



Bodur Yeşil Fasulyenin Sulama Zamanı Göstergesi Olarak Yaprak Su Potansiyeli ve Bitki Su Stres İndeksi Sınır Değerleri

Eyüp Selim Köksal^{1*}, Haluk Üstün², Adem İlbeyi²

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü,
Kurupelit, Samsun
²Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Permem, İstanbul yolu, Yenimahalle, Ankara.
³Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, İstanbul Yolu,
Yenimahalle, Ankara.
*e-mail: eselink@yahoo.com, eselim@omu.edu.tr

Özet: Sulama suyu yönetiminde sulama zamanının belirlenmesi en önemli aşamalardan birisidir. Son yıllarda bu amaçla geliştirilen yöntemlerin önemli bir bölümü bitki izlemeye dayalı göstergeleri kullanmaktadır. Bu göstergelerden en yaygın olanları bitki su kapsamı ve bitki örtü sıcaklığı oranına dayanmaktadır. Bu çalışmanın amacı bodur yeşil fasulyenin sulama zamanının belirlenmesinde kullanılmak üzere sınır yaprak su potansiyeli (YSP) ve bitki su stresi indeksi (CWSI) değerlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla altı farklı sulama seviyesine sahip bir arazi denemesinden elde edilen toprak su içeriği, YSP ve bitki örtü sıcaklığı verileri kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre YSP ve CWSI yeşil fasulyede su stresini ortaya koymada oldukça başarılıdır. YSP'nin -14,0 ile -18,0 bar ve/veya CWSI'nin 0,25 ile 0,50 arasında olması yeşil fasulyede sulama zamanının geldiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sulama programlama, örtü sıcaklığı, su stresi, yeşil fasulye.

Threshold Values of Leaf Water Potential and Crop Water Stress Index as an Indicator of Irrigation Time for Dwarf Green Beans

Abstract: Irrigation timing is one of the most important steps of irrigation water management. Recently plant based monitoring systems developed for this purpose is come in to prominence. Water stress of crops can be estimated through monitoring of plant water content and canopy temperature. The aim of this study is to determine threshold values related to leaf water potential (LWP) and crop water stress index (CWSI) for irrigation timing of green beans. For this purpose, soil water content, LWP, canopy temperature data obtained from a field trial consist of six different irrigation level was used. As a result, it was evaluated that LWP and CWSI are very sensitive to the water stress of green beans. Variation of LWP between -14.0 and -18.0, and change of CWSI from 0.25 to 0.50 indicates the irrigation time of green beans.

Key Words: Irrigation scheduling, canopy temperature, water stress, green beans.

Giriş

Sulama suyu yönetiminde en temel yaklaşım, su kaynağının yeterli olduğu koşullarda aşırı su kullanılmaması ve su kaynağının yetersiz olduğu durumlarda var olan su ile en yüksek verimin elde edilmesidir. Bitkisel üretim toprak, bitki ve atmosfer etkisinde oldukça karmaşık bir sistemdir. Sulama suyunun etkili bir biçimde yönetilmesi için bu üç faktörü dikkate alan karar destek araçları vazgeçilmezdir. Son yıllarda sulama suyu yönetiminde bitkilerin izlenmesi ve bu yönde karar verilmesi öne çıkmaktadır. Günümüzde bitki izlemeye dayalı karar vermede örnekleme ile bitki su kapsamının ve uzaktan algılamayla bitki örtü sıcaklığının izlenmesi öne çıkmaktadır.

Bitkilerin su kapsamının belirlenmesinde çeşitli yöntemlerden ve göstergelerden söz edilebilir. Yaş ve kuru ağırlık farkına dayanan yöntemler araştırma amacıyla kullanılabilir. Ancak, örnekleme ve tartım arasında geçen zaman sonuçların doğruluğu üzerinde etkilidir. Büyük alanlarda genelin temsili bakımından çok sayıda ölçüme ihtiyaç olması örnekleme, yaş, doymun ve kuru ağırlığın tartılmasına dayanan yöntemlerin uygulanmasını kısıtlamaktadır. Yaprak su potansiyeli (YSP) bitki su kapsamına ilişkin etkili bir göstergedir. Son yıllarda geliştirilen bazı cihazlar YSP'nin arazide ölçülmesini kolaylaştırmıştır. Bu yönü ile gerek araştırma gerekse uygulamada YSP birçok bitkide sulama zamanının belirlenmesinde kullanım potansiyeline sahiptir.

Uzaktan algılama teknikleri, gerek el radyometreleri ile tarla düzeyinde, gerekse farklı araçlar kullanılarak havadan bitkilerin örtü sıcaklığının takip edilmesine olanak tanımaktadır. Bilindiği gibi bitki örtü sıcaklığı (T_c) ile atmosfer sıcaklığı (T_a) arasındaki fark ($T_c - T_a$), yeterli terleme durumunda negatif, yetersiz terleme durumunda sıfıra yakın veya pozitifdir. Bitkinin içerisinde bulunduğu su stresi düzeyinin tespit edilmesinde $T_c - T_a$ 'ya dayalı çeşitli su stresi göstergeleri geliştirilmiştir (Jackson ve ark., 1977, Idso ve ark., 1981, Moran ve ark., 1994, Alves ve Pereira 2000, Jackson ve ark., 1981, Kustas ve Daughtry 1990). Bu sayede, sulama zamanı ve sulama suyu ihtiyacı uzaktan algılamaya teknikleriyle tespit edilebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı bodur yeşil fasulyenin sulama suyu yönetiminde kullanılmak üzere bitki su stres indeksi (CWSI) ve YSP sınır değerlerinin belirlenmesidir. Kurulan arazi denemesi ile altı farklı seviyede sulama suyu uygulanan bodur yeşil fasulye bitkilerinde farklı su stresi ve bitki gelişime düzeyleri oluşturulmuş, başta toprak su içeriği olmak üzere, bitki örtü sıcaklığı, YSP ve verim gibi çeşitli gözlemler yürütülmüştür.

Materyal ve Yöntem

Deneme alanı özellikleri

Araştırma, Toprak ve Su Kaynakları Ankara Araştırma Enstitüsü deneme arazisinde 2004 ve 2005 yıllarında yürütülmüştür. Araştırma yerinin denizden yüksekliği 924,3 m, enlem derecesi $39^{\circ}53'N$ ve boylam derecesi $32^{\circ}45'E$ 'dir. Karasal bir iklime sahip olan Ankara'da yazlar sıcak ve kurak kışlar yağışlıdır. Toprak ve Su Kaynakları Ankara Araştırma Enstitüsü 40 yıllık meteorolojik verilerine göre yıllık toplam ortalama yağış miktarı 383,7 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise $11,4^{\circ}C$ 'dir. En yüksek sıcaklık $40,3^{\circ}C$ ile Temmuz, en düşük sıcaklık $-20,5^{\circ}C$ ile Şubat ayında ölçülmüştür. Ortalama toplam açık su yüzeyi buharlaşması 1314,3 mm, oransal nem (RH) ise % 62'dir (Anonim 2005). Araştırma alanına ilişkin toprak bünye sınıfları, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, solma noktası

analizleri, Enstitüsü Laboratuvarında yapılmıştır. Araştırma alanında 90 cm toprak derinliğindeki her katmanda toprak bünye sınıfı killi-tındır. Hacim ağırlığı değerleri 1,08 – 1,24 g/cm³ arasında değişmektedir. Deneme alanında 90 cm toprak derinliğinde toplam kullanılabilir su tutma kapasitesi 112,12 mm cm olarak belirlenmiştir.

Deneme deseni ve tarımsal uygulamalar

Arazi denemesi tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrarlı olarak yürütülmüştür. Deneme açık su yüzeyi buharlaşmasına (A sınıfı buharlaşma kabından) dayalı altı farklı sulama konusundan oluşmuştur. Deneme konularına haftada bir defa açık su yüzeyi buharlaşmasının % 120 (S1), % 90 (S2), % 60 (S3), % 30 (S4), % 10 (S5) katları uygulanmış ve bir konuya (S6) sulama suyu uygulanmamıştır. Sulama suyu damla sulama yöntemi ile uygulanmış ve parseller arasında eş su dağılımı için her bir parselde ayrı basınçölçer kullanılmıştır. Ayrıca uygulanan su miktarı sistem girişinde ölçülmüştür. Her bitki sırasına, üzerinde 50 cm aralıklarla 2,75 L/h debiye sahip damlatıcılar bulunan 16 mm çapında polietilen lateral boru yerleştirilmiştir (Şekil 1). Genel olarak mevsimlik sulama suyu miktarları 112,0 mm ile 814 mm arasında değişmiştir. Yeşil fasulye yetiştirme döneminde 2004 yılında 60,0 mm ve 2005 yılında 131,0 mm toplam yağış gerçekleşmiştir.



Şekil 1. Yeşil fasulye deneme parsellerinin kurulması ve yeşil fasulye hasadı.

Parsel ölçüleri ekimde 21,0 m² (3,5 m x 6,0 m), hasatta 8,4 m² (2,1 m x 4 m)'dir. Ekim öncesinde parseller düzenlenmiş, damla sulama lateralleri yerleştirilmiştir. Deneme parsellerinin hazırlanmasının ardından, toprak verimlilik analizleri doğrultusunda 6 kg/da P₂O₅ ve 2,34 kg/da N gübre olarak verilmiştir. Yeşil fasulye tohumları (*Phaseolus vulgaris*, *humilis* ve çeşit Gina), 2004 yılında 10 Mayıs, 2005 yılında ise 12 Mayıs'ta sıra arası 70,0 cm sıra üzeri 3,0 cm olarak elle ekilmiştir. Bitkiler yaklaşık 15 cm boya gelinceye kadar eşit miktarda sulanmış, konulara göre sulama suyu uygulamasına Haziran ayının sonuna doğru başlanmıştır. Haziran ayı başından Temmuz ayı sonuna kadar iki haftada bir olmak üzere 5 defa 0,53 kg/da N gübre olarak sulama suyu ile birlikte uygulanmıştır. Hasat Temmuz ortasından Eylül sonuna kadar 1 hafta ara ile yapılmıştır.

Toprak su düzeyi, tohum ekiminde, son hasatta ve haftada bir defa her sulama öncesinde nötron prop cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Bitki su tüketimi, her iki toprak nem ölçüm zaman aralığı için toprak su bütçesi esasına göre Jensen ve ark. (1990)'da verilen yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama bodur yeşil fasulye etkili kök derinliğine göre 0-60 cm derinlik dikkate alınmıştır. 60-120 cm aralığındaki nem artışı ise derine sızma olarak hesap edilmiştir. Sulama suyu uygulamaları sırasında yüzey akış gerçekleşmemiştir.

Ölçüm ve Gözlemler

Toprak su içeriği nötron prop cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 2). Nötron prop çalışmanın yürütüldüğü toprak koşullarına kalibre edilmiştir. Toprak su içeriği ölçümleri denemenin 2 bloğunda, her parselde, parsel merkezine yerleştirilen alüminyum borular ile 0,16, 0,45, 0,75, 0,95 ve 1,15 m derinliklerde ve ayrıca 0-30cm de örnekleme dayalı olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. Nötron prop kalibrasyonu ve yeşil fasulye parselinde toprak su içeriği ölçümü

Bitki örtü sıcaklığı infrared termometre cihazı (Model 103 ZL, Everest Interscience, Tucson, USA) kullanılarak ölçülmüştür. Cihazın kalibrasyonunda yüzey sıcaklığı belirlenebilen siyah renkte cisimler kullanılabilir (Fucs ve Tanner 1966).

Bu çalışmada kalibrasyon amacı su tankı, su ısıtıcısı, soğutucu plastik buz kapları, karıştırıcı, termometre ve bir bakır kaptan (bir ucu kapalı, bir ucu açık, iki tarafı konik, içerisi ince siyah boya ile boyanmış) oluşan bir düzenek kullanılmıştır (Şekil 3). Su 50 °C sıcaklığa kadar ısıtılarak soğumaya bırakılmış ve ortam sıcaklığına kadar soğumuştur. Daha fazla soğuması için içerisi buz olan plastik kapalı soğutucular kullanılmıştır. Su içerisinde bulunan bakır kabın iç yüzey sıcaklığı su sıcaklığını yansıtmaktadır. Buna göre farklı sıcaklıklarda suyun ısısı termometre ile ve bakır kabın iç yüzeyi infrared termometre cihazı ile ölçülerek kalibrasyon yapılmıştır. Bitki ölçümleri güneşin geliş açısındaki farklılıklar ve gölgelemenin elemine edilebilmesi için, solar azimut açısı 0, 90, 180 ve 270 dereceden toplam 4 yönde ve her yönden en az 3 defa olmak üzere her konuda toplam en az 12 ölçüm alınmıştır. Cihazlar bitki örtüsüne yaklaşık 55-70⁰ zenith (düşey gözlem) açısı ile tutulmuş ve görüş alanında sadece bitki bulunacak yükseklik ve yatay uzaklıkta konumlandırılmıştır. Ölçümler deneme konularına göre sulama suyu uygulaması başladıktan sonra, haftada en az 2 gün (birisi sulama öncesi olacak biçimde), yerel saat ile 13:00–14:00 arasında bulutsuz günlerde yapılmıştır.



Şekil 3. İnfrared termometre kalibrasyonu ve yeşil fasulye bitki örtüsü yüzey sıcaklığı ölçümü

Yaprak su potansiyeli basınç odası cihazından (Model 1000, PMS Instrument Com., Albany, USA) yararlanılarak ölçülmüştür. Her konuda en az 3 ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerde basınç azot gazı ile oluşturulmuştur. Koparılan yaprakların sapı keskin bir bıçak ile ölçüm öncesinde kesilmiş ve örnekleme için hemen ardından okuma arazide yapılmıştır. Ölçümlerde genç ve gelişimini tamamlamış yapraklar kullanılmış ve yaprağın basınç odasına takılmasında uygun conta seçilmiştir (Şekil 4). Kesik yüzey su ile kaplandığında okunan basınç değeri YSP olarak alınmıştır. Ölçümler gün içerisinde infrared termometre ölçümleri ile aynı zaman diliminde (13:00–14:00 arasında) yapılmıştır.



Şekil 4. Basınç odası ile yeşil fasulye yaprak su potansiyeli ölçümü

Bitki su stres indeksi hesabı

Bitki su stres indeksi belirlenmesinde deneysel yaklaşım olarak bilinen yöntemden yararlanılmıştır (Idso ve ark., 1981). Yöntemde gerekli olan temel grafik T_c-T_a ölçümleri ve buhar basıncı açığı (VPD) değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Grafikte alt baz hattı (LL) su stresi oluşturulmayan S1, üst baz hattı (UL) ise susuz S6 konusundan alınan T_c ölçümleri ve bu sıradaki VPD değerlerine göre oluşturulmuştur. Alt baz hattı $T_c-T_a - VPD$ doğrusal regresyonu ile hesaplanmıştır. Eşitlik (1)'de, LL ve UL sırası ile hesaplamanın yapıldığı T_c-T_a ve VPD'ye ilişkin temel grafikteki alt limit değeri ve üst limit değerleridir.

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

Bitki örtü sıcaklığı ölçümü sırasındaki hava sıcaklığı, ıslak termometre sıcaklığı ve oransal nem değerleri, CWSI hesabında kullanılmak üzere deneme alanında 1,5 m yüksekliğe yerleştirilen tarımsal meteorolojik rasatlarına uygun bir siperde ölçülmüştür. Hava sıcaklığı denemin ilk yılında termometre, ikinci yılında termografla ölçülmüştür. VPD hesabında kullanılmak üzere denemenin ilk yılında vantilatörlü psikrometre ile ıslak

termometre sıcaklık ölçümü, ikinci yılında hidrografla RH ölçümü yapılmıştır. VPD, Ward ve Elliot 1995 ve Allen ve ark., 1998 'de verilen yöntemlere göre hesaplanmıştır.

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Sulama Suyu ve Bitki Su Tüketimi

Yeterli bitki çıkışlarının gerçekleşmesi ve belirli bir seviyede gelişmenin sağlanabilmesi için sulama konuları öncesinde tüm parsellere 2004 yılında 112 mm, 2005 yılında 128 mm sulama suyu uygulanmıştır. Yetiştirme dönemi boyunca S1, S2, S3, S4, S5 ve S6 deneme konularına sulama düzeylerine göre sırasıyla 2004 yılında 814,0 mm, 636,0 mm, 463,0 mm, 288,0 mm, 171,0 mm ve 112,0 mm, 2005 yılında 805,0 mm, 635,0 mm, 466,0 mm, 298,0 mm, 185,0 mm ve 128,0 mm sulama suyu uygulanmıştır (Çizelge 1). 2005 yılı yetiştirme dönemi 2004 yılından 8 gün daha kısa sürmüştür. Bununla birlikte yağış farkı nedeni ile 2005 yılı bitki su tüketimleri 2004 yılına göre bir miktar daha yüksektir.

Çizelge 1. Yeşil fasulye deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları, hesaplanan bitki su tüketimi değerleri ve elde edilen verim miktarları.

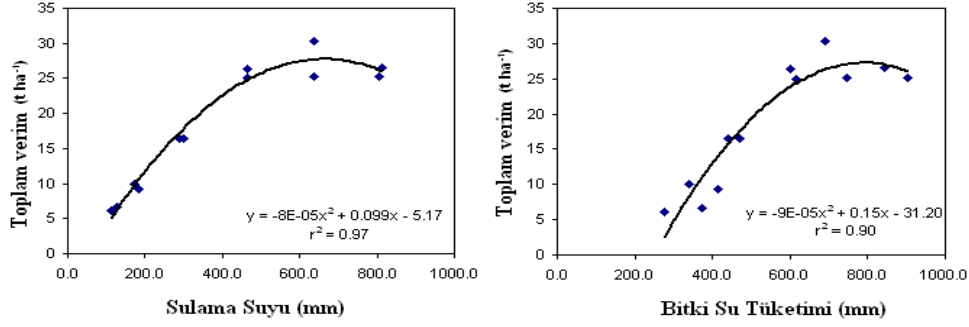
Deneme Konuları	2004				2005			
	Sulama Suyu (mm)	ETc (mm)	Verim (t/ha)	Toplam Yağış (mm)	Sulama Suyu (mm)	ETc (mm)	Verim (t/ha)	Toplam Yağış (mm)
S1	814.0	840.4	26.55	60.0	805.0	874.2	25.18	131.0
S2	636.0	682.7	30.36		635.0	714.2	25.21	
S3	463.0	570.1	26.43		466.0	592.7	25.02	
S4	288.0	436.7	16.43		298.0	444.9	16.48	
S5	171.0	343.9	9.99		185.0	384.8	9.29	
S6	112.0	297.9	6.08		128.0	345.7	6.73	

ETc: bitki su tüketimidir.

Araştırma sonucunda en yüksek verim 30.36 t ha⁻¹ (S2) ve en düşük verim 6,08 t ha⁻¹ (S6) deneme konularından elde edilmiştir. Sulama suyu ve bitki su tüketimi ile yıllık toplam verim arasında yapılan istatistiksel analiz sonucunda ilişkinin ikinci dereceden kuadratik olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Sulama suyu ile verim arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı 0,97 iken bu katsayı bitki su tüketimi ile verim ilişkisi için 0,90 olarak hesaplanmıştır. Buna göre yaklaşık 650 mm'den daha fazla sulama suyu uygulanması verimde artışa neden olmamaktadır.

Çalışmanın yapıldığı bölgede yüzey sulama yöntemi kullanılarak yetiştirilen aynı çeşit yeşil fasulyede en yüksek bitki su tüketimi 868 mm ve elde edilen en yüksek verim 26,2 t ha⁻¹'dir. Aynı çeşit üzerine Tarsus'da damla sulama yönteminin kullanıldığı başka bir çalışmada açık su yüzeyi buharlaşmasının 13-17 mm'ye ulaştığı zaman, buharlaşmanın

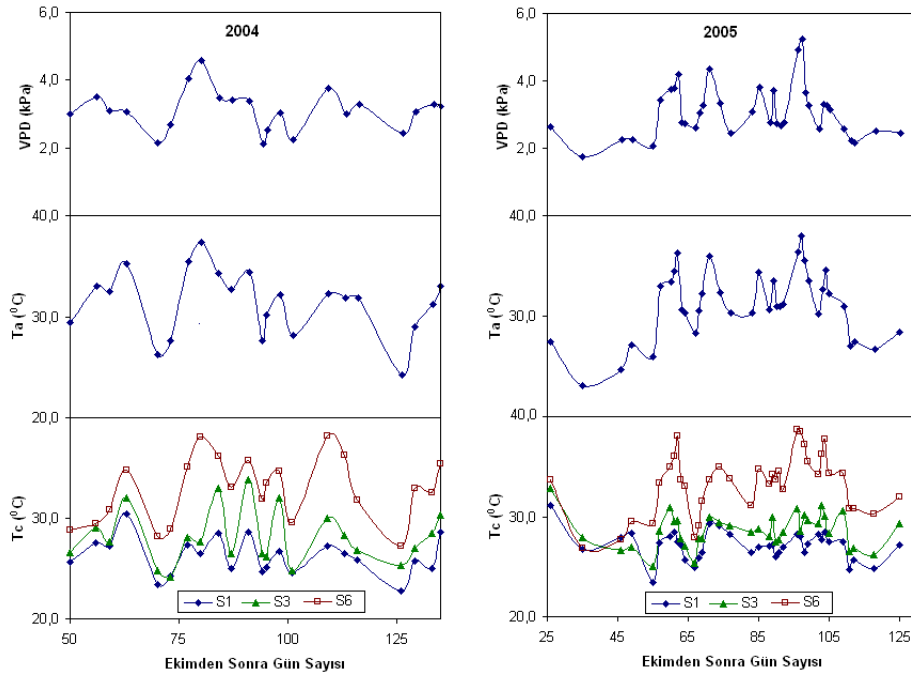
tamamı kadar sulama suyu uygulanması sonucunda 20,6 t ha⁻¹ verim elde edilmiş, en yüksek su tüketimi 338 mm olarak belirlenmiştir (Sezen et al., 2005, Sezen et al., 2008).



Şekil 5. Bodur yeşil fasulyede sulama suyu ve bitki su tüketimi ile verim arasındaki istatistiksel ilişki.

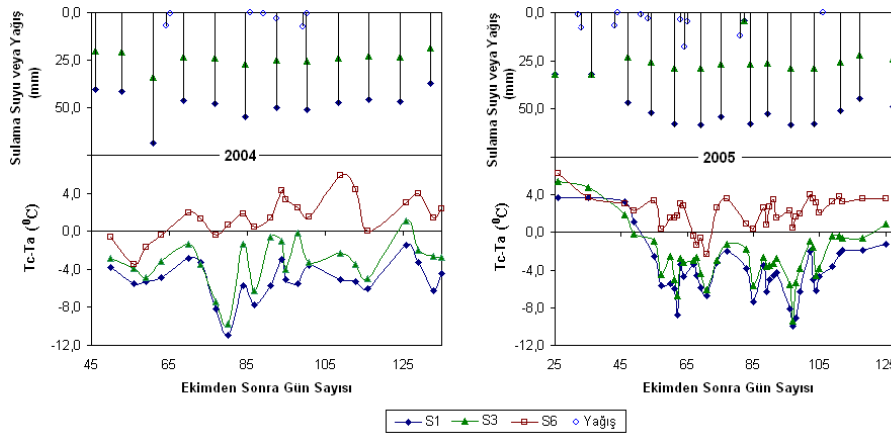
Bitki Örtü Sıcaklığı ve CWSI

Bilindiği gibi bitki örtü sıcaklığı, hem bitki su düzeyinin hem de iklim parametrelerinin bir fonksiyonudur. Bu bakış açısı ile Tc-Ta ve CWSI'ne ilişkin bulgulardan önce Şekil 6'da S1, S3 ve S6 konularında ölçülen Tc, ölçüm sırasında belirlenen Ta ve VPD değerleri grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 6. Ölçüm günlerine ilişkin bitki örtü sıcaklığı, hava sıcaklığı ve buhar basıncı açığı değişimleri.

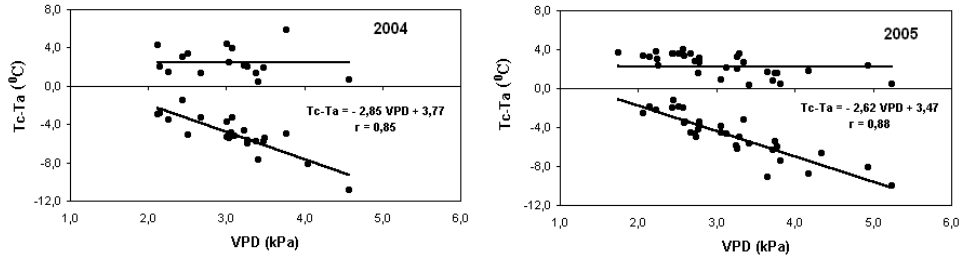
Şekil 7’de S1, S3 ve S6 konularında ölçülen Tc-Ta değerleri ve bitki örtü sıcaklığı ölçümü döneminde uygulanan sulama suyu ve gerçekleşen yağış miktarları verilmiştir. Genel olarak en yüksek Tc-Ta susuz S6, en düşük Tc-Ta ise en çok sulama suyu uygulanan S1 konusunda gerçekleşmiştir. Bununla birlikte S6 konusunda Tc-Ta pozitif değerlerde iken S3 ve S1 konusunda negatif değerler gözlenmiştir. Tc-Ta değişimlerinde başlıca Ta, VPD, sulama suyu ve yağış etkili olmuştur. Örneğin 2004 yılında Ekimden Sonra Gün Sayısı (EKGS) 45 ve EKGS 85 aralığı incelenirse, S1 ve S3 konularında artış ve ardından bir azalış ve tekrar artış görülürken, bu durum S6 konusunda da gerçekleşmesine rağmen, S1 ve S3 konularındaki kadar fazla değildir. Çünkü Şekil 6’da verilen grafikte görüldüğü gibi, hava sıcaklığında ve VPD’deki azalma, S6 konusunun örtü sıcaklığında S1 ve S3 konusundaki kadar bir azalma sağlamamıştır. Aynı yıl EKGS 105-125 zaman aralığında Ta ve VPD yükselmiş ve aynı dönemde S6 ya ilişkin Tc-Ta yükselmiş, S3 konusu daha az yükselmiş ve S1 konusunda azalma gerçekleşmiştir. Bu zaman aralığı Şekil 6’dan takip edildiğinde hava sıcaklığında ve VPD’deki artış ile S6 konusunun örtü sıcaklığı hava sıcaklığından daha fazla artarken, S3’te artış nispeten daha az, S1 konusunda ise çok az bir dalgalanma oluşmuştur. Benzer bir durum 2005 yılında da gerçekleşmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7’den yararlanarak, su stresi altındaki bitkilerde Ta ve VPD’de artışların Tc-Ta’da hızlı artışlara neden olduğu, Ta ve VPD’deki azalmaların Tc-Ta’da bu parametrelere nazaran daha yavaş bir azalmaya neden olduğu görülmektedir. Su stresi oluşmamış bitkilerde ise Ta ve VPD’de meydana gelen artışların Tc-Ta’da azalmaya neden olduğu söylenebilir. Bu durumda artma ve azalma miktarı sulama suyu ve dolayısı ile su stresi doğrultusunda gerçekleşmektedir. Ayrıca, özellikle her iki yılın EKGS 80’den sonraki dönemlerinde S3 konusunun Tc-Ta değişimlerinde hem Ta ve VPD hem de sulama suyu uygulamalarının etkili olduğu görülmektedir. Bu durumun temel nedeni haftada bir defa uygulanan sulama suyunun S1 konusunda hafta boyunca su stresi oluşmayacak kadar yeterli olması, S3 konusunda ise sulamadan 2-3 gün sonra su stresi oluşacak kadar olmasıdır.



Şekil 7. Yetiştirme dönemi boyunca gerçekleşen yağış (mm) ve S1, S3 ve S6 konularına ilişkin, uygulanan sulama suyu miktarları (mm), bitki örtü sıcaklığı hava sıcaklığı farkı değişimi.

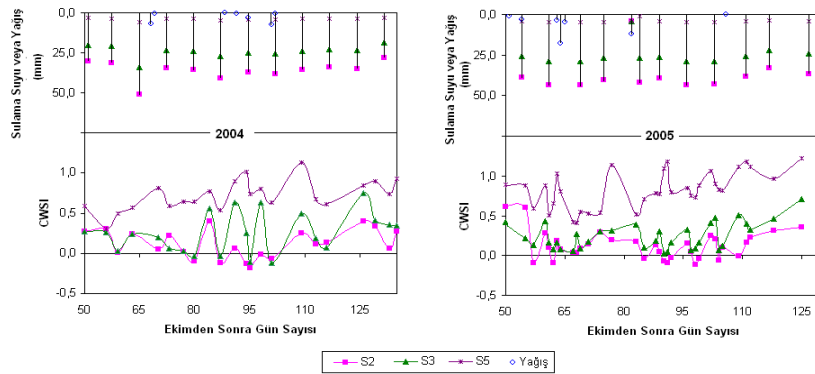
Idso ve ark. (1981)’de verilen yöntemle göre CWSI hesabında kullanılan alt limit hattının belirlenmesi için, en çok sulama suyu uygulanan S1 konusunda ölçülen Tc-Ta ve

VPD değerleri arasında bir doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Susuz S6 konusundan elde edilen Tc-Ta ile transpirasyonun hemen hiç gerçekleşmediği üst baz hattı elde edilmiştir (Şekil 8). Aynı zamanda üst baz hattı koparılıp kurutulan yeşil fasulye bitkilerinde yapılan ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Alt baz hattı için yapılan regresyon analizi ile 2004 yılında korelasyon katsayısı (r) 0,85 ve regresyon denklemi “Tc-Ta= -2,85 VPD + 3,77”, 2005 yılında korelasyon katsayısı (r) 0,88 ve regresyon denklemi “Tc-Ta= -2,62 VPD + 3,47” bulunmuştur. Üst baz hattı için Tc-Ta değeri 2004 yılı için 2,54 °C ve 2005 yılı için 2,47 °C olarak tespit edilmiştir. CWSI bu alt ve üst baz hatlarına göre hesaplanmıştır.



Şekil 8. Bitki su stres indeksi hesaplamada kullanılmak üzere, bitki örtü sıcaklığı hava sıcaklığı farkına karşın VPD kullanılarak elde edilen temel grafik.

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda elde edilen CWSI değerleri konular arasında uygulanan sulama suyu miktarlarına göre değişmiştir. CWSI sulama suyu arttıkça azalmıştır. Şekil 9’da deneme konularından S2, S3 ve S5 konularında elde edilen CWSI değerleri verilmiştir. Tüm konuların söz konusu grafiklerde verilmemesinin nedeni, uygulanan sulama suyu miktarları bir birine yakın olan konuların CWSI grafikleri bir birine çok yakın seyretmesidir. CWSI hesabında alt limit ve üst limit hatları S1 ve S6 konularından elde edildiği için Şekil 9’da S2, S3 ve S5 konularının grafiklerine yer verilmiştir. Genel olarak Tc-Ta’nın negatif değerleri küçük, pozitif değerleri büyük CWSI değerlerine dönüşmüştür. CWSI, Tc-Ta değerlerinde olduğu gibi Ta, VPD ve sulama uygulamalarının etkisindedir.

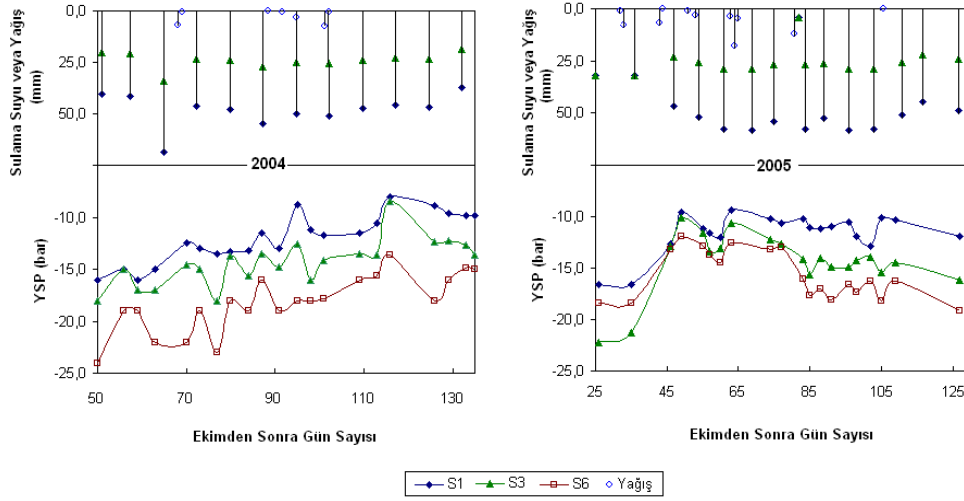


Şekil 9. Yetiştirme dönemi boyunca gerçekleşen yağış (mm) ve S2, S3 ve S5 konularına ilişkin, uygulanan sulama suyu miktarları (mm), CWSI değişimi.

Sulama suyu uygulamaları, Ta ve VPD'nin bir arada en çok etkilediği sulama konusu S3'tür. Çünkü S5 konusuna uygulanan sulama suyu miktarları çok azdır (açık su yüzeyi buharlaşmasının %10'u kadar). Bu nedenle sulama suyu uygulamaları S5 konusunda yetiştirilen bitkiler üzerinde bir etkiye sahip değildir. S5 konusunda yetişen bitkilerde gerçekleşen çok az miktardaki transpirasyon bitki örtü sıcaklığının tamamı ile Ta ve VPD etkisinde kalmasına neden olmuştur. S2 konusunda ise uygulanan sulama suyu miktarları bitkilerin belli bir seviyede transpirasyon yapmalarına olanak tanıdığı için, bitkiler Ta ve VPD'deki değişimlerden en az etkilenmektedirler. Ayrıca bitki kök bölgesindeki su miktarı sürekli belli bir seviyenin üzerinde kaldığı için sulama suyu uygulamaları örtü sıcaklığında önemli dalgalanmalara neden olmamıştır. S3 konusunda uygulanan sulama programı doğrultusunda toprak su düzeyi genel olarak EKGS 90'a kadar elverişli nemin yarısı seviyelerinde iken EKGS 90'dan sonra bu seviyenin altında değişim göstermiştir. Bu nedenle, özellikle EKSG 90'dan sonra sulama suyu uygulamaları S3 konusunda yetiştirilen bitkilerin CWSI değerleri üzerinde etkili olmuştur. Şekil 9'da görüldüğü gibi CWSI değerleri sulama suyu uygulamalarından sonra (yaklaşık 1-2 gün) azalmış ve önce tekrar artmıştır. Sonuç olarak CWSI ile sulama zamanı yapılması aşırı su uygulanan ve tümü ile su stresine giren bitkilerde olanaklı değildir. Diğer bir deyişle, sulama programlarının CWSI'ye dayalı yapılması aşırı su kullanımını ve su stresini engelleyebilir.

Yaprak Su Potansiyeli

Yapılan ölçümler sonucunda S1, S3 ve S6 konularına ilişkin YSP değişimleri, sulama suyu uygulamaları ve gerçekleşen yağış miktarları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Yetiştirme dönemi boyunca Yaprak Su Potansiyeli değişimi

YSP konular arasında farklılık göstermiş, sulama suyu düzeyi arttıkça yükselmiştir. Denemenin her iki yılı arasında önemli bir farklılık bulunmamakla birlikte, ES GS 50-80 aralığında 2005 yılı YSP değerleri 2004 yılına göre daha yüksektir. Bu durumun nedenleri irdelendiğinde, Temmuz ayı sonuna kadar (ES GS 80) gerçekleşen toplam yağışın 2004

yılında 48,4 mm, 2005 yılında 97,3 mm olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan ASCE-EWRI (2005)'de verilen Penman-Monteith yöntemine göre ESGS 80'e kadar çim bitkisine göre referans buharlaşma miktarları 2004 ve 2005 yıllarında sırası ile toplam 422,4 mm ve 424,5 mm'dir. 2004 yılında konulara göre sulama suyu uygulamasına 23 Haziran, 2005 yılında ise 28 Haziran'da başlanmış ve bunun öncesinde 2004 ve 2005 yıllarında sırası ile 112,0 mm ve 128,0 mm sabit sulama suyu uygulanmıştır. Temmuz ayı sonu dikkate alındığında bu tarihe kadar uygulanan sulama suyu miktarları S1 ve S2 konuları için her iki yılda bir birine çok yakındır ve diğer konularda 2005 yılında uygulanan sulama suyu miktarları daha fazladır. Çünkü Temmuz ayı açık su yüzeyi buharlaşma miktarları 2004 ve 2005 yıllarında sırası ile 170,0 mm ve 184,0mm'dir. Özet olarak, 2005 yılının bu döneminde yaklaşık 50 mm daha fazla yağış gerçekleşmiştir. 2005 yılında, 2004'e nazaran Temmuz ayı sonu itibarıyla S3, S4 ve S5 konularına 9,0, 13 ve 15 mm daha fazla sulama suyu uygulanmıştır. Buna karşılık referans buharlaşma değerleri ise neredeyse eşittir.

Su verim analizleri

Deneme konularından elde edilen yeşil fasulye verimlerine uygulanan varyans analizi sonucunda, her iki yılda konular arasında 0,01 düzeyinde istatistiksel farklılık belirlenmiştir. Duncan testi sonucunda, 2004 yılında dört farklı grup (S1, S2, S3 birinci, S4 ikinci, S5 üçüncü ve S6 dördüncü grup), 2005 yılında üç farklı grup (S1, S2, S3 birinci, S4 ikinci, S5 ve S6 üçüncü grup) oluşmuştur. Ki kare katsayısı ise 1,32** olarak belirlenmiştir. Homojenlik testi sonuçlarına göre denemelerin hata varyansları homojendir ve yıllar birleştirilebilir niteliktedir. Buna göre yapılan toplu analiz ile konular arasında 0,01 düzeyinde istatistiksel farklılık belirlenmiştir. Duncan testinde üç farklı grup oluşmuştur. S1, S2, S3 birinci, S4 ikinci, S5 ve S6 üçüncü grubu oluşturmuştur. Denemenin her iki yılı değerlendirildiğinde, birinci grupta yer alan konular arasında istatistiksel bakımdan farklılık olmadığından daha az su uygulanan S3 konusu sulama programı önerilebilir.

Öneriler

Deneme konularında aynı gün için belirlenen toprak su içeriği, CWSI ve YSP değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Doğrusal regresyon analizlerine göre toprak su içeriği – CWSI ve toprak su içeriği –YSP arasında $P<0.01$ olasılık düzeyinde doğrusal ilişki bulunmaktadır ve korrelasyon katsayıları sırasıyla 0,85 ve 0,71 olarak hesaplanmıştır. Buna göre CWSI ve YSP sulama zamanının belirlenmesinde kullanılabilir nitelikte göstergelerdir.

Verim bakımında önerilen S3 konusunda CWSI değeri denemenin her iki yılında yaklaşık olarak en çok 0,5'e yükselmiştir. CWSI ortalama değerleri 2004 yılında 0,25 ve 2005 yılında 0,33'tür. Buna göre bodur yeşil fasulyede CWSI'nin 0 ile 0,5 arasında değişimine izin verilebilir ve CWSI'nin 0,25 ile 0,5 arasında bir değere ulaşması sulama suyu uygulama zamanı olarak önerilebilir. S3 konusunda YSP değerleri genel olarak -10,0 ile -18,0 bar arasında değişim göstermiştir. Her iki yılda ortalama YSP -14,4 bar olarak ölçülmüştür. Buna göre YSP'nin -10,0 – 18,0 bar arasında değişimine izin verilebilir. -14,0 ile -18,0 bar arasında ölçülen YSP değeri bodur yeşil fasulyede sulama zamanı olarak değerlendirilebilir.

Kaynaklar

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration, FAO, 56, Rome.
- Alves, I. and Pereira, L.S. 2000. Non-water-stressed baselines for irrigation scheduling with infrared thermometers: A new approach. *Irrigation Science*, 19:101-106.
- Anonim. 2005. Toprak ve Su Kaynakları Ankara Araştırma Enstitüsü Meteorolojik Veriler 2005. Ankara.
- ASCE – EWRI. 2005. The ASCE Standardized reference evapotranspiration equation. ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Comm. Report, available at <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/asceewri/>
- Fuchs, M. and Tanner, C.B. 1966. Infrared thermometry of vegetation. *Agronomy J.*, 58:597-601.
- Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J., Jr., Reginato, R.J. and Hatfield, J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24:45-55.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter, P.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17(4):1133-1138.
- Jackson, R.D., Reginato, R.J. and Idso, S.B. 1977. Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements, *Water Resources Research*, 13(3):651-656.
- Jensen, M.E., Burman, R. D. and Allen, R. G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. *Manuels and reports on engineering practices no. 70*. ASCE, New York.
- Kustas, W.P. and Daughtry, C.S.T. 1990. Estimation of the soil heat flux/net radiation ratio from spectral data. *Agricultural and Forest Meteorology*. 49:205-223.
- Moran, M.S., Clarke, T.R., Inoue, Y. and Vidal, A. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface – air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sens. Environ.*, 49:246-263.
- Sezen, S. M., Yazar, A., Akyıldız, A., Dasgan, H. Y., Gencel, B. 2008. Yield and quality response of drip irrigated green beans under full and deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*. 117: 95-102.
- Sezen, S. M., Yazar, A., Canbolat, M., Eker, S. and Çelikel, G. 2005. Effect of drip irrigation management on yield and quality of field grown green beans. *Agricultural Water Management*. 71:243-255.
- Üstün, H., Aran, A., Yıldırım, O., 1997. Ankara koşullarında damla sulama yöntemi ile sulanan taze fasulyenin sulama suyu ihtiyacı. Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları Genel Yayın No: 207, Rapor Seri No: R-113, 56s, Ankara.
- Ward, A.D. and Elliot, W.J. 1995. *Environmental Hydrology*. CRC Press, 462, USA.