

Salisilik asit ve silisyumun normal sulama ve su stresi koşullarında erken dönem pamuk gelişimine etkisi

Effect of salicylic acid and silicon on early stage cotton development under normal irrigation and water stress conditions

Rukiye KILIÇ¹, Çetin KARADEMİR¹, Emine KARADEMİR¹

¹Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye.

ARTICLE INFO	ÖZET
<p>Article history: Received / Geliş: 29.01.2024 Accepted / Kabul: 14.05.2024</p> <p>Anahtar Kelimeler: Pamuk Salisilik asit Silisyum Su stresi Bitki gelişimi</p> <p>Keywords: Cotton Salicylic acid Silicon Water stress Plant development</p> <p>✉Corresponding author/Sorumlu yazar: Emine KARADEMİR eminekarademir@siirt.edu.tr</p> <p>Makale Uluslararası Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 Lisansı kapsamında yayınlanmaktadır. Bu, orijinal makaleye uygun şekilde atıf yapılması şartıyla, eserin herhangi bir ortam veya formatta kopyalanmasını ve dağıtılmasını sağlar. Ancak, eserler ticari amaçlar için kullanılamaz. © Copyright 2022 by Mustafa Kemal University. Available on-line at https://dergipark.org.tr/tr/pub/mkutbd This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.</p> <p> </p>	<p>Bu araştırma pamukta normal sulama ve %50 su stresi koşullarında salisilik asit ve silisyum uygulamasının bitki gelişimine ve bazı fizyolojik parametrelere etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Denemede sulama, çeşit ve uygulama olmak üzere üç faktör ele alınmıştır. Materyal olarak üç pamuk çeşidi kullanılmış (Stoneville 468, DP 499 ve SJ-U 86), sulamanın iki seviyesi (Normal sulama ve % 50 su stresi), salisilik asit ile silisyum ise (Kontrol, SA, Sİ ve SA+Sİ) 4 uygulama olarak ele alınmıştır. Araştırmada gövde uzunluğu, gövde ağırlığı, boğum sayısı ve yaprak alanı normal sulama koşullarında, klorofil içeriği ve kök/gövde oranı ise su stresi koşullarında daha yüksek değer vermiştir. Çeşitler arasında kök uzunluğu, kök ağırlığı, gövde uzunluğu, gövde ağırlığı, boğum sayısı ve kanopi sıcaklığı bakımından önemli farklılıklar elde edilmiştir. Salisilik asit ve silisyum uygulamalarının kök uzunluğu ve gövde ağırlığı ile kök/gövde oranı üzerine önemli etkilerinin bulunduğu belirlenmiş, bu özellikler bakımından en yüksek değerler salisilik asit ve silisyumun birlikte uygulanması ile elde edilmiştir. Çalışma sonucunda su stresinin bitkide birçok büyüme göstergesini olumsuz etkilediği ve çeşitler arasında en iyi değerlerin SJ-U 86 çeşidinden elde edildiği tespit edilmiştir. Salisilik asit ve silisyumun birlikte uygulanması ile daha ümit var sonuçların elde edildiği, su stresi koşullarında SJ-U 86 çeşidinin tercih edilebileceği, ancak su stresinden kaçınılması gerektiği önerilmektedir.</p> <p>ABSTRACT</p> <p>This research was carried out to determine the effect of salicylic acid and silicon application on plant development and some physiological parameters in cotton under normal irrigation and 50% water stress conditions. Three factors were considered in the experiment: irrigation, variety and application. Three cotton varieties (Stoneville 468, DP 499 and SJ-U 86) were used as material, two levels of irrigation (Normal irrigation and 50% water stress), and four salicylic acid and silicon applications (Control, SA, SI and SA+SI) were performed. In the study, stem length, stem weight, number of nodes and leaf area showed higher values under normal irrigation, while chlorophyll content and root/shoot ratio showed higher values under water stress conditions. Significant differences were obtained among the varieties in terms of root length, root weight, stem length, stem weight, number of nodes and canopy temperature. It was determined that salicylic acid and silicon applications had significant effects on root length, stem weight and root/shoot ratio and the highest values in terms of these properties were obtained by applying salicylic acid and silicon together. As a result of the study, many growth indicators in the plant were negatively affected by water stress and the best values among the varieties were obtained from the SJ-U 86 variety. In the study, it is seen that more promising results are obtained by applying salicylic acid and silicon together, and it is suggested that the SJ-U 86 variety can be preferred under water stress conditions, but water stress should be avoided.</p>
<p>Cite/Atf</p>	<p>Kılıç, R., Karademir, Ç., & Karademir, E. (2024). Salisilik asit ve silisyumun normal sulama ve su stresi koşullarında erken dönem pamuk gelişimine etkisi. <i>Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi</i>, 29 (2), 534-551. https://doi.org/10.37908/mkutbd.1428057</p>

GİRİŞ

Bitkiler büyüme, gelişme ve üretim süreçlerinde birçok abiyotik stres faktörlerine maruz kalmakta ve karşılaştıkları çevresel stres nedeniyle optimum düzeyde verim ve kaliteye ulaşamamaktadırlar. Salisilik asit ve silisyumun bitkilerde stresin etkisini hafifletebildiği ve bitkileri daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir.

Salisilik asit bitkilerin stres koşullarına karşı toleransını arttıran, bitki tarafından hem doğal olarak sentezlenebilen, hem de dışarıdan bitkilere uygulanabilen bir asittir. Salisilik asit, bitki bağışıklığının farklı yönlerinde kritik rollere sahip, önemli bir bitki savunma hormonu olarak ortaya çıkmıştır (Zhang & Li, 2019; Sharma ve ark., 2022a). Salisilik asit bitki tarafından sentezlendiği veya dışarıdan uygulandığı zaman floem yoluyla bitkinin farklı organlarına ulaşarak bitki bünyesinde ilerler (Kleier, 1988; Rocher ve ark., 2006; Culpan & Arslan, 2018). Salisilik asit hem biyotik hem de abiyotik faktörlere karşı bitki toleransında merkezi bir role sahiptir; metal toksisitesi, kuraklık, yüksek tuzluluk, soğutma ve ısı gibi abiyotik stres faktörlerinin hafifletilmesinde rol oynar. Bitkiler aleminde her yerde bulunduğu tespit edilmiş, büyüme ve çiçeklenme ile çeşitli abiyotik ve biyotik streslere karşı rolü çeşitli çalışmalarla vurgulanmıştır (Raskin ve ark., 1990; Sharma ve ark. 2022b). Salisilik asit, stres koşullarında bitkilerde büyüme, gelişme ve savunma tepkilerinde kilit rol oynayan bir sinyal molekülü olarak kabul edilir (Dong ve ark., 2015).

Salisilik asidin stomaların kapanması için gerekli olan koruyucu hücrelerin işleyişinde ve fotosentezde hayati bir rolü bulunmaktadır (Melotto ve ark. 2006; Vlot ve ark., 2009; Sharma ve ark., 2022b). Abiyotik stres koşullarına maruz kalan bitkilerde, antioksidan aktivitenin artırılması, reaktif oksijen türleri (ROS) seviyelerinin düşürülmesi ve bodur büyümenin eski haline getirilmesi dahil olmak üzere birçok olumlu etkisi tespit edilmiştir. Böylece salisilik asidin bitkiler üzerindeki çoklu biyotik ve abiyotik stres etkilerinin hafifletilmesine yardımcı olduğu belirtilmiştir (El-Sherif, 2022). Salisilik asit ilk olarak söğüt kabuğundan izole edilmiş olup, bitkilerde endojen olarak sentezlenen yedi karbon içeren fenolik bir bileşiktir. Salisilik asidin etkisi, bitki türüne, çevresel koşullara, uygulanan yöntem ve salisilik asit uygulamasının dozuna bağlıdır. Yetersiz çevresel koşullar, bu koşullara karşı koruma sağlayan endojen salisilik asit seviyelerini artırabilir. Dahası, dışarıdan uygulanan salisilik asit, farklı streslerin olumsuz etkilerini hafifletir ve bitkilerin fotosentetik verimliliğini ve değişen çevre koşullarına uyumlarını geliştirir (Janda ve ark., 2014; Amer ve ark., 2022).

Silisyum (Si) gibi abiyotik stres uyarıcıları büyümeyi, verimi ve bitki üretiminin kalitesini arttırmak için kullanılabilir, çünkü Si enzimlerin etkisinin yanı sıra osmoregülatör olarak ve kloroplast pigment sentezi dahil olmak üzere bitkinin fizyolojisi üzerinde etki eder ve reaktif oksijen türlerini (ROS) ortadan kaldırmak için antioksidan savunma mekanizmasını aktive eder (Ferraz ve ark., 2021; Shahzad ve ark., 2022). Silisyum dünya yüzeyinde oksijenden sonra en çok bulunan ikinci element olmasına rağmen, bitki biyolojisindeki rolü henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Silisyum toprakta silika ve silikatlar halinde bulunur. Toprakta bulunan silisyumun büyük bir kısmı bitkilerin alamadığı silikon dioksit (SiO₂) formundadır. Bol miktarda bulunabilmesinin yanı sıra, silisyumun toprakta bitkiler tarafından bulunabilen formu çoğunlukla sınırlayıcı bir faktördür. Bu nedenle bitkilerde silisyum alınımını ve silisyumdan üretilen faydaları geliştirmek için, dokularda silisyum alınımının ve taşınmasının moleküler temelini anlaması büyük değere sahiptir (Zargar ve ark., 2019).

Magnezyum, kalsiyum ve alüminyum gibi bazı mineraller silisyumla birleşerek doğada silikatlar oluştururlar. Bitki kökleri aktif süreç yoluyla silisik asit formundaki silisyumu alır (Shahzad ve ark., 2022). Ancak türe ve kök alım mekanizmasına bağlı olarak birikim kuru ağırlığın %0.1-10'u arasında değişebilir. Silisyum ayrıca kök tüylerinden önce yan köklerde emilir ve daha sonra terleme yoluyla sürgünlere taşınır. Taşınan silisyum sürgünlerde amorf silika formunda biriktirilir. Bitkilerdeki silisyum fazlalığı ciddi hasara neden olmaz ve muhtemelen birden fazla fayda sağlayabilir (Ma & Yamaji, 2006). Silisyum, özellikle stres koşulları altında bitki büyümesine çeşitli faydalar sağlamadaki çok yönlü rolü nedeniyle çok yetenekli bir mikro besin maddesi olarak kabul edilir (Zargar ve ark., 2012). Silisyum, bitkilerin tuz ve kuraklık stresine, çeşitli patojenlere, hastalık ve zararlılara, farklı ağır metallerle karşı toleransını artırma potansiyeline sahiptir ve aynı zamanda ürünün üretimini ve kalitesini de iyileştirir. Kuraklık stresi

ürünün büyümesini ve verimini de azaltır ve küresel ısınma nedeniyle etkisi giderek artmaktadır. Silisyum nanopartikülleri su tutma kapasitesini artırarak kuraklık stresini hafifletmede de etkilidir. Bitkilerde hücre duvarını güçlendirerek onların savunma mekanizmasını arttırmaktadır (Laing & Adandonon, 2008). Yapılan araştırmalarda silisyum kullanımı ile zararlıların azaldığı yönünde önemli bulgular elde edilmiştir (Ma, 2004; Samal ve ark., 2023) Silisyum uygulaması yoluyla artan kuraklık toleransı, bitkilerde stoma iletkenliğini ve fotosentez mekanizmasını daha fazla düzenleyebilmektedir (Koentrojo ve ark., 2020). Silisyum emilimi, farklı biyotik ve abiyotik stresler altındaki farklı genetik davranışlar nedeniyle türler veya bireyler arasında farklılık gösterebilir. Tuz stresi altındaki tarla bitkilerinde silisyum uygulaması üzerine pek çok çalışma yapılmıştır (Kazemi ve ark., 2012).

Barros ve ark. (2019), pamuk bitkisine salisilik asit (210 mg/L) ve silisyum (3.6 g/L) uyguladıklarını, uygulamayı ayrı ayrı ve birlikte yeşil aksama uyguladıklarını, salisilik asit ve silisyum uygulamasının su kullanım etkinliğini arttırarak fotosentez ve stoma iletkenliği gibi fizyolojik parametreleri desteklediğini, pamuk verimindeki artışa yol açan koza sayısı, koza ağırlığı ve bitki boyunda artış sağladığını, verimde kontrol uygulamasına kıyasla önemli düzeyde artış sağladığını, ancak salisilik asidin tek başına kullanılmasıyla önemli bir verim artışı sağlamadığını bildirmişlerdir.

Bu çalışma pamukta su stresi ve normal sulama koşullarında salisilik asit ve silisyumun tek başına ve birlikte uygulanmasıyla 3 farklı pamuk çeşidinde erken dönem bitki gelişimine ve fizyolojik parametrelere etkisini belirlemek ve elde edilen sonuçlara göre abiyotik stres koşullarında yürütülecek başka araştırmalarda bu bulgulardan yararlanabilmek amacıyla yürütülmüştür.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümüne ait laboratuvarında tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede sulama, çeşit ve uygulama olmak üzere üç faktör ele alınmıştır. Çalışmada üç pamuk çeşidi materyal olarak kullanılmış (Stoneville 468, DP 499 ve SJ-U 86), sulamanın iki seviyesi ele alınmış (Normal sulama ve % 50 su stresi), salisilik asit ile silisyum ise (Kontrol, SA, Si ve SA+Si) olmak üzere 4 uygulama olarak incelenmiştir.

Çalışmada her bitkiye bitkiler 3 yapraklı ve 5 yapraklı dönemde iken (Kontrol, SA, Si ve SA + Si) yapraklardan uygulanmıştır. Silisyum uygulaması %26 SiO₂ ve %13 K₂O içerikli potasyum silikat, önerilen dozda (2ml/L), salisilik asit (SA) ise 0.5 mM oranında hazırlanmıştır. SA+Si ise SA (0.25 mM) + Si (1 ml/L) oranlarında uygulanmış, kontrol uygulamasında ise sadece saf su kullanılmıştır.

Pamuk çeşitlerine ait tohumların ekim işlemi 9 cm çapında ve 21 cm yükseklikteki saksılara, 2:1 oranında torf-perlit karışımından oluşan harca su tutma kapasitesi belirlendikten sonra yapılmıştır. Su tutma kapasitesini belirlemek için torf ve perlit karışımı ile doldurulmuş saksılar uzun süre su altında tutulmuş ve ardından 1 gün üstü kapatılarak bekletilmiştir. Bekletilerek drenaj sağlandıktan (24 saat) sonra yaş ağırlığı tartılıp 105 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulup 24 saat bekletildikten sonra, kuru ağırlığı tartılmış ve tutulan toplam su miktarı hesaplanmıştır. Aradaki fark su tutma kapasitesi olarak belirlenmiştir (Verdonck ve Gabriels, 1992). Her bir saksıya 3 tohum olacak şekilde ekim yapılmıştır. Tohumlar çimlendikten sonra bitki sayısı bire indirilerek stres uygulamasına başlanmıştır. Saksılar, 16/8 saat fotoperiyotta ve 25/20 °C (gündüz/gece) sıcaklık koşullarındaki ve % 40±2 nem koşullarında iklim kabininde yetiştirilmiştir. Su tutma kapasitesi %100 (normal sulama) ve %50 (su stresi) olacak şekilde sulama yapılmıştır. Sulamalar haftada bir olacak şekilde saksı ağırlığına göre 5 kez yapılmıştır. Uygulamalar 2 kez yapraklara sprey şeklinde yapılmıştır. İlk uygulama bitkiler 3 yapraklı dönemde iken uygulanmış, ikinci uygulama ise bitkiler 5 yapraklı dönemde iken uygulama yapılmıştır. Çalışmada bitkiler 2 aylık bir gelişme periyodundan sonra bitki gelişimleri incelenmiştir. İncelenen özelliklere ait detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

İncelenen özellikler

Kök uzunluğu, bitki topraktan çıkarıldıktan sonra kök bölgesinin toprak yüzeyine gelen noktaya kadar olan kısmı kesilmiş ve kök bölgesi bu noktadan en alt kök uzantısına kadar cm cinsinden ölçülmüştür.

Kök ağırlığı, bitkinin toprak altında kalan kısmı kök bölgesi olarak değerlendirilmiş ve hassas terazide tartılıp g/bitki cinsinden hesaplanmıştır.

Gövde uzunluğu, toprak seviyesinden bitkilerin en üst seviyesindeki yaprak uzantısına kadar olan mesafe gövde uzunluğu olarak cm cinsinden ölçülmüştür.

Gövde ağırlığı, bitkinin toprak üstünde kalan kısmı gövde bölgesi olarak değerlendirilmiş ve hassas terazide tartılıp g/bitki cinsinden hesaplanmıştır.

Kök/Gövde oranı, kök uzunluğunun gövde uzunluğuna oranlanması ile elde edilmiştir.

Boğum Sayısı, ana gövde üzerinde oluşan boğumlar adet olarak sayılmış ve ortalaması alınmıştır.

Yaprak alanı, bitkinin tüm yaprakları tarayıcıda tarandıktan sonra Image j programıyla cm²/bitki cinsinden hesaplanmıştır.

Kanopi sıcaklığı, bitki sıcaklığı veya kanopi sıcaklığı Infrared termometre (IR 2956 IR Model) yardımı ile belirlenmiştir. Alet bitkinin 30 cm üzerinden ve 30°C açı ile tutularak veriler alınmıştır.

Klorofil içeriği, Minolta SPAD-502 aleti yardımı ile belirlenmiştir. Ölçümlerde bitkinin en üst kısmında bulunan yeni açmış ve tam gelişmiş 3. yaprağında klorofil içeriği belirlenmiştir.

Deneme sonucunda elde edilen veriler tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur. İstatistik analizler JMP pro 14 paket programı yardımı ile yapılmış, ortalamaların karşılaştırılmasında ise LSD_(0.05) testi kullanılmıştır.



Şekil 1. Pamukta yaprakтан uygulama ve fide gelişimi
Figure 1. Foliar application and seedling development in cotton



Şekil 2. Kanopi sıcaklık ölçümü, kökleri yıkanmış fide ve yaprak alanı ölçümü

Figure 2. Canopy temperature measurement, root washed seedling and leaf area measurement

BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada incelenen özelliklere ait elde edilen ortalama değerler ve oluşan gruplamalar Çizelge 1’de verilmiştir.

Kök uzunluğu (cm)

Çizelge 1’den kök uzunluğu değerlerinin 27.77 ile 31.00 cm arasında değiştiği görülmektedir. Su stresi ve normal sulamanın kök uzunluğuna etkisinin önemli olmadığı görülürken, çeşit ve uygulamaların kök uzunluğuna önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir. Çeşitler arasında %1 önem düzeyinde istatistiki farklılıkların elde edildiği, en yüksek kök uzunluğu değerinin SJ-U 86 çeşidinden elde edildiği (30.87 cm) ve bu çeşidin a grubunda yer aldığı görülmektedir. DP 499 ve STV 468 çeşitlerinin aynı istatistiki grupta yer aldıkları belirlenmiştir. Salisilik asit ve silisyum uygulamalarının kök uzunluğuna etkisinin %5 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. En yüksek kök uzunluğu değeri SA+Sİ uygulamasından elde edilirken (31.00 cm), en düşük değer SA uygulamasından (27.77 cm) elde edilmiştir. Kök uzunluğu üzerine sulama x çeşit ve çeşit x uygulama interaksiyonunun önemli olduğu Çizelge 1 de görülmektedir. Sulama x çeşit interaksiyonu incelendiğinde en yüksek kök uzunluğu değerinin su stresi koşullarında SJ-U 86 çeşidinden elde edildiği, en düşük değer ise normal sulama koşullarında Stoneville 468 çeşidinden elde edildiği Şekil 3’te görülmektedir. Çeşit x uygulama interaksiyonu dikkate alındığında en yüksek kök uzunluğu değerinin 32.33 cm ile SJ-U 86 çeşidinin kontrol uygulamasından elde edildiği, en düşük değer ise 25.00 cm ile Stoneville 468 çeşidinde SA uygulamasından elde edildiği Şekil 4’te görülmektedir.

Çizelge 1. Çalışmada incelenen özelliklere ait elde edilen değerler ve oluşan gruplamalar

Table 1. Obtained values and groupings of the traits examined in the study

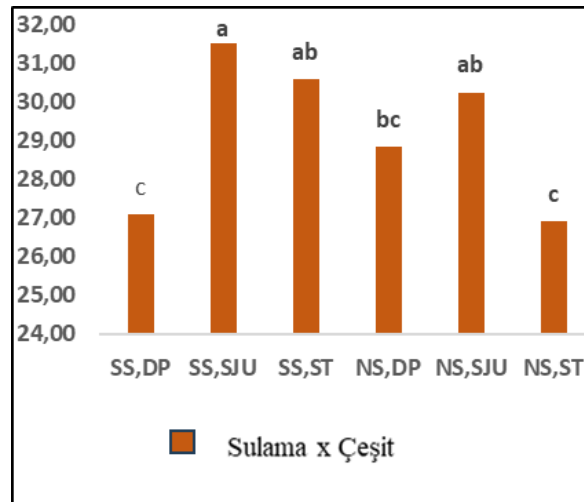
	Kök Uzunluğu	Kök Ağırlığı	Gövde Uzunluğu	Gövde Ağırlığı	Kök/Gövde Oranı	Boğum Sayısı	Yaprak Alanı	Kanopi Sıcaklığı	SPAD Değeri
Sulama									
Su stresi (%50)	29.72	1.95	16.34b	7.67b	1.84 a	4.33b	233.81b	21.59	46.50 a
Normal sulama (%100)	28.66	2.17	18.35a	9.74a	1.57 b	5.02a	298.80a	21.48	42.81 b
Çeşit									
DP 499	27.95b	2.14a	16.58b	7.61 b	1.72	5.00a	250.69	21.76a	44.14
SJ-U 86	30.87a	2.26a	18.92a	9.53 a	1.65	4.37b	273.00	21.43b	45.70
ST 468	28.75b	1.77b	16.53b	8.99 a	1.76	4.66ab	275.21	21.41b	44.12

Çizelge 1 (devamı). Çalışmada incelenen özelliklere ait elde edilen değerler ve oluşan gruplamalar

Table 1 (continued). Obtained values and groupings of the traits examined in the study

Uygulama									
Kontrol	29.50ab	2.07	17.40	8.97a	1.70 ab	4.72	261.35	21.49	45.10
SA	27.77b	2.08	17.76	7.79b	1.59 b	4.50	264.49	21.64	45.23
Si	28.50b	2.08	16.97	9.02a	1.70 ab	4.83	264.97	21.49	44.69
SA+Si	31.00a	2.01	17.25	9.06a	1.84 a	4.66	274.40	21.52	43.59
Genel Ortalama	29.19	2.06	17.34	8.71	1.70	4.68	266.30	21.54	44.65
CV (%)	10.65	23.30	8.65	16.53	14.70	12.82	14.67	1.57	7.99
LSD _{0.05} S.	Ö.D.	Ö.D.	0.70**	0.68**	0.12**	0.28**	18.51**	Ö.D.	1.69**
LSD _{0.05} Ç.	1.80**	0.26**	0.86**	0.82**	Ö.D.	0.34**	Ö.D.	0.18**	Ö.D.
LSD _{0.05} U.	2.07*	Ö.D.	Ö.D.	0.96*	0.16*	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.
LSD _{0.05} S. x Ç.	2.55*	Ö.D.	1.22*	Ö.D.	Ö.D.	0.48*	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.
LSD _{0.05} Ç. x U.	3.61*	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.
LSD _{0.05} S. x U.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.
LSD _{0.05} S. x Ç. x U.	Ö.D.	Ö.D.	2.47**	2.37*	Ö.D.	Ö.D.	64.13*	Ö.D.	Ö.D.

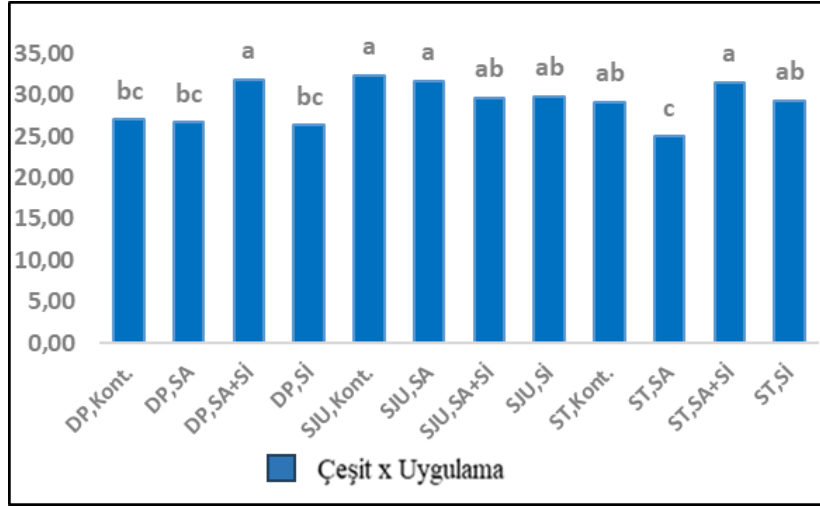
LSD; * ise %5'e göre önemli, ** ise %1'e göre önemli, CV: Varyasyon Katsayısı, S: Sulama, Ç: Çeşit, U: Uygulama



*: SS: Su stresi (% 50), NS: Normal sulama (tam sulama), DP: DP 499, SJU: SJ-U 86, ST: Stoneville 468

Şekil 3. Kök uzunluğunda sulama x çeşit interaksyonu

Figure 3. Irrigation x variety interaction in root length



*: SS: Su stresi (% 50), NS: Normal sulama (tam sulama), DP: DP 499, SJU: SJ-U 86, ST: Stoneville 468

Şekil 4. Kök uzunluğunda çeşit x uygulama interaksiyonu

Figure 4. Variety x treatment interaction in root length

İnteraksiyonların önemli olması çeşitlerin sulamalara ve uygulamalara tepkilerinin değişebileceğini göstermektedir. Çalışmada su stresi ile normal sulama arasında kök uzunluğu bakımından önemli bir farklılık elde edilememiştir. Luo ve ark. (2016), hafif ve başlangıç aşamasındaki kuraklık stresinin pamukta kök uzunluğunu arttırdığını, ancak uzun süreli su eksikliğinin kontrol bitkilerle karşılaştırıldığında kök aktivitesini azalttığını bildirmiştir. Veesar ve ark. (2020); Arif ve ark. (2023) kuraklık stresinin kök uzunluğunu azalttığını belirtmişlerdir. Mahmood ve ark. (2022), kök uzunluğu, kök hacmi ve kök sayısını içeren özelliklerin, toleranslı genotiplerde önemli ölçüde daha yüksek diferansiyel tepkilere sahip en iyi göstergeler olduğunu, bu kök büyüme özelliklerinin, fotosentat ve prolin birikimiyle birleştiğinde, aynı zamanda kuraklık stresine karşı direncin de temel göstergeleri olduğunu bildirmişlerdir. Kök uzunluğunun su stresi koşullarında bitkinin daha derin katmanlardan suyu almasına yardımcı olabildiği de belirtilmektedir (Ludlow & Muchow, 1990). Pamuk bitkilerinde kuraklık stresi ve ilgili sinyalleme ve düzenleyici yollar tarafından indüklenen proteomik, transkriptomik ve diğer omikler tarafından çeşitli genler tanımlanmış ve karakterize edilmiştir. Pamuk bitkisinde özelliklerin anlaşılması, kök mimarisi, stoma iletkenliği, fotosentez ve kuraklık stresindeki ozmotik düzenlemenin ve pamuğun kuraklığa tolerans kabiliyetinin artırılmasının önemli olduğu bildirilmektedir (Ullah ve ark., 2017).

Silisyum ile ilgili yapılan çalışmalar silisyumun birçok üründe kök uzunluğunu arttırdığını, kök uzaması ve ikincil kök özelliklerinin geliştirilmesinin, stres koşulları altında bitkinin gelişimine katkıda bulunacağı bildirilmiştir (Tripathi ve ark., 2021). Salisilik asidin düşük konsantrasyonu kök büyümesini destekleyebilirken, yüksek SA konsantrasyonu kök büyümesini engelleyebilmektedir (Cao ve ark., 2022). Salisilik asidin 0.5 mM dozunun kök uzunluğunu artırdığı, 0.5 ile 3.0 mM dozunun ise kök uzunluğunu azalttığı yönünde araştırma sonuçları bulunmaktadır (Bagautdinova ve ark., 2022). Yürütülen bu çalışmada en yüksek kök uzunluğunun salisilik asit ve silisyumun birlikte uygulanması (SA+ Sİ) ile elde edildiği görülmektedir, bu durum kök uzunluğunu arttırmak için salisilik asit ve silisyumun birlikte kullanılabileceğini göstermektedir.

Kök ağırlığı (g)

Kök ağırlığı değerlerinin 1.77 ile 2.26 g arasında değiştiği Çizelge 1'de görülmektedir. Bu özellik bakımından çeşitler arasındaki farklılığın %1 düzeyinde önemli olduğu, sulama ve uygulamanın ise önemli olmadığı belirlenmiştir. Çeşitler arasında en yüksek kök ağırlığı değeri SJ-U 86 çeşidinden elde edilmiş (2.26 g) ve bu çeşidi DP 499 çeşidi (2.14 g) takip ederek aynı istatistiki grupta yer almışlardır. En düşük kök ağırlığı değeri ise Stoneville 468 çeşidinden

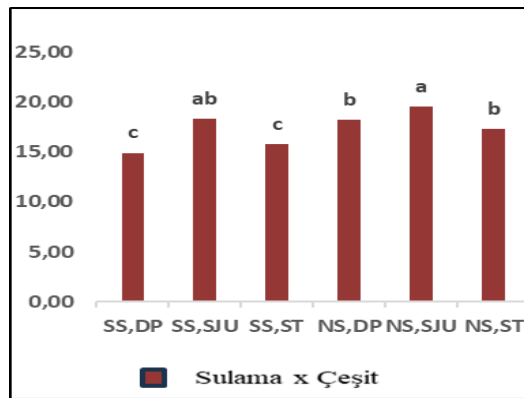
(1.77 g) elde edilmiştir. Kök ağırlığı bakımından sulama x çeşit, çeşit x uygulama, sulama x uygulama ve sulama x çeşit x uygulama interaksiyonlarının önemli olmadığı belirlenmiştir.

Bitkilerin kuraklığa tepkisinin belirlenmesinde kök özelliklerinin önemli olduğu bilinmektedir, su eksikliği yalnızca sürgünlerin büyüme hızını, bitki boyunu ve verimi azaltmakla kalmaz, aynı zamanda kök büyümesini de etkiler (Malik ve ark., 1979; Başal & Ünay, 2006). Taze kök ağırlığının su stresinden olumsuz yönde etkilendiği (Jaafar ve ark., 2021) tarafından da belirtilmiştir. Kuraklık stresi koşullarında kök büyümesinin sürgün büyümesine göre daha az hassas olduğu, kuraklık stresine maruz kalan pamuk fidelerinin kök uzunluğunda bir miktar artış olmakla birlikte kök çapında azalma görüldüğü bildirilmiştir (Pace ve ark., 1999). Çalışmada normal sulama su stresi ile kıyaslandığında daha yüksek kök ağırlığı elde edilmesine rağmen, iki uygulama arasındaki farklılığın istatistiki olarak önemli olmadığı görülmektedir.

Silisyum ve salisilik asit uygulamalarının kök ağırlığı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar silisyumun bitkide kök kuru ağırlığını arttırdığı, besin ve su alınımını destekleyerek kök büyümesini ve gelişimini desteklediği, ağır metal stresi koşullarında köklerin hem taze hem de kuru ağırlığını arttırdığı yönündedir (Tripathi ve ark., 2021). Hussein ve ark. (2012), 200 ppm dozunda uygulanan salisilik asit uygulaması ile pamukta kök kuru ağırlığının arttığını bildiren bulguları ile araştırma sonuçlarının farklılık gösterdiği görülmektedir. Mısır bitkisinde yapılan çalışmalarda SA'in yaprağa püskürtülmesi ile bitkinin dört yapraklı döneminde kuraklık stresinin etkilerini değiştirmek için oldukça ekonomik ve etkili bir yol olabileceği belirtilmiştir (Latif ve ark., 2016).

Gövde uzunluğu (cm)

Gövde uzunluğu değerlerinin 16.34 ile 18.92 cm arasında değiştiği Çizelge 1'de görülmektedir. Sulama, çeşit, sulama x çeşit ve sulama x çeşit x uygulama interaksiyonunun gövde uzunluğunda önemli olduğu, uygulama, çeşit x uygulama ve sulama x uygulama interaksiyonunun ise önemli olmadığı aynı Çizelge'den izlenebilmektedir. Sulamanın gövde uzunluğuna önemli etkisinin olduğu belirlenmiş ve normal sulamada 18.35 cm, su stresinde ise 16.34 cm gövde uzunluğu değeri elde edilmiştir. Normal sulama a grubunda yer alırken, su stresi b grubunda yer alarak 2 farklı istatistiki grup oluşmuştur. Gövde uzunluğu bakımından çeşitler arasında önemli farklılıkların olduğu belirlenmiş, SJ-U 86 çeşidi (18.92 cm) gövde uzunluğunda en yüksek değeri göstererek a grubunda yer almış, DP 499 ve Stoneville 468 çeşitleri benzer değerler göstererek b grubunu paylaşmışlardır. Salisilik asit ve silisyumun gövde uzunluğuna etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Bununla birlikte sulama x çeşit ve sulama x çeşit x uygulama interaksiyonunun önemli olduğu görülmektedir. Sulama x çeşit interaksiyonu incelendiğinde normal sulama koşullarında SJ-U 86 çeşidinin en yüksek gövde uzunluğu değerini gösterdiği, en düşük değer ise su stresi koşullarında DP 499 çeşidinden elde edildiği Şekil 5'de görülmektedir.

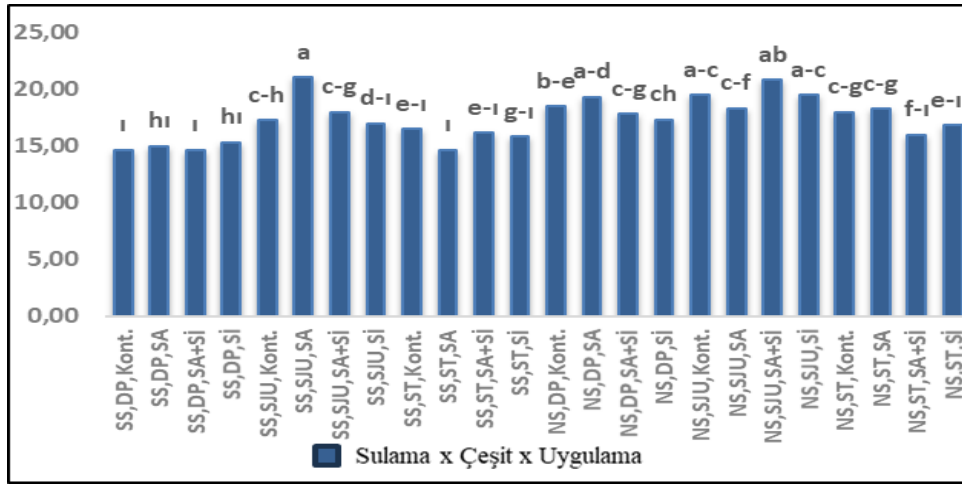


*: SS: Su stresi (% 50), NS: Normal sulama (tam sulama), DP: DP 499, SJU: SJ-U 86, ST: Stoneville 468

Şekil 5. Gövde uzunluğunda sulama x çeşit interaksiyonu

Figure 5. Irrigation x variety interaction in shoot length

Gövde uzunluğu bakımından sulama x çeşit x uygulama interaksiyonunun önemli olduğu belirlenmiş, en yüksek değer su stresi koşullarında SJ-U 86 çeşidinde ve SA uygulamasından elde edildiği (21.00 cm), en düşük değer ise (14.67 cm) ile su stresi koşullarında Stoneville 468 çeşidinde SA uygulaması, su stresi koşullarında DP 499 çeşidinde SA+Sİ uygulaması ve su stresi koşullarında DP 499 çeşidi ve kontrol uygulamalarından elde edildiği tespit edilmiştir (Şekil 6).



*: SS: Su stresi (% 50), NS: Normal sulama (tam sulama), DP: DP 499, SJU: SJ-U 86, ST: Stoneville 468

Şekil 6. Gövde uzunluğunda sulama x çeşit x uygulama interaksiyonu

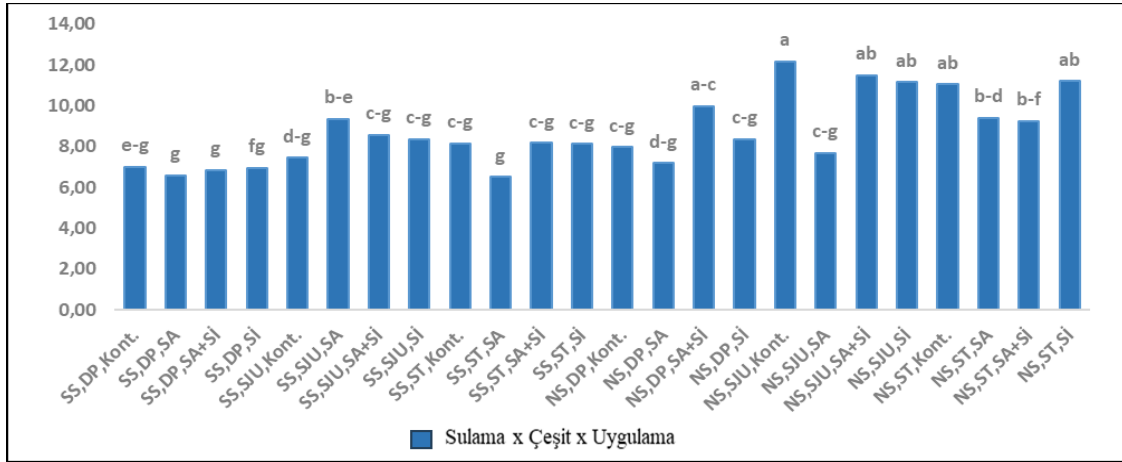
Figure 6. Irrigation x variety x treatment interaction in shoot length

Önceki çalışmalar gövde uzunluğu ve kök uzunluğunun abiyotik stres koşullarında özellikle kuraklık stresinden etkilendiğini, gövde uzunluğunu ve bitkinin çıkış gücünü etkileyen parametrenin kök gelişimi olduğunu göstermiştir (Başal & Ünay, 2006). Su stresinin pamukta bitki boyu/üst aksam oranını azalttığını belirten (Veesar ve ark., 2020; Loka ve ark., 2011; Mahmood ve ark., 2022; Arif ve ark., 2023) ile benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. Santos ve ark. (2020) silisyumun yeşil aksama uygulandığında gövde uzunluğunda (bitki boyunda) önemli bir fark elde edilemediğini, ancak toprağa uygulandığında önemli bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Salisilik asidin bitki boyuna önemli bir etkisinin olduğunu bildiren (Barros ve ark., 2019; Borzouyi ve ark., 2021; Heidari ve ark., 2022)'nin bulgularından farklı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

Gövde ağırlığı (g)

Çalışmada gövde ağırlığı değerlerinin 7.61 ile 9.74 g arasında değiştiği görülmektedir. Bu özellik bakımından sulama, çeşit, uygulama ile sulama x çeşit x uygulama interaksiyonunun önemli olduğu görülmektedir. Normal sulama koşullarında 9.74 g, su stresi uygulandığında ise 7.67 g gövde ağırlığı değeri elde edilmiş ve iki farklı istatistikî grup oluşmuştur. Su stresi gövde ağırlığında % 21.21 oranında bir azalışa yol açmıştır. Çeşitler arasındaki farklılığın da önemli olduğu görülmekte olup, en yüksek değer SJ-U 86 çeşidinden (9.53 g) elde edilmiş, bu çeşidi Stoneville 468 çeşidi (8.99 g) takip ederek aynı istatistikî grupta yer almışlardır. En düşük değer ise DP 499 çeşidinden (7.61 g) elde edilmiştir. Salisilik asit ve silisyum uygulamaları incelendiğinde SA+Sİ uygulamasından en yüksek gövde ağırlığı değerinin elde edildiği (9.06 g), en düşük değer ise SA uygulamasından elde edildiği (7.79 g) görülmektedir (Çizelge 1). Gövde ağırlığı bakımından sulama x çeşit x uygulama interaksiyonu önemli bulunmuştur. En yüksek değer normal sulama koşullarında SJ-U 86 çeşidinin kontrol uygulamasından elde edildiği (12.19 g), en düşük değer ise su stresi koşullarında Stoneville 468 çeşidinin SA uygulamasından elde edildiği (6.52 g) belirlenmiştir (Şekil 7). Gövde ağırlığının su stresinden olumsuz etkilendiği birçok çalışmada bildirilmiştir (Loka ve ark., 2011; Başal & Ünay, 2006; Wang ve ark., 2016; Jaafar ve ark., 2021; Arif ve ark., 2023).

Hussein ve ark. (2012), salisilik asidin gövde ağırlığını arttırdığını bildirmişlerdir. Kaydan ve ark. (2007) buğdayda yapılan çalışmalarda da salisilik asidin gövde ağırlığını arttırdığını rapor etmişlerdir. Silisyum ile ilgili yapılan araştırmalar silisyumun gövde ağırlığını arttırdığı yönündedir (Jam ve ark., 2023).



*: SS: Su stresi (% 50), NS: Normal sulama (tam sulama), DP: DP 499, SJU: SJ-U 86, ST: Stoneville 468

Şekil 7. Gövde ağırlığı özelliğinde sulama x çeşit x uygulama interaksiyonu

Figure 7. Irrigation x variety x treatment interaction in shoot weight

Kök gövde oranı

Denemede kök gövde oranının 1.57 ile 1.84 arasında değiştiği, sulamalar ve uygulamalar arasındaki farklılığın istatistiki olarak önemli olduğu Çizelge 1’de görülmektedir. Normal sulamada kök gövde oranı 1.57 iken, su stresinde 1.84 olduğu, en yüksek kök gövde oranının su stresi uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir. Su stresi koşullarında kökler daha derinlere inerken kök uzunluğu normal sulamaya göre daha yüksek değer göstermiş, bu da kök gövde oranının daha yüksek olmasına yol açmıştır. Uygulamalar arasında da önemli farklılığın bulunduğu, en yüksek değer SA + Sİ uygulaması ile edildiği görülmektedir.

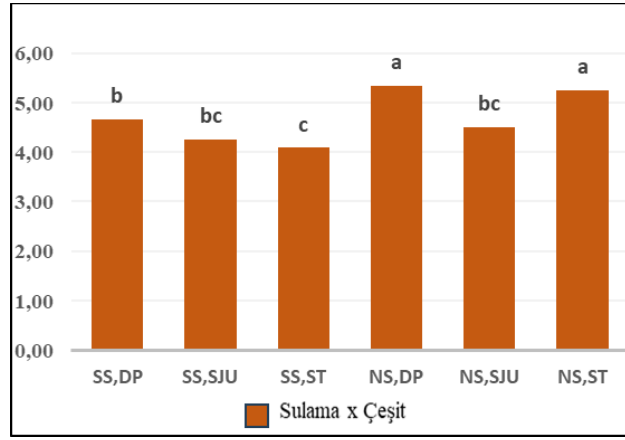
Wang ve ark. (2021) kök gövde oranı üzerine silisyumun önemli bir etkisinin olmadığını, ancak silisyumun kuraklık stresi koşullarında su alımını arttırdığını bildirmişlerdir. Zhou ve ark. (2018)’nin yaptığı çalışmada kuraklık stresi koşullarında kök-gövde oranının arttığı bildirilmiştir. Benzer bulgular Kou ve ark. (2022) tarafından da belirtilmiştir. Kuraklık stresi koşulları altında kök-gövde oranının arttığı birçok çalışmada rapor edilmiştir, bu durumun verimli su ve besin alımı için kaynağın köke tahsis edilmesine olanak tanıyan bir kuraklıktan kaçınma stratejisi olduğu belirtilmektedir. Ancak literatürlerde bu oranın azaldığı da rapor edilmiştir (Pace ve ark., 1999).

Boğum sayısı (adet/bitki)

Çizelge 1’den bitkide boğum sayısı değerlerinin 4.33 ile 5.02 adet/bitki arasında değiştiği görülmektedir. Bu özellik bakımından sulama, çeşit ve sulama x çeşit interaksiyonunun önemli olduğu belirlenmiştir. Normal sulama koşullarında 5.02 adet, su stresi koşullarında ise 4.33 adet boğum sayısı değeri elde edilmiştir. Su stresi koşullarında bitkide oluşan boğum sayısı % 13,75 oranında azalmıştır. Çeşitler arasında boğum sayısı bakımından önemli farklılıklar elde edilmiş olup, DP 499 çeşidinden en yüksek (5.00 adet/bitki), SJ-U 86 çeşidinden en düşük değer (4.37 adet/boğum) elde edilmiştir. Sulama x çeşit interaksiyonu incelendiğinde en yüksek değer normal sulama koşullarında DP 499 çeşidinden elde edildiği (5.33 adet/bitki), en düşük değer ise su stresi koşullarında Stoneville 468 çeşidinden elde edildiği (4.08 adet/bitki) izlenebilmektedir (Şekil 8).

Kuraklık stresinin boğum sayısı değerinde azalmaya yol açtığı görülmektedir. Benzer bulgular (Gerik ve ark., 1996; Saleem ve ark., 2016; Mamatha & Jaybhaye, 2018, Ayele ve ark., 2020; Arif ve ark., 2023) tarafından da bildirilmiştir. Pace ve ark. (1999), normal sulamada 9.40, su stresinde 7.80 adet boğum sayını elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Salisilik asit ve silisyum uygulamalarının boğum sayısında önemli bir farklılığa yol açmadığı izlenebilmektedir. Salisilik asidin boğum sayısında önemli bir farklılığa yol açmadığı (Aziz ve ark., 2018; Kassem, 2008; Kılıç & Karademir, 2023) tarafından da bildirilmiştir.



*: SS: Su stresi (% 50), NS: Normal sulama (tam sulama), DP: DP 499, SJU: SJ-U 86, ST: Stoneville 468

Şekil 8. Boğum sayısı özelliğinde sulama x çeşit interaksiyonu

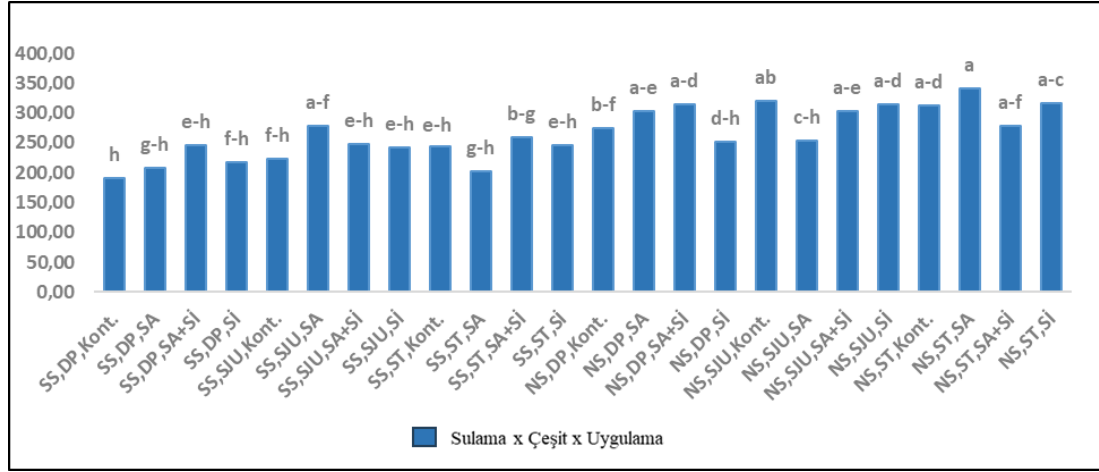
Figure 8. Irrigation x variety interaction in number of node

Yaprak alanı (cm²)

Yaprak alanı değerlerinin 233.81 ile 298.80 cm² arasında değiştiği Çizelge 1' den izlenebilmektedir. Su stresi ve normal sulamanın bu özellik bakımından önemli bir farklılığa yol açtığı görülmektedir. Normal sulama koşullarında 298.80 cm² yaprak alanı değeri elde edilirken, su stresi koşullarında yaprak alanının 233.81 cm² olduğu belirlenmiştir. Normal sulama ile kıyaslandığında su stresinin yaprak alanında % 21.75 oranında azalmaya yol açtığı tespit edilmiştir. Çalışmada çeşitler arasındaki ve uygulamalar arasındaki farklılığın önemli olmadığı, ancak sulama x çeşit x uygulama interaksiyonunun önemli olduğu görülmektedir. En yüksek yaprak alanı normal sulama koşullarında Stoneville 468 çeşidi ve SA uygulamasından elde edilirken (341.35 cm²), en düşük değer su stresi koşullarında DP 499 çeşidinden ve kontrol uygulamadan elde edildiği (190.79 cm²) belirlenmiştir (Şekil 9).

Su stresinin yaprak alanında azalmaya yol açtığı (Pace ve ark., 1999; Pettigrew, 2004; Arif ve ark., 2023) tarafından da bildirilmiştir. Karademir ve ark. (2012) su stresinin yaprak alanında %30 oranında azalmaya yol açtığını bildirirken, Ödemiş ve Candemir, 2023, yürüttükleri iki yıllık çalışmada su stresinin yaprak alanında ilk yıl %40, ikinci yıl ise % 22 oranında bir azalışa yol açtığını bildirmişlerdir.

Hussein ve ark. (2012) salisilik asit kullanımı ile yaprak alanında önemli bir farklılığın olmadığını bildirirken, silisyumun yaprak alanını % 5.37 oranında arttırdığını belirtmişlerdir. Liang ve ark. (2023), silisyumda optimal etkinin 100 mg L⁻¹ dozunda SiO₂-NPs (silicon dioksit nanopartiküllerinin uygulanması) ile elde edildiğini ve uygulanması ile yaprak alanının arttığı belirtilmiştir. Jam ve ark. (2003) silisyum uygulamasının yaprak alanını arttırdığını bildirmişlerdir.



*: SS: Su stresi (% 50), NS: Normal sulama (tam sulama), DP: DP 499, SJU: SJ-U 86, ST: Stoneville 468

Şekil 9. Yaprak alanı özelliğinde sulama x çeşit x uygulama interaksiyonu

Figure 9. Irrigation x variety x treatment interaction in leaf area

Kanopi sıcaklığı (°C)

Denemede elde edilen kanopi/bitki sıcaklığı değerlerinin 21.41 ile 21.76 arasında değiştiği Çizelge 1'den izlenebilmektedir. Bu özellik bakımından sulama ve uygulamanın önemli olmadığı belirlenirken, çeşitler arasında önemli istatistiksel farklılıklar elde edilmiştir. Çeşitler arasında en yüksek kanopi sıcaklığı değeri DP 499 çeşidinden (21.76) elde edilmiş ve bu çeşit a grubunda yer almıştır. SJ-U 86 ve Stoneville 468 çeşitlerinin daha düşük değer göstererek b grubunda yer aldıkları belirlenmiştir. Çalışmada su stresi ile normal sulama arasında kanopi sıcaklığı bakımından önemli bir farklılık elde edilememiştir, ancak yapılan araştırmalarda su stresinin tespitinde kanopi sıcaklığının kullanışlılığı ve bunun ürün verimi ile ilişkisi pamuk ve diğer tarla ürünlerinde vurgulanmıştır (Conaty ve ark., 2015; Ninanya ve ark., 2021).

Klorofil içeriği (SPAD değeri)

Klorofil içeriği değerleri 42.81 ile 46.50 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 1). Klorofil içeriği değeri sulama farklılığından önemli düzeyde etkilenirken, çeşit ve uygulamanın önemli olmadığı belirlenmiştir. Normal sulama koşullarında klorofil içeriği değerinin (SPAD değerinin) 42.81 olduğu, su stresi koşullarında ise 46.50 olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada su stresi koşullarında daha yüksek klorofil içeriğinin (SPAD değerinin) elde edildiği görülmektedir. Normal sulama ile kıyaslandığında su stresi koşullarında % 8.61 oranında klorofil içeriği değerinde bir artış görülmüştür. Sonone ve ark. (2020), bitkinin büyümesinin ilk aşamalarında toplam klorofil içeriğinin hem stresli hem de stressiz genotiplerde stabil olduğunu, ancak stres altındaki genotiplerde büyümenin vejetatif aşamasında klorofil pigmentlerinin yıkımının başladığını, su eksikliğinin bitkide klorofil pigmentleri gibi farklı biyomoleküllerin sentezini olumsuz etkilediğini ve bunun da kütlü pamuk veriminde düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir. Rehman ve ark. (2022), kuraklık stresi koşullarında 7 pamuk çeşidini test ettiklerini, tüm çeşitlerin prolin ve malondialdehit içeriğinde artış gösterdiğini, ancak sınırlı su temini altında klorofil içeriğinde önemli bir değişiklik gözlenmediğini bildirmişlerdir. Mahmood ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda bitkide su stresi arttıkça fotosentez ve klorofil içeriği de dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik özelliklerde azalma da olduğu gözlemlenmiştir. Stres koşulları altında bitkilerdeki klorofil içeriği değerinin bitki türüne bağlı olarak değişebileceği belirtilmektedir (Monteoliva ve ark., 2021), bu nedenle, klorofil içeriğinin tek başına kuraklığa toleransı garanti etmeyeceği, ancak kuraklığa toleranslı adayların fotosentez hızlarının incelenmesiyle bu sınırlamanın üstesinden gelenebileceği belirtilmektedir.

Sarwar ve ark. (2018) salisilik asidin pamukta klorofil içeriği değerine önemli bir etkisinin olmadığını belirten sonuçlarla araştırma bulguları benzerlik göstermektedir. Ancak elde edilen bulgular salisilik asidin klorofil içeriğine önemli etkisinin olduğunu bildiren (Heidari ve ark., 2022; Naz ve ark., 2022) ile salisilik asidin klorofil içeriğini arttırdığını bildiren Omar ve ark. (2018) ile paralellik göstermemektedir. Silisyum ile ilgili yürütülen çalışmalarda klorofil içeriğinin arttığı rapor edilmiştir (Khandaker ve ark., 2011; Huseein ve ark., 2012; de Souza Junior ve ark., 2021; Jam ve ark., 2023).

Sonuç olarak; çalışma salisilik asit ve silisyumun normal sulama ve su stresi koşullarında pamukta erken dönem bitki gelişimine etkisini belirlemek amacıyla laboratuvar koşullarında ve iklim kabininde yürütülmüştür. Materyal olarak üç farklı pamuk çeşidinin kullanıldığı çalışmada, çeşit (DP 499, SJ-U 86, Stoneville 468), sulama (normal sulama ve % 50 su stresi) ve uygulama (kontrol, SA, Sİ, SA+ Sİ) ele alınmıştır. Tesadüf parsellerinde 3 faktörlü olarak yürütülen bu çalışmada normal sulama ve su stresi koşullarında gövde uzunluğu, gövde ağırlığı, kök gövde oranı, boğum sayısı, yaprak alanı ve klorofil içeriği değeri bakımından önemli istatistiksel farklılıkların elde edildiği belirlenmiştir.

Gövde uzunluğu, gövde ağırlığı, boğum sayısı ve yaprak alanı değerleri normal sulama koşullarında daha yüksek değerler gösterirken, klorofil içeriği ve kök gövde oranı su stresi koşullarında daha yüksek değer göstermiştir. Çeşitler arasında kök uzunluğu, kök ağırlığı, gövde uzunluğu, gövde ağırlığı, kök gövde oranı, boğum sayısı ve kanopi sıcaklığı bakımından önemli farklılıkların bulunduğu belirlenmiştir. Çeşitler arasında yaprak alanı ve klorofil içeriği bakımından önemli bir farklılık elde edilememiştir. Salisilik asit ve silisyum uygulamalarının kök uzunluğu, gövde ağırlığı ve kök gövde oranı üzerinde önemli etkisinin bulunduğu belirlenmiş, bu özellikler bakımından en yüksek değerler salisilik asit ve silisyumun birlikte uygulanması ile elde edilmiştir.

Sulama x çeşit interaksiyonunun kök uzunluğu, gövde uzunluğu ve boğum sayısı özelliklerinde, çeşit x uygulama interaksiyonunun kök uzunluğunda, sulama x çeşit x uygulama interaksiyonunun ise gövde uzunluğu, gövde ağırlığı ve yaprak alanı özelliklerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda su stresinin bitkinin gelişim döneminde birçok büyüme göstergesini olumsuz etkilediği, bu nedenle su stresinden kaçınılması gerektiği, çeşitler arasında en iyi değerlerin SJ-U 86 çeşidinden elde edildiği, bitki büyüme düzenleyicilerinden salisilik asit ve silisyumun birlikte uygulanması ile daha ümitvar sonuçların elde edildiği görülmekte olup, yapılacak çalışmalarda su stresi koşullarında SJ-U 86 çeşidinin tercih edilebileceği önerilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMA BEYANI

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

ETİK ONAY BEYANI

Bu makalede insan veya hayvan deneklerle herhangi bir çalışma bulunmaması nedeniyle etik onaya gerek duyulmamaktadır.

KAYNAKLAR

Aamer, M., Chattha, M.U., Hassan, M.U., Ahmed, H.A.I., Haiying, T., Rasheed, A., Guoqin, H., & Shahzad, B. (2022). Regulation of photosynthesis by salicylic acid under optimal and suboptimal conditions. *Managing Plant Stress Using Salicylic Acid: Physiological and Molecular Aspects*, 258-269. <https://doi.org/10.1002/9781119671107.ch14>

- 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. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04441-2>
- Ayele, A.G., Dever, J.K., Kelly, C.M., Sheehan, M., Morgan, V., & Payton, P. (2020). Responses of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) lines to irrigated and rainfed conditions of texas high plains. *Plants*, 9 (11), 1598.
- Aziz, M., Ashraf, M., & Javaid, M.M. (2018). Enhancement in cotton growth and yield using novel growth promoting substances under water limited conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 50 (5), 1691-1701. <https://doi.org/10.3390/plants9111598>
- Bagautdinova, Z.Z., Omelyanchuk, N., Tyapkin, A.V., Kovrizhnykh, V.V., Lavrekha, V.V., & Zemlyanskaya, E.V. (2022). Salicylic acid in root growth and development. *International Journal of Molecular Sciences*, 23 (4), 2228. <https://doi.org/10.3390/ijms23042228>
- Barros, T.C., de Mello Prado, R., Roque, C.G., Arf, M.V., & Vilela, R.G. (2019). Silicon and salicylic acid in the physiology and yield of cotton. *Journal of Plant Nutrition*, 42 (5), 458-465. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1567765>
- Başal, H., & Ünay, A. (2006). Water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43 (3), 101-111.
- Borzouyi, Z., Armin, M., & Marvi, H. (2021). The effect of time and type of stress moderators on yield and yield components of cotton on conventional and double-cropping systems under saline conditions. *Journal of Cotton Research*, 4 (1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s42397-021-00103-6>
- Cao, Z., Wang, X., & Gao, Y. (2022). Effect of plant growth regulators on cotton seedling root growth parameters and enzyme activity. *Plants*, 11, 2964. <https://doi.org/10.3390/plants11212964>
- Conaty, W.C., Mahan, J.R., Neilsen, J.E., Tan, D.K., Yeates, S.J., & Sutton, B.G. (2015). The relationship between cotton canopy temperature and yield, fibre quality and water-use efficiency. *Field Crops Research*, 183, 329-341. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.08.010>
- Culpan, E., & Arslan, B. (2018). Salisilik asit uygulamasının aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşitlerinin verim ve bazı kalite özelliklerine etkisinin araştırılması. *Akademik Ziraat Dergisi*, 7 (2), 173-178. <https://doi.org/10.29278/azd.476336>
- de Souza Junior, J.P., de Mello Prado, R., Soares, M.B., Silva, F.J.L., Guedes, V.H.F., Sarah, M.M.S., & Cazetta, J.O. (2021). Effect of different foliar silicon sources on cotton plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 95-103. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00345-4>
- Dong, Y.J., Wang, Z.L., Zhang, J.W., Liu, S., He, Z.L., & He, M.R. (2015). Interaction effects of nitric oxide and salicylic acid in alleviating salt stress of *Gossypium hirsutum* L. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15 (3), 561-573. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000024>
- El-Sherif, N.A. (2022). Salicylic acid and its crosstalk with other plant hormones under stressful environments. *Managing Plant Stress Using Salicylic Acid: Physiological and Molecular Aspects*, 304-317. <https://doi.org/10.1002/9781119671107.ch16>
- Ferraz, R.L.D.S., Costa, P.D.S., Magalhães, I.D., Medeiros, A.D.S., Viégas, P.R.A., & Melo, A.S.D. (2021). Physiological adjustments, fiber yield and quality of colored cotton BRS Topázio cultivar under leaf silicon spraying. *Ciência e Agrotecnologia*, 45, e005721. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145005721>
- Gerik, T.J., Faver, K.L., Thaxton, P.M., & El-Zik, K.M. (1996). Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water use, and yield. *Crop Science*, 36 (4), 914-921. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600040017x>
- Heidari, M., Moradi, M., Armin, M., & Amerian, M.R. (2022). Effects of foliar application of salicylic acid and calcium chloride on yield, yield components and some physiological parameters in cotton. *Sustainability in Food and Agriculture*, 3, 28-32. <https://doi.org/10.26480/sfna.01.2022.28.32>

- Hussein, M.M., Mehanna, H., & Abou-Baker, N.H. (2012). Growth, photosynthetic pigments and mineral status of cotton plants as affected by salicylic acid and salt stress. *Journal of Applied Sciences Research*, (November), 5476-5484.
- 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. <https://doi.org/10.5897/JODA2021.0067>
- Jam, B.J., Shekari, F., Andalibi, B., Fotovat, R., Jafarian, V., Najaf, J., Uberti, D., & Mastinu, A. (2023). Impact of silicon foliar application on the growth and physiological traits of *Carthamus tinctorius* L. exposed to salt stress. *Silicon*, 15, 1235-1245.
- Janda, T., Gondor, O.K., Yordanova, R., Szalai, G., & Pál, M. (2014). Salicylic acid and photosynthesis: signalling and effects. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36, 2537-2546. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1620-y>
- Karademir, Ç., Karademir, E., Çopur, O., & Gençer, O. (2012). Effect of drought 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.
- Kassem, M. (2008). Cotton response to foliar application of salicylic acid under the environmental conditions of upper Egypt. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 86 (4), 1477-1488.
- Kaydan, D., Yağmur, M., & Okut, N. (2007). Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (2) 114-119. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000000444
- Kazemi, M., Gholami, M., & Hassanvand, F. (2012). Effects of silicon on antioxidative defense system and membrane lipid peroxidation in gerbera cut flower. *Asian Journal of Biochemistry*, 7 (3), 171-176. <https://doi.org/10.3923/ajb.2012.171.176>
- Khandaker, L., Akond, M., & Oba, S. (2011). Foliar Application of salicylic acid improved the growth, yield and leaf's bioactive compounds in red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.). *Vegetable Crops Research Bulletin*, 74, 77-86. <https://doi.org/10.2478/v10032-011-0006-6>
- Kılıç, R., & Karademir, C. (2023). Effect of salicylic acid application on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield and fibre quality. *Journal of Applied Life Sciences and Environment*, 56 (4) (196), 597-617. <https://doi.org/10.46909/alse-564118>
- Kleier, D.A. (1988). Phloem mobility of xenobiotics: I. Mathematical model unifying the weak acid and intermediate permeability theories. *Plant Physiology*, 86 (3), 803-810. <https://doi.org/10.1104/pp.86.3.803>
- Koentorojo, Y., Sukendah, S., Purwanto, E., & Purnomo, D. (2020). Stomatal behaviour of soybean under drought stress with silicon application. *Annals of Agri-Bio Research*, 25 (1), 103-109.
- 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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1085409>
- Laing, M., & Adandonon, A. (2005). Silicon and insect management—review. *In Proceedings of the III Silicon in Agriculture Conference* (pp. 22-26).
- Latif, F., Ullah, F., Mehmood, S., Khattak, A., Khan, A.U., Khan, S., & Husain, I. (2016). Effects of salicylic acid on growth and accumulation of phenolics in *Zea mays* L. under drought stress. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 66 (4), 325-332. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1117133>
- Liang, Y., Liu, H., Fu, Y., Li, P., Li, S., & Gao, Y. (2023). Regulatory effects of silicon nanoparticles on the growth and photosynthesis of cotton seedlings under salt and low-temperature dual stress. *BMC Plant Biology*, 23 (1), 504. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04509-z>
- Ludlow, M.M., & Muchow, R.C. (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in Agronomy*, 43, 107-153. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60477-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60477-0)

- Luo, H.H., Zhang, Y.L., & Zhang, W.F. (2016). Effects of water stress and rewatering on photosynthesis, root activity, and yield of cotton with drip irrigation under mulch. *Photosynthetica*, 54 (1), 65-73. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0165-7>
- Loka, D.A., Oosterhuis, M., & Ritchie, G.L. (2011). Water-deficit stress in cotton. pp. 37-72. In: D.M. Oosterhuis (ed.). *Stress physiology in cotton*. The Cotton Foundation, Memphis, Tennis.
- Ma, J.F. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50 (1), 11-18. <https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408447>
- Ma, J.F., & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11 (8), 392-397. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>
- 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, G., & Du, X. (2022). Differential seedling growth and tolerance indices reflect drought tolerance in cotton. *BMC Plant Biology*, 22 (1), 331. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03724-4>
- Malik, R.S., Dhankar, J.S., & Turner, N.C. (1979). Influence of soil water deficits on root growth of cotton seedlings. *Plant and Soil*, 53, 109-115.
- Mamatha, K., & Jaybhaye, P.R. (2018). Impact of drought weather condition on bt cotton growth, development and yield. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 6, 2332-2338.
- Melotto, M., Underwood, W., Koczan, J., Nomura, K., & He, S.Y. (2006). Plant stomata function in innate immunity against bacterial invasion. *Cell*, 126 (5), 969-980. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.06.054>
- Monteoliva, M.I., Guzzo, M.C., & Posada, G.A. (2021). Breeding for drought tolerance by monitoring chlorophyll content. <https://www.walshmedicalmedia.com/author/mariela-ineacutes-monteoliva-21662>
- Naz, S., Bilal, A., Saddiq, B., Ejaz, S., Ali, S., Ain Haider, S.T., Sardar, H., Nasir, B., Ahmad, I., & Tiwari, R.K., Lal, M.K., Shakoor, A., Alyemeni, M.N., Mushtaq, N., & Altaf, M.A. (2022). Foliar application of salicylic acid improved growth, yield, quality and photosynthesis of pea (*Pisum sativum* L.) by improving antioxidant defense mechanism under saline conditions. *Sustainability*, 14, 14180. <https://doi.org/10.3390/su142114180>
- Ninanya, J., Ramírez, D.A., Rinza, J., Silva-Díaz, C., Cervantes, M., García, J., & Quiroz, R. (2021). Canopy temperature as a key physiological trait to improve yield prediction under water restrictions in potato. *Agronomy*, 11, 1436. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071436>
- Omar, A.M., Menshawi, M.E., Okkiah, S.E., & EL Sabagh, A. (2018). Foliar application of organic compounds stimulate cotton (*Gossypium barbadense* L.) to survive late sown condition. *Open Agriculture*, 3, 684-697. <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0072>
- Ödemiş, B., & Kazgöz Candemir, D. (2023). The effects of water stress on cotton leaf area and leaf morphology. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 26 (1), 140-149. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.992764>
- Pace, P.F., Cralle, H.T., El-Halawany, S.H.M., Cothren, J.T., & Senseman, S.A. (1999). Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. *Journal of Cotton Science*, 3, 183-187.
- Pettigrew, W.T. (2004). Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. *Agronomy Journal*, 96 (2), 377-383. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.3770>
- Raskin, I., Skubatz, H., Tang, W., & Meeuse, B.J. (1990). Salicylic acid levels in thermogenic and non-thermogenic plants. *Annals of Botany*, 66 (4), 369-373. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088037>
- 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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.906444>
- Rocher, F., Chollet, J.F., Jousse, C., & Bonnemain, J.L. (2006). Salicylic acid, an ambimobile molecule exhibiting a high ability to accumulate in the phloem. *Plant Physiology*, 141 (4), 1684-1693. <https://doi.org/10.1104/pp.106.082537>

- Saleem, M.F., Sammar Raza, M.A., Ahmad, S., Khan, I.H., & Shahid, A.M. (2016). Understanding and mitigating the impacts of drought stress in cotton-a review. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 53 (3). <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/16.3341>
- Samal, I., Bhoi, T.K., Mahanta, D.K., & Komal, J. (2023). Establishing the role of silicon (Si) in Plant resistance to insects: A bibliometric approach. *Silicon*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s12633-023-02821-9>
- Santos, A.F.B. dos; Teixeira, G.C.M., Campos, C.N.S., Baio, F.H.R., de Mello Prado, R., Teodoro, L.P.R., Vilela, R.G., de Paiva Neto, V.B., & Teodoro, P.E. (2020). Silicon increases chlorophyll and photosynthesis and improves height and NDVI of cotton (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). *Research, Society and Development*, 9 (7). <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3826>.
- Sarwar, M., Saleem, M.F., Ullah, N., Rizwan, M., Ali, S., Shahid, M.R., Alamri, S.A., Alyemeni, M.N., & Ahmad, P. (2018). Exogenously applied growth regulators protect the cotton crop from heat-induced injury by modulating plant defense mechanism. *Science Report*, 8, 17086. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35420-5>
- Shahzad, S., Ali, S., Ahmad, R., Ercisli, S., & Anjum, M.A. (2022). Foliar application of silicon enhances growth, flower yield, quality and postharvest life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) under saline conditions by improving antioxidant defense mechanism. *Silicon*, 14, 1511-1518. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-00974-z>
- Sharma, A., Bhardwaj, R., Kumar, V., Zheng, B., & Tripathi, D. K. (Eds.). (2022a). Managing plant stress using salicylic acid: physiological and molecular aspects, John Wiley & Sons. Editor(s): Sharma, A., Bhardwaj, R., Kumar, V., Zheng, B., Tripathi, D.K. <https://doi.org/10.1002/9781119671107>
- Sharma, N., Sharma, V., Sharma, V., & Bhardwaj, R. (2022b). Salicylic acid: A regulator of plant growth and development. *Managing Plant Stress Using Salicylic Acid: Physiological and Molecular Aspects*, 1-15. <https://doi.org/10.1002/9781119671107.ch1>
- Sonone, M.P., Rathod, T.H., & Dhage, P.S. (2020). Effect of moisture stress on total chlorophyll content of cotton. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9 (3), 2206-2208. <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i3aj.11641>
- Tripathi, P., Subedi, S., Khan, A.L., Chung, Y.S., & Kim, Y. (2021). Silicon effects on the root system of diverse crop species using root phenotyping technology. *Plants*, 10 (5), 885. <https://doi.org/10.3390/plants10050885>
- 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. <https://doi.org/10.1111/pbi.12688>
- Veesar, N.F., Jatoi, W.A., Gandahi, N., Aisha, G., Solangi, A.H., & Memon, S. (2020). Evaluation of cotton genotypes for drought tolerance and their correlation study at seedling stage. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 29 (1), 22090-22099. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2020.29.004738>
- Verdonck, O., & Gabriels, R. (1992). Reference method for the determination of physical properties of plant substrates. II. Reference method for the determination of chemical properties of plant substrates. *Acta Horticulturae*, 302 (10), 169-79. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.302.16>
- Vlot, A.C., Dempsey, D.M.A., & Klessig, D.F. (2009). Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual Review of Phytopathology*, 47, 177-206. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.050908.135202>
- 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. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.08.0477>
- Wang, M., Wang, R., Mur, L.A.J., Ruan, J., Shen, Q., & Guo, S. (2021). Functions of silicon in plant drought stress responses. *Horticulture Research*, 8. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00681-1>
- Zargar, S.M., Macha, M.A., Nazir, M., Agrawal, G.K., & Rakwal, R. (2012). Silicon: A multitasking micronutrient in OMICS perspective - An update. *Current Proteomics*, 9 (4), 245-254. <https://doi.org/10.2174/157016412805219152>

- Zargar, S.M., Mahajan, R., Bhat, J., Nazir, M., & Deshmuck, R. (2019). Role of silicon in plant stress tolerance: Opportunities to achieve a sustainable cropping system. *Biotech*, 9, 73. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1613-z>
- Zhang, Y., & Li, X. (2019). Salicylic acid: biosynthesis, perception, and contributions to plant immunity. *Current Opinion in Plant Biology*, 50, 29-36. <https://doi.org/10.2174/157016412805219152>
- 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. <https://doi.org/10.1111/pce.13356>