



Su stresi koşullarında yapraktan kükürt uygulamasının pamuğun verim, bitki su tüketimi ve bazı fizyolojik özelliklerine etkileri

The effects of foliar sulfur application under water stress conditions on yield, evapotranspiration and some physiological properties of cotton

Berkant ÖDEMİŞ¹ , Yaşar AKIŞCAN² , Batuhan AKGÖL³ , Deniz CAN³ 

¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye.

²Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Hatay, Türkiye.

³Progen Tohumculuk, Hatay, Türkiye.

MAKALE BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Makale tarihçesi / Article history:

DOI: [10.37908/mkutbd.1076251](https://doi.org/10.37908/mkutbd.1076251)

Geliş tarihi /Received:21.02.2022

Kabul tarihi/Accepted:24.03.2022

Keywords:

Drought tolerance, sulfur, irrigation level, cotton.

✉ Corresponding author: Berkant ÖDEMİŞ

✉: bodemisenator@gmail.com

ÖZET / ABSTRACT

Aims: This study was carried out to determine the effects of foliar sulfur application under water stress conditions on yield, evapotranspiration and some physiological properties of cotton.

Methods and Results: This research was conducted on Carisma cotton plant variety, by splitted plots in randomized block design. Foliar sulfur doses was determined as 150 ml da⁻¹ (S₁), 250 ml da⁻¹ (S₂) and 350 ml da⁻¹ (S₃) and non sulphur (S₀) treatment. Irrigation levels were composed of non irrigated (I₀) and available water at three different irrigation levels (I₁₀₀, I₆₆, I₃₃). Stomatal conductance (Sc), chlorohyll content (spad value) leaf surface temperature (LSt), cotton yield, evapotranspiration were measured in order to determine the effect of the applications. Foliar sulfur application did not effect the expected increase in yield. The highest yield was obtained as 6150 kg ha⁻¹ in I₁₀₀S₁ in second year. The water stress that the plant was exposed caused a decrease in all parameters. Foliar sulfur application increased spad values in stressed leaves, but decreased in unstressed leaves. A high correlation was found between yield and Sc and LSt. It was determined that Spad values were not as sensitive to stress as Sc and LSt. The period of recovery from the stress that cotton was exposed to from the beginning of the flowering period took approximately 2 days longer than the beginning of the boll formation period. Water stress was accelerated the senescence trend in all treatment.

Conclusions: There are studies showing that sulfur applications are successful in reducing stress. In these studies, sulfur was applied from the soil and to plants in controlled environments. The same success was not achieved in foliar application. While water stress negatively affected the physiological properties of the plant, foliar application of sulfur could not significantly eliminate this negativity.

Significance and Impact of the Study: This research is important in terms of revealing the effects of foliar applied elemental sulfur on some physiological properties and evapotranspiration of cotton under water stress conditions

Atif / Citation: Ödemış B, Akışcan Y, Akgöl B, Can D (2022) Su stresi koşullarında uygulanan yapraktan kükürt uygulamasının pamuğun verim, bitki su tüketimi ve bazı fizyolojik özelliklerine etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(2) : 202-212. DOI: 10.37908/mkutbd.1076251

GİRİŞ

Su stresi, bitkilerin büyüme, gelişme ve verimini en fazla sınırlayan çevresel etmenlerden biridir. Bitkiler stresin zararlı etkilerine karşı morfolojik, biyokimyasal ve fizyolojik yollar ile kendilerini korumaya çalışırlar. Bu fizyolojik özelliklerin en önemlileri stoma iletkenliği, yaprak sıcaklığı (Jones, 1999), fotosentetik kapasite (Lawlor ve Cornic, 2002) ve klorofil içeriğidir (Jackson ve ark., 1996).

Su stresinden en fazla etkilenen parametre stoma iletkenliğidir. Stomaların bitki fizyolojisindeki önemi, yaprağın hücreler arası boşluğu ile atmosfer arasındaki gaz alışverişinin sağlanmasından ve su buharı çıkışına izin vermesinden kaynaklanır. Yapraklardaki gaz değişimi, kuraklık stresine karşı çok duyarlıdır (Kerepesi ve Galiba, 2000). Orta düzeyde kuraklık stresinde CO₂ kullanımının azalmasının genellikle stoma kapanmasına bağlı olduğu kabul edilir (Mansfield ve Davies, 1981). Ancak kuraklık süresi uzarsa bu kez fotosentezdeki azalma, stoma kapanmasından değil, mesofil hücrelerindeki membran zararından, klorofil içeriğindeki azalmadan, asimilasyon ürünlerinin taşınma ve sentezindeki bozulmadan kaynaklanır. Fotosentezdeki azalma miktarı, kuraklık stresinin şiddetine ve dönemine, bitki türüne, gelişme dönemine ve yaprakların yaşlanmasına, kloroplastların oksidasyonuna ve protein ve pigmentlerin yapısındaki değişimler ile ilişkilidir (Passioura ve ark., 1993).

Stres, bitkinin morfolojisinde, su içeriğinin yanısıra bitkide koruyucu mekanizmanın başlangıcı sayılan klorofil içeriğini de olumsuz yönde etkiler (Jackson ve ark., 1996). Klorofil taşıyan kroloplastlar fotosentez işlemini stomalar dışında etkileyen en önemli yapıdır. Kroloplastların özellikle stoma adı verilen bölgesinde CO₂'i fiske eden enzimler bulunmaktadır. Su kaybı ile bu enzimler azalmakta, dolayısıyla CO₂ fiksasyonu sekteye uğramaktadır. Başlangıçta, fotosentez, stoma faktörleri tarafından azaltılmakta ise de, kuraklık stresinin devam etmesi veya şiddetinin artmasıyla, kroloplast ve enzim aktivitesi depresyona uğramakta ve bundan dolayı fotosentez azalmaktadır. Ayrıca, kuraklığın ileri safhalarında, mezofil hücrelerinin duvarlarının difüzyon direnci artmakta ve böylece mezofil hücrelerine CO₂ girişi önlenmektedir. Bu aşamada kroloplastlarda bir takım metabolik bozukluklar meydana gelerek klorofil konsantrasyonu azalmaktadır (Miller ve ark., 2010).

Klorofil konsantrasyonunun azalması, etkin fotosentez yapan (fonksiyonel) yapraklarda belirgindir (Dietz, 1989). Bu koşulda kükürt uygulaması ile klorofil miktarı arttırılabilir ve abiyotik stresin şiddeti hafifletilebilir (Jie ve ark., 2008). Kükürt, aynı zamanda proteinin yapısını inşa eder ve klorofilin yapısında anahtar rol oynar (Duke

ve Reisenauer, 1986). Kuraklık toleransını arttırmada kükürt uygulamalarının etkilerini belirlemeye yönelik araştırmalarda, kükürtün fotosentezin gerçekleşmesinde önemli rol oynayan klorofil içeriğinin azalmasını önleyici etkileri olduğu ve stres koşullarında klorofil miktarının artırılması ile ürün veriminde artışlar sağlanabileceği belirtilmektedir (Li-na ve ark., 2005). Su ve kükürt yetersizliğinde klorofilin azalması, etkin fotosentez yapan (fonksiyonel) yapraklarda daha belirgindir (Dietz, 1989). Kaçar ve Katkat (2007), kükürtün bitkiye yararlı hale gelmesi için absorsiyon süresinin toprağa uygulamada 20 gün yapraktan uygulamada ise 8 saat olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışma su stresinin etkisini azaltmada yapraktan kükürt uygulamasının pamuk stoma iletkenliği, yaprak yüzey sıcaklığı ve klorofil konsantrasyonuna etkilerini ve bu parametrelerle verim ve evapotranspirasyon arasındaki ilişkileri incelemeyi esas almıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma, Doğu Akdeniz Bölgesinde (Amik Ovası'nda) Carisma çeşidi pamuk bitkisinde yürütülmüştür. Deneme alanı toprakları siltli killi tınlı bünyeye sahiptir. Türbidimetrik baryum yöntemi (Fox ve ark., 1964) ile yapılan analizlerde kükürt (S) saptanamamıştır. Deneme yıllarında (2015-2016) ortalama olarak sıcaklık 26.09-25.93 (°C) yağış 20.6-149.2 mm, solar radyasyon 266-277 Wm⁻², toprak sıcaklığı 28.89-27.48 °C ve rüzgar hızı 6.55-5.95 km h⁻¹ olarak ölçülmüştür. Araştırma, tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre, yapraktan uygulanan 3 farklı dozda elementel kükürt (S₀: Topraktan N,P,K uygulaması, S₁: N,P,K + 150 ml da⁻¹ S, S₂: N,P,K + 250 ml da⁻¹ S, S₃: N,P,K + 350 ml da⁻¹ S) ve 4 farklı sulama düzeyinde (I₀: susuz konu, I₁₀₀: tam sulama konusu, I₆₆ ve I₃₃; tam sulama konusunun %66 ve %33'ünün uygulandığı konular) ve 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Her konu 6 sıradan, parsel boyları 15'er m'den, tekerrür boyları ise 5'er metreden oluşturulmuş. Pamukta su stresine en hassas ve verimin en fazla etkilendiği dönem taraklanma ve çiçeklenme dönemi (Loka ve Oosterhuis, 2014) olduğu için yapraktan kükürt bu dönemlerde uygulanmıştır. Toprak nemi gravimetrik yöntem ile evapotranspirasyon ise su bütçesi yöntemi (Howell ve ark., 1984) ile belirlenmiştir.

Stoma iletkenliği sulamadan 1 gün önce havanın açık, bulutlanmanın olmadığı 11:00-14:00 saatleri arasında *desikantlı portatif DECAGON SC-1 Yaprak Porometresi'* ile ölçülmüştür. Her ölçüm öncesinde aletin kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçümler a) her sulama öncesi tüm konularda ve b) sadece tam sulama (I₁₀₀) konularında iki sulama arasında çiçeklenme ve koza oluşum

dönemlerinde sulama öncesi 1 kez, sulamadan sonra ise hergün, havanın güneşli ve açık olduğu 11:00-15.00 saatleri arasında yapıldı. Ölçümler her tekerrürde 3 bitkide ve ana gövdeye en yakın 1. pozisyondaki 2 yaprak esas alınarak yapıldı. Sulamalardan sonra ölçüm yapabilmek için sulamalar gece yapılmıştır.

Yaprak yüzey sıcaklığı tam sulama (I_{100}) konusunda örtü yüzdesinin %90'a ulaştığı dönemde sulamadan önce ve 2 gün sonra olmak üzere haftada 2 kez Everest marka infrared sıcaklık ölçer aleti ile yapılmıştır. Yaprak sıcaklığı tüm konularda her tekerrürde 3 bitkide ve ana gövdeye en yakın 1. pozisyondaki 2 yaprakta 3 kez havanın tamamen açık ve güneşin dik geldiği 11:00-14:00 saatleri arasında okunmuştur.

Klorofil içeriği stres koşullarına "en iyi tepki veren fizyolojik parametrelerden biridir. Deneme süresince yaprak klorofil içeriği yaprakta renk değişimini Minolta marka spad 502 model spad aleti ile ölçülmüştür. Ölçümler her sulamadan önce tüm uygulamaların tekerrürlerinde 3 bitkide ve 3'er yaprakta 2'şer kez yaprak dökümüne kadar yapılmıştır.

Hasat, 4.2 m genişliğinde ve 5 m uzunluğunda (6 bitki sırası ve 0.70 m sıra arası) tekerrür parsellerinde her

sıranın başından ve sonundan 1 m, sağdan ve soldan 1 sıra atılarak kalan 14 m² tekerrür alandan yapılmıştır. Her uygulama 3 tekerrürlü olduğu için toplam hasat alanı 42 m² olarak hesaplanmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Stoma iletkenliği

Stoma iletkenliği sulama suyu miktarının artması ile doğrusal olarak artmış, kükürt dozlarının artmasından ise etkilenmemiştir (Çizelge 1). Sulama suyunun 1 mm artması stoma iletkenliğinin ilk yıl 0.55, ikinci yıl 0.30 mmol m⁻² s⁻¹ artmasına neden olmuştur. Sulanmayan konularda (sulanan konulara göre) stoma iletkenliği ortalama %57 azalmıştır (Çizelge 2). Sulama düzeyi x kükürt dozu interaksiyonlarında ortalama en yüksek ve en düşük stoma iletkenliği S_3I_{100} (1456 mmol m⁻² s⁻¹) ve S_2I_0 (330 mmol m⁻² s⁻¹) konularından ölçülmüştür. Kontrol (S_0) konusu ile karşılaştırıldığında en yüksek stoma iletkenliği %37 artış ile S_0K_3 konusunda belirlenmiştir. Bitki gelişme dönemleri içerisinde en yüksek stoma iletkenliği çiçeklenme döneminde ölçülmüştür.

Çizelge 1. Fizyolojik parametrelerin varyans analiz sonuçları

Table 1. Variance analysis table of physiological parameter

Yıl	Varyasyon kaynağı	Verim	Sc	LSt	Spad
2015	Sulama düzeyi (I)	**	***	***	***
	Kükürt dozu (S)	**	öd	**	**
	I*S	Öd	öd	***	***
2016	Sulama düzeyi (I)	**	***	***	**
	Kükürt dozu (S)	**	öd	**	öd
	I*S	Öd	öd	***	*
2015- 2016	Sulama düzeyi (I)	**	***	***	***
	Kükürt dozu (S)	**	***	**	**
	Yıl (Y)	**	***	***	***
	I*S	Öd	***	***	***
	I*Y	Öd	***	**	***
	S*Y	**	***	***	***
	I*S*Y	Öd	***	***	***

öd: önemli değil, *, ** ve *** sırasıyla $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$ düzeyinde önemli. Stoma iletkenliği (mmol m⁻² s⁻¹), spad klorofil içeriği ($\mu\text{mol m}^{-2}$), LST : yaprak yüzey sıcaklığı (°C).

İki sulama arasında stoma iletkenliğinin nasıl değiştiğinin belirlenmesi amacıyla pamuğun farklı gelişme dönemlerinde tam sulama konularında günlük ölçümler alınmıştır (Şekil 1-3). Ölçümlerde Sc'nin 1 ya da 2 gün boyunca sulama öncesi değerlere yakın düzeyde devam ettiği ve daha sonra maksimum değere ulaştığı belirlendi. Sc'nin sulamadan sonra maksimum değere ulaşması bitki gelişme dönemine göre değişmiştir.

Pamuğun çiçeklenme dönemi başlangıcında maruz kaldığı stresten kurtulma süresi elma oluşum dönemi başlangıcına göre yaklaşık 2 gün daha uzun sürmüştür. Çiçeklenme başlangıcında Sc sulamadan sonra dahi azalmaya devam etmiş ancak sulamadan 4 gün sonra maksimum seviyeye ulaşmıştır. Bu süre çiçeklenme dönemi sonunda daha kısalmış stoma iletkenliği sulama suyu uygulamasına daha hızlı yanıt vermiş ve sulamadan

Çizelge 2. Ölçülen parametrelerin kükürt ve sulama düzeylerine bağlı değişimleri*

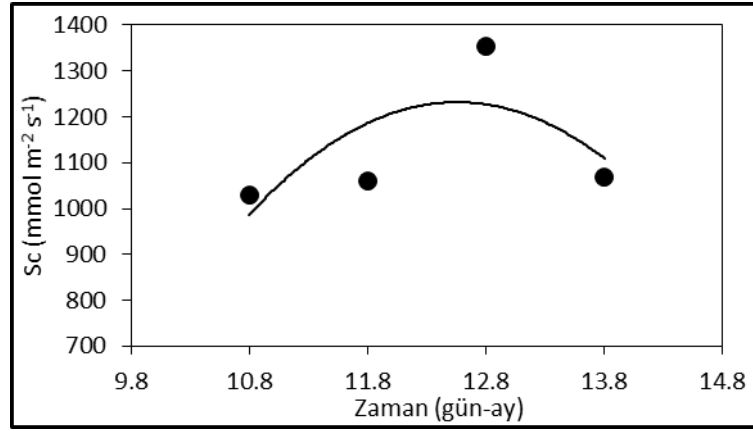
Table 2. Mean values of sulfur and irrigation levels of measured parameters

Konular	ET	Verim	Sc	Spad	LSt
I ₀ S ₀	256	1940	367	47.4	32.6
	306-206	2060-1820	412-299	43.7-52.1	31.5-33.7
I ₀ S ₁	290	1720	343	49.3	32.4
	305-276	1530-1900	375-289	48.2-50.9	32.9-31.9
I ₀ S ₂	264	1530	305	47.5	33.9
	293-236	1310-1740	331-251	45.3-50.3	33.9-32.8
I ₀ S ₃	283	1800	471	48.2	32.4
	294-271	1620-1970	566-309	45.7-51.4	32.0-32.8
I ₃₃ S ₀	533	3540	506	45.4	30.8
	531-536	3750-3340	558-397	42.4-49.2	29.9-31.5
I ₃₃ S ₁	550	3600	513	48.7	30.8
	525-576	3260-3930	613-332	47.0-50.9	31.5-30.2
I ₃₃ S ₂	548	3390	535	48.7	31.0
	524-572	3100-3680	619-389	45.9-52.1	31.0-31.1
I ₃₃ S ₃	535	3500	507	48.1	30.9
	522-549	3120-3880	581-364	46.2-50.5	30.8-30.9
I ₆₆ S ₀	800	5190	682	44.2	28.1
	837-763	5200-5180	813-460	41.4-47.7	29.5-26.7
I ₆₆ S ₁	831	5040	642	43.9	28.3
	825-836	4590-5500	755-444	41.7-46.7	29.5-27.0
I ₆₆ S ₂	808	4650	690	42.8	28.1
	815-800	4500-4800	820-450	40.5-45.7	29.3-26.9
I ₆₆ S ₃	789	4610	667	43.8	28.8
	791-787	4310-4910	785-490	42.9-44.8	29.5-27.0
I ₁₀₀ S ₀	1070	5400	812	41.9	30.1
	1134-1007	5870-4920	951-579	41.9-41.8	28.6-31.5
I ₁₀₀ S ₁	1054	5650	812	40.5	29.0
	1087-1021	5160-6150	981-565	38.6-42.9	27.8-30.2
I ₁₀₀ S ₂	1047	5410	814	39.9	29.7
	1099-995	5490-5330	941-588	39.2-40.8	28.3-31.08
I ₁₀₀ S ₃	1012	5490	838	40.8	29.6
	1066-958	5170-5820	1015-566	40.4-41.4	28.2-30.9
S ₀	664a	4010a	591	44.7b	30.1
	701-627	4220a-3810c	683-434	42.4b-47.7	29.9-31.2
S ₁	681a	4000 a	573	45.6 a	29.9
	685-677	3630b-4360a	681-408	43.9a-47.8	30.4-29.5
S ₂	666 b	3740c	586	44.7b	30.4
	682-650	3590b-3880bc	678-419	42.7b-47.3	30.6-30.1
S ₃	654c	3850b	620	45.2ab	29.9
	668-641	3550b-4140ab	737-432	43.79a-47.1	30.1-27.6
I ₀	273	1740 d	371	48.1a	32.7
	299-247	1630d-1850d	421-287	45.7a-51.2a	32.6-33.0
I ₃₃	541	3500c	515	47.7a	30.8
	525-558	3300c-3700c	593-370	45.4a-50.6a	30.8-30.9
I ₆₆	806	4870b	670	43.6b	29.0
	817-796	4650b-5090b	793-461	41.7b-46.2b	29.5-28.6
I ₁₀₀	1045	5480a	819	40.8c	27.6
	1096-995	5420a-5550a	972-574	40.0c-41.7c	28.2-26.9

*Çizelgedeki ilk satır iki yılın ortalamasını, ikinci satırdaki ilk değer 2015 yılı ikinci değer 2016 yılı verisini göstermektedir.

2 gün sonra Sc maksimum değere ulaşmıştır. Sulamadan sonra toprakta su bulunmasına karşın bitkinin bu durumu algılaması fizyolojik olarak bitkide ‘toparlanma

evresi’ olarak tanımlanabilir. ‘Toparlanma evresi’ bitkinin fenolojik dönemi ile yakından ilişkilidir.



Şekil 1. İki sulama arasında stoma iletkenliğindeki değişim (Elma oluşturma dönemi, 2015)

Figure 1. Change in stomatal conductivity (Sc) between two irrigations (Boll formation period, 2015)

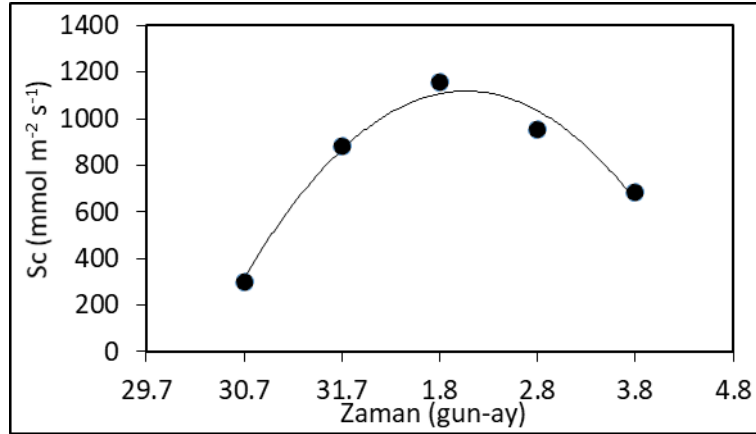


Figure 2. İki sulama arasında stoma iletkenliğindeki değişim (Elma oluşturma dönemi, 2016)

Figure 2. Change in stomatal conductivity (Sc) between two irrigations (Boll formation period, 2016)

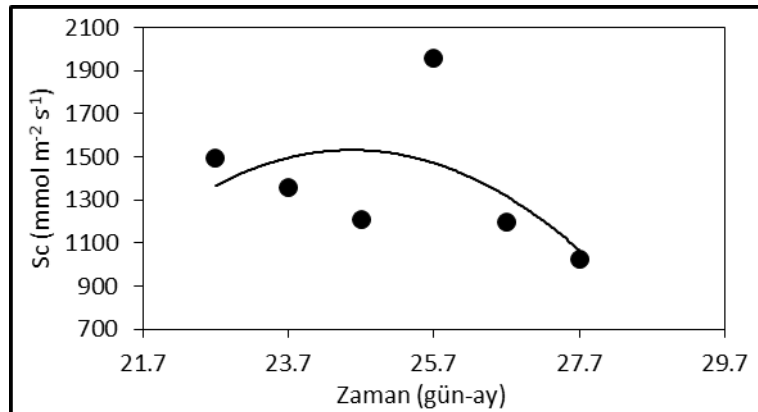


Figure 3. İki sulama arasında stoma iletkenliğindeki değişim (Çiçeklenme önemi, 2015)

Figure 3. Change in stomatal conductivity (Sc) between two irrigations (Flowering period, 2015)

Çiçeklenme döneminde üreme yeteneği (çiçek oluşturma çabası) maksimum düzeyde olduğundan

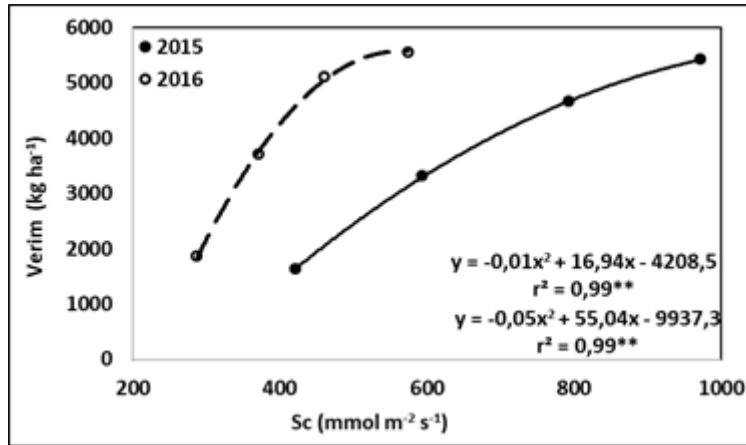
bitkinin diğer çevresel koşullara tepkisi kısmen zayıflayabilir. Bu nedenle stresten kurtulma süresinin bu

dönemde daha uzun sürmüş olabileceği düşünülmüştür. Elma oluşum döneminde stresten kurtulma süresinin daha az sürmesinde ise bitkinin üreme çabasının kısmen azalması ve çevresel koşullara duyarlılığının kısmen artması etkili olabilir. Toparlanma süresi her ne kadar bitkinin fizyolojisi ve gelişme dönemi ile ilgili olsada hava sıcaklığının şiddeti ve bitkinin stres düzeyide bu durumu etkilemektedir.

Su stresi yaprak genişlemesini ve yaprak alanını azaltmasının yanısıra yaprak yaşlanmasını artırarak fotosentetik hızın azalmasına neden olur (Marani ve ark., (1985). Stoma iletkenliği fotosentetik hızı belirleyen en önemli parametredir ve su stresine çok hassastır (Kerepesi ve Galiba, 2000). Kısa süreli su stresinde CO₂ kullanımının azalmasına stoma kapanması neden olur (Mansfield ve Davies, 1981) ancak stres süresi uzarsa bitki fotosentez yapamaz hale gelir (Passioura ve ark., 1993). Bu nedenle bitki kök bölgesinde yeterli düzeyde suyun bulundurulması verim açısından önemlidir. Bitkilerin büyüme ve gelişim dönemlerinde su stresine

bağlı stomatal tepkilerinin bilinmesi sulama zamanına karar vermede bir kriter olarak kullanılabilir. Bunun yanısıra benzer mikroklima alanlarında su stresine duyarlı ve toleranslı gelişme dönemlerinde fotosentezde azalmaya neden olacak stoma iletkenliğinin/direncinin bilinmesi verim tahmininde de kullanılabilir. Araştırmalar pamukta çiçeklenme döneminin diğer dönemlere göre hassas olduğunu ortaya koymaktadır (Loka ve Oosterhuis, 2014). Bu durumda su kaynaklarının yeterli olmadığı alanlarda öncelikle çiçeklenme dönemi için eşik stoma iletkenliği/direnci değerleri sulama zamanına karar vermede kriter olarak kullanılabilir.

Stoma iletkenliği pamuk yapraklarının yaşlanmasına bağlı olarak hasata yaklaştıkça azalmıştır. İlk yıl çiçeklenme dönemi başlangıcında 1000 mmol m² s⁻¹, çiçeklenme ve koza oluşum döneminde 755 mmol m² s⁻¹, kozaların açılması döneminde ise 381 mmol m² s⁻¹ olarak gerçekleşen Sc değerleri ikinci yılda da benzer bir azalma eğilimi göstermiştir. Stoma iletkenliği ile verim arasında polynomial ilişkiler elde edilmiştir (p<0.01) (Şekil 4).



Şekil 4. Stoma iletkenliği ile verim arasındaki ilişkiler
Figure 4. The relationship between Sc and cotton yield

Denklemler çözümlendiğinde en yüksek verim ilk yıl 561 mmol m⁻²s⁻¹'de ikinci yıl 1209 mmol m⁻² s⁻¹'de maksimum verimin elde edileceği belirlenmiştir. Lu ve ark., (1998) Sc ve kütlü verimi arasında güçlü ve pozitif ilişkiler olduğunu ve stoma iletkenliğindeki her 30 mmol m⁻² s⁻¹ artışın verimde 100 kg ha⁻¹ artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde ekmeclik buğdayda da Sc ve dane verimi arasında güçlü ve pozitif ilişkiler elde edilmiştir (Condon ve ark., 1990). Bizim çalışmamızda ise her 1 mmol m⁻²s⁻¹ artış ilk yıl 7 kg ha⁻¹ ikinci yıl 13 kg ha⁻¹ verim artışına neden olmuştur.

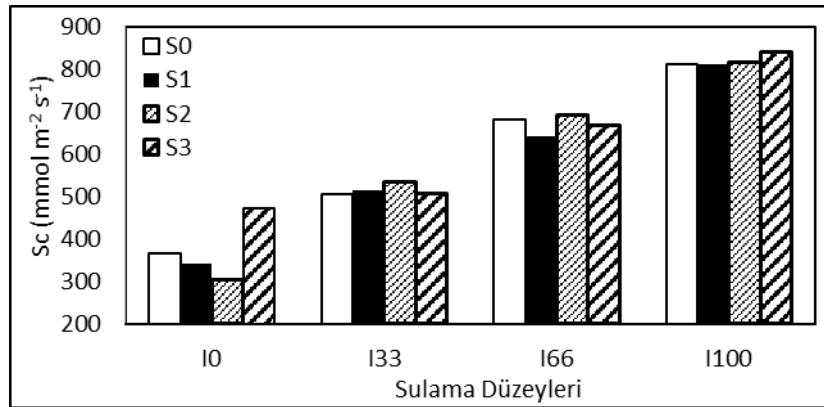
Stoma iletkenliğinin hasata doğru azalma eğilimi sulanan (I₃₃, I₆₆ ve I₁₀₀) ve sulanmayan (I₀) konuda farklı gerçekleşmiştir. Sulanan konularda Sc'nin günlük azalma hızı ortalama 12.5 mmol m⁻² s⁻¹ iken sulanmayan konuda

(I₀) 8.8 mmol m⁻² s⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu farklılık I₀'daki yaprakların daha erken yaşlanmasından ve stomatal tepkinin sulanan yapraklara göre daha yavaş gerçekleşmesinden kaynaklanmış olabilir. Yaprak yaşlanmasında su iletim dokularında meydana gelen zayıflamanın yanısıra su stresine bağlı absisik asit birikiminin de önemli bir etkisi vardır (Radin, 1981). Kükürt dozları stoma iletkenliğinde önemli bir artışa neden olmamıştır (Şekil 5). Kükürt dozlarının stoma iletkenliğine etkisi sulama düzeylerine bağlı olarak değişmiş vesulama düzeyleri arttıkça kükürt dozlarının neden olduğu farklılıklarda azalmıştır.

Stoma iletkenliği I₀ konusunda S₀'a göre S₃'de yaklaşık %25 artmıştır (367 mmol m² s⁻¹' den 470 mmol m² s⁻¹'e yükselmiştir). I₁₀₀ konusunda ise neredeyse tüm kükürt

dozlarında aynı S_c değeri elde edilmiştir (Şekil 5). 2016 yılında S_1 , S_2 , ve S_3 dozları stoma iletkenliğinde belirgin artışa neden olmuştur. Ortalama olarak en yüksek stoma

iletkenliği her iki yılda S_3 dozundan ölçülmüştür (İlk yıl 736, ikinci yıl 432 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

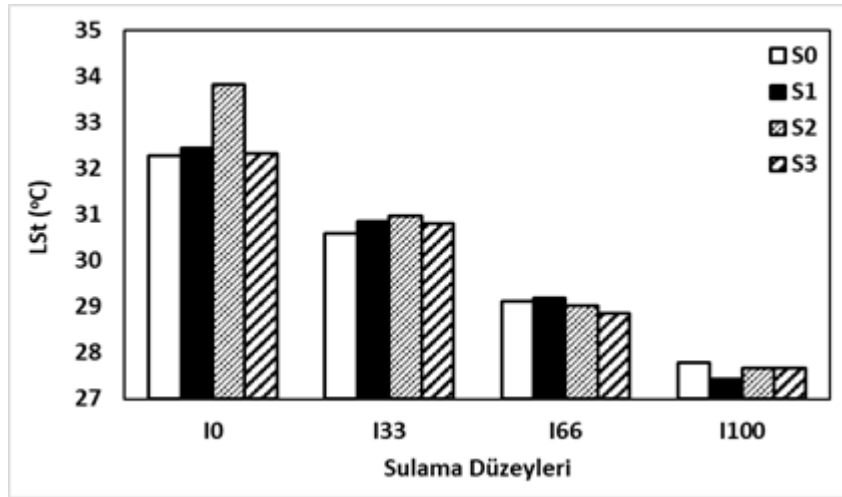


Şekil 5. Stoma iletkenliğinin kükürt dozları ve sulama düzeylerindeki değişimi
Figure 5. Variation of stomatal conductivity in sulfur doses and irrigation levels

Yaprak sıcaklığı (LSt)

Bitki strese girdiğinde içsel su dengesini korumak amacıyla stomalarını kapatmaktadır. Bu durum yaprak yüzey sıcaklığında (stomaların kapanıp bitki yüzeyinde serinleme etkisinin kaybolması nedeniyle) artışa neden olmaktadır. LSt en yüksek I_0 'da (32.7°C) en düşük I_{100} konusunda (27.6°C) ölçülmüştür. Kükürt dozlarının

yaprak sıcaklığına etkisi önemli bulunmamıştır. Ancak I_0 konusunda S_2 dozu LSt'de diğer dozlarla göre belirgin artışa neden olmuştur. LSt, S_0 'da 32.28°C , S_2 'de 33.83°C olarak ölçülmüş ve yaklaşık 1.6°C 'lık sıcaklık farklılığı belirlenmiştir. Sulama suyu miktarı arttıkça kükürt dozlarının LSt üzerine etkisi azalmıştır (Şekil 6).



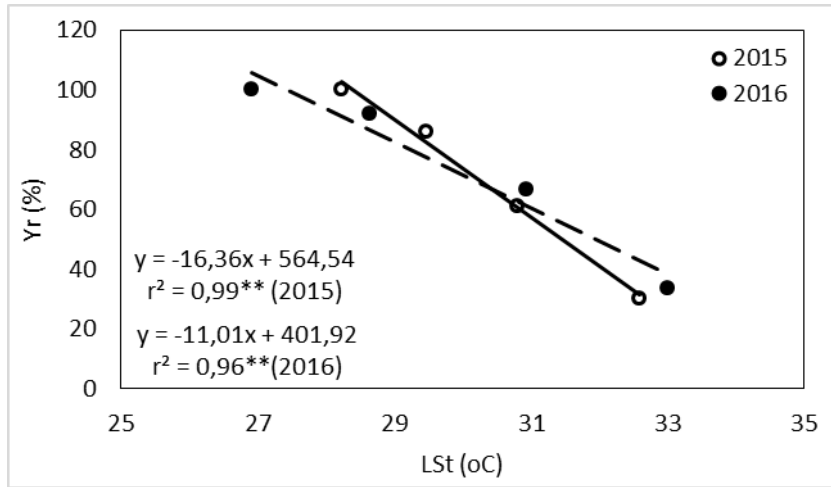
Şekil 6. Yaprak sıcaklığının kükürt dozları ve sulama düzeylerindeki değişimi
Figure 6. Variation of leaf surface temperature in sulfur doses and irrigation levels

LSt ile verim arasında istatistiksel olarak önemli ilişkiler elde edilmiştir (Şekil 7). LSt arttıkça verim değerleri 2015 de %16, 2016'da %11 iki yılın ortalamasında %13 oranında azalmıştır. LSt deki 1°C 'lık artışa bağlı olarak verimin S_0 da 810 kg ha^{-1} , S_1 'de 788 kg ha^{-1} , S_2 'de 634 kg ha^{-1} , S_3 'de 765 kg ha^{-1} azalacağı belirlenmiştir (Figure 8). Yaprak sıcaklığı toprak nemi koşullarının yanısıra hava sıcaklığında önemli ölçüde etkilenir. Düşük sıcaklıklar

(özellikle Temmuz Ağustos ayında), meyve dökümünü azaltması nedeniyle daha yüksek verime neden olabilir. Çiçeklenme ve meyve oluşum dönemlerinde yüksek hava sıcaklıklarının verim kayıplarına neden olabildiği bilinmektedir. Lu ve ark., (1997), maksimum gündüz sıcaklıklarının verim üzerine olumsuz etkilerinin 11 yıl süren bir çalışmada açıkça ortaya koymuşlardır. Sıcaklığın olumsuz etkileri yüksek ve düşük ürün veren

çeşitler arasında değişir. Düşük ürün veren Pima-32 gibi ticari çeşitlerde ve yüksek ürün veren Pima S-6 çeşitlerinde yaprak - hava sıcaklığı farkı sırasıyla -1 °C ve

3-4.5 °C'a çıkabilmektedir (Radin ve ark., 1994; Lu ve ark., 1994).

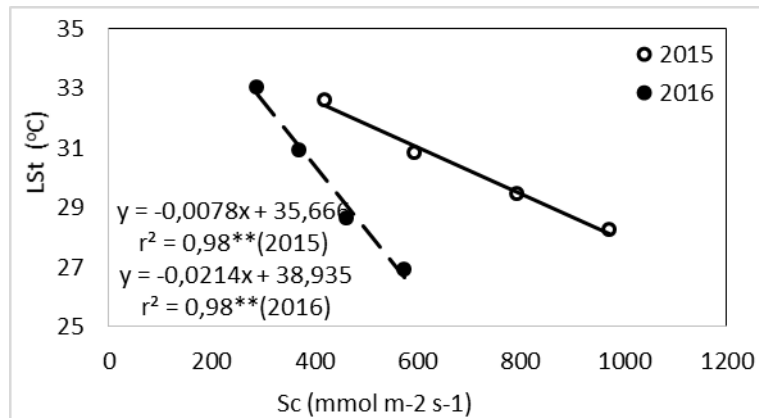


Şekil 7. LSt ve oransal verimdeki azalma ilişkileri

Figure 7. The Relationships between LSt and relative yield decrease

Deneme süresince yaklaşık aynı toprak nem içeriklerinde ölçüm yapılmasına karşın LSt değerleri bitki gelişme dönemlerinde farklı değerlerde ölçülmüştür. Ortalama olarak tüm konularda LSt 2015 ve 2016 yılında sırasıyla çiçeklenme başlangıcında 27.9-28.2 °C, çiçeklenme ve elma oluşum döneminde 29.9-30.24 °C, kozaların açılması döneminde 31.1-30.8 °C olarak ölçülmüştür. Tüm konularda LSt değerleri hasata doğru artmıştır. Artış hızı en düşük I_{100} 'de (0.07 °C/gün) en yüksek I_0 'da (0.115 °C/gün) olarak belirlenmiştir. I_{33} ve I_{66} 'da artış hızları aynı seviyede gerçekleşmiştir (0.09 °C). Hasat tarihine

yaklaştıkça LSt değerlerindeki artışın yaprakların yaşlanmasına bağlı olarak stomatal hassasiyetin azalmasından ve atmosfere su buharı transferinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Su stresi koşullarında azalan stoma iletkenliği ve yaprak yüzey sıcaklığı arasında korelasyonu yüksek ilişkiler elde edilmiştir (Şekil 8). Stoma iletkenliğinin 1 mmol m² s⁻¹ artması yaprak sıcaklığının ilk yıl 0.0078 °C, ikinci yıl 0.0113 °C, ortalama olarak 0.0214 °C azalmasına neden olmuştur.



Şekil 8. Stoma iletkenliği ile yaprak yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkiler

Figure 8. The Relationships between LSt and Sc

Yaprak klorofil içeriği

Klorofil konsantrasyonunun artmasında kükürtün etkin bir rolü olduğunu belirten çok sayıda araştırma bulunmaktadır (Li-na ve ark., 2005, Dietz 1989, Jie ve

ark., 2008; Duke ve Reisenauer, 1986). Bu araştırmalarda kükürtün klorofil içeriğinin azalmasını önleyici etkileri olduğu ve stres koşullarında klorofil miktarının artırılması ile ürün veriminde artışlar sağlanabildiği belirtilmektedir

(Li-na ve ark., 2005). Özellikle etkin fotosentez yapan yapraklarda strese bağlı klorofil azalmasının daha belirgin olduğu (Dietz 1989), kükürt uygulaması ile klorofil miktarının arttırılabileceği ve abiyotik stresin şiddetinin hafifletilebileceği ileri sürülmüştür. Jie ve ark., (2008) ağır metal stresini saksı koşullarında topraktan kükürt içeren Hoogland çözeltisi uygulayarak, (Li-na ve ark., 2005) buğdayda saksı koşullarında sadece dane dolum döneminde kükürt uygulayarak, Saeed ve ark. (2013) amonyum sülfat formunda kükürt ve azotu topraktan + yapraktan uygulayarak, Mahler (2008) sera koşullarında saksıda, topraktan CaSO_4 formunda uygulayarak kükürtün verim ve bazı kalite özelliklerinde olumlu ve pozitif yönlü sonuçlarını belirlemişlerdir. Görüldüğü gibi, bu araştırmalar daha çok kontrollü ortamlarda, topraktan ve kükürtün farklı bileşiklerinde yürütülmüş araştırmalardır. Saeed ve ark. (2013) tarafından yapraktan kükürt uygulanan araştırmada ise kükürt amonyum sülfat formunda uygulanmıştır. Haliloğlu ve ark. (2006), içeriğinde %2.8 S içeren çoklu besin çözeltisi ile yapraktan uygulamanın pamuk kütlü verimine etkisinin olmadığını saptamışlardır. Bu araştırmalarda stres koşulları ve stres unsurları bizim denememizden farklıdır. Kükürtün uygulama yöntemi, zamanı, dozu ve formunun denendiği bu araştırmalarda bitkiler kontrollü ortamlarda yürütülmüştür. Bir çok değişkene (toprak, iklim ve işletme yöntemine) ve verimi etkileyebilen unsur nedeniyle tarla koşullarında aynı başarı elde edilememiştir.

Bizim araştırmamızda elementel kükürt gübresi bitkide azda olsa strese ve verimde azalmaya neden olmuştur. Kükürtün yapraktan ve elementel formda uygulanması klorofil içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir artışa neden olmamıştır. İlk yıl su stresinin yüksek olduğu I_0 ve I_{33} konularında en yüksek Spad değeri S_1 dozundan elde edilmiştir. Su stresini azaldıkça kükürt dozuna bağlı Spad değerlerinde kararsız bir durum görülmüştür. Ortalama olarak I_0 ve I_{33} sulama düzeylerinde Spad değerlerinin yüksek çıkmıştır. En yüksek Spad değeri ilk yıl I_0S_1 konusunda ($48.15 \mu\text{mol m}^{-2}$), ikinci yılda I_0S_0 ($52.09 \mu\text{mol m}^{-2}$) ve $I_{33}S_2$ ($52.10 \mu\text{mol m}^{-2}$) interaksiyonlarında belirlenmiştir. İlk yıl I_0 ve I_{33} konularında S_1 dozunun, I_{66} ve I_{100} konularında S_3 dozunun, ikinci yıl I_{33} konusunda S_2 dozunun, I_{100} konusunda S_1 dozunun I_0 ve I_{66} konularında ise S_0 (kükürt uygulanmayan) konularında Spad değerleri diğer dozlara göre daha yüksek çıkmıştır. Spad değerlerinin yüksek çıktığı konularda verimde anlamlı artışlar olmamıştır. Sulama düzeyleri arttıkça, taze üst yapraklarda SPAD değerleri azalmıştır.

Spad değerlerinin her iki yılda Sc ve LSt ile aralarındaki korelasyon ilişkileri incelenmiştir. Spad- Sc arasında

doğrusal negatif yönlü ($r^2=0.65^*$, 2015 ve $r^2=0.88^{**}$, 2016) ve Spad -LSt arasında doğrusal pozitif yönlü ($r^2=0.75^*$, 2015 ve $r^2=0.12^{ns}$, 2016) ilişkiler bulunmuştur.

Sonuç olarak, kuraklık stresi bitki gelişimini ve fizyolojik özelliklerini sınırlandıran en önemli abiyotik strestir. Araştırmamızda su stresi ölçülen tüm parametreleri olumsuz etkilemiştir. Stresin etkisini gidermek için yapraktan uygulanan kükürtün verim ve fizyolojik özelliklere önemli bir katkısı belirlenmemiştir. Stres koşullarında prolin (Iba, 2002), silikon (Ahmed ve ark., 2011) potasyum (Studer, 1993), fosfor (Sawwan ve ark., 2000), bor (Gülümser ve ark., 2005) ve kükürt (Li-na ve ark., 2005) elementlerinin kuraklık stresinin olumsuz etkilerini engellediğine ilişkin çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Kükürtün bitkide stresi önlemede başarılı olduğunu gösteren araştırmalar genel olarak kontrollü ortamlarda ve saksı koşullarında yürütülmüştür. Bizim çalışmamızda tarla koşullarında uygulanması, kükürtün etkin alımında sorunlara neden olmuştur. Kükürtün yeterince penetre olamaması klorofil içeriğinin artmasını engellemiştir. Bu durum Spad değerleri ile ortaya konulmuştur. Spad değerleri su stresine Sc ve LSt'den daha az hassasiyet göstermiştir. Stres arttıkça Sc ve LSt'de belirgin değişimler görülürken Spad değerleri kararsız ve duyarsız bir seyir izlemiştir. Sc, su stresine bitkinin gelişme dönemine bağlı olarak farklı düzeylerde tepki vermiştir. Stresten kurtulma süresi çiçeklenme döneminde diğer dönemlere göre daha uzun sürmüştür. Bitki bu dönemde meyve oluşumuna odaklandığından sulamadan ancak 2 gün sonra olağan stoma davranışı gösterebilmiştir. Hasat dönemine doğru bitki yaşlanmasına bağlı olarak Sc değerleri azalmış LSt değerleri artmıştır.

ÖZET

Amaç: Araştırma, su stresine maruz bırakılmış pamuk bitkisinde yapraktan kükürt uygulamalarının bitki fizyolojik özelliklerine ve bitki su tüketimine etkilerini belirlemek amacıyla 2015-2016 yılında Amik Ovasında (Hatay) yürütülmüştür.

Yöntem ve Bulgular: Araştırma, Carisma çeşidi pamuk bitkisinde tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme deseninde yürütülmüştür. Denemede elverişli kapasitenin 3 farklı sulama düzeyinde sulanan (I_{100} , I_{66} , I_{33}) ve sulanmayan (I_0) bitkilere yapraktan kükürt uygulamasının etkisi araştırıldı. Kükürt konuları tanık konu (S_0) ve 150 ml da^{-1} (S_1), 250 ml da^{-1} (S_2) ve 350 ml da^{-1} (S_3) dozlarında kükürtün yapraktan uygulanması ile oluşturulmuştur. Uygulamaların etkisini belirlemek amacıyla stoma iletkenliği (Sc), klorofil içeriği (Spad) ve yaprak yüzey sıcaklığı (LSt), verim ve evapotranspirasyon

parametreleri ölçülmüştür. Yapraktan kükürt uygulaması verimde beklenen artışı sağlamamıştır. Kükürt dozları verimin ilk yıl azalmasına ikinci yılda artmasına neden olmuştur. İkinci yılda kükürt uygulanmayan konuya göre verim %14 artmıştır. En yüksek verim $S_{100}K_1$ konusunda 6150 kg ha^{-1} olarak gerçekleşmiştir. Bitkinin maruz kaldığı su stresi ölçülen tüm parametrelerde azalmaya neden olmuştur. Yapraktan kükürt uygulaması stresli yapraklarda spad değerlerini artırırken stressiz yapraklarda azaldı. Stoma iletkenliği (Sc) ve yaprak yüzey sıcaklığı (LSt) ile verim arasında korelasyonu yüksek ilişkiler saptanmıştır. Spad değerlerinin strese Sc ve LSt kadar duyarlı olmadığı belirlenmiştir. Pamuğun Çiçeklenme dönemi başlangıcında maruz kaldığı stresten kurtulma süresi elma oluşum dönemi başlangıcına göre yaklaşık 2 gün daha uzun sürmüştür. Su stresi tüm konularda yaşlanma eğilimini hızlandırmıştır.

Genel Yorum: Stresin azaltılmasında kükürt uygulamalarının başarılı olduğunu gösteren araştırmalar bulunmaktadır. Bu araştırmalarda kükürt topraktan ve kontrollü ortamlarda bitkilere uygulanmıştır. Yapraktan uygulamada aynı başarı gerçekleşmemiştir. Su stresi bitkide incelenen fizyolojik özellikleri olumsuz yönde etkilerken yapraktan kükürt uygulaması bu olumsuzluğu anlamlı şekilde giderememiştir.

Çalışmanın Önemi ve Etkisi: Pamuk bitkisinde su stresinin olumsuz etkisini gidermek için yapraktan gübrelemenin etkilerini araştıran çok fazla araştırma bulunmamaktadır. Bu araştırma yapraktan uygulanan elementel kükürtün su stresi koşullarında pamuğun bazı fizyolojik özelliklerine ve evapotranspirasyon değerine etkilerini ortaya koymasından önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık toleransı, kükürt, sulama düzeyi, pamuk.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TUBİTAK tarafından 214O254 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMA BEYANI

Yazarlar çalışma konusunda çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Condon AG, Farquhar GD, Richards RA (1990) Genotypic variation in carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in wheat. Leaf gas exchange and whole plant studies. *Aust. J. Plant Physiol.* 17: 9-22.
- Dietz KJ (1989) Recovery of spinach leaves from sulphate and phosphate deficiency. *J. Plant Physiol.* 134: 551-557.
- Duke SH, Reisenauer HM (1986) Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. (Ed: Tabatabai, MA), *Sulfur in Agriculture.* 27:123-168.
- Fox RL, Olson RA, Rhoades HF (1964) Evaluating the sulfur status of soils by plants and soil tests. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28:243-246.
- Haliloğlu H, Yılmaz A, Beyyavaş V (2006) Pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) farklı dönemlerde yaprak gübresi uygulamalarının bitkisel ve lif teknolojik özelliklerine etkisi. *Tarım Bilim. Derg.* 12(1): 7.
- Howell TA, Davis KR, McCormick RL, Yamada H, To Walhood V, Meek DW (1984) Water use efficiency of narrow row cotton. *Irrig. Sci.* 5:195-214.
- Jie X, Dong Q, Li-Na Z (2008) Effects of sulfur nutrition on the chlorophyll content of maize leaf under zinc and drought stress. *Agric. Res. Arid* 2: 10-16.
- Jones HG (1999) Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Plant Cell Environ.* 22: 1043-1055.
- Kacar B, Katkat V (2007) *Bitki Besleme.* Nobel Yayınları. Ankara. 382s.
- Kerepesi I, Galiba G (2000) Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Sci.* 40: 482-487.
- Lawlor DW, Cornic G (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.* 25: 275-294.
- Li-Na Z, Dong Q, Li-Li S, Wei-Jie Y (2005) Effects of sulfur fertilization on the contents of photosynthetic pigments and mda under drought stress. *Acta Bot. Sin.* 8: 14-21.
- Loka DA, Oosterhuis DM (2014) Water-deficit stress effects on pistil biochemistry and leaf physiology in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *S. Afr. J. Bot.* 93: 131-136.
- Lu ZM, Chen J, Percy RG, Calvin OQ, Zeiger E (1998) Stomatal conductance predicts yields in irrigated Pima cotton and bread wheat grown at high temperatures. *J. Exp. Bot.* 49: 453-460.

- Lu ZM, Chen J, Percy RG, Zeiger E (1997) Photosynthetic rate, stomatal conductance and leaf area in two cotton species (*Gossypium barbadense* and *Gossypium hirsutum*) and their relation to heat resistance and yield. *Aust. J. Plant Physiol.* 24: 693-700.
- Mansfield TA, Davies WJ (1981) Stomata and stomatal mechanisms. (Eds: Paleg LG, Aspinall D) *The Physiology and biochemistry of drought resistance in plants.* 315-346.
- Marani A, Baker DN, Reddy VR, McKinion JM (1985). Effect of water stress on canopy senescence and carbon exchange rates in cotton. *Crop Sci.* 25: 798-802.
- Passioura JB, Condon AG, Richards RA (1993) The development of leaf area and crop productivity. (Eds: Smith Jac, Griffiths H) *Water Deficits: Plant responses from cell to community:* 253-264.
- Radin JW (1981) Water relations of cotton plants under nitrogen deficiency: IV. Leaf senescence during drought and its relation to stomatal closure. *Physiol. Plant.* 51(1): 145-149.
- Radin JW, Turcotte EL, Percy RG, Zeiger E (1994) High yields in advanced lines of Pima cotton are associated with higher stomatal conductance, reduced leaf area and lower leaf temperature. *Physiol. Plant.* 92: 266-272
- Saeed B, Khan AZ, Khalil SK, Ur Rahman H, Ullah F, Gul H, Akbar H (2013) Response of soil and foliar applied nitrogen and sulfur towards yield and yield attributes of wheat cultivars. *Pak. J. Bot.* 45(2): 435-442.