasında sulama suyu uygulamışlardır. Dağdelen ve ark. (2004) da yarı kurak iklim koşullarında aynı biber çeşidinde yaptıkları çalışmada, denemenin ilk yılındaki sulama suyu miktarı 481-669 mm, ikinci yılında ise 454-629 mm olarak bulmuşlardır. Sezen ve ark. (2006) Tarsus’ta dolmalık biberde yürüttükleri çalışmada toplam sulama suyu ihtiyacını üç yıllık deneme sürecince 489 mm, 570 mm ve 547 mm olarak belirlemişlerdir.



Şekil 1. Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları

Deneme yıllarında farklı sulama uygulamalarında toprak su içeriğinin zamanla değişimi, tam sulama alanlarıyla karşılaştırıldığında sezon sonuna doğru kısıntılı sulama uygulamalarına göre toprak su içeriğinde (TSİ) kademeli bir azalma gözlemlenmiştir. Toprak su içeriğinin bitki büyüme mevsimi boyunca 60 cm toprak profilinde ortalama olarak deneme konularına göre değişimlerini incelediğimizde toprak su içeriği değerleri araştırmanın birinci yılında yüzey damla sulama için 189-222 mm ve toprakaltı damla sulama için 190-223 mm arasında, ikinci yılında ise yüzey damla sulama için 182-218 mm ve toprakaltı damla sulama için 186-220 mm arasında değişmiştir. Bu çalışmadaki toprak su içeriği değişimleri ve yıllar hakkında detaylı bilgi Bozkurt Çolak (2021)'in önceki yayınında verilmiştir.

Her iki deneme yılında (2016 ve 2017) iki farklı damla sulama yönteminde farklı sulama stratejileri için toplam dolmalık biber verimi üzerine etkisi Tablo 2'de verilmiştir. Dolmalık biber verimleri 2016 yılında YD yönteminde PRD<sub>50</sub> konusunda 45.5 t ha<sup>-1</sup> ile FI konusunda 75.7 t ha<sup>-1</sup> arasında TD yönteminde ise PRD<sub>50</sub> konusunda 54.1 t ha<sup>-1</sup> ile FI konusunda 74.2 t ha<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir. Araştırmanın 2017 yılında YD yönteminde PRD<sub>50</sub> konusunda 45.4 t ha<sup>-1</sup> ile FI konusunda 70.6 t ha<sup>-1</sup> arasında TD yönteminde ise PRD<sub>50</sub> konusunda 46.4 t ha<sup>-1</sup> ile FI konusunda 71.5 t ha<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir. Su stresi her iki deneme yılında da taze dolmalık biber verimini önemli ölçüde azaltmıştır. Tablo 2'de belirtildiği gibi araştırma yıllarında YD ve TD yöntemleri arasında verim açısından önemli farklar elde edilmemiştir. Her iki sulama sistemi arasında verim değerlerinde önemsiz bir fark olmasına rağmen, FI dışındaki tüm uygulamalar TD Yönteminde YD'ye göre daha fazla verim elde etmiştir. Ancak sulama stratejileri 2016 ve 2017 yetiştirme sezonlarında önemli ölçüde farklı verimlerle sonuçlanmıştır (P< 0.01).

Tablo 2. Deneme yıllarında farklı sulama uygulamalarının dolmalık biber verimi (t ha<sup>-1</sup>) üzerine etkisi

Sulama Uygulamaları	Sulama Uygulamaları ve İstatistiksel Analiz	2016	2017
Sulama Yöntemleri (SY)	YD	61.9	59.2
	TD	65.2	62.0
	LSD (0.05) P(Olasılık)	Öd.	Öd.
Sulama Stratejileri (SS)	FI	74.94 a	71.07 a
	DI <sub>75</sub>	68.36 b	66.43 a
	DI <sub>50</sub>	54.51 c	50.75 b
	PRD <sub>50</sub>	49.78 c	45.89 c
	RDI	70.15 ab	68.82 a
	LSD (0.05) P(Olasılık)	5.57 0.0001**	4.64 0.0001**
Sulama Yöntemi x Sulama Stratejileri (SYxSS)	YD-FI	75.7	70.6
	YD-DI <sub>75</sub>	67.4	65.2
	YD-DI <sub>50</sub>	51.3	46.9
	YD-PRD <sub>50</sub>	45.5	45.4
	YD- RDI	69.7	67.8
	TD-FI	74.2	71.5
	TD-DI <sub>75</sub>	69.4	67.7
	TD-DI <sub>50</sub>	57.7	54.5
	TD-PRD <sub>50</sub>	54.1	46.4
	TD- RDI	70.6	69.8
	LSD (0.05) P(Olasılık) CV(%)	Öd. Öd. 7.8	Öd. Öd. 7.4

(P<0.01 \*\*) %1 önemli (P<0.05 \*) % 5 önemli ( P>0.05 ö.d.) önemli değil

YD: Yüzey damla sulama; TD: Toprakaltı damla sulama; FI: Tam sulama; I<sub>75</sub>: Kısıntılı sulama; I<sub>50</sub>: Kısıntılı sulama; PRD: Kısmi kök kuruluşu ve RDI: Planlanmış kısıntılı sulama.

Çamoğlu ve ark. (2024) Çanakkale ilinde biberin su stresi ve sulama zamanının belirlenmesinde bitkiyi esas alan izleme tekniklerinden yaprak turgor basıncı ve termal görüntülerin kullanılabilirliğini ve bunların fizyolojik özelliklerle ilişkisini belirlemeyi amaçladıkları çalışmada dört sulama düzeyi uygulamışlar (%100, %75, %50 ve %25) ve verim değerleri 2017 ve 2018 sulama uygulamalarına göre sırasıyla 22.9 ile 90.7 t ha<sup>-1</sup> ve 22.5 ile 76.6 t ha<sup>-1</sup> arasında değişmiştir. Demir ve ark. (2018) Ankara koşullarında biber bitkisinde yaptıkları çalışmada yüzey ve toprakaltı sulama yöntemlerinde en yüksek verimi S<sub>1</sub>N<sub>3</sub> (Tam sulama, azot uygulaması 21 kg N/da) konusunda elde etmişler ve toprakaltı damla konusunda 5008 kg da<sup>-1</sup>, yüzey damla konusunda 3938 kg/da bulmuşlardır. Sezen ve ark. (2006)'nın Tarsus'ta dolmalık biber üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada, yığışimli buharlaşma miktarının 18-22 mm ve pan buharlaşma katsayısının 1.0 olduğu durumda en yüksek verimi (34.2 t ha<sup>-1</sup>) elde ettiklerini belirtmişlerdir. Dağdelen ve ark. (2002), Aydın ovası koşullarında sanayi biberi yetiştiriciliğinde bitki gelişim dönemlerinde yapılan kısıtlı sulama suyu uygulamalarının biberde verim üzerine etkisinin önemli olduğunu saptamışlardır.

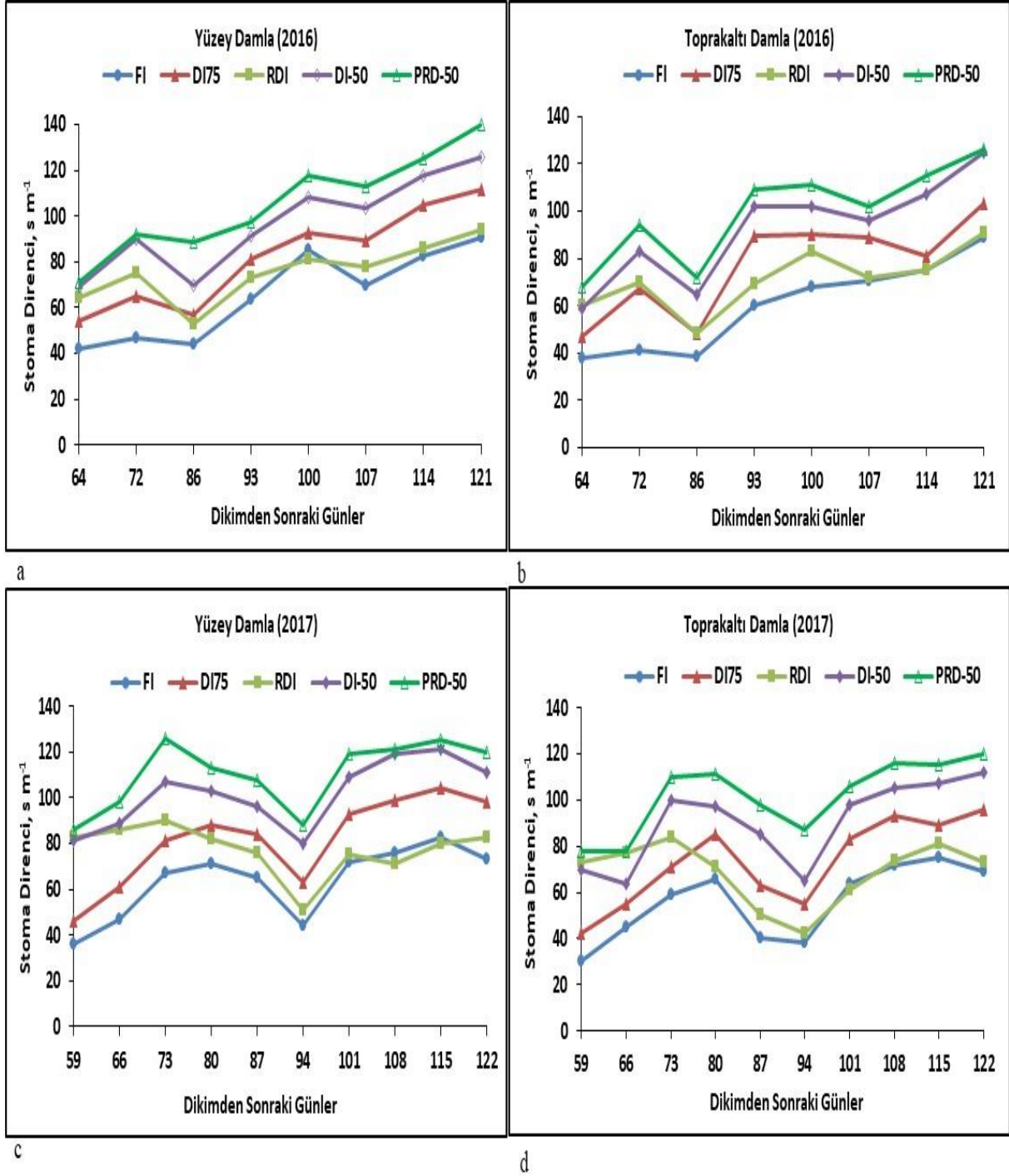
Su kısıtlamasına maruz kalan bitkilerin ilk verdikleri fizyolojik tepkilerden biri transpirasyon ile su kaybını azaltmak için stomaların açılıp kapanma hareketini kontrol altına almaktır. Ancak aynı zamanda CO<sub>2</sub> girişi de engellendiğinden bitkinin fotosentez etkinliği de bu hareketlerden direkt olarak etkilenmektedir. Çalışmada iki farklı sulama yöntemiyle birlikte kısıtlı sulama konularından RDI, PRD ve geleneksel kısıtlı sulama uygulamaları arasındaki farklılıkların stoma hareketlerine etkilerini kontrol bitkileri ile karşılaştırmalı olarak ortaya koymak ve verim ve ürün kalitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla porometre aleti ile stoma direnci ölçümleri yapılmıştır. Stoma direnci ölçümleri 2016 yılında 21 Haziran ile 10 Ağustos tarihleri arasında, 2017 yılında ise 8 Haziran ile 3 Ağustos tarihleri arasında yapılmıştır. Deneme yıllarında yüzey ve toprakaltı damla sulama konularında stoma direncinin konulara göre zamansal değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Mevsim içerisinde stoma direnci değerleri araştırmanın ilk yılında YD sulama konularında 42-140 s m<sup>-1</sup>; TD sulama konularında 38-126 s m<sup>-1</sup> arasında ikinci yılında ise YD sulama konularında 36-121 s m<sup>-1</sup>; TD sulama konularında 30-120 s m<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir. Sulama öncesi ortalama stoma direnci değerleri YD sulama yöntemi FI konusunda 65 s m<sup>-1</sup>, DI<sub>75</sub> konusunda 82 s m<sup>-1</sup>, RDI konusunda 77 s m<sup>-1</sup>, DI<sub>50</sub> konusunda 100 s m<sup>-1</sup>, PRD<sub>50</sub> konusunda s m<sup>-1</sup> 108; TD sulama yönteminde ise FI konusunda 58 s m<sup>-1</sup>, DI<sub>75</sub> konusunda 75 s m<sup>-1</sup>, RDI konusunda 70 s m<sup>-1</sup>, DI<sub>50</sub> konusunda 91 s m<sup>-1</sup>, PRD<sub>50</sub> konusunda 101 s m<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

Araştırmanın her iki yılında yüzey ve toprakaltı damla sulama sistemlerinin her ikisinde de stoma direnci (rs) değerlerine bakıldığında strete olmayan FI, RDI ve DI<sub>75</sub> konularında daha düşük rs değerleri ölçülürken DI<sub>50</sub> ve PRD<sub>50</sub> konularında daha yüksek rs değerleri belirlenmiştir. Mevsim sonlarına doğru stoma direnci değerleri artış göstermiştir. Stoma direncinin farklı sulama uygulamalarında araştırmada kullanılan biber bitkisinde yaprakların stoma direncini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Her iki yılda da uygulamalar arasında ortaya çıkan bu durum, bitkilerin abiyotik stres karşısında stomalarını kapatarak O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> difüzyonunu kontrol etmesinden kaynaklanmıştır. Yani dolmalık biber yapraklarında terlemenin azalması nedeniyle stoma geçirgenliği azalmıştır. Kuraklık stresinin bitki bünyesi üzerindeki etkilerini belirtirken, yapraklardaki su oranının azalması ve stomaların kapanması gibi doğrudan etkilerin yanı sıra, bu durumun yaprak sıcaklığını artırarak membran sistemlerinin zarar görmesine ve hücre ölümlerine yol açabileceğini ifade eden araştırmalar bulunmaktadır (Farooq ve ark., 2009; Dolferus, 2014). Jones (1992) ise çevresel faktörlerin, özellikle de kuraklık gibi stres durumlarının, yaprak stomalarının geçirgenliğini azaltabileceğini belirtmiştir. Bu faktörlerin bir araya gelmesi, bitkinin sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir ve hatta hücre düzeyinde hasara neden olabilmektedir. Çamoğlu ve ark. (2019), su stresinin artmasıyla birlikte domates bitkisinde stoma iletkenliğinin belirgin bir şekilde azaldığını ifade etmişlerdir. Bu durum, bitkinin mevcut su içeriğini korumak için stomalarını kapatmasıyla ve suyun bitkinin dokularında tutulmasını sağlamasıyla ilişkilendirilmiştir. Bu bulgu, bitkilerin su stresine nasıl tepki verdiği ve bu stres durumunda stomaların rolünün ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Sezen ve ark. (2019) Mersin'de salçalık biber araştırmasında stoma direnci değerlerini damla sulama konularında rs değerleri 2010 deneme yılında 8-38 s cm<sup>-1</sup>; 2011 deneme yılında ise 6-30 s cm<sup>-1</sup> arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Çamoğlu ve ark. (2024) Çanakkale ilinde biber bitkisinde su stresi ve sulama zamanının belirlenmesine yönelik çalışmalarında en yüksek stoma iletkenliği değerleri tam sulama konusundan elde edilmiştir (2017 yılında 609 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 2018 yılında 582 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Demir ve ark. (2018) Ankara koşullarında biber bitkisi üzerine gerçekleştirilen çalışmada, toprakaltı damla sulama sistemi kullanılarak elde edilen verilere göre, 2015 yılında ortalama stoma iletkenliği değerlerinin 236 ile 359 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> arasında, 2016 yılında ise 350 ile 247 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> arasında değiştiğini ve farklı yıllardaki iklim ve çevresel koşulların biber bitkisinde stoma iletkenliği üzerinde etkilerini olduğunu belirtmişlerdir. Quezada-Martín ve ark. (2011) İspanya'da yaptıkları çalışmada yedi farklı renkteki plastik malçların bitkiler üzerindeki etkisi, verim ve mikro çevre koşulları ve bunların dolmalık biberde fizyolojik parametreler üzerine etkisini araştırmışlar. Fotosentezi doğrudan verimle ve dolaylı olarak stoma direnciyle ilişkilendirmişlerdir. Çeşitli sebeplerden dolayı toprağın aşırı ısınmasının plastiklerin şeffaflığına göre bitki

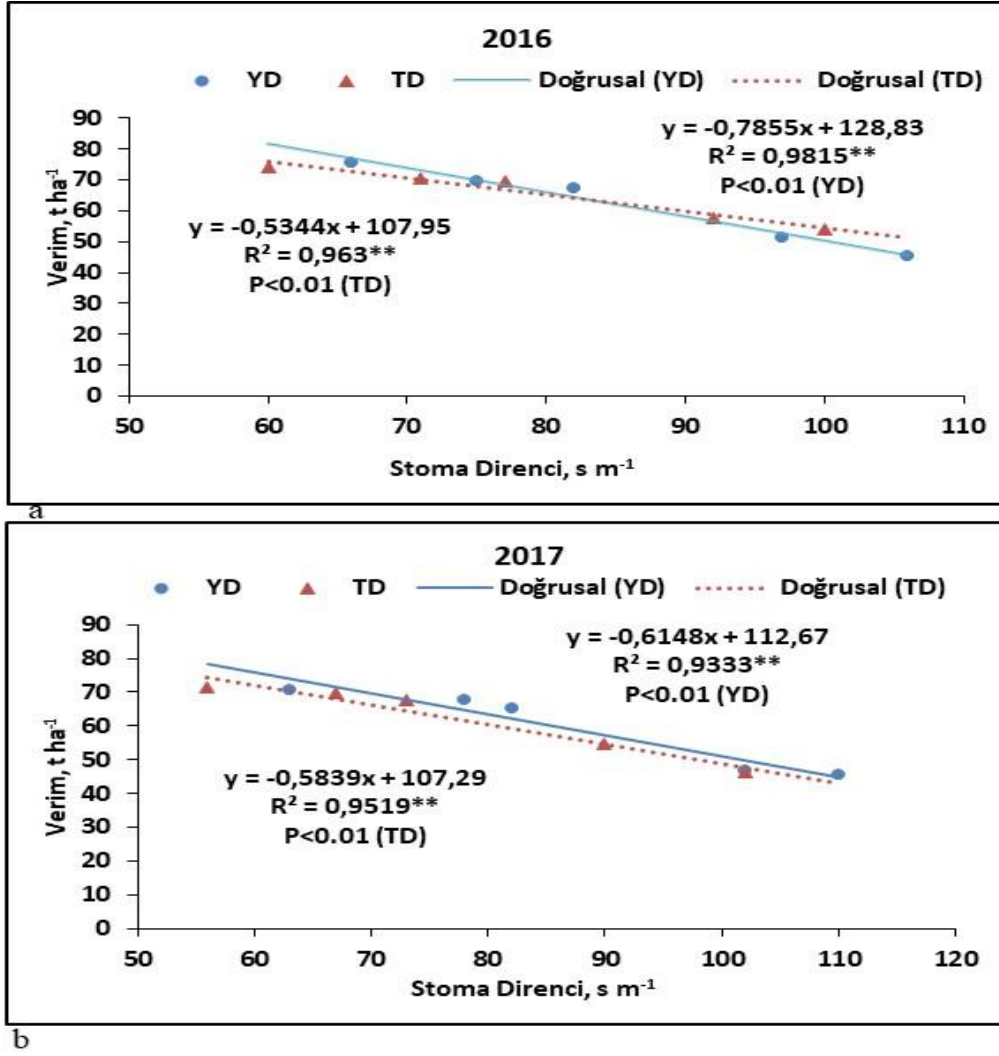


üzerinde olumsuz etki yaptığını, bağıl büyüme hızının, net asimilasyon hızının ve fotosentezin düşük olmasına, büyüme ve verim düşüklüğüne neden olduğunu belirtmişlerdir. Birçok araştırmacı da kuraklığın stoma iletkenliğinde azalmalara yol açabileceğini belirtmiş ve stoma iletkenliğindeki değişimin çeşitlerin kuraklığa dayanıklılık performansını etkileyen önemli faktörlerden biri olduğunu bildirmiştir (Nawaz ve ark., 2015; Demir ve ark., 2018; Ahumada-Orellana ve ark., 2019; Sezen ve ark., 2019; Bozkurt Çolak, 2019; Çamoğlu ve ark., 2024).

Araştırmada deneme konularında belirlenen ortalama stoma direnci ile verim arasındaki ilişkiler Şekil 3'de verilmiştir. Anılan şekiller incelendiğinde denemenin her iki yılında da verim ile stoma direnci arasında  $P < 0.01$ 'de önemli doğrusal ilişkiler belirlenmiştir.



Şekil 2. Araştırma yıllarında farklı sulama uygulamalarında stoma direncinin konulara göre değişimi 2016 (a) Yüzey damla, 2016 (b) Toprakaltı damla, 2017 (c) Yüzey damla ve 2017(d) Toprakaltı damla



Şekil 3. Deneme yıllarında farklı sulama uygulamalarında verim ve stoma direnci arasındaki ilişki

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Mevcut çalışmanın sonuçları, Türkiye'de Akdeniz iklim koşullarında dolmalık biberde daha yüksek verim elde edilmesinde farklı sulama yöntemi ve stratejilerinin etkilerinin oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Sulama stratejileri toplam dolmalık biber verimi üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. Araştırma sonuçları, stoma direncinin bitkinin su durumunu ölçmek ve dolmalık biber sulama planlamasını iyileştirmek için kullanılabileceğini göstermektedir. Dolmalık biber verimi ile stoma direnci arasında önemli doğrusal ilişkiler bulunmuştur. Sonuç olarak yüksek verim için dolmalık biber  $r_s$ 'nin 58-65  $s\ m^{-1}$  değeri arasında sulanması gerektiği belirlenmiştir. Bitkinin su stresine karşı verim tepkisini tahmin etmek; çiftçiler, danışmanlar ve araştırmacılar için sınırlı su koşullarında sulama yönetimine yönelik stratejiler geliştirmede ve karar vermede önemlidir. Bu çalışmanın sonuçları, üreticilerin tarımda su uygulamasını optimize etmesine yardımcı olacak ve aynı zamanda diğer benzer bölgeler için de rehber olacaktır. Ayrıca gelişen teknolojiyle birlikte stoma direncinin sulama zamanının belirlenmesi, zaman ve iş gücünden tasarruf sağlarken verimliliğin ve ekonomik kayıpların azaltılması açısından son derece önemli olacaktır.

**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.

## Teşekkür

Yazarlar adına TÜBİTAK ERANET-2150951 nolu proje için sağladığı finansal destek için Türk Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederiz.



## YAZAR ORCID NUMARALARI

Yeşim BOZKURT ÇOLAK  <http://orcid.org/0000-0003-1836-3910>

Attila YAZAR  <http://orcid.org/0000-0001-9789-3156>

## KAYNAKLAR

- Ahumada-Orellana, L., Ortega-Farías, S., Poblete-Echeverría, C. and Searles, P. S. 2019. Estimation of stomatal conductance and stem water potential threshold values for water stress in olive trees (*cv. Arbequina*). *Irrigation Science*. 37(4): 461-467.
- Akbay, C., Candemir, S. ve Orhan, E. 2005. Türkiye’de yaş meyve ve sebze ürünleri üretim ve pazarlaması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2): 96-107.
- Anonim. 2019. T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Turkey.
- Anonim. 2023. Bitkisel Üretim İstatistikleri. TÜİK, [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1001](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001). (Erişim Tarihi: 07.03.2024)
- Bozkurt Çolak, Y., Yazar A., Sezen S.M., Yücel S., Sesveren S., Atağ G., Akça H., Arslan R., Eroğlu.Ç. ve Eker S. 2015. Çukurova koşullarında toprakaltı ve yüzey damla sulama sistemleriyle uygulanan farklı sulama programlarının açıkta patlıcanın verim, verim bileşenleriyle su kullanım randımanı üzerine etkileri. *TÜBİTAK 112O870 Nolu Proje Sonuç Raporu*, 188s.
- Bozkurt Çolak, Y., Yazar, A., Yıldız, M. ve Gönen, E. 2019. Çukurova bölgesinde dolmalık biber bitkisinin toprakaltı damla yöntemiyle sulanması. *Alatarım*. 118 (2): 118-124.
- Bozkurt Çolak, Y. 2019. Effects of irrigation frequency and level on yield and stomatal resistance of eggplant (*Solanum Melongena* L.) grown in open field irrigated with surface and subsurface drip methods. *Applied Ecology and Environmental Research*. 17 (6): 15585-15604.
- Bozkurt Colak, Y. 2021. Leaf water potential for surface and subsurface drip irrigated bell pepper under various deficit irrigation strategies. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 81: 491–506.
- Çamoğlu, G., Demirel, K., Kahriman, F., Akçal, A., Nar, H., Boran, A., Eroglu, I. and Genc, L. 2021. Discrimination of water stress in pepper using thermography and leaf turgor pressure probe techniques. *Agricultural Water Management* 254: 106942.
- Çamoğlu, G., Demirel, K., Kahriman, F., Akçal, A. and Nar, H. 2024. Plant-based monitoring techniques to detect yield and physiological responses in water-stressed pepper. *Agricultural Water Management*. 291. [10.1016/j.agwat.2023.108628](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108628).
- Clawson, K.L. and Blad, B.L. 1982. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn// *Agronomy Journal*. 74: 311-316.
- Cock, J.H. and Connor, D.J. 2021. Chapter 19 - Cassava, Editor(s): Victor O. Sadras, Daniel F. Calderini, *Crop Physiology: Case Histories for Major Crops*, ISBN 9780128191941 p: 588-633.
- Dağdelen, N., Yılmaz, E., Baş, T. ve Sezgin, F. 2002. Kısıtlı Sulama Suyu Uygulamalarının Sanayi Biberi Verimine Etkisinin Belirlenmesi. VI. Sebze Tarımı Sempozyumu, 17-20 Eylül 2002, Bursa, s.147- 153.
- Dağdelen, N., Yılmaz, E. F. Sezgin., F. and Gürbüz., T. 2004. Effects of water tress at different growth stages on proces sing pepper (*Capsicum annum cv.kapija*) yield, water use and quality characteristics . *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7(12): 2167-2172.
- Demir, Z., Özbahce, A., and Demir, Y. 2018. Su kısıtı koşullarında yüzey altı damla ve yüzey damla sulama sistemlerinde, fertigasyon uygulamalarının biberin verim ve kaliteye etkilerinin belirlenmesi.TAGEM Proje Sonuç Raporu. Proje No: TAGEM/TSKAD/15/A13/P02/1. p. 127.
- Demirel, K., Genc, L., Bahar, E., Inalpulat, M., Smith, S. and Kizil, U. 2014. Yield estimate using spectral indices in eggplant and bell pepper grown under deficit irrigation. *Fresenius Environ. Bull.* 23, 1232–1237.
- Dolferus, R. 2014. To grow or not to grow: A stressful decision for plants. *Plant Sci.*, 2229: 247-261.
- Erken, O. 2004. Çanakale yoresinde damla sulama yöntemiyle sulanan biberde (*Capsicum annum*) en uygun sulama programının belirlenmesi. Master’s Thesis, Canakkale Onsekiz Mart University
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra S.M.A. 2009. Plant dorught stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.*, 29: 185-212.
- Gerosa, G., Mereu, S., Finco, A. and Marzuoli. 2012. Stomatal conductance modeling to estimate the evapotranspiration of natural and agricultural ecosystems. In: Irmak A. (ed.) *Evapotranspiration-Remote Sensing and Modeling*, Intech. 403-420.
- Jones, H.G. 1992. *Plants and microclimate*. Cambridge University Press

- Makbul, S., Saruhan-Guler, N., Durmus, N. and Guven, S. 2011. Changes in anatomical and physiological parameters of soybean under drought stress. *Turk. J. Bot.* 35: 369-377.
- Nawaz, F., Ahmada, R., Ashraf, M.Y., Waraicha, E.A. and Khan, S.Z. 2015. Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress
- Quezada-Martín, M., Munguia-López, J P., Ibarra-Jiménez, L., García, M., Valdez-Aguilar, L. and Cedeño-Ruvalcaba, B. 2011. Physiology and yield of bell pepper grown in different colored plastic mulch. 29:421-430.
- Sezen, S.M., Yazar, A. and Tekin, S. 2019. Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulturae.* 245: 280-288
- Zhang, B., Liu, Y., Xu, D., Cai, J. and Li, F. 2011. Evapotranspiration estimation based on scaling up from leaf stomatal conductance to canopy conductance. *Agricultural and Forest Meteorology.* 151: 1086-1095.