

Su Stresinin Hidroponik Ortamda Yetiştirilen Pamuk Fidelerinin Bitkisel Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi

Rukiye KILIÇ, Çetin KARADEMİR, Emine KARADEMİR*

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 26.02.2025

Kabul Tarihi/Accepted: 24.06.2025

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

 orcid.org/0000-0003-1515-9287  orcid.org/0000-0002-6370-2427  orcid.org/0000-0001-6369-1572

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: eminekarademir@siirt.edu.tr

Öz: Bu çalışmanın amacı, yapay olarak oluşturulan su stresinin hidroponik ortamda yetiştirilen pamuk bitkisinin kök ve yeşil aksam gelişimi ile klorofil içeriğine etkilerini belirlemektir. Deneme polietilen glikol (PEG) 6000 ile oluşturulmuş 2 farklı su stresi (kontrol % 0 ve % 1.6) içeren hidroponik ortamda 10 farklı pamuk çeşidi ile tesadüf parselleri deneme desenine göre iki faktörlü ve 4 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Bitkiler bitki büyüme kabini içinde 16/8 saat fotoperiyot, 30/22 °C (gündüz/gece) sıcaklık ve % 50±2 nem koşullarında yetiştirilmiş ve 21 gün sonunda bitkilerde gözlem ve ölçümler alınarak tamamlanmıştır. Araştırmada su stresinin bitkide kök uzunluğu, gövde uzunluğu, kök/gövde oranı, kök yaş ağırlığı, gövde yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, gövde kuru ağırlığı, kök yüzey alanı ve yaprak alanını olumsuz yönde etkilediği, stres koşullarının bitkide sadece klorofil içeriği değerini arttırdığı tespit edilmiştir. Çeşitler arasında SJU-86 ve Edessa çeşitlerinin incelenen özellikler bakımından öne çıktığı, klorofil içeriği bakımından ise Solmaz çeşidinin yüksek değer gösterdiği belirlenmiştir. Bu araştırma ile SJU-86 ve Edessa çeşitlerinin su stresi koşullarında üstün performans gösterdikleri ve diğer çeşitlere göre daha toleran oldukları sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pamuk, su stresi, hidroponik ortam, polietilen glikol, fizyoloji

Determination of the Effect of Water Stress on Plant Characteristics of Cotton Seedlings Grown in Hydroponics

Abstract: The aim of this study was to determine the effects of artificially induced water stress on root and green development and chlorophyll content of cotton plants grown in hydroponics. The experiment was carried out with 10 different cotton varieties in hydroponic environment containing 2 different water stresses (control 0% and 1.6%) created with polyethylene glycol (PEG) 6000 according to a randomized plot design with two factors and 4 replications. Plants were grown in a plant growth chamber under 16/8-hour photoperiod, 30/22 °C (day/night) temperature and 50±2% humidity conditions and observations and measurements were taken on the plants at the end of 21 days. In the research, it was determined that water stress negatively affected root length, stem length, root/stem ratio, root weight, stem weight, root dry weight, stem dry weight, root surface area and leaf area, while stress conditions only increased the chlorophyll content value in the plant. Among the varieties, SJU-86 and Edessa varieties were determined to be prominent in terms of the examined characteristics, while Solmaz variety showed high value in terms of chlorophyll content. With this research, it was concluded that SJU-86 and Edessa varieties showed superior performance in terms of water stress conditions and were more tolerant than other varieties.

Keywords: Cotton, water stress, hydroponic medium, polyethylene glycol, physiology

1. Giriş

Pamuk (*Goosypium hirsutum* L.) bitkisi, lif elde etmek amacıyla yetiştirilen ve başta tekstil sanayi

olmak üzere; yağ, gıda ve hayvancılık gibi daha birçok sektörün önemli hammaddesini oluşturan ve ekonomik öneme sahip stratejik bir endüstri

bitkisidir. Hem dünya nüfusunun artması hemde doğal elyafa karşı oluşan ilginin giderek artması pamuk bitkisine olan talebi de arttırmaktadır. Pamuk, 2023 yılında, 24.7 milyon ton ile küresel lif üretiminin % 20'sini sağlamaktadır (Anonymous, 2024). Uluslararası Pamuk Danışma Kurulu (ICAC, International Cotton Advisory Committee)'na göre pamuk 100'den fazla ülkede yetiştirilmekte ve yaklaşık 250 milyon kişiye gelir sağlamaktadır (Anonymous, 2023). Pamuk yetiştiriciliği, ürünün büyümesini, gelişmesini ve verimliliğini engelleyen değişen iklim koşulları nedeniyle çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır (Hussain ve ark., 2019; Zafar ve ark., 2023; Zahra ve ark., 2023). Abiotik stresler arasında su stresi, tarlada yetiştirilen pamuğun performansını önemli ölçüde etkilemektedir (Ali ve ark., 2022; Naseer ve ark., 2023; Zafar ve ark., 2023).

Pamuk bitkisi seçici iklim özellikleri nedeniyle Türkiye'de Güneydoğu Anadolu, Ege ve Çukurova bölgelerinde sulanarak yetiştirilmekte, özellikle generatif dönemde yaşadığı su stresi sonucunda verimde azalışlar meydana gelmektedir.

Genel olarak, kuraklık stresi, bir bitkinin su potansiyelinin ve turgorunun normal bitki fonksiyonunu engelleyecek kadar azaldığı durum olarak tanımlanır. Su stresi, pamuk da dahil olmak üzere kültür bitkilerinde belki de en fazla verimi sınırlayan faktördür. Birçok çalışma, kuraklık toleransının karmaşık çok genli agronomik bir özellik olduğunu göstermiştir (Başal ve Ünay, 2006; Yar ve ark., 2020; Mahmood ve ark., 2021; Pawar ve ark., 2021; Guo ve ark., 2022). Su stresinin etkisi, stresin şiddetine, süresine, stresin gerçekleştiği büyüme aşamasına ve bitkinin genotipine bağlıdır (Pawar ve Veena, 2020). Pamuk abiyotik streslere karşı toleranslı olmasına rağmen, kuraklık gibi aşırı çevresel koşullar, bitkinin büyümesini, verimliliğini ve lif kalitesini olumsuz etkiler. Kuraklıkla birlikte pamukta morfolojik, fizyolojik ve bir takım biyokimyasal değişimler meydana gelmektedir.

Su stresinin şiddeti öngörülemezdir; çünkü, yağışın oluşumu ve dağılımı, buharlaşma ve toprakların nem depolama kapasitesi gibi birçok faktöre bağlıdır (Wery ve ark., 1994). Kuraklığın ilk ve en önemli etkisi, zayıf çimlenme ve zayıf bitki örtüsü oluşumudur (Harris ve ark., 2002). Kuraklık stresinin çimlenmeyi ve fide örtüsünü ciddi şekilde azalttığı bildirilmiştir (Kaya ve ark., 2006). Elçi ve Hançer (2016) % 25, 50, 75 ve 100 kısıntılı sulama koşullarında pamukta çimlenme süresi ve çimlenen bitki sayısı bakımından Tamcot Sphinx, Tamcot 94, Tamcot CamdEs ve BA525 çeşitlerinin diğerlerine oranla su stresine karşı daha toleranslı olduklarını belirlemiştir. Bitkilerde büyüme hücre

bölünmesi, hücre büyümesi ve farklılaşmasıyla gerçekleşir ve genetik, fizyolojik, ekolojik ve morfolojik olayları ve bunların karmaşık etkileşimlerini içerir. Bitki büyümesinin sağlıklı bir şekilde gelişimi, su eksikliğinden etkilenen bu olaylara bağlıdır (Farooq ve ark., 2009). Hücre büyümesi, turgor basıncındaki azalma nedeniyle kuraklığa en duyarlı fizyolojik süreçlerden biridir (Taiz ve Zeiger, 2006).

Su eksikliği bitki büyümesini ve gelişimini azaltır, daha küçük organların üretilmesine ve çiçek üretiminin ve tane/tohum dolumunun engellenmesine yol açar; bu azalma, sakaroz ve nişasta sentez enzimlerinin birikimindeki azalmadan kaynaklanır. Gelişimin zamanlaması, süresi, şiddeti ve hızı, şüphesiz bir bitkinin su eksikliğine nasıl tepki vereceğini belirlemede önemli rollere sahiptir. Kuraklığın ardından, stomalar giderek kapanmakta ve buna paralel olarak net fosfor sentezi ve su kullanım verimliliğinde bir azalış oluşmaktadır. Stoma iletkenliği yalnızca toprak suyu mevcudiyetiyle değil, içsel ve dışsal faktörlerin karmaşık bir etkileşimiyle kontrol edilir. Nem mevcudiyetine bağlı olarak, karbon asimilasyon enzimlerinin ve adenosin trifosfat sentezinde yer alanların aktiviteleri azalır ve bazen engellenir. Kuraklık stresi altında bitki büyümesinin ve üretkenliğinin bozulmasından sorumlu olan başlıca faktörlerden biri, kloroplastlar, mitokondri ve peroksizomlar dahil olmak üzere organellerde reaktif oksijen türlerinin üretilmesidir. Reaktif oksijen türleri, hücre zarı lipitlerinin peroksidasyonunu ve enzim proteinlerinin ve nükleik asitlerin degradasyonunu hedefler (Farooq ve ark., 2009; Samantha ve ark., 2024).

Su, bitkide çeşitli gelişim süreçleri, özellikle çimlenme ve çıkış gibi bitkisel faaliyetlerin başlaması için önemli bir unsurdur (Ramzan ve ark., 2023). Sınırsız büyüme özelliğine sahip olan pamuk, kuraklık stresine daha duyarlı kabul edilir ve bu da üretiminde önemli bir azalmaya yol açar. Önceki çalışmalar, büyüme aşamaları arasında çiçeklenme ve çiçeklenme-doruğu aşamalarının kuraklık stresine karşı oldukça hassas olunan dönemler olduğunu göstermiştir. Bu aşamalarındaki kuraklık, çiçek dökülmesine yol açarak koza ve kütlü pamuk veriminde ciddi bir azalmaya neden olabilmektedir (Zonta ve ark., 2017; Khan ve ark., 2018). Son zamanlarda, kuraklık stresinin bitkilerdeki fizyolojik süreçlerin aksaması nedeniyle verimlilikte önemli bir azalmaya yol açtığı bildirilmiştir (Hussain ve ark., 2020).

Kuraklık stresine yanıt olarak pamuk, yavaş büyüme oranları ve oksidatif hasarı detoksifiye etmek için antioksidan aracılı stres toleransı gibi çeşitli tolerans mekanizmaları sergiler. Son yıllarda

çok sayıda çalışma, kuraklık stresi altında pamuk bitkisinde morfolojik ve fizyolojik tepkileri tartışılmış olsa da, kuraklık stresi altında pamukta hem morfo-fizyolojik hem de moleküler tepkileri ele alan kapsamlı çalışmaların hala eksikliği bulunmaktadır. Pamuk bitkisinde kuraklık stresiyle başa çıkmak için morfo-fizyolojik ve biyokimyasal etkileri ile moleküler tolerans mekanizmaları kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Pamuk bitkisinin stoma düzenlenmesi, kök gelişimi ve ozmotik ayarlama dahil olmak üzere kuraklık stresine karşı çok sayıda morfo-fizyolojik strateji sergilediği belirtilmektedir (Ullah ve ark., 2017; Gholami ve ark., 2022). Ayrıca, kuraklık stresi altında pamuk bitkisinin performansını iyileştirmek için çok sayıda agronomik, fizyolojik ve moleküler yaklaşımlar tartışılmaktadır.

Bu araştırma, hidroponik ortamda yetiştirilen pamuk (*G. hirsutum*) çeşitlerine ait fidelerin gelişimini polietilen glikol (PEG) ile oluşturulan su stresi ve normal sulama koşullarında kıyaslamak amacıyla yürütülmüştür.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırma konusu ve deneysel tasarım

Bu çalışma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü laboratuvarında tesadüf parsellerinde 2 faktörlü (çeşit ve su stresi) deneme desenine göre ve 4 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Deneme, 10 farklı pamuk çeşidi (STV 468, DP 499, SJU-86, Edessa, Solmaz, Sahra 09, BA 1010, Sadori, Sohni ve Fiona) kullanılarak, PEG 6000 ile oluşturulmuş 2 farklı su stresi [% 0 (kontrol) ve % 1.6] içeren hidroponik ortamda kurulmuştur. Çalışmada öncelikle pamuk tohumları % 10 sodyum hipoklorit ile 5 dakika steril edilerek her çeşit ayrı ayrı vermikülit içeren kaplarda çimlendirilmiştir. Ardından kotiledon yaprakları oluşmuş, bitkiler uygun konsantrasyondaki PEG 6000 (% 0 ve % 1.6) ve besin çözeltisi içeren 0.5 litrelik şeffaf plastik kaplarda, kök kısmı sıvı içerisine kaya yünü ile sabitlenmiş ve her 5 günde bir hem normal sulama hem de PEG ile oluşturulan stres uygulamalarında hidroponik ortam yenilenmiştir. Kullanılan besin solüsyonu (NO₃) (160 ppm), fosforik asit (P₂O₅) (100 ppm), potasyum oksit (K₂O) (360 ppm), kalsiyum oksit (CaO) (120 ppm), magnezyum (Mg) (40 ppm), bor (B) (0.4 ppm), bakır (Cu) (0.4 ppm), mangan (Mn) (0.4 ppm), çinko (Zn) (0.8 ppm) ve demir (Fe) (0.4 ppm) kimyasallarından oluşmaktadır. Bitkiler, 16/8 saat fotoperiyotta, 30/22 °C (gündüz/gece) ve % 50±2 nem koşullarında iklim odasında yetiştirilmiştir. Çalışmada bitkiler 21 günlük bir gelişme aşamasından sonra incelemeye alınmıştır (Şekil 1).

2.2. İncelenen özellikler ve yöntemleri

Araştırmada gövde uzunluğu (cm), kök uzunluğu (cm), yaprak alanı (cm²) ve kök alanı (cm²) özellikleri Image J programı kullanılarak; gövde yaş ve kuru ağırlığı (g) ile kök yaş ve kuru ağırlığı (g) hassas terazide tartılarak ölçülmüştür. Kök uzunluğunun gövde uzunluğuna oranı ise kök/gövde oranı olarak belirlenmiştir. Bitkide klorofil içeriği değeri Minolta SPAD-502 aleti yardımı ile ölçülerek belirlenmiş, bitkide en üstten 3. yeni açmış ve tam gelişmiş yaprağında ölçümler yapılmıştır (Şekil 1).

2.3. İstatistiksel analizler

Çalışma sonucunda elde edilen veriler tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur. İstatistiksel analizler, JMP paket programı yardımı ile yapılmış olup; ortalamaların karşılaştırılmasında, Asgari Önemli Fark (Least Significant Difference, LSD_{0.05}) testi kullanılmıştır (Yurtsever, 1984).

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırmada incelenen özelliklerden kök uzunluğu, gövde uzunluğu, kök/gövde oranı, kök yaş ağırlığı ve gövde yaş ağırlığına ilişkin elde edilen ortalama değerler ve oluşan istatistiksel gruplar Tablo 1’de; kök kuru ağırlığı, gövde kuru ağırlığı, kök yüzey alanı, klorofil içeriği ve yaprak alanı değerleri ve oluşan istatistiksel gruplar Tablo 2’de verilmiştir.

3.1. Kök uzunluğu

Kök uzunluğu bakımından su stresi uygulamaları arasında $p \leq 0.01$ düzeyinde önemli farklılıkların bulunduğu belirlenmiştir. Tablo 1’de normal sulamada elde edilen kök uzunluğu değerinin 20.91 cm, su stresi koşullarında ise 15.59 cm olduğu ve su stresi uygulamaları arasında iki farklı istatistiksel grubun olduğu izlenebilmektedir. Çalışmada, PEG uygulanarak oluşturulan su stresi hidroponik ortamda yetiştirilen bitkilerin kök uzunluğunu % 25.44 oranında azaltmıştır. Çalışmada, çeşitler arasındaki farklılığın da % 1 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. En yüksek kök uzunluğu, SJU-86 pamuk çeşidinden (19.73 cm) elde edilmiş olup; bu çeşit ile DP 499 (19.50 cm), Edessa, (19.41 cm), Sadori (19.15 cm), BA 1010 (19.12 cm) ve Sahra 09 (18.11 cm) çeşitleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. En düşük kök uzunluğu ise 15.82 cm ile Solmaz çeşidinden elde edilmiştir (Tablo 1). Su stresi koşullarında kök uzunluğu bakımından pamuk hat/çeşitleri arasındaki farklılıkların önemli olduğunu belirleyen Riaz ve ark. (2013), Pawar ve Veena (2020) ve Jaafar ve ark. (2021) ile benzer bulguların elde edildiği görülmektedir.



Şekil 1. Bitki büyütme kabininde bitkilerin yetiştirilmesi (a), hidroponik ortam (b), kök alanının Image J ile belirlenmesi (c) ve yaprak şekilleri (d)

Figure 1. Growing plants in a plant growth chamber (a), hydroponic medium (b), Determination of root area with Image J (c) and leaf shapes (d)

Tablo 1. Pamuk çeşitlerinin su stresi altında kök ve gövde gelişimi¹

Table 1. Root and shoot development of cotton varieties under water stress¹

Su stresi / Çeşit	Kök uzunluğu (cm)	Gövde uzunluğu (cm)	Kök/Gövde oranı	Kök yaş ağırlığı (g)	Gövde yaş ağırlığı (g)
Su stresi uygulamaları					
Kontrol (Normal sulama)	20.91 a	10.05 a	2.14 a	1.68 a	5.37 a
Su stresi (PEG 6000)	15.59 b	8.43 b	1.87 b	1.02 b	3.09 b
Çeşit					
STV 468	16.31 de	8.66 cd	1.89 cd	1.30 bcd	4.25 bc
DP 499	19.50 ab	9.28 bc	2.11 abc	1.20 cd	3.88 cd
SJU-86	19.73 a	10.58 a	1.92 c	1.63 a	5.81 a
Edessa	19.41 ab	10.41 a	1.86 cd	1.38 abc	4.16 bc
Solmaz	15.82 e	9.92 ab	1.59 d	1.00 d	3.87 cd
Sahra 09	18.11 abc	9.75 abc	1.86 cd	1.48 abc	4.91 b
BA 1010	19.12 ab	9.68 abc	1.98 bc	1.54 ab	4.91 b
Sadori	19.15 ab	8.88 bcd	2.18 abc	1.26 bcd	3.80 cd
Sohni	18.00 bcd	7.91 de	2.29 ab	1.41 abc	3.30 d
Fiona	17.37 cde	7.33 e	2.35 a	1.32 a-d	3.44 cd
Ortalama	18.25	9.24	2.00	1.35	4.23
VK (%)	9.26	11.69	16.00	23.70	19.85
LSD _(0.05) -su stresi	0.76**	0.48**	0.14**	0.24**	0.37**
LSD _(0.05) -çeşit	1.70**	1.08**	0.32**	0.32*	0.84**
LSD _(0.05) -su stresi x çeşit	2.40*	1.52 ^{öd}	0.44 ^{öd}	0.44 ^{öd}	1.18 ^{öd}

¹: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir, *: İstatistik olarak % 5 düzeyinde önemli, **: İstatistik olarak % 1 düzeyinde önemli, ^{öd}: Önemli değil, VK: Varyasyon katsayısı

Tablo 2. Su stresi altında yetişen pamuk çeşitlerinin kök kuru ağırlığı, gövde kuru ağırlığı, kök yüzey alanı, klorofil içeriği ve yaprak alanı değerleri¹Table 2. Root dry weight, stem dry weight, root surface area, chlorophyll content and leaf area values of cotton varieties grown under water stress¹

Su stresi / Çeşit	Kök kuru ağırlığı (g)	Gövde kuru ağırlığı (g)	Kök yüzey alanı (cm ²)	Klorofil içeriği (SPAD)	Yaprak alanı (cm ²)
Su stresi uygulamaları					
Kontrol (Normal sulama)	0.11 a	0.403 a	79.44 a	20.47 b	117.05 a
Su stresi (PEG 6000)	0.09 b	0.295 b	25.74 b	22.10 a	114.23 b
Çeşit					
STV 468	0.09 bc	0.338 cd	47.34 c	8.66 d	146.79 b-e
DP 499	0.11 ab	0.343 bcd	52.45 bc	9.28 d	139.02 c-f
SJU-86	0.12 ab	0.449 a	70.04 a	10.58 d	194.43 a
Edessa	0.10 ab	0.359 bcd	60.96 ab	14.02 c	153.62 bcd
Solmaz	0.07 c	0.304 de	44.08 c	30.72 a	128.14 def
Sahra 09	0.10 ab	0.419 ab	59.55 ab	29.00 ab	168.36 ab
BA 1010	0.11 ab	0.416 abc	50.24 bc	28.05 ab	166.16 abc
Sadori	0.10 ab	0.320 de	47.67 c	26.77 b	118.52 ef
Sohni	0.13 a	0.255 e	47.10 c	27.55 b	116.78 f
Fiona	0.09 bc	0.289 de	46.49 c	28.18 ab	119.60 ef
Ortalama	0.10	0.349	52.59	21.28	145.14
VK (%)	30.00	20.59	20.92	13.67	20.15
LSD _(0.05) -su stresi	0.012**	0.03**	4.92**	1.30*	13.08**
LSD _(0.05) -çeşit	0.03*	0.78**	11.00**	2.90**	29.24**
LSD _(0.05) -su stresi x çeşit	0.04 ^{öd}	0.10 ^{öd}	15.56*	4.11*	41.36 ^{öd}

¹: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir, *: İstatistik olarak % 5 düzeyinde önemli, **: İstatistik olarak % 1 düzeyinde önemli, öd: Önemli değil, VK: Varyasyon katsayısı

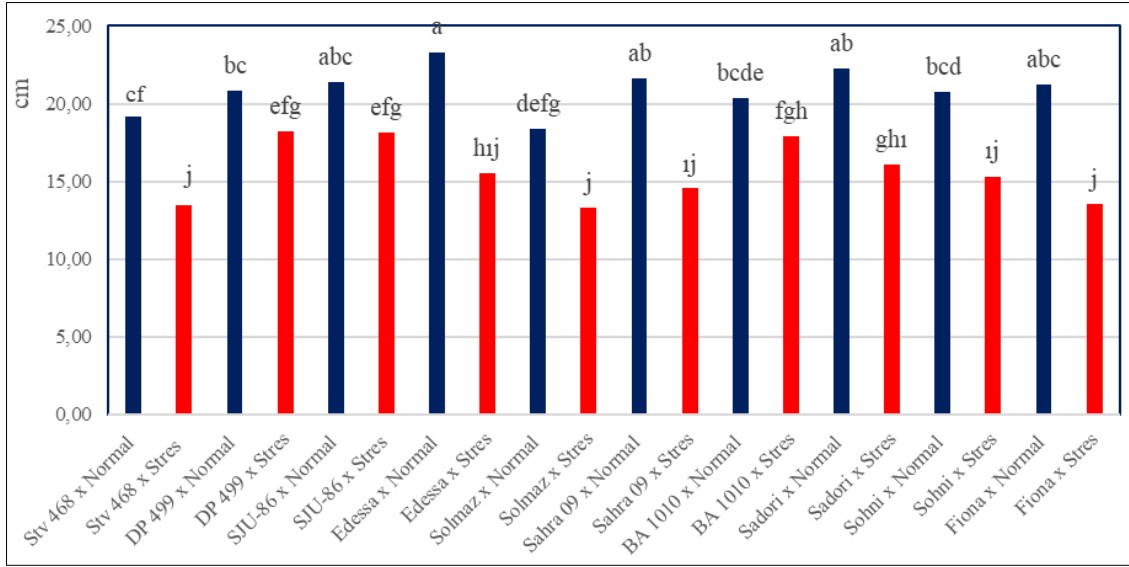
Kök uzunluğu bakımından su stresi x çeşit etkileşiminin % 5 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir (Tablo 1). Şekil 2 incelendiğinde, en yüksek kök uzunluğu değerinin normal sulama koşullarında Edessa çeşidinden, en düşük değerin ise su stresi koşullarında Solmaz, Fiona ve STV 468 çeşitlerinden elde edildiği görülmektedir. Su stresi x çeşit etkileşiminin önemli olması çeşitlerin stres ve normal sulama koşullarında kök uzunluğu değerlerinin değişebileceğini göstermektedir.

Kök uzunluğu bitkilerin topraklardan su alımını artırmada önemli bir rol oynar (Asif ve Kamran, 2011; Borrell ve ark., 2014). Lynch (2019) daha küçük kök çaplarına ve daha büyük kök derinliklerine ulaşabilen bitkilerin, daha derin toprak kaynaklarına ulaşmada avantajlı olduğunu belirtmiştir. Sonuç olarak, kök sistem mimarisi kuraklık toleransında önemli bir rol oynamaktadır; ayrıca, kuraklık stresine uyumu artırma ve verim kayıplarını azaltma potansiyeline sahiptir (Guo ve ark., 2024). Luo ve ark. (2016), hafif ve başlangıç aşamasındaki su stresinin kök uzunluğunu artırdığını, ancak uzun süreli su stresinin kök aktivitesini azalttığını belirtmişlerdir. Aime ve ark. (2021) toplam kök uzunluğu, kök yüzey alanı ve kök hacmi ile su kullanım verimliliği arasında pozitif bir korelasyon gözlemlediklerini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Guo ve ark. (2024) pamuk çeşitlerinin kuraklık stresi altında alt kök alanını ve alt kök uzunluğu yoğunluğunu artırarak

kuraklık toleranslarını artırdığını ortaya koymuşlardır.

3.2. Gövde uzunluğu

Gövde uzunluğu bakımından su stresi uygulamaları ve çeşitler arasındaki farklılığın % 1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Normal sulamada 10.05 cm gövde uzunluğu değeri elde edilirken, su stresi koşullarında 8.43 cm değeri elde edilmiş; su stresi, bitkilerin gövde uzunluğunda % 16.12 oranında azalışa yol açmıştır. Çeşitlerin gövde uzunluğu değerleri farklılık göstermiş olup, en yüksek değer SJU-86 (10.58 cm) ve Edessa (10.41 cm) çeşitlerinde ölçülmüştür. En düşük gövde uzunluğu değerini Fiona çeşidi (7.33 cm) göstermiştir. Gövde uzunluğu bakımından su stresi x çeşit etkileşiminin istatistik olarak önemli olmadığı görülmektedir (Tablo 1). Pace ve ark. (1999) su stresi uygulamaları çalışmalarında ekimden 49 gün sonra gövde uzunluğunu stres koşullarında 20 cm, normal sulamada ise 27.9 cm olarak belirlediklerini bildirmişlerdir. Kuraklık stresinin bitkide sürgün/gövde uzunluğunu olumsuz etkilediği Loka ve ark. (2011) ve Mahmood ve ark. (2022) tarafından da bildirilmiştir. Gövde uzunluğu bakımından çeşitler ve su stresi uygulamaları arasında önemli farklılıklar belirleyen Veasar ve ark. (2020) ile benzer bulgular elde edilmiştir. Gondal ve ark. (2021) normal sulama ve su stresi koşullarında gövde uzunluğu bakımından çeşitler arasındaki farklılıkların önemli olduğunu ve en



Şekil 2. Kök uzunluğuna ait çeşit x su stresi interaksyonu
Figure 2. Variety x water stress interaction for root length

yüksek değeri NIBGE8 ve NIBGE-9 çeşitlerinden elde ettiklerini belirtmişlerdir.

3.3. Kök/gövde oranı

Kök/gövde oranı bakımından su stresi uygulamaları arasında % 1 önem düzeyinde istatistiki farklılıklar bulunmuştur. Normal sulamada kök/gövde oranının 2.14, su stresinde ise 1.87 olduğu; su stresinin, kök/gövde oranında % 12.62 azalmaya yol açtığı belirlenmiştir. Çeşitler arasında kök/gövde oranı bakımından istatistiki anlamda önemli farklılıklar belirlenmiştir. Çeşitlerin kök/gövde oranı 1.59 ile 2.35 arasında değişim göstermiş; Fiona, Sohni, Sadori ve DP 499 çeşitlerinin yüksek değer gösterdikleri, bu özellik bakımından en düşük değer ise Solmaz çeşidinden elde edildiği belirlenmiştir (Tablo 1). Kök/gövde oranının su stresi ile azaldığı Pace ve ark. (1999) tarafından da bildirilmiştir. Kuraklığa dayanıklı çeşitlerde kök/gövde oranında orta düzeyde bir azalmanın görüldüğü, duyarlı çeşitlerde ise kök/gövde oranında önemli bir artış gözlemlendiği belirtilmiştir (Guo ve ark., 2024). Kuraklık stresi koşullarında kök-gövde oranının arttığı yönünde de birçok çalışma bulunmaktadır; bu durumun bitkinin ihtiyaç duyduğu su ve besin miktarını köke tahsis etmesine olanak tanıdığını ve bunun da kuraklıktan kaçınma stratejisi olduğu belirtilmektedir (Zhou ve ark., 2018; Kou ve ark., 2022). Kök/gövde oranı bakımından su stresi koşullarında çeşitler arasında önemli farklılıkların bulunduğunu bildiren Gondal ve ark. (2021) ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Pawar ve Veena (2020), Suvini ve ABBH-813 genotiplerinin bu özellik bakımından daha yüksek değerler gösterdiğini bildirmişlerdir.

3.4. Kök yaş ağırlığı

Kök yaş ağırlığı bakımından su stresi uygulamaları arasındaki farklılığın istatistiki olarak çok önemli olduğu görülmektedir. En yüksek kök yaş ağırlığı normal sulamadan elde edilirken, su stresi kök yaş ağırlığında azalmaya yol açmıştır. Normal sulamada 1.68 g kök ağırlığı, su stresi koşullarında ise 1.02 g değeri elde edilmiş; su stresi koşullarının, kök ağırlığında % 39.29 oranında azalmaya yol açtığı belirlenmiştir. Kök ağırlığı bakımından çeşitler arasındaki farklılığın da istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüş; en yüksek değer SJU-86 (1.63 g) çeşidinde, en düşük değer ise Solmaz çeşidinde (1.00 g) elde edilmiştir. Su stresi x çeşit interaksyonu istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır (Tablo 1). Bu durum, kök yaş ağırlığı bakımından çeşitlerin su stresinden önemli düzeyde etkilendiğini göstermektedir. Köklerin bitkilerin sensörleri olarak kuraklık tolerans mekanizmasında rol oynadıkları ve ozmotik stresi algılayarak muhtemelen fizyolojik ve su potansiyeli durumunu değiştirdikleri belirtilmektedir (Kalra ve ark., 2023). Kök yaş ağırlığının su stresinden olumsuz yönde etkilendiği, Jaafar ve ark. (2021) tarafından da belirtilmiştir. Asif ve ark. (2022), pamuk genotipleri arasında kök yaş ağırlığı bakımından önemli farklılıkların bulunduğunu ve ABRI/5, FH-330, FH-324 ve BS-1 genotiplerinin daha yüksek değerler gösterdiklerini bildirmişlerdir.

3.5. Gövde yaş ağırlığı

Gövde yaş ağırlığı bakımından su stresi uygulamaları arasındaki farklılığın % 1 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Normal sulama ile

yetiştirilen bitkilerde gövde yaş ağırlığının 5.37 g, su stresi koşullarında ise 3.09 g olduğu; su stresi uygulamasının, gövde yaş ağırlığında % 42.46 oranında bir azalışa yol açtığı belirlenmiştir. Çeşitlerin gövde yaş ağırlığı değerleri 3.30 ile 5.81 g arasında değişim göstermiş olup; en yüksek değer 5.81 g ile SJU-86 çeşidinden, en düşük değer ise Sohni çeşidinden elde edilmiştir. Gövde yaş ağırlığı yönünden çeşitler arasındaki bu farklılık istatistiki olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Gövde yaş ağırlığı bakımından su stresi x çeşit etkileşimi istatistiki açıdan önemsiz çıkmıştır (Tablo 1). Gövde yaş ağırlığının su stresinden olumsuz yönde etkilendiği birçok çalışmada da bildirilmiştir (Başal ve Ünay, 2006; Loka ve ark., 2011; Wang ve ark., 2016; Jaafar ve ark., 2021; Arif ve ark., 2023). Su stresi ve normal sulama koşullarında çeşitlerin gövde yaş ağırlığı bakımından farklılık gösterdiği Riaz ve ark. (2013) tarafından da bildirilmiştir.

3.6. Kök kuru ağırlığı

Kök kuru ağırlığı yönünden su stresi uygulamaları arasındaki farklılığın % 1 düzeyinde, çeşitler arasındaki farklılığın ise % 5 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. Normal sulama uygulamasında kök kuru ağırlığının 0.11 g, su stresinde ise 0.09 g olduğu belirlenmiştir. Su stresi bitkilerin kök kuru ağırlığında % 18.18 oranında bir azalmaya yol açmıştır. Çeşitlerin kök kuru ağırlığı değerleri 0.07 ile 0.13 g arasında değişiklik göstermiş olup, en yüksek kök kuru ağırlığı değeri Sohni (0.13 g) çeşidinde elde edilmiş; Sohni çeşidi ile SJU-86 (0.12 g), DP 499 (0.11 g), BA 1010 (0.11 g), Sahra 09 (0.10 g) ve Sadori (0.10 g) çeşitleri arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Çalışmada, Solmaz çeşidinde 0.07 g ile en düşük kök kuru ağırlığı belirlenmiştir (Tablo 2). Su stresi koşullarında kök kuru ağırlığı bakımından pamuk çeşitleri arasındaki farklılıkların önemli olduğunu bildiren Riaz ve ark. (2013) ile farklı bulguların elde edildiği görülmektedir. Bu durum, çalışmada materyal olarak kullanılan pamuk çeşitlerinin genotipik yapısı ve uygulama farklılıklarından kaynaklanmış olabilir.

Kökler, besin ve su alımında, bitki hormonlarının, organik asitlerin ve amino asitlerin sentezinde ve bitkilerin tutunmasında rol oynayan bütünlük bir bitki organıdır (Chloupek ve ark., 2010; Středa ve ark., 2012). Kök morfolojisi ve fizyolojisi, toprak üstü bitki materyalinin büyümesi ve gelişimi ile yakından ilişkilidir. Niu ve ark. (2018) kuraklık stresi ve ardından yeniden sulama altında kök kuru ağırlığındaki değişiklikleri ayrıntılı olarak analiz ettiklerini, kök kuru ağırlığının su stresi ile önemli ölçüde azaldığını, ancak yeniden sulamadan sonra, köklerin hızla büyüdüğünü ve kök

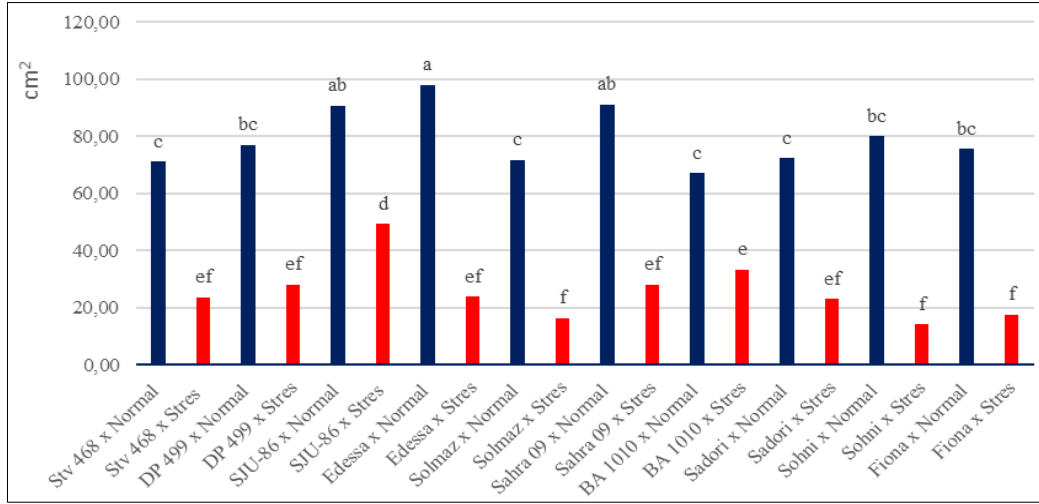
kuru ağırlığının arttığını, yine de kontrolden daha düşük değerler elde ettiklerini bildirmişlerdir.

3.7. Gövde kuru ağırlığı

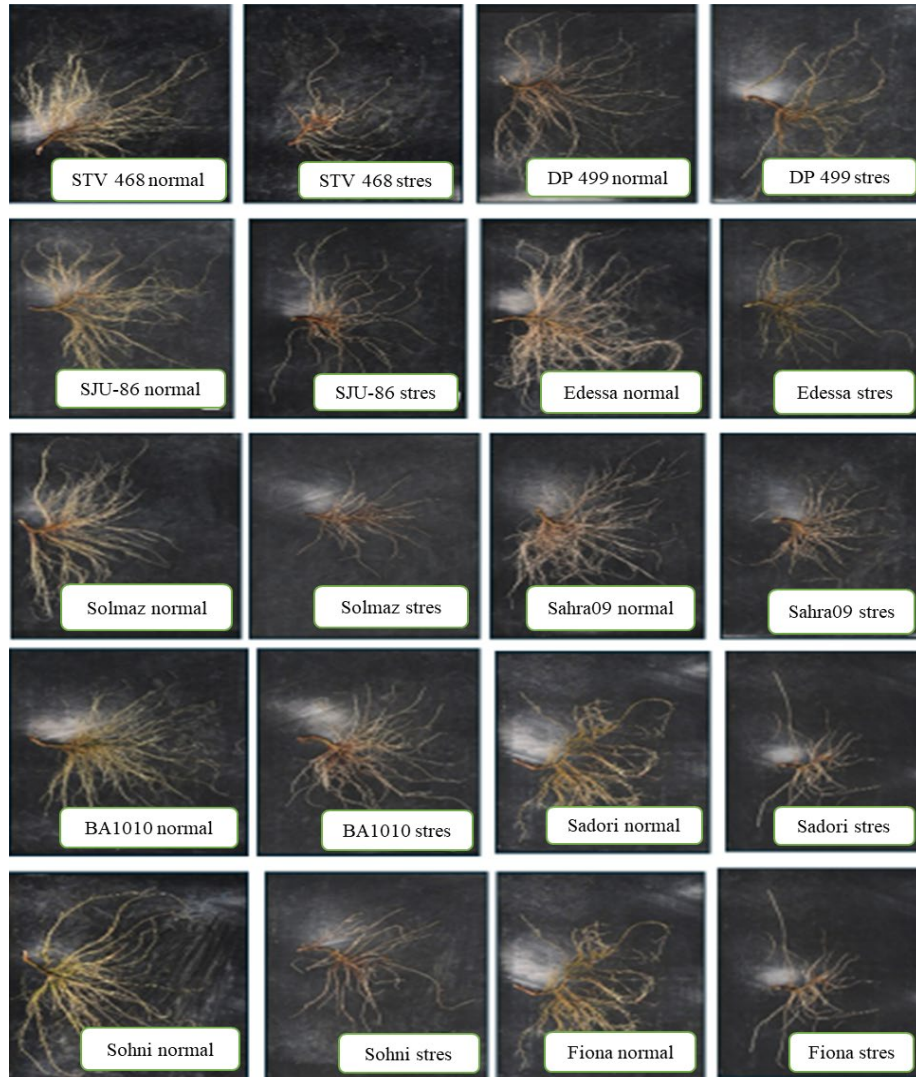
Gövde kuru ağırlığında su stresi uygulamaları ve çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiki açıdan % 1 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. Normal sulama uygulamasında gövde kuru ağırlığının 0.40 g, su stresinde ise 0.29 g olduğu belirlenmiştir. Su stresi bitkilerin gövde kuru ağırlığında % 27.50 oranında bir azalmaya yol açmıştır. Çeşitlerin gövde kuru ağırlığı değerleri 0.25 ile 0.44 g arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek gövde kuru ağırlığı SJU-86 (0.44 g) çeşidinde belirlenmiş olup, bu çeşit ile Sahra 09 (0.41 g) ve BA 1010 (0.41 g) çeşitleri arasındaki farklılıklar önemsiz bulunmuştur. En düşük değer ise Sohni çeşidinden (0.25 g) elde edilmiştir (Tablo 2). Su stresinin gövde kuru ağırlığında azalmaya neden olduğu Loka ve ark. (2011) tarafından da bildirilmiştir. Pace ve ark. (1999) yürüttükleri çalışmada; normal sulama koşullarında gövde kuru ağırlığının 1.39 g, su stresinde ise 1.13 g olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada gövde kuru ağırlığı özelliğinde literatürlerle benzer bulguların elde edildiği görülmektedir. Su stresi koşullarında pamuk çeşitleri arasında gövde kuru ağırlığı bakımından önemli farklılıklar belirleyen Riaz ve ark. (2013) ile benzer bulgular elde edilmiştir.

3.8. Kök yüzey alanı

Kök yüzey alanı bakımından su stresi uygulamaları arasındaki farklılığın istatistiksel açıdan % 1 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. Normal sulama uygulamasında kök yüzey alanının 79.44 cm², su stresi uygulamasında ise 28.50 cm² olduğu belirlenmiştir. Bitkilere uygulanan su stresi ile kök yüzey alanının % 67.60 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Kök yüzey alanı bakımından çeşitler arasında %1 önem düzeyinde istatistiki farklılıkların bulunduğu belirlenmiştir. Çeşitlerin kök yüzey alanı 44.08 ile 70.04 cm² arasında değişiklik göstermiş olup, en yüksek değer SJU 86 (70.04 cm²) çeşidinden elde edilmiş, bu çeşidi Edessa (60.96 cm²) ile Sahra 09 (59.60 cm²) çeşitlerinin izlediği belirlenmiştir. Çalışmada kök yüzey alanı yönünden en düşük değerler istatistiksel olarak aynı grupta yer alan Solmaz (44.08 cm²), STV 468 (47.34 cm²), Sadori (47.67 cm²), Sohni (47.10 cm²) ve Fiona (46.49 cm²) çeşitlerinden elde edilmiştir (Tablo 2 ve Şekil 3). Kök yüzey alanı bakımından çeşit x su stresi etkileşiminin önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Çeşitlerin normal sulama ve su stresi koşullarında kök yüzey alanlarına ait resimler Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'ten izlenebileceği üzere en yüksek değer normal sulama koşullarında Edessa çeşidinden, en düşük



Şekil 3. Kök yüzey alanına ait çeşit x su stresi etkileşimi
 Figure 3. Variety x water stress interaction for root surface area



Şekil 4. Pamuk çeşitlerinin normal sulama ve su stresi koşullarındaki kök gelişimleri ve kök mimarisi
 Figure 4. Root development and root architecture of cotton varieties under normal irrigation and water stress conditions

değerin ise stres koşullarında Sohni, Solmaz ve Fiona çeşitlerinden elde edildiği görülmektedir. Kök yüzey alanı bakımından çeşit x su stresi interaksyonunun önemli olması çeşitlerin kök yüzey alanı değerlerinin stres ve normal sulama koşullarına bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

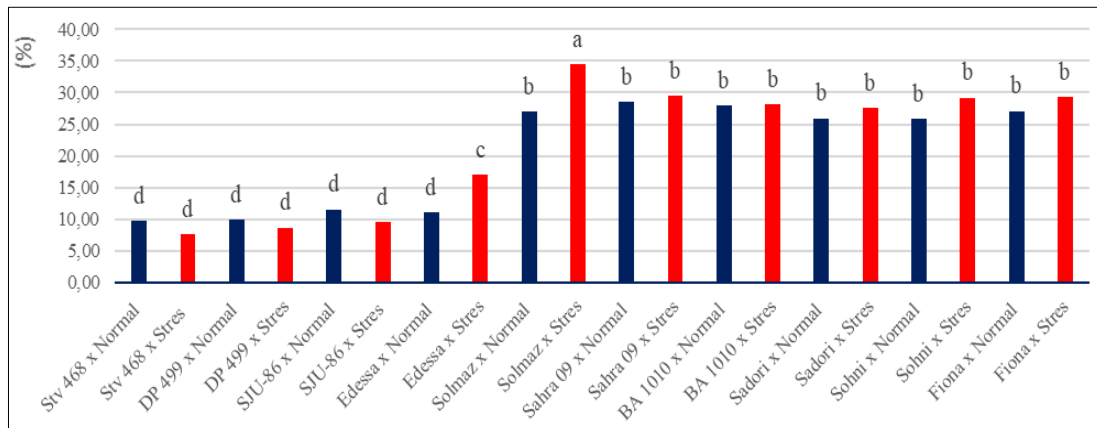
Kök sistemi, bitkilerin topraktan su ve besin alımından sorumlu hayati bir organdır. Genellikle bitkinin "gizli yarısı" olarak adlandırılır (Herder ve ark., 2010). Tüm bitki organları arasında kök sistemi, ürün verimliliğini değiştirme potansiyeli nedeniyle önemli ilgi görmüştür (Lynch, 2007; Luo ve ark., 2019; Guo ve ark., 2024). Kök sistemi mimarisi bitki fonksiyonu açısından önemi nedeniyle, köklerle ilgili araştırmalarda küresel bir odaklanmaya yol açmıştır (Trumbore ve Gaudinski, 2003; Epstein, 2004; Sugden ve ark., 2004). Kök sistemi mimarisi, toprak kaynağı edinimini ve bitki büyümesini etkileyen kök sisteminin önemli bir yönüdür (Lynch ve Brown, 2001; Lynch, 2013). Kök sistemi mimarisi, diğerlerinin yanı sıra kök uzunluğunu, çapını ve yoğunluğunu kapsar (Lynch ve Brown, 2012). Dahası, kök sistemi mimarisi bitki kuraklık toleransını belirlemede hayati bir rol oynar (Gusain ve ark., 2024). Kuraklık toleransı için en uygun kök sistemi mimarisi, daha derin ve daha dik kökleri içerir (Lynch, 2013). Bu özellikler, toprak kaynaklarından suyun ve besinlerin verimli bir şekilde emilmesini sağlar ve böylece kuraklık stresi dönemlerinde bile bitki büyümesini ve gelişimini destekler (Comas ve ark., 2013). Yanal köklere sahip daha geniş bir kök sistemi, su emilimi için mevcut toprak yüzey alanını artırır, su potansiyeli gradyanını azaltır ve su kısıtlamalarını hafifletir (Agee ve ark., 2021).

3.9. Klorofil içeriği

Klorofil içeriği bakımından su stresi uygulamaları arasında % 5, çeşitler arasında ise

% 1 önem düzeyinde istatistiki farklılıkların bulunduğu görülmektedir. Normal sulama uygulamasında klorofil içeriği değeri 20.47, su stresinde ise 22.10 olarak belirlenmiştir. Su stresi yaprak klorofil içeriği değerinde % 7.96 oranında bir artışa yol açmıştır. Çeşitlerin klorofil içeriği değerleri 8.66 ile 30.72 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek klorofil içeriği Solmaz (30.72) çeşidinde belirlenmiş olup, bunu Sahra 09 (29.00), Fiona (28.18) ve BA 1010 (28.05) çeşitleri izlemiştir. En düşük klorofil içeriği değeri ise STV 468 (8.66), DP 499 (9.28) ve SJU 86 (10.58) çeşitlerinden elde edilmiştir. Bu özellik bakımından su stresi x çeşit interaksyonunun önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). En yüksek klorofil içeriği Solmaz çeşidinin stres uygulamasından elde edilirken, en düşük değerin STV 468 çeşidinin su stresi ve normal sulama uygulamasından, SJU-86 çeşidinin su stresi ve normal sulama uygulamasından, Edessa çeşidinin normal sulama uygulamasından, DP 499 çeşidinin su stresi ve normal sulama uygulamasından elde edildiği görülmektedir (Şekil 5).

Mahmood ve ark. (2022) tarafından yapılan başka bir çalışmada bitkide su stresi arttıkça fotosentez ve klorofil içeriği de dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik özelliklerde azalma olduğu belirtilmiştir. Bitkilerde düşük negatif su potansiyelinde klorofil oluşumunun azaldığı Begg ve Turner (1976) ve Salisbury ve Ross (1992) tarafından da bildirilmektedir. Rehman ve ark. (2022), kuraklık stresi koşullarında 7 pamuk çeşidini test ettiklerini sınırlı su temini altında klorofil içeriğinde önemli bir değişiklik gözlemediklerini, stres koşulları altında bitkilerde klorofil içeriği değerinin bitki türüne bağlı olarak değişebileceğini belirtmişlerdir. Klorofil içeriğinin tek başına kuraklığa toleransı garanti etmeyeceği, ancak kuraklığa toleranslı adayların fotosentez hızlarının incelenmesiyle bu sınırlamanın



Şekil 5. Klorofil içeriğine ait çeşit x su stresi interaksyonu
Figure 5. Variety x water stress interaction for chlorophyll content

üstesinden gelinebileceği belirtilmektedir (Monteoliva ve ark. 2021). Atasoy (2013) ise kuraklığın temel etkisinin klorofil pigment içeriğine olduğunu, kuraklık stresi altında klorofil miktarının artış gösterdiğini belirtmiştir.

3.10. Yaprak alanı

Yaprak alanı bakımından su stresi uygulamaları ve çeşitler arasında % 1 önem düzeyinde istatistiki farklılıkların bulunduğu belirlenmiştir. Normal sulama uygulamasında yaprak alanının 117.05 cm², su stresinde ise 114.23 cm² olduğu saptanmıştır. Su stresi bitkilerin yaprak alanında % 2.40 oranında bir azalışa yol açmıştır. Çeşitlerin yaprak alanı değerleri 116.78 ile 194.43 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek yaprak alanı SJU-86 çeşidinden (194.43 cm²) elde edilmiş ve bu çeşidi Sahra 09 (168.36 cm²) ile BA 1010 (166.16 cm²) çeşitleri izlemiştir. Yaprak alanı bakımından en düşük değerin 116.78 cm² ile Sohni çeşidinden elde edildiği belirlenmiştir (Tablo 2). Su stresinin pamukta yaprak alanında azalmaya yol açtığı, normal sulamada yaprak alanının 153 cm², su stresinde ise 56 cm² olduğu, su stresi koşullarında yaprak alanının % 63.40 oranında azaldığı Loka ve ark. (2011) tarafından da belirtilmiştir. Karademir ve ark. (2012) su stresinin pamuk yaprak alanında % 30 oranında azalmaya yol açtığını bildirirken; Ödemiş ve Candemir (2023), iki yıl süreyle yürüttükleri araştırmada, su stresinin ilk yıl yaprak alanında % 40, ikinci yıl ise % 22 oranında bir azalışa yol açtığını belirtmişlerdir. Benzer bulgular Pace ve ark. (1999), Pettigrew (2004), Veesar ve ark. (2020) ve Arif ve ark. (2023) tarafından da rapor edilmiştir.

Yaprak alanı, terleme üzerindeki etkisiyle bitki su dengesini düzenlediği için ürün veriminin ana belirleyicilerinden biridir. Pamuk genotiplerinin yaprak alanı ile ilgili sonuçlar kuraklık stresinin etkisi altında önemli değişiklikler gösterdiğini bazı çeşitlerin su stresi nedeniyle yaprak alanındaki azalmanın daha fazla olduğunu göstermektedir (Veasar ve ark., 2020).

4. Sonuçlar

Kuraklık stresinin, pamuğun gelişimini ve verimliliğini olumsuz yönde etkileyen çok çeşitli morfo-fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere neden olduğu bilinmektedir. Ancak hidroponik ortamda yetiştirilen bitkilerde su stresinin etkisinin belirlendiği bu araştırma ilk araştırma olma özelliğini taşımaktadır. PEG 6000 ile yapay olarak oluşturulan su stresi ile normal sulama kıyaslandığında incelenen tüm özelliklerde uygulamalar arasındaki farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir. Su stresinin bitkide kök uzunluğu,

gövde uzunluğu, kök/gövde oranı, kök yaş ağırlığı, gövde yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, gövde kuru ağırlığı, kök yüzey alanı ve yaprak alanını olumsuz yönde etkilediği, stres koşullarının bitkide sadece klorofil içeriği değerini arttırdığı tespit edilmiştir. Su stresi uygulandığında en yüksek oranda azalış % 67.60 ile kök yüzey alanında gözlemlenmiş, bunu sırasıyla gövde yaş ağırlığı (% 42.46), kök yaş ağırlığı (% 39.29), gövde kuru ağırlığı (% 27.50), kök uzunluğu (% 25.44), kök kuru ağırlığı (% 18.18), gövde uzunluğu (% 16.12), kök/gövde oranı (% 12.62) ve yaprak alanı (% 2.40) özellikleri izlemiştir. Su stresi klorofil içeriği değerinde % 7.96 oranında artışa neden olmuştur. Çeşitler arasında incelenen özellikler bakımından önemli farklılıkların bulunduğu belirlenmiş olup, SJU-86 ve Edessa çeşitlerinin incelenen özellikler bakımından öne çıktığı, klorofil içeriği bakımından ise Solmaz çeşidinin yüksek değer gösterdiği tespit edilmiştir. Bu araştırma ile SJU-86 ve Edessa çeşitlerinin su stresi koşullarında üstün performans gösterdikleri ve diğer çeşitlere göre daha tolerant oldukları sonucuna varılmıştır.

Etik Beyanı

Yazarlar, bu araştırma için etik onay gerekmediğini beyan etmektedir.

Finansman

Bu araştırma, hiçbir dış finansman almamıştır.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar; makaleye eşit katkıda bulunduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

- Agee, E., He, L., Bisht, G., Couvreur, V., Shahbaz, P., Meunier, F., Ivanov, V., 2021. Root lateral interactions drive water uptake patterns under water limitation. *Advances in Water Resources*, 151: 103896.
- Aime, R., Rhodes, G., Jones, M., Campbell, B.T., Narayanan, S., 2021. Evaluation of root traits and water use efficiency of different cotton genotypes in the presence or absence of a soil-hardpan. *The Crop Journal*, 9(4): 945-953.
- Ali, M.A., Hassan, M., Mehmood, M., Kazmi, D.H., Chishtie, F.A., Shahid, I., 2022. The potential impact of climate extremes on cotton and wheat crops in

- Southern Punjab, Pakistan. *Sustainability*, 14(3): 1609.
- Anonymous, 2023. World Cotton Day 2023 Final Report. United Nations Industrial Development Organization, (https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2024-03/World%20Cotton%20Day%202023_Final%20Report_EN.pdf), (Erişim Tarihi: 14.02.2025).
- Anonymous, 2024. Materials Market Report, Textile Exchange, September, 2024. (<https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/materials-market-report-2024/>), (Erişim Tarihi: 30.05.2025).
- Arif, T., Chaudhary, M.T., Majeed, S., Rana, I.A., Ali, Z., Elansary, H.O., Moussa, I.M., Sun, S., Azhar, M.T., 2023. Exploitation of various physio-morphological and biochemical traits for the identification of drought tolerant genotypes in cotton. *BMC Plant Biology*, 23(1): 508.
- Asif, M., Kamran, A., 2011. Plant breeding for water-limited environments. *Crop Science*, 51(6): 2911-2912.
- Asif, M., Khan, A.A., Cheema, H.M.N., Khan, S.H., Iqbal, Z., 2022. Genetic variability in diverse cotton germplasm for drought tolerance. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 59(1): 63-74.
- Atasoy, D., 2013. Pamukta (*Gossypium spp.*) kuraklık ve sıcaklık stresinin bazı agronomik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklere etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Başal, H., Ünay, A., 2006. Water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 43(3): 101-111.
- Begg, J.E., Turner, N.C., 1976. Crop water deficits. *Advances in Agronomy*, 28: 161-217.
- Borrell, A.K., Mullet, J.E., George-Jaeggli, B., Oosterom, E.J., Hammer, G.L., Klein, P.E., Jordan, D.R., 2014. Drought adaptation of stay-green sorghum is associated with canopy development, leaf anatomy, root growth, and water uptake. *Journal of Experimental Botany*, 65(21): 6251-6263.
- Chloupek, O., Dostal, V., Streda, T., Psota, V., Dvorackova, O., 2010. Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breeding*, 129(6): 630-636.
- Comas, L.H., Becker, S.R., Cruz, V.V., Byrne, P.F., Dierig, D.A., 2013. Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers in Plant Science*, 4: 442.
- Elçi, E., Hançer, T., 2016. Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) genotiplerinin kısıntılı sulama koşullarında çimlenme analizleri ve moleküler karakterizasyonu. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 3(2): 122-129.
- Epstein, E., 2004. Plant biologists need to get back to their roots. *Nature*, 430: 829.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 185-212.
- Gholami, R., Hoveizeh, N.F., Zahedi, S.M., Gholami, H., Carillo, P., 2022. Effect of three water-regimes on morpho-physiological, biochemical and yield responses of local and foreign olive cultivars under field conditions. *BMC Plant Biology*, 22(1): 1-18.
- Gondal, M.R., Saleem, M.Y., Rizvi, S.A., Riaz, A., Naseem, W., Muhammad, G., Hayat, S., Iqbal, M., 2021. Assessment of drought tolerance in various cotton genotypes under simulated osmotic settings. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 2: 202008437.
- Guo, C., Bao, X., Sun, H., Zhu, L., Zhang, Y., Zhang, K., Bai, Z., Zhu, J., Liu, X., Li, A., Dong, H., Zhan, L., Liu, L., Li, C., 2024. Optimizing root system architecture to improve cotton drought tolerance and minimize yield loss during mild drought stress. *Field Crops Research*, 308: 109305.
- Guo, X., Wang, Y., Hou, Y., Zhou, Z., Sun, R., Qin, T., Wang, K., Liu, F., Wang, Y., Huang, Z., Xu, Y., Cai, X., 2022. Genome-wide dissection of the genetic basis for drought tolerance in *Gossypium hirsutum* L. Races. *Frontiers in Plant Science*, 13: 876095.
- Gusain, S., Kumari, K., Joshi, R., 2024. Physiological, hormonal and molecular dynamics of root system architectural response to drought stress signaling in crops. *Rhizosphere*, 31: 100922.
- Harris, D., Tripathi, R.S., Joshi, A., 2002. On-farm seed priming to improve crop establishment and yield in dry direct-seeded rice. In: S. Pandey, M. Mortimer, L. Wade, T.P. Tuong, K. Lopes and B. Hardy (Eds.), *Direct Seeding: Research Strategies and Opportunities*, International Research Institute, Manila, Philippines, pp. 231-240.
- Herder, D., Isterdael, G.V., Beeckman, T., Smet, I., 2010. The roots of a new green revolution. *Trends in Plant Science*, 15(11): 600-607.
- Hussain, S., Ahmad, A., Wajid, A., Khaliq, T., Hussain, N., Mubeen, M., Farid, H.U., Imran, M., Hammad, H.M., Awais, M., Ali, A., Aslam, M., Amin, A., Akram, R., Amanet, K., Nasim, W., 2020. Cotton production and uses. In: S. Ahmad and M. Hasanuzzaman (Eds.), *Irrigation Scheduling for Cotton Cultivation*, Springer, Singapur, 5: 59-80.
- Hussain, S., Hussain, S., Qadir, T., Khaliq, A., Ashraf, U., Parveen, A., Saqib, M., Rafiq, M., 2019. Drought stress in plants: An overview on implications, tolerance mechanisms and agronomic mitigation strategies. *Plant Science Today*, 6(4): 389-402.
- Jaafar, K.S., Mohammed, M.A., Mohammed, S.M., 2021. Screening for drought tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) using in vitro technique. *Journal of Dryland Agriculture*, 7(4): 52-59.
- Kalra, A., Goel, S., Elias, A.A., 2023. Understanding role of roots in plant response to drought: Way forward to climate-resilient crops. *The Plant Genome*, 17(1): 1-31.
- Karademir, E., Karademir, Ç., Gencer, O., 2012. Effect of heat stress on leaf area in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *11th Meeting of Inter-Regional Cooperative Research Network on Cotton for the*

- Mediterranean and Middle East Regions*, 5-7 November, Antalya, pp. 141-149.
- Kaya, M.D., Okçu, G., Atak, M., Çikili, Y., Kolsarıcı, Ö., 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24(4): 291-295.
- Khan, A., Pan, X., Najeeb, U., Tan, D.K.Y., Fahad, S., Zahoor, R., Luo, H., 2018. Coping with drought: Stress and adaptive mechanisms, and management through cultural and molecular alternatives in cotton as vital constituents for plant stress resilience and fitness. *Biological Research*, 51: 47.
- Kou, X., Han, W., Kang, J., 2022. Responses of root system architecture to water stress at multiple levels: A meta analysis of trials under controlled conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13: 1085409.
- Loka, D.M., Derrick, M., Oosterhuis, D.M., Ritchie, G.L., 2011. Water-deficit stress in cotton. In: D.M. Oosterhuis (Ed.), *Stress Physiology in Cotton*, Number Seven The Cotton Foundation Book Series, National Cotton Council of America, pp. 37-72.
- Luo, H.H., Zhang, Y.L., Zhang, W.F., 2016. Effects of water stress and rewating on photosynthesis, root activity, and yield of cotton with drip irrigation under mulch. *Photosynthetica*, 54: 65-73.
- Luo, Y., Wang, F., Huang, Y., Zhou, M., Gao, J., Yan, T., Sheng, H., An, L., 2019. *Sphingomonas* sp. Cra20 increases plant growth rate and alters rhizosphere microbial community structure of *Arabidopsis thaliana* under drought stress. *Frontiers in Microbiology*, 10: 1221.
- Lynch, J.P., 2007. Roots of the second green revolution. *Australian Journal of Botany*, 55: 493-512.
- Lynch, J.P., 2013. Steep, cheap and deep: An ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. *Annals of Botany*, 112(2): 347-357.
- Lynch, J.P., 2019. Root phenotypes for improved nutrient capture: An underexploited opportunity for global agriculture. *New Phytologist*, 223: 548-564.
- Lynch, J.P., Brown, K.M., 2001. Topsoil foraging-an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant Soil*, 237: 225-237.
- Lynch, J.P., Brown, K.M., 2012. New roots for agriculture: Exploiting the root phenome. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*, 367: 1598-1604.
- Mahmood, T., Iqbal, M.S., Li, H., Nazir, M.F., Khalid, S., Sarfraz, Z., Hu, D., Baojun, C., Geng, X., Tajo, S.M., Dev, W., Iqbal, Z., Zhao, P., Hu, P., Du, X., 2022. Differential seedling growth and tolerance indices reflect drought tolerance in cotton. *BMC Plant Biology*, 22: 331.
- Mahmood, T., Wang, X., Ahmar, S., Abdullah, M., Iqbal, M.S., Rana, R.M., Yasir, M., Khalid, S., Javed, T., Mora-Poblete, F., Chen, J., Shah, M.K.N., Du, X., 2021. Genetic potential and inheritance pattern of phenological growth and drought tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12: 705392.
- Monteoliva, M.I., Guzzo, M.C., Posada, G.A., 2021. Breeding for drought tolerance by monitoring chlorophyll content. *Gene Technology*, 10: 165.
- Naseer, M.A., Nengyan, Z., Ejaz, I., Hussain, S., Asghar, M.A., Farooq, M., Xiaolong, R., 2023. Physiological mechanisms of grain yield loss under combined drought and shading stress at the post-silking stage in maize. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1): 1125-1137.
- Niu, J., Zhang, S., Liu, S., Ma, H., Chen, J., Shen, Q., Ge, C., Zhang, X., Pang, C., Zhao, X., 2018. The compensation effects of physiology and yield in cotton after drought stress, *Journal of Plant Physiology*, 224-225: 30-48.
- Ödemiş, B., Candemir, D., 2023. The effects of water stress on cotton leaf area and leaf morphology. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Agriculture and Nature*, 26(1): 140-149.
- Pace, P.F., Cralle, H.T., El-Halawany, S.H.M., Cothren, J.T., Sensemen, S.A., 1999. Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. *The Journal of Cotton Science*, 3(4): 183-187.
- Pawar, K.N., Akbar, S.M., Rao, H.C., 2021. Assessment of genotypic variability for morpho physiological, biochemical parameters, yield and yield attributing characters under drought stress in cotton. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 10(02): 2347-2356.
- Pawar, K.N., Veena, V.B., 2020. Evaluation of cotton genotypes for drought tolerance using PEG-6000 water stress by slanting glass plate technique. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(11): 3203-3212.
- Pettigrew, W.T., 2004. Physiological consequences of moisture deficit stress in cotton. *Crop Science*, 44(4): 1265-1272.
- Ramzan, T., Shahbaz, M., Maqsood, M.F., Zulfikar, U., Saman, R.U., Lili, N., Irshad, M., Maqsood, S., Haider, A., Shahzad, B., Gaafar, A.Z., Haider, F.U., 2023. Phenylalanine supply alleviates the drought stress in mustard (*Brassica campestris*) by modulating plant growth, photosynthesis, and antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry*, 201: 107828.
- Rehman, T., Tabassum, B., Yousaf, S., Sarwar, G., Qaisar, U., 2022. Consequences of drought stress encountered during seedling stage on physiology and yield of cultivated cotton. *Frontiers in Plant Science*, 13: 906444.
- Riaz, M., Farooq, J., Sakhawat, G., Mahmood, A., Sadiq, M.A., Yaseen, M., 2013. Genotypic variability for root/shoot parameters under water stress in some advanced lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Genetics and Molecular Research*, 12(1): 552-561.
- Salisbury, F.B., Ross, C.W., 1992. *Plant Physiology*. 4rd Edition, Wadsworth Publishing Company, California.
- Samantha, S., Seth, C.S., Roychoudhury, A., 2024. The molecular paradigm of reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS) with different phytohormone signaling pathways during

- drought stress in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206: 108259.
- Středa, T., Dostál, V., Horáková, V., Chloupek, O., 2012. Effective use of water by wheat varieties with different root system sizes in rain-fed experiments in Central Europe. *Agricultural Water Management*, 104: 203-209.
- Sugden, A., Stone, R., Ash, C., 2004. Ecology in the underworld. *Science*, 304(5677): 1613-1613.
- Taiz, L., Zeiger, E., 2006. *Plant Physiology*. 4th Edition, Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts.
- Trumbore, S.E., Gaudinski, J.B., 2003. The secret lives of roots. *Science*, 302(5649): 1344-1345.
- Ullah, A., Sun, H., Yang, X., Zhang, X., 2017. Drought coping strategies in cotton: Increased crop per drop. *Plant Biotechnology Journal*, 15(3): 271-284.
- Veesar, N.F., Jatoi, W.A., Memon, S., Gandahi, N., Aisha, G., Solangi, A.H., 2020. Evaluation of cotton genotypes for drought tolerance and their correlation study at seedling stage. *Biomedical Journal Scientific & Technical Research*, 29(1): 22090-22099.
- Wang, R., Ji, S., Zhang, P., Meng, Y., Wang, Y., Chen, B., Zhou, Z., 2016. Drought effects on cotton yield and fiber quality on different fruiting branches. *Crop Science*, 56(3): 1265-1276.
- Wery, J., Silim, S.N., Knights, E.J., Malhotra, R.S., Cousin, R., 1994. Screening techniques and sources and tolerance to extremes of moisture and air temperature in cool season food legumes. *Euphytica*, 73: 73-83.
- Yar, M.M., Iqbal, M., Mehmood, A., Naeem, M., 2020. Estimation of heritability and genetic advance to develop drought Tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(3): 4309-4323.
- Yurtsever, N., 1984. Deneysel İstatistik Metotları. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Genel Yayın No: 121, Teknik Yayın No: 56, Ankara.
- Zafar, S., Afzal, H., Ijaz, A., Mahmood, A., Ayub, A., Nayab, A., Hussain, S., UL-Hussan, M., Sabir, M.A., Zulfiqar, U., Zulfiqar, F., Moosa, A., 2023. Cotton and drought stress: An updated overview for improving stress tolerance. *South African Journal of Botany*, 161: 258-268.
- Zahra, N., Hafees, M.B., Kausar, A., Zeidi, M.A., Asekova, A., Siddique, K.H.M., Farooq, M., 2023. Plant photosynthetic responses under drought stress: Effects and management. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 209(5): 651-672.
- Zhou, G., Zhou, X., Nie, Y., Bai, S.H., Zhou, L., Shao, J., Cheng, W., Wang, J., Hu, F., Fu, Y., 2018. Drought induced changes in root biomass largely result from altered root morphological traits: Evidence from a synthesis of global field trials. *Plant Cell Environment*, 41(11): 2589-2599.
- Zonta, J.H., Brandao, Z.N., Rodrigues, J.I.S., Sofiatti, V., 2017. Cotton response to water deficits at different growth stages. *Revista Caatinga*, 30(4): 980-990.