



**GAZİOSMANPAŞA BİLİMSEL ARAŞTIRMA DERGİSİ (GBAD)**  
**Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research**  
ISSN: 2146-8168  
<http://dergipark.gov.tr/gbad>  
**Derleme Makalesi (Review Article)**

Cilt/Volume : 6  
Sayı/Number:Özel  
Sayı (BSM-2017)  
Yıl/Year: 2017  
Sayı/Pages: 138-145

**Alınış tarihi (Received):** 21.04.2017

**Kabul tarihi (Accepted):** 27.12.2017

**Baş editor/Editors-in-Chief:** **Ebubekir ALTUNTAŞ**

**Alan editörü/Area Editor:** **Hakan POLATCI**

## **Sulama Programlamasında Uzaktan Algılama Tekniklerinin Kullanılabilir Olanakları**

**Halil KIRNAK<sup>a</sup> Hasan Ali İRİK<sup>b\*</sup>**

<sup>a</sup>*Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Efeler, Aydın-Türkiye*

<sup>b</sup>*Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 38039, Talas, Kayseri-Türkiye*

\*Sorumlu yazar, e-mail: [haliirik42@gmail.com](mailto:haliirik42@gmail.com)

**Özet:** Sulama programlamasında en önemli konu bitkiye ne zaman ve ne kadar su verileceğinin belirlenmesidir. Sürdürülebilir su yönetimi için bitki su ihtiyacının tam olarak belirlenmesi çok önemlidir. Sulama zamanının tespiti için genellikle toprak nem içeriği değeri kullanılmaktadır. Ancak noktasal bir veri olması ve bitki su durumunu tam olarak yansıtmaması bu yöntemin dezavantajıdır. Bitkilerin izlenerek karar verilmesi son yıllarda önem kazanmaktadır. Bitkiler, toprak-su-atmosfer arasındaki bütünlük ilişkisini iyi yansıttıkları için sulama programlamasında daha doğru sonuçlar vermektedir. Son yıllarda kullanımı artan infrared termometre ile belirlenen bitki yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı farkından ve havanın buhar basıncı açısından yararlanılarak oluşturulan bitki su stres indeksi (CWSI) başarılı bir şekilde sulama programlamasında kullanılmaktadır. Ayrıca bitkilerden olan yansımanın spektrometreler ile ölçülerek farklı bantlardaki yansıma oranlarından elde edilen vejetasyon indeksleri son dönemde kullanımı artmaya başlamıştır. Farklı bitkiler üzerinde yapılan çalışmalar CWSI ve vejetasyon indekslerinin sulama programlamasında kullanılabilirliğini göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde ve dünyada CWSI ile vejetasyon indeksleri kullanılarak yapılmış çalışmaların derlenerek sulama programlamasında kullanılabilir olanakları hakkında bilgiler sağlamaktır.

**Anahtar kelimeler:** *Uzaktan algılama, Bitki su stres indeksi, Sulama yönetimi, Spektrometre.*

## **Posibility of Using Remote Sensing Techniques in Irrigation Scheduling**

**Abstract:** The amount and timing are the most critical issues in irrigation programming. Crop water needs should precisely be determined for sustainable water management. Generally soil moisture values are used in irrigation scheduling. However, soil moisture is a point data and is not able to represent the soil water status of entire field. Such a case bring about a disadvantage in identification of soil moisture status. Plant monitoring has recently been used in irrigation scheduling to overcome such disadvantages. Since the plants well reflect the relationships among soil-water-atmosphere, they can provide better outcomes for irrigation schedules. Crop water stress index (CWSI) created through the differences between plant canopy temperature by infrared thermometer and air temperature and water pressure deficit are being used successfully in irrigation schedules. Vegetation indices created through spectroradiometric reflectance values are also employed in irrigation schedules. Previous studies reported potential use of CWSI and vegetation index values in irrigation programs.

In this study, previous studies about CWSI and vegetation index values carried out in Turkey and the world were reviewed and potential use of these parameters in irrigation programs were put forth.

**Key words:** *Remote sensing, Crop water stress index, Irrigation management, Spectroradiometer.*

## 1.Giriş

Dünya genelinde tarımsal su kullanımı su kaynaklarının yönetiminde çok önemli rol oynamaktadır (Köksal ve ark. 2008). Kurak ve yarı-kurak iklim bölgelerinde tarımsal üretim çoğunlukla sulamaya bağlıdır. Sulanan alanlar suyun en büyük kullanıcısı ve toplam su kaynaklarının yaklaşık 2/3'sini kullanmaktadır (Fereres ve Evans, 2006). Genellikle tarımsal sulama düşük randımanlı sulama suyu kullanımı göstermektedir ve bu nedenle sulama bilimcileri tarımsal sulamada su tasarrufu sağlayan stratejileri geliştirmeye odaklanmışlardır (Payero ve ark. 2009). Özellikle kurak ve yarı-kurak iklim bölgelerinde sulamada etkin su kullanımı önemli olmaya başlamıştır. Bu bölgelerde çiftçiler için ürün verimini maksimize etmek yerine su kullanım etkinliğini artırmak daha yararlıdır.

Suyun tarımsal faaliyetlerde etkili ve bilinçli olarak kullanılması toprak ve su kaynaklarının sürdürülebilir olmasında çok önemli bir etkidir. Bu nedenle tarla ve havza düzeyinde etkin bir sulama yönetimi için etkili karar destek araçlarına ihtiyaç vardır. Günümüzde uzaktan algılama özellikle sulama suyu yönetiminde öne çıkan teknolojilerden birisidir (Köksal 2006).

Uzaktan algılama, fiziksel bir temas olmadan cisimlerden yansıyan elektro manyetik ışınımın ölçülmesine dayanır. Ölçülen bu yansıma değerleri bitki ve toprağın özellikleri ile ilişkilendirilir (Keskin 2007). Uzaktan algılama teknikleri, el radyometreleri ile tarla bazında bitkilerin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Spektrometreler ile ölçülen farklı yansıma oranlarının kullanılmasıyla elde edilen vejetasyon indeksleri yardımıyla bitki katsayısı ( $k_c$ ), verim, ET vb. parametreler arasında önemli istatistiksel ilişkiler bulunmuştur (Köksal 2008; Hunsaker ve ark. 2003; Zhang ve ark. 2012). Ayrıca yüzey sıcaklığının infrared termometreler ile ölçülmesi bitki ve topraktan meydana gelen buharlaşmanın zamansal ve mekânsal olarak tahmin ve belirlenmesine imkan tanımaktadır (Nielsen 1990).

Bu makalede, su yönetiminde kullanım potansiyeli olan tarla bazında uzaktan algılama yöntemlerinden infrared termometre ve spektrometre ile yapılmış çalışmalar derlenerek bu tekniklerin su yönetiminde kullanılabilme imkanları tartışılmıştır.

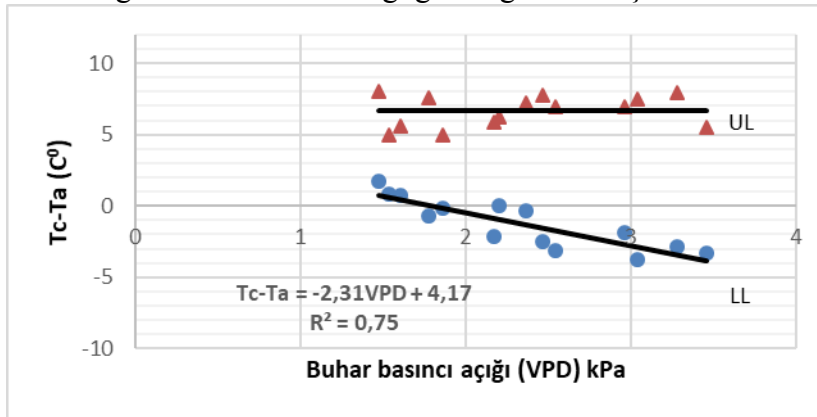
## 2. İnfrared Termometre Tekniği Kullanılarak Su Yönetimi

Bitki sıcaklığı su kullanılabilirliğinin bir göstergesi olarak uzun zamandır kabul edilmektedir (Gates 1964). Bitki sıcaklıkları infrared termometreler kullanılmaya başlayana kadar kontak sensörler, termokupl ve yapraklara temasla ölçülmüştür (Ehrler 1973). Tanner (1963) bitki sıcaklığını belirlemek için infrared termometreyi ilk kullananlardandır ve bitkide sudan kaynaklı farklılıkların belirlenmesinde bitki sıcaklıklarının önemli bir indeks olabileceğini belirtmiştir. Ehrler (1973) pamukta termokupl kullanılarak bitki yaprak sıcaklığı belirlemiş ve çalışmada yaprak-hava sıcaklığı farkının sulamadan sonra azaldığı, toprak suyundaki azalmaya bağlı olarak arttığını tespit etmiştir. Yaprak-hava sıcaklığı farkının pamuk bitkisinin sulama programlamasında kullanılabileceğini ve bunun geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Smith ve ark. (1989) yaptıkları çalışmada bitki yüzey sıcaklığı ile elverişli toprak suyu düzeyi arasında ilişkilerin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sulamada suyun zamanının belirlenmesinde bitki sıcaklığı ( $T_c$ ) ve hava sıcaklığı ( $T_a$ )'na dayalı bir çok çalışma yapılmış ve bazı indeksler geliştirilmiştir. Jackson ve ark. (1977) Stres

Düzey Günü (SDD) olarak adlandırılan  $T_c-T_a$ 'ya dayalı bitkinin su durumunu gösteren bir indeks kullanmışlardır. Sulama yapıldıktan sonra SDD'nin pozitif değerlerinin toplamı bir sonraki sulama zamanının tespitinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Kamat ve ark. (1985) tarafından buğdayda yapılan çalışmada SDD'nin verim ile istatistiksel olarak yüksek oranda ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Idso ve ark. (1981) tarafından geliştirilen bitki su stres indeksi (CWSI) son yıllarda sulama programlamasında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. CWSI hesaplanması  $T_c-T_a$  ve havanın buhar basıncı açığının (VPD) doğrusal regresyonu ile elde edilen alt ve üst limite dayanmaktadır. Alt limit yeterli terlemenin gerçekleştiği, üst limit ise terlemenin olmadığı bitki koşullarından elde edilmektedir. CWSI, mevcut bitki koşullarında  $T_c-T_a$ 'ya karşın VPD kesişim noktasının, üst limit ile farkının ve üst ve alt limit farkına oranıdır. Şekil 1'de CWSI değerlerinin elde edildiği grafik gösterilmiştir.



**Şekil 1.** CWSI değerinin belirlenmesinde kullanılan temel grafik (Kırnak ve ark. 2016)  
**Figure 1.** Basic graphics for determination of CWSI value

Yazar (1990) soya fasülyesi üzerinde yaptığı çalışmada bitki taç sıcaklıklarını ölçerek CWSI değerini belirlemiştir. Denemede CWSI ile verim arasında  $r^2=0.96$  gibi yüksek doğrusal ilişkinin olduğunu bildirmiştir. Gençoğlan (1999) tarafından Çukurova koşullarında mısır üzerinde yaptığı çalışmada infrared termometre kullanarak bitkiye ait CWSI değerini 0.21 olarak belirlemiştir. Bitkinin su stresinde olduğu üst sınır değerlerinin ilk yıl  $4.25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ikinci yıl ise  $3.50\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğunu bildirmiştir. Erdem ve ark. (2005) karpuz üzerinde yaptıkları çalışmada sulama programlamasında CWSI indeksinin kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Çalışmada sulama programlamasında CWSI değeri 0.6 olduğunda sulama yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Amerika'da 1985 ve 1986 yetiştirme sezonunda soya üzerinde yapılan çalışmada 4 farklı CWSI değeri (0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5) kullanılarak sulama programlamasında kullanılabilecek olanaklarını araştırılmıştır. Çalışmada CWSI değeri büyüdükçe bitki su tüketiminin azaldığını bulunmuştur. Ayrıca çalışmada CWSI ile ET ve stoma direnci arasında istatistiksel olarak önemli ilişkilerin olduğunu belirtilmiştir. Soya sulama programlamasında CWSI değeri 0.2 olduğunda sulamaların yapılmasını önerilmiştir (Nielsen 1990). Çolak ve ark. (2015) patlıcan üzerinde yürüttükleri çalışmada kaliteli ve yüksek verim almak için CWSI değerinin 0.18-0.20 arasında olduğunda sulamaların yapılmasını belirtmişlerdir. Ayrıca CWSI ile verim arasında doğrusal bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir.

### 3. Vejetasyon İndekslerinin Su Yönetiminde Kullanımı

Bitki ile temasın zor olduğu veya yetiştirilen ürüne zarar verme söz konusu olduğunda tarla düzeyli el radyometreleri kullanılarak uzaktan algılama ile bitkilerin durumlarının izlenmesine olarak tanınmaktadır. Spektral yansımının ölçülmesi ile çıplak gözle görülemeyen ve herhangi bir şekilde oluşmuş olan stresli bitkilerin bulunduğu alanlar gözle görülebilir duruma gelmeden önce tespit edilebilmektedir. Çünkü stresli bitkiler sağlıklı bitkilerden farklı yansıma göstermektedir. Sağlıklı bitkiler güneşten gelen mavi ve kırmızı dalga boylu ışığı absorbe ederken, yeşil dalga boylu ışığı yansıtmaktadır (Çamoğlu ve ark. 2010). Jackson ve ark. (1980) spektral veriler ile bitkideki fizyolojik parametrelerin (yaprak alan indeksi, kuru madde, kuru ağırlık, örtü yüzdesi vb.) tahmin edilmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Spektrodijometre ile ölçülen iki banda ait yansıma değerlerinin birbirine oranlanmasıyla bitkinin izlenmesinde oldukça etkili vejetasyon indeksleri elde edilebilmektedir (Thenkabail ve ark. 2000). Yapılan birçok çalışmada bitki katsayısı ( $k_c$ ) ile bitkideki su stresinin tespitinde vejetasyon indekslerinin başarılı bir şekilde kullanılabileceği ortaya konmuştur (Hunsaker ve ark. 2003a; Fitzgerald ve ark. 2003).

Hatfield ve ark (1985) tarafından yürütülen çalışmada yaprak alan indeksi (YAI) ile yakın kızıl ötesi (NIR) ve kırmızı (RED) bant oranının istatistiksel olarak önemli bir ilişkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Tucker (1980) yaptığı çalışmada bitki örtüsünün su içeriğini belirlemede 1550-1750 nm dalga boyu aralığının en uygun aralık olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Carter (1993) yürüttüğü çalışmada strese girmiş bitkilerde görünür dalga boyunda daha fazla yansıma yaptığını belirtmiş ve su stresine karşı en duyarlı dalga boyu aralıklarının 535-640 nm ve 685-700 nm olduğunu bildirmiştir.

Çamoğlu ve ark. (2010) da Çanakkale’de tatlı mısır üzerinde yürüttükleri çalışmada spektral indeksler kullanılarak bitki su stresini gözlemlenebileceğini bildirmişlerdir. Çalışmada normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi (NDVI), su bandı indeksi (WBI), basit oran (SR), yapısal bağımsız pigment indeksi (SIPI), pigment spesifik basit oran indeksi (PSSR), ayarlanmış klorofil absorpsiyon yansıma indeksi (MCARI), Zarco ve Miller (ZM) indeksini kullanmışlardır. Çalışmada su stresinin derecesine bağlı olarak spektral indekslerin aldığı değerler belirgin biçimde farklılaştığını belirtmişlerdir.

Köksal ve ark. (2008) yürüttükleri çalışmada bitki su tüketimi (ET<sub>c</sub>), verim su kullanım etkinliği (WUE), tahmin edilmesinde vejetasyon indekslerinin kullanılabileceğini özellikle toprak yansımalarını dikkate alan (SAVI) indeksinin verim, ET<sub>c</sub> ve WUE tahmininde etkili bir indeks olduğunu belirtmişlerdir. Gonzalez-Dugo ve Mateos (2008)’te yürüttükleri çalışmada hem pamuk hem de şeker pancarında NDVI ve SAVI vejetasyon indekslerinin YAI, biyomas gibi bitki özelliklerinin tahmininde de kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Mandal ve ark.(2007) sorgum üzerinde yürüttükleri denemede vejetasyon indeksleri ile verim ve YAI arasında önemli istatistiksel ilişkiler olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca vejetasyon indeksleri ile kuru madde miktarı arasındaki ilişki diğer özelliklere göre istatistiksel olarak daha düşük bulunduğunu bildirmişlerdir. Marshall ve ark. (2016) yürüttükleri çalışmada ET tahmininde 743 ve 953nm dalga boylarının oranlanması kullanılması önermişlerdir. Hunsaker ve ark. (2003 b) pamuk’ta yürüttükleri çalışmada bitki katsayısı ( $k_c$ ) ile NDVI arasında ( $r^2 = 0,97$ ) istatistiksel olarak önemli ilişkilerin olduğunu ortaya koymuşlardır. Köksal (2008) de şeker pancarı ve taze fasulye üzerinde yaptığı çalışmada  $k_c$  ile basit oran (SR), NDVI ve SAVI arasında önemli istatistiksel ilişkilerin olduğunu ortaya koymuştur. Taze fasulyede  $k_c$  ile SR, NDVI ve SAVI arasında sırasıyla

(R) 0.80, 0.74 ve 0.78 ilişki olduğunu şeker pancarı  $k_c$  ile vejetasyon indeksleri arasında sırasıyla 0.80, 0.77ve 0.84 gibi istatikselsel ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur. Tablo 1’de bazı spektral vejetasyon indeksleri ve kullanılan eşitlikler verilmiştir.

**Tablo 1.** Spektral vejetasyon indeksleri (VI-Vejetasyon indeksi; EVI-Geliştirilmiş vejetasyon indeksi; NPCI-Normalize edilmiş pigment klorofil indeksi; GNDVI-Yeşil için Normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi; NDVI-Normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi; MCARI-Modifiye edilmiş yansıma oranında klorofil absorpsiyon indeksi; NWI-Normalize edilmiş su indeksi; OSAVI-Optimize edilmiş toprak yansımalarını dikkate alan indeks; SAVI-Toprak yansımalarını dikkate alan indeks),

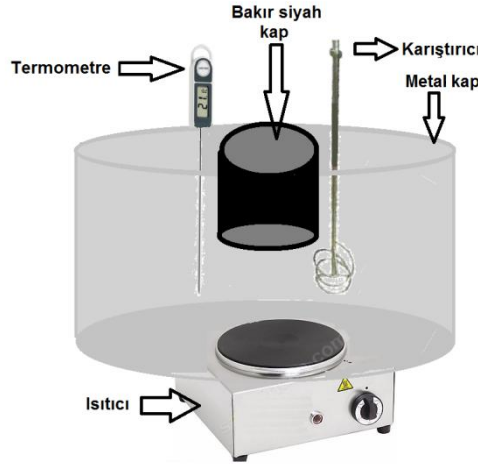
**Table 1.** Spectral vegetation indices (VI- Vegetation index; EVI- Enhanced vegetation index; NPCI- Normalized pigment chlorophyll ratio index; GNDVI- Green normalized difference vegetative indices; NDVI-Normalized difference vegetative indices; MCARI- Modified chlorophyll absorption ratio index; NWI- Normalized water index; OSAVI- Optimized soil-adjusted vegetation index; SAVI-Soil-adjusted vegetation index)

Spektral vejetasyon indeksleri	Kullanılan eşitlik	Kaynak
VI	$VI = \frac{R800}{R680}$	Birth ve McVey (1968)
EVI	$EVI = 2.5 \times \frac{R800 - R680}{R800 + 6 \times R680 - 7.5 \times R480 + 1}$	Liu ve Huete (1995)
NPCI	$NPCI = \frac{R680 - R430}{R680 + R430}$	Aparicio ve ark., (1994)
GNDVI	$GNDVI = \frac{R800 - R550}{R800 + R550}$	Kaufman ve Merzlyak (1996)
NDVI	$NDVI = \frac{R800 - R680}{R800 + R680}$	Penuelas ve ark.(1997)
MCARI	$MCARI = \left[ (R700 - R670) - 0.2 \times (R700 - R550) \frac{R700}{R670} \right]$	Daughtry ve ark., (2000)
NWI	$NWI = \frac{R970 - R900}{R970 + R900}$	Strachan ve ark., (2002)
OSAVI	$OSAVI = \frac{(1 + 0.16)(R800 - R680)}{(R800 + R680 + 0.16)}$	Rondeaux ve ark., (1996)
SAVI	$SAVI = \frac{(1 + 0.5)(R800 - R680)}{(R800 + R680 + 0.5)}$	Heute (1988)

#### 4. İnfrared Termometre Kalibrasyonu ve Ölçüm Yöntemi

İnfrared termometreler görüş açısındaki cisimlerin yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kullanılan bir araçtır. Her cihazda olduğu gibi infrared termometreler ile de ölçüm alınmadan önce mutlaka kalibrasyonu yapılmalıdır. İnfrared termometre kalibrasyonu için yüzey sıcaklığı belirlenebilen siyah cisim kullanılmaktadır (Fucs ve Tanner 1966). Bunun için hazırlanan düzenekte içerisinde su ısıtıcı ve termometre bulunan su kabı ve siyah boya ile boyanmış bir bakır kaptan oluşan düzenek kurulmuştur (Şekil 2). Su ısıtılarak bakır

kabın yüzey sıcaklığı infrared termometre ile ölçülmekte ve su sıcaklığı değişimine göre kalibrasyon yapılmaktadır.



**Şekil 2.** İnfrared termometre kalibrasyon düzeneği (Fucs ve Tanner 1966)

**Figure 2.** Infrared thermometer calibration system (Fucs and Tanner, 1966)

Güneşin geliş açısına bağlı olarak ve gölgelemenin etkisini yok etmek için ölçümler, solar azimut açısı 0, 90, 180, ve 270 dereceden toplamda 4 yönde olacak şekilde ölçümler yapılmalıdır. Termometre görüş açısında sadece bitki örtüsü görüş açısında konumlandırılmalı ve bitki örtüsüne 60 °C zenith açısı ile ölçümler alınmalıdır. Ölçümler stresin pik olduğu saatler olan günün 13:00-14:00 arasında havanın bulutsuz olduğu zamanlarda alınmalıdır (Şekil 3).



**Şekil 3.** Bitki yüzey sıcaklığının ölçümü

**Figure 3.** Measurement of plant canopy temperature

## 5. Spektrometre Kalibrasyonu ve Ölçüm Yöntemleri

Spektrometreler spektral verilerin hızlı ve kolay bir şekilde elde edilmesinde kullanılan araçlardır. Spektrometreler ölçümden önce genellikle BaSO<sub>4</sub>tan yapılmış plakalar kullanılarak kalibre edilmektedir. Bitkilerin maruz kaldığı radyasyonun belirlenmesinde spektrometre bir sehpa üzerine yerleştirilerek ve el yardımıyla yer yüzeyine dik olacak şekilde ölçümler alınmaktadır. Ölçümler güneş ışınlarının 45<sup>0</sup>-50<sup>0</sup> olduğu saatlerde yapılmalıdır. Okumalarda cihaz bitki sıra arası uzaklığına bağlı olarak yüksekliği ayarlanmalıdır. Ölçümde bitki yüzeyi görülecek şekilde ölçümler yapılmalıdır (Şekil 4). Yansıma oranı, bitkiden yansıyan (radiance) ve etkisinde kaldığı solar radyasyonun (irradiance) birbirine oranlanarak belirlenmektedir.

## 6. Sonuç

Sulanan alanlarda su yönetimi sürdürülebilir tarım için çok önemlidir. Su yönetiminde bitkiye ne zaman ne kadar su verileceği oldukça önem arz etmektedir. Günümüzde uzaktan algılama yöntemleriyle sulanan alanlarda su yönetiminin planlanması hem zaman hem de su kaynaklarının korunmasında önemli rol oynamaktadır. Uzaktan algılama ile sulama suyu yönetimi yapılırken iki farklı yöntemden bahsetmek mümkündür. Bunlardan birinci infrared termometre kullanarak yüzey sıcaklığının belirlenmesi bir diğeri ise bitkilerden yansıma oranlarının ölçülerek vejetasyon indekslerinin kullanımınıdır. Büyük alanlarda uzaktan algılama teknikleri kullanılarak bitkide meydana gelen su stresinin neden olduğu belirtiler kolay ve pratik bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu stres durumu bitki yaprak sıcaklığı ile doğrudan, vejetasyon düzeyi ile dolaylı olarak belirlenebilmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde infrared termometre ile ölçülerek belirlenen CWSI ile spektrometre ölçümleri ile belirlenen vejetasyon indeksleri bitkilerin su stresi, besin eksikliği vb. ile fizyolojik parametreler ile istatistiksel olarak önemli ilişkilere sahip olduğu belirlenmiştir. Etkin bir sulama suyu yönetiminde infrared termometre ve spektrometrelerin başarılı bir şekilde kullanılabileceği söylenebilir.

## 7. Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi BAP FYL-2016-6856 nolu proje kapsamında yapılmıştır.

## Kaynaklar

- Carter GA. (1993). Responses of leaf reflectance to plant stress. *American J. Botany*, 80:239-243.
- Çamoğlu G, Aşık Ş ve Genç L. (2010). Mısır bitkisinin su stresine karşı spektral tepkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 3 (1): 37-43.
- Çolak Y B, Yazar A, Çolak İ, Akça H ve Duraktekin G (2015). Evaluation of crop water stress index (CWSI) for egg plant under varying irrigation regimes using surface and sub surface drip systems. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 4: 372-382.
- Ehrler W L. (1973). Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. *Agronomy J.*, 65:404-409.
- Erdem Y, Erdem T, Orta A H ve Okursoy H (2005). Irrigation scheduling for watermelon with crop water stress index (CWSI). *Journal of Central European Agriculture* Vol.6 No.4 (449-460).
- Fereres E. and Evans R G. (2006). Irrigation of fruit trees and vines , an introduction. *Irrigation Science*. Vol.24. pg.55-57.
- Fitzgerald, G.J., Hunsaker, D.J., Barnes, E.M., Clarke, T.R., Lesch, S.M., Roth, R. and Pinter Jr,P.J. 2003. Estimating Cotton Crop Water Use From Multispectral Aerial Imagery. In *Irrigation Associations Exposition and Technical Conference*, San Diego, Ca, Nov. 18-20. PP.138-148. Fuchs M, and Tanner C B. (1966). Infrared thermometry of vegetation. *Agronomy J.*, 58:597-601.

- Gates D M. (1964). Leaf temperature and transpiration. *Agron J.* 56:273-277.
- Gençoğlan C. (1999). Çukurova koşullarında yetiştirilen I. ürün mısır bitkisinde infrared termometre değerlerinden yararlanılarak bitki su stres indeksi (CWSI) ve sulama zamanının belirlenmesi. *Tr. J. Of AgricultureandForestry*, 23: 87-95.
- Gonzalez-Dugo M P. and Mateos L. (2008). Spectral vegetation indices for benchmarking water productivity of irrigated cotton and sugarbeet crops. *Agricultural Water Management* 95:48-58.
- Hatfield J L, Kanemasu E T, Asrar G, Jackson R D, Pinter P J, Jr, Reginato R J. andIdso S B. (1985). Leafareastimationfromspectralmeasurementsovervariousplantingdates of wheat. *Int. J. Remote Sensing*, 6(1):167-175.
- Hunsaker D J, Pinter Jr. P J, Barnes E M. and Kimball B A. (2003a). Estimating cotton evapotranspiration crop coefficients with a multispectral vegetation index. *Irrig. Sci.*22: 95-104.
- Hunsaker D J, Pinter Jr, P J, Fitzgerald G J, Clarke T R, Kimball B.A. and Barnes, E.M. (2003b.) Tracking Spatial And Temporal Cotton Dt Patterns With A Normalized Difference Vegetation Index. *Irrigation Associations Exposition And Technical Conference Proceedings*. Pp. 126-137.
- Idso S B, Jackson R D, Pinter P J, Reginato R J. and Hatfield J L. (1981). Normalizingthestress-degree-dayparameterforenvironmentalvariability. *AgriculturalMeteorology*, 24:45-55.
- Jackson R D, Idso S B. and Reginato R J. (1977). Remote sensing of crop canopy temperatures for scheduling irrigations and estimating yields. *Proc.Symp. On Remote Sensing of Natural Resources*, Utah State University. Logan. UT.
- Jackson R D, Pinter Jr, P.J, Reginato R J. and Idso S B. (1980). Hand - held radiometry. A set of notes developed for use at the workshop on hand-held radiometry. Phoenix, Ariz., February 25 –26, 1980.
- Kamat D S, Gopalan S K A, Shashikumar N M, Sinha K S, Chaturvedi S G. and Singh K A. (1985). Assessment of waterstresseffects on crops. *Int J. Remote Sensing*6:577-589.
- Keskin M. (2007). Spektroyometreler ve tarımda kullanımı. *Tarımsal Mekanizasyon* 24. Ulusal Kongresi, 5-6 Eylül 2007, Kahramanmaraş. 326-332.
- Köksal E S. (2006). Sulama suyu düzeylerinin şekerpancarının verim, kalite ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkisinin, İnfrared termometre ve spektroyometre ile belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Doktora tezi.
- Köksal E S. (2008).Hyperspectral reflectance data processing through cluster and principal component analysis for estimating irrigation and yield related indicators. *AgriculturalWater Management* 98:1317-1328.
- Köksal E S, Kara T, Apan M, Üstün H and İlbeyi A. (2008). Estimation of gren bean yield, water deficiency and productivity using spectral indexes during the growing season. *Irrig Drainage Syst.* 22: 209-223.
- Mandal U K, Victor U S, Srivastava N N, Sharma K L, Ramesh V, Vanaja M, Korwar G R. and Ramakrishna Y S. (2007). *Agricultural Water Management* 87:315-327.
- Marshall M, Thenkabail P, Biggs T. and Post Kirk. (2016). Hyperspectral narrowband and multispectral broadband indices for remote sensing of crop evapotranspiration and its componenets (transpiration and soil evaporation). *Agricultural and Forestry Meteorology* 218-219, 122-134.
- Nielsen D.C (1990). Scheduling irrigations for soybeans with the crop water stress index (CWSI). *Field crop research*, 23:103-116.
- Payero J O, Tarkalson D D, Irmak S, Davison D. and Petersen J L. (2009). Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass
- Smith R C G, Prathapar S A. and Barrs H D. (1989). Use of thermal scanner image of water stressed crop to study soil spatial variability. *Remote Sens. Environ.*, 29:111- 120.
- Tanner C B. (1963). Plant temperatures. *Agron J.* 55:210-211.
- Thenkabail P S, Smith R B. andPauw E D. (2000). Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sens. Environ.* 71:158-182.
- Tucker C J. (1980). Remote sensing of leafwatercontent in the nearinfrared. *Remote Sens. Environ.* 10:23-32.
- Yazar A, (1990). Utilization of infrared thermometry technique for assessing crop water stres and irrigation scheduling for soybean. *Tr. J. Of AgricultureandForestry*, 14(4): 517-533.
- Zhang L, Zhou Z, Zhang G, Meng Y, Chen B. and Wang Y. (2012). Monitoring the leaf water content and spesific leaf weight of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in saline soil using leaf spectral reflectance. *Europ. J. Agronomy* 41:103-117.