Tr. J. of Agriculture and Forestry
23 (1999) 31-37
© TÜBİTAK

İnfrared Termometre Tekniği Kullanılarak Pamukta Bitki Su Stresinin Değerlendirilmesi ve Sulamaların Programlanması

Berkant ÖDEMİŞ, Ruhi BAŞTUĞ
Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya-TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 21.03.1996

Özet: Bitki tacı sıcaklığının infrared termometrelerle ölçülmesi yolu ile belirlenebilen bitki su stresi indeksi (CWSI), bitki stresinin niceliksel olarak değerlendirilmesinde kullanılabilir. Ancak anılan indeksin çiftçi düzeyinde kullanımı, farklı bitkiler ve bölgesel koşullar için araştırmaların yapılmasını gerektirir. Bu çalışma bitki su stresi indeksinin Antalya'da tarla koşullarında yetiştirilen pamuk bitkisi için sulama programlaması ve kütlü verimi tahmininde kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür.

Farklı sulama konularında toprak su içeriği ölçümleri haftalık ve her sulamadan önce olmak üzere mevsim boyunca yapılmıştır. Deneme süresince bitki tacı, ıslak ve kuru termometre sıcaklıkları ile diğer iklimsel ölçümler haftada üç gün 11.00 - 14.00 saatleri arasında günde 5 kez alınmıştır. CWSI değerlerinin saptanmasında deneysel yaklaşım kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda, bitki su stresi indeksi değerlerinden sulama zamanının belirlenmesinde yararlanılabileceği ve bu amaçla CWSI=0.45 değerinin ölçüt olarak alınabileceği saptanmıştır. Ayrıca, mevsimlik ortalama CWSI ile kütlü verimi arasında doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Anılan ilişki ile CWSI değerlerinden yararlanılarak pamuk veriminin tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

Assessing Crop Water Stress and Irrigation Scheduling in Cotton Through Use of Infrared Thermometry Technique

Abstract: Crop Water Strees Index (CWSI), based on canopy temperature which can be measured through use of an infrared thermometer, can be used to quantify crop water stress. However, the use of this index on farm level, require field tests for different crops. This study was carried out to evaluate the usage of CWSI for irrigation scheduling and predicting lint cotton yield under Antalya conditions.

Soil water contents for different irrigation treatments were measured weekly and before each irrigation during the growing season. During the experiment, crop canopy temperature, dry and wet bulb temperatures and other climatic measurements were taken three days per week and five times per day between 1100 and 1400 hours. The CWSI values were determined by using the emprical approach.

The results of this study indicated that the CWSI values could be useful to determine irrigation time, and for this purpose a CWSI=0.45 could be used as a criterion. A linear correlation existed between mean seasonal CWSI and cotton lint yield can be used for yield predictions.

Giriş

Sulama programlamasında kullanılan yöntemleri genel olarak toprağı, meteorolojik verileri ve bitkiyi baz alan yaklaşımlar olmak üzere üç grupta toplamak olasıdır. Bitkiler, toprak ve atmosferik çevrelerinin etkilerini bünyelerinde birleştirmektedirler. Bu nedenle sulama programlamasında bitkiyi baz alan ölçümlerin kullanılması son yıllarda giderek artan bir önem kazanmıştır (1).

Bitki stresi, bitkinin olağan işlevlerini bozan etmenleri tanımlamak için kullanılan anlaşılması zor bir terimdir. Bitki stresinin yaygın nedeni, bitkilerin atmosferik buharlaşma isteminden daha az bir hızda terleme yapmasına neden olacak biçimde, toprak suyunun yetersiz bulunmasıdır. Genel olarak, gelişme mevsimi süresince daha az strese uğrayan bitki daha çok ürün verecektir. Ancak bazı bitkiler meyve oluşturma döneminin başlaması için bir su stresi periyoduna gereksinim duyabilirler (2).

Tarla koşullarında bitki su stresini niceliksel olarak ifade etmek için, tek bir bitki veya bir bitki parçasının gözlenmesi yoluyla noktasal ölçümlere dayanan çeşitli teknikler kullanılmıştır. Örneğin, bunlardan basınç odacığı tekniği (3, 4) bitkinin veya yaprağın kendi büyüme çevresinden ayrılmasını gerektirirken porometre tekniği (5-7) bitkide bir tahribat yapmaksızın difüzyon direncini belirler. Küçük araştırma parsellerinde faydalı bilgiler verdikleri halde, tarla koşullarında zaman alıcı ölçümler

gerektirdiklerinden her iki yöntemin de geniş ölçekli kullanımı sınırlıdır.

Son onbeş yılda bitki su stresinin izlenmesi için bitki sıcaklığı ölçüm tekniği üzerine olan ilgi artmış ve bu konuda bir çok çalışma yapılmıştır (8-14). Anılan teknik yaprak yüzeylerinden transpirasyon yoluyla buharlaşan suyun yaprakları serinlettiği ilkesine dayanır. Bu süreçte kullanılan su sınırlanırsa, transpirasyon azalır ve yaprak sıcaklıkları artar. Transpire olan su çok azsa, absorbe edilen radyasyon nedeniyle yapraklar, çevresindeki atmosferden daha sıcak olacaklardır (15).

İlk kez Ehrler (16), buhar basıncı etkileri dikkate alındığında yaprak sıcaklıklarının, bitki su stresinin iyi bir göstergesi olabileceğini ve sulama programlaması amacıyla kullanılabileceğini ileri sürmüştür. Ancak teksel yapraklara ilişkin ölçümler, daha önce sözü edilen noktasal ölçümlerle aynı sakıncalara sahiptirler.

İnfrared termometrelerdeki son gelişmelerin, çok sayıda bitkinin hızlı biçimde incelenmesini ve geniş bir alandaki bitki sıcaklıklarının birleştirilmesini sağlamasıyla sözkonusu olumsuzluklar en az düzeye indirilmiştir (15).

Tarla koşullarında bitki su stresi, Idso ve ark. (17) ve Jackson ve ark. (8) tarafından tanımlanan bitki su stresi indeksi (CWSI) kullanılarak nicelikselleştirilebilir. Idso ve ark. (17)'nın yaklaşımı, potansiyel hızda transpirasyon yapan bir bitki için, atmosferin buhar basıncı açığı (VPD, kPa)'nın fonksiyonu olarak bitki tacı-hava sıcaklığı farkı (Tc-Ta, °C)'nın ölçülmesine dayanır. İyi sulanan ve potansiyel hızda transpirasyon yapan (minimum su stresi durumundaki) bitkiler için bu doğrusal ilişki, alt baz çizgisi olarak adlandırılır. Bir çok bitki için anılan ilişki güneşli ve tamamen gölgeli koşullarda geliştirilmiştir (11, 13). İlişkinin, bitki çeşidine bağlı olmakla birlikte geniş bir coğrafik alanda kabul edilebilir olduğu saptanmıştır (9). Buhar basıncı açığından bağımsız, fakat hava sıcaklığına bağımlı olan bitki tacı-hava sıcaklığı farkının üst baz çizgisi ise transpirasyon yapmayan (maksimum su stresi durumundaki) bitkilerden belirlenir. Böylece elde edilen temel grafik yardımıyla, genellikle bitkilerin en çok streste olduğu güneş öğlesinden 1-2 saat sonra yapılan bitki tacı, kuru ve ıslak termometre sıcaklığı ölçümleri kullanılarak CWSI hesaplanabilir. CWSI değeri, stres düzeyine bağlı olarak CWSI=0 (minimum stres) ve CWSI=1 (maksimum stres) arasında değişir (2).

Jackson ve ark. (8), Tc-Ta, VPD ve net radyasyon (Rn) arasındaki ilişkiyi göstermek için enerji dengesi kavramını kullanmışlardır. CWSI'nin teorik esaslarını veren araştırmacılar, CWSI'nin (1-anlık gerçek evapotranspirasyon/anlık potansiyel evapotranspirasyon) değerine eşit olduğunu göstermişlerdir. Anılan ilişkinin türetilmesi, diğer bir deyişle CWSI'nin teorik yaklaşımla belirlenmesinin ayrıntısı Jackson (15)'da verilmiştir.

Çok sayıda araştırmacı tarafından, değişik bitkilerde CWSI'nin sulama programlaması için yararlı bir indeks olduğu gösterilmiştir (10, 2, 18-25). Yine, farklı iklim koşullarında mevsimlik ortalama CWSI değerlerinin pamuk bitkisinde verimin tahmininde kullanılabileceği belirlenmiştir (2, 18, 26).

Bu çalışmada, Antalya koşulları için pamuk bitkisinde bitki su stresi indeksinin büyüme mevsimi boyunca değişiminin belirlenmesi ve anılan indeksin sulama programlaması ve kütlü pamuk veriminin tahmini amacıyla kullanılabilirliğinin irdelenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma, Antalya'da bulunan Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü arazisinde killi tın bünyeli toprakta 1994 yılının Mayıs-Ekim ayları arasında yürütülmüştür. Bölgede, kışları ılık ve yağışlı, yazları sıcak ve kurak geçen tipik Akdeniz iklimi egemendir.

Pamuk (Gossypium hirsutum L., c.v. Caroline Qeen 201'den elde edilmiş Çukurova-1518), 80 cm sıra aralığı ve 10-15 cm sıra üzeri mesafe ile 24 Mayısta ekilmiştir. Deneme parsellerinin hepsine ekimde aynı gübre uygulaması (dekara 40 kg 15-15-15 NPK) yapılmıştır.

Deneme tesadüf blokları desenine göre üç yinelemeli olarak düzenlenmiştir. Çalışmada, bloklar arası 3 m aralıklı, 50 cm genişliğinde seddelerle çevrilmiş 5.6x9 m boyutlu parseller kullanılmıştır.

Sulama konuları, 90 cm profil derinliğindeki kullanılabilir suyun %30'u (S1 konusu), %50'si (S2 konusu), %70'i (S3 konusu) tüketildiğinde sulanan ve sulanmayan (S4 konusu) konulardan oluşmuştur. Topraktaki nem düzeyleri 90 cm'lik profil derinliğine kadar 30 cm'lik katmanlar için gravimetrik yöntemle haftalık ve her sulamadan önce olmak üzere izlenmiştir. Deneme parselleri göllendirmeli karık yöntemiyle sulanmıştır. Bir sayaçtan geçirilen su delikli boru sistemiyle her karığa eşit dağılacak biçimde uygulanmıştır.

Çalışmada bitki su stresinin izlenmesi amacıyla bitki taç sıcaklıkları, elde taşınabilir bir infrared termometre (Everest Interscience Inc., Model 510B Infrared Ag Multimeter) ile ölçülmüştür. Rüzgar hızının ölçülmesi için elde taşınabilir bir anemometre kullanılmış, ıslak ve kuru termometre sıcaklıkları ve diğer iklimsel veriler deneme alanındaki otomatik meteoroloji istasyonundan anlık değerler olarak alınmıştır. Elde edilen değerlerden doygun buhar basıncı (ea) ile gerçek buhar basıncı (ed) her ölçüm

zamanı için hesaplanmış ve buhar basıncı açığı (VPD) bulunmuştur.

Infrared termometre ölçümlerine, konulara göre bitki örtü yüzdesi % 90-100'e ulaştığında 8 Ağustosta başlanmış ve 30 Eylül'e kadar haftada üç gün 11.00-14.00 saatleri arasında günde 5 kez her parselin batısından ve güneyinden olmak üzere ölçüm yapılmıştır. Alet, 15°'lik görüş alanı açısı (FOV) ile çalıştırılmış ve ölçümler sırasında yatayla 30-40° açı yapacak biçimde tutularak görüş alanına yalnızca bitki tacının girmesine özen gösterilmiştir.

Bitki su stresi indeksi (CWSI)'nin belirlenmesinde deneysel yaklaşım olarak bilinen Idso (17) yönteminden yararlanılmıştır. Bunun için iyi sulanan konuda, sulamadan üç gün sonra 9.30-16.30 saatleri arasında yarım saatte bir alınan ölçümlerden belirlenen Tc-Ta ve VPD değerlerinin doğrusal regresyonuyla alt baz çizgisi ve hiç sulanmayan konuda, mevsim içindeki üç farklı günde 11.00-14.00 saatleri arasında alınan ölçümlerden belirlenen üst baz çizgisi elde edilerek temel grafik oluşturulmuştur. CWSI değerleri anılan grafikten yararlanılarak belirlenmiştir. CWSI'ni belirlemede kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$CWSI = \frac{[(Tc\text{-}Ta) - (Tc\text{-}Ta)\ l]}{[(Tc\text{-}Ta)\ u - (Tc\text{-}Ta)\ l]}$$

Eşitlikte, (Tc-Ta) l alt baz çizgisini (Tc-Ta) u ise üst baz çizgisini göstermektedir.

Bulgular ve Tartışma

Sulama konularına başlamadan önce tüm konulara eş düzeyde uygulanan ön sulama dışında pamuğun yetişme mevsimi boyunca S1 konusuna 3 kez, S2 konusuna 2 kez, S3 konusuna 1 kez olmak üzere toplam olarak sırasıyla 218.0, 213.4 ve167.2 mm sulama suyu uygulanmıştır. S4 konusuna ise sulama suyu uygulanmamıştır.

Deneme konularından elde edilen kütlü verimi ortalamaları ve Duncan testi sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre, sulama konularından elde edilen kütlü verimleri %1 düzeyine göre farklılık göstermiştir. En yüksek verim S2 konusundan elde edilmiş, S1 konusu ara sınıf oluşturmuş, en az verim sulanmayan S4 konusundan elde edilmiştir.

Tablo 1. Deneme Konularından Elde Edilen Kütlü Verimi Ortalamaları ve Duncan Testi Sonuçları.

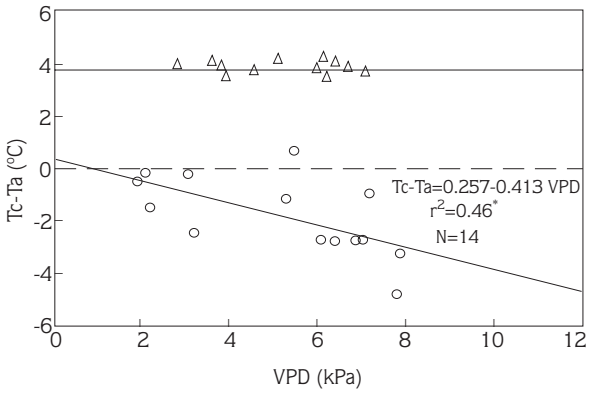
Konu	Kütlü Verimi Ort. (kg/da)*	
S1	393.3	ab
S2	413.8	a
S3	318.3	b
S4	200.7	c

(*) Ayrı harf grubuna ilişkin değerler %1 düzeyinde birbirinden farklıdır.

Çalışmada, maksimum ve minimum su stresi koşullarından pamuk bitkisi için elde edilen taç-hava sıcaklığı farkı (Tc-Ta) ve buhar basıncı açığı (VPD) ilişkisini gösteren temel grafik Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'deki alt ve üst baz çizgileri ve temel grafikten CWSI değerlerinin belirlendiği ölçümler, bitki örtü yüzdesinin hemen hemen tüm konularda %90'ı aştığı 220. takvim gününde başlatılmıştır. Sulanmayan S4 konusunda üst baz çizgisi için yapılan ölçümler sırasında rüzgar hızı 0.0-3.0 m/sn, hava sıcaklığı ise 29.7-36.9 °C arasında değişmiştir.

Şekil 1'den görüleceği gibi , pamuk bitkisi için Antalya koşullarında üst baz çizgisinin değeri yaklaşık 3.9°C'lik bir Tc-Ta farkı olarak belirlenmiştir. Pinter ve ark. (27), pamuk bitkisinde anılan değeri Arizona koşulları için 2.9°C, Reginato (2), ise 3.1°C olarak saptamışlardır. Howell ve ark. (18), üst baz çizgisinin, alt baz çizgisi arakesitine ve hava sıcaklığına bağlı olarak genellikle 3-4°C arasında olduğunu bildirmiştir.



Şekil 1. Pamuk bitkisi için Antalya'da maksimum ve minimum stres koşullarında taç-hava sıcaklığı farkı (Tc-Ta) ve buhar basıncı açığı (VPD) ilişkisi.

Alt baz çizgisinin denklemi Tc-Ta=0.257-0.413 VPD olarak belirlenmiştir. Bir çok çalışmada (2, 8, 11) alt sınır çizgisinin denklemi benzer biçimde ifade edilmiştir. Alt sınır çizgisi bitki türüne bağlı olduğu gibi, aynı bitkinin

farklı çeşitleri ve farklı gelişme dönemlerine bağlı olarak da değişebilmektedir (11).

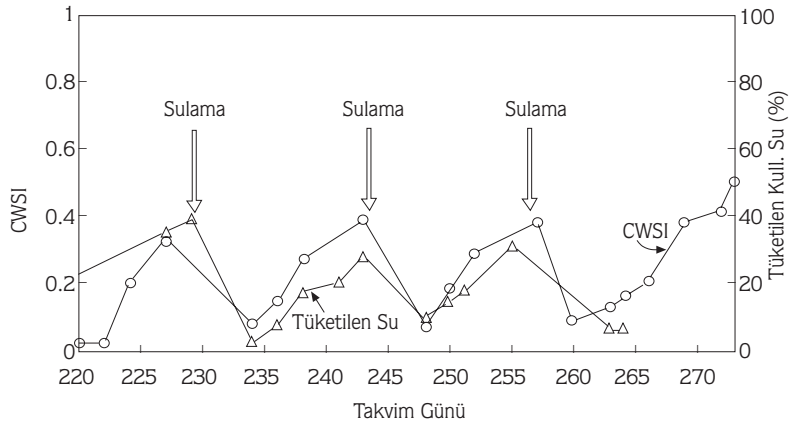
Deneme süresince alınan ölçümler ve Şekil 1'deki temel grafikten yararlanılarak farklı sulama konularında belirlenen bitki su stresi indeksi (CWSI) ve 90 cm profil derinliğinden tüketilen kullanılabilir su içeriği (%) değerlerinin mevsimlik değişimi Şekil 2-5'de verilmiştir.

Şekil 2'den görüldüğü gibi en az strese uğrayan S1 konusunda sulamalar 230., 245. ve 257. takvim günlerinde yapılmıştır. Anılan konuda CWSI ile topraktan tüketilen kullanılabilir su içeriğinin değişimi bir paralellik göstermektedir. CWSI değerleri topraktan tüketilen su arttıkça yükselme göstermiş, sulamalardan sonra düşmüştür. Öte yandan CWSI'nin sulamalardan hemen önceki değerleri 0.33-0.39 (ort. 0.36) olmuştur. Sulamalardan sonra ise CWSI en düşük değerlerine (0.07-0.08) düşmüş, bir sonraki sulamaya dek giderek artmıştır.

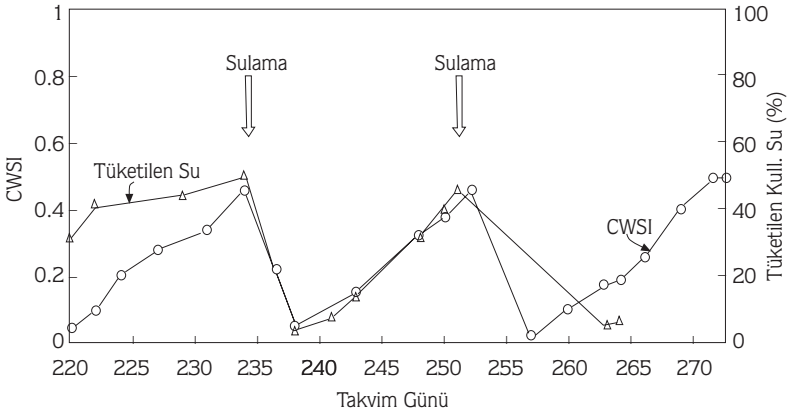
Şekil 3'den görüldüğü gibi, 235. ve 252. takvim günlerinde olmak üzere iki kez sulanan S2 konusunda CWSI ile topraktan tüketilen kullanılabilir su içeriği benzer bir değişim göstermiş, ancak CWSI'nin sulamalardan hemen önceki değerleri 0.45 ve 0.46 olarak belirlenmiştir. Bu durum S2 konusunun biraz daha fazla su stresine uğradığını göstermektedir. Anılan konuda, sulamalardan sonraki en düşük CWSI değerleri 0.05-0.01 olarak saptanmıştır.

Yetişme mevsimi boyunca bir kez, 238. takvim gününde sulanan S3 konusundaki CWSI ve topraktan tüketilen kullanılabilir su değerlerini gösteren Şekil 4 incelendiğinde, anılan değerlerin değişim tavrının S1 ve S2 konusuna benzer olduğu ancak CWSI değerinin sulamadan önce 0.60'a kadar yükseldiği, sulamadan sonra ise 0.08'e düştüğü görülür.

Şekil 2, 3 ve 4'ün birlikte değerlendirilmesinden, sulamalardan sonra CWSI değerlerinin minimum düzeye düşmesinin (transpirasyonun maksimum düzeye çıkmasının) bir zaman periyoduna (bitkinin stresten çıkma süresi) gerek duyduğu anlaşılmaktadır. Sulamalardan sonraki bir kaç gün parsel içinde dolaşma güçlüğü nedeniyle minimum CWSI değerine ulaşana dek yeterli sayıda CWSI ölçümü alınamadığından, minimum CWSI



Şekil 2. S1 konusunda mevsim boyunca CWSI ve topraktan tüketilen kullanılabilir su (%) değerleri-nin değişimi.



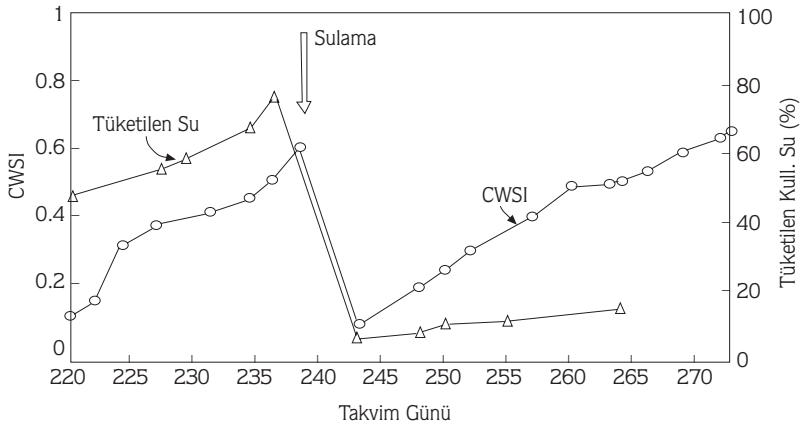
Şekil 3. S2 konusunda mevsim boyunca CWSI ve topraktan tüketilen kullanılabilir su (%) değerleri-nin değişimi.

değerinin kesin değeri ve söz konusu periyodun süresi belirlenememiştir. Ancak, bitkinin stresten çıkma süresinin 4-5 gün olduğu söylenebilir. Elde edilen bulgular, en fazla strese uğrayan parselde anılan sürenin 5-6 gün, en az strese uğrayan parselde ise bir kaç gün olduğu sonucuna ulaşan Jackson ve ark. (8)'nın bulguları ile uyuşumludur. Diğer bir çalışmada, Howell ve ark. (18), pamuk bitkisinde CWSI'nın sulamadan 5 gün sonra minimum düzeyine indiğini saptamışlardır.

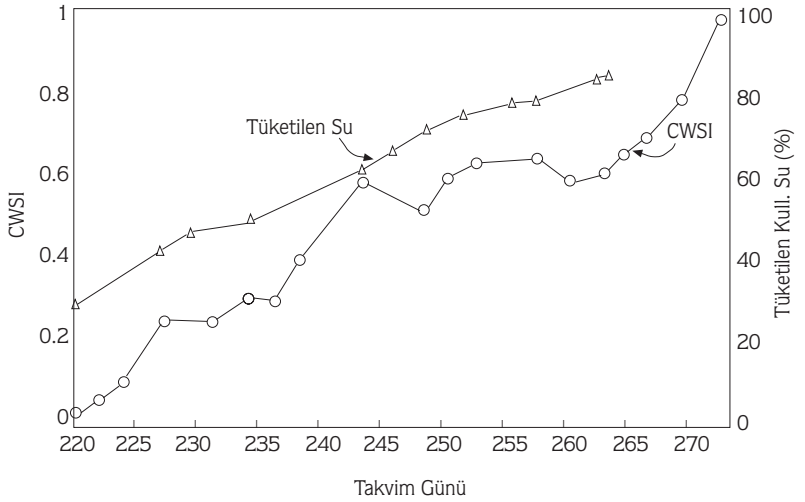
Şekil 5'den görüleceği gibi, mevsim boyunca sulanmayan S4 konusunda CWSI değerleri topraktan tüketilen kullanılabilir suya paralel biçimde artmıştır. Anılan konuda 220. takvim gününde 0.00 değerinden başlayan CWSI, 273. takvim gününde 1.00'e kadar yükselmiştir. Buradan, toprakta su miktarı azaldıkça bitki su stresinin arttığı ve dolayısıyla CWSI'nın yükseldiği söylenebilir.

Howell ve ark. (18), pamuk bitkisinde CWSI'nin sulamalardan hemen önceki değerlerinin, 0.30-0.50 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Jackson ve ark. (8), buğday bitkisinde benzer bulgulara ulaşmış, en çok sulanan konuda CWSI değerlerinin yaklaşık 0.03 ile 0.60 arasında, en çok strese uğrayan konuda ise 0.07 ile 1.00 arasında değiştiğini saptamışlardır.

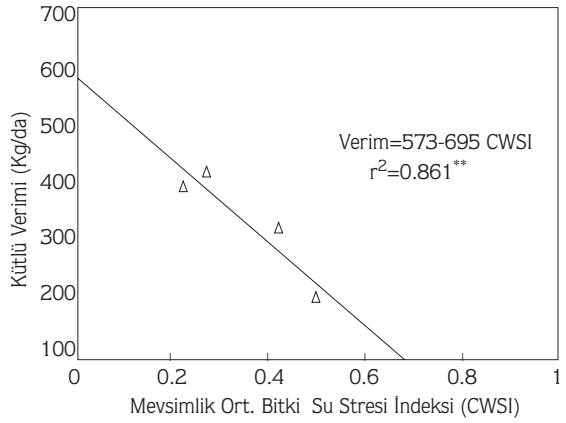
Sulanan konular birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek kütlü veriminin elde edildiği S2 konusunda sulamalardan önceki yaklaşık CWSI=0.45 değerinin sulama zamanına karar vermede ölçüt olarak alınabileceği söylenebilir. Anılan konunun S1'den biraz daha fazla strese uğramasına karşın verimin daha yüksek olması da, pamuk bitkisinde gelişme mevsiminin ileri aşamasında su



Şekil 4. S3 konusunda mevsim boyunca CWSI ve topraktan tüketilen kullanılabilir su (%) değerleri-nin değişimi.



Şekil 5. S4 konusunda mevsim boyunca CWSI ve topraktan tüketilen kullanılabilir su (%) değerleri-nin değişimi.



Şekil 6. Mevsimlik ortalama CWSI ile kütlü verimi arasındaki ilişki.

stresinin koza açımını hızlandırması ile açıklanabilir (28).

S1, S2, S3 ve S4 deneme konularında mevsimlik ortalama CWSI değerleri sırasıyla 0.219, 0.258, 0.411 ve 0.503 olarak belirlenmiştir. Mevsim boyunca belirlenen değerlerin cebrik ortalamasından oluşan mevsimlik ortalama CWSI ile Tablo 1'de verilen kütlü verimi değerleri arasında Verim=573-695 CWSI denklemi ile ifade edilebilen %1 düzeyinde önemli negatif korelasyonlu doğrusal bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 6). Anılan ilişki ile, mevsimlik ortalama CWSI değerlerinden yararlanılarak mevsim sonunda elde edilecek verim tahmin edilebilir. Ancak, daha geniş bir verim aralığında, birkaç yıllık deneme sonuçlarından elde edilecek veriler, ilişkinin doğasını daha iyi temsil edecektir. Reginato (2); Howell ve ark. (18); Topçu (29); pamuk, Yazar (24); soya için verim ile CWSI arasında benzer biçimde doğrusal ilişkiler elde etmişlerdir.

Sonuçlar

İnfrared termometre tekniği ile ölçülen bitki taç sıcaklığından yararlanılarak belirlenen bitki su stresi indeksi (CWSI), Antalya yöresinde tarla koşullarında yetiştirilen pamuk bitkisinde, bitki su stresinin değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

Çalışmada, CWSI değerlerinin belirlenmesi için gerekli olan temel grafiğin üst baz çizgisi 3.9°C'lik bir taç-hava sıcaklığı farkı, alt baz çizgisi ise Tc-Ta=0.257-0.413 VPD denklemi ile ifade edilebilen bir doğru olarak saptanmıştır.

Farklı sulama konularında CWSI'nin değişimi incelenerek, CWSI=0.45 değerinin pamuk bitkisi için sulama zamanına karar vermede, bir ölçüt olarak alınabileceği saptanmıştır. Ayrıca, pamuk bitkisinde mevsimlik ortalama CWSI değerleri ile kütlü verimleri arasında istatistiksel açıdan önemli doğrusal bir ilişki bulunmuştur.

Bitki su stresi indeksi (CWSI)'nin, sulama zamanının belirlenmesi ve verim tahmini amacıyla kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak söz konusu indeksin sulama programlaması amacıyla yaygın olarak kullanımının, benzeri çalışmaların ülkemiz koşullarında farklı bitkiler için yapılması ve infrared termometre edinim maliyetinin düşmesi ile mümkün olabileceği söylenebilir.

Kaynaklar

1. Grimes, D.W., Yamada, H., Hughes, S.W., Climate-Normalized Cotton Leaf Water Potantials for Irrigation Scheduling, Agric. Water Management, 12: 293-304, 1987.
2. Reginato, R.J., Field Quantification of Crop Water Stress, Trans. ASAE, 26(3): 772-775/781, 1983.
3. Grimes, D.W., Yamada, H., Cotton Growth Related to Plants Water Status, Calif. Agriculture., Nov.-Dec., 13-14, 1982.
4. Meron, M., Grimes, D.W., Phene, C.J., Davis, K.R., Pressure Chamber Procedures for Leaf Water Potential Measurements of Cotton, Irrig. Sci., 8: 215-222, 1987.
5. Idso, S.B., Reginato, R.J., Leaf Diffusion Resistance and Photosynthesis in Cotton as Related to Foliage Temperature Based Plant Water Stress Index, Agric. Meteorol., 27: 27-34, 1982.
6. Idso, S.B., Allen, S.G., Kimball, B.A., Choudhury, B.J., Problems with Porometry: Mesuring Net Photosynthesis by Leaf Chamber Techniques. Agron. J., 81: 475-479, 1989.
7. McDermitt, D.K., Source of Error in the Estimation of Stomatal Conductance and Transpiration from Porometer Data, HortScience, 25(21): 1538-1548, 1990.
8. Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., Pinter, P.J., Jr., Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator, Water Resour. Res., 17: 1133-1138., 1981.
9. Idso, S.B, Reginato, R.J., Reicosky, D.C., Hatfield, J.L., Determining Soil-Induced Plant Water Potantial Depressions in Alfalfa by Means of Infrared Thermometry, Agron. J., 73: 826-830, 1981.
10. Pinter, P.J., Jr., Reginato, R.J., A Thermel Infrared Technique for Monitoring Cotton Water Stress and Scheduling Irrigations, Trans. ASAE, 25: 1651-1655, 1982.

11. Idso, S.B., Non-Water Stressed Baselines: A Key to Monitoring and Interpreting Plant Water Stress, Agric. Meteorol., 27: 59-77, 1982.

12. Wanjura, D.F., Kelly, C.A., Wendt, C.W., Hatfield, J.F., Canopy Temperature and Water Stress of Cotton Crops with Complete and Partial Ground Cover, Irrig. Sci., 5: 37-46, 1984.

13. Idso, S.B., Pinter, P.J., Jr., Reginato, R.J., Non-Water Stressed Baselines: The Importance of Site Selection for Air Temperature and Air Vapour Pressure Deficit Measurements, Agric. and Forest Meteorol., 53: 73-80, 1990.

14. Jackson, S.H., 1991, Relationships Between Normalized Leaf Water Potantial and Crop Water Stress Index Values for Acala Cotton, Agric. Water Management, 20: 109-118, 1191.

15. Jackson, R.D., Canopy Temperature and Crop Water Stress, Advances in Irrigation, vol. 1 (Ed. D. Hillel), Academic Press, New York, 43-85, 1982.

16. Ehrler, W.L., Cotton Leaf Temperatures as Related to Soil Water Depletion and Meteorological Factors, Agron. J., 65: 404-409, 1973.

17. Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J., Jr., Normalizing the Stress-Degree-Day Parameter for Environmental Variability, Agric. Meteorol., 24: 45-55., 1981.

18. Howell, T.A., Hatfield, J.L., Yamada, H., Davis, K.R., Evaluation of Cotton Canopy Temperature to Detect Crop Water Stress, Trans. ASAE, 27: 84-88, 1984.

19. Abdul-Jabbar, A.S., Lugg, D.G., Sammis, T.W., Gay, L.W., Relationships Between Crop Water Stress Index and Alfalfa Yield and Evapotranspiration, Trans. ASAE, 28: 454-461, 1985.

20. Tubaileh, A.S., Sammis, T.W., Lugg, D.G., Utilization of Thermal Infrared Thermometry for Detection of Water Stress in Spring Barley. Agric. Water Manag., 12: 75-85, 1986.

21. Howell, T.A., Musick, J.T., Tolk, J.A., Canopy Temperature of Irrigated Winted Wheat, Trans. ASAE, 29: 1692-1698/1706, 1986.

22. Nielsen, D.G., Gardner, B.R., Scheduling Irrigations for Corn With the Crop Water Stress Index (CWSI), Appl. Agr. Res., 2: 295-300, 1987.

23. Nielsen, D.C., Scheduling Irrigations for Soybeans with the Crop Water Stress Index (CWSI), Field Crops Res., 23: 103-106, 1990.

24. Yazar, A., Utilization of Infrared Thermometry Technique for Assessing Crop Water Stress and Irrigation Scheduling for Soybean. Doğa Tr. J. of Agriculture and Forestry, 14: 517-533, 1990.

25. Niemiera, A.X., Goy, M., Use of Crop Water Stress Index to Schedule Irrigation of Freeway Landscape plants. HortScience, 25: 302-305, 1990.

26. Wanjura, D.F., Hatfield, J.L., Upchurch, D.R., Stress Index Relatinships with Crop productivity, ASAE Paper No. SWR 88-102, 1980.

27. Pinter, P.J., Jr., Fry, K.E., Guinn, G., Mauney, J.R., Infrared Thermometry: A Remote Sensing Technique for Predicting Yield in Water-Stressed Cotton, Agric. Water Management, 6: 385-395, 1983.

28. Kittock, D.L., Pima Cotton Lint Yields as Influenced by Irrigation Schedule, Cultivar and Altitude, Agron. J., 65 (3): 598-501, 1973.