

Buğday Verimi ve Biyokütlesi ile Uzaktan Algılama Vejetasyon İndisleri Arasındaki İlişkilerin Tarımsal İklim Bölgeleri Bazında Değerlendirilmesi

Murat GÜVEN TUĞAÇ^{1,*}  Harun TORUNLAR¹  Erol KARAKURT¹  Sinan AYDOĞAN¹ 

¹Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara

*Sorumlu yazar (Corresponding author) e-mail: muratguven.tugac@tarimorman.gov.tr

Geliş tarihi (Received): 22.05.2019

Kabul tarihi (Accepted): 19.07.2019

DOI: 10.21657/topraksu.655617

Öz

Tarımsal ürünlerin izlenmesi ve verim öngörülerinin yapılmasında uydu görüntülerinden elde edilen vejetasyon indisleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Meteorolojik faktörlerdeki değişimler ve özellikle düzensiz yağış rejimi farklı ekolojik bölgelerde olumlu ve olumsuz etkiler göstermektedir. Bu çalışmanın amacı, Tarımsal İklim Bölgeleri (TİB) bazında, spektral vejetasyon indisleri ile verim ve biyokütle arasındaki ilişkilerin araştırılması ve zamansal bazda etkili vejetasyon indislerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, TİB'in oluşturulmasında; Kuraklık indisi ve Etkili Sıcaklık Toplamı (EST) parametreleri kullanılarak 5 farklı bölge belirlenmiştir. Arazi çalışmalarında, Ankara ve Konya illerinde buğday ekili 108 parsellerden bitki örnekleme yapılarak verim ve biyokütle değerleri elde edilmiştir.

Bitki gelişme dönemi boyunca, MODIS uydu görüntüsünden elde edilen 15 farklı döneme ait Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI) ile Zenginleştirilmiş Bitki İndeksi (EVI) kullanılmıştır. Vejetasyon indisleri ile biyokütle ve verim arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile incelenmiştir. Vejetasyon indisleri ile biyokütle arasında en yüksek ilişki; NDVI için Mayıs ayında, 12. dönem (%75) ve 13. dönem (%72), EVI için 12. dönem (%71) ve 13. dönemde (%72) gerçekleşmiştir. Vejetasyon indisleri ile verim arasında en yüksek korelasyon 12. dönemde, NDVI (%72) ve EVI (%70) olarak tespit edilmiştir. Bitki gelişim dönemi içinde 12. ve 13. dönemler başaklanma/çiçeklenme dönemine karşılık gelmektedir.

Parametrelerin önemlilik düzeylerine ($p < 0.05$) göre doğrusal regresyon modelleri oluşturulmuştur. TİB bazında belirlenen vejetasyon indisleri için oluşturulan modellerde R^2 değerleri, biyokütle-NDVI arasında 0.16 ile 0.84 arasında değişirken alanın bütünü için 0.56 oranında ve biyokütle-EVI arasında 0.24 ile 0.68 arasında değişirken alanın bütünü için 0.52 düzeyindedir. Bu oranlar verim ve NDVI arasında 0.28 ile 0.72 arasında değişirken alanın bütününde 0.53 ve verim-EVI arasında 0.32 ile 0.54 arasında değişirken alanın bütünü için 0.48 düzeyindedir. TİB bazında yapılan tahmin modellerinde alanın bütünü için yapılan modele göre daha yüksek düzeyde ilişkiler elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler : Biyokütle, EVI, NDVI, tarımsal iklim bölgeleri, verim

Evaluation of the Relationships Between Wheat Yield and Biomass with Remote Sensing Vegetation Indices on the basis of Agricultural Climate Regions

Abstract

Vegetation indices obtained from satellite images are widely used in the monitoring of agricultural crops and the prediction of yields. The changes in meteorological factors and especially the irregular rainfall regime have positive and negative effects on different ecological regions. The aim of this study is to investigate the relationships between spectral vegetation indices, yield and biomass on the basis of agricultural climatic regions (ACZ) and to determine effective vegetation indices on a temporal basis. In this context, 5 different regions were determined by using aridity index and growing degree days (GDD) parameters in establishing ACZ. In the field studies, the plant samples were collected from 108 plots of wheat cultivated in Ankara and Konya provinces and yield and biomass values were obtained.

During the crop growing period, Normalized Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI) of 15 different periods from MODIS satellite image were used. The relationship between vegetation indices and biomass and yield was examined by Pearson correlation coefficient. The highest correlation between vegetation indices and biomass was observed in May in 12th period (75%) and 13th period (72%) for NDVI, 12th period (71%) and 13th period (72%) for EVI. The highest correlation rate between vegetation indices and yield was determined as NDVI (72%) and EVI (70%) in the 12th period. During the vegetation period, the 12th and 13th periods correspond to the heading / anthesis period.

Linear regression models were created according to the significance levels ($p < 0.05$) of the parameters. The R^2 values for the vegetation indexes determined for ACZ-based models ranged from 0.37 to 0.87 for biomass-NDVI and 0.56 for the whole area, 0.24 to 0.68 for the biomass-EVI and 0.52 for the whole area. These ratios vary between 0.28 and 0.72 between yield and NDVI, whereas 0.53 in whole area. The yield-EVI ranges from 0.32 to 0.54, while it is 0.48 for the whole area. In ACZ based estimation models, a higher level of relationship was obtained than the model made for the whole area.

Keywords: Agricultural climate regions, biomass, EVI, NDVI, yield

GİRİŞ

Gıda gereksinimi, nüfusun artışı ve ortalama gelirin yükselmesine bağlı olarak giderek artmaktadır (UN-DESA, 2013). Gıda üretimini ve tarımsal verimliliği belirleyen en önemli faktörden birisi iklimdir. Tarımsal üretim; sıcaklık, yağış ve buharlaşma gibi iklim faktörlerinin etkisi altındadır. Bitkinin gelişim dönemi boyunca zamana bağlı olarak sıcaklık ve yağışın dağılımı ve miktarı tarımsal üretim düzeyini belirlemektedir.

Bitki gelişimi ve verimlilikte bölgeler arasındaki ekolojik farklılıklar büyük rol oynamaktadır (Bauma, 2005). Bir bölge içinde benzer iklim, toprak ve topografik koşullara sahip alanların bir araya getirilmesiyle oluşan bölgeler tarımsal ekolojik bölgeler (TEB) olarak tanımlanır (FAO,

1996). Bu alanlarda, iklimsel koşulların çeşitliliğini belirlenmesinde en önemli parametrelerin bir tanesi Tarımsal İklim Bölgeleri (TİB) dir.

Tarımsal İklim Bölgeleri, nemlilik rejimi, bitki büyüme uzunluğu ve mevsimsellik temelinde ekolojik koşulları temsil etmektedir. Bölgeselleştirme yaklaşımı ile; verim çeşitliliği ve bitki gelişimini sınırlayıcı faktörleri tanımlaması (Caldiz vd., 2002; Williams vd., 2008), optimum yetiştirme tekniğinin belirlenmesi (Seppelt, 2000), verim eğilimlerinin karşılaştırılması (Gallup ve Sachs, 2000), işletmelerin üretimi artırmak ve yeni üretim teknolojileri için uygun alanların belirlenmesi (Geerts vd., 2006; Araya vd., 2010) ve iklim değişikliğinin tarım üzerindeki

etkilerinin analiz edilmesinde (Fischer vd., 2005) kullanılmaktadır. Bölgeselleştirme analizinde, farklı ekolojik parametrelerinin bir araya getirilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknikleri etkin olarak kullanılmaktadır (FAO, 1996). Ayrıca, bu bölgeler teknolojinin benimsenmesini kolaylaştırmakta ve bu tür teknolojilerin ve araştırmaların verimliliği arttırdığı iklimlerin büyüklüğü, konumu ve özellikleri hakkında fikir vererek yenilikçi yaklaşımları teşvik edilmesini sağlamaktadır. Mevcut ekim alanlarının verimliliğini artırmak için gelecekte yeni tarım yöntemlerinin uygulanabileceği benzer bölgeleri belirlemeye yardımcı olmaktadır.

Vejetasyon indisleri bitkilerin zaman bağlı olarak gelişimlerdeki farklılıkların ortaya konulmasında kullanılan en etkili yöntemlerden birisidir (Lu vd., 2005). Vejetasyon indisleri uzaktan algılama gözlemleri ve bitki karakteristikleri arasındaki fonksiyonel ilişkiyi bulmak için geliştirilmiştir. Bu indeksler ile su stresi, azot seviyesi gibi bitki gelişimine büyük etkisi olan faktörlerin bitkiler üzerindeki etkileri izlenebilmektedir. Kırmızı ve yakın kızılötesi (NIR) bölgelerindeki spektral yansımaları doğrudan bitki biyokütlesi ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Vejetasyon indislerini oluşturan kırmızı ve NIR spektral dalga bantlarının matematiksel kombinasyonları, spektrumun her iki bölgesinde bitki yansımada kullanılmaktadır (Lusch, 1999).

Vejetasyon indis değerleri teorik olarak (-1) ile (+1) arasında değişmektedir. Yeşil bitki örtüsünün fazla olduğu alanlarda indeks değeri +1'e doğru yaklaşırken bulutlar, su ve kar düşük (eksi) indeks değerlerine sahiptir. Çıplak toprak ve zayıf bitki örtüsü durumunda ise sifıra yakın değeri gösterir (Kogan, 1994). Düşük indeks değerine sahip alanlar kuraklık, hastalık ve zararlılar, yetersiz yetiştirme tekniği uygulamaları gibi çeşitli nedenlerle zayıf bitki gelişiminin olduğu bölgeleri işaret etmektedir. Diğer taraftan yüksek indeks değerleri ise bitki gelişiminin sağlıklı olduğu yerleri göstermektedir.

Bitki gelişim indisleri arasında en yaygın olarak kullanılan vejetasyon indisleri içinde yer alan Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI) ve Zengilleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI) dir. Bu vejetasyon indisleri ile bitkilerin biyokütle miktarı, kuraklık, yaprak alan indeksi ve verim ile anlamlı

ilişkiler geliştirilmiştir. Uydu görüntülerinden elde edilen bu indisler; bitki gelişiminin izlenmesi (Minamiguchi, 2005), ürün haritalama (Zhang vd., 2011) ve verim tahmini (Balaghi vd., 2008; Kouadio vd., 2014) amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Tarımsal İklim Bölgeleri bazında buğday'ın gelişme dönemi boyunca orta çözünürlüklü MODIS vejetasyon indisleri ile izlenerek verim ve biyokütle arasındaki ilişki düzeyleri araştırılmıştır. Vejetasyon indislerinin zamansal olarak TİB'nde etkili olduğu dönemler belirlenerek regresyon modelleri oluşturulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

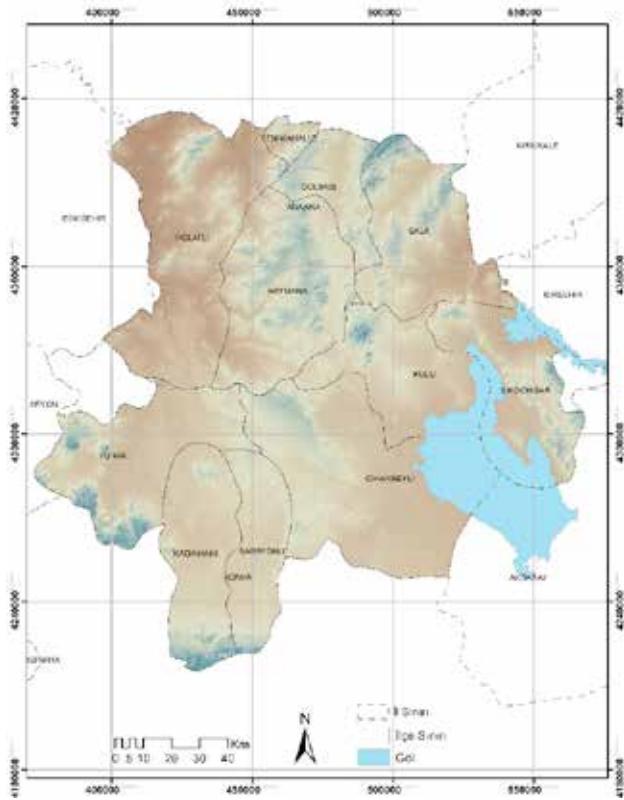
Çalışma alanı

Çalışma alanı, Orta Anadolu Bölgesinde nadas-tahıl tarım üretiminin yoğun olarak yapıldığı Ankara ilinde; Polatlı, Yenimahalle, Bala, Gölbaşı, Haymana, Ş.Koçhisar ilçeleri ile Konya ilinde Kulu, Cihanbeyli, Yunak, Kadıhanı Ve Sarayönü ilçelerini kapsamaktadır. Çalışma alanı, batısında Sakarya nehri, doğusunda Kızılırmak nehri ve güneydoğusunda Tuz gölü ile sınır oluşturmaktadır. Alanın yaklaşık yüzölçümü 23.000 km² dir (Şekil 1). Yükselti, 600 m ile 2000 m arasında değişmektedir. Yarı kurak iklim rejiminin hakim olduğu bölgede, yıllık ortalama sıcaklık 11.7 °C ve yıllık yağış toplamı 360 mm dir.

Veri kaynakları

Modis-Terra (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) uydu görüntülerinden elde edilen vejetasyon indislerinden, NDVI ve EVI bitki gelişim indisleri kullanılmıştır. Modis uydu görüntüsünün mekansal çözünürlüğü 250 m ve zamansal çözünürlüğü 1-2 gündür. Modis görüntülerinden üretilen vejetasyon indisleri yıl içinde 23 adet görüntü içeren 16 günlük maksimum kompozit verilerdir.

İklim verilerinin elde edilmesinde; Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından üretilen. 1975-2015 yılları arasında meteorolojik istasyonlara ait uzun yıllar günlük verileri içeren iklim veri tabanından elde edilen; minimum, maksimum, ortalama sıcaklık, yağış, nispi nem, rüzgar hızı, güneşlenme süresi parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı
Figure 1. Study area

Bitki örnekleme, 2016 yılı temmuz ayında gerçekleştirilmiştir. Bitki örnekleri, kuru şartlarda ekmeleklik buğday üretimi yapılan lokasyonlarında ve parselin üç farklı noktasından 1 m² lik alanlarda yapılmıştır. Örnekleme lokasyonları, ekolojik bölge içinde bulunan ilçelerin kuru tarım alanlarının yoğunluğu dikkate alınmış ve seçilen ilçelere bağlı köyler de rastgele örnekleme yöntemi ile çiftçi parselleri belirlenerek yapılmıştır.

İklim parametrelerinin mekânsal dağılımı

İklim verileri, günlük veri formatından istasyon bazında aylık ortalama verilere dönüştürülmüştür. Meteorolojik istasyonlara ait uzun yıllar aylık ortalamaları içeren noktasal bazlı iklim verileri ile 90 metre çözünürlüklü SRTM (Space Radar Topography Mission) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi ile entegre edilmiştir. Bu amaçla Hutchinson'un (1995) "thin-plate smoothing spline" enterpolasyon tekniği ve ANUSPLIN yazılımı (Hutchinson, 2000) kullanılmıştır. Bu teknikte, hücre bazda rastgele dağılmış noktasal veriler yükseklik faktörü de dikkate alınarak, alana yayılması ve her hücrenin sayısal olarak değerini tahmin edilmesini sağlayan istatistiksel bir yaklaşımdır. İklim yüzey haritaları, CLIMAP

(Pertziger ve De Pauw, 2002) programı aracılığıyla raster veri formatında üretilmiştir.

Tarımsal iklim bölgeleri

Tarımsal iklim bölgeleri (TİB), nemlilik rejimi ve etkili sıcaklık toplamı (EST) olmak üzere iki alt kapsamdan oluşmaktadır. Bu kapsamda; nemlilik rejimi, yıllık toplam yağışın potansiyel evapotranspirasyon miktarına oranını ifade etmektedir. Bu oran aynı zamanda kuraklık indisi (KI) olarak ifade edilmektedir (UNEP, 1993). Referans buharlaşma değeri günlük bazda iklim verileri (minimum, maksimum, ortalama sıcaklık, yağış, nispi nem, rüzgar hızı, güneşlenme süresi) kullanılarak Penman-Monteith (Allen vd., 1998) metoduna göre Eşitlik 1 de verilmiştir. Bu yaklaşımda, yağışla sağlanan su miktarı yanında ihtiyaç duyulan su talebi de dikkate alınmaktadır. Nemlilik rejimi kendi içinde; yarı kurak-kurakça ve yarı kurak-nemlice olarak sınıflandırılmıştır (Türkes, 1999).

(Eşitlik 1)

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T - 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 - 0.34 u_2)}$$

Eşitlikte; ET₀: referans buharlaşma değeri (mm/gün), T: ortalama sıcaklık (°C), Δ: buhar basıncı (kPa °C⁻¹); γ: psikrometrik sabit (kPa °C⁻¹), G: toprak ısı akış yoğunluğu (MJ m⁻² d⁻¹), R_n: net radyasyon (MJ m⁻² d⁻¹), e_s: Saturasyon buhar basıncı (kPa), e_a: Gerçek buhar basıncı u₂: 2 m yükseklikteki rüzgar hızı (m/s) dir.

Etkili Sıcaklık Toplamı (EST), ürünün gelişiminin fenolojik dönemler bazında değerlendirildiği sıcaklığa dayalı bir göstergedir. Sıcaklık ve ışık bitkisel üretimde önemli bir rol oynamaktadır. Bitki gelişme dönemi boyunca farklı fenolojik dönemlerin oluşumu sıcaklık ile ilişkili olarak toplam derece gün miktarı ile hesaplanmaktadır (Gouri vd., 2005). Buğday'ın gelişiminde belirleyici olan EST gelişme dönemi boyunca Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır (McMaster ve Wilhelm, 1997).

$$EST = \sum_1^n (T_a - T_b) \quad T_a \geq T_b \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$$EST = 0. \quad T_a < T_b$$

Bu eşitlikte; T_a günlük ortalama sıcaklık, $T_a = (T_{mak} + T_{min})/2$, T_{mak} günlük maksimum sıcaklık, T_{min} : günlük minimum sıcaklık, T_b : bitki büyüme sıcaklığı eşiği (buğday için $5\text{ }^\circ\text{C}$) dir. Tarımsal İklim Bölgelerini oluşturan parametrelere ait sınıf değerleri Çizelge 1. de verilmiştir.

Çizelge 1. Tarımsal iklim bölgeleri sınıfları

Table 1. Agro-climatic zones classes

Parametre	Sınıf	Açıklama
Ki	0.20 - 0.35	Yarı kurak-kurakça
	0.35 - 0.50	Yarı kurak-nemlice
	0.50 - 0.75	Yarı nemli
EST	< 1900	Soğuk
	1900 - 2400	Serin
	2400 - 2700	Sıcak
	2700 - 3000	Çok sıcak
	>3000	Aşırı sıcak

Vejetasyon indisleri

Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI), vejetasyonun fotosentez kapasitesinin bir göstergesi olarak yakın kızılötesi (NIR) dalga boyu ile kırmızı (RED) bölge dalga boyunun farkının toplamına oranı olarak aşağıdaki Eşitlik 3 de ifade edilmiştir (Tucker, 1979).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Zenginleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI), atmosfer koşulları ve toprak zemini gibi çevresel faktörlerin olumsuz etkileri azaltılmıştır (Huete vd., 2002). EVI vejetasyon indisi Eşitlik 4 te verilmiştir.

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + C_1 \times \rho_{red} - \rho_{blue} + L} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Bu eşitlikte, EVI algoritmasında kullanılan ampirik katsayılar, $L = 1$. $C_1 = 6$. $C_2 = 7.5$ ve $G = 2.5$ dir. Hem EVI hem de NDVI indeks değerleri -1 ile 1 arasında değişmekte olup yüksek pozitif değerler sağlıklı yeşil bitki örtüsünü göstermektedir. Kayalık ve çıplak alanlar sıfıra yakın değerlere, su ve kar ise negatif değerlere sahiptir.

İstatistiksel analiz

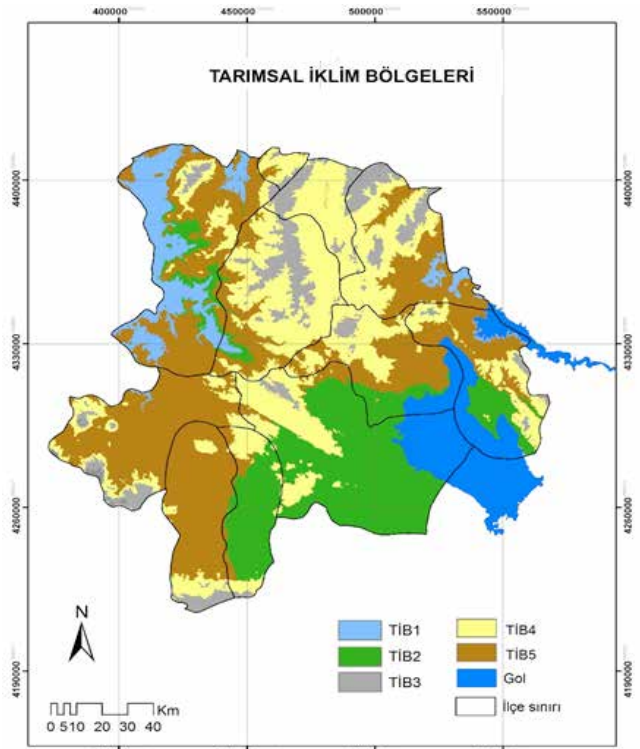
Bu çalışmada, kışık buğday'ın verim ve biyokütlesi ile MODIS uydu görüntüsünden elde edilen bitki gelişim indisleri arasındaki istatistiksel ilişkilerin belirlenmesinde, doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Regresyon modellerinde tahmin edilmek istenen bağımlı değişken olarak

verim ve biyokütle, bağımsız değişkenler ise; gelişme dönemi boyunca uydu görüntülerinden elde edilen NDVI ve EVI bitki gelişim indisleridir. Bu analiz ile TİB bazında gelişme dönemi boyunca etkili bitki gelişim indislerinin belirlenerek verim ve biyokütleyle olan ilişki düzeyleri belirlenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

TİB, temel iklim parametrelerinin kullanılması sonucu üretilen nemlilik ve sıcaklık rejimi indislerinden oluşturulmuştur. Nemlilik rejimi aynı zamanda kuraklık indisi olarak ifade edilmektedir. Yarı kurak iklim şartlarının hakim olduğu bölgede, bölgeler arasındaki farklılığının ortaya çıkması için yarı kurak kurakça ve yarı kurak nemlice olmak üzere iki alt kapsama ayrılmıştır. Diğer bir ana parameter olan sıcaklık rejiminin belirlenmesinde, Etkili Sıcaklık Toplamı (EST) parametresi kullanılmıştır. EST ürünün bitki gelişim dönemi uzunluğunun belirlenmesinde kullanılan ana parametrelerden birisidir. Bu kapsamda, buğday'ın bölgesel bazda gelişimindeki farklılıkları belirlenmiştir.

Çalışma alanı 5 farklı tarımsal iklim bölgesini içermektedir (Şekil 2). En yaygın olan bölge TİB5 (%33.8) olurken bu bölgeyi sırasıyla; TİB4 (%27.6), TİB2 (%23.9), TİB3 (%7.3) ve TİB1 (%7.2) bölgeleri



Şekil 2. Çalışma alanı
Figure 2. Study area

Çizelge 2. TIB bazında biyokütle ve verim değerleri
Table 2. Biomass and yield values on TIB basis

TIB	Biyokütle (kg/da)				Verim (kg/da)			
	Ort	Min	Mak	Std_hata	Ort	Min	Mak	Std_hata
1	886.2	731.1	1009.6	27.2	369.2	285.2	430.0	14.3
2	667.8	281.5	1232.0	57.5	255.8	105.0	470.0	23.2
3	1040.6	827.4	1324.4	63.7	386.5	277.0	509.3	26.8
4	964.7	600.0	1389.0	36.2	355.2	199.3	506.7	13.4
5	846.1	294.1	1411.9	48.9	327.5	121.5	512.2	17.6

takip etmektedir. TIB5 bölgesinde rakım 850 m ile 1000 m arasında değişim gösterirken iki hat boyunca yayılım göstermektedir. (1) Polatlı, Yunak ve Kadıhanı ilçeleri boyunca, (2.) Kulu, Bala, ve Ş.koçhisar ilçelerini kapsamaktadır.

TIB1 bölgesi, en yüksek sıcaklık toplamına (EST > 3000 derece gün) sahip bölge olup Polatlı ilçesinde sakarya nehri boyunca, 800 m rakıma kadar olan alanlarda dağılım göstermektedir. TIB3 bölgesi ise serin iklim bölgesi sınıfında olup Haymana ilçesinde 1200 m üzerinde rakımlı alanları kapsayan ve çalışma alanı içerisinde EST değeri en düşük (1900-2400 derece gün) bölgeleri kapsamaktadır. Tuz gölü ve çevresinde yaygın olarak dağılım göstermekte olan TIB2 bölgesi ise yarı kurak-kurakça nemlilik rejiminde ve EST değeri 2700-3000 derece gün olan bölgeleri karakterize etmektedir. TIB3 bölgesi ise çalışma alanının orta kesimi boyunca ve 1000-1200 m rakıma sahip olan Haymana, Gölbaşı ve Bala ilçelerinde yaygın bir dağılım göstermektedir.

Arazi çalışmalarında, 108 lokasyondan bitki mataryeli toplanmıştır. TIB bazında toplanan bitki örneklerine ait verim ve biyokütle değerleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. En yüksek verim değeri TIB3 de 386.5 kg/da olurken, en düşük verim ortalaması TIB2 de 255.8 kg/da dir. Biyokütle açısından en yüksek verim TIB3 de 1040.6 da/kg iken en düşük değer TIB2 de 667.8 kg/da olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 2).

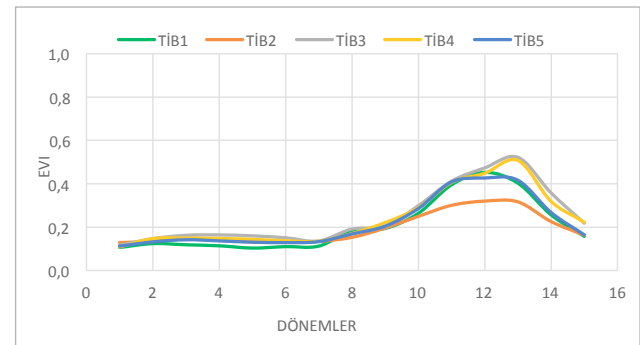
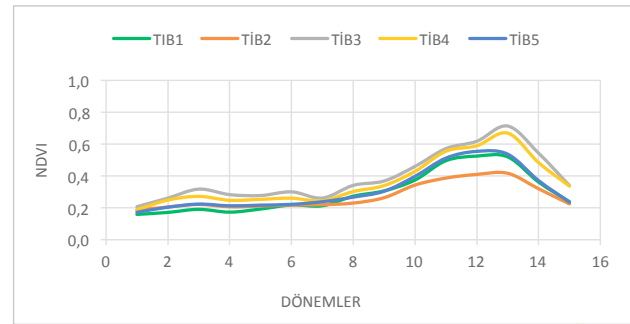
Çizelge 3. Vegetasyon indis dönemleri
Table 3. Vegetation indices periods

Dönem	Tarih	Dönem	Tarih
1	01 Kasım-16 Kasım	9	06 Mart-21 Mart
2	17 Kasım-02 Aralık	10	22 Mart-06 Nisan
3	03 Aralık- 18 Aralık	11	07 Nisan-22 Nisan
4	19 Aralık- 03 Ocak	12	23 Nisan-08 Mayıs
5	01 Ocak-17 Ocak	13	09 Mayıs-24 Mayıs
6	18 Ocak-17 Şubat	14	25 Mayıs-09 Haziran
7	18 Şubat-05 Mart	15	10 Haziran-25 Haziran
8	06 Mart-21 Mart		

Bitki gelişimi boyunca 15 adet dönem için 16 günlük periyotlarda elde edilen vejetasyon indisleri ile verim ve biyokütle arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir (Çizelge 3).

Bitki gelişim dönemi içinde hem NDVI hem de EVI indislerinin en yüksek değere ulaştığı, başaklanma/çiçeklenme dönemi için 12. ve 13. dönemler öne çıkmıştır. En zayıf gelişim hem NDVI hemde EVI indisleri için TIB2 de gözlenmiştir. En iyi gelişim ise TIB3 de rakımı yüksek olan alanlarda görülmüştür (Şekil 3).

Çalışma alanında, 2015-2016 sezonluk yağış dağılımı fenolojik dönem bazında incelenmiştir (Şekil 4). Ekim işlemi gerçekleştikten sonra ekim ayında düşen yağışlar ile çıkışların gerçekleştiği daha sonra kasım ve aralık ayında yeterli yağışların



Şekil 3. TIB bazında vejetasyon indislerinin zamansal değişimi
Figure 3. Temporal variation of vegetation indices on TIB basis

alınmadığı görülmüştür. Vejetasyon gelişiminin en hızlı olduğu dönemler olan nisan ayında düşük bir yağışın gerçekleşmesi ve mayıs ayının sonlarına doğru yağışların gerçekleşmesi sebebiyle özellikle düşük rakımlı alanlar olumsuz etkilenmiş ve bitkinin strese girdiği parseller gözlenmiştir. Yüksek rakımlı alanların ise başaklanma/çiçeklenme fenolojik dönemi itibariyle yağışlardan daha çok faydalandığı gözlenmiştir. Çalışma alanında en yüksek biyokütle ve verim değerleri TİB3 ve TİB4'ünde içinde olduğu bu bölgelerde elde edilmiştir.



Şekil 4. 2015-2016 sezonu aylık yağış değişimi ve buğday fenolojik dönemleri (Ankara meteorolojik istasyonu)

Figure 4. 2015-2016 season rainfall pattern and wheat phenological stage (Ankara meteorological station)

Çalışma alanının geneli için vejetasyon indisleri ile verim ve biyokütle arasındaki ilişkiler incelenmiştir (Çizelge 4). Biyokütle için bütün dönemler NDVI için önemli bulunurken, EVI indisi için 2 ve 15. dönemler arasında önemli bulunmuştur. Vejetasyon indisleri ile biyokütle arasında en yüksek ilişki; NDVI için 12. dönem (%75) ve 13. dönem (%72), EVI için 12. dönem (%71) ve 13. dönemlerde (%72) gerçekleşmiştir. Vejetasyon indisleri ile verim arasındaki ilişkiler incelendiğinde NDVI ve EVI için 2 ile 15. dönemler arasında önemli düzeyde ilişkiler bulunmuştur. Vejetasyon indisleri ile verim arasında en yüksek korelasyon oranı 12. dönemde, NDVI (%72) ve EVI (%70) olarak gözlenmiştir. Vejetasyon indislerinin 11 ve 13. dönemler arasında verim ve biyokütle ile yüksek korelasyonların olduğu gözlenmiştir. Bu dönemler buğday'ın vejetatif gelişme dönemi içinde sapa kalkma ile çiçeklenme dönemi arasındaki zamanı kapsamaktadır.

Tarımsal İklim Bölgeleri bazında verim ve biyokütle ile vejetasyon indisleri değerlendirildiğinde, buğday'ın çıkış döneminden başlayarak olgunlaşmaya kadar fenolojik dönem (FD) bazında farklı vejetasyon indislerinin öne çıktığı

Çizelge 4. Biyokütle ve verim ile vejetasyon indisleri arasındaki korelasyon değerleri

Table 4. Correlation rates between biomass and yield and vegetation indices

Dönem	NDVI		EVI	
	Biyokütle	Verim	Biyokütle	Verim
1	0.199*	0.138	0.090	0.048
2	0.411**	0.346**	0.336**	0.297**
3	0.498**	0.417**	0.323**	0.257**
4	0.450**	0.398**	0.344**	0.307**
5	0.427**	0.381**	0.351**	0.302**
6	0.495**	0.467**	0.398**	0.378**
7	0.517**	0.494**	0.413**	0.387**
8	0.534**	0.509**	0.416**	0.399**
9	0.550**	0.525**	0.407**	0.378**
10	0.542**	0.516**	0.479**	0.468**
11	0.688**	0.660**	0.663**	0.609**
12	0.746**	0.726**	0.705**	0.695**
13	0.723**	0.678**	0.719**	0.658**
14	0.611**	0.529**	0.555**	0.465**
15	0.448**	0.336**	0.372**	0.267**

* ilişki 0.05 seviyede önemlidir.

** ilişki 0.01 seviyede önemlidir

görülmüştür. Özellikle, buğday'ın gelişme dönemi içinde sapa kalkma dönemi (SK) ve başaklanma/çiçeklenme dönemi (BÇ) önem taşımaktadır. İstatistik analizler de oluşturulan regresyon modelleri için SK ve BÇ dönemleri bazında bağımsız değişkenlerin önemlilik düzeylerine göre etkili vejetasyon indisleri belirlenmiştir.

Biyokütle ile NDVI arasında en yüksek ilişki TİB1 de SK de %80 ve BÇ dönemlerin de %84 düzeyinde görülmüştür. SK dönemin de, TİB3 (%65) ve TİB5 (%56), BÇ dönemin de ise TİB3 (%60) ve TİB5 (%58) izlemiştir. Biyokütle ile EVI arasında en yüksek ilişki TİB5 de SK dönemin de %62 ve BÇ dönemin de TİB1 de %68 oranında görülmüştür. SK döneminde, TİB3 (%65), BÇ döneminde ise TİB3 (%60) ve TİB5 (%62) düzeyinde gözlenmiştir. Butun lokasyon verilerinin ele alındığında ise biyokütle ile NDVI arasında SK döneminde %47 ve BÇ dönemin de %56, biyokütle ile EVI arasında SK döneminde %66 ve BÇ döneminde %62 oranlarında gerçekleşmiştir (Çizelge 5).

Verim ile NDVI arasında en yüksek ilişki TİB1 de SK de %68 ve BÇ dönemlerin de %72 düzeyinde görülmüştür. SK dönemin de, TİB3 (%54) ve TİB2 (%51), BÇ döneminde ise TİB5 (%56) ve TİB3 (%54) sırasıyla izlemiştir. Verim ile EVI arasında

Çizelge 5. TİB bazında biyokütle ve vejetasyon indisleri arasında istatistiki model değerleri

Table 5. Statistical model values between biomass and vegetation indices on TIB basis

	FD	Biyokütle-NDVI			Biyokütle-EVI		
		Regresyon modeli	p	R ²	Regresyon modeli	p	R ²
TİB 1	SK	$y=590.2+596.7x11$	0.000	0.80	$y=732.4+389.2x11$	0.024	0.49
	BÇ	$y=464.1+803.4x13$	0.000	0.84	$y=609.3+687.3x13$	0.003	0.68
TİB 2	SK	$y=135.8+1322x11$	0.000	0.53	$y=260.5+1355.2x11$	0.006	0.33
	BÇ	$y=267.5+1035.4x12$	0.000	0.51	$y=343.8+1069.3x12$	0.001	0.43
TİB 3	SK	$y=81.9+1550.9x12$	0.016	0.65	$y=440.5+1268.3x12$	0.015	0.65
	BÇ	$y=343.6+1283.3x14$	0.027	0.60	$y=353.1+1921.3x14$	0.027	0.60
TİB 4	SK	$y=463.0+850.9x12$	0.002	0.27	$y=582.1+852.8x12$	0.007	0.22
	BÇ	$y=465.5+745.9x13$	0.022	0.16	$y=479.2+956.2x13$	0.004	0.24
TİB 5	SK	$y=69.1+1271.9x11$	0.000	0.56	$y=184.3+1620.0x11$	0.000	0.66
	BÇ	$y=178.7+1203.1x13$	0.000	0.58	$y=247.6+1437.8x13$	0.000	0.62
Genel	SK	$y=219.6+1210.5x12$	0.000	0.47	$y=351.0+1332.6x11$	0.000	0.44
	BÇ	$y=225.8+1210.5x12$	0.000	0.56	$y=322.4+1259.6x13$	0.000	0.52

en yüksek ilişki TİB3 de SK dönemin de %51 ve BÇ döneminde TİB1 de %54 oranındadır. SK döneminde, TİB5 (%49), BÇ döneminde ise TİB3 (%51) ve TİB5 (%49) düzeyinde gözlenmiştir. Butun lokasyon verilerinin ele alındığında ise verim ile NDVI arasında SK döneminde %44 ve BÇ dönemin de %53, verim ile EVI arasında SK döneminde %37 ve BÇ döneminde %48 oranlarında gerçekleşmiştir (Çizelge 6). TİB bazında model sonuçlarına ekolojik bölgelerden alınan örnekleme sayıları da etki etmektedir. Ekolojik bölgeyi temsil edecek sayıda örneklemin yapılması model performanslarının artmasını sağlayacaktır. Çalışma alanının genelinde NDVI ve EVI indisleri kullanılarak oluşturulan modellerde büyük bir farklılık gözlenmemiştir.

TİB'ne göre farklı vejetasyon indislerinin etkin olması, model sonuçlarında farklılıklar oluşmasını sağlamıştır. TİB bazında önemlilik düzeyleri ($p<0.05$) dikkate alınarak belirlenen etkili vejetasyon indisleri için oluşturulan hem NDVI hemde EVI tabanlı modellerde vejetatif gelişim döneminde genellikle 11. dönemin öne çıkmaktadır. Yüksek rakımlı bölgelerde ise 12. dönemin etkili olduğu görülmüştür. Başaklanma/Çiçeklenme döneminde ise çalışma alanının genelinde ise 13. dönemin yaygın olarak öne çıkmaktadır. Bu alanların dışında, Tuz gölü ve civarında 12. dönemin ve Haymana gibi yüksek rakımlı bölgelerde ise 14. dönemin öne çıktığı gözlenmiştir.

Çizelge 6. TİB bazında verim ve vejetasyon indisleri arasında istatistiki model değerleri

Table 6. Statistical model values between yield and vegetation indices on TIB basis

	FD	Verim-NDVI			Verim-EVI		
		Regresyon modeli	p	R ²	Regresyon modeli	p	R ²
TİB 1	SK	$y=225.3+290.0x11$	0.003	0.68	$y=295.2+187.5x11$	0.045	0.41
	BÇ	$y=163.1+392.3x13$	0.002	0.72	$y=235.3+296.1x12$	0.015	0.54
TİB 2	SK	$y=45.6+522.2x11$	0.000	0.51	$y=90.2+550.9x11$	0.006	0.34
	BÇ	$y=98.3+407.4x12$	0.000	0.49	$y=125.4+430.3x12$	0.001	0.43
TİB 3	SK	$y=47.3+592.9x11$	0.037	0.54	$y=164.1+469.9x12$	0.046	0.51
	BÇ	$y=106.1+516.2x14$	0.038	0.54	$y=117.3+752.3x14$	0.047	0.51
TİB 4	SK	$y=167.5+318.3x12$	0.002	0.28	$y=196.2+354.4x12$	0.002	0.27
	BÇ	$y=114.1+360.2x13$	0.002	0.28	$y=148.0+408.2x13$	0.000	0.32
TİB 5	SK	$y=69.9+502.7x11$	0.000	0.48	$y=122.9+500.7x11$	0.000	0.49
	BÇ	$y=61.5+495.2x12$	0.000	0.56	$y=137.4+456.8x13$	0.000	0.49
Genel	SK	$y=99.0+455.9x11$	0.000	0.44	$y=154.1+456.2x11$	0.000	0.37
	BÇ	$y=98.0+439.6x12$	0.000	0.53	$y=139.5+1459.4x12$	0.000	0.48

SONUÇLAR

Bu çalışmada, 250 m mekânsal çözünürlüklü ve 16 günlük kompozit MODIS uydu görüntüsünden elde edilen NDVI ve EVI vejetasyon indisleri kullanılmıştır. Çalışma alanı yarı kurak iklim rejimine sahip olmasına rağmen bölge içindeki ekolojik farklılıklar nedeniyle farklı vejetasyon indisleri öne çıktığı görülmüştür. Arazi çalışmalarında, düşük rakımlı alanlar ile yüksek rakımlı alanlar arasındaki 15-20 günlük fenolojik farklılığın oluşturulan modellerde öne çıkan indisler ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda bu değerlendirmelerin yıllar bazında yapılması da önem taşımaktadır. Yıllar bazında yağış dağılımlarındaki düzensizlik ve dağınıklık fenolojik dönemlerde kaymalara yol açması muhtemeldir. Bu durum ekolojik bölge bazında bitki gelişimine ve dolayısıyla verime etki etmektedir. Çiftçi tarlaları için MODIS uydu görüntüsünün mekânsal ve zamansal çözünürlüğü fenolojik farklılıkların izlenmesinde olumlu sonuç verirken verim açısından %55 civarında bir ilişki oranı belirlenmiştir. Daha yüksek bir ilişki düzeyine ulaşılmasında mekânsal çözünürlüğün artmasını sağlayacak yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin kullanılması önem taşımaktadır.

Verim tahmin modellerinin oluşturulmasında bağımsız değişkenlerin bağlı değişken üzerindeki etkilerinin ortaya konulması modelin doğruya yakın tahminde bulunabilmesi açısından önemlidir. Bitki gelişimine ekolojik faktörler, çeşit özellikleri, yetiştirme tekniği gibi birçok faktör önem taşımaktadır. Vejetasyon indisleri, bitki gelişimine etki eden bu faktörlerin olumlu veya olumsuz etkilerinin ortaya konulmasında ve gelişimin izlenmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. TİB bazında yapılan tahmin modelleri içinde alanın bütününde yapılan tahminlere göre daha iyi sonuçlar alındığı görülmüştür. Büyük alanlarda bütünsel yaklaşımlara göre bölgeselleştirme temelli modellerin oluşturulması ile tahminlerin daha sağlıklı yapılabilmesi sağlanabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK-3001 programı kapsamında, 1050850 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration: Guideline for computing crop water requirements. FAO No56.

Araya A, Keesstra SD, Stroosnijder L (2010). "A new agro-climatic classification for crop suitability zoning in northern semi-arid Ethiopia". *Agric. Forest Meteorol.* 150. 1057–1064.

Balaghi R, Tychon B, Eerens H, Jlibene M (2008). "Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10, pp. 438–452.

Bouma E (2005). Development of comparable agro-climatic zones for the international exchange of data on the efficacy and crop safety of plant protection products. OEPP/EPPO. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin. 35. 233–238 Plant Protection Service. Geertjesweg 15. PO Box 9102. NL-6700 HC Wageningen (Netherlands).

Caldiz DO, Haverkort AJ, Struik PC (2002). "Analysis of a complex crop production system in interdependent agro-ecological zones: a methodological approach for potatoes in Argentina". *Agric. Syst.* 73. 297–311.

FAO (1996). *Agro-Ecological Zoning Guidelines*. Soil Bulletin. vol. 73. FAO. Rome.

Fischer G, Shah M, Tubiello FN, Van Velhuizen H (2005). "Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment. 1990–2080". *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 360. 2067–2083.

Gallup JL, Sachs JD (2000). "Agriculture, climate, and technology: why are the tropics falling behind?". *Am. J. Agric. Econ.* 82. 731–737.

Geerts S, Raes D, Garcia M, Del Castillo C, Buytaert W (2006). "Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: a case study for quinoa". *Agric. Forest Meteorol.* 139. 399–412.

Gouri V, Reddy DR, Rao SBSN, Rao AY (2005). Thermal requirement of rabi groundnut in southern Telengana zone of Andhra Pradesh. *J. Agrometeorol.* 7: 90-94.

Hutchinson MF (2000). ANUSPLIN version 4.1. User guide. center for resource and environmental studies, Australian National University, Canberra.

Hutchinson MF (1995). Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *Int. J. Geogr. Info. Systems*, 9: 385-403.

Huete A, Didan K, Miura T, Rodriguez E P, Gao X, Ferreira L G (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 83, 195–213.

Lu D, Mausel P, Batistella M, Moran E (2005). Land-cover binary change detection methods for use in the moist tropical region of the Amazon. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 26. No. 1. pp. 101–114.

Lusch D P (1999). *Introduction to Environmental Remote Sensing*: Michigan: Center for Remote Sensing and GIS.

Kogan F (1994). NOAA plays leadership role in developing satellite technology for drought watch. *Earth Observation Magazine*. EMO Inc.. Littleton. CO. USA. pp. 18–20.

Kouadio L, Newlands N K, Davidson A, Zhang Y, Chipanshi A (2014). "Assessing the Performance of MODIS NDVI and EVI for Seasonal Crop Yield Forecasting at the Ecodistrict Scale." *Remote Sensing* 6: 10193–10214. doi:10.3390/rs61010193.

Mcmaster G S, Wilhelm W (1997). Growing degree-days: one equation. two interpretations. *Agric. For. Meteorol.* 87(4):291-300. doi:10.1016/S0168-1923(97)00027-0.

Minamiguchi N (2005). The Application of geospatial and disaster information for food insecurity and agricultural drought monitoring and assessment by the FAO GIEWS and Asia FIVIMS // *Proceedings of the Workshop on Reducing Food Insecurity Associated with Natural Disasters in Asia and the Pacific*. Bangkok. P. 20-21.

Pertziger F, De Pauw E (2002). CLIMAP. An Excel-based software for climate surface mapping. ICARDA, Aleppo, Syria.

Rouse J W, Haas R H, Schell J A, Deering DW (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third ERTS Symposium*. NASA SP-351. Washington. DC. NASA. p. 309-317.

Seppelt R (2000). Regionalised optimum control problems for agroecosystem management. *Ecol. Model.* 131. 121–132.

Tucker C (1979). Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*. 8. 127- 150.

Turkes M (1999). Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions, *Tr. J. of Engineering and Environmental Science*, 23 (1999) , 363-380. TUBITAK.

UN-DESA (2013). *World Population Prospects: The 2012 Revision*. United Nations Department of Economic and Social Affairs. Population Division. New York. <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>.

UNEP (1993). *World atlas of desertification*. The United Nations Environment Programme (UNEP), London.

Zhang S, Lei Y, Wang L, Li H, Zhao H (2011). Crop Classification Using MODIS NDVI Data Denoised by Wavelet: A Case Study in Hebei Plain. China. *Chin. Geogra. Sci.* 2011 21(3) 322–333 doi: 10.1007/s11769-011-0472-2.

Williams CL, Liebman M, Edwards JW, James DE, Singer JW, Arritt R, Herzmann D (2008). Patterns of regional yield stability in association with regional environmental characteristics. *Crop Sci.* 48. 1545-1559.