



Mısır Bitkisinin Su Stresine Karşı Spektral Tepkileri

Gökhan ÇAMOĞLU¹

Şerafettin AŞIK²

Levent GENÇ³

¹ E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Böl., Bornova, İZMİR

² E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Böl., Bornova, İZMİR

³ Ç.O.M.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Böl. ÇANAKKALE

*Sorumlu Yazar
gokhan.camoglu@ege.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Çanakkale yöresinde yetiştirilen tatlı mısırın sulama öncesi ve sulama sonrası olmak üzere yetiştirme periyodu boyunca su stresine karşı spektral tepkileri ölçülmüş ve elde edilen yaprak düzeyindeki spektral ölçümlerden yararlanılarak normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi (NDVI), su band 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 indeksi (ZM) olmak üzere yedi farklı spektral indeks hesaplanmıştır. Söz konusu spektral indekslerin su stresini ayırt edebilme kabiliyetleri araştırılmıştır. Görünür ve yakın kızılötesi bölgeden hesaplanan bu indeksler su stresine karşı farklı değerler almışlardır. Stres düzeyi arttıkça SIPI ve MCARI değerleri artarken, diğer spektral indekslerin değerleri azalmıştır. Genel olarak tüm spektral indeksler birbirine yakın stres derecelerini tam olarak ayırt edememiştir. Ancak stres derecesinin artması ile spektral indekslerin aldığı değerler belirgin bir biçimde farklılaşmıştır. Sonuç olarak yapılan bu çalışma, uzaktan algılama tekniklerinin arazi çalışmalarında kullanılarak su stresinin gözlemlenebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Spektral indeks, mısır, su stres, sulama

Spectral Responses to Water Stress of Corn

Abstract

In this study, spectral response to water stress of sweet corn grown in the Canakkale region was measured before and after irrigation during the growing period. Spectral indices which are normalized differential vegetation index (NDVI), water band index (WBI), simple ratio (SR), structure-independent pigment index (SIPI), pigment specific simple ratio (PSSR), modified chlorophyll absorption ratio index (MCARI), Zarco and Miller (ZM) were calculated by using leaf reflectance measurements. The ability of discrimination of water stress of the spectral indices were investigated. The indices calculated from visible and near-infrared region had different values to water stress. While increasing stress level, SIPI and MCARI values increased and the others decreased. In general, all of the spectral indices did not distinguish the exactly levels of stress which are close to each other. However, the values of the spectral indices were distinctly different, with increasing of stress level. As a result, this study has shown that water stress could be observed, using remote sensing techniques in the field studies.

Key Words: Spectral indices, corn, water stress, irrigation

GİRİŞ

Bitkiyle fiziksel temasın zor olduğu veya bitkiye zarar verme durumunun söz konusu olduğu durumlarda bitkilerin uzaktan algılanabilmesi, geniş alanların görüntüsünün hızlı ve tekrarlanabilir bir şekilde daha az işgücüyle elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu bilgiler tüm yetiştirme periyodu boyunca kullanılabilirliklerinden, geleneksel tarla gözlemlerine iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Uzaktan algılamanın tarımdaki kullanım alanları; ürünlerin yetiştirme alanlarının belirlenmesi, kızılötesi görüntülerle bitki durumunun incelenmesi, bitki besin maddeleri durumunun tahmini, verim tahmini ile hastalık, zararlı veya drenaj durumunun tespiti konularında mümkün olabilmektedir [1].

Uzaktan algılama veri ve görüntüleri, bitkilerin sağlığını izleme olanağı sağlar. Multispektral uzaktan algılama, çıplak gözle görülemeyen yansıyan ışığı belirleyebilir. Bitki yapraklarındaki klorofil, güneşten gelen mavi ve kırmızı dalga boylu ışığı absorbe ederken,

yeşil ışığı yansıtır. Stresli bitkiler sağlıklı bitkilerden farklı yansıma gösterirler. Bir başka deyişle sağlıklı bitkiler, stresli bitkilerden daha fazla kızılötesi (infrared) enerji yansıtırlar. Bu prensipten yararlanarak stresli bitkilerin bulunduğu alanlar gözle görülebilir duruma gelmeden önce tespit edilebilmektedir. Böylelikle üreticiler, sorunlu alanları analiz etmede ek bir zamana ve erken müdahale etme şansına sahip olabilmektedirler [2].

Yapılan çalışmalar bir çok bitkinin su stresine karşı farklı yansımalar gerçekleştirdiğini göstermiştir [3-14]. Ancak söz konusu çalışmalarda bitkinin farklı büyüme dönemlerinde sulama öncesi ve sonrasında oluşan farklılıklar dikkate alınmamıştır.

Bu çalışmada, mısır bitkisinin sulama öncesi ve sulama sonrası olmak üzere yetiştirme periyodu boyunca su stresine karşı yaprak düzeyindeki spektral tepkileri ölçülmüş, elde edilen ölçüm verilerine göre yedi farklı spektral indeks hesaplanmış ve bu indekslerin su stresini ayırt edebilme kabiliyetleri araştırılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu araştırma, 2007 ve 2008 yıllarında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dardanos Araştırma ve Uygulama Birimi'nde kurulan bir denemede yürütülmüştür. Denemede, bitki materyali olarak Merit adlı hibrit tatlı mısır (*Zea mays saccharata* Sturt.) çeşidi kullanılmıştır.

Deneme alanı topraklarının 0-90 cm toprak derinliği için tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri sırasıyla 309.15 mm ve 137.40 mm'dir. Denemenin yapıldığı 2007 ve 2008 yıllarında yetiştirme periyodu boyunca gerçekleşen Mayıs-Haziran-Temmuz-Ağustos aylarına ilişkin ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla yaklaşık 24 °C ve 23 °C olmuştur.

Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü kurulmuştur. Denemede 1 tam (kontrol) ve 5 kısıtlı sulama olmak üzere toplam 6 konu ele alınmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Uygulanan sulama konuları

Sulama konusu	Açıklama
S ₁₀₀	7 günde 0-90 cm toprak derinliğinde eksilen nemin tarla kapasitesine tamamlanması (Kontrol)
S ₈₀	S ₁₀₀ konusunda tüketilen suyun %80'i
S ₆₀	S ₁₀₀ konusunda tüketilen suyun %60'ı
S ₄₀	S ₁₀₀ konusunda tüketilen suyun %40'ı
S ₂₀	S ₁₀₀ konusunda tüketilen suyun %20'si
S ₀	Susuz

Tohumlar, sıra arası 0.70 m ve sıra üzeri 0.20 m olacak şekilde ekim makinesi ile yaklaşık 5 cm derinliğe ekilmiştir. Ekim, 2007 yılında 12 Mayıs ve 2008 yılında 15 Mayıs tarihlerinde yapılmıştır.

Deneme parselleri 10 m x 3.5 m olacak şekilde düzenlenmiştir. Her deneme parselinde 5 bitki sırası bulunmaktadır. Her parselin kenar sıraları, ortadaki sıraların başı ve sonunda yer alan bitkiler kenar etkisi için ayrılmış ve bu bitkilerden veri alınmamıştır.

Can suyu niteliğindeki ilk sulama suyu, ekimden hemen sonra tüm konularda 90 cm toprak derinliğindeki mevcut nemi tarla kapasitesine getirecek şekilde uygulanmıştır. Konulara göre ilk sulama, tüm konularda 90 cm toprak derinliğindeki kullanılabilir su düzeyi yaklaşık olarak %50'ye düştüğünde yapılmıştır. İlk sulamaya başlama zamanını belirleyebilmek için düzenli olarak 0-30, 30-60 ve 60-90 cm toprak derinliklerinden bozulmuş toprak örnekleri alınarak gravimetrik yöntemle göre nem miktarları belirlenmiştir. İlk yıl ekimden 42 gün, ikinci yıl ise 36 gün sonra sulamalara başlanmıştır. Sulama yöntemi olarak damla sulama kullanılmıştır.

Bitkilerin spektral yansıma değerleri, Analytical Spectral Devices (ASD) el spektrometresiyle ölçülmüştür. Aletin spektral yansıma ölçüm aralığı 325–1075 nm, spektral çözünürlüğü 700 nm'de 3.5 nm, dalga boyundaki hata payı 1 nm'dir [15]. Spektral ölçümler, her sulama öncesinde ve sonrasında yaprak düzeyinde yapılmıştır. Ölçümler, havanın bulutlu olmadığı günlerde saat 10:00 ile 14:00 arasında gerçekleştirilmiştir [16]. Yapılan ölçümlerde spektrometre, sehpa üzerine yüzeye dik

(nadir pozisyonda) olacak şekilde ve güneşin geliş açısını engellemeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Ölçümlerde 1° görüş açılı lens kullanılmıştır. Spektrometrenin ölçüm uzaklığı ve tarama alanı sırasıyla yaklaşık 20 cm ve 0.35 cm²'dir. Bu değerlerin, her ölçümde sabit olmasına dikkat edilmiştir. Ölçümler, bitkinin hasar görmemiş ve olgunluğunu tamamlamış, en üstten üçüncü, dördüncü ve beşinci yapraklarında yapılmıştır. Yapılan bu yansıma ölçümlerinin büyüme dönemi boyunca aynı bitki üzerinde olmasına dikkat edilmiştir. Her ölçüm öncesi spektrometre kalibre edilmiştir. Kalibrasyon 9 cm çapındaki BaSO₄ plakası ile yapılmıştır. Her bir noktada, ard arda 5 kez ölçüm alınmış ve alınan bu ölçümlerin ortalamasından yararlanılarak Çizelge 2'de verilen spektral indeksler hesaplanmıştır.

Konular arasında istatistiksel olarak önemli bir farkın olup olmadığı varyans analizi ile, farkın önemli olması durumunda ise bu farkın hangi konular arasında olduğu Duncan testi ile belirlenmiştir. Bu testler SPSS 13.0 [17] paket programı yardımıyla yapılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Mısır bitkisinde yetiştirme periyodu boyunca yaprak düzeyinde yapılan yansıma ölçümlerinden hesaplanan spektral indeksler Çizelge 3-9 ve Şekil 1-7'de gösterilmiştir. Çizelgeler spektral indekslerin ortalama değerlerini ve bunların Duncan sınıflarını (%5 önem düzeyinde), şekiller ise deneme süresince konulardan elde edilen tüm spektral indekslerin büyüme dönemlerine göre değişimlerini göstermektedir. Çizelgelerde her bir büyüme döneminde yer alan farklı büyük harfler, sulama konuları arasındaki; her bir konudaki farklı küçük harfler ise büyüme dönemleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, şekiller üzerinde belirtilen oklar sulama günlerini ifade etmektedir.

Çizelge 2. Hesaplanan spektral indeksler

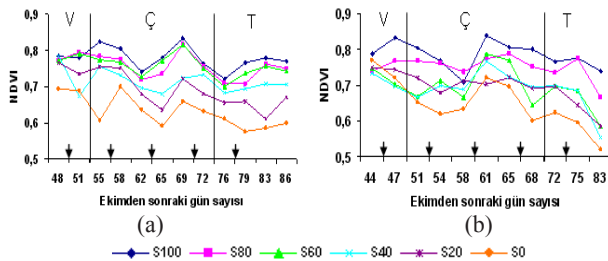
Spektral İndeks	İlgili Özellik	Eşitlik	Kaynak
Normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi (NDVI)	Klorofil	$NDVI = \frac{R_{800} - R_{680}}{R_{800} + R_{680}}$	[5]
Su İndeksi (WBI)	Su içeriği	$WBI = \frac{R_{900}}{R_{970}}$	[5]
Basit oran (SR)	Klorofil	$SR = \frac{R_{900}}{R_{680}}$	[18]
Yapısal Bağımsız Pigment İndeksi (SIPI)	Karotenoid Klorofil	$SIPI = \frac{(R_{800} - R_{445})}{(R_{800} - R_{680})}$	[19]
Pigment Spesifik Basit Oran İndeksi (PSSR)	Klorofil	$PSSR = \frac{R_{775}}{R_{747}}$	[20]
Değiştirilmiş klorofil absorpsiyon yansıma indeksi (MCARI)	Klorofil	$MCARI = \left[\frac{(R_{700} - R_{670})}{0.2(R_{700} - R_{550})} \right] \left(\frac{R_{700}}{R_{670}} \right)$	[21]
Zarco ve Miller indeksi (ZM)	Klorofil	$ZM = \frac{R_{750}}{R_{710}}$	[22]

Normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi (NDVI)

Yaprak düzeyinde yapılan yansıma ölçümlerinde, yapraktaki klorofil içeriğine göre değişen NDVI değerleri, genel itibarıyla su stresinin artışına bağlı olarak azalmıştır (Çizelge 3 ve Şekil 1). Çalışmada NDVI indeksi her iki yıl ve tüm büyüme dönemleri dikkate alındığında, yaklaşık 0.6 (S_0) ile 0.8 (S_{100}) arasında değiştiği görülmektedir. Sağlıklı bitkilerde söz konusu indeks değerinin en yüksek değer olan 1'e yaklaşacağı bildirilmiştir. Çizelge 3'den Duncan testi sonuçları incelendiğinde, her iki yılda da, sadece sulama öncesi çiçeklenme döneminde konular arasında üç grup oluştuğu ve S_0 konusu diğerlerinden belirgin düzeyde ayrıldığı görülmektedir. Sulama sonrası NDVI değerlerinde ise her dönemde konular arasında farklılık oluşmuştur. Bu farklılık, özellikle yine çiçeklenme döneminde gözlenmiş olup, her iki yılda da anılan dönemde dört grup oluşmuştur. Stres uygulanmayan S_{100} konusu, her iki yılda ve tüm büyüme dönemlerinde S_80 konusundan belirgin bir biçimde ayrılmamıştır. Verilen sulama suyundaki azalmaya bağlı olarak NDVI değerleri de düşmüştür. Bu düşme, özellikle stresin bitkiler tarafından daha çok hissedilmeye başlandığı vejetatif dönemden sonra görülmüştür. Konuların büyüme dönemlerine göre değişimleri incelendiğinde, genel olarak, su stresinin fazla olduğu konuların NDVI değerlerinin, dönemlere göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Özellikle S_0 konusunun NDVI değerleri, vejetatif dönemden sonra belirgin oranda düşmüş ve diğer dönemlerden farklı bir grupta yer almıştır. Yani şiddetli su stresi altındaki bitkilerin klorofil miktarındaki hızlı düşüşe bağlı olarak NDVI değerinin de düştüğü gözlenmiştir.

Çizelge 3. 2007 ve 2008 yıllarında mısır bitkisinin konulara göre sulama öncesi ve sulama sonrası büyüme dönemlerine ilişkin NDVI değerleri

SK	Sulama Öncesi			Sulama Sonrası		
	V	Ç	T	V	Ç	T
2007						
S_{100}	0.783 NS ns	0.800 A ns	0.722 NS ns	0.780 A ns	0.783 A ns	0.766 A ns
S_{80}	0.774 NS ns	0.774 A ns	0.710 NS ns	0.803 A ns	0.756 AB ns	0.708 AB ns
S_{60}	0.772 NS a	0.769 A a	0.700 NS b	0.790 A ns	0.763 AB ns	0.737 A ns
S_{40}	0.785 NS a	0.726 B ab	0.683 NS b	0.673 B ns	0.715 BC ns	0.694 AB ns
S_{20}	0.767 NS a	0.718 B ab	0.656 NS b	0.736 AB ns	0.690 C ns	0.658 B ns
S_0	0.690 NS a	0.634 C b	0.611 NS b	0.689 B a	0.642 D b	0.576 C c
2008						
S_{100}	0.789 NS ns	0.774 A ns	0.766 A ns	0.833 A ns	0.802 A ns	0.776 A ns
S_{80}	0.740 NS ns	0.765 A ns	0.735 A ns	0.769 AB ns	0.763 AB ns	0.774 A ns
S_{60}	0.748 NS ns	0.702 B ns	0.697 A ns	0.703 B ns	0.715 C ns	0.686 B ns
S_{40}	0.733 NS ns	0.693 BC ns	0.699 A ns	0.697 B ns	0.720 BC ns	0.684 B ns
S_{20}	0.751 NS ns	0.719 B ns	0.697 A ns	0.745 B a	0.690 CD b	0.645 BC b
S_0	0.770 NS a	0.661 C b	0.623 B b	0.722 B a	0.648 D b	0.596 C b



Şekil 1. Mısır bitkisinin 2007(a)-2008(b) yıllarında yetiştirme periyodu boyunca konulara göre NDVI değişimleri

Su band indeksi (WBI)

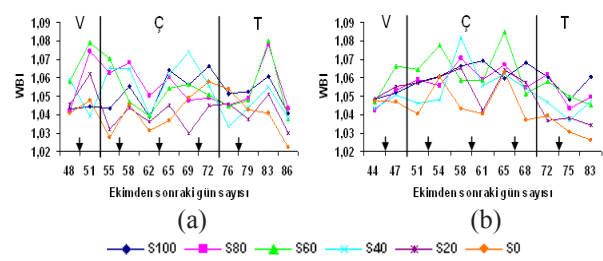
Yaprak su içeriğinin bir göstergesi olan WBI değerlerinin, genel olarak su stresinin artışına bağlı olarak azaldığı söylenebilir (Çizelge 4 ve Şekil 2). WBI değerleri incelendiğinde, 2007 yılında sulama öncesi çiçeklenme ve sulama sonrası vejetatif büyüme dönemlerinde, 2008 yılında ise sadece sulama sonrası çiçeklenme döneminde konular arasında farklılık bulunmuştur (Çizelge 4). Genel itibarıyla en yüksek WBI değerleri, su stresi uygulanmayan veya daha az uygulanan konularda gerçekleşmiştir. Büyüme dönemlerine göre WBI değerlerinin değişiminin istatistiksel açıdan önemli olduğu konularda (2007 yılı sulama öncesi S_{40} ve sulama sonrası S_{20} - S_{60} ; 2008 yılı sulama öncesi S_{20} ve sulama sonrası S_{20} - S_{40}) bu değerler giderek azaldığı ve bunun da yaprak su içeriğindeki azalmaya bağlı olduğu düşünülebilir. Hasattan hemen önceki ölçümlerde konular arasındaki farklılığın daha belirgin olduğu (Şekil 2), bunun da hasat öncesinde su stresinin uygulandığı konulardaki yaprak su içeriğinin önemli oranda azalmasına bağlı olarak meydana geldiği söylenebilir.

Basit oran (SR)

Yapraktaki klorofil miktarının göstergesi olan SR değerleri, genel olarak S_{100} konusundan S_0 konusuna doğru azalmıştır (Çizelge 5 ve Şekil 3). Diğer bir deyişle su stresinin artışına bağlı olarak azalmıştır. Bu çalışmada da en yüksek değerler yaklaşık 12 ile S_{100} konusunda olduğu görülmektedir. Çizelge 5 incelendiğinde, su stresine bağlı olarak SR değerlerindeki azalma sulama sonrasında daha belirgin hale gelmiştir. Sulama öncesinde S_0 , sulama sonrasında da S_{100} konularının diğer konulardan ayrılarak farklı bir grupta yer aldığı

Çizelge 4. 2007 ve 2008 yıllarında mısır bitkisinin konulara göre sulama öncesi ve sulama sonrası büyüme dönemlerine ilişkin WBI değerleri

SK	Sulama Öncesi			Sulama Sonrası		
	V	Ç	T	V	Ç	T
2007						
S_{100}	1.043 NS ns	1.046 BC ns	1.051 NS ns	1.044 BC ns	1.062 NS ns	1.052 NS ns
S_{80}	1.042 NS ns	1.054 AB ns	1.045 NS ns	1.073 A ns	1.059 NS ns	1.049 NS ns
S_{60}	1.058 NS ns	1.054 AB ns	1.045 NS ns	1.081 A a	1.051 NS b	1.048 NS b
S_{40}	1.059 NS a	1.060 A a	1.034 NS b	1.039 C ns	1.061 NS ns	1.044 NS ns
S_{20}	1.046 NS ns	1.033 CD ns	1.046 NS ns	1.062 AB a	1.045 NS b	1.038 NS b
S_0	1.039 NS ns	1.036 D ns	1.054 NS ns	1.048 BC ns	1.047 NS ns	1.043 NS ns
2008						
S_{100}	1.049 NS ns	1.061 NS ns	1.061 NS ns	1.052 NS ns	1.066 A ns	1.048 NS ns
S_{80}	1.042 NS ns	1.066 NS ns	1.062 NS ns	1.053 NS ns	1.057 ABC ns	1.044 NS ns
S_{60}	1.047 NS ns	1.069 NS ns	1.058 NS ns	1.066 NS ns	1.063 AB ns	1.050 NS ns
S_{40}	1.043 NS ns	1.063 NS ns	1.047 NS ns	1.051 NS a	1.053 BC a	1.037 NS b
S_{20}	1.048 NS b	1.062 NS a	1.037 NS b	1.055 NS a	1.054 BC a	1.038 NS b
S_0	1.047 NS ns	1.049 NS ns	1.039 NS ns	1.047 NS ns	1.046 C ns	1.030 NS ns



Şekil 2. Mısır bitkisinin 2007(a)-2008(b) yıllarında yetiştirme periyodu boyunca konulara göre WBI değişimleri

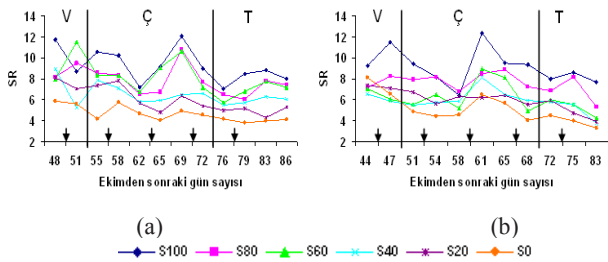
görülmektedir. Her iki yıl birlikte değerlendirildiğinde, konulara ilişkin SR değerlerinin büyüme dönemlerine göre değişimi, su stresinin en fazla olduğu S_0 konusunda hasada doğru azalma göstermiş ve bu azalma istatistiksel olarak önemli olmuştur.

Yapısal bağımsız pigment indeksi (SIPI)

Karotenoid/klorofil oranının bir göstergesi olan SIPI değerleri, sulama suyu miktarı ile ters orantılı olarak değişmiştir. Konular arasındaki farkın önemli olduğu dönemlerde S_{100} konusu en düşük değeri, S_0 konusu da en yüksek değeri almıştır. Her iki yıl birlikte değerlendirildiğinde, özellikle vejetatif dönemden sonra konular arasındaki farklar önemli bulunmuştur. S_{100} konusu özellikle sulama sonrasında diğer konulardan belirgin bir biçimde ayrılamamıştır. Ancak S_0 konusu 2007 yılında sulama öncesi çiçeklenme, sulama sonrası çiçeklenme ve tane dolumu-hasat, 2008 yılında da sulama sonrası çiçeklenme ve tane dolumu-hasat dönemlerinde diğer konulardan ayrılarak farklı bir sınıfta yer almıştır (Çizelge 6). Konuların büyüme dönemlerine göre değişimini gösteren Şekil 4 incelendiğinde, S_0 konusu 2007 yılında yetiştirme periyodu sonuna kadar oldukça belirgin bir şekilde diğer konulardan ayrılarak her ölçümde en yüksek değeri aldığı görülmektedir. 2008 yılında ise önceki yıla göre çiçeklenme dönemi sonuna kadar daha az fark olmasına karşın ekimden sonraki 68. günden itibaren en yüksek değeri alarak diğer konulardan ayrılmıştır. Her iki yılda da S_{100} konusunun SIPI değeri ile bu konuya en yakın S_{80} konusunun SIPI değeri zaman zaman aynı değerlerde olsa da genel itibarıyla S_{100} konusunun SIPI değeri en düşük seviyelerde ölçülmüştür.

Çizelge 5. 2007 ve 2008 yıllarında mısır bitkisinin konulara göre sulama öncesi ve sulama sonrası büyüme dönemlerine ilişkin SR değerleri

SK	Sulama Öncesi			Sulama Sonrası		
	V	Ç	T	V	Ç	T
2007						
S_{100}	11.72 NS ns	9.96 A ns	7.07 NS ns	8.67 NS ns	9.47 A ns	8.51 A ns
S_{80}	8.21 NS ns	8.65 A ns	6.47 NS ns	9.88 NS ns	7.60 BC ns	6.06 B ns
S_{60}	8.02 NS a	8.50 A a	5.75 NS b	11.75 NS ns	8.18 AB ns	6.84 AB ns
S_{40}	8.94 NS a	6.74 B ab	5.53 NS b	5.28 NS ns	6.56 BC ns	5.78 BC ns
S_{20}	8.15 NS a	6.47 B ab	5.00 NS b	7.06 NS ns	6.00 CD ns	5.17 BC ns
S_0	5.74 NS a	4.60 C ab	4.21 NS b	5.60 NS a	4.80 D b	3.84 C c
2008						
S_{100}	9.25 NS ns	8.47 A ns	8.03 A ns	11.47 A ns	9.98 A ns	8.61 A ns
S_{80}	7.17 NS ns	7.86 A ns	6.86 AB ns	8.23 B ns	7.97 B ns	8.21 A ns
S_{60}	7.04 NS ns	6.31 BC ns	5.97 BC ns	6.09 B ns	6.78 BC ns	5.58 B ns
S_{40}	6.57 NS ns	5.95 BC ns	5.82 BC ns	5.86 B ns	6.59 BC ns	5.57 B ns
S_{20}	7.36 NS ns	6.49 BC ns	5.91 BC ns	7.13 B a	5.78 CD ab	4.74 B b
S_0	8.10 NS a	5.03 C b	4.48 C b	6.57 B a	5.01 D ab	4.03 B b



Şekil 3. Mısır bitkisinin 2007(a)-2008(b) yıllarında yetiştirme periyodu boyunca konulara göre SR değişimleri

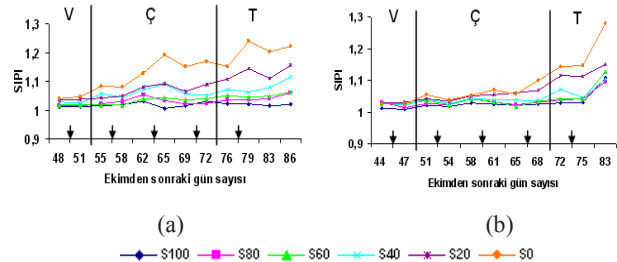
Konuların büyüme dönemi içinde ölçülen SIPI değerlerinin söz konusu dönemlere göre değişimi 2007 yılında sulama öncesinde S_{20} ve S_{60} ; sulama sonrasında S_0 , S_{20} ve S_{60} konularında önemli çıkmıştır. 2008 yılında ise bu konular sulama öncesinde S_{20} ve S_{40} ; sulama sonrasında S_0 , S_{20} , S_{80} ve S_{100} olmuştur. Söz konusu konuların dışındaki konuların da SIPI değerleri hasada doğru artış göstermiştir (Çizelge 6). Bu da, yapraklardaki klorofil içeriğinin hasada doğru azalması ile açıklanabilir.

Pigment spesifik basit oran indeksi (PSSR)

Yapraktaki klorofil a ve b ile önemli ilişkiye sahip PSSR indeksinin konulara göre değişimi her iki yılda ve tüm büyüme dönemlerinde istatistiksel olarak farklılık göstermiştir. Genel itibarıyla, S_{100} konusundan S_0 konusuna doğru azalmıştır (Çizelge 7 ve Şekil 5). Yetiştirme periyodu boyunca, en yüksek PSSR değeri S_{100} (2007 yılı sulama sonrası vejetatif dönem dışında), en düşük PSSR değeri de S_0 konusundan elde edilmiştir. Diğer konuların PSSR değerleri bunlar arasında gerçekleşmiştir. Hem 2007 hem de 2008 yılı sulama sonrası çiçeklenme döneminde S_{100} konusunun PSSR değerleri, diğer konuların tümünden ayrılarak farklı bir grupta yer almıştır. Yine her iki yılın sulama öncesi çiçeklenme döneminde S_0 konusunun PSSR değerleri istatistiksel açıdan farklılık göstermiştir. Konuların PSSR değerlerinin büyüme dönemlerine göre değişimini gösteren Şekil 5 incelendiğinde, yetiştirme periyodu boyunca 2007 yılındaki PSSR değerlerinin konulara göre ayrımının 2008 yılına göre daha belirgin olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. 2007 ve 2008 yıllarında mısır bitkisinin konulara göre sulama öncesi ve sulama sonrası büyüme dönemlerine ilişkin SIPI değerleri

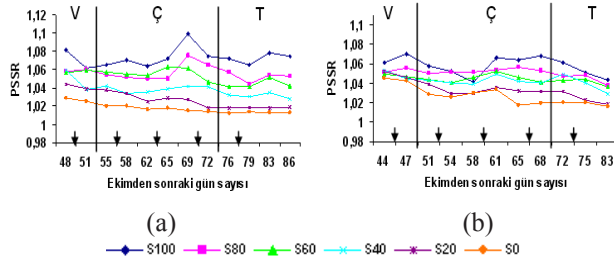
SK	Sulama Öncesi			Sulama Sonrası		
	V	Ç	T	V	Ç	T
2007						
S_{100}	1.011 NS ns	1.021 C ns	1.022 C ns	1.013 C ns	1.020 C ns	1.022 C ns
S_{80}	1.017 NS ns	1.035 BC ns	1.037 BC ns	1.018 BC ns	1.031 C ns	1.036 C ns
S_{60}	1.018 NS b	1.034 BC ab	1.053 BC a	1.020 BC b	1.034 BC ab	1.046 C a
S_{40}	1.030 NS ns	1.062 B ns	1.073 BC ns	1.024 BC ns	1.063 BC ns	1.064 C ns
S_{20}	1.036 NS b	1.065 B ab	1.109 AB a	1.038 AB b	1.079 B b	1.145 B a
S_0	1.037 NS ns	1.126 A ns	1.152 A ns	1.048 A c	1.148 A b	1.241 A a
2008						
S_{100}	1.012 NS ns	1.025 C ns	1.030 C ns	1.009 NS b	1.023 C a	1.031 C a
S_{80}	1.030 NS ns	1.031 BC ns	1.039 BC ns	1.015 NS b	1.028 C ab	1.042 C a
S_{60}	1.027 NS ns	1.032 BC ns	1.041 BC ns	1.026 NS ns	1.031 C ns	1.042 C ns
S_{40}	1.028 NS c	1.042 ABC b	1.073 ABC a	1.022 NS ns	1.034 C ns	1.046 C ns
S_{20}	1.030 NS b	1.052 AB b	1.115 AB a	1.031 NS c	1.053 B b	1.113 B a
S_0	1.027 NS ns	1.056 A ns	1.142 A ns	1.024 NS c	1.069 A b	1.148 A a



Şekil 4. Mısır bitkisinin 2007(a)-2008(b) yıllarında yetiştirme periyodu boyunca konulara göre SIPI değişimleri

Çizelge 7. 2007 ve 2008 yıllarında mısır bitkisinin konulara göre sulama öncesi ve sulama sonrası büyüme dönemlerine ilişkin PSSR

SK	Sulama Öncesi			Sulama Sonrası		
	V	Ç	T	V	Ç	T
2007						
S ₁₀₀	1.081 A ns	1.076 A ns	1.072 A ns	1.061 A ns	1.072 A ns	1.065 A ns
S ₃₀	1.058 ABC ns	1.060 B ns	1.058 B ns	1.063 A ns	1.056 B ns	1.044 B ns
S ₆₀	1.057 ABC a	1.057 B a	1.041 C b	1.061 A ns	1.055 B ns	1.042 BC ns
S ₄₀	1.060 AB ns	1.040 C ns	1.032 C ns	1.038 B ns	1.038 C ns	1.030 C ns
S ₂₀	1.044 BC a	1.030 C ab	1.018 D b	1.039 B a	1.027 CD b	1.018 D c
S ₀	1.028 C a	1.017 D ab	1.012 D b	1.025 B ns	1.017 D ns	1.013 D ns
2008						
S ₁₀₀	1.062 A ns	1.054 A ns	1.062 A ns	1.071 A ns	1.062 A ns	1.051 A ns
S ₃₀	1.051 B ns	1.053 AB ns	1.048 B ns	1.056 B ns	1.053 B ns	1.048 A ns
S ₆₀	1.050 B ns	1.045 BC ns	1.043 B ns	1.047 BC ns	1.045 C ns	1.044 A ns
S ₄₀	1.053 B ns	1.041 CD ns	1.049 B ns	1.045 BC ns	1.044 C ns	1.040 A ns
S ₂₀	1.053 B a	1.034 D b	1.031 C b	1.046 BC a	1.032 D b	1.023 B c
S ₀	1.046 B a	1.025 E b	1.020 D c	1.043 C a	1.026 D b	1.020 B b



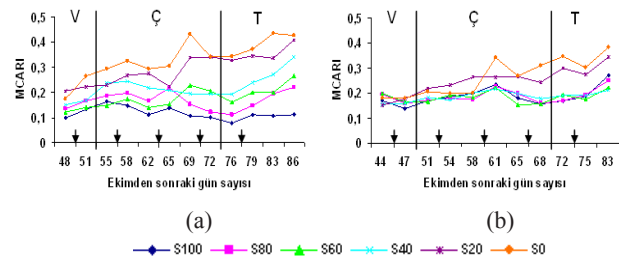
Şekil 5. Mısır bitkisinin 2007(a)-2008(b) yıllarında yetiştirme periyodu boyunca konulara göre PSSR değişimleri

Ayarlanmış klorofil absorpsiyon yansıma indeksi (MCARI)

Yapraktaki klorofil içeriğinin bir göstergesi olan MCARI su stresiyle paralel olarak değişmiştir (Çizelge 8 ve Şekil 6). 2007 yılında hem sulama öncesi hem de sulama sonrası tüm büyüme dönemlerinde konular arasında istatistiksel açıdan farklılık gözlenmiştir. Ancak farklılıklar bulunsa da, konular birbirinden net olarak ayrılmamıştır. 2008 yılında ise sadece sulama öncesi ve sulama sonrası vejetatif dönemde istatistiksel olarak farklılık oluşmamıştır. Verilen sulama suyu miktarının artışına bağlı olarak genel itibariyle MCARI değerleri azalmıştır. Her iki yılda da genel olarak belli bir stres düzeyine kadar MCARI değerlerinin aynı grupta yer aldığı ve fakat stresin çok fazla olduğu koşullarda özellikle S₀ ve S₂₀ konularının diğerlerinden ayrıldığı görülmektedir. Bu da MCARI indeksinin belli bir stres düzeyinden sonra ayırt edici özelliği olduğunu göstermektedir. S₀ ve S₂₀ konularının MCARI değerleri, hasada doğru giderek artmıştır. Bu artış, 2007 yılı sulama sonrası vejetatif dönem dışındaki tüm büyüme dönemlerinde istatistiksel olarak önemli çıkmıştır. Bu durum, stresin çok fazla olduğu durumlarda yapraktaki klorofil içeriğinin hızla düşmesinin bir sonucu olarak düşünülebilir. Konuların MCARI değerlerinin büyüme dönemlerine göre değişimi incelendiğinde, yetiştirme periyodu boyunca 2007 yılındaki MCARI değerlerinin konulara göre ayrımının 2008 yılına göre daha belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 6).

Çizelge 8. 2007 ve 2008 yıllarında mısır bitkisinin konulara göre sulama öncesi ve sulama sonrası büyüme dönemlerine ilişkin

SK	Sulama Öncesi			Sulama Sonrası		
	V	Ç	T	V	Ç	T
2007						
S ₁₀₀	0.098 C b	0.127 D a	0.078 C b	0.132 C ns	0.130 C ns	0.113 C ns
S ₃₀	0.135 BC ns	0.168 CD ns	0.113 BC ns	0.165 BC ns	0.179 BC ns	0.148 BC ns
S ₆₀	0.123 BC b	0.174 CD a	0.160 BC a	0.136 C ns	0.177 BC ns	0.199 BC ns
S ₄₀	0.151 ABC ns	0.216 BC ns	0.193 B ns	0.168 BC ns	0.216 B ns	0.241 B ns
S ₂₀	0.204 A b	0.281 AB ab	0.327 A a	0.223 AB b	0.277 A b	0.347 A a
S ₀	0.170 AB b	0.340 A a	0.344 A a	0.265 A ns	0.323 A ns	0.372 A ns
2008						
S ₁₀₀	0.169 NS ns	0.182 C ns	0.170 B ns	0.139 NS ns	0.192 B ns	0.186 B ns
S ₃₀	0.194 NS ns	0.182 C ns	0.169 B ns	0.159 NS ns	0.189 B ns	0.192 B ns
S ₆₀	0.197 NS ns	0.168 C ns	0.192 B ns	0.163 NS ns	0.189 B ns	0.175 B ns
S ₄₀	0.156 NS ns	0.194 BC ns	0.190 B ns	0.160 NS ns	0.189 B ns	0.191 B ns
S ₂₀	0.151 NS b	0.249 AB a	0.298 A a	0.177 NS b	0.245 A a	0.272 A a
S ₀	0.179 NS b	0.225 A b	0.346 A a	0.181 NS b	0.283 A a	0.303 A a



Şekil 6. Mısır bitkisinin 2007(a)-2008(b) yıllarında yetiştirme periyodu boyunca konulara göre MCARI değişimleri

Zarco ve Miller indeksi (ZM)

Yapraktaki klorofil içeriğinin bir göstergesi olan ZM indeksi verilen sulama suyu miktarındaki artışa bağlı olarak genel itibariyle artmıştır (Çizelge 9 ve Şekil 7). Çizelge incelendiğinde, söz konusu indeksin değerlerinin yaklaşık 1.4 (S₀) ile 3.0 (S₁₀₀) arasında değiştiği görülmektedir. ZM indeksinde, her iki yılda vejetatif dönem dışındaki tüm büyüme dönemlerinde hem sulama öncesi hem de sulama sonrasında konular arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. S₁₀₀ konusunun ZM değerleri, 2007 yılında sulama öncesi çiçeklenme, sulama sonrası çiçeklenme ve tane dolumu-hayat dönemlerinde; 2008 yılında ise sulama sonrası vejetatif ve çiçeklenme dönemlerinde diğer konulardan ayrılarak farklı bir grupta yer almıştır. Özellikle 2008 yılı sulama sonrası çiçeklenme döneminde konular arasında beş grup oluşmuş olması konuların birbirinden ayrımını daha belirgin kılmıştır. Şekil 7 incelendiğinde, genel olarak S₁₀₀ konusunun her ölçümde en yüksek değeri, S₀ konusunun en düşük değeri ve diğer konuların da bunlar arasında yer aldığı görülebilir. Her iki yıl birlikte değerlendirildiğinde, su stresinin çok fazla olduğu S₀ ve S₂₀ konularının ZM değerleri, hem sulama öncesinde hem de sulama sonrasında büyüme dönemlerine göre istatistiksel olarak farklılık göstermiştir (Çizelge 9).

Yapılan diğer çalışmalarda da görünür ve kızılötesi bantlardan hesaplanan spektral indekslerin su stresini ayırt edebildikleri belirtilmiştir. Carter [23], sekiz

farklı su stres düzeyinde yapraklardan olan yansıma değişikliklerini incelediği araştırmasında, strese en duyarlı görünür bölgenin 535-640 nm ve 685-700 nm dalga boyu aralıkları olduğunu belirtmiştir.

Tez çalışmasında da söz konusu bölgeden hesaplanan MCARI ve TCARI indeksleri de strese karşı duyarlılık göstermiştir. Bu da iki çalışmanın uyumlu olduğunu göstermektedir. Carter ve McCain [24], akçaağaçta su stresine 1450 nm, 1950 nm ve 2500 nm su absorpsiyon bantlarının en duyarlı olduğunu, buna karşılık yaklaşık 760-1300 nm arasının en az duyarlı olduğunu belirtmiştir. Shiyabayama ve ark. [25] çeltik bitkisinde, yakın ve orta kızılötesi bölgedeki yansıma ölçümleri ve bunlardan türetilen spektral indekslerin, su stresinin belirlenmesinde uygun bir yöntem olduğunu belirtmektedir. Ayrıca spektral ölçümler sonucu belirlenen kırmızı sınırın (red edge) konumunun da su stresinin erken teşhisinde kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Penuelas ve ark. [3], ayçiçeğinde su ve azot stresinin belirlenmesinde NDVI benzeri spektral indekslerin faydalı birer araç olduklarını belirtmişlerdir. Fujiwara ve ark. [8], soya fasulyesinde su stresine en duyarlı spektral bölgenin yakın kızılötesi bölge olduğunu bildirmiştir. Graeff ve ark. [9], buğdayda su stresinin teşhisi için en uygun yansıma paternleri 510-780 nm, 516-1300 nm, 540-1300 nm olarak bulunmuştur. Köksal ve ark. [12], şeker pancarında su stresinin izlenmesinde en etkili indeksin WBI olduğunu belirtmiştir. Ancak hiçbir spektral indeksin su stresindeki küçük değişimlere yeterince duyarlı olmadığını bu nedenle de sulama zamanını belirlemede yeterli hassasiyete sahip olunamayacağını bildirmiştir. Benzer sonuçlar Thomas ve ark. [26], Bowman [27], Cohen [28], Riggs ve Running [29] ve Dansman ve ark. [30] tarafından da belirtilmiştir. Araştırmacılara göre su stresinin tespitinde spektral indeksler ancak genel bir bilgi verebilmektedir. Çalışmamızda mısır bitkisi su stresi koşullarında önemli spektral tepkiler vermiştir. Çoğu spektral indeks stresin artması durumunda farklı değerler almıştır. Ancak diğer araştırmacıların da belirttiği üzere stres durumunun belli bir eşiği aşması koşulunda spektral indeksler de değişmiştir. Bu durumda anlık su stresinin yani diğer bir deyişle sulama zamanının belirlenmesi açısından diğer çalışmalar ile aynı sonuçtan bahsetmek mümkündür.

SONUÇ ve ÖNERİLER

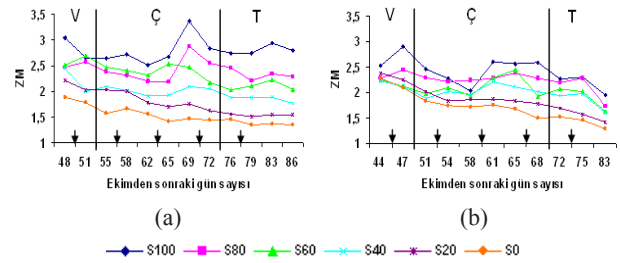
Bu çalışmada, mısır bitkisinin sulama öncesi ve sulama sonrası olmak üzere yetiştirme periyodu boyunca su stresine karşı spektral tepkileri ölçülmüş ve elde edilen yaprak düzeyindeki yansıma ölçümlerinden yararlanılarak yedi farklı spektral indeks hesaplanmıştır. Söz konusu spektral indekslerin su stresini ayırt edebilme kabiliyetleri araştırılmıştır.

325 nm ile 1075 nm arasındaki yansıma ölçümlerinden hesaplanan spektral indeksler su stresine karşı farklı değerler almışlardır. Stres düzeyi arttıkça SIPI ve MCARI değerleri artarken, diğer spektral indekslerin değerleri azalmıştır.

Genel olarak tüm spektral indeksler birbirine yakın stres düzeylerini tam olarak ayırt edememiştir. Ancak stres derecesinin artması ile spektral indekslerin aldığı değerler belirgin bir biçimde farklılaşmıştır.

Çizelge 9. 2007 ve 2008 yıllarında mısır bitkisinin konulara göre sulama öncesi ve sulama sonrası büyüme dönemlerine ilişkin ZM değerleri

SK	Sulama Öncesi			Sulama Sonrası		
	V	Ç	T	V	Ç	T
2007						
S ₁₀₀	3.049 NS ns	2.841 A ns	2.744 A ns	2.658 A ns	2.742 A ns	2.742 A ns
S ₈₀	2.470 NS ns	2.486 B ns	2.458 A ns	2.605 A ns	2.351 B ns	2.214 B ns
S ₆₀	2.507 NS a	2.405 B a	2.033 B b	2.743 A ns	2.373 B ns	2.109 B ns
S ₄₀	2.446 NS ns	2.035 C ns	1.886 BC ns	1.997 B ns	1.996 C ns	1.888 BC ns
S ₂₀	2.217 NS a	1.852 C ab	1.563 BD b	2.033 B a	1.777 CD b	1.511 CD c
S ₀	1.887 NS a	1.532 D b	1.451 D b	1.785 B a	1.510 D b	1.346 D b
2008						
S ₁₀₀	2.521 NS ns	2.351 A ns	2.269 A ns	2.896 A a	2.484 A b	2.296 A b
S ₈₀	2.270 NS ns	2.302 A ns	2.198 A ns	2.448 B ns	2.255 B ns	2.273 A ns
S ₆₀	2.244 NS ns	2.118 B ns	2.062 AB ns	2.124 C ns	2.102 C ns	2.021 B ns
S ₄₀	2.222 NS a	1.987 BC b	1.941 B b	2.120 C ns	2.082 C ns	1.971 B ns
S ₂₀	2.383 NS a	1.899 CD b	1.693 C b	2.251 BC a	1.832 D b	1.573 C c
S ₀	2.271 NS a	1.743 D b	1.515 C c	2.098 C a	1.664 E b	1.454 C c



Şekil 7. Mısır bitkisinin 2007(a)-2008(b) yıllarında yetiştirme periyodu boyunca konulara göre ZM değişimleri

Spektral indekslerin S₁₀₀ konusunu diğer konulardan ayırt edebilme kabiliyetine göre değerlendirildiğinde, su stresini ayırt etmede en zayıf spektral indeksin WBI, en başarılı spektral indeksin de PSSR olduğu söylenebilir. Bunun nedeni olarak da yansımaların yapraktaki su içeriğine bağlı birincil etkilerden çok, su miktarının yapraktaki pigmentler üzerine olan etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine aynı değerlendirmeye göre ölçümlerin özellikle stresin daha çok hissedilmeye başlandığı vejetatif dönem sonrasında yapılması daha başarılı sonuçların alınabilmesi açısından önem taşımaktadır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışma, uzaktan algılama tekniklerinin arazi çalışmalarında kullanılarak su stresinin gözlemlenebileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Vatandaş, M., Güner, M., Türker, U., 2005. Hassas Tarım Teknolojileri. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası 6. Teknik Kongresi, 3-7 Ocak, 347-365.
- [2] Covey, R., 1999. Remote Sensing in Precision Agriculture: An Educational Primer. Iowa State University. Ames Remote, <http://www.amesremote.com/papers.htm>, Erişim: Temmuz 2009.
- [3] Penuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J., Field, C.B., 1994. Reflectance Indices Associated with Physiological Changes in Nitrogen- and Water-Limited Sunflower Leaves. Remote Sensing of Environment, 48:135-146.

- [4] Joel, G., Gamon, JA., Field, CB., 1997. Production Efficiency in Sunflower: The Role of Water and Nitrogen Stress. *Remote Sensing of Environment* 62, p.176-188.
- [5] Penuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R., Fiella, I., 1997. Estimation of Plant Water Concentration by the Reflectance Water Index WI (R900/R970), *Int. J. Remote Sensing* 18:2869-2875.
- [6] Penuelas, J., Inoue, Y., 1999. Reflectance Indices Indicative of Changes in Water and Pigment Content of Peanut and Wheat Leaves. *Photosynthetica*, 36 (3), p. 335-360.
- [7] Strachan, IB., Pattey, E., Boisvert, JB., 2002. Impact of Nitrogen and Environmental Conditions on Corn as Detected by Hyperspectral Reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 80(2):213-224.
- [8] Fujiwara, H., Endo, T., Yasuoka, Y., 2004. Evaluation of Water Stress on a Crop Using The Portable Hyper Spectral Imager. The 25th Asian Conference & 1th Asian Space Conference on Remote Sensing. 22-26 November, Thailand.
- [9] Graeff, S., Fan, Z., Claupein, W., 2004. Use of reflectance measurements to clearly identify water stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). 4.th International Crop Science Congress, 26 September-1 October, Australia.
- [10] Jones, CL., Weckler, PR., Maness, NO., Stone, ML., Jayasekara, R., 2004. Estimating Water Stress in Plants Using Hyperspectral Sensing. ASAE/CSAE Annual International Meeting, 1-4 August, Paper Number: 043065.
- [11] Tian, Y., Zhu, Y., Cao, W., 2005. Monitoring Leaf Photosynthesis with Canopy Spectral Reflectance in Rice. *Photosynthetica* 43 (4), p.481-489.
- [12] Köksal, ES., Üstün, H., İlbeyi, A., Akgül, S., 2006. Effect Of Different Irrigation Treatments On The Spectral Reflectance Characteristic Of Green Bean. International Symposium on Water and Land Management for Sustainable Irrigated Agriculture, 4-8 April 2006, Adana-Turkey.
- [13] Genc, L., Camoglu, G., Turhan, H, Smith, SE., Erbay, YA., 2007. Phonological Change of Corn under Water Deficits Using Spectral Indices. Third International conference on Earth from Space. December 4-6, Moscow, Russia.
- [14] Genc, L., Camoglu, G., Asar, B., Yuksel, B., Turhan, H., Smith S.E., Erbay, A.Y., 2008. Estimation of Sweet Corn Grain Yield by using Individual Wavelengths and Water Indices. IX. International Conference on Precision Agriculture. 20-24 July Denver, Colorado.
- [15] ASD, 2009. FieldSpec Hand-Held Spectroradiometer. Analytical Spectral Devices (ASD) Inc., Boulder, Colorado, USA. El kitabı.
- [16] Zhao, C., Liu, L., Wang, J., Huang, W., Song, X., Li, C., 2004. Prediction Grain Protein content of Winter Wheat using Remote Sensing based on Nitrogen Status and Water Stres. *Int. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 7, p.1-9.
- [17] SPSS, 2004. Brief Guide. SPSS Inc.,Version 13.0, Chicago, USA.
- [18] Jackson, RD., Pinter, Jr., P.J., Reginato, RJ., Idso, SB., 1980. Hand - Held Radiometry. A Set of Notes Developed for Use at The Workshop on Hand-Held Radiometry. Phoenix, Ariz., February 25-26.
- [19] Penuelas, J., Baret, F., Filella, I., 1995. Semi-Empirical Indices to Assess Carotenoids/Chlorophyll A Ratio from Leaf Spectral Reflectance. *Photosynthetica* 31:221-230.
- [20] Blackburn, GA, Steele, CM., 1999. Towards The Remote Sensing of Matorral Vegetation Physiology: Relationships Between Spectral Reflectance, Pigment and Biophysical Characteristics of Semi-Arid Bushland Canopies. *Remote Sensing of Environment*, 70 (3), p. 278-292.
- [21] Daughtry, CST., Walthall, CL., Kim MS., Brown de Colstoun, E., McMurtrey, JE., 2000. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration Leaf and Canopy Reflectance. *Remote Sens. Environ.* 74, p.229-285.
- [22] Zarco-Tejada, PJ., Miller, JR., Mohammed, GH., Noland TL, Sampson PH., 2001. Scaling-Up and Model Inversion Methods with Narrow-Band Optical Indices for Chlorophyll Content Estimation in Closed Forest Canopies with Hyperspectral Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(7), p. 1491-1507.
- [23] Carter, GA., 1993. Responses of Leaf Reflectance to Plant Stress. *America J. Botany*, 80, p.239-243.
- [24] Carter, GA, McCain, DC., 1993. Relationship of Leaf spectral Reflectance to Chloroplast Water Content Determined Using NMR Microscopy. *Remote Sens. Environ.* 46, p.305-310.
- [25] Shibayama, M., Takahashi, W., Morinaga, S., Akiyama, T., 1993. Canopy Water Deficit Detection in Paddy Rice Using a High Resolution Field Spectroradiometer. *Remote Sensing of Environment*, Volume 45, Issue 2, p. 117-126.
- [26] Thomas, JR., Namken, LN., Oether, GF., Brown, RG., 1971. Estimating Leaf Water Content by Reflectance Measurements. *Agronomy Journal*, 63, p. 845-847.
- [27] Bowman, WD., 1989. The Relationship Between Leaf Water Status, Gas Exchange, And Spectral Reflectance in Cotton Leaves. *Remote Sens. Environ.* 30:249-255.
- [28] Cohen, WB., 1991. Temporal Versus Spatial Variation in Leaf Reflectance under Changing Water Stress Conditions. *Int. J. Remote Sens.* 12, p.1865-1876.
- [29] Riggs, GA., Running, SW., 1991. Detection of Canopy Water Stress in Conifers Using the Airborne Imaging Spectrometer. *Remote Sens. Environ.* 35:51-68.
- [30] Danson, M., Steven. MD., Malthus, TJ., Clark, JA., 1992. High-Spectral Resolution Data for Determining Leaf Water Content, *Int. J. Remote Sensing*, 13:461-470.