

1-1-1999

Determination of Crop Water Stress Index (CWSI) and Irrigation Timing by Utilizing Infrared Thermometer Values on the First Corn Grown Under Çukurova Conditions

Cafer GENÇOĞLAN

Attila YAZAR

Follow this and additional works at: <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture>



Part of the [Agriculture Commons](#), and the [Forest Sciences Commons](#)

Recommended Citation

GENÇOĞLAN, Cafer and YAZAR, Attila (1999) "Determination of Crop Water Stress Index (CWSI) and Irrigation Timing by Utilizing Infrared Thermometer Values on the First Corn Grown Under Çukurova Conditions," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 23: No. 1, Article 11. Available at: <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol23/iss1/11>

This Article is brought to you for free and open access by TÜBİTAK Academic Journals. It has been accepted for inclusion in Turkish Journal of Agriculture and Forestry by an authorized editor of TÜBİTAK Academic Journals. For more information, please contact academic.publications@tubitak.gov.tr.

Çukurova Koşullarında Yetiştirilen I. Ürün Mısır Bitkisinde İnfrared Termometre Değerlerinde Yararlanılarak Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ve Sulama Zamanının Belirlenmesi

Cafer GENÇOĞLAN

KSÜ. Müh. Fak., Kahramanmaraş-TÜRKİYE

Attila YAZAR

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana-TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 01.10.1996

Özet: Bu çalışma, Çukurova koşullarında yetiştirilen I. ürün mısır bitkisinde infrared termometre (IRT) değerlerinden yararlanılarak bitki su stresi indeksini (CWSI) saptamak, bu indeksi kullanarak sulama zamanı ve mısır dane verimi ile CWSI arasındaki iliştiyi belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

Bu araştırmada farklı düzeylerdeki su stresi, her 10 günde bir 120 cm'lik toprak profilinde tüketilen suyun %100 (I_{100}), %80 (I_{80}), %40 (I_{40}), %20 (I_{20}) ve %0 (I_0)'ünün tekrar uygulanması şeklinde oluşturulmuştur. Böylece 6 farklı düzeyde stres içeren sulama konusu meydana getirilmiştir. Araştırmada I_{100} konusuna denemenin birinci ve ikinci yılında sırasıyla toplam 752 ve 823 mm su uygulanmıştır. Anılan konuya ilişkin su tüketimi birinci yıl 999 mm, ikinci yıl ise 1052 mm olarak belirlenmiştir. Söz konusu sulama konusunda dekara verim 1993 yılında 1001.5 kg; 1994 yılında ise 1003.5 kg olmuştur.

Çalışmanın ilk ve ikinci yılında, CWSI hesaplamasında gerekli olan su stresinin olmadığı alt sınır (LL) eşitlikleri sırasıyla $T_c - T_a = 2.9 - 2.66$ VPD ve $T_c - T_a = 2.41 - 2.045$ VPD; bitkinin tamamen su stresinde olduğu üst sınır (UL) değerleri ise sırasıyla 4.25°C ve 3.50°C olarak bulunmuştur. Sulama zamanındaki infrared termometre ölçümlerinden, mısır dane veriminin düşmeye başladığı eşik CWSI değeri 0.21 olarak saptanmıştır. Ayrıca, mısır dane verimi ile CWSI arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Determination of Crop Water Stress Index (CWSI) and Irrigation Timing by Utilizing Infrared Thermometer Values on the First Corn Grown Under Çukurova Conditions

Abstract: This study was carried out to determine crop water stress index (CWSI) using the infrared thermometer data; to estimate irrigation time from this index and to obtain yield-CWSI relationships for maize under Çukurova Region conditions.

In this research, irrigation water levels were 100% (I_{100}), 80% (I_{80}), 60% (I_{60}), 40% (I_{40}), 20% (I_{20}) and 0% (I_0) of water depleted in the 120 cm soil profile in every ten days, so different level of water stress treatments were created. A total of 752 mm and 823 mm of irrigation water were applied to I_{100} irrigation treatment, in which water depletion was determined as 999 mm and 1052 mm in 1993 and 1994, respectively. Grain yield obtained from the above mentioned irrigation treatment was 1001.5 kg/da in the first year and 1003.5 kg/da in the second year of the experiment.

In the first and second experimental year, non-water-stressed (LL) and water-stressed (UL) baselines were developed as $T_c - T_a = 2.9 - 2.66$ VPD and $T_c - T_a = 2.41 - 2.045$ VPD; 4.25°C and 3.50°C , respectively. The yield reduction threshold CWSI values were determined as 0.21 using the infrared thermometer (IRT) readings. Linear relationship was also found between grain yield and CWSI.

Giriş

Her hangi bir bitkinin ne zaman sulanması gerektiğini, ne toprak su içeriği ne de atmosferik istem, bitkinin kendi içsel su durumu kadar doğru olarak belirtemez. Bu nedenle, bitkinin içsel su durumunu belirlemeye yönelik yöntemler sulama programlarının hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır (1, 2). Yapılan araştırmalar, bitki su stresinin kolaylıkla ölçülebilen parametreler kullanılmasıyla niceliksel olarak ifade edilebileceğini göstermiştir. Söz konusu parametreler, bitki taçı ve hava sıcaklığı farkı ile havanın buhar basıncı açığıdır (3, 4).

Bitkiler terledikçe yaprak sıcaklığı azalmakta ve hava sıcaklığının altına düşmektedir. Anılan fiziksel özellikten ve psikrometrik ölçümlerden yararlanarak bitki su stresi indeksi (CWSI) belirlenmektedir (5). Söz konusu yöntem sayesinde ölçümler sırasında bitkiye temas edilmediğinden, bitkilere zarar verilmemekte, hızlı ve doğru ölçümler yapılabilmektedir (6).

Idso ve Ark. (4), farklı bitkilerde ve değişik yerlerde taç-hava sıcaklığı farkı ile buhar basıncı açığını (VPD) belirlemek için günlük ölçümler yapmışlardır. Bulutluluk dışında diğer çevre etmenlerini ihmal ederek bitkilerin potansiyel evapotranspirasyon yaptığı koşullarda taç

sıcaklığı (T_c) hava sıcaklığı (T_a) farkı ile VPD arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ögüle saatlerinde yaptıkları ölçümlerle göstermişlerdir.

O'Toole ve Hatfield (7), bitki su stresinin sezilenmesinde en kritik aşamaların bitkinin transpirasyon yapmadığı varsayılan üst sınır (UL) ile potansiyel düzeyde transpirasyon yaptığı varsayılan alt sınırın (LL) belirlenmesi olduğunu vurgulamışlardır. Idso (8), çeşitli bitkilere ilişkin hem deneysel hemde teorik olarak geliştirilen alt sınır ilişkilerinin bitkiye bağlı olduğunu deneysel olarak göstermiş ve bazı bitkilerin değişik fenolojik devreleri için alt sınırın farklı olduğunu da ortaya koymuştur. Teorik ve ampirik olarak bulunan alt ve üst sınır çizgilerinden yararlanarak saptanın bitki su stresi indeksi (CWSI) sıfır ile bir arasında değişir. Horst ve Ark. (9), su stresinin olmadığı alt sınırın bitkinin türüne, çeşidine ve çevre koşullarına bağlı olduğunu ayrıca rüzgar hızından, net radyasyondan ve bitki tacından etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Tarım alanlarında, sınırlı su kaynaklarının işletilmesinde uygun sulama programlarının öneminin giderek arttığını belirten Clawson ve Blar (10), infrared termometre (IRT) ölçümlerinden belirlenen bitki su stres indeksinin sulama programlarının hazırlanmasında kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Nielsen ve Gardner (11), CWSI ile sulama zamanının belirlenebileceğini, ancak bu yöntemin ne kadar su uygulanacağı konusunda bir fikir vermeyeceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, Çukurova koşullarında yetiştirilen I. ürün mısır bitkisinde gözlenen infrared termometre değerlerinden yararlanılarak bitki su stresi indeksinin (CWSI) belirlenmesi, verimde azalmanın başladığı stres eşik değerinin (mısırın sulama zamanının) saptanması ve dane verimi ile CWSI arasındaki ilişkinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metod

Çalışma, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü deneme alanında 1993 ve 1994 yıllarında yürütülmüştür. Mutlu Serisine giren deneme alanı toprakları oldukça yaşlı alüvyal depozitler üzerinde oluşmuş vertisollerdir. Bütün profil yüksek oranda kil içerir. Toprak profilinin pH'sı, 7.61-7.87; tuz içeriği, 0.12-0.19 dS/m; hacim ağırlığı, 1.14-1.30 gr/cm³; kuru ağırlık esasına göre solma noktasının su içeriği, %24.0-26.4 ve tarla kapasitesinin ise %37.3-40.1 arasında değişmektedir. Anılan alanın denizden ortalama yüksekliği 20 m olup 36°59'N, 35°18'E enlem ve boylamlarında yer almaktadır. Ayrıca, denemede kullanılan sulama suyu

sınıfının C₂S₁ olduğu belirlenmiştir.

Çukurovada I. ürün mısırın yetiştirme döneminde (Nisan-Ağustos) uzun yıllara ilişkin ortalama aylık sıcaklıklar 17.1-28.1°C arasında değişmektedir. Araştırma yıllarında ise anılan dönem için ortalama aylık sıcaklık değerlerinin uzun yıllık değerlere oldukça yakın olduğu görülmektedir. Sözü edilen dönemde uzun yıllık ortalama aylık yağış, 5.1 mm ile en düşük Ağustosta ve 51.4 mm ile en fazla Nisan ayındadır. Uzun yıllık ortalama verilere göre, yetiştirme mevsimi boyunca düşen yağış, bir yıl içinde düşen toplam yağışın %22.5'ini oluşturmaktadır. Denemenin birinci yılında Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında toplam 210 mm yağış olmuş, ikinci yılında ise yetiştirme mevsiminin tüm aylarında toplam 246 yağış düşmüştür. Denemenin birinci yılı daha kurak geçmiştir.

Deneme parselinde gerekli toprak sürüm işlemleri yapılarak tohum yatağı hazırlanmıştır. Dört sıralı pnömatik mibzerle 5 cm derinliğe, sıra arası 70 cm ve sıra üstü yaklaşık 20 cm olacak şekilde 1993 yılında 26 ve 1994 yılında ise 13 Nisanda dekara 7142 adet TTM-815 (Türk Tek Melez-815) mısır tohumu düşecek şekilde ekim yapılmıştır. Anılan çeşidin olgunlaşma süresi ortalama 120-130 gün olup orta geççidir (12) ve daneleri sarı at dişi (*Zea Mays Indentate Sturt*)'dir.

Deneme yıllarında ekimle birlikte parseller 20-20-0 gübresinden (8 kg N ve 8 kg P₂O₅ saf madde) dekara 40 kg uygulanmıştır. Gerekli azotun geri kalan kısmı, üre formunda sulama suyu ile orantılı olarak deneme konularına uygulanmıştır (13). Araştırmanın birinci yılında, ürenin ilk yarısı ekimden 50 gün [yılın gün sayısı (DOY 166)] sonra 1. sulamada, diğer yarısı da ekimden 60 gün (DOY 176) sonra 2. sulamada; ikinci yılda ise ilk yarısı ekimden 49 gün (DOY 152) sonra 1. sulamada, diğer yarısı da 59 gün (DOY 162) sonra 2. sulamada uygulanmıştır. Tanık konuya (I₁₀₀), dekara toplam 19.5 kg saf azot (N) ve 8 kg saf fosfor (P₂O₅) verilmiştir. Diğer sulama konularına ise dekara 8 kg fosfor (P₂O₅) ve uygulanan sulama suyuna bağlı olarak 8-17.2 kg arasında değişen saf azot miktarları uygulanmıştır.

Bu çalışmada farklı sulama suyu düzeyleri, her 10 günde bir 120 cm'lik toprak profilinde tüketilen suyun %100 (I₁₀₀), %80 (I₈₀), %60 (I₆₀), %40 (I₄₀), %20 (I₂₀) ve %0 (I₀)'ünün yeniden uygulanması şeklinde oluşturulmuştur. Böylece 6 farklı düzeyde stres içeren sulama konuları elde edilmiştir. Denemenin birinci yılında ilk sulama, kullanılabilir su düzeyi yaklaşık %50'ye düştüğünde ekimden 50 gün sonra (DOY 166) ve ikinci yılında ise ekimden 49 gün sonra (DOY 152) yapılmıştır.

Çalışmada parsellerin alanı 56 m² (10m x 5.6m) olacak

şekilde düzenlenmiştir. Parseller oluşturulmadan önce lister çekilerek bitki sıraları arasında karıklar açılmıştır. Sonra parseller seddelerle çevrilmiştir. Her parselde 8 mısır bitki sırası bulunmaktadır. Araştırma tesadüf bloklar deneme desenine göre 4 yinelemeli olarak düzenlenmiştir (14).

Deneme parsellerine sulama suyu, sayaçlardan geçirildikten sonra delikli boru ile tıkalı karık yöntemine göre uygulanmıştır. Deneme parselleri seddelerle çevrilerek su giriş-çıkışı engellenmiştir. Mısır bitkisinin su tüketimi su dengesi eşitliğiyle bulunmuştur.

Çevreden, bitkinin fenolojik durumundan ve topraktaki nem eksikliğinden etkilenen bitki tacı sıcaklığı portatif infrared termometre (IRT) ile ölçülmüştür. Denemede taç sıcaklığı ölçümlerinde, 8-14 mm dalga boyundaki ışınları algılayan filtrelere sahip ve emissivite katsayısı 0.98 olan IRT (Everest Interscience Model 210) kullanılmıştır. Aletin görüş açısı (FOV) 3°'dir. Taç sıcaklığı ölçümleri yapılırken, toprak yüzeyini IRT'nin görüş alanı dışında tutmak için aygıt yatayla 30-40°'lik bir açıyla bitki yüzeyine yöneltilmiştir. Taç sıcaklığı gözlemlerine 1993 yılında ekimden 53 gün (DOY 169), 1994 yılında ise 50 gün sonra (DOY 153), her iki yılda da örtü %80-85'e ulaştığında başlanmış, sırasıyla ekimden 89 (DOY 205) ve 113 (DOY 216) gün sonra bitirilmiştir. Taç sıcaklığı (T_c) ölçümleri, havanın tamamen açık olduğu veya bulutların güneşi engellemediği koşullarda saat 12:00-14:00 arasında ve su stresinin günlük değişimini belirlemek için de sabah saat 6:30'dan akşam saat 19:30'a dek birer saat aralıklarla yapılmıştır. Taç sıcaklığı gözlemleri sulamalardan önce ve sonra, yukarıda belirtilen koşulların sağlandığı her gün yapılmıştır. Parsellerin köşegenleri doğrudan doğruya (4 köşeden) ve her birinde 3 yineleme olmak üzere toplam 12 ölçümün ortalaması alınarak o parselin ortalama taç sıcaklığı bulunmuştur. Mısır bitki boyu arttıkça IRT okumaları, 2 m yüksekliğindeki taşınabilir bir merdivenin üzerine çıkılarak yapılmıştır. Bitki taç sıcaklığı ölçümlerinin başında ve sonunda sapan psikrometresi (E1506-125 modeli) ile ıslak ve kuru termometre değerleri okunmuştur.

Bitki su stresi indeksi (CWSI), Idso ve Ark. (4)'nın önerdiği empirik yöntemle belirlenmiştir. Anılan yöntemle göre CWSI şu eşitlikle tanımlanmıştır;

$$CWSI = \frac{[(T_c - T_a) - LL]}{UL - LL} \quad (1)$$

Eşitlikte: T_c, taç sıcaklığı (°C); T_a, hava sıcaklığı (°C); LL, bitkide su stresinin olmadığı alt sınır (bitkilerin potansiyel hızda transpirasyon yaptığı sınır değeri), UL:

bitkilerin tamamen stres altında olduğu üst sınır (bitkinin transpirasyon yapmadığı varsayılan sınır değeri).

Bitkilerin potansiyel transpirasyon yaptığı varsayılan diğer bir deyişle hiç su stresinin olmadığı alt sınır (LL), Idso (8), O'Toole ve Real (15) tarafından aşağıda verilen empirik eşitlikten belirlenmiştir.

$$T_c - T_a = a - b \text{ VPD} \quad (2)$$

Bu eşitlik, su stresi olmayan I₁₀₀ konusunda sulamalardan 1-4 gün sonra ölçülen taç sıcaklığı (T_c, °C) hava sıcaklığı (T_a, °C) farkı ile buhar basıncı açığı (VPD, kPa) değerleri arasında yapılan regresyon analizi sonucu elde edilmiştir. Bu regresyon eşitliğinde, a; doğrunun arakesit değerini (°C) ve b'de eğimini (°C kPa⁻¹) göstermektedir.

Buhar basıncı açığı Howell ve Ark. (16)'nın List (1971)'den bildirdiği temel psikrometre eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$e_w = 0.61078 \exp \left[\frac{17.27 T_w}{237.3 + T_w} \right] \quad (3)$$

$$e_a = e_w - (AP) (T_a - T_w) \quad (4)$$

Burada;

e_w, ıslak termometre sıcaklığında doymuş buhar basıncı (kPa); e_a, hava sıcaklığında gerçek buhar basıncı (kPa); T_w, ıslak termometre sıcaklığı (°C); A, psikrometrik sabite (kPa °C⁻¹); P, barometrik basınçtır, (kPa).

Psikrometrik sabite (A), aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmıştır.

$$A = [0.000660(1 + 0.00115 T_w)] \quad (5)$$

Doymuş buhar basıncı aşağıda verilen eşitlikten belirlenmiştir.

$$e_a(T_a) = 0.61078 \exp \left[\frac{17.27 T_a}{237.3 + T_a} \right] \quad (6)$$

Buhar basıncı açığı (VPD), kuru termometre sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı ile aynı sıcaklıktaki gerçek buhar basıncı farkı alınarak bulunmuştur (17). Bu eşitlik:

$$VPD = [(ea^*(Ta)-ea)] \quad (7)$$

Anılan eşitlikte: $ea^*(Ta)$, kuru termometre sıcaklığında hesaplanan doymuş buhar basıncıdır (kPa).

Bitkilerin tamamen su stresi altında olduğu, transpirasyon yapmadığı varsayılan üst sınırdaki (T_c-T_a) değeri, I_{dso} ve Ark. (4)'ün önördeklere yöntemle bulunmuştur. Anılan araştırmacılar UL'nin VPD'na bağlı olmadığını belirtmişlerdir.

$$T_c+T_a = a-b \text{ VPG} \quad (8)$$

$$VPG = [e^*(T_a)-e^*(T_a+a)] \quad (9)$$

Burada: a ve b; Su stresinin olmadığı alt sınır (LL) eşitliğindeki regresyon katsayıları, VPG; sıfır taç-hava buhar basıncı eğimi için gerekli negatif atmosferik buhar basıncı eğimi, e^* ; ilgili sıcaklıkta doymuş buhar basıncını göstermektedir.

Koçan yapraklarının sararıp koçan püsküllerinin kuruduğu, danelerin sertleştiği, koçan kavuzlarının iyice sarardığı ve danelerdeki su oranının %50'den aşağı düştüğü dönemde koçanlar elle hasat edilmiştir (18).

Hasatta kenar etkisini gidermek için parsel başından ve sonundan 1'er metre atılarak ortadaki üç sıradan, 1993 ve 1994 yıllarında sırasıyla 27.8.1993, ve 22.8.1994 tarihlerinde hasat yapılmıştır. I_0 ve I_{20} konuları

diğer konulara göre 8-10 gün önce hasat edilmiştir. Parsellerde elle hasat edilen alan 16.8 m^2 'dir. Hasat edilen koçanlar, etiketlenmiş bez torbalara doldurularak 10 gün süreyle açık havada kurutulmuştur. Hasat edilen koçanlar makine ile danelenmiştir. Mısır dane verimi %15.5 nem içeriğine göre düzeltilmiştir (19).

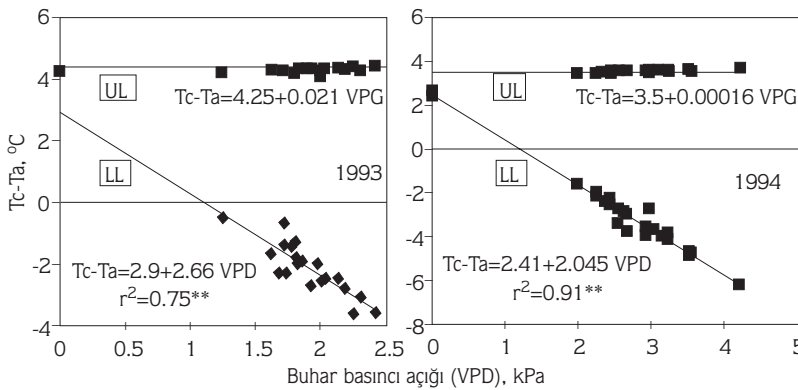
Bulgular ve Tartışma

Denemenin ilk ve ikinci yılında mısırın sulanmasına ekimden sırasıyla 50 ve 49 gün sonra başlanılmış, ekimden sırasıyla 100 ve 109 gün sonra bitirilmiştir. Anılan yıllarda bitki, sırasıyla toplam 6 ve 7 kez sulanmıştır. Araştırmanın ikinci yılında daha erken bir dönemde su stresi oluşturmak için deneme başlangıcında parsellere eşit su uygulanmamıştır. Deneme parsellerinde her sulamada konulara yaklaşık 0 ile 147 mm arasında değişen miktarlarda su uygulanmıştır. En az su alan I_0 ve en fazla su alan I_{100} sulama konularına uygulanan toplam su miktarları denemenin birinci yılında sırasıyla 102 ve 752 mm; ikinci yılında ise sırasıyla 0 ve 823 mm olmuştur. Diğer konulara uygulanan toplam sulama suyu miktarları ise bu değerler arasında değişmiştir (Tablo 1).

Su stresinin en az olduğu I_{100} sulama konusunda, 140 cm'lik toprak profilinden mısır bitkisinin mevsimlik su tüketimi (ETA), araştırma yıllarında sırasıyla 999 ve 1052 mm; su stresinin en fazla olduğu I_0 sulama konusunda ise denemenin ilk ve ikinci yılında sırasıyla 476 mm ve 343

Yıllar	Sulama konuları	I_0	I_{20}	I_{40}	I_{60}	I_{80}	I_{100}
1993	Sulama suyu	102	232	362	492	622	752
1994		0	167	329	494	656	823
1993	Su tüketimi	476	559	672	764	863	999
1994		343	465	621	747	931	1052

Tablo 1. Araştırma yıllarında sulama konularına uygulanan toplam sulama suyu miktarları ve su tüketimleri (mm)



Şekil 1. Deneme yıllarında mısır bitkisinde CWSI'ni belirlemede kullanılacak temel grafiğe ilişkin alt ve üst sınır ilişkileri.

mm olarak belirlenmiştir (Tablo 1).

Araştırma yıllarında mısır bitkisinde CWSI'ı belirlemek amacıyla bitkinin potansiyel transpirasyon yaptığı koşulu tanımlayan alt sınır (LL) eşitlikleri ile bitkinin tamamen su stresinde olduğu üst sınır (UL) değerleri Şekil 1'de verilmiştir.

Bu çalışmada belirlenen LL eşitliklerindeki arakesitlerin, Idso (8)'nin Tempe (Adizona)'da mısırın vejetatif gelişme döneminde, güneşli koşullarda belirlediği alt sınır eşitliğinin ($T_c - T_a = 3.11 - 1.97$ VPD) arakesit değerinden daha küçük olduğu, eğiminin ilk yıl daha büyük, ikinci yıl ise benzer olduğu saptanmıştır.

Nielsen ve Gardner (11), Akron, Colorado'da yürüttükleri mısır denemesinde LL eşitliğini $T_c - T_a = 2.67 - 2.059$ VPD şeklinde ve UL ise 3°C olarak saptamışlardır. Gardner ve Ark. (20), aşırı su stresi olan konularda bitkilerin güneş gören yaprakların sıcaklığının hava sıcaklığından 4.6°C 'den daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Steele ve Ark. (21), Oakes (North Dakota)'da yaptıkları mısır çalışmasında LL eşitliğini $T_c - T_a = 2.14 - 1.97$ VPD ve üst sınırdaki (UL) taş-hava sıcaklık farkını ise 5°C olarak belirlenmişlerdir. Anılan çalışmadaki LL eşitliğinin arakesit değeri, araştırmanın her iki yılında da bu çalışmada belirlenen arakesit değerinden daha küçük, UL değeri bu denemenin 1. yılında 0.76°C ve 2. yılında ise 1.5°C daha fazla olduğu bulunmuştur.

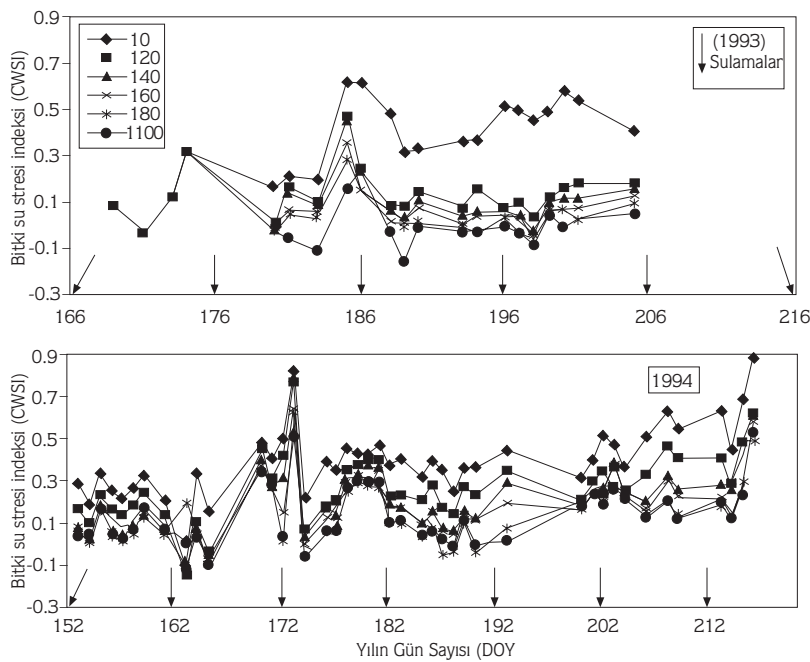
O'Toole ve Hatfield (7), aşırı su stresi altında ölçülen

üst sınırdaki ($T_a - T_c$) farkının $2.5 - 8.5^\circ\text{C}$ arasında değiştiğini bulmuşlardır. Mısır bitkisinin potansiyel transpirasyon yaptığı varsayılan alt sınırını (LL) ise $T_a - T_c = 3.36 - 1.89$ VPD şeklinde belirlemişlerdir. Braunworth ve Mack (22), alt sınır eşitliğini teorik olarak, $T_c - T_a = 1.178 - 3.861$ VPD şeklinde; UL değerini ise 4.6°C olarak saptamışlardır.

Idso (8), çeşitli bitkilere ilişkin hem deneysel hem de teorik olarak geliştirdiği alt sınır çizgilerinin bitkiye bağlı olduğunu göstermiş ve bazı bitkilerin değişik fenolojik devreleri için alt sınırın farklı olduğunu da ortaya koymuştur. Horst ve Ark. (9), su stresinin olmadığı alt sınırın bitkinin türüne, çeşidine ve çevre koşullarına bağlı olduğunu ayrıca rüzgar hızı, net radyasyon ve bitki tacından etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Deneme konularında, 1993 ve 1994 yıllarında ölçülen infrared termometre değerlerinden belirlenen bitki su stresi indeksinin, I_0 sulama konusunda en yüksek ve I_{100} sulama konusunda ise genelde en düşük olduğu görülmüştür. Genellikle su kısıntısının fazla olduğu konularda daha yüksek CWSI değerleri bulunmuştur (Şekil 2). Bu konuda yapılan çalışmalarda, CWSI değerlerinin toprak nemindeki azalmaya bağlı olarak arttığı gözlenmiştir (1, 23).

Bitki su stresi sulamalardan önce genelde o dönem için en yüksek değere çıkmakta ve sulamadan sonra yeniden düşmeye başlayarak belirli bir süre sonra en düşük değere



Şekil 2. Araştırma yıllarında IRT ölçümlerinde saptanan CWSI değerlerinin zamana göre değişimi

ulaşmaktadır. Jackson (5)'nin Hsiao (1973)'dan bildirdiğine göre, CWSI'in sulamadan hemen sonra en düşük değere ulaşmadığını ve en düşük değere ulaşması için bir kaç gün geçmesi gerektiği belirtilmiştir. Anılan sürenin uzunluğu CWSI'nin büyüklüğüne, bitki çeşidine ve gelişme dönemlerine bağlıdır. Ayrıca bitki yapraklarının yeniden turgor kazanması ve su stresi sırasında kuruyan kılcal köklerin yeniden gelişerek normal işlevini yerine getirebilmesi için zamana gereksinimi olduğu belirtilmiştir. Anılan araştırmacı gereksinim duyulan bu süreyi turgora ulaşma süresi olarak tanımlamıştır.

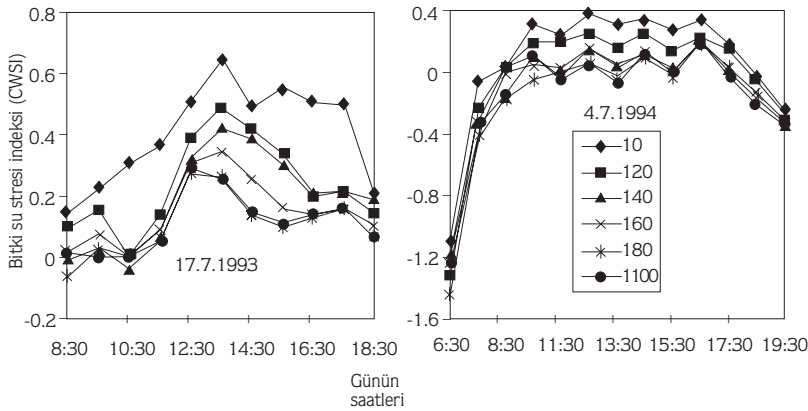
Araştırmanın birinci yılında, 17.7.1993 tarihinde (DOY 198) IRT değerlerini kullanarak günün saatlerine göre belirlenen CWSI'nin (Şekil 3); saat 8:30'da en düşük, 13:30 civarında en yüksek değere ulaştığı, sonra 18:30'da en düşük değere ulaştığı gözlenmiştir. Saat 13:30 civarında CWSI'nin, I_0 konusunda yaklaşık 0.65; I_{80} ve I_{100} konularında ise 0.28 olduğu; diğer konularda ise bu değerler arasında değiştiği saptanmıştır.

Denemenin ikinci yılında 4.7.1994 (DOY 185) tarihinde IRT değerleri kullanılarak saptanan günlük CWSI'yi sabah saat 6:30'da negatif değerli, gün ilerledikçe CWSI pozitif olmuş ve saat 12:30'a kadar değeri

yükselmiştir. I_{80} ile I_{100} ; I_{40} ile I_{60} ; I_{20} ve I_0 sulama konularının CWSI'leri sırasıyla 0.1, 0.2, 0.25 ve 0.4 olarak saptanmıştır. Saat 10:30 ile 16:30 arasındaki CWSI değerlerinde çok az bir değişim olmuştur (Şekil 3).

Idso ve Ark. (4)'nin önerdiği yöntem belirlenen CWSI değerlerinin hesaplanmasında, solar öğle zamanında (13:00-14:00) yapılan taç hava sıcaklığı farkı ile ölçüm zamanındaki buhar basıncı açığı değerleri kullanılmaktadır. Ancak, gün boyunca bitkideki su stresi durumunun incelenmesi söz konusu olduğunda, güneş doğduktan hemen sonra birer saat aralıklarla yapılan ölçümlerde CWSI negatif çıkmıştır. Bunun nedeni, sabahın erken saatlerinde $T_c - T_a$ farkı ve VPD değerlerinin sıfıra yakın olması ile 1 nolu eşitlikte LL değeri pozitif olmasından kaynaklanmaktadır.

Stockle ve Dugas (24), düşük buhar basıncı koşullarında, CWSI değerlerinin günden güne önemli düzeyde değiştiğini saptamışlardır. Atmosferin buharlaşma isteminin öğle saatlerinde arttığını ve buna bağlı olarak da günlük CWSI değerinin yükseldiğini bulmuşlardır. Braunworth ve Mack (22), genelde maksimum CWSI değerlerine saat 10:00 ile 17:00 arasında ulaşıldığını ve kullanılabilir suyun azaldığı



Şekil 3. Deneme yıllarında IRT ölçümlerinde saptanan CWSI değerlerinin gün boyunca değişimi

Sulama konuları	CWSI			
	1993		1994	
	SZ	YMS	SZ	YMS
I_0	0.502	0.391	0.430	0.393
I_{20}	0.345	0.168	0.328	0.267
I_{40}	0.307	0.143	0.268	0.203
I_{60}	0.268	0.122	0.234	0.182
I_{80}	0.227	0.096	0.185	0.152
I_{100}	0.193	0.092	0.189	0.145

Tablo 2. Deneme yıllarında sulama konularında IRT ölçümlerinden saptanan ortalama CWSI değerleri

koşullarda CWSI değerinin daha da yüksek olduğunu gözlemişlerdir. Idso ve Ark. (4) CWSI değerinin, saat 13:00-14:00 arasında maksimum değerine ulaştığını, anılan periyodun CWSI'ni belirlemek için en uygun zaman olduğunu belirtmişlerdir.

Deneme konularında sulama zamanında (SZ) ve yetiştirme süresince (YMS) infrared termometre (IRT) ölçüm değerleri kullanılarak belirlenen ortalama CWSI değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Anılan çizelgeden görüldüğü gibi, 1993 ve 1994 yıllarında I_0 konusunda sulama zamanındaki ortalama CWSI değerlerinin, sırasıyla 0.502 ve 0.430; I_{100} konusunda 0.193 ve 0.189 olduğu; diğer sulama konularında ise I_{20} konusundan I_{80} konusuna gidildikçe azaldığı saptanmıştır.

Denemenin 1. ve 2. yılında mısırın tüm yetiştirme mevsimi boyunca belirlenen ortalama CWSI değerlerinin I_0 sulama konusunda sırasıyla 0.391 ve 0.393; I_{100} sulama konusunda 0.092 ve 0.145 olduğu; diğer konulara ilişkin ortalama CWSI'nin bu değerler arasında değiştiği saptanmıştır. Sulama zamanlarında bitki kök bölgesinde kullanılabilir su düzeyinin azalması CWSI değerlerinin artmasına neden olmuştur (25). Nielsen ve Gardner (11), Central Great Plains'de, mısırı 0.1, 0.2, 0.4 ve 0.6 CWSI eşik değerlerine ulaştığında sulamaya başlamışlar ve bu uygulamalardan sonra gerçekleşen CWSI değerlerini sırasıyla 0.27, 0.33, 0.46 ve 0.68 olarak bulmuşlardır. Anılan araştırmacılar, belirledikleri CWSI değerlerinin eşik CWSI değerlerinden farklı çıkmasını; bitkilerin yalnız sulama zamanındaki CWSI değerlerinden değil mevsim içindeki tüm CWSI değerlerinden etkilenmesiyle açıklamışlardır. Sözkonusu bu değerlerle bu çalışmada saptanan değerler arasında paralellik görülmektedir.

Deneme yıllarında sulama zamanındaki CWSI değerlerinin 0.193 ile 0.189 olduğu I_{100} konusundan dekara 1001.5-1003.5 kg; CWSI değerlerinin 0.502 ile 0.430 arasında değiştiği I_0 konusundan ise 105.0-177.5

kg mısır dane verimi alınmıştır (Tablo 3). CWSI değerleri arttıkça mısır dane verimi azalmıştır. Bunlara göre mısır dane veriminde istatistiksel olarak bir azalmanın olmadığı stres eşik değeri belirlenmelidir. Tablo 3'de görüldüğü gibi denemenin her iki yılında da I_{100} ve %20 su kısıntısı yapılan I_{80} sulama konularında elde edilen mısır dane verimleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Dane verimleri en yüksek olan ve aralarında istatistiksel olarak fark olmayan konular arasında sulama zamanındaki en yüksek ortalama CWSI'ni stres eşik değeri olarak alınabilir. Buna göre deneme yıllarında I_{80} konusunun sulama zamanındaki CWSI değerlerinin ortalaması alınarak eşik değeri 0.21 olarak bulunmuştur. CWSI değeri ortalama 0.21 değerine ulaştığında Çukurova koşullarında yetiştirilen I. ürün mısırın sulanması gerektiği söylenebilir. Anılan değerden daha büyük ortalama CWSI değerlerinde verimde azalmalar görülebilir.

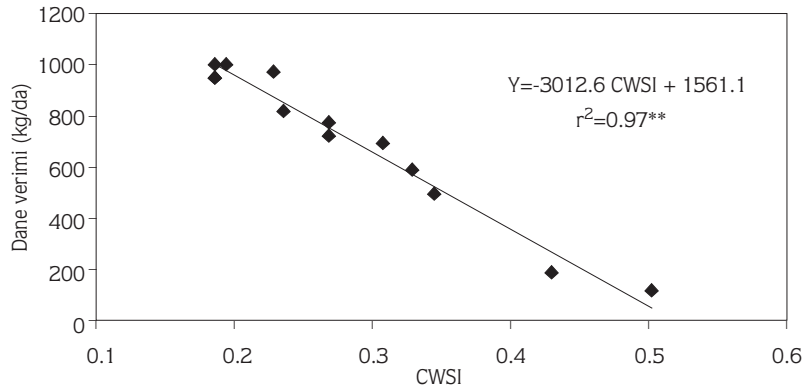
Anılan çizelgeden görüldüğü gibi denemenin ikinci yılında su kısıntısının fazla olduğu I_0 , I_{20} , I_{40} ve I_{60} deneme konularından elde edilen mısır dane verimleri daha yüksek çıkmıştır. İkinci yılda, anılan konularda mısır dane verimlerinin daha yüksek çıkmasına, mısır bitkisinin suya duyarlı olduğu Haziran ve Temmuz aylarında düşen yağışların neden olabileceği söylenebilir.

Nielsen ve Gardner (11), CWSI değerinin 0.2 olduğu sulama konusunun fiziksel ve ekonomik yönden mısır bitkisi için en uygun sulama olduğunu belirtmişlerdir. Köksal (23), Çukurova koşullarında eşik değerini dane verimi için 0.33, kuru madde için de 0.32 olarak bulmuştur. Stelle ve Ark. (21), Kuzey Dakota'da mısırın CWSI değeri 0.2 ve 0.4 olduğunda aşırı verim kaybı olmadan su tasarrufu sağlamışlardır. Ayrıca, Reginato (26), CWSI değerinin 0.2'ye eşit veya 0.2'den küçük olduğu koşullarda bitkilerde su stresinin etkilerinin çok az ya da hiç görülmediğini belirlemiştir.

Sonuç olarak, Çukurova koşullarında yetiştirilen I. ürün mısırın, bitki su stresi indeksi 0.21 değerine

Tablo 3. Araştırma yıllarında deneme parsellerinde elde edilen dane verimleri (kg/da)

Yn.	1993						1994					
	I_0	I_{20}	I_{40}	I_{60}	I_{80}	I_{100}	I_0	I_{20}	I_{40}	I_{60}	I_{80}	I_{100}
1	73	530	660	812	960	873	97	534	716	815	932	935
2	105	512	720	780	901	949	108	626	695	830	864	978
3	138	480	701	718	915	1223	212	575	712	791	1040	999
4	104	450	680	768	1100	961	293	597	741	838	951	1102
Ort.	105.0d	493.0c	690.3b	769.5b	969.0a	1001.5a	177.5e	583.0d	716.0c	818.5b	946.8a	1003.5a



Şekil 4. Mısır dane verimi ile CWSI ilişkisi

ulaştığında sulama zamanının geldiği ve anılan değerde sulama yapıldığında verimde istatistiksel olarak herhangi kaybın olmadığı, ayrıca sulama suyunun yetersiz olduğu koşullarda %20'lik su kısıntısına gidilebileceği saptanmıştır. CWSI, anılan değerden yüksek olduğunda verimde azalmaların başlayacağı belirlenmiştir. Araştırma yıllarında elde edilen mısır dane verimi ile sulama zamanında IRT gözlemlerinden saptanan bitki su stresi indeksi arasında gelişti-rilen doğrusal ilişkilerden yararlanılarak verim tahmini yapılabilir (Şekil 4).

Kaynaklar

1. Reginato, R.J., Howe, J., Irrigation Scheduling Using Crop Indicators. Journal of and Drainage Engineering ASCE, Vol. 111, No. 2, p: 125-133, Paper No: 19798, 1985.
2. Yazar, A., Infrared Termometre ile Bitki Su Stresinin Ölçülmesi. S. Şener Edit. Sulama Teknolojisinde Yeni Gelişmeler. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Genel Müdürlüğü. Yayın No: 76. Tarsus, 1993.
3. Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. Pinter, JR. P.J., Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. Water Resources Research. Vol. 17, No: 4 Pages: 1133-1138, 1981.
4. Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J., Reginato, R.J., Hatfield, J.L., Normalizing the Stress-Degree-Day Parameter for Environmental Variability. Agricultural Meteorology, 24: 45-55, 1981a.
5. Jackson, R.D. Canopy Temperature and Crop Water Stress. Advances in Irrigation. Edited by Daniel Hillel. Academic Press 1: 43-85. New York. London, 1982.
6. Zipoli, G., Remote Sensing for Scheduling Irrigation: Review of Thermal Infrared Approach. Acta Horticulture Volume 1(1-442): 281-288, 1990.
7. O'Toole, J.C., Hatfield, J.L. Effect of Wind on the Crop Water Stress Index Derived by Infrared Thermometry. Agron. J. Vol. 75: 811-817, 1983.
8. Idso, S.B., Non-Water-Stressed Baselines: A Key to Measuring and Interpreting Plant Water Stress. Agric. Meteorol., 27: 59-70, 1982.
9. Horst, G.L., O'Toole, J.C., Faver, K.L., Seasonal and Species Variation in Baseline Functions for Determining Crop Water Stress Indices in Turfgrass. Crop Sci. 29: 1227-1232, 1989.
10. Clawson, K.L., Blad, B.L., Infrared Thermometry for Scheduling Irrigation of Corn. Agron. J. 74: 311-316, 1982.
11. Nielsen, D.C., Gardner, B.R., Scheduling Irrigations for Corn with the Crop Water Stress Index (CWSI). Applied Agricultural Research Vol. 2, No. 5, pp. 295-300, 1987.
12. TIGEM, 1994. Mısır Tohumculuğu. Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü. Ankara.
13. Howell, T.A., Yazar, A., Schneider, A.D., Dusek, D.A., Copeland, K.S., Yield and Water Use Efficiency of Corn in Response to LEPA Irrigation. Transaction of ASAE, Vol. 38(6) 1737-1747, 1995.
14. Yurtsever, N., Deneysel İstatistik Metotları. T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı. Köy Hizmetleri Genel Müd. Yayınları, Genel Yayın No: 121. Teknik Yayın No: 156. Ankara. 623 S, 1984.
15. O'Toole, J.C., Real, J.G., Estimation of Aerodynamic and Crop Resistances from Canopy Temperature. Agron. J. 78: 305-310, 1986.
16. Howell, T.A., Yazar, A., Schneider, A.D., Dusek, D.A., Copeland, K.S., LEPA Irrigation of Corn and Sorghum. Center Pivot Field at USDA-ARS, Conservation and Production Research Laboratory, Bushland, TX, 1992.
17. Idso, S.B., Reginato, R.J., Reicosky, D.C., Hatfield, J.L., Determining Soil-Induced Plant Water Potential Depressions in Alfalfa by Means of Infrared Thermometry. Agron. J., 73: 826-830, 1981b.

18. Kün, E., Sıcak İklim Tahılları. A.Ü. Ziraat Fak. Yayınları, No. 953, Ankara, 1985.
19. Fapohunda, H.O., Aina, P.O., Hossain, M.M., Water Use-Yield Relations for Cowpea and Maize. *Agric. Water Manage.*, 9: 219-224, 1984.
20. Gardner, B.L., Blad, B.L., Waats, D.G., Plant and Air Temperatures in Differentially-Irrigated Corn. *Agric. Meteorol.*, 25: 207-217, 1981b.
21. Steele, D.D., Stegman, E.C., Gregor, B.L., Field Comparison of Irrigation Scheduling Methods for Corn. *Transactions of the ASAE*, Vol. 37(4): 1197-1203, 1994.
22. Braunworth, W.S., Mack, H.J., The Possible Use of Crop Water Stress Index as an Indicator of Evapotranspiration Deficits and Yield Reduction in Sweet Corn. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(4): 542-546, 1989a.
23. Köksal, H., Çukurova Koşullarında II. Ürün Mısır Bitkisi Su-Üretim Fonksiyonları ve Farklı Büyüme Modellerinin Yöreye Uygunluğunun Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen Bil. Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Doktora Tezi. 199 S, 1995.
24. Stockle, C.O., Dugas, W.A., Evaluating Canopy Temperature-