



Toprakaltı Damla Sulama Sistemiyle Farklı Stratejilerde Sulanan Patlıcan Bitkisi İçin Bitki Su Stres İndeksinin Belirlenmesi

Yeşim BOZKURT ÇOLAK^{1*} Attila YAZAR² Sertan SESVEREN³ İlker ÇOLAK³
Gülşen DURAKTEKİN¹

¹Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü, Mersin

²Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana

³Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

*e-posta: yesimcolak@gmail.com

Alındığı tarih (Received): 29.05.2017

Kabul tarihi (Accepted): 21.07.2017

Online Baskı tarihi (Printed Online): 19.12.2017

Yazılı baskı tarihi (Printed): 29.12.2017

Öz: Bu araştırma Çukurova Bölgesinde açıkta yüksek yoğunlukla üretimi yapılan ve toprakaltı damla sulama sistemiyle farklı stratejilerde sulanan patlıcan bitkisinde bitki su stres indeksini belirlemek amacıyla 2014 yılında Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Lokasyonunda yapılmıştır. Araştırmada iki farklı sulama aralığı (3 gün (SA₃) ve 6 gün (SA₆)) ana parselleri; dört farklı sulama stratejisi (Tam sulama, (TS); kısıntılı sulama, (KS50); Kısıntılı sulama, (KS75) ve Yarı ıslatmalı, (PRD50)) ise alt parselleri oluşturmuştur. Deneme süresince tüm konularda bitki taç sıcaklık ölçümleri infrared termometre ile yapılmış ve havanın buhar basıncı açığı değerleriyle taç-hava sıcaklık farklarından bitki su stresi indeksi (CWSI) hesaplanmıştır. Sulama aralıkları ve düzeylerinin verim üzerine etkileri ayrı ayrı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek verim 3 gün sulama aralığı tam sulama (SA₃ TS) konusunda 92.7 t ha⁻¹, en düşük verim ise 6 gün sulama aralığı PRD50 (SA₆ PRD50) konusunda 58.8 t ha⁻¹ elde edilmiştir. Sık sulamaların yapıldığı 3 gün sulama aralığında su stresi çekmeyen TS ve KS-75 sulama konularında daha düşük CWSI değerleri ölçülürken, su stresi altındaki KS-50 ve PRD-50 konularında daha yüksek CWSI değerleri elde edilmiştir. Araştırma sonuçları CWSI değerleri esas alınarak sulama programı oluşturulabileceği belirlenmiştir. Patlıcan CWSI'nin 0.20 değerinde sulanması durumunda en yüksek verim elde edileceği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitki su stres indeksi (CWSI), Sulama, Toprak altı damla, Patlıcan, Sulama programlaması, Su kullanım randımanı

Development of Crop Water Stress Index (CWSI) under Different Irrigation Levels for Subsurface Drip Irrigated Eggplant

Abstract: This research was carried out in the Çukurova Region of Turkey where eggplant intensively produced, to determine crop water stress index (CWSI) for different irrigation levels supplied with subsurface drip systems on egg plant yield during 2014, in the experimental fields of Alata Horticultural Research Institute, Tarsus Soil and Water Resources Research Unit. In the study, two irrigation intervals in main plots 3-day (SA₃); 6-day (SA₆) and four irrigation levels in sub plots (Full irrigation, TS; deficit irrigation, KS50; deficit irrigation, KS75; and Partial Root-Zone Drying PRD50) were tested. Canopy temperatures were measured throughout the growing season with an infrared thermometer, and vapor pressure deficit of air was used for calculating the crop water stress index (CWSI). The effect of the irrigation intervals and irrigation levels on the yield were found statistically significant. Full irrigation treatment with 3-day interval produced the highest yield (92.7 t ha⁻¹), the lowest yield was obtained in 6-day interval PRD-50 treatment plots (58.8 t ha⁻¹). Lower CWSI values were determined for full and KS-75 irrigation treatments; and higher CWSI values were measured in stress treatments of KS-50 and PRD-50. The results revealed that CWSI can be used for irrigation scheduling for eggplant. Eggplant should be irrigated at CWSI value between 0.20 for high yield.

Keywords: Eggplant, crop water stress index (CWSI), irrigation scheduling, subsurface drip, water use efficiency

1. Giriş

Dünyada su kaynakları potansiyelinin değişmemesine karşın, hızlı nüfus artışı ve sanayileşme tarıma ayrılan suyun azaltılmasını zorunlu kılmaktadır. Tarımsal üretimde birim alandan daha fazla verim alma ve sulama randımanının artırılmasıyla ilgili çalışmalar, su tasarrufu ve dünya nüfusunun besin gereksiniminin karşılanması bakımından önemlidir. Tarımsal üretimi arttırmaya yönelik çalışmalar ve bu bağlamda farklı sulama teknolojilerine ilişkin gelişmeler günümüzde büyük önem kazanmıştır.

Mevcut su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımı ve tarımsal sulamada su tasarrufu sağlama amacına yönelik su kayıplarını azaltan basınçlı sulama sistemleri suyun etkin kullanılmasında önemlidir. Bu amaçla, su ve enerji tasarrufu sağlayan, buharlaşmayı azaltan, derine sızan suyun önlenmesiyle su kayıplarını minimum düzeye indiren, çevreyi kirletmeyen, verimde ve kalitede artış sağlayan toprakaltı damla sistemlerinin etkin kullanımıyla ve doğru sulama zamanı planlanmasıyla su tasarrufu sağlanması açısından önemli olmaktadır.

Sulamanın en önemli amaçlarından birisi de kurak dönemlerde yetiştirilen ürünü korumaktır. Bölgenizde kışık olarak yetiştirilen ürünlerde genelde susuzluk belirtisi görülmemekle birlikte, erken verim veya zamanla oluşan kuraklıklar su açısından kaynaklanan önemli verim düşmelerine neden olabilmektedir. Böyle durumlarda yeni nesil sulama teknolojilerinin kullanılması yanında sulama zamanı ve verilecek sulama suyu miktarının belirlenmesi işlemi kapsayan sulama programlamasının kullanılması, sınırlı su kaynaklarının optimum kullanımına olanak tanıyacaktır.

Sulama programlamasında kullanılan yöntemleri genel olarak toprağı, meteorolojik verileri ve bitkiyi esas alan yaklaşımlar olmak üzere üç grupta toplamak olasıdır. Sulama programlamasında bitkiye dayalı yöntemler, bitkinin toprak, su, atmosfer sürekli ortamının ortasında bulunması nedeniyle bunların bütünlük Lokasyonu'nda yapılmıştır. Deneme alanı Akdeniz iklim kuşağında kışlar ılık ve yağışlı,

etkilerini daha iyi yansıttıklarından diğer sulama programlama tekniklerine kıyasla daha sağlıklı sonuçlar verirler. Bu tekniklerden biri de bitki yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı farkından ve havanın buhar basıncı açısından yararlanılarak bitki su stres indeksini (CWSI) belirlemektir.(Jackson, 1982). Anılan yöntemde ölçümler sırasında bitkiye temas edilmediğinden, bitkilere zarar verilmemekte, hızlı ve doğru ölçümler yapılabilir (Zipoli, 1990).

Bitki su stres indeksi, iki farklı yaklaşımla bulunmaktadır. Bunlardan birincisi deneysel, ikincisi ise teorik olanıdır. Deneysel yaklaşımda, taç-hava sıcaklığı farkı (Tc-Ta) ile buhar basıncı açığı (VPD) arasında regresyon analizi yapılmaktadır. Teorik olanında ise bitki tacının özelliğini yansıtan hava direnci (ra) ve tac direncini (rc) kullanarak enerji denge eşitliklerinden bulunmaktadır. Her iki yöntemde de bulunan (Tc-Ta) farkı bitkinin karakteristik özelliğini yansıtmaktadır (O'Toole ve Real, 1986).

Bitki su stres indeksi CWSI son 20 yılda sulama programlamasında başarıyla kullanılmıştır. Çok sayıda araştırmacı tarafından, değişik bitkilerde CWSI' nin sulama programlaması için yararlı bir indeks olduğu gösterilmiştir (Pinter ve Reginato, 1982; Niemierave Goy, 1990; Yazar ve ark., 1999; Yazar ve ark., 2010; Gençoğlan ve Yazar, 1999; Bozkurt Çolak ve ark., 2015; Sezen ve ark., 2014; Köksal ve ark., 2010; Erdem ve ark., 2006a,b; Erdem ve ark., 2010; Kaçar ve Ünlü, 2008; Çamoğlu ve Genç, 2013; Gençoğlan ve ark., 2005).

Bu çalışmada Çukurova Bölgesinde, açık alanda yetiştirilen patlıcan bitkisinde toprakaltı damla sulama sistemleriyle uygulanan farklı sulama aralığı ve sulama stratejilerinin bitki su stres indeksini geliştirmek amacıyla en uygun sulama programını belirlemek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma 2014 yılında Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Tarsus yazlar sıcak ve kurak geçer. Çok yıllık verilere göre bölgede uzun yıllık sıcaklık ortalaması

17.8°C'dir. En yüksek sıcaklık ortalaması temmuz ayında 26.6°C, en düşük sıcaklık ortalaması ocak ayında 8.9 °C 'dir. Uzun yıllar ölçümlerine göre oransal nem ortalaması %70.6, yıllık buharlaşma ise 1487 mm'dir.

Deneme alanından alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinden toprağın bazı özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelgel'de verilmiştir. Alınan profil boyunca 0-20 cm toprak katmanında toprak tekstürü kil, diğer katmanlarda

ise siltli kil olarak tespit edilmiştir. Ayrıca profilde 60 cm derinlikte kullanılabilir su miktarı, tarla kapasitesi ve solma noktası su içerikleri sırasıyla 88 mm, 245mm ve 157 mm60 cm⁻¹ olarak belirlenmiştir. Patlıcan bitkisinin etkili kök derinliği 30-60 cm arasında olduğu için sulama programlamasında konulara verilecek suyun hesaplanmasında eksik nemin tarla kapasitesine tamamlanırken kullanılacak derinlik 60 cm olarak alınmıştır.

Çizelge 1. Araştırma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1. Physical and chemical properties of different soil layers of the experimental field

Katman Derinliği (cm)	Bünye Sınıfı	Tarla Kapasitesi (g g ⁻¹)	Solma Noktası (g g ⁻¹)	Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)	pH	EC
0-20	C	29.92	19.14	1.30	7.91	0.914
20-40	SiC	29.77	18.95	1.40	7.97	0.976
40-60	SiC	29.64	19.09	1.42	8.08	1.028
60-90	SiC	29.40	19.71	1.45	8.11	0.995

Çalışmada iki farklı sulama aralığı ve 4 farklı sulama düzeyi ele alınmıştır. Sulama Aralığı (SA); SA₃: 3 gün ve 60 cm'deki eksik nem tarla kapasitesine tamamlanmıştır. SA₆: 6 gün ve 60 cm'deki eksik nem tarla kapasitesine tamamlanmıştır. Sulama stratejileri; Tam sulama konusu (TS), her iki sulama aralığında (SA₃ ve SA₆) 60 cm'lik toprak profilindeki eksik nemin tarla kapasitesine getirildiği konu; Kısıntılı sulama-I (KS50), TS konusuna uygulanan suyun yarısının verildiği konu; Kısıntılı sulama-II (KS75), TS konusuna uygulanan suyun %75'inin verildiği konu; Yarı ıslatmalı (PRD50), her bir sulamada TS konusuna verilen suyun yarısının dönüşümlü olarak bir lateralden uygulandığı konu; Bir sulamada bir lateralden, izleyen sulamada diğer lateralden su uygulanmıştır.

Araştırmada, bitki materyali olarak bölgenin ekolojik koşullarına çok iyi adaptasyon sağlamış ve pazarlanması nispeten kolay olan Anamur Karası (Anamur RZ F1) patlıcan (*Solanum Melongena* L.) çeşidi kullanılmıştır. Deneme dört tekerrürlü olarak tesadüf blokları bölünmüş parseller deneme desenine göre yürütülmüştür. Fideler 14 Nisan 2014 tarihinde

boyu 10 m, eni 5.4 m olan deneme parsellerine sıra arası 90 cm, sıra üzeri 70 cm aralıklarla ve her bir parsel 6 bitki sırası içerecek şekilde dikilmiştir.

Araştırmada toprakaltı damla sistemi kullanılmıştır. Toprakaltı damla sulama sisteminde lateraller toprak yüzeyinin 25 cm altına yerleştirilmiştir. Toprakaltı damla sistemine uygun lateral boru hatları seçilmiştir. Toprakaltı damla sisteminde 20 mm çapında lateraller, damlatıcı aralığı 30 cm ve debisi 2.3 L h⁻¹ olan içten damlatıcılar kullanılmıştır. Lateraller; her bitki sırasına bir lateral, yarı ıslatmalı (PRD) konusunda ise her bitki sırasının sağına ve soluna gelecek şekilde döşenmiştir.

Tüm deneme konularında toprak suyu gözlemleri, ilk katmanında (0- 20 cm) gravimetrik yöntemle, 20-90 cm arasında ise nötronmetre yöntemiyle sulama aralıklarında ölçülmüş ve hasada dek sürdürülmüştür. Bu amaçla her parselin ortasına bir adet nötron borusu 90 cm derinliğe dek yerleştirilmiştir. Bitki su tüketimi (ET) aşağıda verilen su bütçesi eşitliği (1) ile belirlenmiştir.

$$ET = I + R - DP - RO \pm \Delta S \quad (1)$$

Eşitlikte; ET: Bitki su tüketimi (mm); I: Uygulanan sulama suyu (mm); R: Yağış (mm); DP: Derine sızma (mm); RO: Yüzey akış (m); ΔS : Sulama aralığında etkili kök bölgesindeki toprak suyu değişimidir (mm).

Su kullanım randımanı (WUE) ve sulama suyu kullanım randımanını (IWUE) belirlemek amacıyla (Howell ve ark. 1995)'nin verdiği eşitlikler kullanılmıştır.

Tam sulama konularına uygulanan sulama suyu miktarı aşağıdaki eşitlikle (2) hesaplanmıştır.

$$V = A \times \Delta s \times P \quad (2)$$

Eşitlikte, V: uygulanacak sulama suyu miktarı(L); A: parsel alanı(m²); Δs : SA₃ ve SA₆ sulama aralıklarında 60 cm toprak derinliğindeki eksik toprak nemi(mm); P: ıslatılan alan yüzdesi (%).

Bitki su stresi indeksi (CWSI) değerlerinin belirlenmesi amacıyla açık günlerde gün ortasında infrared termometre (IRT) ile bitki taç sıcaklığı (Tc) ve hava sıcaklığı (Ta) ölçümleriyle eş zamanlı olarak psikrometre termometre ile ıslak ve kuru hava sıcaklıkları ölçümleri yapılmıştır. Konular üzerinde yapılan ölçümlerden Tc-Ta farkları ile havanın buhar basıncı açığı (VPD) arasındaki ilişkilere ilişkin alt sınır ve üst sınır eşitlikleri belirlenmiştir. Psikrometrik ölçümlerden yararlanılarak havanın buhar basıncı açığı (VPD) hesaplanarak, (Tc-Ta) ile arasındaki ilişkiler belirlenerek (Idsove ark. 1981)'nin önerdiği amprik yöntemle bitki su stresi indeksi hesaplanmıştır.

Deneme konularına ilişkin derlenen verilerin istatistiksel analizlerinde JUMP 5.0 istatistik paket programı kullanılmıştır. Ortalamaların karşılaştırılmasında LSD yöntemi uygulanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Araştırmada konulara uygulanan toplam sulama suyu miktarları ile deneme konularına ilişkin mevsimsel bitki su tüketimi (ET), verim, su kullanım randımanı (WUE), sulama suyu

kullanım randımanı (IWUE) değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.

Araştırmada sulama aralığının 3 gün olduğu konulara 4 eşit sulama ve 16 konulu sulama uygulaması yapılmıştır. Sulama aralığının 6 gün olduğu konulara da 4 eşit sulama ve 8 konulu sulama uygulanmıştır. Uygulanan sulama suyu miktarları sulama aralığının 3 gün olduğu konularda 240-418 mm, sulama aralığı 6 gün konuların da ise 216-369 mm arasında değişmiştir. Sulama aralığının 6 gün olduğu konulara uygulanan sulama suyu miktarı 3-gün sulama aralığında sulanan konulara göre bir miktar daha az olmuştur.

Sulama aralığı 3 gün konularında bitki su tüketimi değeri sulama aralığı 6 güne göre daha yüksek olmuştur. SA₃ konularında 350-494 mm, SA₆ konularında 349-473 mm arasında değişmiştir. Artan sulama suyu ile mevsimlik ET değerlerinde artış gözlenirken KS50 ve PRD50 konuları aynı sulama suyu miktarını almasına rağmen, KS50 konusunda PRD50 konusuna kıyasla az da olsa daha düşük ET değerleri belirlenmiştir.

Patlıcan meyveleri olgunlaştığında deneme parsellerinden hasat edilen meyveler tartılarak kaydedilmiş ve verim değerleri birim alana (dekar) dönüştürülerek hesaplanmıştır. Her parselden 8 m uzunluğunda 4 sıra (28.8 m²) hasat edilmiştir. Verime ilişkin LSD gruplandırması Çizelge 3'de verilmiştir. Sulama aralıkları ve düzeylerinin verim üzerine etkileri ayrı ayrı istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ortalama olarak toplam patlıcan verimleri SA₃ konusunda 68.9-92.7 t ha⁻¹, SA₆ konularında 58.8-86.2 t ha⁻¹ arasında değişmiştir. En yüksek verim 3 gün sulama aralığı tam sulama (SA₃ TS) konusunda 92.7tha⁻¹, en düşük verim 6 gün sulama aralığı PRD50 (SA₆ PRD50) konusunda 58.8tha⁻¹ elde edilmiştir. Ertek ve ark. (2006), Van ili koşullarında açık tarlada yaptıkları çalışmada en yüksek verimi 21.14 t ha⁻¹ ile pan katsayısının 0.90 (Kcp4) olduğu konudan elde etmişler iken en düşük verimi 10.11 t ha⁻¹ olarak Kcp1 konusunda bulmuşlardır. Douh ve Boujelben (2010) Tunus'ta toprakaltı ve yüzey damla sulama sistemlerinin patlıcan bitkisi

üzerine etkilerini araştırmak için yaptıkları çalışmada, toprakaltı damla sulama sisteminin yüzey damlaya göre verimde %40 gibi önemli bir artış sağladığı belirlenmiştir. Karam ve ark. (2011) tam ve kısıntılı sulama rejimlerinde açık tarla koşullarında patlıcanın verim ve su tüketimini belirledikleri çalışmalarında kısıntılı

sulamanın verimi %35 oranında azalttığını saptamışlardır. Oysaki yürütülen bu çalışmada bu azalış miktarları 3 gün sulama aralığında KS-75 ve KS-50 için sırasıyla %4.4 ve 7.4 olmuştur. 6 gün sulama aralığı için sırasıyla, %3.2 ve 12.4 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 2. Araştırmada konulara uygulanan toplam sulama suyu miktarı, mevsimlik bitki su tüketimi (ET), verim, su kullanım randımanı (WUE), sulama suyu kullanım randımanı (IWUE) değerleri

Table 2. The total amount of irrigation water, seasonal evapotranspiration, fruit yield, IWUE and WUE values under different treatments.

Sulama Aralığı	Sulama Düzeyleri	Verim (t ha ⁻¹)	Sulama Suyu (mm)	ET (mm)	WUE (kg m ⁻³)	IWUE (kg m ⁻³)
SA ₃	TS	92.7	418	494	18.8 e	22.2 f
	KS-75	88.6	329	419	21.2 b	26.9 d
	KS-50	85.8	240	350	24.5 a	35.7 a
	PRD-50	68.9	240	353	19.5 d	28.7 c
SA ₆	TS	86.2	369	473	18.2 e	23.4 e
	KS-75	83.4	292	411	20.3 c	28.6 c
	KS-50	75.5	216	349	21.7 b	35.0 b
	PRD-50	58.8	216	354	16.6 f	27.2 d

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

Çizelge 3. Ortalama verim değerlerine ilişkin LSD gruplandırması.

Table 3. LSD grouping on average yield values.

Sulama Aralığı	Sulama Düzeyleri
3 gün	84.0 a
6 gün	76.0 b
CV (%)= 5.71	LSD (0.05) = 3.0
	P=0.0035**
	TS
	89.5 a
	KS75
	86.0 a
	KS50
	80.7 b
	PRD50
	63.9 c
	LSD (0.05) = 4.8
	P=0.0001**

Su kullanım randımanları (WUE) SA₃ konularında 18.8-24.5 kg m⁻³, SA₆ konularında 16.6-21.7 kg m⁻³ arasında değişmiştir. En yüksek WUE değeri 3 gün sulama aralığı KS-50 konusunda 24.5 kg m⁻³ elde edilirken, en düşük WUE değeri 6 gün sulama aralığı PRD50 konusunda 16.6 kg m⁻³ elde edilmiştir. Genel olarak uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça WUE değerlerinde bir azalma gözlenirken, 6 gün sulama aralığı PRD50 (SA₆ PRD50) konusu bu kapsam dışında kalmış ve en düşük WUE değerleri TS ve PRD50 konusunda saptanmıştır. (Karam ve ark.,2011) en yüksek WUE değeri

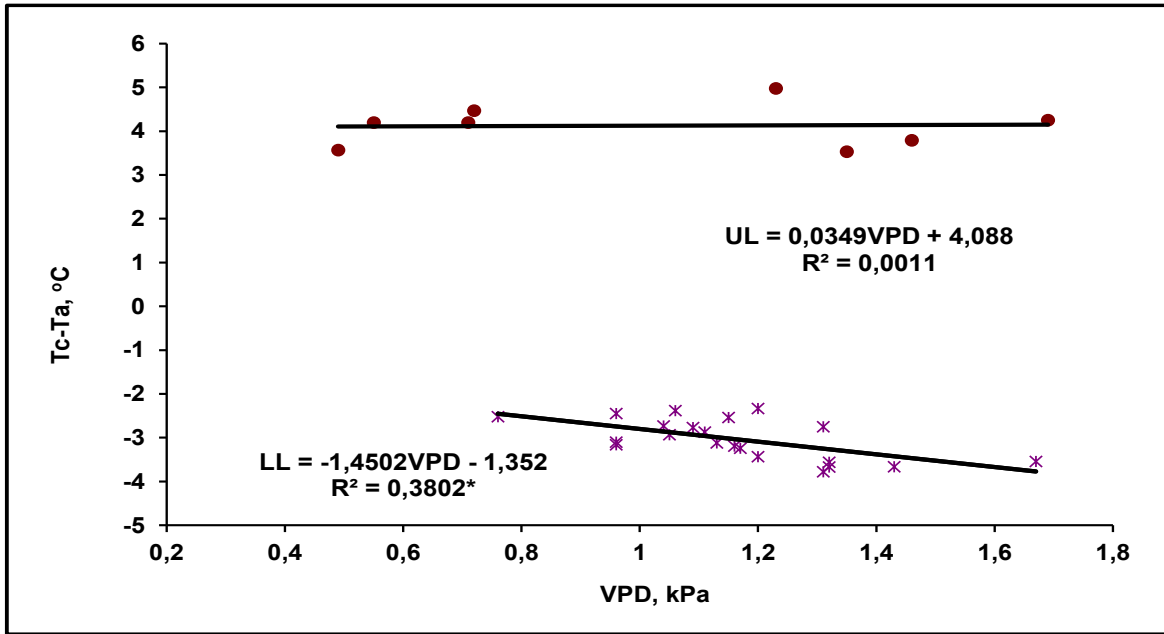
kısıntılı sulama uygulamasında 5.6 kg m⁻³, (Aujlave ark., 2007) en yüksek WUE değeri kısıntılı sulama uygulamasında 11.9 kg m⁻³, (Lovellive ark.,2007) yaptıkları çalışmada en yüksek WUE değerini 10.3 kg m⁻³ olarak bulmuşlardır.

Sulama suyu kullanım randımanları (IWUE) SA₃ konularında 22.2-35.7 kg m⁻³, SA₆ konularında 23.4-35.0 kg m⁻³ arasında değişmiştir. En yüksek IWUE değeri 3 gün sulama aralığı KS50 konusunda 35.7 kg m⁻³ elde edilirken, en düşük IWUE değeri 3 gün sulama aralığı TS konusunda 22.2 kg m⁻³ elde edilmiştir. Genel

olarak su kısıntısı arttıkça IWUE değerlerinde bir artış gözlenmiştir.

Bitki su stresi indeksi (CWSI) değerlerinin belirlenmesi amacıyla havanın tamamen açık olduğu veya bulutların güneşi engellemediği koşullarda bitkiler yaklaşık %70 örtü oluşturduktan sonra başlanmış ve en son hasada dek 6 günde bir sulamalardan önce saat 12:30-14:30 arasında infrared termometre ile bitki tacı sıcaklığı (Tc) ve hava sıcaklığı (Ta) ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerle aynı zamanda psikrometre termometre ile ıslak ve kuru hava sıcaklıkları ölçümleri de yapılmıştır. Ölçümler parsellerin köşegenleri doğrultusunda, 4 köşeden ve her birinde 3 yinelemeli ve toplam 12 değer ortalama alınarak o parsel için ortalama taç sıcaklığı bulunmuştur. Araştırmanın ilk yılında su eksikliği çekmeyen tam sulama konularında,

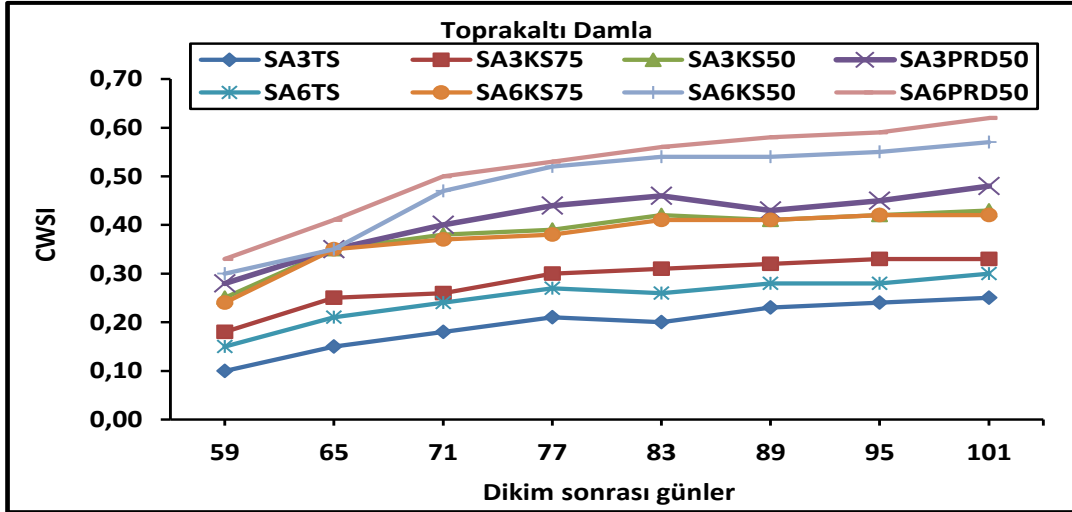
sulamalardan bir veya iki gün sonra yapılan Tc-Ta ölçümleriyle havanın buhar basıncı açığı (VPD) arasındaki ilişkilerden geliştirilen stresin olmadığı durumu temsil eden alt sınır (LL) ile deneme parseli dışında oluşturulan ve sulanmayan parselde ölçülen Tc-Ta değerleri ise aşırı su stresi konusunu temsil eden üst sınır (UL) eşitliğinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Su stresi olmayan koşulları temsil eden alt sınır eşitliği ile ($LL = -1.4502 VPD - 1.352$; $R^2 = 0.3801^*$) olarak belirlenirken, aşırı stresi temsil eden üst sınır eşitliği ($UL = 0.0349 VPD + 4.088$) olarak saptanmıştır. Şekil 1’de konular üzerinde yapılan ölçümlerden Tc-Ta farkları ile havanın buhar basıncı açığı (VPD) arasındaki ilişkiler ile konulara ilişkin alt sınır ve üst sınır eşitlikleri de gösterilmiştir.



Şekil 1. Patlıcan bitkisi için üst sınır ve alt sınır eşitlikleri
Figure 1. The upper and lower base lines for eggplant

Araştırmada psikrometrik ölçümlerden yararlanarak havanın buhar basıncı açığı (VPD) hesaplanarak, (Tc-Ta) ile arasındaki ilişkiler

amprik yöntemle bitki su stresi indeksi (CWSI) hesaplanmış, elde edilen sonuçlar Şekil 2’de verilmiştir.



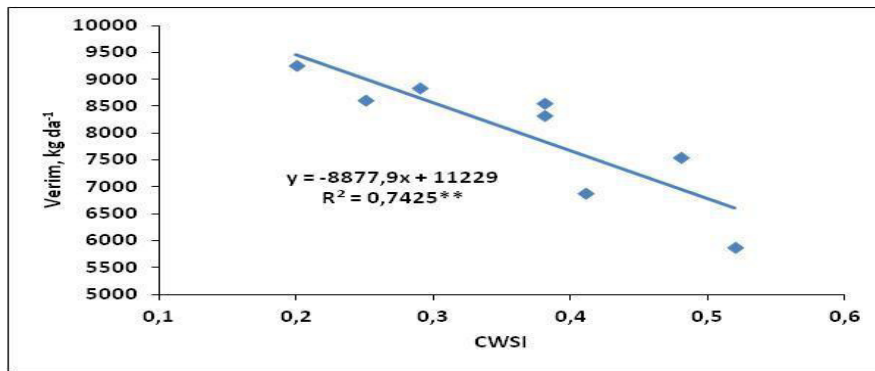
Şekil 2. Büyüme sezonu süresince CWSI değişimi

Figure 2. Variation of CWSI with time during the growing season

CWSI'nin değişimi incelendiğinde su stresi çekmeyen TS ve KS-75 konularında daha düşük CWSI değerleri ölçülürken, su stresi altındaki KS-50 ve PRD-50 konularında daha yüksek CWSI değerleri belirlenmiştir. SA₃ konusunda CWSI değerleri 0.10 ile 0.48 arasında, SA₆ konusunda CWSI değerleri 0.15 ile 0.62 arasında değişim göstermiştir. Genel olarak şekli incelediğimizde sık sulamanın yapıldığı 3 gün sulama aralığında 6 gün sulama aralığına göre daha düşük CWSI değerleri elde edilmiştir. Sulama öncesi ortalama CWSI değerleri 3 gün sulama aralığında TS

konusunda 0.20, KS-75 konusunda 0.29, KS-50 konusunda 0.38, PRD-50 konusunda ise 0.41; 6 gün sulama aralığında TS konusunda 0.25, KS-75 konusunda 0.38, KS-50 konusunda 0.48 ve PRD-50 konusunda 0.52 olarak belirlenmiştir.

Araştırma yılında deneme konularında belirlenen CWSI ile verim arasında ilişkiler geliştirilerek Şekil 3'de verilmiştir. Tüm konular birlikte ele alındığında bitki su stres indeksi ile verim arasında doğrusal önemli ilişkiler belirlenmiştir. Anılan ilişkinin denklemi $y = -8877.9x + 11229$ ($R^2 = 0.7425^{**}$) bulunmuştur.



Şekil 3. Bitki su stres indeksi ile toplam verim arasındaki ilişki

Figure 3. The relation between CWSI and total yield

Bu çalışmada Çukurova Bölgesinde, açıkta yüksek yoğunlukta üretimi yapılan ve damla yöntemiyle farklı düzeylerde sulanan patlıcan bitkisinde bitki su stres indeksini geliştirmek

amacıyla en uygun sulama programını belirlemek elde edilen sonuçlar ve yapılan öneriler aşağıda açıklanmıştır.

En yüksek verim 3 gün sulama aralığı tam sulama (SA₃ TS) konusunda 92.7 t ha⁻¹, en düşük verim 6 gün sulama aralığı PRD50 (SA₆ PRD50) konusunda 58.8 t ha⁻¹ elde edilmiştir. En yüksek su kullanım randımanı WUE 3 gün sulama aralığı KS50 (SA₃ KS50) konusunda 24.5 kg m⁻³, en düşük ise 6 gün sulama aralığı PRD50 (SA₆ PRD50) konusunda 16.6 kg m⁻³ olarak belirlenmiştir. Bu bulgulara göre su sıkıntısının olmadığı koşullarda en yüksek verim sağlayan SA₃TS konusunda (60 cm'lik etkili kök bölgesi derinliğindeki eksik nemin tarla kapasitesine dek sulanması) önerilmektedir. Ancak su kısıntısı söz konusu olduğunda kısıntılı sulama uygulamalarından KS-75 konusu önerilebilir ve anılan konu tam sulamaya göre tasarruf sağlarken patlıcan sulamasında uygun bir sulama stratejisi olabilir.

Araştırma sonuçları CWSI değerleri esas alınarak sulama programı oluşturulabileceği belirlenmiştir. Patlıcan bitki su stresi indeksi (CWSI)'nin 0.20 değerinde sulanması durumunda en yüksek verim elde edileceği saptanmıştır.

Sulamaların genel olarak patlıcan bitkisinin verimini olumlu yönde etkilediği, aşırı ve tam sulamalardan kaçınılması ve en uygun verim için önerilen düzeyde kısıntılı sulama yapılabileceği ortaya konulmuştur. Bu nedenle Akdeniz Bölgesinde patlıcan yetiştiriciliğinde uygulanan yetiştirme alışkanlıklarından üreticilerin vazgeçmeleri sürdürülebilir tarım açısından son derece önemlidir.

Teşekkür

Yazarlar adına TOVAG-1120870 nolu proje için sağladığı finansal destek için Türk Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Kaynaklar

Aujla MS, Thind HS and Buttar GS (2007). Fruit Yield and Water Use Efficiency of Eggplant (*Solanum Melongena* L.) as Influenced by Different Quantities of Nitrogen and Water Applied Through Drip and Furrow Irrigation. *Scientia Horticulturae* 112 (2007) 142-148.

Köksal ES, Üstün H and İlbeyi A (2010). Threshold Values of Leaf Water Potential and Crop Water Stress Index Uludağ. Üniv. Agricultural Faculty Journal, Cilt 24, Sayı 1, 25-36.

Bozkurt Çolak Y, Yazar A, Çolak İ, Akça H ve Duraktekin G (2015). Evaluation of CropWaterStress Index (CWSI) for Eggplant under Varying Irrigation Regimes Using Surface and Subsurface Drip Systems. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 4C:372-382.

Çamoğlu G and Genç L (2013). Taze Fasulyede Su Stresinin Belirlenmesinde Termal Görüntülerin ve Spektral Verilerin Kullanımı. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 1(1):15-27.

Douh B and Boujelben A (2010). Water Saving and Eggplant Response to Subsurface Drip Irrigation. *Agricultural Segment*:1(2) AGS/1525

Erdem Y, Sehirali S, Erdem T and Kenar D (2006a). Determination of CropWaterStress Index for Irrigation Scheduling of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turk. J. Agric. Forest* 30, 195-202.

Erdem Y, Erdem T, Orta A H and Okursoy H (2006b). Canopy-air Temperature Differential for Potato under Different Irrigation Regimes. *Acta Agric. Scand.* 56 (3), 206-216.

Erdem Y, Arin L, Erdem T, Polat S, Deveci M, Okursoy H and Gültas H (2010). Crop Water Stress Index for Assessing Irrigation Scheduling of Drip Irrigated Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *Agric. Water Manage.* 98 (1), 148-156.

Ertek A, Şensoy S, Küçükyumruk C ve Gedik İ (2006). Determination of Plant-Pan Coefficients for Field-Grown Eggplant (*Solanum Melongena* L.) Using Class A Pan Evaporation Values. *Agricultural Water Management* 85: 58-56

Gençoğlan C and Yazar A (1999). Çukurova Koşullarında Yetiştirilen I. Ürün Mısır Bitkisinde İnfrared Termometre Değerlerinden Yararlanılarak Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ve Sulama Zamanının Belirlenmesi. *Turk. J. Agric. Forest.* 23, 87-95.

Gençoğlan C, Uçan K, Meral R and Altunbey H (2005). Bitki Su stress İndeksinin Belirlenmesinde İnfrared Termometre Alımı Alt Yapı Projesi. KSÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Kesin Sonuç Raporu. S:12

Howell TA, Yazar A, Schneider AD, Dusek DA and Copeland, KS (1995). Yield and Water Use Efficiency of Corn in Response to LEPA Irrigation. *ASAE Trans. of the ASAE*, 38(6):1737-1747.

Idso SB, Jackson RD, Pinter PJ JR, Reginato RJ and Hatfield JL (1981). Normalizing the Stress-Degree-Day Parameter for Environmental Variability. *Agric. Meteorol.* 24, 45-55

Jackson RD (1982). Canopy Temperature and Crop Water Stress. *Advances in Irrigation*. Edited by Daniel Hillel Academic Press 1 43-85 New York London.

Kaçar MM ve Ünlü M (2008). Farklı Su ve Gübre Sistemlerinde Pamuk bitkisinde Su Stress İndeksinin Değişiminin İncelenmesi. *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Cilt: 19-2, S No:35-44*

Karam F, Sabiha R, Skaf S, Breidy J, Roupheal Y and Balendonck J (2011). Yield and Water Use of Eggplants (*Solanum Melongena* L.) Under Full and Deficit Irrigation Regimes. *Agricultural Water Management* 98: 1307-1316.

as an Indicator of Irrigation Time for Dwarf Green Beans.

- Lovelli S, Perniola M, Ferrara A and DiTommaso T (2007). Yield Response Factor to Water (Ky) and Water Use Efficiency of *Carthamus Tinctorius* L. And *Solanum Melongena* L. *Agric. Water Manage.* 92, 73-80.
- Niemiera AX and Goy M (1990). Use of Crop Water Stress Index to Schedule Irrigation of Freeway Landscapeplants. *Hort Science*, 25: 302-305.
- Pinter PJ, JR and Reginato RJ (1982). A Thermal Infrared Technique for Monitoring Cotton Water Stress and Scheduling Irrigations, *Trans. ASAE*, 25: 1651-1655.
- O'toole JC and Real JG (1986). Estimation of Aerodynamic and Crop Resistances From Canopy Temperature. *Agron. J.* 78:305-310, 1986.
- Sezen SM, Yazar A, Daşgan Y, Yücel S, Akyıldız A, Tekin S and Akhoundnejad Y (2014). Evaluation of Crop Water Stress Index (CWSI) for Red Pepper with Drip and Furrow Irrigation under Varying Irrigation Regimes. *Agric. Water Manage.* 143, 59-70.
- Yazar A, Howell AT, Dusek DA and Copeland KS (1999). Evaluation of Crop Water Stress Index for LEPA Irrigated Corn. *Irrig. Sci.* 18, 171-180.
- Yazar A, Tangolar S, Sezen SM, Colak YB, Gencel B, Ekbic HB and Sabır A (2010). New Approaches in Vineyard Irrigation Management: Determining Optimal Irrigation Time Using Leaf Water Potential for High Quality Yield under Mediterranean Conditions. *Turk. Science and Research Council (TUBITAK) (Project No: TOVAG-1060747)*, 100 pp.
- Zipoli G (1990). Remote Sensing for Scheduling Irrigation: Review of Thermal Infrared Approach. *Acta Horticulture Volume I (1-442):281-288.*