Bitki Su Stresi İndeksini (CWSI) Belirlemede Kullanılan Yöntemlerin Nar Ağacı ve Soya Bitkisinde Karşılaştırılması

Begüm Tekelioğlu[1*], Dursun Büyüktaş[1], Ruhi Baştuğ[1], Köksal Aydınşakir[2], Cihan Karaca[1], Nazmi Dinç[2]

[1]Department of Farm Structures and Irrigation, Faculty of Agriculture, Akdeniz University, Antalya, TURKEY
[2]Batı Akdeniz Agricultural Research Institute, Antalya, TURKEY
Corresponding Author e-mail: btekelioglu@akdeniz.edu.tr

Özet: İnfrared termometre ile ölçülebilen taç sıcaklığı bitki su durumunun bir göstergesi olarak ifade edilmektedir. Taç sıcaklığına dayalı olarak belirlenebilen bitki su stresi indeksi (CWSI) değeri yardımı ile bitki su stresi niceliksel olarak ifade edilmekte ve bu değer sulama programlarının hazırlanması amacıyla kullanılmaktadır. CWSI değeri, Jackson vd (1981) tarafından geliştirilen enerji dengesi yaklaşımı, Idso vd (1981) tarafından geliştirilen deneysel yaklaşım ve Alves ve Pereira (2000) tarafından geliştirilen ıslak termometre sıcaklığı yaklaşımı olmak üzere üç temel yöntemle belirlenebilmektedir. Ancak bu yöntemlerde teorik olarak 0 ile 1 arasında olması gereken CWSI değerleri zaman zaman negatif değerler alabilmektedir. Bu çalışmada negatif CWSI değerlerini elimine etmek için, alt ve üst sınır çizgilerinin belirlenmesinde, ölçülen taç ve hava sıcaklığı farklarının tümünü kapsayacak bir zarf doğrusunun oluşturulması ve bu yolla CWSI değerlerinin hesaplanması yaklaşımı geliştirilmiştir. Çalışmada, Antalya koşullarında 2015 yılında nar ve soya bitkisinde yürütülen denemelerden elde edilen bitki taç örtüsü ve hava sıcaklığına ilişkin veriler kullanılarak, geliştirilen yaklaşımla hesaplanan CWSI değerleri diğer üç yöntemle hesaplanan CWSI değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bu çalışmada önerilen zarf doğrusu yaklaşımının negatif CWSI değerlerini elimine ettiği ve hem nar hem de soya bitkisi için hesaplanan CWSI değerlerinin Idso yöntemine benzer bir trend gösterdiği belirlenmiştir. Jackson ve Alves yöntemlerinin ise negatif CWSI değerleri verdiği gün sayısının daha fazla olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alt sınır ve üst sınır çizgileri, İnfrared termometre

Comparing The Methods Used to Calculate Crop Water Stress Index (Cwsi) of Pomegranate and Soybean

Abstract: Canopy temperature measured with infrared thermometers, is expressed as an indicator for detecting crop water stress. The plant water stress index (CWSI) value, which can be determined based on the canopy temperature, is detecting the plant water stress and this value is used to schedule irrigation. CWSI value is described by three basic methods; i.e., the energy balance approach developed by Jackson et al. (1981), the experimental approach developed by Idso et al. (1981), and the wet-bulb temperature approach developed by Alves and Pereira (2000). However, in these methods, the CWSI values, which theoretically should be between 0 and 1, can be negative values from time to time. To eliminate the negative CWSI values, in this study, an approach was developed in which an envelope line was formed that included the entire canopy and air temperature differences measured and the CWSI values were calculated in this way. The aim of this study is to compare the CWSI values calculated with the developed approach with the ones calculated using the other three methods by using the data related to the canopy and air temperature obtained from the experiments carried out in pomegranate and soybean plants in Antalya conditions in 2015. According to the obtained results, it was determined that the envelope-line approach proposed in this study eliminated negative CWSI values and that the CWSI values calculated for both pomegranate and soybean plants showed a trend similar to the Idso method. Jackson and Alves methods were found to have more negative CWSI values.

Keywords: Lower and upper boundary lines, Infrared thermometer

Giriş

Son yıllarda, infrared termometre (IRT) ile ölçülebilen taç sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan bitki su stresi indeksine (CWSI) dayalı sulama programlarının kullanımı önem kazanmıştır. Birçok araştırmacı CWSI değerinin sulama programlarının hazırlanması amacıyla kullanılabileceğini 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; Nielsen, 1990; Yazar, 1990; Baştuğ ve Irmak, 1996; Ödemiş ve Baştuğ, 1999; Gonzalez-Dugo, vd., 2004). CWSI değeri, stressiz koşullarda hesaplanan (su stresinin olmadığı) alt sınır çizgisi ve maksimumum stresli koşullarda (stomaların tamamen kapalı olduğu) hesaplanan üst sınır çizgisinin belirlenmesi yoluyla hesaplanır. Stoma iletkenliği ile CWSI arasındaki ilişki Karaca vd. (2018) tarafından detaylı olarak irdelenmiştir.

Alt sınır ve üst sınır çizgilerinin belirlenmesine ilişkin farklı yöntemler geliştirilmiştir. Jackson vd (1981) tarafından geliştirilen enerji dengesi yöntemi, Idso vd (1981) tarafından geliştirilen deneysel yöntem ve Alves ve Pereira (2000) tarafından geliştirilen ıslak termometre sıcaklığı yöntemi olmak üzere üç temel yöntem bulunmaktadır. Enerji dengesi yöntemi, bitki yüzeyindeki enerji dengesi denklemine dayanan temel bir yöntem olup diğer yöntemlere rehberlik etmektedir. Bu yöntem, taç sıcaklığı ve hava sıcaklığı farkı (T_c-T_a) ile buhar basıncı açığı (VPD) arasındaki amprik ilişkinin teorik açıklaması olarak tanımlanır. Anılan yöntemde, çevresel parametrelerin (net radyasyon, rüzgar hızı vb.) ve potansiyel transpirasyonda bitkinin yüzey direnci (r_{cp}) gibi parametrelerin bilinmesi gerekir. Idso vd (1981) tarafından geliştirilen deneysel yöntem, enerji dengesi yönteminde belirtilen T_c-T_a ile VPD ilişkisine dayalı CWSI değerinin grafiksel çözümle elde edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde, Jackson yönteminde hesaplanan çevresel parametrelerin bilinmesine gerek yoktur. Yöntemde alt sınır çizgisi farklı iklim koşullarına ve farklı bitki türlerine göre değişebilir. Alves ve Pereira (2000) tarafından geliştirilen yöntem de ise, CWSI değerinin belirlenmesinde kullanılan su stressiz baz çizgisi için farklı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde potansiyel hızda transpirasyon yapan bitkilerin yüzey sıcaklığı ıslak termometre sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Bu yöntem deneme yoluyla elde edilen alt sınır çizgisine göre daha esnek bir kullanıma sahiptir ve iklimsel verilerle kolayca hesaplanabilir nitelik taşımaktadır. Bu yöntemin Jackson'ın yönteminden üstün olan tarafı ise bitki yüzey direncinin (r_{cp}) sıfır kabul edilmesidir. Anılan üç yöntem karşılaştırıldığı zaman farklı avantajları ve dezavantajları vardır. Farklı iklim koşullarında ve farklı bitki türlerinde bu yöntemlerin özellikleri değerlendirilerek en uygun yöntem belirlenebilir.

Bitki su stresi indeksini (CWSI) belirleme yöntemlerinin karşılaştırılmasına yönelik yapılan çalışmalara, Yuan vd. (2004), Hang vd. (2018) ve Widmoser (2010)' in yapmış oldukları çalışmalar örnek olarak gösterilebilir. Yuan vd. (2004), Çin'de kışlık buğday bitkisinde CWSI belirleme yöntemlerini kıyasladıkları çalışmalarında, Jackson ve Alves yöntemlerinin Idso yöntemine göre daha doğru sonuçlar verdiğini, ayrıca Alves yönteminin Jackson yöntemine göre uygulanabilirliğinin daha kolay olduğunu belirtmişlerdir. Hang vd. (2018) Amerika Birleşik Devletlerinde mısır bitkisinde yapmış oldukları çalışmada, deneysel ve aerodinamik direnci hesaplayarak belirledikleri teorik yöntem ile aerodinamik direncin mevsimsel ortalaması alınarak belirledikleri teorik yöntem olmak üzere üç farklı yöntemle hesapladıkları CWSI değerlerini incelemişler ve mısır bitkisinde, diğer yöntemlere göre, aerodinamik direncin mevsimsel ortalaması alınarak belirledikleri teorik yöntemi önerdiklerini bildirmişlerdir. Widmoser (2010) farklı yaklaşımlarla alt sınır ve üst sınır çizgilerini değerlendirmişlerdir. Enerji dengesi yönteminin daha doğru olabileceğini ifade etmekle birlikte, verilerin yetersiz olduğunu ve kıyaslama yapabilmek için daha fazla

veri ve çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu bildirmişlerdir.

Görüldüğü üzere, bu konudaki çalışmalar oldukça sınırlıdır. Çok yıllık bitkilerde CWSI belirleme yöntemlerinin karşılaştırılmasına yönelik çalışmaya ise henüz literatür araştırmalarında rastlanılmamıştır. Teorik olarak 0 ile 1 arasında olması gereken CWSI değerleri uygulamada zaman zaman negatif değerler alabilmektedir.

Bu çalışmada, Antalya koşullarında, negatif CWSI değerlerini elimine etmek için, alt ve üst sınır çizgilerinin belirlenmesinde, ölçülen taç ve hava sıcaklığı farklarının tümünü kapsayacak bir zarf doğrusu geliştirilerek CWSI değerlerinin hesaplanmasına yeni bir yaklaşım getirilmiş ve bu yaklaşım, enerji dengesi yaklaşımı, deneysel yaklaşım ve ıslak termometre sıcaklığı yaklaşımları ile kıyaslanarak, hangi yöntemde CWSI değerinin daha doğru olarak belirlendiği araştırılmıştır.

Materyal ve Metod

Bu çalışmada, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü (BATEM) Arazisinde yer alan 6 yaşındaki nar bahçesinde Hicaznar çeşidi nar ağaçları ve BATEM tarafından geliştirilen ATAEM-7 soya çeşidinde 2015 yılında yürütülen denemelerden elde edilen veriler kullanılarak Jackson vd (1981) tarafından geliştirilen enerji dengesi yaklaşımı, Idso vd (1981) tarafından geliştirilen deneysel yaklaşım, Alves ve Pereira (2000) tarafından geliştirilen ıslak termometre sıcaklığı yaklaşımı ve bu çalışmada geliştirilen (önerilen) yaklaşım olmak üzere dört farklı yönteme göre hesaplanmış CWSI değerleri karşılaştırılmıştır. Antalya Alanya karayolu üzerinde, Antalya ilinin 20 km doğusunda bulunan Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü arazisizindeki deneme alanı 36° 52' kuzey enlemi ve 30°50' doğu boylamında bulunmaktadır. Ortalama yükseltisi 15 m'dir. Denemede kullanılan T_c verileri 2015 yılında, nar ağacında haziran ve kasım, soya bitkisinde ise mayıs ve ekim ayları arasında ölçülmüştür. Deneme alanının toprak bünye sınıfı siltli tındır. Deneme alanı, Akdeniz iklimine sahip olup yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olmaktadır. Antalya'da yıllık ortalama sıcaklık 18.5 C° ve uzun yıllık ortalama toplam yağış 1119 mm'dir. Sırasıyla Antalya Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'nden ve deneme alanının yaklaşık 250 m doğusundaki Boztepe TİGEM arazisinde kurulu bulunan otomatik meteoroloji istasyonundan alınan uzun yıllık ve denemenin yürütüldüğü döneme ilişkin ortalama meteorolojik veriler Tablo 1'de sunulmuştur. Anılan tablodan görüldüğü gibi uzun yıllık ve denemenin yürütüldüğü yıldaki ortalama iklimsel veriler uyuşum içerisindedir.

Tablo 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

Nar ağaçlarında yapılan çalışma, tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 yinelemeli olarak yürütülmüştür. Sulama konuları, 6 günde bir Class A panda ölçülen açık su yüzeyi buharlaşması değeri farklı pan katsayıları (K_{pc}) ile çarpılarak oluşturulmuştur. Denemede N_{50} konusuna 6 gün aralıkla ölçülen açık su yüzeyi buharlaşmasının % 50'si, N_{75} konusuna % 75'i, N_{100} konusuna %100'ü ve N_{125} konusuna %125'i uygulanarak dört farklı sulama konusu oluşturulmuştur. CWSI değerlerini belirlemede kullanılacak üst sınır çizgisini oluşturabilmek için ölçüm almada sulama yapılmayan (suzuz) bir parseden (N_0) yararlanılmıştır.

Soya bitkisinde yapılan çalışma, 6 farklı sulama konusunun, 3 tekerrürlü olarak denendiği tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre düzenlenmiştir. Sulamalar Class A pan kabındaki yığışımlı buharlaşma miktarı 25±5 mm'ye ulaştığı zaman yapılmıştır. Sulama konuları ise farklı pan katsayıları kullanılarak oluşturulmuştur. Buna göre, ölçülen açık su yüzeyi buharlaşması değerinin (25±5 mm) S_{25} konusuna % 25'i, S_{50} konusuna % 50'si, S_{75} konusuna %75'i, S_{100} konusuna %100'ü ve S_{125} konusuna %125'i kadar su verilerek beş farklı sulama konusu uygulanmıştır. Yine nar bitkisinde olduğu gibi, CWSI değerlerini belirlemede kullanılacak üst sınır çizgisini oluşturabilmek için ölçüm almada sulama yapılmayan (susuz) bir parseden (S_0) yararlanılmıştır. Denemelerde kullanılan yöntemlere ilişkin daha kapsamlı bilgiler Tekelioğlu vd. (2016) ve Tekelioğlu vd. (2017)'de verilmiştir.

Karşılaştırılan tüm yöntemlerde, bitki su stres indeksi (CWSI) Idso vd. (1981) tarafından verilen Eşitlik 1'den yararlanılarak belirlenmiştir.

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{ll}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}} \quad \text{Eşitlik 1}$$

Eşitlikte, $(T_c\text{-}T_a)_m$: ölçüm anındaki taç örtüsü sıcaklığı ile hava sıcaklığı farkı (Cº), $(T_c\text{-}T_a)_{ll}$: bitkinin hiç su stresi çekmediği koşulda elde edilen taç örtüsü ve hava sıcaklığı farkı (alt sınır çizgisi) değeri (Cº), $(T_c\text{-}T_a)_{ul}$: bitkinin maksimum su stresi altında olduğu koşulda elde edilen taç örtüsü hava sıcaklığı farkı (üst sınır çizgisi) değeri (Cº)'dir.

Üst sınır ($(T_c\text{-}T_a)_{ul}$) ve alt sınır ($(T_c\text{-}T_a)_{ll}$) değerleri farklı yöntemlere göre hesaplanmıştır.

Jackson vd (1981) tarafından geliştirilen enerji dengesi yaklaşımında üst sınır çizgisinin denklemi eşitlik 2, alt sınır çizgisinin denklemi ise eşitlik 3 ile hesaplanmaktadır.

$$(T_c - T_a)_{ul} = \frac{r_a R_n}{\rho c_p} \quad \text{Eşitlik 2}$$

$$(T_c - T_a)_{ll} = \frac{r_a\ 0.9\ R_n}{\rho c_p} \frac{\gamma\left(1 + r_{cp}/r_a\right)}{\Delta + \gamma\left(1 + r_{cp}/r_a\right)} - \frac{VPD}{\Delta + \gamma\left(1 + r_{cp}/r_a\right)} \quad \text{Eşitlik 3}$$

Eşitliklerde; R_n: net radyasyon (W m^{-2}),ρ: havanın özgül ağırlığı (kg m^{-3}), c_p: sabit basınç altında havanın özgül ısısı (J kg^{-1} K^{-1}), γ: psikometrik sabit (kPa $ºC^{-1}$), r_a: havanın aerodinamik direnci (s m^{-1}), VPD: buhar basıncı açığı (kPa) ve r_{cp}: potansiyel transpirasyonda bitki yüzeyi direnci (s m^{-1})'dir.

Idso vd (1981) tarafından geliştirilen deneysel yaklaşım için, potansiyel hızda transpirasyon yapan (hiç stres çekmeyen) bitkiden, eş zamanlı olarak ölçülen $T_c\text{-}T_a$ ve VPD değerlerinin karşılıklı işaretlenmesiyle elde edilen alt sınır çizgisi ve hiç transpirasyon yapmayan (maksimum stres altındaki) bitkiden elde edilen $T_c\text{-}T_a$ ve VPD değerlerinin karşılıklı işaretlenmesiyle üst sınır çizgisi belirlenir. Belirlenen bu çizgilerin denklemleri ise alt sınır ve üst sınır çizgisi denklemleridir.

Idso vd (1981) tarafından geliştirilen deneysel yaklaşımda, üst sınır çizgisi denklemi Eşitlik 4 ve alt sınır denklemi ise Eşitlik.5 ile hesaplanmaktadır.

$$(T_c - T_a)_{ul} = a + b * VPG \quad \text{Eşitlik 4}$$

$$(T_c - T_a)_{ll} = a + b * VPD \quad \text{Eşitlik 5}$$

Eşitlikte 4'de; a: üst sınır çizgisinin arakesit değeri ve b: üst sınır çizgisinin eğim değeridir. VPG değeri VPD değerinin sıfır olabilmesi için gerekli negatif atmosferik buhar basıncı açığıdır. VPG değeri aşağıdaki Eşitlikle ifade edilmiştir (Idso vd 1981).

$$VPG = e^*(T_a) - e^*(T_a + a) \quad \text{Eşitlik 6}$$

Eşitlikte; e(T_a): T_a sıcaklığındaki havanın doygun buhar basıncı (kPa), e (T_a+a): T_a+a sıcaklığındaki havanın doygun buhar basıncıdır. Eşitlik 4'e göre, T_c-T_a' nın üst sınır çizgisi sadece hava sıcaklığının bir fonksiyonudur. Eşitlik 5'de ifade edilen a: alt sınır çizgisinin arakesit değeri ve b: alt sınır çizgisinin eğim değeridir.

Alves ve Pereira (2000) tarafından geliştirilen ıslak termometre sıcaklığı yaklaşımında üst sınır çizgisi Eşitlik 7, alt sınır çizgisi ise Eşitlik 8'de verilen ilişkilerle hesaplanmıştır.

$$(T_c - T_a)_{ul} = \frac{r_a R_n}{\rho c_p} \quad \text{Eşitlik 7}$$

$$(T_c - T_a)_{ll} = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} * \frac{r_a}{\rho c_p}(R_n - G) - \frac{VPD}{\Delta + \gamma} \quad \text{Eşitlik 8}$$

Eşitlik 7 ve 8 incelendiği zaman, Jackson (1981) tarafından geliştirilen enerji dengesi yönteminde hesaplanan r_{cp} değerinin sıfır alındığı görülmektedir.

Ancak yukarıda ayrıntıları verilen üç yöntemde de teorik olarak 0 ile 1 arasında olması gereken CWSI değerleri zaman zaman negatif değerler alabilmektedir.

Bu çalışmada negatif CWSI değerlerini elimine etmek için, alt ve üst sınır çizgilerinin belirlenmesinde, ölçülen taç ve hava sıcaklığı farklarının tümünü kapsayacak bir zarf doğrusunun oluşturulması ve bu yolla CWSI değerlerinin hesaplanması yaklaşımı geliştirilmiştir. Önerilen bu yaklaşımda, üst sınır çizgisinin denklemi temel grafikte (Idso vd (1981) tarafından geliştirilen deneysel yaklaşımda) gösterilen üst sınır çizgisi için ölçülen maksimum stresli konudan elde edilen verilerin üzerinden geçirilen bir zarf doğrusunun denkleminden elde edilmiştir. Alt sınır çizgisinin denklemi ise yine temel grafikte alt sınır çizgisini oluşturmak amacıyla tam sulanan konudan elde edilen verilerin en alt kısmından yani minimum stresli verilerin alt kısmından bir zarf doğrusu geçirilerek bu doğrunun denkleminden elde edilmiştir. Elde edilen alt sınır ve üst sınır çizgisi denklemleri matematiksel olarak Idso vd (1981) tarafından geliştirilen deneysel yaklaşımla aynıdır (Eşitlik 4 ve Eşitlik 5). Önerilen bu yaklaşımda amaç negatif CWSI değerlerini elimine etmektir.

Bu çalışmada üst sınır çizgisini oluşturan veriler maksimum stresli konularda (N_0 ve S_0) ve günün en sıcak saatlerinde (11:00-14:00) ölçülen değerlerin ortalaması kullanılarak hesaplanmıştır. Alt sınır çizgisini oluşturan veriler ise, her iki bitkiden de sulamadan bir gün sonra tam sulanan konulardan (N_{100} ve S_{100}) tüm gün ve her saat başı (09:00-18:00) ölçülen değerler kullanılarak hesaplanmıştır.

Farklı sulama uygulamalarına ilişkin CWSI değerini belirlemek amacıyla, her sulamadan önce ve sonra olmak üzere IRT ile her üç tekerrürde bitki taç örtüsü sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçümler güneş ışınlarının yeryüzüne dik geldiği öğle saatlerinde (saat 11:00, 12:00, 13:00, 14:00'de) alınmıştır.

Bitki taç örtüsü sıcaklıklarının ölçümünde elde taşınabilir tipte 9 V pil ile çalışabilen infrared termometre aleti (Spectrum Technologies Inc., IR Crop Temperature Meter) kullanılmıştır. Aletin ölçebildiği sıcaklık aralıkları -40 ile 320 ^{o}C, dalga boyu 8-14 µ arasında değişmektedir. Mesafe hedef oranı 8:1 ve emisivite değeri 0.95 olarak verilmektedir.

CWSI değerini hesaplamak için gerekli olan diğer çevresel değişkenler farklı kaynaklardan yararlanılarak hesaplanmıştır.

Net radyasyon Eşitlik 9'da verilen ilişki (Penman, 1956) ile hesaplanmıştır.

$$R_n = R_A\left(0.20 + 0.48\frac{n}{D}\right)(1-r) - \sigma {T_a}^4\left(0.47 - 0.077\sqrt{e_s}\right)\left(0.2 + 0.8\frac{n}{D}\right) \quad \text{Eşitlik 9}$$

Bu çalışma için net radyasyon değeri 518 W m^{-2} olarak hesaplanmıştır. R_A: Atmosfere ulaşan aylık ortalama solar radyasyon (mm $gün^{-1}$), n/D: (gerçek/olası güneşlenme, saat), r: Yüzeyin yansıtma katsayısı, σ: Boltzman katsayısı, T_a: mutlak hava sıcaklığı, e_s: havanın T sıcaklığında doygun buhar basıncıdır. Eşitlikteki γ: Psikometrik sabit (kPa $^oC^{-1}$), eşitlik 10'dan yararlanılarak hesaplanmıştır (Allen vd., 2006).

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon\lambda} = 0.0665 * 10^{-3} P \quad \text{Eşitlik 10}$$

Bu eşitlikte, P: atmosferik basınç (kPa) olup bu çalışmada 101.12 kPa olarak hesaplanmıştır. λ: buharlaşma gizli ısısı, (2.45 MJ kg^{-1}), c_p: sabit basınçta özgül ısı olup $1.013x10^{-3}$ MJ kg^{-1} °C^{-1} olarak hesaplanmıştır. ε: su buharı/kuru hava molekül ağırlığı oranı (0.622)'dır. Bu çalışmada psikometrik sabit (γ) 0.067 kPa $^oC^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Potansiyel transpirasyonda bitki yüzeyi direnci (r_{cp})'nin hesaplanmasında Eşitlik 11 kullanılmıştır (Allen vd., 2006).

$$r_{cp} = \frac{r_1}{LAI_{active}} \quad \text{Eşitlik 11}$$

Eşitlikte, r_{cp}: bitkinin yüzey direnci (s m^{-1}), r_l: stoma direnci (iyi ışık almış bitkide) (s m^{-1}), LAI_{active}: aktif yaprak alanı indeksi (m^2 m^{-2})'dir. Bu çalışmada nar bitkisi için r_{cp} değeri 5.5 (s m^{-1}), soya bitkisi için ise 8.3 s m^{-1} olarak hesaplanmıştır.

Havanın aerodinamik direnci (r_a) nar bitkisi için 10 (s m^{-1}), soya bitkisi için ise 20 (s m^{-1}) olarak Monteith (1973)'ten alınmış, havanın özgül ağırlığı (ρ) ise 1.16 (kg m^{-3}) olarak hesaplanmıştır (Allen vd., 2006).

Doygun buhar basıncı eğrisinin eğimi Allen vd., (2006) tarafından verilen Eşitlik 12'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta = \frac{4098\left[0.6108exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right)\right]}{(T+237.3)^2} \quad \text{Eşitlik 12}$$

Eşitlikte, T: hava sıcaklığı (^oC), Δ: doygun buhar basıncı- hava sıcaklığı eğrisinin eğimidir.

Havanın buhar basıncı açığı (VPD) ise, hava sıcaklığı (T) ve havanın bağıl nemi (RH) değerlerine bağlı olarak aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır (Allen et al. 1998).

$$e_s = 0.6108xexp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right) \quad \text{Eşitlik 13}$$

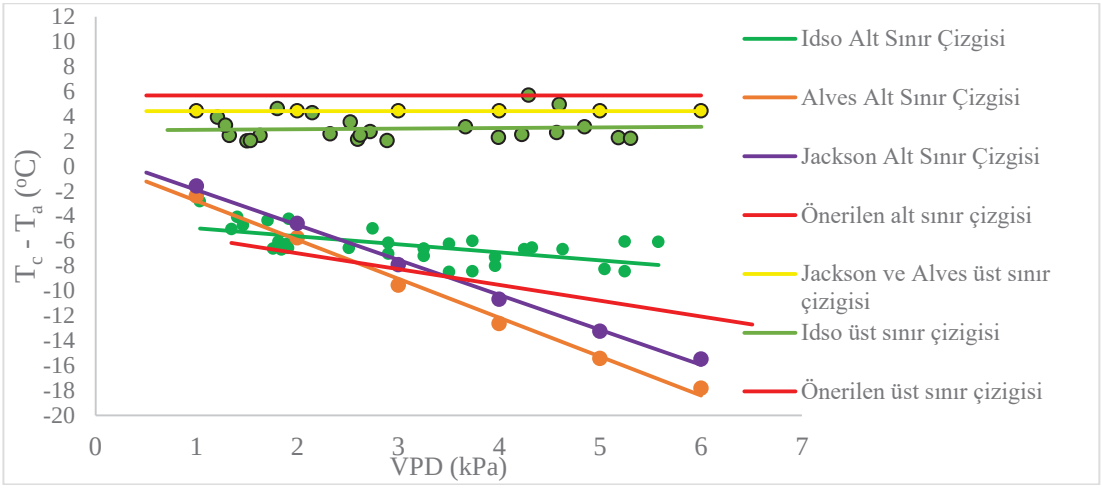
$$e_a = e_s x\frac{RH}{100} \quad \text{Eşitlik 14}$$

$$VPD = e_s - e_a \quad \text{Eşitlik 15}$$

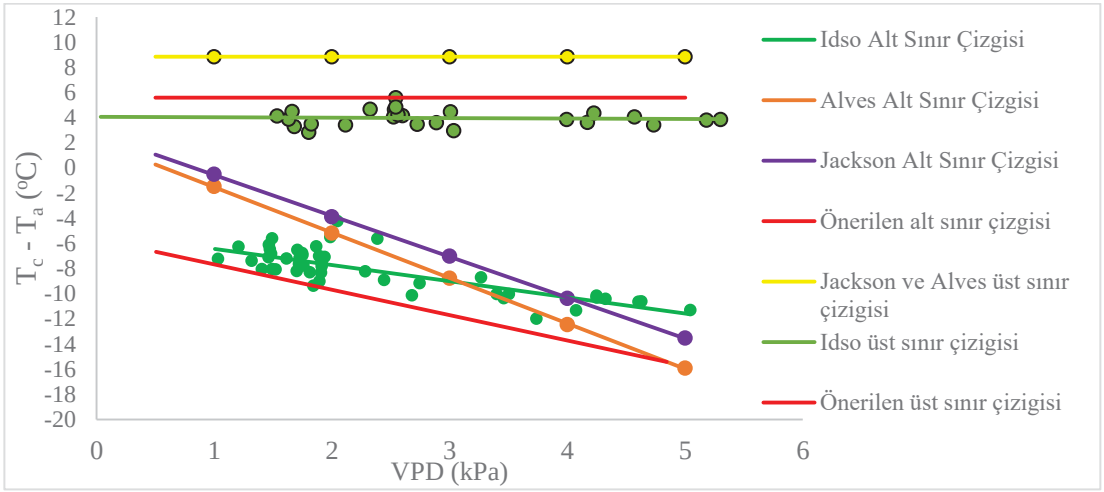
Eşitlikte; e_s: doygun buhar basıncı (kPa), T: hava sıcaklığı (C°), RH: havanın bağıl nemi (%), VPD: buhar basıncı açığıdır (kPa).

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Dört farklı yönteme göre hesaplanmış alt ve üst sınır çizgilerinden yararlanılarak nar ağacı ve soya bitkisi için oluşturulan temel grafikler sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de, çizgilerin denklemleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Nar ağacında CWSI değerini belirlemede kullanılabilecek, alt ve üst sınır çizgileri (temel grafik)

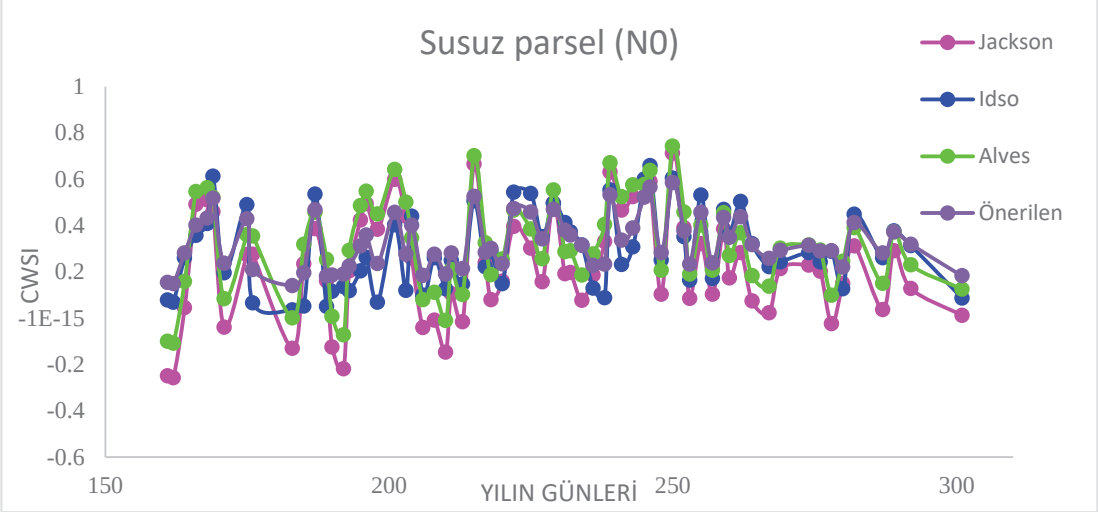


Şekil 2. Soya bitkisinde CWSI değerini belirlemede kullanılabilecek, alt ve üst sınır çizgileri (temel grafik)

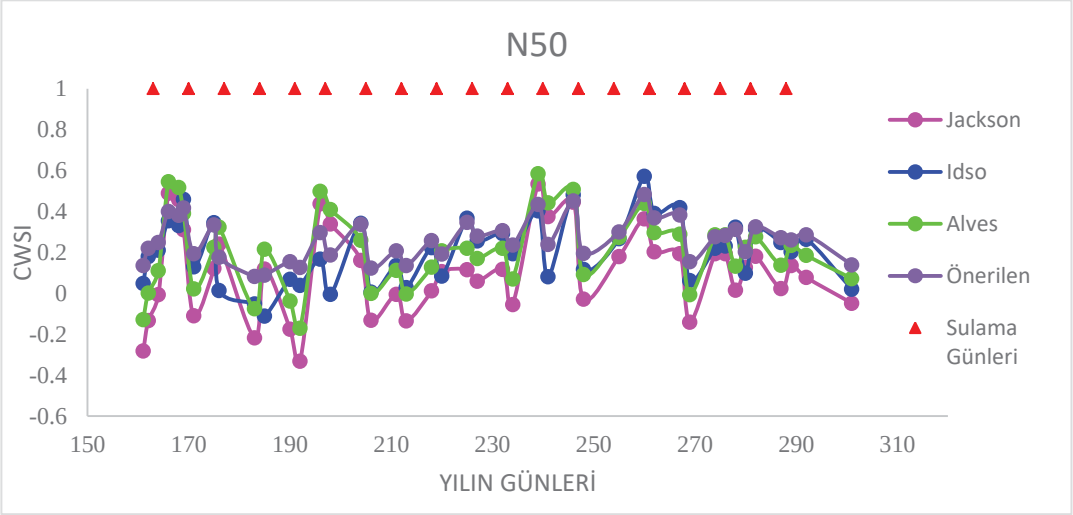
Çizelge 2. Nar ağacı ve soya bitkisi için farklı yöntemlere göre hesaplanan alt sınır ve üst sınır çizgilerinin denklemleri

Bitki	Yöntem	Üst sınır çizgisi	Alt sınır çizgisi
Nar	Jackson	4.4	T_c-T_a=-2.81VPD+0.89
	Idso	2.8	T_c-T_a=-0.65VPD-4.33
	Alves	4.4	T_c-T_a=-3.12VPD+0.32
	Önerilen	5.7	T_c-T_a=-1.27VPD-4.47
Soya	Jackson	8.8	T_c-T_a=-3.25VPD+2.68
	Idso	4.0	T_c-T_a=-1.28VPD-5.17
	Alves	8.8	T_c-T_a=-3.62VPD-2.07
	Önerilen	6.0	T_c-T_a=-2.02VPD–5.67

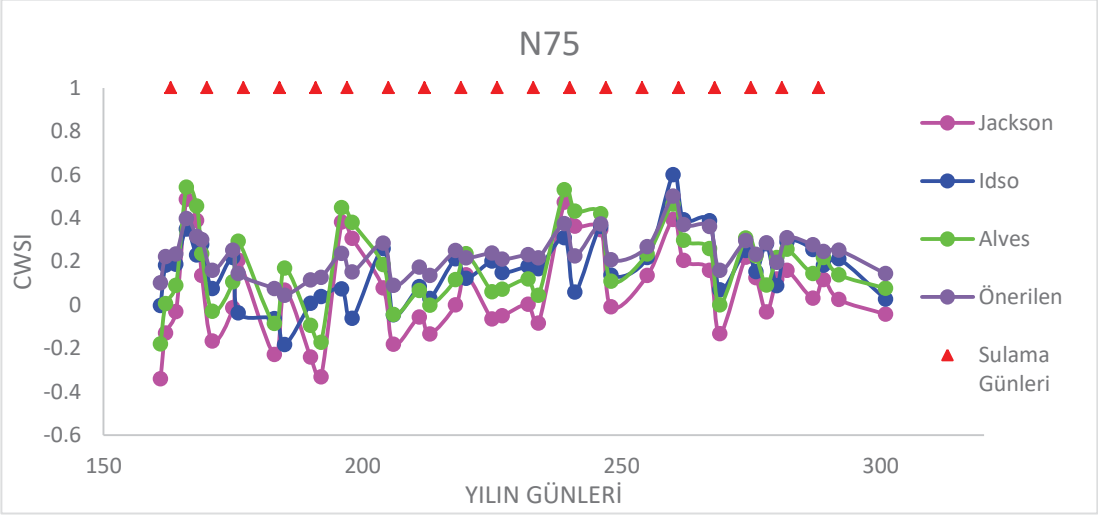
Şekil 1'de verilen temel grafik kullanılarak nar ağaçları için dört farklı yönteme göre belirlenen günlük bitki su stresi indeksi (CWSI) değerlerinin farklı sulama konularında (N_0, N_{50}, N_{75}, N_{100}, N_{125}) büyüme mevsimi boyunca olan değişimi Şekil 2, 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir.



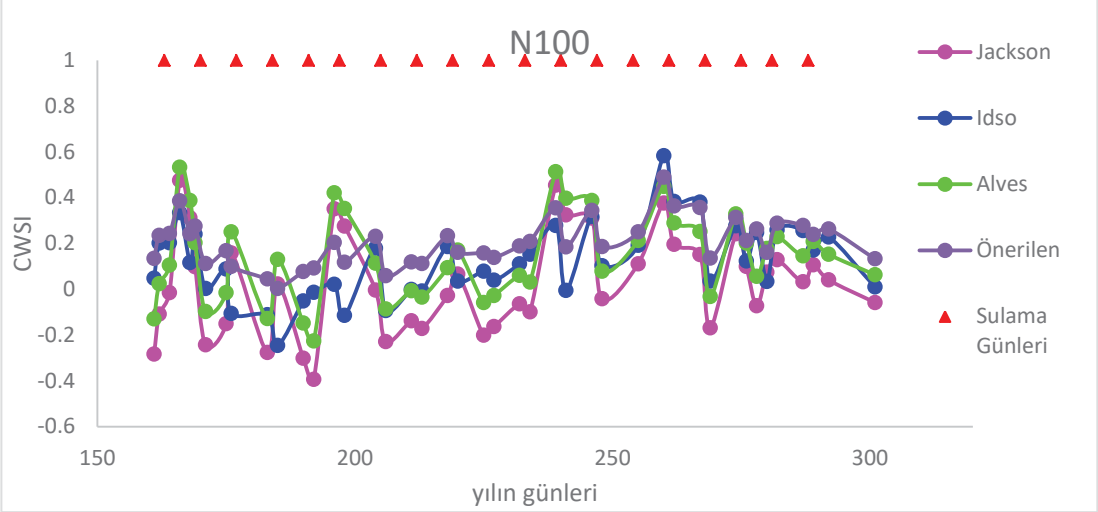
Şekil 3. Nar ağacında büyüme mevsimi boyunca N_0 sulama konusunda CWSI değerlerinin değişimi



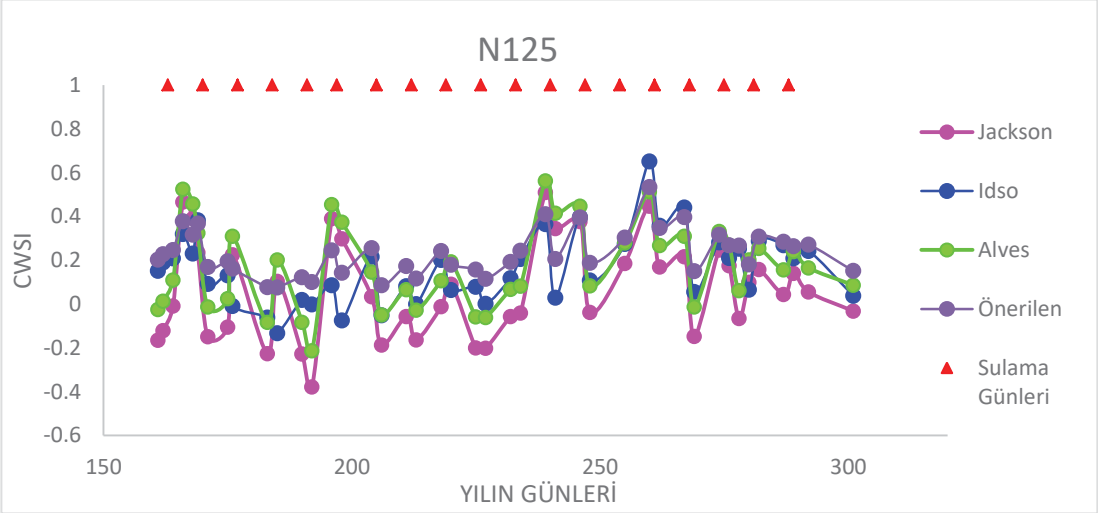
Şekil 4. Nar ağacında büyüme mevsimi boyunca N_{50} sulama konusunda CWSI değerlerinin değişimi



Şekil 5. Nar ağacında büyüme mevsimi boyunca N_{75} sulama konusunda CWSI değerlerinin değişimi



Şekil 6. Nar ağacında büyüme mevsimi boyunca N100 sulama konusunda CWSI değerlerinin değişimi



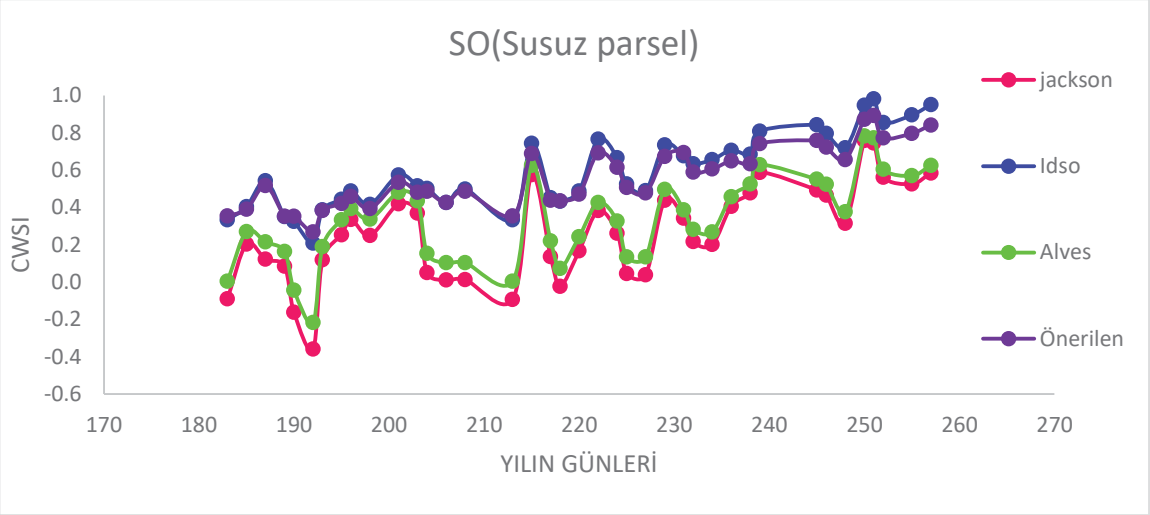
Şekil 7. Nar ağacında büyüme mevsimi boyunca N_{125} sulama konusundaki CWSI değerlerinin değişimi

Şekil 3, 4, 5, 6, 7'den görüleceği üzere, büyüme mevsimi boyunca farklı yöntemlere göre hesaplanan CWSI değerlerinin sulamadan önce artıp, sulamadan sonra azalarak benzer bir trend gösterdikleri söylenebilir ancak, günlük değişim miktarlarında farklılıklar vardır. Ayrıca, su stresi arttıkça tüm konularda CWSI değerlerinin arttığını söylenebilir. Sezon boyunca, Jackson yöntemi en düşük CWSI değerlerine sahipken, diğer konular birbirlerine daha yakın değerlerde değişim göstermişlerdir. Tüm konular için hesaplanan CWSI değerleri incelendiği zaman Idso yöntemi ile hesaplanan CWSI değerlerinin büyüme mevsimi boyunca genellikle 0-1 arasında değişim göstermekle birlikte negatif değerler de aldığı görülmektedir. Jackson ve Alves yöntemleri ile hesaplanan CWSI değerlerinin ise büyüme mevsimi boyunca 0-1 aralığının dışına çıkarak, negatif değerler aldığı görülmektedir. Bununla beraber, sezon boyunca Alves yönteminin Jackson yönteminden daha yüksek CWSI değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Bu durumun, Alves yönteminde r_{cp} değerinin sıfır kabul edilmesinden kaynaklandığı düşünülebilir. Ayrıca, Jackson yönteminde hesaplanan CWSI değerlerinin negatif olması da, bu yöntemin büyüme mevsimi boyunca diğer yöntemlerden daha düşük değerlerde değişim göstermesine neden olmuştur.

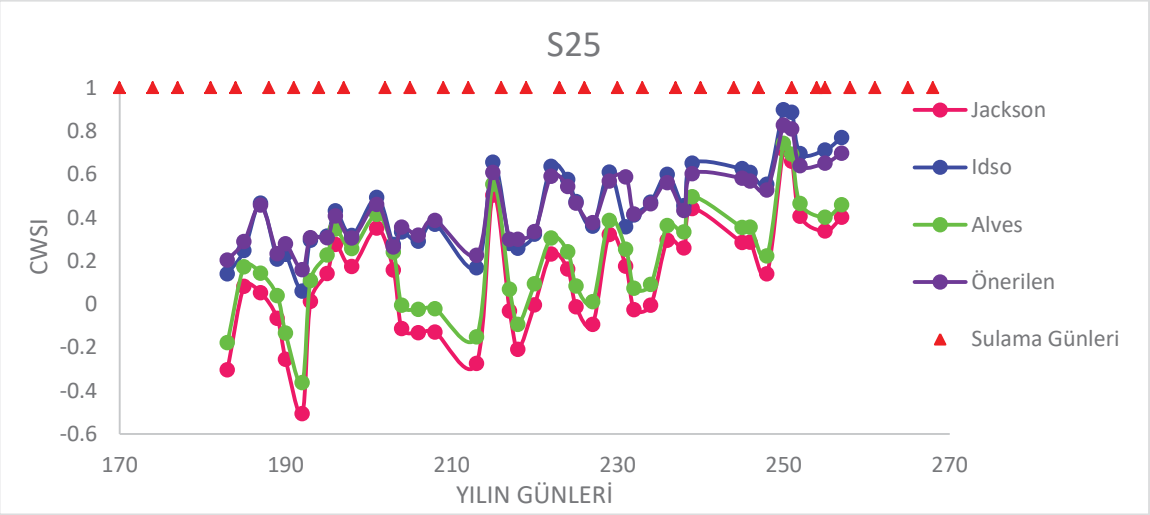
Bu çalışmada geliştirilen yaklaşım incelendiğinde ise, tüm konularda CWSI değerinin 0-1 arasında değiştiği, yani negatif CWSI değerlerinin olmadığı görülmektedir. Negatif CWSI değerlerini azaltmak amacıyla geliştirilen yeni (önerilen) yaklaşımın bu amaca uygun sonuç verdiğini söylemek olasıdır. Yeni geliştirilen yaklaşımın sezon boyunca 0-1 aralığının dışına çıkmaması, CWSI değerlerini hesaplamada bu yaklaşımın kullanılabileceğinin bir kanıtı olarak düşünülebilir ve dolayısıyla, bu yaklaşımın negatif CWSI değerlerini elimine etmek için kullanılabileceği sonucuna varılabilir.

Yuan vd. (2003) kışlık buğdayda CWSI belirleme yöntemlerini kıyasladıkları çalışmalarında Jackson ve Alves yönteminde hesaplanan CWSI değerlerinin çoğunlukla 0-1 arasında değiştiğini, Idso yönteminde ise 0-1 arasındaki değerlerin dışına daha çok çıktığını bildirmişlerdir. Oysa bu çalışmada Idso yöntemi genellikle 0-1 arasında değişim gösterirken, Alves ve Jackson yöntemi bu aralığın dışında değişim göstermiştir.

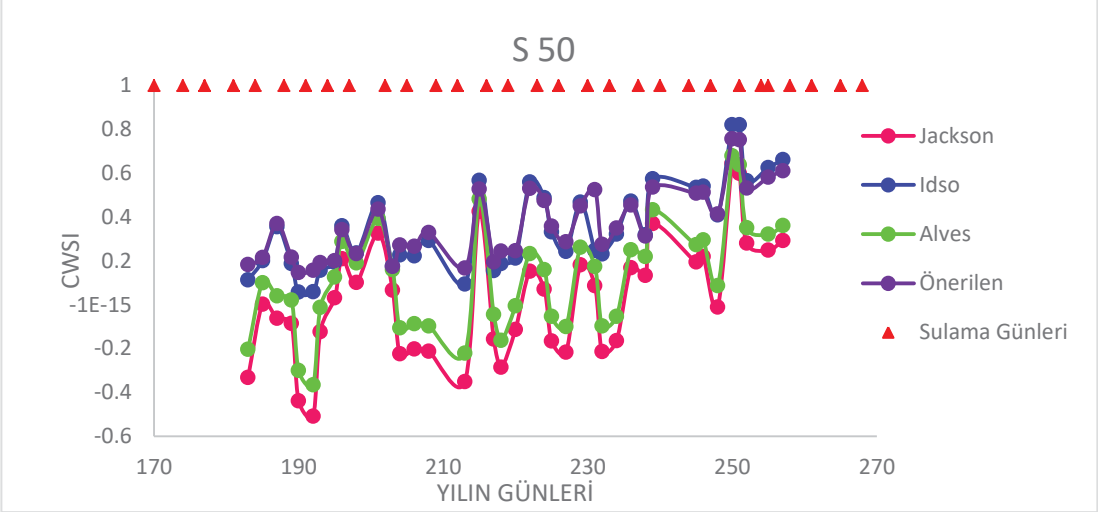
Şekil 2'de verilen temel grafik kullanılarak soya bitkisi için dört farklı yönteme göre belirlenen günlük bitki su stresi indeksi (CWSI) değerlerinin farklı sulama konularında (S_0, S_{25}, S_{50}, S_{75}, S_{100}, S_{125}) büyüme mevsimi boyunca olan değişimi Şekil 8, 9,10,11,12 ve 13'te verilmiştir.



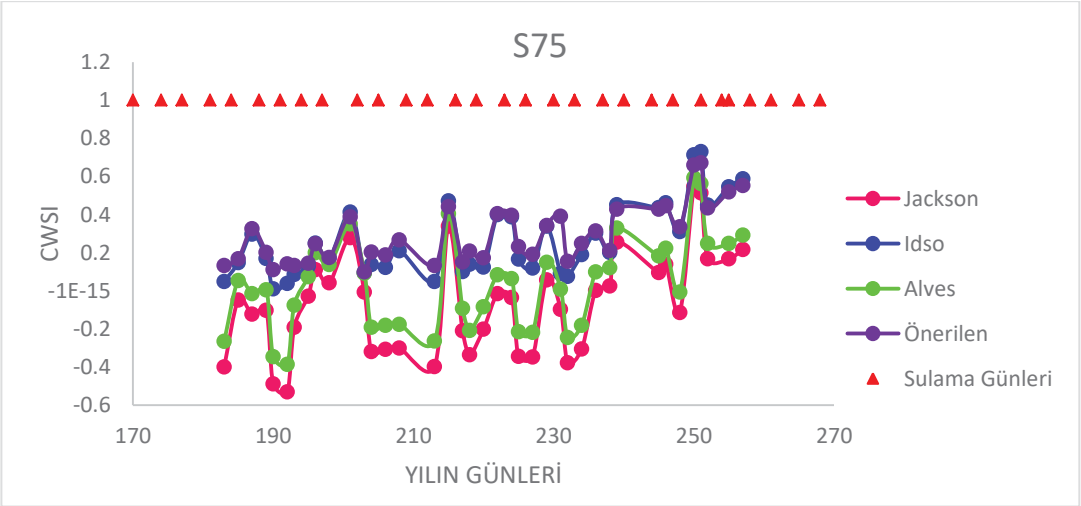
Şekil 8. Soya bitkisinde büyüme mevsimi boyunca S_0 sulama konusundaki CWSI değerlerinin değişimi



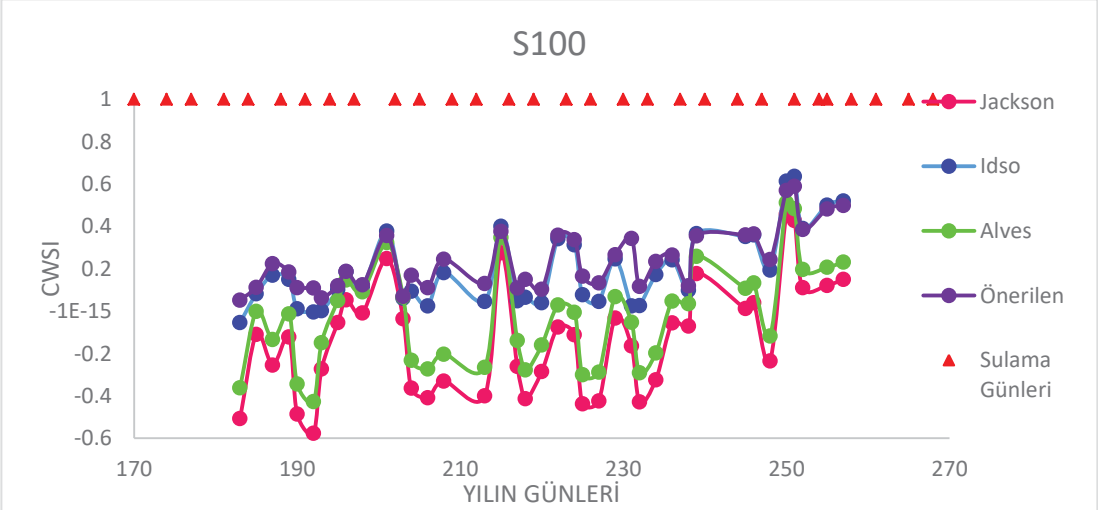
Şekil 9. Soya bitkisinde büyüme mevsimi boyunca S_{25} sulama konusundaki CWSI değerlerinin değişimi



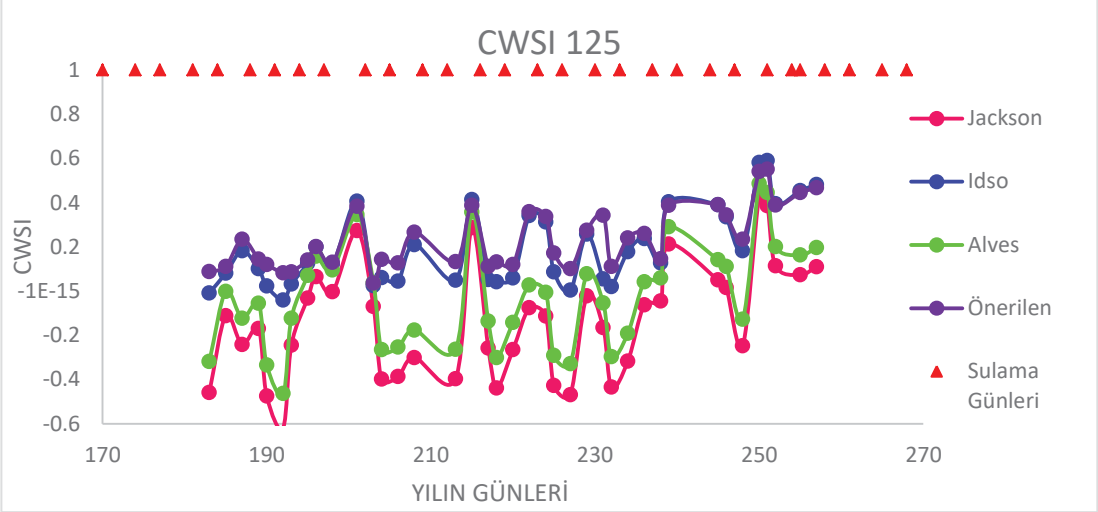
Şekil 10. Soya bitkisinde büyüme mevsimi boyunca S_{50} sulama konusundaki CWSI değerlerinin değişimi



Şekil 11. Soya bitkisinde büyüme mevsimi boyunca S_{75} sulama konusundaki CWSI değerlerinin değişimi



Şekil 12. Soya bitkisinde büyüme mevsimi boyunca S_{100} sulama konusundaki CWSI değerlerinin değişimi



Şekil 13. Soya bitkisinde büyüme mevsimi boyunca S_{125} sulama konusundaki CWSI değerlerinin değişimi

Şekil 8, 9, 10, 11, 12 ve 13 incelendiğinde, tüm sulama konularda, büyüme mevsimi boyunca dört yönteme göre hesaplanan CWSI değerlerinin nar ağaçlarındaki N_0, N_{50}, N_{75}, N_{100}, N_{125} konuları ile benzer bir değişim göstermiş olduğu, burada da su stresi arttıkça CWSI değerlerinin de arttığı söylenebilir. Tüm konularda, Idso ve burada geliştirilen (önerilen) yaklaşımın birbirlerine yakın değerlerde ve genellikle 0-1 değerleri arasında, aynı zamanda Jackson ve Alves yöntemlerinin de birbirlerine oldukça yakın değerlerde daha çok 0-1 aralığının dışında değişen CWSI değerleri verdiğini söylemek olasıdır. Nar ağaçlarındaki sonuçlar ile karşılaştırıldığında, Idso ve burada geliştirilen (önerilen) yaklaşım ile Jackson ve Alves yöntemleri ile belirlenen CWSI değerlerinin büyüme mevsimi boyunca değişimleri arasındaki farklılık daha net ve belirgindir. Yine, Jackson Yönteminin gelişme mevsimi boyunca tüm konularda daha düşük CWSI değerleri verdiği söylenebilir.

Yuan vd. (2003), Çin'de kışlık buğdayda CWSI belirleme yöntemlerini kıyasladıkları çalışmalarında, farklı su kısıntısı uyguladıkları tüm konularda Jackson ve Alves yöntemleri ile deneme süresince birbirlerine oldukça yakın ancak Alves yönteminde Jackson yönteminden 0.2 birim daha yüksek CWSI değerleri belirlendiği ve bunun nedeninin Alves yönteminde CWSI değerini hesaplarken r_{cp} değerinin sıfır alınmasından kaynaklandığı sonucuna ulaşmışlardır.

Nar ağacı ve soya bitkisinde dört farklı yöntemle belirlenen büyüme mevsimi ortalaması olarak CWSI değerlerinin istatistiksel analizleri sırasıyla Çizelge 3 ve 4'de verilmiştir. Çizelge 3'den görüleceği üzere, nar ağacında CWSI değeri belirleme yöntemleri ve sulama düzeyleri arasında %1 önem seviyesinde farklılık belirlenmiştir. Sulama düzeyleri ortalamaları incelendiğinde en yüksek CWSI değeri 0.29 ile N_0 (susuz konu) konusundan elde edilirken onu 0.20 ile N_{50} konusu izlemiş, en düşük CWSI değeri ise aynı grupta yer alan 0.16 ile N_{75}, 0.12 ile N_{100} ve 0.16 ile N_{125} konularından elde edilmiştir. N_0 ve N_{100} konuları için, farklı CWSI belirleme yöntemlerine göre belirlenen CWSI değerleri incelendiğinde, N_0 (susuz konu) konusunda, en yüksek CWSI değerleri %0.1 olasılık seviyesinde Idso, Alves ve önerilen yöntemden elde edilmiş olup, aynı zamanda bu yöntemler arasında istatistiksel olarak farklılık da yoktur. N_{100} (tam sulama) konusu incelendiğinde ise en düşük CWSI değeri %0.1 olasılık seviyesinde Jackson yönteminden elde edilmiştir. Bunun nedeni, Jackson yönteminde negatif CWSI değerlerinin fazla olmasıdır. Jackson yönteminden sonra, Idso ve Alves yöntemi istatistiksel olarak aynı grupta yer almış ve en düşük CWSI değerleri bu yöntemlerden

elde edilmiştir. Burada, Idso ve Alves yöntemlerinden tam sulanan konuda en düşük, hiç sulanmayan konuda ise en yüksek CWSI değerleri elde edildiği için, istatistiksel olarak nar ağacı için bu iki yöntemin daha uygun olduğu söylenebilir

Çizelge 3. Nar ağacında dört farklı yöntemle belirlenen büyüme mevsimi ortalaması olarak CWSI değerlerinin istatistiksel analizi

Model	**N125**	**N100**	**N75**	**N50**	**N0**	***P>F***	***Mean of Ml***
IDSO	£*0.162 Abc*	*0.120 Bc*	*0.160 Abc*	*0.206 Ab*	*0.292 Aa*		†**0.198 B**
ALVES	*0.173 Ab*	*0.140 ABb*	*0.172 Ab*	*0.209 Ab*	*0.314 Aa*		**0.213 B**
JACKSON	*0.065 Bb*	*0.028 Cb*	*0.064 Bb*	*0.105 Bb*	*0.225 Ba*		**0.110 C**
ÖNERILEN	*0.233 Abc*	*0.206 Ac*	*0.232 Abc*	*0.261 Ab*	*0.325 Aa*		**0.259 A**
P > F							
Mean of I	†**0.158 c**	**0.123 c**	**0.157 c**	**0.195 b**	**0.289 a**		

Önemlilik

Model (M) :
Sulama Rejimi (I) :
Model x Sulama Rejimi : öd

£: İtalik yazılmış bölümde küçük harfler yatay (satır boyunca), büyük harfler dikey (sütün boyunca) verilen ortalamaların Duncan testine göre %5 önem seviyesinde karşılaştırmasını göstermektedir.
†: Kalın yazılmış küçük harfler yatay (satır boyunca), büyük harfler dikey (sütün boyunca) verilen ortalamaların Duncan testine göre %5 önem seviyesinde karşılaştırmasını göstermektedir.
%0.1 olasılık seviyesinde önemlidir.
öd: istatistiksel olarak önemsiz.

Çizelge 4. Soya bitkisinde dört farklı yöntemle belirlenen büyüme mevsimi ortalaması olarak CWSI değerlerinin istatistiksel analizi

Model	***S125***	***S100***	***S75***	***S50***	***S25***	***S0***	***P>F***	***Mean of M***
IDSO	£*0.195 Ad*	*0.195 Ad*	*0.261 Ad*	*0.353 Ac*	*0.449 Ab*	*0.595 Aa*		†**0.341 A**
ALVES	*-0.024 Bd*	*-0.023 Bd*	*0.035 Bcd*	*0.119 Bbc*	*0.206 Bb*	*0.332 Ba*		**0.108 B**
JACKSON	*-0.134 Cd*	*-0.133 Cd*	*-0.068 Ccd*	*0.024 Bbc*	*0.121 Bb*	*0.262 Ba*		**0.012 C**
ÖNERİLEN	*0.232 Ad*	*0.239 Ad*	*0.292 Ad*	*0.368 Ac*	*0.447 Ab*	*0.561 Aa*		**0.357 A**
P>F								
Mean of I	†**0.066 e**	**0.069 e**	**0.130 d**	**0.216 c**	**0.305 b**	**0.438 a**		

Önemlilik

Model (M) :
Sulama Rejimi (I) :
Model x Sulama Rejimi :

£: İtalik yazılmış bölümde küçük harfler yatay (satır boyunca), büyük harfler dikey (sütün boyunca) verilen ortalamaların Duncan testine göre %5 önem seviyesinde karşılaştırmasını göstermektedir.
†: Kalın yazılmış küçük harfler yatay (satır boyunca), büyük harfler dikey (sütün boyunca) verilen ortalamaların Duncan testine göre %5 önem seviyesinde karşılaştırmasını göstermektedir.
%0.1 olasılık seviyesinde önemlidir.
öd: istatistiksel olarak önemsiz.

Soya bitkisinde büyüme mevsimi için ortalama CWSI değerleri incelendiğinde, yöntemler arasında ve sulama düzeyleri arasında %1 önem seviyesinde farklılık belirlenmiştir (Çizelge 4). S_0 (susuz) konuda, en yüksek CWSI değeri Idso ve önerilen yöntemden elde edilmiş olup aynı zamanda aralarında istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır. Alves ve Jackson ise Idso ve önerilen yöntemlere göre %1 önem seviyesinde daha düşük CWSI değeri vermiş olup aynı grupta yer almaktadır. S_{100} (tam sulama) konusunda dört farklı yöntemle belirlenen CWSI değerleri incelendiğinde, en yüksek CWSI değerleri Idso ve önerilen yöntemden elde edilmiş olup bu iki yöntem aynı grupta yer almaktadır. En düşük CWSI değerleri ise sırası ile Alves ve Jackson yöntemlerinden elde edilmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Jackson vd (1981) tarafından geliştirilen enerji dengesi

yaklaşımı, Idso vd (1981) tarafından geliştirilen deneysel yaklaşımı, Alves ve Pereira (2000) tarafından geliştirilen ıslak termometre sıcaklığı yaklaşımı ve bu çalışma için geliştirilen (önerilen) yeni bir yaklaşım ile elde edilen CWSI değerleri kıyaslanmıştır. Jackson yöntemi ile elde edilen CWSI değerleri negatif olduğundan Antalya koşullarında nar ağacı ve soya bitkisi için sulama programlaması çalışmalarında bu yöntem önerilmemektedir. Alves yönteminin, Jackson yöntemine göre CWSI değerlerinin hesaplanmasında daha az çevresel parametreye gereksinim duyulmasından, Idso yöntemine göre ise arazi koşullarında daha kolay uygulanabilir bir yöntem olmasından dolayı anılan iki yöntemden daha üstün özelliklere sahip olduğu söylenebilir. Ancak bu çalışmada Alves yönteminde hesaplanan CWSI değerleri sezon boyunca 0-1 aralığının dışına çıkmıştır. CWSI değerlerinin teorik olarak 0-1 aralığında çıkması gerektiğinden bu yöntem de bahsedilen koşul ve bitkiler için kullanılması uygun değildir. Jackson ve Alves yöntemlerinden elde edilen CWSI değerleri 0-1 aralığında çıkmadığı için bu yöntemlere göre Antalya koşullarında sulama programlaması yapılmasının doğru sonuçlar vermeyeceği söylenebilir. Idso yönteminden elde edilen CWSI değerleri ise her iki bitki için de 0-1 aralığında olup, geliştirilen yeni yaklaşımla da oldukça yakın değerlerde değişim göstermiştir. Ayrıca yeni geliştirilen yaklaşımda negatif değerler en aza indirgenerek, istenilen sonuca ulaşılmıştır. Antalya koşullarında, en uygun yöntemin Idso yöntemi olduğu yeni geliştirilen yöntemin de bu yöntemle uyuşumlu sonuçlar vermekle birlikte negatif sonuçları elimine etmesi nedeniyle tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

Alderfasi, A.A., and Neilsen, D.C., 2001. Use of Crop Water Stress Index for Monitoring Water Status and Scheduling Irrigation in Wheat. Agricultural Water Management, 47: 69-75.

Alves, I. and Pereıra, L.S., 2000. Non-Water-stressed Baselines for Irrigation Scheduling with Infrared Thermometers:A New Approach. Irrig. Sci., 19: 101-106.

Baştuğ, R. ve Irmak, S., 1996. Toprak Suyu Potansiyeli ve Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) Değerlerinin Mısır Sulanmasında Kullanılması. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 9: 241-255.

Carcova, J., Maddoni, G.A. and Ghersa, C.M., 1998. Crop Water Stress Index of Three Maize Hybrids Grown in Soils with Different Qulity. Field Crops Res., 55: 165-174.

Cremona, M.V., Stützel, H. and Kage, H., 2004. Irrigation Scheduling of Kholrabi (Brassica oleracea var. Gongylodes) Using Crop Water Stress Index., Hort. Sci., 39(2): 276-279

Gonzalez-dugo, V., Zarco-tejada, P.J. and 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: 94–104.

Idso, S.B., Jackson.R.D.. Pınter.P.J.JR.. Reginato.R.J. and Hatfield.J.L. 1981. Normalızıng the stres-degree-day parameter for envıronmental varıability. Agricultural Meteorology. 24: 45-55.

Irmak, S., Haman, D.Z. and Baştuğ, R., 2000. Determination of Crop Water Stress Index for Irrigation Timing and Yield Estimation of Corn. Agronomy J., 92: 1221-1227.

Jackson, RD., Idso, S.B., Reginato, R.J., & Pinter, P.J., JR., 1981. Canopy Temperature as a Crop Water Stress İndicator. Water Resources Research, 17: 1133-1138.

Karaca, C., Tekelioğlu, B., Büyüktaş, D. and Bastug, R. 2018. Relatıons Between Crop Water Stress Index and Stomatal Conductance of Soybean Dependıng on Cultıvars. Fresenius Environmental Bulletin, 27(6): 4212-4219.

Ming Han, Huihui Zhang, Kendall C. DeJonge, Louise H. Comas, Sean Gleason. 2018. Comparison of three crop water stress index models with sap flow measurements in maize.

Agricultural Water Management. 203: 366-375

Nielsen, D.C., 1990. Scheduling Irrigations for Soybeans with the Crop Water Stress Index (CWSI). 23: 103-116

Olufayo, A., Baldy, C. and Ruelle, P., 1996. Sorgum Yield, Water Use and Canopy Temperatures Under Different Levels of Irrigation. Agricultural Water Management, 30: 77-90.

Orta, A.H., Erdem, Y. and Erdem, T., 2003. Crop Water Stress Index for Watermelon. Scienta Horticulturae, 98: 121-130.

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

Widmoser, P. 2010. An alternative to define canopy surface temperature bounds. Agricultural Water Management, 97: 224–230

Reginato, R.J. 1983. Field guantification of crop water stres. A.S.A.E. 26(3): 772-781

Sepaskhah, A.R. and Kashefıpour, S.M., 1994. Relationships Between Leaf Water Potential, CWSI, Yield and Fruit Quality of Sweet Lime Under Drip Irrigation. Agricultural Water Management, 25:13-22.

Yazar, A., 1990. Utilization of Infrared Thermometry Technique for Assessing Crop Water Stres and Irrigation Scheduling for Soybean. Doğa. Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi, 14:517-533.

Yuan, G., Luo, Yi., Sun, X. and Tang, D., 2004. Evaluation of A Crop Water Stress Index for Detecting Water Stress in Winter Wheat in the North China Plain. Agricultural Water Management, 64:29-40.