

Farklı Su Stresi Düzeylerinde Yer Tabanlı Spektral Ölçümler ile Tatlı Mısırın Verim Tahmini

Gökhan ÇAMOĞLU^{1*}, Şerafettin AŞIK², Levent GENÇ³

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

² Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

³ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir Bölge Planlama

02.11.2018 Geliş/Received, 14.11.2018 Kabul/Accepted

Özet

Uzaktan algılama, su stresinin ve buna bağlı olarak değişen bitki özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan önemli araçlardan biridir. Bu çalışmada, el spektrometresi ile yaprak düzeyinde yapılan yansıma ölçümlerinden yararlanarak su stresine bağlı olarak değişen mısır (*Zea mays saccharata* Sturt.) veriminin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Çanakkale’de, 2007 ve 2008 yıllarında altı sulama konusundan (%100, %80, %60, %40, %20 ve susuz) oluşan bir tarla denemesi yürütülmüştür. Çalışmada her sulamadan önce yansıma değerleri ölçülmüş ve bu ölçümlerden oniki spektral indeks hesaplanmıştır. Mısırın her bir büyüme dönemi için spektral indeksler ile hasatta elde edilen koçan verimleri arasında tek değişkenli ve çok değişkenli regresyon analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, verim ile spektral indeksler arasında istatistiksel olarak önemli modeller elde edilmiştir. Tek değişkenli regresyon analizi sonuçlarına göre, söz konusu ilişkiler vejetatif dönemden sonra daha da güçlenmiştir. Çok değişkenli doğrusal regresyon analizine göre; en yüksek belirtme katsayıları (R^2) vejetatif, çiçeklenme ve tane dolumu-hasat dönemlerine göre sırasıyla 2007 yılında 0.945, 0.905, 0.938 ve 2008 yılında 0.703, 0.946, 0.914 olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucu olarak uzaktan algılama ile yaprak düzeyinde belirlenen spektral indekslerden yararlanarak tatlı mısırın koçan veriminin yüksek doğrulukla belirlenebileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: mısır, spektrometre, sulama, uzaktan algılama

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Gökhan Çamoğlu
(e-posta:camoglu@comu.edu.tr)

Bu makale Gökhan Çamoğlu’nun doktora tez konusu kapsamında yapılmıştır.

Estimation of Corn's Yield by Ground-Based Spectral Measurements under Different Water Stress Levels

Abstract

Remote sensing is one of the most important tools for determining water stress and related plant traits. In this study, it is aimed to estimate the corn yield depending on water stress by using the reflectance measurements performed at the leaf level via the hand-held spectroradiometer. For this purpose, in Canakkale, a field experiment consisting of six irrigation treatments (100%, 80%, 60%, 40%, 20% and 0%) was conducted in 2007 and 2008. The reflectance values were measured before each irrigation event and twelve different spectral indices were calculated from these measurements. Univariate and multivariate regression analyzes were performed between the cob yield obtained from the harvest and the spectral indices for each growth period of corn. As a result of the study, statistically significant models were obtained between the yield and spectral indices. In the univariate regression analysis, these relationships were further strengthened after the vegetative period. According to multivariate linear regression analysis; the highest coefficients of determination (R^2) were 0.945, 0.905, 0.938 respectively according to vegetative, flowering and grain filling-harvest periods in 2007. They were found to be 0.703, 0.946, 0.914 respectively in 2008. Consequently, it can be said that the cob yield of sweet corn can be determined with high accuracy by using the spectral indices calculated at the leaf level with remote sensing.

Keywords: corn, spectroradiometer, remote sensing, irrigation

1. Giriş

Tatlı mısır; şeker, nişasta ve protein içeriği bakımından diğer mısırlara göre daha yüksek değerlere sahip olmasına rağmen, ülkemizde genellikle taze tüketimde at dişi ve sert mısır gibi silajlık amaçlı olanlar da kullanılmaktadır (Tuncay ve ark., 2005). Bu sebeple ana kullanım amacı taze tüketim olan tatlı mısırdan elde edilecek koçan verimi elde edilecek gelir bakımından büyük önem taşımaktadır. Verimi etkileyen başlıca faktörler arasında bitkilerin su stresine maruz kalmasıdır. Bu nedenle su stresinden kaynaklanabilecek olası verim kaybının bilinmesi de üretici için önemli olmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte uzaktan algılama teknikleri ürünlerin verim tahmininde kullanılmaya başlanmıştır. Bununla ilgili olarak uydu görüntülerinden yararlanılabileceği gibi yersel yansıma ölçümleri de kullanılabilir. Bu amaçla yansıma ölçümlerinden hesaplanan çok sayıda spektral indeks geliştirilmiştir. Spektral indeksler; bitkilerin fizyolojik (yaprak su içeriği, klorofil vb.) ve morfolojik özelliklerinin (yaprak alan indeksi, biyokütle, örtü yüzdesi vb) belirlenmesinde kullanılan önemli araçlardır. Yansıma değerlerinden iki banda ait değerlerin farkının alınması, birbirine oranlanması gibi işlemler ile oldukça kullanışlı spektral indeksler elde edilebilmektedir. İndekslerde kullanılacak bantların seçiminde en önemli nokta ise iki bandın birbiri ile ters yansıma göstermesidir. Diğer bir ifadeyle birinin yansıma değeri artarken diğeri azalmalıdır. Örneğin bu çerçevede oluşturulan ve günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan spektral indekslerden biri olan Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi (NDVI), farklı iki banda (yakın kızıl ötesi ve kırmızı) ilişkin yansıma değerlerinin toplam ve farklarının oranlanması ile elde edilmiştir (Jackson ve ark., 1980). Söz konusu tekniklerin sulama alanında kullanımı ile ilgili dünyada yapılan çalışmalar hızla artarken ülkemizde bu tip araştırmalar sınırlı sayıda kalmıştır. İlave olarak koçan veriminin oldukça önemli olduğu tatlı

mısırdaki verim tahmini ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olması da bu araştırmanın özgün yönünü ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın amacı, tatlı mısırdaki oldukça önemli olan koçan veriminin su stresine bağlı olarak değişiminin spektral indeksler kullanılarak tahmini için gerekli modellerin oluşturulmasıdır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deneme Alanı

Deneme, 2007 ve 2008 yıllarında, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dardanos Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde Merit çeşidi tatlı mısırdaki (*Zea mays saccharata* Sturt.) yürütülmüştür. Toprak derinliklerine bağlı olarak hacim ağırlığı 1.30-1.67 gr/cm³ ve etkili bitki kök bölgesindeki (0-90 cm) tarla kapasitesi, solma noktası ve kullanılabilir su tutma kapasitesi değerleri de sırasıyla 309.15 mm, 171.75 mm ve 137.40 mm'dir. Ayrıca deneme alanı topraklarının pH'ı 7.85, elektriksel iletkenliği 4.25 dS/m ve organik madde içeriği %2.4'tür. Mayıs ve Ağustos arasında gerçekleşen ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerleri deneme yıllarına göre sırasıyla 24 °C ve 23 °C ile 80 mm ve 41 mm olmuştur.

2.2. Tarımsal İşlemler

Ekim, 2007 yılında 12 Mayıs ve 2008 yılında 15 Mayıs tarihinde 3 sıralı mekanik ekim makinesiyle yapılmıştır. Mısır tohumları, sıra arası 70 cm ve sıra üzeri 20 cm olacak şekilde yaklaşık 5 cm derinliğe ekilmiştir. Mısırın sulanmasında damla sulama sistemi kullanılmıştır. Yetiştirme periyodu boyunca her iki yılda da toplam iki gübre uygulaması yapılmıştır. İlk gübreleme, taban gübresi şeklinde ekimden önce dekara 35 kg 15-15-15 NPK; ikinci gübreleme ise bitki boyunun yaklaşık 50 cm olduğu dönemde damla sulama sisteminde yer alan gübre tankı vasıtasıyla dekara 200 gr 20-20-20 NPK içeren B5A sıvı organik gübre şeklinde uygulanmıştır. Ekimden hasada kadar olan tüm yetiştirme periyodu boyunca devamlı olarak çapa ile yabancı ot mücadelesi yapılmıştır. Söz konusu dönemde herhangi bir hastalık görülmemesi nedeniyle ilaç uygulaması yapılmamıştır.

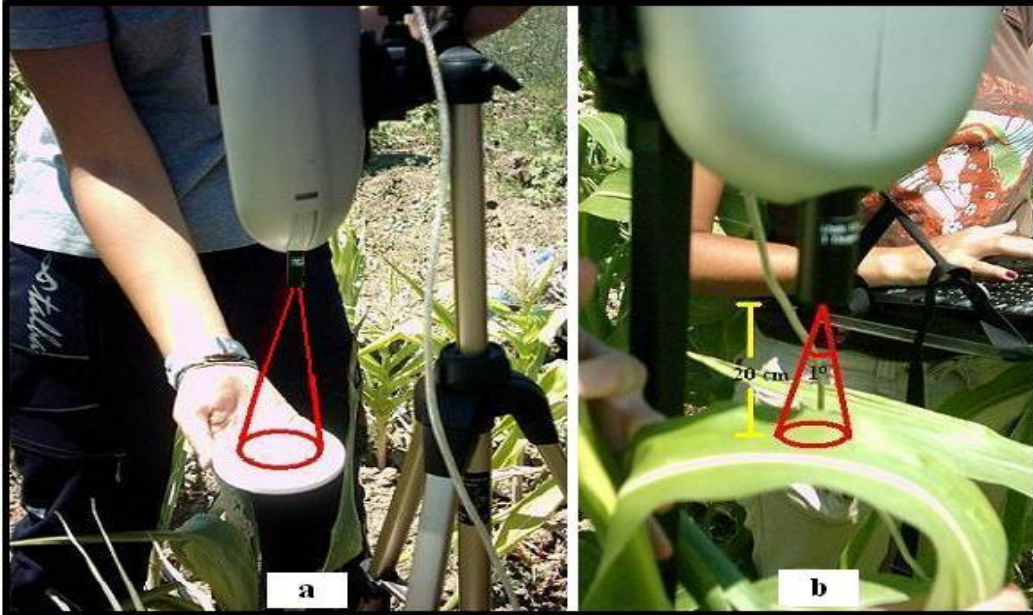
2.3. Deneme Konuları

Deneme, 1 tam sulama (kontrol-stressiz) ve bitkilerde farklı düzeylerde su stresi oluşturacak 5 kısıtlı sulama düzeyi olmak üzere toplam 6 konudan oluşmuş (eksilen toprak neminin tarla kapasitesine tamamlandığı konu (S₁₀₀) ve bu konuya verilen suyun %80'i (S₈₀), %60'ı (S₆₀) %40'ı (S₄₀), %20'si (S₂₀) ve susuz (S₀) ve 3 tekerrürlü tesadüf blokları deneme desenine göre kurulmuştur. Deneme parselleri, uzunluğu 10 m, genişliği 3.5 m olacak şekilde düzenlenmiştir. Her deneme parselinde 5 sıra yer almıştır.

Sulamalar 7 gün aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Her sulamadan önce 0-90 cm toprak derinliğinin her 30 cm'den toprak örneği alınarak gravimetrik olarak nem içeriği belirlenmiştir.

2.4. Spektral Ölçümler

Bitkilerin spektral yansımalarının elde edilmesinde 325 nm ile 1075 nm arasında ölçüm yapan Analytical Spectral Devices (ASD) el spektrometresinden yararlanılmıştır. Ölçümler her sulama öncesinde, ölçümden önce referans alınarak (Şekil 2.1a) 1° görüş açılı lens ile yaprak düzeyinde yapılmıştır (Şekil 2.1b). Her parselin kenar sıraları, ortadaki sıraların başı ve sonunda yer alan bitkiler kenar etkisi için ayrılmış ve bu bitkilerde herhangi bir ölçüm yapılmamıştır. Yansıma ölçümlerine göre toplam 12 spektral indeks hesaplanmıştır. Söz konusu indeksler; Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi (NDVI), Kırmızı Sınırı Dikkate Alan Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi (NDVI₇₀₅), Su İndeksi (WBI), Basit Oran (SR), Kırmızı Sınırı Dikkate Alan Basit Oran İndeksi (SR₇₀₅), Yapısal Bağımsız Pigment İndeksi (SIPI), Yapısal Bağımsız Pigment İndeksi (SIPI_{pen}), Pigment Spesifik Basit Oran İndeksi (PSSR), Değiştirilmiş Klorofil Absorpsiyon Yansıma İndeksi (MCARI), Dönüştürülmüş Klorofil Absorpsiyon Yansıma İndeksi (TCARI), Kırmızı Sınır Noktası (REPh_t) ve Zarco ve Miller İndeksi (ZM)'dir.



Şekil 2.1. Spektrometre ile yapılan yansıma ölçümleri

2.5. Verim

Verim, dekara kavuzlu taze koçan olarak hesaplanmıştır. Bunun için her bir parselin sağ ve solundaki iki sıra ile ortadaki sıraların baş ve sonundaki bitkiler kenar etkisi olarak çıkarılıp, kalan tüm bitkiler üzerindeki koçanlar el yardımıyla toplanarak hasat edilmiştir. Hasat edilen kavuzlu taze koçanlar tartılarak dekara verim olarak hesaplanmıştır. Hasat işlemleri 2007 ve 2008 yıllarında sırasıyla 09 Ağustos ve 07 Ağustos tarihlerinde gerçekleştirilmiştir.

2.6. Verilerin Analizi

Yansıma verileri ASD Viewspec programıyla önce grafiksel olarak incelenmiş ve sapma gösterenler çıkarılmıştır. Daha sonra kalan yansıma verileri sırasıyla text ve excel formatına dönüştürülerek spektral indekslerin hesaplamaları yapılmıştır.

Verilerin istatistiksel analizlerinde SPSS 13.0 paket programı kullanılmıştır (SPSS, 2004). Verim tahmini için tek değişkenli (TDR) ve çok değişkenli doğrusal regresyon (ÇDDR) analizleri yapılmıştır. Tek değişkenli regresyon analizinde, önce veri setlerinin saçılma diyagramları oluşturulmuş ve daha sonra bu diyagramlara göre araştırmada kullanılacak modeller seçilmiştir. Her modele ilişkin belirtme katsayısı (R^2), korelasyon katsayısı (r) ve hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. Çok değişkenli doğrusal regresyon analizinde, öncelikle verim ile spektral indeksler arasında doğrusal olmayan ilişkiler doğrusal forma dönüştürülmüş ardından tüm spektral indeksler analize alınarak stepwise yöntemi ile eleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ölçülen değerler ile regresyon analizleri sonucunda bulunan modellerden elde edilen tahmin değerleri arasında duyarlılık analizleri yapılmıştır.

3.Bulgular ve Tartışma

Mısır bitkisine ilişkin olarak elde edilen kavuzlu taze koçan verimi ile spektral indeksler arasında tek değişkenli ve çok değişkenli regresyon analizleri yapılmış ve en uygun modeller belirlenmiştir.

2007 yılında, verim ile spektral indeksler arasında yapılan TDR analizleri sonucunda doğrusal, üssel, eksponansiyel ve logaritmik ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 3.1). İstatistiksel olarak önemli bulunan bu ilişkilere ait R^2 , r ve RMSE değerleri; V döneminde sırasıyla 0.633-0.905, 0.80-0.94 ve 278-459 kg/da; Ç döneminde sırasıyla 0.271-0.918, 0.52-0.95 ve 233-647 kg/da; T döneminde ise sırasıyla 0.463-0.919, 0.68-0.96 ve 216-555 kg/da arasında değişmiştir. Üç büyüme döneminde de en düşük ilişki WBI indeksinde bulunmuştur. En yüksek ilişki V döneminde $NDVI_{705}$, Ç ve T dönemlerinde ise PSSR indeksinde elde edilmiştir. WBI indeksi dışında, her büyüme döneminde tüm indekslerin verim ile arasındaki ilişkileri %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 3.1. 2007 yılı verim ile spektral indeksler arasındaki ilişkiler

İndeks	BD	Model	Model Özeti			Parametre	
			R ²	r	RMSE	a	b
NDVI	V	Doğrusal	0.633 ^{***}	0.80	459	-10574.287	15670.959
	Ç	Üssel	0.913 ^{***}	0.90	363	45159.987	12.466
	T	Üssel	0.832 ^{***}	0.87	391	33048.636	9.843
NDVI ₇₀₅	V	Üssel	0.884 ^{***}	0.94	278	116004.543	6.440
	Ç	Üssel	0.912 ^{***}	0.94	267	22105.075	3.681
	T	Doğrusal	0.854 ^{***}	0.92	290	-1034.150	5875.046
WBI	V	-	ns	-	-	-	-
	Ç	Doğrusal	0.271 [*]	0.52	647	-44557.033	43572.685
	T	Doğrusal	0.463 ^{**}	0.68	555	-73889.176	71742.701
SR	V	Logaritmik	0.635 ^{***}	0.80	458	-4324.726	2680.321
	Ç	Doğrusal	0.850 ^{***}	0.92	293	-1762.678	408.200
	T	Doğrusal	0.817 ^{***}	0.90	324	-1732.360	480.780
SR ₇₀₅	V	Doğrusal	0.855 ^{***}	0.92	289	-2747.696	1353.604
	Ç	Doğrusal	0.894 ^{***}	0.95	247	-1876.716	1168.976
	T	Doğrusal	0.875 ^{***}	0.94	268	-1280.566	1038.281
SIPI	V	Üssel	0.676 ^{***}	0.86	401	3797.775	-56.678
	Ç	Üssel	0.844 ^{***}	0.93	287	3214.024	-22.712
	T	Üssel	0.812 ^{***}	0.90	330	2862.940	-14.146
SIPI _{pen}	V	Doğrusal	0.637 ^{***}	0.80	456	-9745.682	14799.960
	Ç	Üssel	0.918 ^{***}	0.92	329	41725.224	12.129
	T	Üssel	0.824 ^{***}	0.87	386	29680.543	9.657
PSSR	V	Doğrusal	0.838 ^{***}	0.92	305	-46341.372	45257.694
	Ç	Doğrusal	0.905 ^{***}	0.95	233	-36848.028	36409.109
	T	Doğrusal	0.919 ^{***}	0.96	216	-34864.470	34743.256
MCARI	V	Logaritmik	0.654 ^{***}	0.81	445	-2822.809	-2209.181
	Ç	Eksponansiyel	0.777 ^{***}	0.90	346	10315.714	-11.332
	T	Logaritmik	0.843 ^{***}	0.92	300	-938.220	-1433.080
TCARI	V	Eksponansiyel	0.756 ^{***}	0.83	448	25191.115	-12.230
	Ç	Eksponansiyel	0.798 ^{***}	0.88	396	17889.723	-9.422
	T	Logaritmik	0.853 ^{***}	0.92	290	-857.732	-1835.178
REPh _t	V	Eksponansiyel	0.876 ^{***}	0.90	362	54962.452	-17.571
	Ç	Eksponansiyel	0.903 ^{***}	0.93	284	19161.994	-12.298
	T	Eksponansiyel	0.816 ^{***}	0.91	338	12233.371	-9.204
ZM	V	Doğrusal	0.861 ^{***}	0.93	282	-3381.155	1955.295
	Ç	Doğrusal	0.896 ^{***}	0.95	245	-2319.513	1638.051
	T	Doğrusal	0.881 ^{***}	0.94	261	-1638.392	1426.089

*** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05, ns : önemsiz (p ≥ 0.05), n = 18, BD: Büyüme dönemi, V: Vejetatif dönem, Ç: Çiçeklenme dönemi, T: Tane dolumu-hasat dönemi

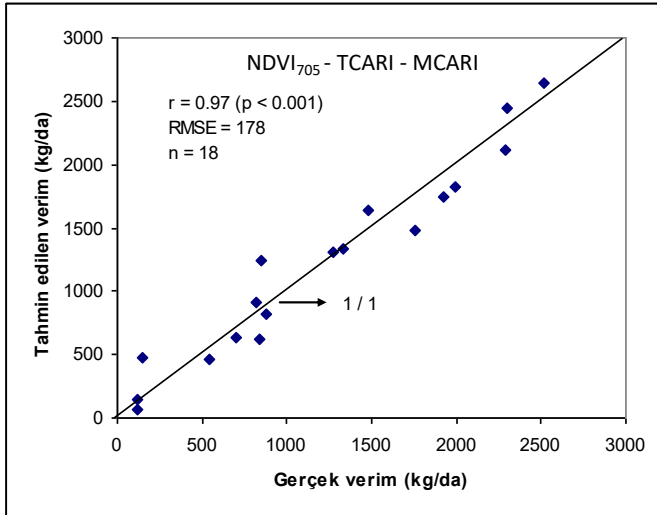
ÇDDR analizinde sonucunda V ve T dönemlerinde birden fazla spektral indeks modelde yer almıştır. V dönemine ilişkin analiz sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Burada yer alan tüm spektral indeksler doğrusal olmayan fonksiyon olarak eşitliğe girmiştir. Bu nedenle f(indeks) şeklinde gösterilmiştir. Bu dönemde tek bir spektral indeks ile elde edilen R² değeri 0.884 iken, eşitliğe diğer iki indeksin de girmesi ile söz konusu değer 0.945’e yükselmiştir. Elde edilen R² değerleri %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Çizelgede en yüksek R² değerinin elde edildiği üçüncü modele ilişkin duyarlılık analizi Şekil 3.1’de verilmiştir. Söz konusu dönemde, r ve RMSE değerleri sırasıyla 0.97 ve 178 kg/da olarak elde edilmiştir. Şekilde

noktaların 1/1 doğrusunun etrafında toplandığı, yani ölçülen ile tahmin edilen verim değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.2. 2007 yılı V dönemi verim ile spektral indeksler arasındaki ÇDDR analiz sonuçları

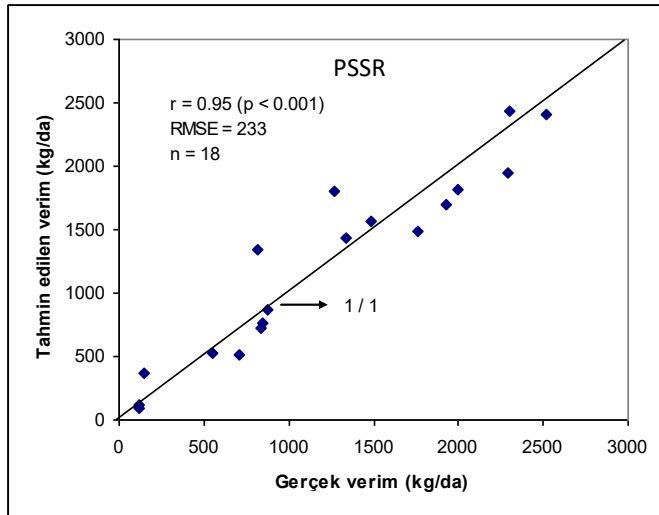
	Model	Parametre	Standart Hata	R ²
1	Sabite	157.115	115.431	0.884***
	f(NDVI ₇₀₅)	0.872	0.079	
2	Sabite	210.314	100.679	0.921***
	f(NDVI ₇₀₅)	1.393	0.209	
3	f(TCARI)	-0.588	0.224	0.945***
	Sabite	32.456	113.010	
	f(NDVI ₇₀₅)	1.431	0.182	
	f(TCARI)	-0.996	0.254	
	f(MCARI)	0.500	0.203	

*** p < 0.001, f(NDVI₇₀₅) = 116004.543 NDVI₇₀₅^{6.44}, f(MCARI) = -2822.809 - 2209.181 lnMCARI, f(TCARI) = 25191.115 e^{-12.23 TCARI}



Şekil 3.1. 2007 yılı V dönemi ölçülen ve tahmin edilen verim arası ilişki

Çiçeklenme döneminde en yüksek R² ve r ile en düşük RMSE değerleri verim ile arasında doğrusal ilişki bulunan PSSR indeksinde bulunmuştur (Çizelge 3.1). Elde edilen ilişkiye ait duyarlılık analizi Şekil 3.2’de verilmiştir. Söz konusu dönemde, r ve RMSE değerleri sırasıyla 0.95 ve 233 kg/da olarak elde edilmiştir. Bu dönemde de noktaların doğru etrafında homojen olarak dağıldığı görülmektedir.



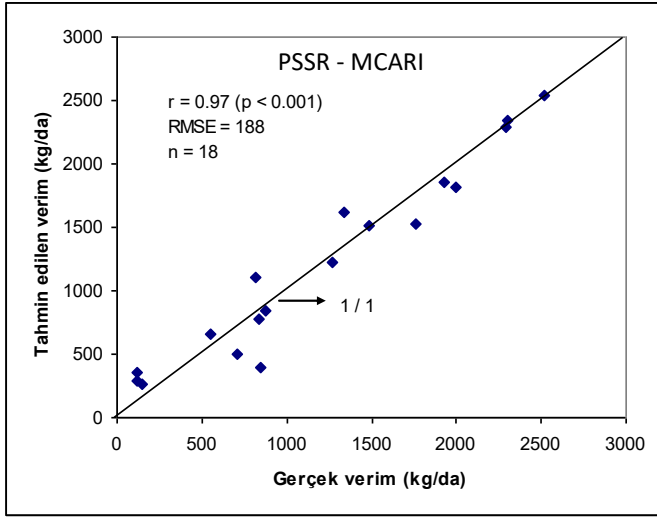
Şekil 3.2. 2007 yılı Ç dönemi ölçülen ve tahmin edilen verim arası ilişki

Tane dolumu-hasat dönemine ilişkin regresyon analizi sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir. MCARI ile verim arasındaki ilişki logaritmik olduğu diğer bir ifadeyle doğrusal olmadığı için söz konusu spektral indeks $f(\text{MCARI})$ şeklinde gösterilmiştir. Söz konusu dönemde PSSR indeksi tek başına verimin %91.9'unu açıklarken, MCARI ile birlikte bu değer %93.8'e yükselmiştir. Elde edilen R^2 değerleri %01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Çizelgede en yüksek R^2 değerinin elde edildiği ikinci modele ilişkin duyarlılık analizi Şekil 3.3'te verilmiştir. Söz konusu dönemde, r ve RMSE değerleri sırasıyla 0.97 ve 188 kg/da olarak elde edilmiştir. Şekilde ölçülen ve tahmin edilen verim değerlerine ilişkin noktaların 1/1 doğrusunun etrafında toplandığı görülmektedir. Özellikle verim değerinin 2000 kg/da'dan fazla olduğu durumlarda oldukça doğru tahmin yapılabildiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.3. 2007 yılı T dönemi verim ile spektral indeksler arasındaki ÇDDR analiz sonuçları

	Model	Parametre	Standart Hata	R^2
1	Sabite	-34864.470	2678.106	0.919***
	PSSR	34743.256	2578.272	
2	Sabite	-62433.708	13028.455	0.938***
	PSSR	62275.292	12995.040	
	$f(\text{MCARI})$	-0.841	0.390	

*** $p < 0.001$, $f(\text{MCARI}) = -2822.809 - 2209.181 \ln \text{MCARI}$



Şekil 3.3. 2007 yılı T dönemi ölçülen ve tahmin edilen verim arası ilişki

2008 yılında, verim ile spektral indeksler arasında yapılan TDR analizleri sonucunda doğrusal, üssel ve logaritmik ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 3.4). İstatistiksel olarak önemli bulunan bu ilişkilere ait R^2 , r ve RMSE değerleri; V döneminde sırasıyla 0.231-0.571, 0.48-0.76 ve 412-551 kg/da; Ç döneminde sırasıyla 0.388-0.946, 0.62-0.97 ve 146-492 kg/da; T döneminde ise sırasıyla 0.448-0.914, 0.67-0.96 ve 185-467 kg/da arasında değişmiştir. V döneminde WBI, MCARI ve TCARI indeksleri ile verim arasındaki ilişki önemsiz (%5 önem düzeyinde) bulunmuştur. Söz konusu dönemde en yüksek ilişki PSSR indeksinde elde edilmiştir. Ç ve T dönemlerinde spektral indekslerin verim ile aralarındaki ilişkiler en az %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. En düşük ve en yüksek ilişki Ç döneminde sırasıyla WBI ve SR_{705} , T döneminde ise sırasıyla MCARI ve REPht indekslerinde elde edilmiştir.

Çizelge 3.4. 2008 yılı verim ile spektral indeksler arasındaki ilişkiler

İndeks	BD	Model	Model Özeti			Parametre	
			R ²	r	RMSE	a	b
NDVI	V	Doğrusal	0.239*	0.49	548	-5012.035	8362.859
	Ç	Doğrusal	0.832***	0.91	258	-7893.914	12695.273
	T	Doğrusal	0.884***	0.94	214	-5155.186	9597.912
NDVI ₇₀₅	V	Doğrusal	0.412**	0.64	482	-3840.404	10727.649
	Ç	Doğrusal	0.932***	0.97	164	-3202.161	10615.063
	T	Üssel	0.889***	0.94	214	14585.377	2.430
WBI	V	-	ns	-	-	-	-
	Ç	Doğrusal	0.388*	0.62	492	-53341.586	51558.781
	T	Doğrusal	0.744***	0.86	318	-56240.568	55014.063
SR	V	Doğrusal	0.305*	0.55	524	-439.794	224.363
	Ç	Logaritmik	0.856***	0.93	238	-4228.327	2882.226
	T	Logaritmik	0.861***	0.93	234	-2763.310	2361.376
SR ₇₀₅	V	Doğrusal	0.418**	0.65	480	-2466.910	1298.130
	Ç	Doğrusal	0.946***	0.97	146	-3125.410	1741.944
	T	Doğrusal	0.884***	0.94	214	-2013.484	1513.268
SIPI	V	Doğrusal	0.397**	0.63	488	54384.188	-51908.459
	Ç	Üssel	0.815***	0.90	282	5228.015	-41.220
	T	Üssel	0.795***	0.81	374	3218.016	-12.283
SIPI _{pen}	V	Doğrusal	0.231*	0.48	551	-4596.995	7961.926
	Ç	Doğrusal	0.864***	0.93	232	-7392.429	12220.931
	T	Doğrusal	0.902***	0.95	197	-5445.521	10101.693
PSSR	V	Doğrusal	0.571***	0.76	412	-60730.725	58938.308
	Ç	Doğrusal	0.936***	0.97	159	-54758.032	53713.883
	T	Doğrusal	0.798***	0.89	282	-46410.220	45982.889
MCARI	V	-	ns	-	-	-	-
	Ç	Doğrusal	0.571***	0.76	412	4143.617	-13924.376
	T	Doğrusal	0.448**	0.67	467	2743.459	-6124.304
TCARI	V	-	ns	-	-	-	-
	Ç	Logaritmik	0.822***	0.91	265	-3216.833	-3806.302
	T	Logaritmik	0.713***	0.84	337	-1189.957	-2345.478
REPht	V	Logaritmik	0.326*	0.57	516	-2596.381	-2516.834
	Ç	Logaritmik	0.912***	0.96	186	-3252.374	-3264.404
	T	Logaritmik	0.914***	0.96	185	-1721.625	-2559.407
ZM	V	Doğrusal	0.430**	0.66	475	-3254.691	1944.801
	Ç	Doğrusal	0.945***	0.97	147	-3914.550	2501.092
	T	Doğrusal	0.865***	0.93	231	-2582.004	2103.389

*** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05, ns : önemsiz (p ≥ 0.05), n = 18, BD: Büyüme dönemi, V: Vejetatif dönem, Ç: Çiçeklenme dönemi, T: Tane dolumu-hasat dönemi

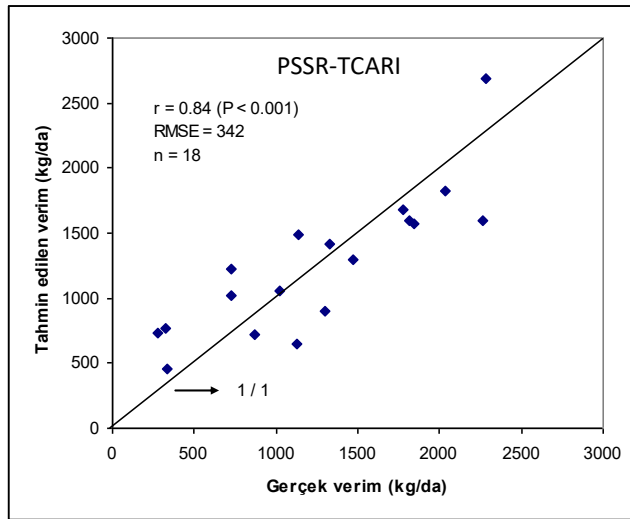
ÇDDR analizinde, öncelikle verim ile spektral indeksler arasında doğrusal olmayan ilişkiler doğrusal forma dönüştürülmüş ve daha sonra stepwise yöntemine göre analiz yapılmıştır. Bu analiz sonucunda sadece V döneminde birden fazla spektral indeks modelde yer almıştır. Vejetatif döneme ilişkin analiz sonuçları Çizelge 3.5'te verilmiştir. Modelde yer alan her iki spektral indeks de verim ile doğrusal ilişki göstermiştir. Söz konusu dönemde, PSSR indeksi verimin %57.1'ini açıklarken, TCARI indeksi ile birlikte bu değer %70.3'e yükselmiştir.

Çizelge 3.5. 2008 yılı V dönemi verim ile spektral indeksler arasındaki ÇDDR analiz sonuçları

	Model	Parametre	Standart Hata	R ²
1	Sabite	-60730.725	13441.611	0.571***
	PSSR	58938.308	12779.689	
2	Sabite	-90513.509	16290.855	0.703***
	PSSR	84636.033	14792.383	
	TCARI	10255.451	3959.558	

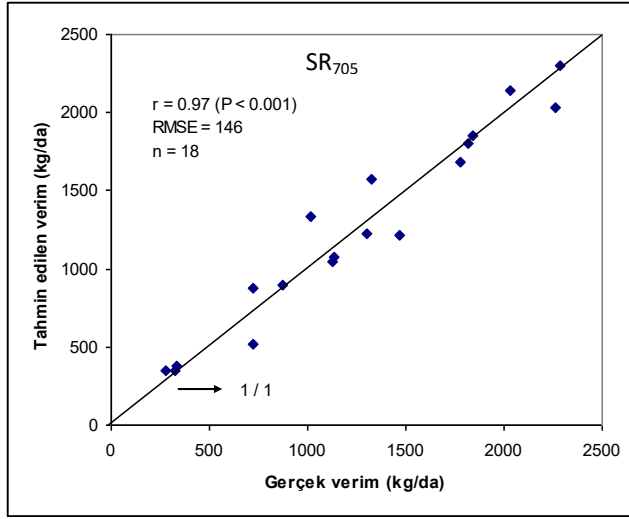
*** p < 0.001

Elde edilen R² değerleri %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Çizelgede en yüksek R² değerinin elde edildiği ikinci modele ilişkin duyarlılık analizi Şekil 3.4'te verilmiştir. Söz konusu dönemde, r ve RMSE değerleri sırasıyla 0.84 ve 342 kg/da olarak elde edilmiştir. Şekilde ölçülen ve tahmin edilen verim değerlerine ilişkin noktaların, özellikle 500-1500 kg/da aralığında 1/1 doğrusunun etrafında yeknesak dağıldığı; 500 kg/da'nın altındaki verim değerlerinde doğrunun üzerinde, 1500 kg/da'nın üzerindeki değerlerde ise genel olarak doğrunun altında toplandığı görülmektedir.



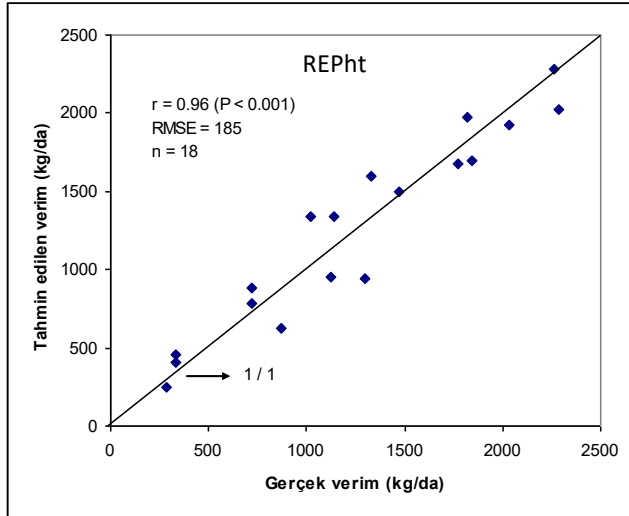
Şekil 3.4. 2008 yılı V dönemi ölçülen ve tahmin edilen verim arası ilişki

Çiçeklenme döneminde en yüksek R² ve r ile en düşük RMSE değerleri, verim ile arasında doğrusal ilişki bulunan SR₇₀₅ indeksinde bulunmuştur (Çizelge 3.4). Elde edilen ilişkiye ait duyarlılık analizi Şekil 3.5'te verilmiştir. Söz konusu dönemde, r ve RMSE değerleri sırasıyla 0.97 ve 146 kg/da olarak elde edilmiştir. Bu dönemde noktaların doğruya yakın ve etrafında genel olarak yeknesak dağıldığı söylenebilir.



Şekil 3.5. 2008 yılı Ç dönemi ölçülen ve tahmin edilen verim arası ilişki

Tane dolumu-hasat döneminde ise en yüksek R^2 ve r ile en düşük RMSE değerleri, verim ile arasında logaritmik ilişki bulunan REPht indeksinde elde edilmiştir (Çizelge 3.4). Bu ilişkiye ait duyarlılık analizi Şekil 3.6’da verilmiştir. Söz konusu dönemde, r ve RMSE değerleri sırasıyla 0.96 ve 185 kg/da olarak elde edilmiştir. Ç döneminde olduğu gibi burada da noktaların genel olarak doğru etrafında yeknesak dağıldığı görülmektedir.



Şekil 3.6. 2008 yılı T dönemi ölçülen ve tahmin edilen verim arası ilişki

Elde edilen bulgular, spektral indeksler yardımıyla verimin yüksek doğrulukla tahmin edilebileceğini göstermektedir. Tahmin gücünün V döneminden sonra hasada yaklaştıkça arttığı görülmektedir. Önceki çalışmalarda da, farklı bitkilerde ve mısırdaki verim ile spektral yansımalar veya indeksler arasında önemli ilişkiler elde edilmiştir. Kleman ve Fagerlund (1987), arpada SR ile verim arasında önemli istatistiksel ilişki bulunduğunu belirtmiştir. Fernandez ve ark. (1994) ve Raun ve ark. (2001), buğday bitkisinde verimin NDVI ile tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir. Strachan ve ark. (2002) mısır bitkisinde azot ve su stresine bağlı olarak verimin spektral indeksler ile tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir. Gopalapillai and Tian (1999) NDVI ile verim arasındaki korelasyon katsayılarını 0.13 ile 0.98 arasında bulmuşlardır. Babar ve ark. (2003), tam ve kısıtlı sulama koşullarında, yansıma değerleri (750 nm, 850 nm, 900 nm, 970 nm ve 1000 nm) ve NDVI ile buğdayın tane veriminin

belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, R^2 değerlerini 0.39 ile 0.55 arasında bulmuşlardır. Baez-Gonzales ve ark. (2002) uydu görüntülerinden hesapladıkları NDVI indeksini kullanarak mısır veriminin değerlendirilmesinde başarılı bir şekilde kullanılacağını belirtmişlerdir. Chang ve ark. (2003), mısırın verimini tahmin etmeye yönelik model geliştirmek amacıyla yaptıkları çalışmada; yeşil, kırmızı ve NIR bantlar ile NDVI ve GNDVI indekslerini kullanmışlar ve stepwise yöntemini kullanarak yapılan çok değişkenli regresyon analizi sonucunda R^2 değerlerini 0.17 ile 0.85 arasında bulmuşlardır. Araştırmacılar, model geliştirmek için farklı tarihlerde alınan verilerin mısırın verimini tahmin etme gücünü etkilediğini bildirmişlerdir. Söz konusu bulgu bu çalışma ile uyum içindedir. Baez-Gonzales ve ark. (2005) uydu görüntülerinden yararlanarak büyük alanlarda mısır verimini tahmin etmek için yaptıkları çalışmalarında, NDVI indeksini kullandıkları model yardımıyla verimin %9.2 hata ile tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir. Panda ve ark. (2010) spektral indeksler ile mısırın verimini tahmin etmek için yaptıkları çalışmalarında, en iyi modelde yıllara bağlı olarak tahmin doğruluğunu %83.5 ile 96 arasında bulmuşlardır. Araştırmacılar spektral tekniklerin mısır verimini tahmin etmede başarılı bir şekilde kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Weber ve ark. (2012) mısır tane veriminin yaprak düzeyindeki yansılardan yararlanarak tahmin edilmesi üzerine yaptıkları çalışmada, farklı büyüme dönemlerine bağlı olarak R^2 değerinin 0.36 ile 0.69 arasında değiştiğini ve tane dolun döneminde en iyi değer elde edildiğini bildirmişlerdir. Söz konusu çalışmadan elde edilen sonuçlar bu çalışma ile uyum içindedir. Demirel ve ark. (2014), aynı yörede farklı iki bitkide (biber ve patlıcan) yaptıkları çalışmada spektral indeksler ile verim arasındaki korelasyon katsayılarını 0.857 ile 0.997 arasında bulmuşlardır. Söz konusu çalışmada da farklı bitkiler için verim tahmini yapılabileceği vurgulanmıştır.

4.Sonuç

Spektral indeksler ile mısırın verimi arasında yapılan regresyon analizleri sonucunda istatistiksel olarak oldukça önemli ilişkiler elde edilmiştir. Söz konusu ilişkilerin özellikle vejetatif dönemden sonra güçlendiği ve bu nedenle de verime ilişkin tahminlerin çiçeklenme ve tane dolunu-hasat dönemlerinde yapılmasının daha sağlıklı sonuçlar vereceği kanaatine varılmıştır. Mısırın verim tahmininde, vejetatif dönem için $NDVI_{705}$ ve PSSR, çiçeklenme dönemi için PSSR ve SR_{705} , tane dolunu-hasat dönemi için PSSR ve REPht indekslerinin en başarılı spektral indeksler olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, mısır bitkisinin su stresine karşı oldukça duyarlı olduğu ve su stresinden kaynaklanabilecek verim değişiminin belirlenmesinde uzaktan algılama araçlarının kullanılabilceği ortaya çıkmıştır. Yaprak düzeyindeki spektral yansılardan hesaplanan spektral indeksler ile verim arasında tek değişkenli ve çok değişkenli olmak üzere istatistiksel olarak önemli modeller oluşmuştur. Elde edilen bu modeller, zamansal ve mekansal olarak çok sayıda ölçüm yapılmak koşuluyla, hasatta elde edilecek verimin doğru tahmini konusunda önemli bilgiler verecektir. Hassas tarım teknolojilerinin hızla yaygınlaştığı günümüzde, ülkemiz koşullarında da bu uygulamaların yapılması üreticilerin tarımda modernleşme sürecine katılımını sağlayacaktır.

Teşekkür

Çalışma, Gökhan ÇAMOĞLU'nun doktora tez çalışmasının bir bölümüdür.

Kaynakça

- Babar M.A., Reynolds M.P., Klatt A.R., Van Ginkel M., Raun, W.R., 2003. Using Spectral Reflectance as a Selection Tool for Yield and Biomass in Spring Wheat. International Symposium on Plant Breeding, 17-22 August, Mexico City.
- Baez-Gonzalez A.D., Chen P., Tiscareno-Lopez M., Srinivasan R., 2002. Using Satellite and Field Data with Crop Growth Modeling to Monitor and Estimate Corn Yield in Mexico. *Crop Science* 42: 1943-1949.
- Baez-Gonzalez A.D., Kiniry J.R., Maas S.J., Tiscareno M.L., Macias J.C., Mendoza J.L., Richardson C.W., Salinas J.G., Manjarrez J.R., 2005. Large-Area Maize Yield Forecasting using Leaf Area Index Based Yield Model. *Agron. J.* 97: 418-425.
- Chang J., Clay D.E., Dalsted K., Clay S.A., O'Neill M., 2003. Corn (*Zea Mays* L.) Yield Prediction Using Multispectral and Multidate Reflectance. *Agronomy J.* 95:1447-1453.
- Demirel K., Genc L., Bahar E., Inalpulat M., Smith S., Kizil U., 2014. Yield Estimate using Spectral Indices in Eggplant and Bell Pepper Grown under Deficit Irrigation. *Fresenius Environmental Bulletin* 23(5): 1232-1237.
- Fernandez S.D., Vidal D., Simon E., Sole-Sugranes L., 1994. Radiometric Characteristics of *Triticum Aestivum* cv. Astral under Water and Nitrogen Stress. *Int. J. of Remote Sensing* 15:1867-1884.
- GopalaPillai S., Tian L., 1999. In-field Variability Detection and Yield Prediction in Corn using Digital Aerial Imaging. *Trans. ASAE* 42: 1911-1920.
- Jackson R.D., Pinter P.J. Jr., Reginato R.J., 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.
- Kleman J., Fagerlund E., 1987. Influence of Different Nitrogen and Irrigation Treatments on the Spectral Reflectance of Barley. *Remote Sensing of Environment* 21: 1-14.
- Panda S.S, Daniel P.A., Panigrahi, S., 2010. Application of Vegetation Indices for Agricultural Crop Yield Prediction Using Neural Network Techniques. *Remote Sensing* 2: 673-696.
- Raun W.R., Solie J.B., Johnson G.V., Stone M.L., Lukina E.V., Thomason W.E., Schepers J.S., 2001. In-Season of Potential Grain Yield in Winter Wheat Using Canopy Reflectance. *Agronomy Journal* 93: 131-138.
- Strachan I.B., Pattey E., Boisvert J.B., 2002. Impact of Nitrogen and Environmental Conditions on Corn as Detected by Hyperspectral Reflectance Remote Sensing of Environment 80(2): 213-224.
- Tuncay Ö., Bozokalfa M.K., Eşiyok D., 2005. Ana Ürün ve İkinci Ürün Olarak Yetiştirilen Bazı Tatlı Mısır Çeşitlerinde Koçanın Agronomik ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 42(1): 47-58.
- Weber V.S., Araus J.L., Cairns J.E., Sanchez C., Melchinger A.E., Orsini, E., 2012. Rediction of Grain Yield using Reflectance Spectra of Canopy and Leaves in Maize Plants Grown under Different Water Regimes. *Field Crops Research* 128: 82–90.