



Pamuk Bitkisinde Yapraktan Kükürt Uygulamasının Uzun Süreli Su Stresi Koşullarında Yaprak Sıcaklığına Etkisi

Derya KAZGÖZ CANDEMİR^{1*}, Berkant ÖDEMİŞ¹

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Hatay, TÜRKİYE

Alınış tarihi: 26 Şubat 2021

Düzeltilme tarihi: 22 Nisan 2021

Kabul tarihi: 23 Nisan 2021

Özet: Bu araştırma farklı gelişme dönemlerinde (vejetatif gelişme dönemi (VG), çiçeklenme ve koza oluşumu dönemi (ÇKO), kozaların açılması dönemi (KA)) uzun süreli su stresine maruz bırakılmış Carisma çeşidi pamuk bitkisine yapraktan kükürt uygulamasının yaprak sıcaklığına etkisinin belirlenmesi amacıyla 2015-2016 yıllarında yürütülmüştür. Tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulan bu çalışmada, ana parsellere gelişme dönemleri (OOO, TTT, TOO, OTT, OTO, TOT), alt parsellere kükürt dozları (S₀: Kontrol, S₁: 1500 ml ha⁻¹, S₂: 2500 ml ha⁻¹, S₃: 3500 ml ha⁻¹) konumlandırılmıştır. Çalışmada su stresinin fizyolojik etkilerini belirlemek amacıyla yaprak sıcaklığı ile bitki su tüketimi ve verim ölçümleri yapılmıştır. Ortalama değerler incelendiğinde gelişme dönemlerinde uygulanan sulama suyu miktarındaki artış yaprak sıcaklığı değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır. Verilen sulama suyu miktarının azalması (OOO ve TTT karşılaştırıldığında) ile yaprak yüzey sıcaklığında ilk yıl %7.1, ikinci yıl %18.4 oranında artış gerçekleşmiştir. Her iki yılda da en düşük yaprak sıcaklığı bütün gelişme dönemlerinde tam sulama suyu uygulanan TTT konusunda gerçekleşmiştir (27.35-27.28 °C). Stres nedeniyle yaprak sıcaklıklarındaki 1 °C'lık artış, verimde ilk yıl 78.6 kg da⁻¹, ikinci yıl 75.2 kg da⁻¹ azalmaya neden olmuştur. Farklı gelişme dönemlerinde uzun dönemli su stresine maruz kalındığında uygulanan kükürt dozlarının etkileri her sulama konusunda farklılık göstermiş ancak genel olarak S₁ dozunun yaprak sıcaklığını azaltarak aynı zamanda verim değerini artırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pamuk, sulama, gelişme dönemleri, yaprak sıcaklığı, kükürt uygulaması

Effects of Foliar Sulfur Applications in Cotton Crop on Leaf Surface Temperature Under Water Stress

Received: 26 February 2021

Received in revised: 22 April 2021

Accepted: 23 April 2021

Abstract: This study was performed in 2015-2016 in order to determine how the foliar application of sulfur helped reduce the effects of long-term water stress in Carisma variety cotton plants in different periods of development, namely vegetative growth (VG), flowering and boll development (FB), and boll opening (BO) periods. The study was set up in randomized complete block with three replications. Development periods (OOO, TTT, TOO, OTT, OTO, TOT) were assigned to main plots and sulfur doses (S₀: Control, S₁: 1500 ml ha⁻¹, S₂: 2500 ml ha⁻¹, S₃: 3500 ml ha⁻¹) were assigned to sub-plots. Measurements were made on leaf surface temperature, as well as evaporatranspiration and yield to evaluate the physiological effects of water stress. When the average values are examined, increasing irrigation water amount applied in the development periods significantly decreased leaf surface temperatures. Leaf surface temperatures increased by %7.1 in the first year and %18.4 in the second year with the decrease in the amount of irrigation water applied. In both years, the lowest leaf surface temperatures were observed in TTT where full irrigation water was applied in all growth periods (27.35-27.28 °C). Yield decreased 78.6 kg da⁻¹ in first year and 75.2 kg da⁻¹ in second year per 1 °C leaf temperature increment due to water stress. The effects of sulfur dosage on leaf surface temperature and yield varied due to exposure to long-term water stress at different developmental periods; however, generally speaking, it found that the dose of S₁ decreased leaf surface temperature and also increased yield value.

Key words: Cotton, growth stages, irrigation, leaf temperature, sulfur application

To Cite: Candemir D.K., B. Odemis 2021. Effects of Foliar Sulfur Applications in Cotton Crop on Leaf Surface Temperature Under Water Stress. Journal of Biosystems Engineering 2 (1): 1-16

1. Giriş

Kuraklık, dünya genelinde tarımsal verimliliği etkileyen en önemli çevresel stres unsurlarından biridir (Cattivelli ve ark., 2008). Kuraklık ya da su stresi nedeniyle bitkinin maruz kaldığı stresin gözlemlenmesi ya da sayısal olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Stres koşullarında bitkiler morfolojik, biyokimyasal ve fizyolojik yollar ile kendilerini korumaya çalışırlar. Stoma iletkenliğinin azalması, transpirasyonun zayıflaması, bitki canlılığını korumaya yönelik enzimlerin sentezlenmesi ve yaprak yüzey sıcaklığının artması bu tepkilerden sadece bir kaçıdır.

Yaprak yüzey sıcaklığı yaprak su potansiyelinin azalması sonucu stomaların kapanmasına bağlı olarak artar. Bitki yeniden sulanınca stoma iletkenliği arttığı için yaprak yüzeyi serinler ve yaprak yüzey sıcaklığı tekrar azalır. Yaprak yüzey sıcaklığı ya da bitki örtüsü sıcaklığı kızılötesi (infrared) termometreler ile anlık olarak saptanabilir ve bitkilerin stres düzeyleri belirlenebilir (Siddique ve ark., 1990). Yaprak yüzey sıcaklığının artması bitkinin strese girdiğini gösterdiğinden bu dönemde stresi azaltacak uygulamalar önemlidir. Özellikle yapraktan yapılan besin elementi uygulamaları difüzyon yoluyla yaprak dokusuna girer ve stres enzimlerinin azalmasına neden olabilir. Araştırmalar, prolin (Iba, 2002), silikon (Ahmed ve ark., 2011), potasyum (Studer, 1993), fosfor (Garg ve ark., 2004) ve kükürt (Li-na ve ark., 2005; Kazgöz Candemir, 2017; Ödemiş ve ark., 2017) elementlerinin stres üzerine kısa ya da uzun süreli etkileri olduğunu göstermiştir.

Kükürt fotosentezin gerçekleşmesinde önemli rol oynayan bir elementtir. Kükürt'ün 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). 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).

Su kullanımının yüksek olduğu pamuk gibi bitkilerde su stresinden kaynaklanan verim azalmalarını önleyecek stratejiler uygulamak üreticiler için oldukça önemlidir. Çünkü çiçeklenme öncesi ve çiçeklenme dönemlerindeki su stresi pamukta verimi önemli ölçüde azaltır. Bu dönemde stresin etkisini azaltacak her türlü uygulama bitki gelişimi için önemli avantajlar yaratır.

Bu araştırmada; farklı gelişme dönemlerinde su stresine maruz kalan pamuk bitkisinde yaprakтан uygulanan farklı kükürt dozlarının yaprak sıcaklığına etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırma Yerinin Genel Tanımı, Toprak ve İklim Özellikleri

Çalışma, 2015 ve 2016 yıllarında Amik Ovasında yürütülmüştür. Amik ovası, Akdeniz iklimine sahip olup, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Deneme alanının denizden yüksekliği ortalama 110 m olup 36° 17' 26" kuzey enlemleri ile 36° 11' 43" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Deneme bölünmüş parseller deneme desenine göre tam sulama düzeyinde 3 tekerrürlü olarak kurulmuş ve her parsel 15×4.2 m boyutlarında, 6 sıradan oluşmuştur. Tekerrürler arasında boşluk bırakılmamıştır. Sıra arası/üzeri; 70/15 cm olacak şekilde; birinci yıl 18.05.2015 (Day of Year, DOY 138) ve ikinci yıl 3.06.2016 (DOY 155) tarihlerinde ekim yapılmıştır. Her sırada yaklaşık 100 bitki bulundurulmuştur. Materyal olarak adaptasyon kabiliyeti ve verim potansiyeli yüksek, Carisma çeşidi pamuk kullanılmıştır. Ekimden önce dekara 20 kg da⁻¹ 18-46-0 (DAP) gübresi, ekimden sonra ise ilk 4 sulamanın her birinde 4 kg da⁻¹ saf azot (S₀) fertigasyon yöntemi ile uygulanmıştır (Burt ve ark., 1995). Buna ilave olarak, bütün konulara yaprakтан 1500 ml ha⁻¹ (S₁), 2500 ml ha⁻¹ (S₂), 3500 ml ha⁻¹ (S₃) saf kükürt uygulanmıştır. Kükürt uygulamaları, bitkinin çıkış dönemi dışında tüm gelişme dönemlerinde (gelişme dönemleri ortasında) 1' er kez; iki sulamanın ortasında rüzgârın kükürt dağılımını olumsuz etkilemeyeceği sabahın erken saatlerinde (6:00-6:30) yapılmıştır. Kozaların tamamı açıldıktan sonra her iki yılda da 14 Ekim tarihinde sağdan ve soldan birer sıra baştan ve sondan 0.50' şer m kenar tesiri bırakıldıktan sonra geriye kalan 4 sıra (her tekerrür için 13.05 m²) elle hasat edilmiştir. Uzun yıllık (1945- 2006) iklim verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 20 °C'dir. Yılın en soğuk ayı Ocak (8.2 °C); en sıcak ayı ise Ağustos'tur (29.1 °C). Deneme süresince ölçülen iklim verileri Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme yıllarına (2015 – 2016) ait iklim verileri

	2015					Ort	2016					Ort
	M	H	T	A	E		M	H	T	A	E	
Ort. Sıcaklık (°C)	21.92	24.59	27.35	28.95	27.60	26.09	21.26	26.41	28.39	28.46	25.13	25.93
Yağış (mm)	19.40	0.00	0.00	1.20	0.00	20.6*	3.23	14	16	119.2	0.0	149.2*
Solar Rad. (wm ⁻²)	278.88	295.92	294.20	261.63	199.99	266.108	256.36	305.12	311.56	279.32	234.00	277.27
Toprak Sıcaklığı (°C)	24.88	27.74	30.17	31.57	30.09	28.89	22.44	27.37	30.29	30.63	26.65	27.48
Rüzgar Hızı (km h ⁻¹)	5.59	8.20	8.39	6.40	4.17	6.55	5.31	6.19	7.59	6.60	4.06	5.95

*Yağış değerleri ilgili sütunda toplam değer olarak verilmiştir. Deneme süresince ilk yıl 20.65 mm ikinci yıl 149.2 mm yağış düşmüştür

Araştırma alanı toprakları siltli killi tınlı bünyeli olup tuzluluk- sodyumluluk ve drenaj sorunu bulunmamaktadır. Profil boyunca 30 cm'lik katmanlarda türbidimetrik baryum yöntemi (Fox ve ark., 1964) ile yapılan analizler sonucunda toprakta kükürt saptanamamıştır. Denemenin yürütüldüğü arazinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2' de verilmiştir. Sulama suyu kalitesi ise C_3S_1 (ECw: 1397 ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Araştırma alanı topraklarına ilişkin bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Derinlik (cm)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Bünye Sınıfı	pH	ECe	CaCO ₃ (%)	Azot (%)	Organik mad. (%)	TK (g g ⁻¹)	SN (g g ⁻¹)	As (g cm ⁻³)
0-30	59.52	15.28	25.2	SiCL	7.55	1124	2.265	1.42	0.33	21.3	13.4	1.660
30-60	57.52	19.28	23.2	SiCL	7.62	560	0.680	1.65	0.34	24.1	14.2	1.676
60-90	53.52	17.28	29.2	SiCL	7.80	429	0.905	2.01	0.38	25.0	14.5	1.540
90-120	61.52	15.28	23.2	SiCL	7.65	400	0.300	2.12	0.37	25.2	14.7	1.489

TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası, As: Hacim ağırlık, EC_e: Toprak süzüğü elektriksel iletkenliğidir ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)

2.2. Sulama Suyu

Denemede, damlatıcı aralığı 40 cm, damlatıcı debisi 1.8 lt h^{-1} olan damla sulama sistemi kullanılmıştır. Sulama uygulamaları yaklaşık haftada 1 kez mevcut nemin (TTT konusu referans alınarak) tarla kapasitesine getirilmesi şeklinde uygulanmıştır. Toprak nem içeriği 2. tekerrür parsellerinden ve 90 cm derinlikten gravimetrik yöntemle belirlenmiştir. İlk sulama elverişli kapasitenin %50' si tüketilince başlamış ve gerekli sulama suyu miktarı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$d = ((TK-MN) \times As \times D)/100 \quad (1)$$

Eşitlik 1' de; d: Mevcut toprak nemini tarla kapasitesine getirmesi için gerekli olan sulama suyu miktarı (mm), TK: Tarla kapasitesi (% g/g), MN: Mevcut toprak nemi (% g/g), As: Her toprak katmanı için deneme öncesinde belirlenen hacim ağırlığı (g cm^{-3}), D: Toprak katman kalınlığıdır (mm). Eşitlik 1' de tek boyutlu (mm) olarak belirlenen gerekli sulama suyu miktarını hacimsel boyuta getirmek için aşağıdaki Eşitlik 2 kullanılmıştır.

$$I = (d \times A \times P)/Ea \quad (2)$$

Eşitlik 2' de; I: Tam sulama (TTT) konusuna uygulanacak sulama suyu miktarı (L), d: Gerekli sulama suyu miktarı (mm), A: Parsel alanı (m^2), Ea: Su uygulama randımanı, (0.95 olarak alınmıştır. P: Islatılacak alan yüzdesidir (%).

2.3. Bitki Su Tüketimi

Deneme konularına ait bitki su tüketimi ise "Toprak Su Bütçesi" yöntemine göre hesaplanmıştır (Eşitlik 3).

$$ET = I + R - D_p - R_f \pm \Delta S \quad (3)$$

Eşitlikte; Et: Bitki su tüketimi (mm); I: Uygulanan sulama suyu miktarı (mm); R: Yağış (mm); Dp: Derine sızma (mm) (Sulamalardan yaklaşık 24 saat sonra tam sulama konularının 120 cm derinliklerinden yapılan örneklemelerden ölçülmüştür); Rf: Yüzey akış (mm); ΔS : Toprak profilindeki nem değişimi (mm/90 cm) değerlerini göstermektedir (James, 1988).

2.4. Deneme Konuları ve Kükürt Dozlarının Belirlenmesi

Denemede ana konular gelişme dönemlerine (OOO, TTT, TOO, OTT, OTO, TOT), alt konular ise kükürt dozlarına (S₀: Kontrol, S₁: 1500 ml ha⁻¹, S₂: 2500 ml ha⁻¹, S₃: 3500 ml ha⁻¹) göre oluşturulmuştur. Pamuk bitkisi farklı gelişme dönemlerine ayrılmış ve gelişme dönemlerinin bazılarında konulara tarla kapasitesi düzeyinde su uygulanırken (T), bazı gelişme dönemlerinde sulama suyu uygulanmamıştır (O) (Çizelge 3). Söz konusu dönemler; vejetatif gelişme dönemi (VG), çiçeklenme ve koza oluşumu dönemi (ÇKO), kozaların açılması dönemi (KA)' dir (Doorenbos ve Kassam, 1986). Vejetatif gelişme dönemi (VG), bitkinin birkaç yapraklı olmasından, ilk çiçeklerin görülmesine kadar geçen süreyi içermektedir. Çiçeklenme ve koza oluşumu dönemi (ÇKO), ilk çiçeklerin görülmesinden ilk koza çatlamasına kadar geçen süreden oluşmaktadır. Kozaların açılması dönemi (KA), ilk koza çatlamasının görülmesinden son el hasadına kadar geçen süre olarak kabul edilmiştir. Çizelge 3.' de görüleceği gibi, TTT konusuna tüm gelişme dönemlerinde mevcut nemi tarla kapasitesine getirecek miktarda sulama suyu uygulanırken, OOO konusuna sadece çıkış döneminde can suyu (ilk yıl) uygulanmış ve diğer dönemlerde yağışla beslenmiştir. TOO konusuna sadece vejetatif gelişme döneminde, OTT konusuna çiçeklenme ve koza oluşumu dönemi ile kozaların açılması döneminde, OTO konusuna sadece çiçeklenme ve kozaların oluşumu döneminde, TOT konusuna ise vejetatif gelişme dönemi ile çiçeklenme ve kozaların açılması döneminde sulama suyu uygulanmıştır.

Çizelge 3. Farklı gelişme dönemlerinde uygulanan su stresi konuları

Deneme konuları	Çıkış*	Vejetatif gelişme dönemi (VG)	Çiçeklenme ve koza oluşumu dönemi (ÇKO)	Kozaların açılması dönemi (KA)
OOO	+	-	-	-
OTO	+	-	+	-
TOO	+	+	-	-
OTT	+	-	+	+
TOT	+	+	-	+
TTT	+	+	+	+

(+): Sulamanın yapıldığı dönem, (-): Sulamanın yapılmadığı dönem,

(T): Tam sulamayı (O): Sulamanın yapılmadığı konuyu simgelemektedir

*: ilk yıl 70 mm can suyu verilirken ikinci yıl yağışlardan dolayı can suyuna gerek kalmamıştır

2.5. Yaprak Yüzey Sıcaklığı

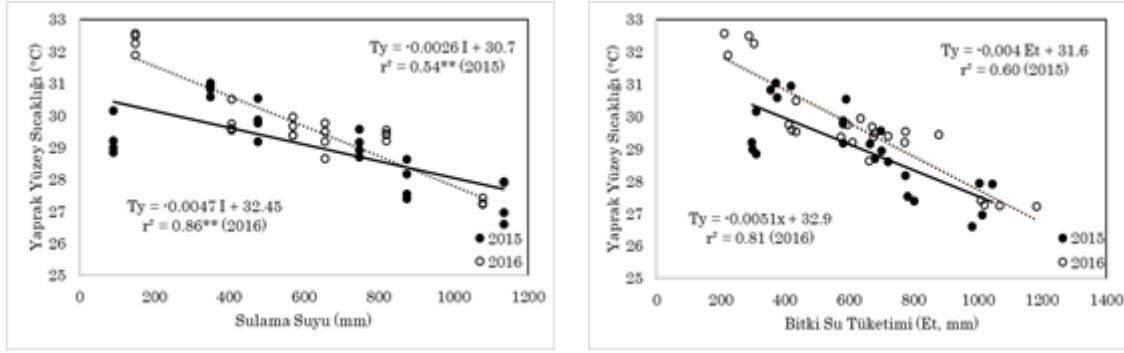
Yaprak sıcaklığı (T_y) ölçümleri, sulamalardan bir gün önce, havanın tamamen açık olduğu veya bulutların güneşi engellemediği koşullarda 7 gün arayla, 11:00–14:00 saatleri arasında, her bir tekerrürde güneş gören 2 bitkide 2 şer yapraktan yapılmıştır. Yaprak yüzey sıcaklığı ölçümlerinde elde taşınabilir infrared termometre aleti (Spectrum Technologies Inc., IR Crop Temperature Meter) kullanılmıştır. Aletin ölçebildiği sıcaklık aralıkları -40 ile 320 °C, dalga boyu 8-14 μ arasında değişmekte ve mesafe hedef oranı 8:1 ve emissivity değeri 0.95 olarak verilmektedir.

Denemede elde edilen sonuçlar SPSS 18 paket programında verilerin Duncan testine tabi tutulması ile yapılmıştır (Bek ve Efe, 1988).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Sulama Suyu Miktarının (I) Yaprak Yüzey Sıcaklığına Etkisi (T_y)

Yaprak yüzey sıcaklığı bitki strese girdiğinden dolayı sulama öncesinde artmıştır. Sulama uygulamalarına bağlı olarak T_y ' nin değişimi konular arasında farklılık göstermiştir. Maksimum ve minimum yaprak sıcaklığı değerleri ilk yıl OOO, TTT, TOO, OTT, OTO ve TOT konularında sırasıyla 30.15-28.85 °C, 27.93-26.60 °C, 31.03-30.57 °C, 28.61-27.38 °C, 30.53-29.17 °C, 29.56-28.69 °C, ikinci yıl ise 32.56-31.89 °C, 27.42-27.21 °C, 29.95-29.36 °C, 29.75-28.64 °C; 30.50-29.53 °C, 29.54-29.13 °C arasında değişmiştir. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri arasındaki en yüksek fark 1.36 °C ile OTO konusunda ölçülmüştür. Yapılan regresyon analizlerinde yaprak yüzey sıcaklığı ile sulama suyu miktarı arasında ilk yıl $T_y = -0.0026 I + 30.7$ $r^2 = 0.54^{**}$, ikinci yıl $T_y = -0.0047 I + 32.5$ $r^2 = 0.86^{**}$ (T_y : yaprak sıcaklığı °C, I: sulama suyu mm) biçiminde ilişkiler elde edilmiştir (Şekil 1). Yaprak yüzey sıcaklığının azalmasında sulama suyu miktarının ilk yıl %54, ikinci yıl %86 oranında etkili olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde bitki su tüketimindeki artış yaprak sıcaklığında azalmaya neden olmuştur (Şekil 1). En düşük T_y beklenildiği gibi her iki yılda da gelişme döneminin tamamında su alan TTT konusunda ölçülmüştür (27.35 °C ve 27.28 °C). En yüksek T_y ise ilk yıl 30.85 °C ile TOO konusunda ikinci yıl 32.30 °C ile OOO konusunda gerçekleşmiştir (Çizelge 4). İstatistiksel olarak OOO ve TTT konuları dışındaki konular ilk yıl farklı gruplarda yer alırken ikinci yıl aynı grupta yer almışlardır.



Şekil 1. Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi ile yaprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler

Her konu ayrı bir sulama stratejisine sahip olduğundan bitkiler azalan ya da artan su miktarlarına sulama suyu miktarındaki değişime paralel olacak şekilde doğrusal tepkiler vermemiştir. Bu durumun kısa ya da uzun süreli strese maruz kalan bitkinin adaptasyon yeteneği ile ilgili olduğu düşünülmüştür. Ayrıca aynı sulama stratejisine maruz kalsalar dahi iklim parametrelerindeki yıllara bağlı farklılık (özellikle sıcaklık ve radyasyon) T_y değerlerinde değişime yol açmaktadır. İlk yıl ortalama sıcaklık ve radyasyon sırasıyla $27.09\text{ }^{\circ}\text{C} - 266.108\text{ w m}^{-2}$; ikinci yıl $25.93\text{ }^{\circ}\text{C} - 277.27\text{ w m}^{-2}$ olarak ölçülmüştür. Evaporasyon ve transpirasyonda farklılığa neden olan sıcaklık ve radyasyon değerleri sulama suyu gereksiniminde de farklılık oluşturmuştur. İlk yıl sulama suyu miktarının $1136\text{ mm}'$ den $91\text{ mm}'$ ye düşmesi ile yaprak yüzey sıcaklığı %7.1; ikinci yıl $1078\text{ mm}'$ den $149\text{ mm}'$ e düşmesi ile %18.4 oranında artmıştır (Çizelge 4). Her iki yılda da en düşük yaprak sıcaklığı bütün gelişme dönemlerinde tam sulama suyu uygulanan TTT konusunda gerçekleşmiştir ($27.35\text{-}27.28\text{ }^{\circ}\text{C}$). Diğer konularda ise uygulanan sulama suyu miktarına göre yaprak yüzey sıcaklığı (TTT konusuna göre) sırasıyla (TOO, OTT, OTO, TOT) %12.8, %2.1, %9.1, %6.3 (2015); %8.5, %7.3, %9.4, %7.7 (2016) oranında artmıştır. Pamukta yapılan benzer çalışmalarda da uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça yaprak sıcaklığının (Ödemiş ve ark., 2017) ve taç örtüsü sıcaklığının (Ödemiş ve Baştuğ, 1999) azaldığı görülmektedir. Ödemiş ve ark., (2017) elverişli kapasitenin %33'ü oranında su alan bitkiler ile sulanmayan bitkiler arasındaki farkın %66 ve %100 düzeyinde sulanan bitkilere göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. %33-%66 ve %66-%100 oranında sulanan bitkiler arasındaki yaprak yüzey sıcaklığı farkı daha küçük aralıklarda seyretmiştir. İki yıllık araştırmada yaprak yüzey sıcaklığının azalmasında sulama suyu miktarının %99 oranında etkili olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. Konulara ait ortalama yaprak sıcaklığı, sulama suyu ve bitki su tüketimi ve verim değerleri

Konular	T_y	I	ET	Y
OOO	29.30 b	91**	304	251.46 de
	32.30 a	149*	256	167.75 d

TTT	27.35 c 27.28 c	1136 1078	1012 1070	532.87 a 563.51 a
TOO	30.85 a 29.59 b	350 570	380 639	235.99 e 272.17 c
OTT	27.92 c 29.26 b	877 657	770 636	451.09 b 337.25 b
OTO	29.84 b 29.84 b	478 407	583 425	287.14 cd 321.85 b
TOT	29.08 b 29.39 b	749 820	685 787	305.03 cd 355.96 b

** : yağış+can suyu; * : yağış, I: Sulama suyu miktarı (mm), ET: Bitki su tüketimi (mm), Y: verim (kg da⁻¹), 1.satır 2015, 2.satır 2016 değerlerine aittir

Her dönem tam sulanan (TTT) ve sulanmayan (OOO) konuları karşılaştırıldığında TTT konusundaki bitkilerin ilk yıl 1.95 °C, ikinci yıl 5.02 °C daha düşük sıcaklığa sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4). Su stressiz ve stresli (40 gün susuz bırakılan) yaprak sıcaklıkları karşılaştırıldığında su stressiz yapraklar sabah 08:00'de 0.2°C, öğleden sonra 16:00'da 3.7 °C daha düşük sıcaklıkta ölçülmüştür (Smith ve ark., 1988). AYTEKİN (2017) kurak koşullarda kuru fasulye bitkisinde yaprak sıcaklığının kontrole göre 1.9 °C; GHANBARI ve ark., (2013) ise 2 °C daha yüksek çıktığını belirtmişlerdir.

3.2. Kükürt Dozlarının Yaprak Yüzey Sıcaklığına Etkisi

Araştırma da her konu ayrı bir sulama stratejisi olduğundan bitkilerin strese maruz kaldıkları süre ve stresin şiddeti farklı olmuştur. Bu nedenle kükürt dozlarının yaprak sıcaklığına etkisi dozlara, bitkinin maruz kaldığı stres süresine ve iklim parametrelerinin yıllara bağlı değişimine göre değişiklik göstermiştir. Her konu ayrı ayrı değerlendirildiğinde, ilk yıl TTT ve OTT konularında, ikinci yıl OOO konusunda kükürt dozları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 5). OOO konusunda ilk yıl tüm dozların ikinci yıl S₃ dozunun, TTT konusunda her iki yılda da S₃ dozunun, TOO konusunda ilk yıl tüm dozların ikinci yıl S₁ ve S₂ dozlarının, OTT konusunda ilk yıl S₂, ikinci yıl S₃ dozunun, OTO konusunda ilk yıl tüm dozların ikinci yıl ise bitki hasada doğru yaklaştıkça S₁ dozunun, TOT konusunda ilk yıl S₃, ikinci yıl S₂ dozunun yaprak yüzey sıcaklığını azalttığı belirlenmiştir (Şekil 2-3).

Çizelge 5. Deneme konularına ait yaprak yüzey sıcaklığı ve verim değerleri

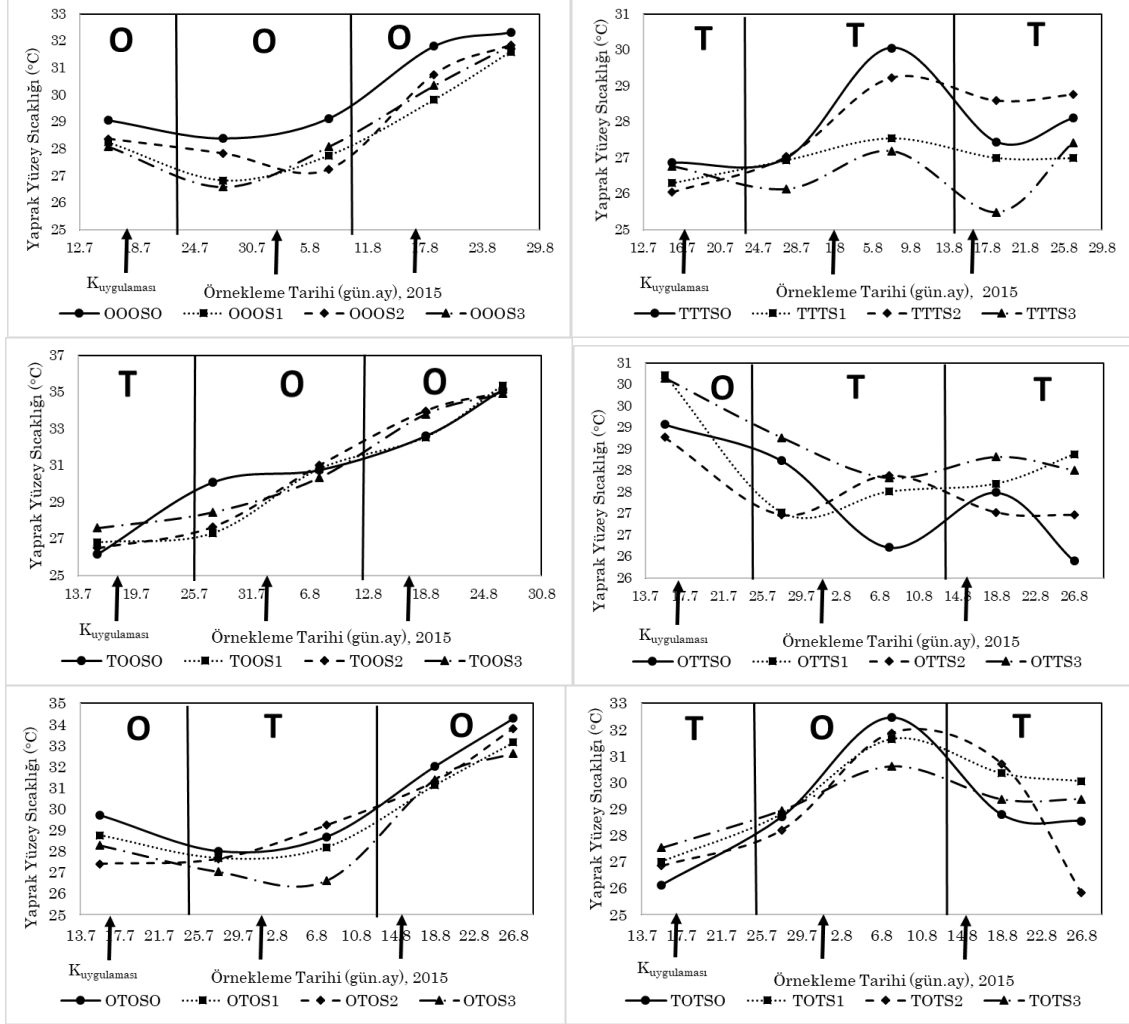
Konular	Kükürt dozu	2015		2016	
		T _y (°C)	Verim (kg da ⁻¹)	T _y (°C)	Verim (kg da ⁻¹)
OOO	S ₀	30.15 *	185.54 c	32.25 b	148.57 *
	S ₁	28.85 *	236.56 b	32.56 a	149.90 *
	S ₂	29.21 *	287.66 a	32.50 a	189.08 *
	S ₃	28.99 *	296.09 a	31.89 b	183.46 *
TTT	S ₀	27.90 a	480.12 *	27.21 *	499.77 b
	S ₁	26.95 b	546.70 *	27.42 *	581.14 a
	S ₂	27.93 a	560.37 *	27.24 *	586.30 a
	S ₃	26.60 b	544.27 *	27.26 *	586.83 a
TOO	S ₀	30.95 *	203.35 *	29.37 *	258.07 *
	S ₁	30.57 *	252.53 *	29.36 *	298.10 *
	S ₂	30.83 *	243.59 *	29.67 *	277.36 *
	S ₃	31.03 *	244.48 *	29.95 *	255.16 *
OTT	S ₀	27.38 b	458.69 *	28.64 *	328.40 b
	S ₁	28.17 ab	442.72 *	29.75 *	350.53 a
	S ₂	27.52 ab	465.97 *	29.48 *	332.85 ab
	S ₃	28.61 a	436.98 *	29.19 *	337.22 ab
OTO	S ₀	30.53 *	303.34 *	30.50 *	259.27 b
	S ₁	29.77 *	279.74 *	29.58 *	337.68 a
	S ₂	29.87 *	285.36 *	29.74 *	340.15 a
	S ₃	29.19 *	280.12 *	29.53 *	350.30 a
TOT	S ₀	28.93 *	263.00 *	29.43 *	313.53 b
	S ₁	29.56 *	326.49 *	29.19 *	395.74 a
	S ₂	28.69 *	322.27 *	29.39 *	336.60 ab
	S ₃	29.16 *	308.35 *	29.54 *	377.96 a

Değerler arasındaki farklar küçük harflerle gösterilip, farkların önemli olduğunu belirtmektedir

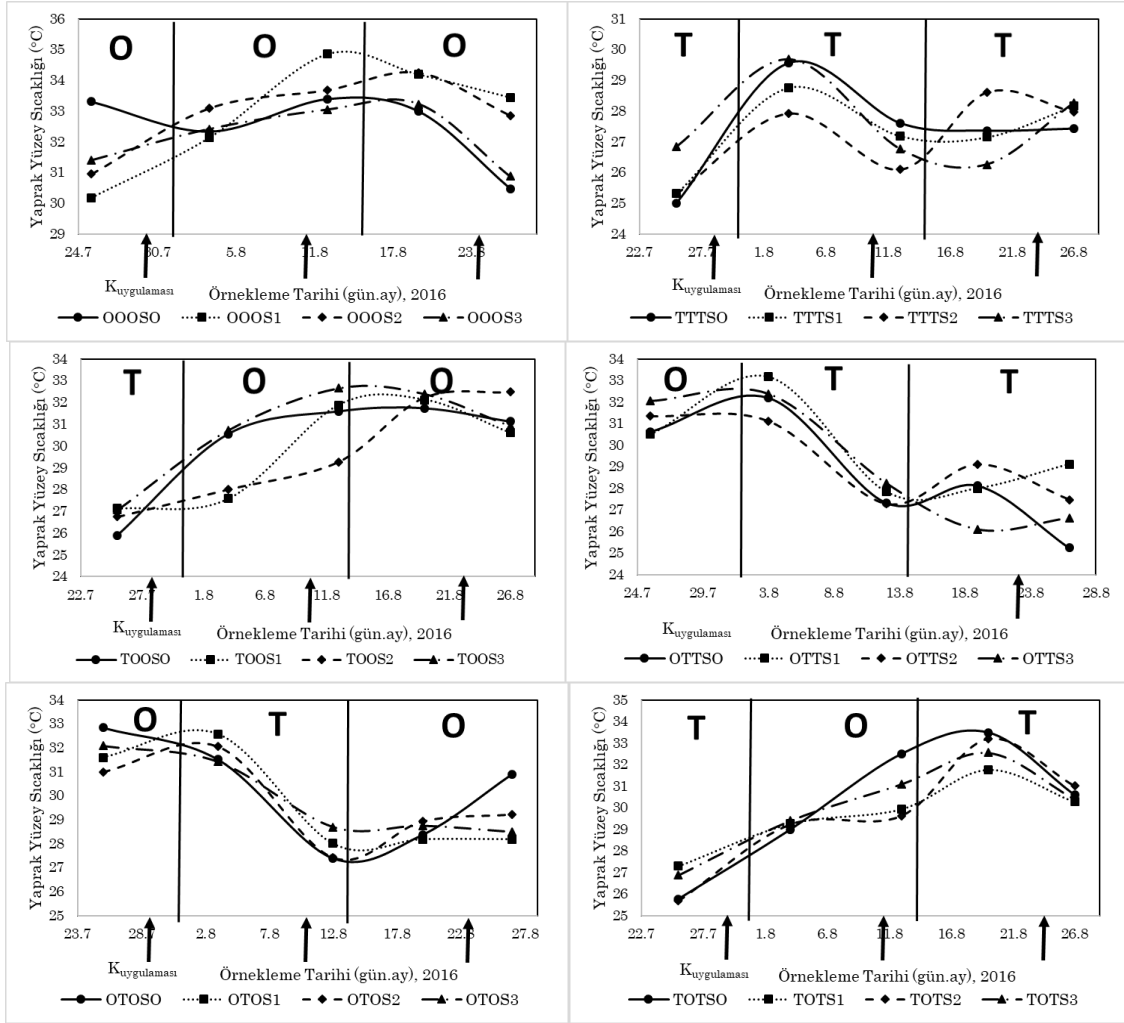
*: Kükürt dozları arasında fark bulunamamıştır

Gelişme dönemlerinde sulamanın uygulanmadığı süre arttıkça stresin şiddeti arttığı için kükürt dozları yaprak yüzey sıcaklığına etkisi konular arasında farklılık göstermiştir (Şekil 2-3). Denemenin ilk yılında uzun dönemli stres koşullarında (OOO) S₁, S₂ ve S₃ dozlarının S₀ dozuna göre yaprak yüzey sıcaklığının azaltılmasında olumlu etkide bulunduğu en çok etkinin S₁ dozundan elde edildiği görülmüştür (Şekil 2-3). Ancak denemenin ikinci yılında başlangıçta kükürt dozları yaprak sıcaklığını azaltırken stres süresi uzadıkça etkisini kaybetmiş ve yaprak yüzey sıcaklığı artmıştır (Şekil 3). Her iki yılda da başlangıç toprak nem miktarları arasındaki farkın çok olmamasına rağmen yaprak yüzey sıcaklığının birinci ve ikinci yıl farklılık göstermesinin sıcaklık, yağış, buhar basıncı açığı, rüzgâr hızı gibi iklimsel faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumda yaprak yüzey sıcaklığının 30 °C'den fazla

olduğunda bitkinin aşırı derece strese girdiği düşünülmüş ve bitkiyi stresten kurtarmak için dışardan herhangi bir müdahalenin yaprak sıcaklığını azaltmada etkili olmadığı kanaatine varılmıştır.



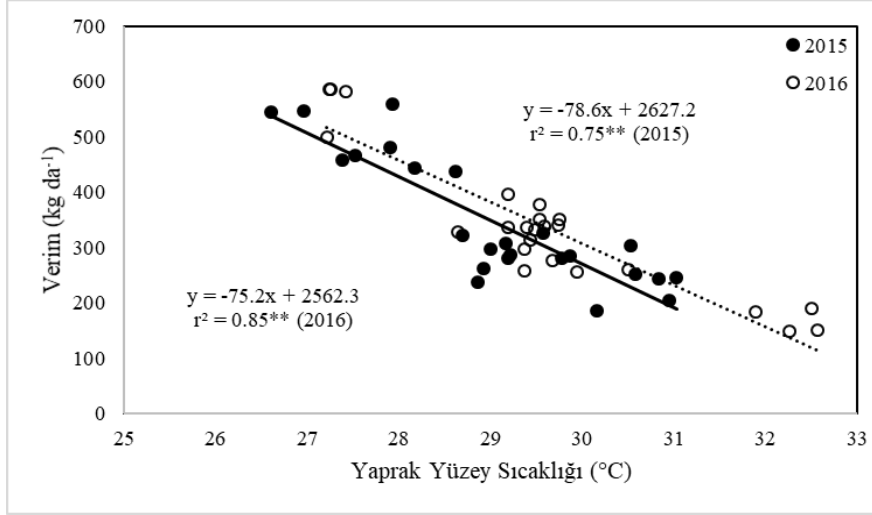
Şekil 2. Uygulanan күкүрт dozlarının yaprak yüzey sıcaklığına etkisi, 2015



Araştırmalar bitki strese girdiğinde yaprak yüzey sıcaklığının arttığını göstermektedir (Throssell ve ark., 1987; Ödemiş, 1995; Ödemiş ve ark., 2017). Gübrelerin bitki besin elementi olma özellikleri yanında bitkinin maruz kaldığı streşi önlemede ya da şiddetini azaltmada önemli rollerinin olduğu bilinmektedir (Studer, 1993; Andersen ve ark., 1992; Garg ve ark., 2004; Ma ve ark., 2004). Potasyum ve fosfor gibi besin elementlerinin yanı sıra kükürt de fotosentezin gerçekleşmesinde önemli rol oynar ve stres koşullarında klorofil miktarını artırır (Li-na ve ark., 2005). Ödemiş ve ark., (2017) sulama suyu ve kükürtün yaprak sıcaklığı değişimine etkili olduğunu uzun dönemli su stresine maruz kalmış pamuk bitkisinde yaprakta kükürt uygulamasının yaprak sıcaklığını %3.1 ile %4.5 arasında azalttığını belirlemişlerdir. Buna karşın yeterli toprak nem koşulunda yaprak sıcaklığının kükürt uygulaması ile azalmadığı, aksine kükürtün yaprak yüzeyinde oluşturduğu katman nedeniyle (transpirasyonu engellediği için) yaprak yüzeyindeki sıcaklığın arttığı görülmüştür. Her iki yılda da sadece

çiçeklenme döneminde sulanan diğer dönemlerde sulanmayan bitkilerde kükürt dozları yaprak sıcaklığını düşürerek bitkinin stresten kurtulmasını sağlamıştır.

Stres nedeniyle yaprak sıcaklıklarındaki 1 °C'lık artış, verimde ilk yıl 78.6 kg da⁻¹, ikinci yıl 75.2 kg da⁻¹ azalmaya neden olmuştur (Şekil 4). Ödemiş ve ark., (2017), pamuk bitkisinin yaprak sıcaklığındaki 1 °C 'lık artış, ilk yıl 89 kg da⁻¹, ikinci yıl 61 kg da⁻¹, her iki yılın ortalamasında ise 75 kg da⁻¹ azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4. Yaprak yüzey sıcaklığı ve verim arasındaki ilişkiler

Kükürt dozlarının 2015 yılında OOO ve 2016 yılında TTT, OTO, TOT konularının verim değerlerine istatistiksel olarak önemli etkileri saptanmıştır (Çizelge 6). Denemenin her iki yılında da TOO konusunun S₁ (1500 ml ha⁻¹) dozunda ortalama olarak en düşük yaprak sıcaklığı ölçülmüş ve verim değeri de diğer konulara göre daha yüksek elde edilmiştir. Benzer etki TOT (2016) konusunda da görülmüş en düşük yaprak sıcaklığı S₁ dozunda belirlenmiş ve en yüksek verim elde edilmiştir. Aynı konuda doz arttıkça yaprak sıcaklığı artmış ve verim azalmıştır.

Çizelge 6. Konulara ait varyans analiz tablosu

Yıl	VK	SD	OOO			TTT			
			KT	KO	F	KT	KO	F	
2015	Verim	KD	3	23605.97	7868.66	16.28***	11578.75	3859.58	0.94öd
		Error	8	3867.33	483.42		32960.13	4120.02	
2016	Verim	KD	3	4164.09	1388.03	3.23öd	16309.27	5436.42	9.74**
		Error	8	3438.94	429.87		4466.02	558.25	
2015	Yaprak Sıcaklığı	KD	3	14.94	4.98	1.30öd	22.22	7.41	5.41**
		Error	52	199.09	3.83		71.24	1.37	
2016	Yaprak Sıcaklığı	KD	3	18.04	6.01	4.23**	0.75	0.25	0.20öd
		Error	44	62.48	1.42		57.68	1.31	

Yıl	VK	SD	TOO			OTT			
			KT	KO	F	KT	KO	F	
2015	Verim	KD	3	4406.51	1468.84	0.68öd	1645.09	548.36	0.11öd
		Error	8	17171.86	2146.48		41637.86	5204.73	
2016	Verim	KD	3	3563.39	1187.80	1.53öd	63214.00	21071.33	2.77öd
		Error	8	6207.29	775.91		60824.75	7603.09	
2015	Yaprak Sıcaklığı	KD	3	2.48	0.83	0.10öd	11.18	3.73	2.54öd
		Error	44	351.13	7.98		64.50	1.47	
2016	Yaprak Sıcaklığı	KD	3	11.61	3.87	1.40öd	11.67	3.89	0.60öd
		Error	44	122.33	2.78		283.09	6.58	

Yıl	VK	SD	OTO			TOT			
			KT	KO	F	KT	KO	F	
2015	Verim	KD	3	1109.17	369.72	0.12öd	7605.36	2535.12	0.95öd
		Error	8	25292.90	3161.61		21334.08	2666.76	
2016	Verim	KD	3	15932.37	5310.79	2.10***	21870.17	7290.06	5.46**
		Error	8	2021.34	252.67		9350.70	1335.81	
2015	Yaprak Sıcaklığı	KD	3	12.17	4.06	0.56öd	6.80	2.27	0.66öd
		Error	44	318.87	7.25		150.52	3.42	
2016	Yaprak Sıcaklığı	KD	3	2.90	0.97	0.29öd	3.47	1.16	0.41öd
		Error	40	132.25	3.31		119.58	2.85	

KD:kükürt dozu, SD: serbestlik derecesi, KT:kareler toplamı, KO:kareler ortalaması, *** p<0.001, ** p<0.01 düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4. Sonuçlar

Kurak, yarı kurak bölgelerde yaygın olarak yetiştirilen pamuk bitkisi büyüme ve gelişmesinin her aşamasında fazla miktarda suya ihtiyaç duymakta ve her gelişme döneminde suya duyarlılığı farklılık göstermektedir. Her ne kadar yarı-kurak alanlara adapte olabilecek fizyolojik mekanizmalara sahip olsa da su stresine maruz kaldığında verim ve lif kalitesinde önemli ölçüde düşüşler yaşanmaktadır. Pamuk, sahip olduğu derin ve yoğun kök sistemi ile stres altında yaprak sıcaklığını artırmak gibi fizyolojik mekanizmalara da sahiptir. Bu çalışmada, fizyolojik gelişme dönemlerinde dikkate alınan sulama stratejileri nedeniyle her konuda su stresinin süresi ve şiddeti farklı olmuştur. Bu durum bitkilerde ölçülen yaprak sıcaklıklarının konulara göre değişmesine neden olmuştur. Yaprak sıcaklığını azaltmaya yönelik yapraktan kükürt uygulamalarının etkileri de doğal olarak her konuda farklılık göstermiştir.

Uygulanan kükürt dozlarının etkileri irdelendiğinde, her sulama stratejisinde kükürt dozlarının farklı etkiler yarattığı görülmektedir ancak genel olarak S₁ dozunun yaprak sıcaklığını azaltarak aynı zamanda verim değerini artırdığı görülmektedir. Yeterli toprak nem koşulunda yapraktan kükürt uygulaması ile daha fazla sıcaklığın azalmadığı, aksine kükürtün yaprak yüzeyinde oluşturduğu kısıtlayıcı katman nedeniyle (transpirasyonu engellediği için) yaprak yüzeyindeki sıcaklığı artırdığı görülmektedir. Bu nedenle tarla kapasitesi düzeyinde yapılan sulamalarda herhangi bir beklentiyle kükürt uygulanmasına gerek yoktur.

Sonuç olarak, her gelişme dönemi ayrı olarak değerlendirildiğinde, gelişme dönemlerinde bitkinin maruz kaldığı stresin süresi ve şiddeti yaprak sıcaklığının farklı

değerlerde ölçülmesine neden olmuştur. Bununla birlikte yaprak sıcaklığını azaltmada kükürt uygulamasının etkisi dozlara bağlı olarak ve stresin düzeyine göre değişmiştir.

Teşekkür

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

Finansal Destek: Bu çalışma TUBİTAK kurumu tarafından desteklenen 214O254 no'lu proje kapsamında finansal destek almıştır.

Yazar Katkısı: Makaledeki tüm yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar çatışma beyanı : Yazar(lar) çalışma konusunda çıkar çatışmasının olmadığı beyan eder.

Etik Kurul: Makale etik kurul onayı gerektiren bir çalışma değildir.

Kaynaklar

- Ahmed, M., Hassen, UF., Khursid, Y., 2011. "Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum?. Agricultural Water Management, 98(12): 1808-1812.
- Andersen, MN., Jensen, CR., Lösch, R., 1992. The interaction effects of potassium and drought in field-grown barley. 1. yield, water-use efficiency and growth. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B Soil Plant Science, 42: 34-44
- Aytekin, Rİ., 2017. Bodur kuru fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) çeşitlerinde fizyolojik ve biyokimyasal parametreler kullanılarak kuraklığa dayanıklılığın belirlenmesi. Yüksek Lisans tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Niğde.
- Bek, Y., Efe, E., 1988. Araştırma ve deneme metodları I. Ç.Ü.Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı: No:71, s. 395.
- Burt, CM., O'connor, K., Ruehr, T., 1995. Fertigation. irr. training and research center. cal. polytec. St. Univ., San Luis Obispo, Ca 93407, Isbn 0-9643634-1-0. S. 295.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, FW., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, AM., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A., Stanca, AM., 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research, 105: 1-14.

- Dietz, KJ., 1989. Recovery of spinach leaves from sulphate and phosphate deficiency. *Journal Plant Physiol*, 134: 551-557.
- Doorenbos, J., Kassam, AH., 1986. Yield response to water. FAO 33, Rome, s. 193.
- Duke, SH., Reisenauer, HM., 1986. Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. in: tabatabai, M.A.(Ed), *Sulfur in Agriculture*, Argon, Monogr, Vol. 27. Asa, Cssa and Sssa, Madison, W. I., 123-168.
- Fox, RL., Olson, RA., Rhoades, HF., 1964. Evaluating the sulfur status of soils by plants and soil tests. *Soil Science Society of America, Proceedings*. 28: 243-246
- Garg, BK., Burman, U., Kathju, S., 2004. The Influence of Phosphorus Nutrition on the Physiological Response of Moth Bean Genotypes to Drought. *Journal Plant Nutrition Soil Science*, 167: 503–508.
- Ghanbari, AA., Mousavi, SH., Gorji, AM., Idupulapati, RAO., 2013. Effect of water stress on leaves and seeds of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 18(1): 73-77.
- Iba, K., 2002. Acclimative response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. *Annu. Rev. Plant*.
- James, L.G., 1988. Principles of farm irrigation system design. Krieger Publishing, New York, s. 543.
- Jie, X., Dong, Q., Li-Na, Z., 2008. Effects of sulfur nutrition on the chlorophyll content of maize leaf under zinc and drought stress. *Agricultural Research in The Arid Areas*, 2008-02.
- Kazgöz Candemir, D., 2017. Yapraktan uygulanan farklı kükürt dozlarının pamuk bitkisinin (*Gossypium hirsutum* L.) Değişik gelişme dönemlerindeki su stresinin azaltılması üzerine etkileri. Yüksek lisans tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay.
- 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 Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005-08.
- Ma, QF., Turner, DW., Levy, D., Cowling, WA., 2004. Solute accumulation and osmotic adjustment in leaves of brassica oilseeds in response to soil water deficit. *Australian Journal Agricultural Research*, 55: 939–945.
- Ödemiş, B., 1995. Infrared termometre tekniğinin pamuk bitkisinde su stresinin değerlendirilmesi ve sulama zamanının belirlenmesinde kullanılması. Yüksek lisans

- tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Antalya.
- Ödemiş, B., Akışcan, Y., Akgöl, B., Can, D., 2017. Kısıtlı su koşullarında yapraktan uygulanan kükürt dozlarının pamuk bitkisinin kuraklık toleransına etkileri, 214 O 254 TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu. s. 144.
- Ödemiş, B., Baştuğ, R., 1999. İnfrared termometre tekniği kullanılarak pamukta bitki su stresinin değerlendirilmesi ve sulamaların programlanması. Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi, 23: 31-37. (Kontrol No: 778026)
- Siddique, KHM., Tennant, D., Perry, MW., Belford, RK., 1990. Water use and water use efficiency of old and modern wheat cultivars in a mediterranean-type environment. Australian Journal Agricultural Research, 41: 431-447.
- Smith, RCG., Barrs, HD., Fischer, RA., 1988. Inferring stomatal resistance of sparse crops from infrared measurement of foliage temperature. Agricultural and Forest Meteorology, 42: 183-198.
- Studer, C., 1993. Interactive Effects of N-, P-, K-Nutrition and water stress on the development of young maize plants. Ph.D. Thesis, Ethz, Zurich, Switzerland.
- Throssell, CS., Carrow, RN., Milliken, GA., 1987. Canopy temperature based irrigation scheduling indices for kentucky bluegrass turf. Crop Science, 27: 126-131.