DERİM

Infrared termometre tekniğinin nar (*Punica granatum* L.) ağaçlarında sulama programlaması amacıyla kullanım olanakları

Begüm TEKELİOĞLU[1] Dursun BÜYÜKTAŞ[1] Cihan KARACA[1] Ruhi BAŞTUĞ[1] Nazmi DİNÇ[2] Köksal AYDİNŞAKİR[2]

[1] Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya
[1] Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Antalya

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: btekelioglu@akdeniz.edu.tr

Makale Bilgisi/Article Info
Derim, 2017/34(1):61-71
doi: 10.16882/derim.2017.305480

Araştırma Makalesi/Research Article
Geliş Tarihi/Received: 07.11.2016
Kabul Tarihi/Accepted: 01.02.2017

Öz

Bu çalışmada, bitkiye dayalı sulama programlaması yöntemlerinden biri olan infrared termometre tekniğinin nar ağaçlarında bitki su stresi indeksinin (CWSI) değerlendirilmesi ve sulama programlamasında kullanım olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır. Deneme konuları, üç tekerrürlü olarak A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen yığışımlı buharlaşma miktarının 0.50 (S1), 0.75 (S2), 1.00 (S3), ve 1.25 (S4) katının 3 günde bir ve 6 günde bir uygulandığı konularınyanı sıra susuz (S0) konudan oluşmuştur. Bitki taç örtüsü sıcaklığı ve hava sıcaklığı farkına (Tc-Ta) ve havanın buhar basıncı açığına (VPD) bağlı olarak, su stresi çekmeyen alt baz çizgisinin denklemi Tc-Ta=-0.645VPD-4.338, farklı günlerde kesilen ağaçlardan alınan değerler kullanılarak su stresli koşullarda hesaplanan üst baz çizgisi ise Tc-Ta= 0.0489VPD+2.8734 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Antalya koşullarında nar bitkisinin sulama programlamasında infrared termometre tekniğinin kullanılabileceği belirlenmiştir. Antalya'da bu tekniğin kullanılması durumunda mevsim boyunca ortalama CWSI değerinin 0.12 civarında tutulacak şekilde sulama programlamasının yapılabileceği, 0.40 indeks değerinin sulamaların başlatılmasına karar vermek için kullanılabileceği, CWSI değerinin söz konusu değere ulaştığı zamana kadar oluşacak yığışımlı buharlaşma miktarının ise uygulanacak sulama suyu miktarı olarak önerilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitki su stresi indeksi, Pan buharlaşması, Sulama aralığı, Sulama programlaması

Use of infrared thermometer technique in irrigation scheduling of pomegranate (*Punica granatum* L.) plant

Abstract

The main objectives of this study are to assess crop water stress index (CWSI) and to determine irrigation schedule of pomegranate using infrared thermometer technique. Treatments with three replications were irrigated every three and six days intervals, as much as 0.50 (S1), 0.75 (S2), 1.00 (S3), and 1.25 (S4) of Class A pan evaporation. Additionally, an unirrigated plot was also formed. The equations obtained for non-water stress baseline is Tc-Ta=0.645VPD-4.338. The equation of full water stressed upper baseline obtained from data taken from branches of pomegranate plant cut in different days is given by Tc-Ta= 0.0489VPD+2.8734. According to the results obtained, it is concluded that infrared thermometer can be used for irrigation scheduling of the pomegranate plants in Antalya conditions. When using this technique in Antalya conditions, it is suggested to keep the seasonal mean CWSI value approximately 0.12 and the index value of 0.40 can be used to start the irrigation. Additionally, it is suggested that the amount of irrigation can be determined as much as the amount of evaporation measured until the index value reaches 0.40.

Keywords: Crop water stress index, Pan evaporation, Irrigation interval, Irrigation scheduling

1. Giriş

Sulama programlaması yöntemleri toprağı, meteorolojik verileri ve bitkiyi temel alan yöntemler olarak üç grupta incelenmektedir. Toprağı ve meteorolojik verileri esas alan sulama programları her ne kadar güncelliğini koruyor olsa da, son yıllarda bitkilerdeki su azlığına bağlı olarak ortaya çıkan belirtilere dayanan sulama programlaması yöntemleri giderek önem kazanmaktadır. Bitkiyi temel alan ölçümlerden yararlanmak yoluyla bitki su stresini niceliksel olarak ifade etmek ve bu değerleri sulama zamanının belirlenmesi amacıyla kullanmak olanaklıdır. Bitki büyümesinin bitki dokularındaki su dengesi ile

ilişkili olduğu geniş şekilde kabul edilmektedir. Toprakta kullanılabilir suyun azalışına bağlı olarak bitkide fizyolojik oluşumlar bozulmakta ve giderek verim düşmektedir. Bu nedenle sulama zamanının saptanmasında toprak suyu eksilişinden çok bitki-su eksikliğinden yararlanılması önerilmektedir (Tekinel ve Kanber, 1979). Su stresi sonucu bitki stomalarının kapanması bitki taç örtü sıcaklığının yükselmesine neden olur. İnfrared termometreler kullanılarak bitki taç örtüsü sıcaklığı uzaktan algılanabilmektedir. Bu değer sulama programlamasında ve verimin önceden tahmin edilmesinde kullanılabilmektedir (Pinter ve Reginato, 1982, O'Toole vd., 1984).

Birçok araştırmacı bitki yüzey sıcaklığının kullanılmasıyla elde edilen bitki su stresi indeksi (CWSI) değerinin bitki stresinin iyi bir göstergesi olduğunu ve sulama programlarının hazırlanması amacıyla kullanılarak hedeflenen verim, kalite ve su tasarrufunun sağlanabileceğini bildirmişlerdir (Sepaskhah ve Kashefipour, 1994; Olufayo vd., 1996; Carcova vd., 1998; Irmak vd., 2000; Alderfasi ve Nielsen, 2001; Orta vd., 2003; Yuan vd., 2004; Cremona vd., 2004; Idso vd., 1981; Reginato, 1983; Tanrıverdi, 2010).

CWSI'nın belirlenmesinde enerji dengesi yöntemi (Jackson vd., 1981), deneysel yaklaşım (Idso vd., 1981) ve ıslak termometre sıcaklığı yaklaşımı (Alves ve Pereira, 2000) kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden Idso vd. (1981) tarafından geliştirilen deneysel yaklaşım, T_c-T_a ile VPD ilişkisine dayalı CWSI değerinin grafiksel çözümle elde edilmesi esasına dayanmaktadır. Anılan yaklaşımda kullanılan temel grafik, hiç su eksikliği çekmeyen ve potansiyel hızda transpirasyon yapan bitkiden eş zamanlı olarak ölçülen T_c-T_a ve VPD değerlerinin karşılıklı işaretlenmesiyle elde edilen alt sınır çizgisi ve hiç transpirasyon yapmayan (tamamen ölmüş veya aşırı stres altında olan) bitkiden elde edilen T_c-T_a ve VPD değerlerinin karşılıklı işaretlenmesiyle elde edilen üst sınır çizgisi aynı grafikte gösterilerek elde edilir.

Tek yıllık bitkilerde, infrared termometre (IRT) tekniğinin sulama zamanınınbelirlenmesinde kullanılabilirliğini ortaya koyan çok sayıda çalışma yapılmıştır. Söz konusu çalışmalara soyada Nielsen (1990) ve Yazar (1990), mısırda Baştuğ ve Irmak (1996) ile Gençoğlan ve Yazar (1999), pamukta Ödemiş ve Baştuğ (1999), fasulyede Erdem vd. (2006), çimde Emekli vd. (2007), şekerpancarında Köksal (2006), karpuzda Orta vd. (2003), ayçiçeğinde Taghvaeian vd. (2014) ve biberde ise Sezen vd. (2014) tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak gösterilebilir.

Çok yıllık bitkilerde ise IRT tekniğinin sulama programlamasında kullanılmasına ilişkin çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmalara örnek olarak Gonzalez-Dugo vd. (2015) ile Testi vd. (2008) antep fıstığında, Berni vd. (2009) ile Ben-Gal vd. (2009) zeytin ağaçlarında, Sammis vd. (1988) pikan cevizinde, Roy ve Opori (2014) badem ağaçlarında, Ballester vd. (2013) turunçgil ve Trabzon hurmasında, Gonzalez-Dugo vd. (2014) portakal ve mandarin ağaçlarında, Wang ve Gartung (2010) erkenci şeftali ağaçlarında, Wiriya-Alongkorn vd. (2013) longan ağaçlarında yaptıkları çalışmalar gösterilebilir.

Nar ağaçlarında IRT kullanılarak sulamanın programlamasına ilişkin bir çalışmaya ise literatür araştırmalarında rastlanılmamıştır. Öte yandan, nar üretiminde gerek ekiliş alanı, gerek ağaç sayısı, gerekse de üretim bakımından ülkemizde ilk sırada yer alan Antalya'da nar ağaçlarında ileri teknoloji kullanarak sulamanın programlanması suyun verimli kullanılması açısından önem kazanmaktadır. Açıklanan bu nedenlerle, bu çalışmada Antalya koşullarında nar ağaçlarında, infrared termometre tekniği kullanılarak bitki su stresi indeksinin değerlendirilmesi ve sulama programlanmasında kullanım olanaklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırma, Antalya-Alanya karayolu üzerinde, Antalya ilinin 20 km doğusunda bulunan Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü arazisinde, 2016 yılının Haziran-Kasım ayları arasında yürütülmüştür. Deneme alanı, 36°52' kuzey enlemi ve 30°50' doğu boylamında olup deniz seviyesinden 15 m yükseklikte yer almaktadır. Deneme alanı, Akdeniz iklimine sahip olup yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Araştırma alanına ilişkin olarak uzun yıllık ve denemenin yürütüldüğü yılda (2015) kaydedilen aylık ortalama iklimsel veriler Çizelge 1'de verilmiştir. Denemenin yürütüldüğü

araziden alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinin analizi sonucu elde edilen fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 2'de verilmiştir. Sulamada kullanılan sulama suyunun tuzluluğu 0.561 dS m^{-1} ve pH'sı 7.3'dür. Bitkisel materyal olarak 6 yaşındaki nar (Hicaznar çeşidi) bahçesinde bulunan ağaçlar kullanılmıştır.

Deneme, tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 yinelemeli olarak yürütülmüştür. Deneme alanındaki nar ağaçlarının sıra arası 4 m, sıra üzeri 3 m'dir. Her parselde üç sıra ve her sırada 6 ağaç olup diğer bir deyişle her parselde toplamda 15 adet ağaç yer almıştır. Kenarlardan birer sıra ve ortadaki sıranın dış kenarlarından birer ağaç kenar tesiri olarak değerlendirme dışı tutulmuş ve ortadaki sıradan 4 ağaç değerlendirmeye alınmıştır.

Sulamalar, her bitki sırasında 50 cm aralıklı ve üzerinde 50 cm'de bir, 4 L h^{-1} sabit debili içten geçik damlatıcı bulunan iki lateral hattan oluşan damla sulama sistemi ile yapılmıştır. Deneme süresince tüm tekerrürlerde 30 cm, 60 cm, 90 cm ve 120 cm derinliklerden sulamalardan önce gravimetrik örnekleme yöntemiyle toprak nem içeriği belirlenmiştir. Bitkilerin su tüketimlerinin belirlenmesinde su bütçesi eşitliğinden (James, 1988) yararlanılmıştır.

$$ET = I + P + \Delta S$$

Eşitlikte ; ET, Bitki su tüketimini (mm); I, Sulama suyunu (mm), P, Yağışı(mm), ΔS: Toprak profilindeki nem değişimini (mm) göstermektedir.

Denemede ana konular sulama aralığına, alt konular ise sulama suyu miktarlarına göre oluşturulmuştur. Sulama suyu miktarları, açık su yüzeyi buharlaşması değeri farklı pan katsayıları (K_{pc}) ile çarpılarak belirlenmiştir. Ana konular, 3 günde bir (D3) ve 6 günde bir (D6) sulama olmak üzere oluşturulmuştur. Alt konular ise, A sınıfı buharlaşma kabından olan buharlaşmanın S1 konusunda %50'si, S2 konusunda %75'i, S3 konusunda %100'ü, S4 konusunda %125'i kadar sulama suyu uygulanarak oluşturulmuştur. Ayrıca, 6 ağaç susuz parsel olarak ayrılmıştır. Nar ağaçlarında bitki su stresi indeksini belirlemek amacıyla, her sulamadan önce ve sonra olmak üzere IRT ile ağaçların taç örtüsü sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçümler güneş ışınlarının yeryüzüne dik geldiği öğle saatlerinde (saat 11:00, 12:00, 13:00, 14:00'de) alınmıştır.

Çizelge 1. Deneme alanında uzun yıllık ve denemenin yürütüldüğü yılda (2015) kaydedilen aylık ortalama iklimsel veriler

Yıl	Aylar	Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)	Buharlaşma (mm)	Rüzgar hızı (m sn^{-1})	Oransal nem (%)
1954-2013	Mayıs	20.5	31.8	142.7	2.0	65
	Haziran	25.4	7.9	176.9	1.9	59
	Temmuz	28.4	3.0	195.3	1.9	56
	Ağustos	28.2	2.4	172.2	1.7	60
	Eylül	24.7	13.7	133.6	1.8	60
	Ekim	20.0	78.8	96.0	1.8	60
2015	Mayıs	21.1	43.0	120.9	2.1	62
	Haziran	26.5	5.0	126.0	1.9	65
	Temmuz	28.0	0.0	164.3	1.7	62
	Ağustos	28.6	0.0	155.0	1.7	62
	Eylül	25.4	33.3	123.0	1.5	68
	Ekim	21.0	97.0	102.3	1.4	59

Çizelge 2. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Derinlik (cm)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Bünye sınıfı	$CaCO_3$ (%)	EC (dS m^{-1})	pH	TK (g g^{-1})	SN (g g^{-1})	As (g cm^{-3})
0-30	22.2	24.9	52.9	Siltli tın	24.0	0.36	8.1	22.1	12.7	1.35
30-60	25.1	22.6	52.3	Siltli tın	29.7	0.30	8.1	22.6	12.7	1.30
60-90	35.1	21.5	43.4	Tın	30.1	0.23	8.1	22.5	10.5	1.32
90-120	36.9	15.3	47.8	Tın	32.0	0.38	7.8	21.1	11.9	1.30

Her parselin, ortasındaki sırada yer alan dört ağacın her birinin kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu ve güneybatı olmak üzere dört farklı yönünden IRT okuması yapılmıştır. Böylece deneme 3 tekerrürlü yürütüldüğünden, her ölçüm saatinde her bir konuda 48 ölçüm yapılmıştır. IRT, ağacın boyunun orta noktasına doğru 90°'lik dik açı yapacakşekilde tutularak ve termometrenin görüş açısı ağacın yapraklarına denk gelecek şekilde okumalar yapılmıştır (Septar vd., 2014). Sulama konularına ilişkin günlük ortalama CWSI değerleri, ölçülen 48 IRT değerinin ortalamasından yararlanılarak hesaplanmıştır.

Bitki su stresi indeksi deneysel yaklaşım olarak kabul edilen Idso Yöntemi (Idso vd., 1981) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem için öncelikle stresli ve stressiz koşullarda bitki yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı farkı ile buhar basıncı açığı (VPD) ilişkisini gösteren temel grafik oluşturulmuştur. Bu grafikte alt sınır çizgisini belirlemek amacıyla, üç ve altı günde bir tam sulanan konulardan sulamadan sonraki günlerde 09:00-18:00 saatleri arasında saat başı her tekerrürden alınan ölçümlerin ortalamaları dikkate alınarak her iki konu için tek bir baz çizgisi elde edilmiştir. Alt baz çizgileri oluşturulurken hesaplanan CWSI değerlerindeki eksi işaretli değerleri azaltmak amacıyla Bellvert vd. (2013) tarafından verilen yaklaşımdan yararlanılarak regresyon denklemleri, tüm değerler yerine stresin en az olduğu değerler (en az stresli T_c-T_a değerleri) kullanılarak elde edilmiştir.

Üst sınır çizgisini belirlemek için bitkinin transpirasyon yapmasını engellemek amacıyla susuz parseldeki altı ağacın her birinden belirli tarihlerde dal kesilip aynı konum ve yönde tekrar ağaca bağlanarak (Sammis, 1988), sonraki ikişer gün boyunca günün en sıcak saatleri olan 11:00, 12:00, 13:00 ve 14:00 saatlerinde IRT ile yine kuzeybatı, kuzeydoğu, güneybatı ve güneydoğu olmak üzere dört yönden ölçüm yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.

Idso vd. (1981) tarafından geliştirilen deneysel yaklaşımdaki CWSI değeri grafiksel çözümle aşağıdaki eşitlikten (Al-Faraj vd., 2001) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$CWSI = \frac{(T_c-T_a)_m - (T_c-T_a)_{al}}{(T_c-T_a)_{ül} - (T_c-T_a)_{al}}$$

Eşitlikte; $(T_c-T_a)_m$: Ölçüm anındaki sıcaklık farkı (C°); $(T_c-T_a)_{al}$: Ölçüm anındaki VPD değeri için temel grafikten elde edilecek alt sınır değeri (C°) ve $(T_c-T_a)_{ül}$:Temel grafiğin üst sınır değeri (C°)' dir.

Stoma iletkenliği her tekerrürden bir ağaçta üç yapraktan 13:00-14:00 saatleri arasında sulamalardan önce taşınabilir porometrealeti ile ölçülmüştür (SC-1 Model, Decagon Devices).

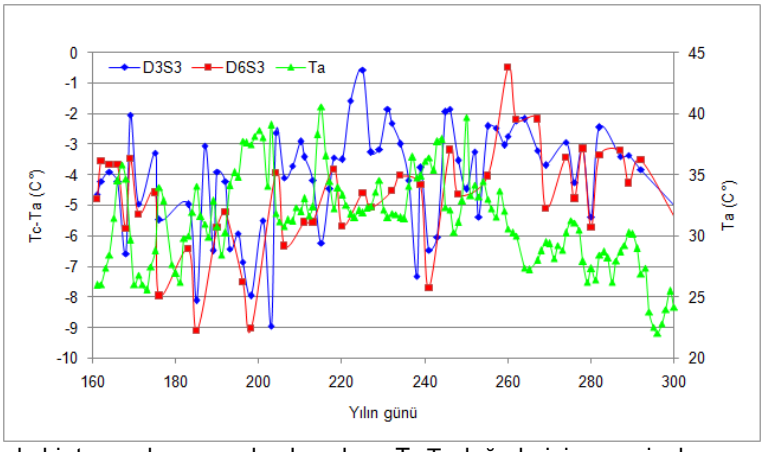
3. Bulgular ve Tartışma

Mevsim boyunca, üç veya altı günde bir sulanan S1 konusuna 187.8, S2 konusuna 263.9, S3 konusuna 339.5, S4 konusuna 414.5 mm sulamasuyu uygulanmıştır. Susuz parsele ise hiç sulama suyu uygulanmamıştır. Mevsim boyunca ölçülen toplam buharlaşma 753 mm olmuştur. Konulara göre sulamaların başladığı 15.03.2015 ile denemenin sonlandırıldığı 20.11.2015 tarihleri arasındaki sulama mevsiminde sulama konularında bitki su tüketimine ilişkin unsurlar Çizelge 3'de verilmektedir. Çizelge 3'de görüldüğü üzere, A sınıfı buharlaşma kabından olan buharlaşmanın sırasıyla %50, 75, 100 ve 125'i oranında 3 günde bir sulanan D3S1, D3S2, D3S3, D3S4 konularında deneme süresince meydana gelen toplam su tüketimi sırasıyla 594.5, 662.2, 728.3, 793.2 mm, 6 günde bir sulanan D6S1, D6S2, D6S3, D6S4 konularında meydana gelen su tüketimleri ise sırasıyla 591.0, 656.2, 722.8, 788.7 mm olmuştur. Susuz (sulanmayan) parselde ise deneme süresince meydana gelen toplam su tüketimi 434.6 mm olmuştur. Deneme süresince toplam 250.1 mm yağış meydana gelmiştir.

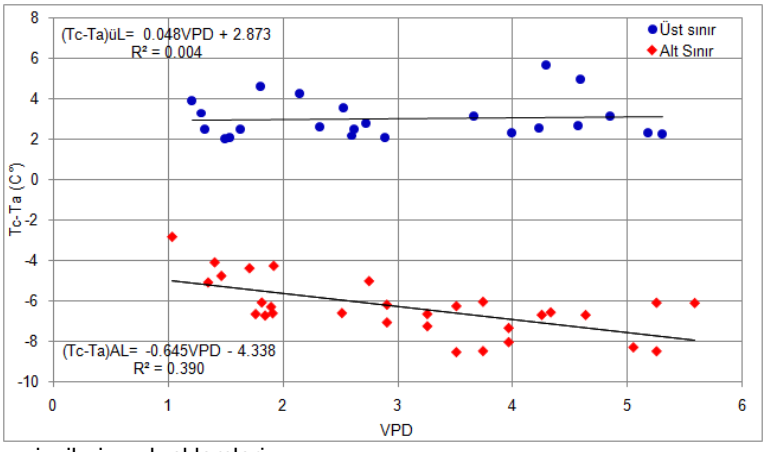
Topraktan kullanılan su miktarları ise D3S1, D3S2, D3S3, D3S4, D6S1, D6S2, D6S3, D6S4 konularında ve susuz parselde sırasıyla, 156.6, 148.2, 139.0, 128.6, 153.1, 142.2, 133.5, 124.1 ve 184.5 mm olarak belirlenmiştir. Uygulanan sulama suyu miktarı azaldıkça topraktan kullanılan su miktarı artış göstermiştir.Üç ve altı günde bir tam sulanan konulardaki (D3S3 ve D6S3) T_c-T_a değerlerinin mevsim boyunca değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1 incelendiği zaman, genel olarak (T_c-T_a) farkının stabil kalmadığı görülmektedir. Mevsim boyunca D3S3 konusunun, D6S3 konusundan mutlak değer olarak daha düşük değerlerde seyrettiği görülmektedir. Bu da, sık sulamanın

Çizelge 3. Araştırma konularında deneme süresince bitki su tüketimi unsurları (mm)

Bitki su tüketimi unsurları	Sulama konuları								
	D3S1	D3S2	D3S3	D3S4	D6S1	D6S2	D6S3	D6S4	Susuz
Sulama suyu	187.8	263.9	339.2	414.5	187.8	263.9	339.2	414.5	0.0
Yağış	250.1	250.1	250.1	250.1	250.1	250.1	250.1	250.1	250.1
Topraktan kullanılan su	156.6	148.2	139.0	128.6	153.1	142.2	133.5	124.1	184.5
Toplam	594.5	662.2	728.3	793.2	591.0	656.2	722.8	788.7	434.6



Şekil 1. Üç ve altı günde bir tam sulama yapılan konuların T_c-T_a değerlerinin mevsim boyunca değişimi



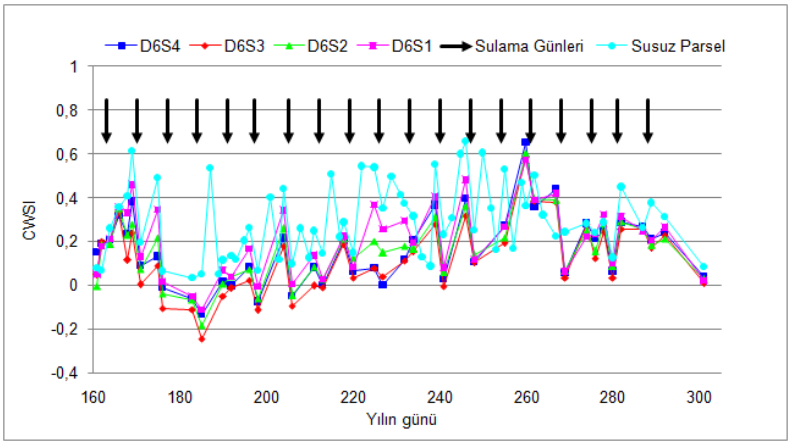
Şekil 2. Üst ve alt sınır çizgileri ve denklemleri

T_c-T_a farkını mutlak değer olarak azalttığını bir başka deyişle strese neden olduğunu göstermektedir.

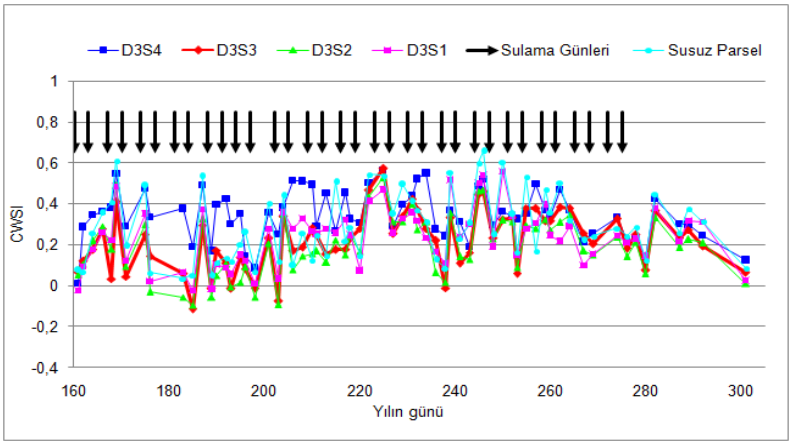
Üç ve altı günde bir sulanan konularda, bitki su stres indeksini (CWSI) hesaplamak için kullanılan T_c-T_a ve VPD ilişkisini gösteren temel grafik Şekil 2'de verilmiştir. Su stressiz (alt) ve tam su stresli (üst) sınır çizgisinin denklemleri sırasıyla T_c-T_a=-0.645VPD-4.338 ve T_c-T_a=0.0489VPD+2.8734 olarak belirlenmiştir. Testi vd. (2008), antep fıstığında bitki su stresinin belirlenmesi amacıyla Kaliforniya'da yürüttükleri çalışmalarında, alt sınır çizgisi eşitliğini T_c-T_a=-1.33VPD+2.44 olarak belirlermişlerdir. Sammis vd. (1988) pikan cevizinde alt sınır çizgisi eşitliğini T_c-T_a=-0.59VPD+0.03 ve üst sınır çizgisi için ise bitki tacının gölgede kalması durumunda T_c-T_a=4.0°C ve tamamen güneş görmesi durumunda ise T_c-T_a=6.0°C eşitliğini vermektedirler. Roy ve Opori (2014), badem ağaçları için üst sınır çizgisinin Tc-Ta=1.0°C ve alt sınır çizgisinin ise Tc-Ta=-1.16VPD+31.6 (R^2=0.96) eşitliği ile temsil edilebileceğini öne sürmüşlerdir. Bozkurt vd. (2014), Çukurova koşullarında çekirdeksiz sofralık üzüm çeşidi için üst sınır çizgisini Tc-Ta=-0.1047VPD+3.4406 ve alt sınır çizgisini ise Tc-Ta=-1.4597VPD+1.1468 (R^2=0.97) eşitliğini

önermişlerdir. Görüldüğü üzere, çalışmanın yürütüldüğü yerin iklim özellikleri ve bitki çeşidine bağlı olarak alt ve üst sınır çizgisi eşitlikleri değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen yaklaşık 3°C'lik Tc-Ta farkı literatürde verilen değerler ile uyumludur. Nitekim Jackson vd. (1981) üst sınır çizgisinin 5°C civarında olabileceğini ancak alt sınır çizgisinin ise VPD'den dolayı yerel koşullara bağlı olarak değişikli gösterebileceğini belirtmişlerdir.

Üç ve altı günde bir sulanan araştırma konularında hesaplanan CWSI değerlerinin mevsim boyunca değişimi sırasıyla Şekil 3 ve 4'de gösterilmiştir. CWSI değerleri üç günde bir sulanankonularda S4 için 0.01 ve 0.56, S3 için -0.12 ve 0.57, S2 için -0.13 ve 0.53, S1 için ise -0.02 ve 0.56 arasında değişirken, altı günde bir sulanan konularda S4 için -0.13 ve 0.65, S3için -0.25 ve 0.58, S2 için -0.18 ve 0.60, S1 için ise -0.11 ve 0.46 arasında değişiklik göstermiştir. Mevsim boyunca susuz parseldeki CWSI değişiminin 0.07 ile 0.66 arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3 ve 4). Şekil 3'de görüldüğü gibi susuz parsel için hesaplanan CWSI değerleri mevsim boyunca en yüksek düzeyde seyrederken, üç günde bir yığışımlı buharlaşmanın %75'i ve %100'ü kadar sulama yapılan sırasıyla D3S2 ve D3S3 konularında ise en düşük ve birbirine çok yakın değerlerde gerçekleşmiştir. CWSI değerleri sulamalardan önce artarken sulamadan sonra ise azalmıştır. Mevsim boyunca hiç su verilmeyen susuz parseldeki CWSI değerlerinin de sulamalara bağlı olarak dalgalanması, sulama yapılan yan parselden yanal sızmanın olabileceğine işaret etmektedir. Mevsim sonunda en yüksek CWSI değeri susuz parselde, en düşük CWSI değeri ise D3S2 konusunda kaydedilmiştir (Şekil 3). Öte yandan, altı günde bir sulanan konularda da CWSI değerleri, mevsim boyunca susuz parselde en yüksek düzeyde seyrederken, sulanan konular içinde en yüksek değerler, buharlaşmanın %50'si kadar sulama suyu uygulanan konuda (D6S1) kaydedilmiştir.

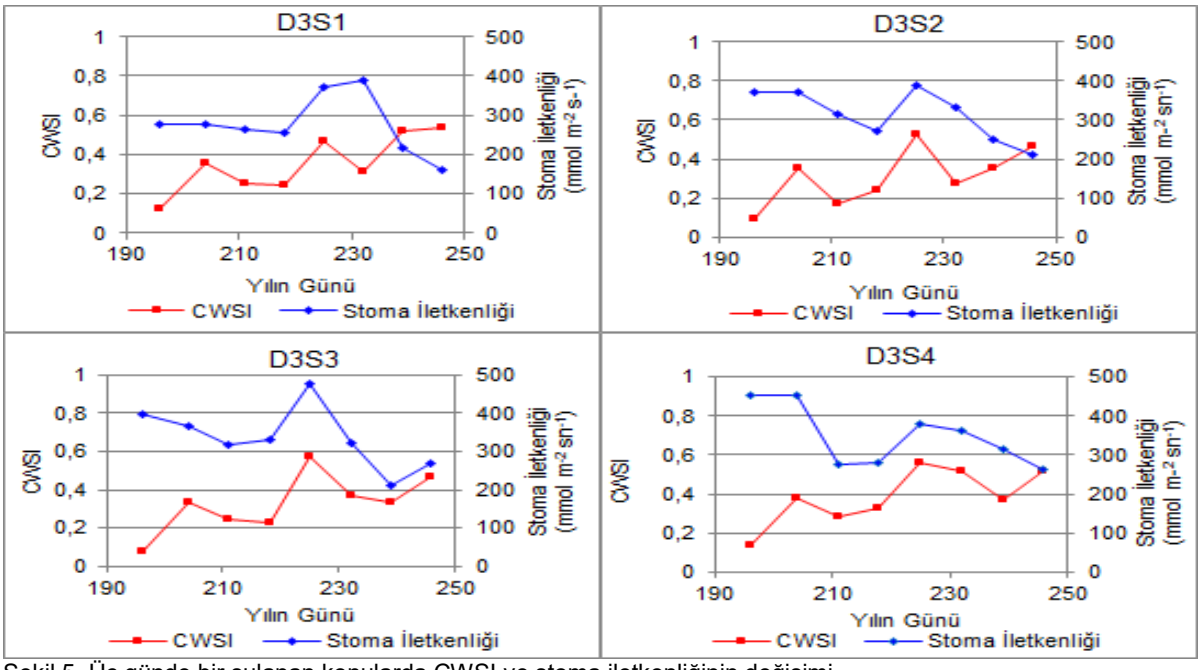


Şekil 3. Üç günde bir sulanan araştırma konularında CWSI değerlerinin mevsim boyunca değişimi

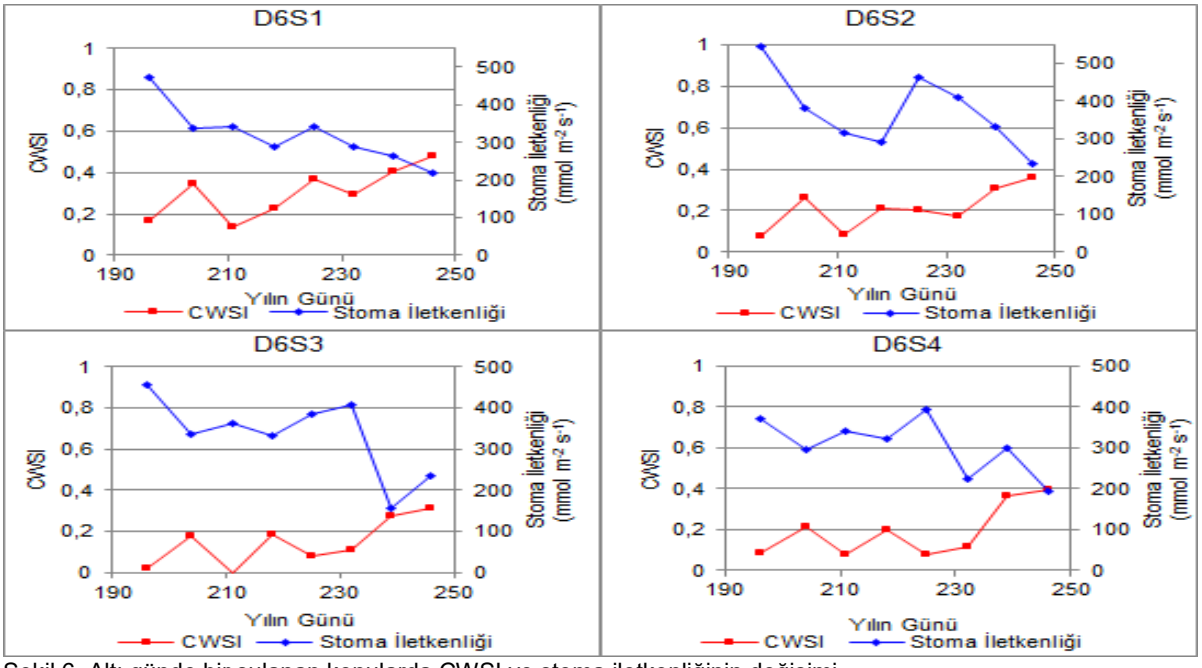


Şekil 4. Altı günde bir sulanan araştırma konularında CWSI değerlerinin mevsim boyunca değişimi

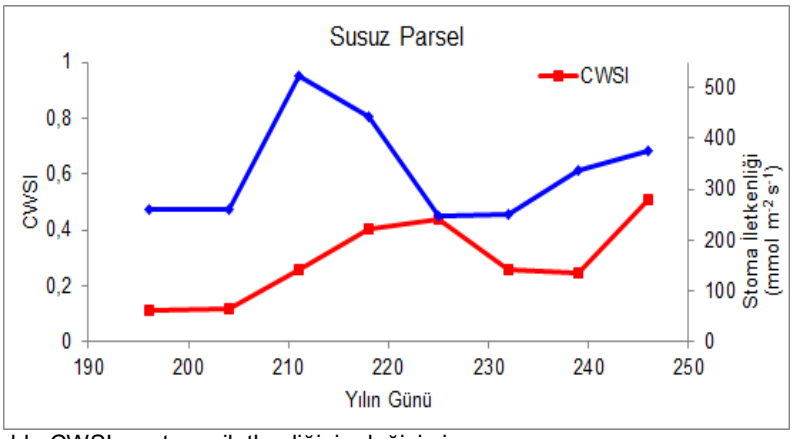
Altı günde bir sulanan konularda mevsim boyunca en düşük CWSI değerleri ise buharlaşmanın %100'ü kadar sulama suyu uygulanan konuda (D6S3) gerçekleşmiş olup genellikle 0.40 değerini geçmemiştir. Yılın 260. gününde tüm D6 konularında CWSI değerleri ani bir artış göstermiştir (Şekil 4). Bunun nedeni aynı tarihlerde olan yaklaşık 7°C civarındaki ani sıcaklık artışından kaynaklanmaktadır. Üç ve altı günde bir sulanan tüm konulara ilişkin bitki su stres indeksi ile stoma iletkenliği arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 5 ve 6'da, susuz parsel için ise aynı ilişki Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, D3 konularında CWSI ile stoma iletkenliği değerleri arasında her zaman tutarlı bir ilişki elde edilemediği görülmektedir.



Şekil 5. Üç günde bir sulanan konularda CWSI ve stoma iletkenliğinin değişimi



Şekil 6. Altı günde bir sulanan konularda CWSI ve stoma iletkenliğinin değişimi



Şekil 7. Susuz parselde CWSI ve stoma iletkenliğinin değişimi

Çizelge 4. Araştırma konularından elde edilen ortalama nar verimi (kg da^{-1})

Özellik	Sulama aralığı	Susuz	S1	S2	S3	S4	Ortalama
Verim	D3	1420	1659	1936	2677	2869	2112
	D6	1420	1770	2120	2536	2440	2057
	Ortalama	1420 c	1714 bc	2027 b	2606 a	2654 a	

D (sulama aralığı): ÖD, S (sulama düzeyi):**, D×S: ÖD
ÖD ve **, Sırasıyla; önemli değil ve %1 düzeyinde önemli

Ancak Şekil 6 incelendiğinde, tüm konularda CWSI değeri ile stoma iletkenlikleri arasında uyumlu bir ilişkinin olduğu, CWSI değeri arttıkça stoma iletkenliğinde azalma yönünde bir eğilim ve CWSI değerinin stabil olduğu günlerde ise stoma iletkenliğinin de stabil olduğu görülmektedir.

Ayrıca, mevsim boyunca altı günde bir tam sulanan D6S3 konusu ile %50 kısıntılı su uygulanan D6S1 konusu kıyaslandığında D6S3 konusundaki bitkilerin daha az strese girdiği, dolayısıyla daha yüksek stoma iletkenlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Diğer D6 konuları da dikkate alındığında uygulanan su miktarı arttıkça, stresin (CWSI'nin) azaldığı, bununla orantılı olarak da stoma iletkenliğinin arttığı söylenebilir. Üç ve altı günde bir tam sulanan konular (D3S3 ve D6S3 konuları) karşılaştırıldığında, D3S3 konusunda stoma iletkenliği azalma, CWSI artma eğilimindeyken D6S3 konusunda 235. güne kadar stoma iletkenliği ve CWSI nispeten stabil kalmıştır. Gonzalez-Dugo vd. (2015), Antep fıstığı ağaçlarında CWSI değerlerinin stoma iletkenliği ile iyi ilişkili olduğunu ve CWSI eşik değerinden sonra stoma iletkenliğinin doğrusal olarak azaldığını göstermişlerdir. Berni vd. (2009), zeytin ağaçlarında, yüksek çözünürlüklü termal görüntüleri kullanarak CWSI ve stoma iletkenliğini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, tam sulanan ağaçlarla kısıntılı sulanan ağaçlar arasındaki stoma iletkenliği değerlerini kıyasladıklarında, mevsim boyunca tam sulanan konuların her zaman daha yüksek değerlere sahip olduğunu bildirmişlerdir. Literatürdeki çalışmalarda tam sulanan konularda, kısıntılı sulanan konulara göre daha düşük CWSI değerleri ve bununla ilişkili olarak da daha yüksek stoma iletkenliği değerleri elde edildiği bildirilmektedir. Bu çalışmada da benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Araştırma konularından elde edilen ortalama nar verimleri Çizelge 4'de verilmiştir. Anılan Çizelgeden görüleceği gibi, sulama aralığı ile sulama aralığı ve sulama seviyeleri interaksiyonu istatistiksel olarak önemsiz çıkarken sulama düzeyleri %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Sulama düzeyleri açısından incelendiğinde en düşük verim ortalama 1420 kg da^{-1} ile susuz parselden elde edilirken en yüksek verim ortalama 2654 kg da^{-1} ile S4 konusundan elde edilmiştir. Ancak S3 konusu da ortalama 2606 kg da^{-1} ile aynı grupta yer almıştır. Bu bulgulara dayanılarak, damla sulama ile sulanan nar ağaçlarında üç veya altı günde bir sulamanın fark etmediği, S3 ve S4 uygulamaları arasında da istatistiksel bir farkın olmadığı görülmektedir. Bu nedenle, altı günde bir A sınıfı buharlaşma kabından olan yığışımlı buharlaşma miktarı kadar suyun damla sulama sistemi ile uygulanmasının yeterli olduğu sonucuna varılabilir.

Çizelge 5. Araştırma konularında elde edilen mevsimlik ortalama CWSI değerleri

Özellik	Sulama aralığı	Susuz	S1	S2	S3	S4	Ortalama
CWSI	D3	0.29 b	0.24 c	0.19 d	0.22 cd	0.34 a	0.26 A
	D6	0.29 b	0.21 cd	0.16 e	0.12 e	0.16 e	0.18 B
	Ortalama	0.29 a	0.22 b	0.17 c	0.17 c	0.25 b	

D(gün): **,S (sulama düzeyi):**, DxS:**
**, %1 düzeyinde önemli

Laribi vd. (2013), nar bitkisinde verimin su kısıtından önemsiz düzeyde etkilendiğini ve nar bitkisinin kuraklık koşullarına dayanıklı bir bitki olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Intrigliolo vd. (2013), tam sulama ve kısıtlı sulama arasında nar verimi açısından önemli derecede istatistiksel olarak bir fark olmadığını bildirmişlerdir. Buna göre verimle ilgili sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu olduğu söylenebilir.

Araştırma konularında elde edilen mevsimlik ortalama CWSI değerleri Çizelge 5'de verilmiştir. Anılan çizelgeden görüleceği gibi, sulama aralıkları, sulama düzeyleri ve sulama düzeyi x sulama aralığı interaksiyonu %1 düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir. Sulama aralıkları incelendiğinde üç günde bir sulanan konularda CWSI değerleri ortalaması 0.26 olup altı günde bir sulanan konuların mevsimlik CWSI değerleri ortalaması olan 0.18 değerinden daha yüksektir. Sulama düzeyleri ortalamaları incelendiğinde ise en yüksek CWSI değeri 0.29 ile susuz konudan elde edilmiş onu 0.25 ile S4 ve 0.22 ile S1 konuları aynı grupta yer alarak takip etmiş, en düşük CWSI değeri ise 0.17 ile, aynı grupta yer alan S2 ve S3 konularından elde edilmiştir. Sulama düzeyi x sulama aralığı interaksiyonu incelendiğinde ise en düşük CWSI değeri D6S3 (0.12) konusundan elde edilmekle beraber söz konusu konu D6S2 (0.16) ve D6S4 (0.16) konuları ile aynı grupta yer almıştır. En yüksek CWSI değeri ise D3S4 (0.34) konusundan elde edilmiştir. Bu bulgulara göre, damla sulama ile sulanan nar ağaçlarında CWSI değerini en düşük düzeyde tutmak için 6 gün ara ile buharlaşmanın %75'i düzeyinde sulama yapmanın yeterli olduğu sonucuna ulaşılabilir.

Çizelge 4 ve 5'deki sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, üç günde bir sulanan konulardaki verim ve CWSI değerleri arasında herhangi bir eğilim olmadığı görülmektedir. Bir başka deyişle, en düşük CWSI değerinin elde edildiği konu S2 konusu olurken en yüksek verimin elde edildiği konu S4 konusu olmuştur. Ancak, altı günde bir sulanan konuda verim ve CWSI değerleri arasında bir uyuşum söz konusudur. En yüksek verimin alındığı S3 konusu aynı zamanda en düşük CWSI değerlerinin elde edildiği konu olmuştur.

4. Sonuç

Elde edilen sonuçlarına göre, Antalya koşulları için nar ağaçlarında sulama programlaması amacıyla infrared termometre tekniğinin kullanılabileceği, böyle bir durumda mevsim boyunca ortalama CWSI değerinin 0.12 civarında tutulacak şekilde sulamaların programlanabileceği önerilebilir. Yine, altı günde bir sulanan en yüksek verim ve en düşük CWSI değerinin elde edildiği D6S3 konusundaki sulamalardan önceki en yüksek CWSI değeri olan 0.40 değeri sulamaların başlatılmasına karar vermek için kullanılabilir. CWSI değerinin söz konusu değere ulaşana kadar oluşacak yığışımlı buharlaşma miktarı ise uygulanacak sulama suyu miktarı olarak önerilebilir. Sulamaların A sınıfı buharlaşma kabından yapılan buharlaşmaya göre programlanması durumunda ise altı günde bir yığışımlı buharlaşma miktarı kadar su uygulanmasının yeterli olabileceği sonucuna varılabilir.

Kaynakça

Alderfasi, A.A., & Neilsen, D.C. (2001). Use of crop water stress index for monitoring water status and schedul ingirrigation in wheat. *Agricultural Water Management*, 47(1):69-75.

Al-Faraj, A., Meyer, G.E., & Horst, G.L. (2001). A crop water stress index for tall fescue (*Festuca arundinacea schreb*.) irrigation decision-making a traditional method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31(2):107-124.

Alves, I., & Pereira, L.S. (2000). Non-water-stressed baselines fo rirrigation scheduling with infrared thermometers: A new approach. *Irrigation Scienc*e, 19(1):101-106.

Ballester, C., Jimenez-Bello, M.A., Castel, J.R., & Intrigliolo, D.S. (2013). Usefulness of thermography for plant water stress detection in citrus and persimmon trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 168:120-129.

Baştuğ, R., & Irmak, S. (1996). Toprak suyu potansiyeli ve bitki su stresi indeksi (CWSI)

değerlerinin mısır sulanmasında kullanılması. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1):241-255.

Bellvert, J, Zarco-Tejada, P.J, Girona, &Fereres, E. (2013). Mapping crop water stress index in a 'pinot-noir' vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmannedaerial vehicle. *Precision Agricculture*, 15(4):361-376.

Ben-gal, A., Agam, N., Alchanatis, V., Cohen, Y., Yermiyahu, U., Zipori, I., Presnov, E., Sprintsin, M., & Dag, A. (2009). Evaluating water stress in irrigated olives: correlation of soil wate status, tree water status, and thermal imagery. *Irrigation Science*, 27(5):367-376.

Berni, J.A.J., Zarco-Tejada, P.J., Sepulcre-Cantó, G., Fereres, E., &Villalobos, F.J. (2009). Mapping canopy conductanc eand CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113(11):2380-2388.

Bozkurt, S., Çolak, Y., Yazar, A., Sezen, S.M., & Tangolar, S. (2014). Çukurova bölgesinde ergin çekirdeksiz sofralık üzüm çeşidinde bitki su stresinin infrared termometre ile izlenmesi. *Alatarım*, 13(1):17-26.

Carcova, J., Maddoni, G.A., & Ghersa, C.M. (1998). Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. *Field Crops Research,* 55(1-2):165-174.

Cremona, M.V., StutzeL, H., & Kage, H. (2004). Irrigation scheduling of kholrabi (*Brassica oleracea* var. gongylodes) using crop water stress index. *HortScience*, 39(2):276-279.

Emekli, Y., Bastug, R., Buyuktas, D., & Emekli, N.Y. (2007). Evaluation of a crop water stress index for irrigation scheduling of bermudagrass. *Agricultural Water Management*, 90(3):205-212.

Erdem, Y., Şehirali, S., Erdem, T., & Kenar, D. (2006). Determination of crop water stress index for irrigation scheduling of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(3):195-202.

Gençoğlan, C., & Yazar, A. (1999). Çukurova koşullarında yetiştirilen I. ürün mısır bitkisinde infrared termometre değerlerinde yararlanılarak bitki su stresi indeksi (CWSI) ve sulama zamanının belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(2):87-95.

GonzaleZ-Dugo, V., Goldhamer, D., Zarco-Tejada, P.J., & Fereres, E. (2015). Improving the precision of irrigation in a pistachio farm using an unmanned airborne thermal system. *Irrigation Science*, 33(1):43-52.

Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P.J., & Fereres, E. (2014). Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. *Agricultural and Forest Meteorology,* 198-199(2014):94-104.

Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J.Jr., Reginato, R.J., & Hatfield, J.L. (1981). Normalizing the stres-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24(1981):45-55.

Intrigliolo, D.S., Bonet, L., Nortes, P.A., Puerto, H., Nicolas, E., & Bartual, J. (2013). Pomegranate trees performance under sustained and regulated deficiti rrigation. *Irrigation Science*, 31(5):959-970.

Irmak, S., Haman, D.Z., &Bastug, R. (2000). Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal*, 92(6):1221-1227.

Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., &Pinter, P.J.Jr. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17(4):1133-1138.

James, L.G. (1988). Principles of farm irrigation systems design. John Wiley&Sons Inc., p:543, New York, USA.

Köksal, E.S. (2006). Sulama suyu düzeylerinin şekerpancarının verim, kalite ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkisinin, infrared termometre ve spektroradyometre ile belirlenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

Laribi, A.I., Paloua, L., Intrigliolo, D.S., Nortesc, P.A., Rojas-Argudoa, C., Tabernera, V., Bartuald, J., & Perez-Gagoa, M.B. (2013). Effect of sustained and regulated deficit irrigation on fruit quality of pomegranate. *Agricultural Water Management*, 125(2013):61-70.

Nielsen, D.C., (1990). Scheduling irrigations for soybeans with the crop water stress index (CWSI). *Field Crops Research*, 23(2):103-116.

O'toole, J.C., Turner, N.C., Namuco, O.P., Dingkuhn, M., & Gomez, K.A. (1984). Comparison of some crop water stress measurement methods. *Crop Science*, 24(6):1121-1128.

Olufayo, A. Baldy, C., &Ruelle, P. (1996). Sorgum yield, water use and canopy temperatures under different levels of irrigation. *Agricultural Water Management*, 30(1):77-90.

Orta, A.H., Erdem, Y., & Erdem, T. (2003). Crop water stress index for watermelon. *Scienta Horticulturae*, 98(2):121-130.

Ödemiş, B., & Baştuğ, R. (1999). Infrared termometre tekniği kullanılarak pamukta bitki su stresinin değerlendirilmesi ve sulamaların programlanması. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(1):31-37.

Pinter, P.J., & Reginato, R.J. (1982). A thermal infrared technique for monitoring cotton water stress and scheduli ngirrigations. *Transaction of the ASAE*, 25(6):1651-1655.

Reginato, R.J. (1983). Field quantification of crop water stress. *Transaction of the ASAE*, 26(3):772-781.

Roy, S., &Ophori, D. (2014). Estimation of crop water stress index in almond orchards using thermal aerial imagery. *Journal of Spatial Hydrology,* 12(1):29-43.

Sammis, T.W., Riley, W.R., & Lugg, D.G. (1988). Crop water stress index of pecans. *Applied Engineering in Agriculture*, 4(1):39-45.

Sepaskhah, A.R., & Kashefipour, S.M. (1994). Relationships between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 25(1):13-22.

Septar, L., Paltineanu, C., Chitu, E., Moale, C., Demirsoy, H., Köksal, E.S., Kızılkaya, R., & Macit, İ. (2014). Canopy temperature for peach tree at various soil water contents. *Eurasian Journal of SoilScience*, 3(1):56-64.

Sezen, S.M., Yazar, A., Daşgan, Y., Yücel, S., Akyıldız, A., Tekin, S., & Akhoundnejad, Y. (2014). Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agricultural Water Management,* 143:59-70.

Taghvaeian, S., Comas, L., Dejonge, K.C., & Trout, T.J. (2014). Conventional and simplified canopy temperature indices predict water stress in sunflower. *Agricultural Water Management*, 144:69-80.

Tanrıverdi, C. (2010). Improved agricultural management using remote sensing to estimate water stress indices. *Applied Remote Sensing Journal*, 1(2):19-24.

Tekinel, O., & Kanber, R. (1979). Çukurova koşullarında kısıntılı su kullanma durumunda pamuğun su tüketimi ve verimi. Tarsus Bölge Topraksu Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, 98:40.

Testi, L., Goldhamer, D.A., Iniesta, F., & Salinas, M. (2008). Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrigation Science*, 26(5):395-405.

Wang, D., & Gartung, J. (2010). Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management,* 97(11):1787-1794.

Wiriya-Alongkorn, W., Spreer, W., Ongprasert, S., Spohrer, K., Pankasemsuk, T., & Müller, J. (2013). Detecting drought stress in longan tree using thermal imaging. *Maejo International Journal of Scienceand Technology,* 7(1):166-180.

Yazar, A. (1990). Utilization of infrared thermometry technique for assessing crop water stres and irrigation scheduling for soybean. *DoğaTürk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, 14:517-533.

Yuan, G., Luo, Yi., Sun, X., &Tang, D. (2004). Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winte rwheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 64(1):29-40.