

Sulu ve Kuru Tarım Alanlarında Buğday Verim Tahmininde Bitki Örtüsü İndekslerinin Kullanımı[&]

Yunus KAYA^{1*}, Nizar POLAT¹

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

*Sorumlu Yazar: yunuskaya@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 19.01.2021 Düzeltme Geliş Tarihi: 16.06.2021 Kabul Tarihi: 01.07.2021

Öz

Dünya nüfusunun artmasına paralel olarak tarım alanlarına olan ihtiyaç da artmaktadır. Son yıllarda tarım alanlarının ve bitki gelişiminin izlenmesi için geleneksel ve modern yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada çok zamanlı uydu görüntülerinden elde edilen bitki örtüsü indeksleri yardımıyla buğday bitkisinin fenolojik evreleri incelenmiş ve bitki örtüsü indeksleri ile verim değerleri kullanılarak verim tahmin modeli geliştirilmiştir. Çalışmada Şanlıurfa ilinde bulunan Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TİGEM) arazisinde bulunan buğday tarlalarından sulu tarım ve kuru tarım yapılan tarlalardan 5'er tane seçilmiştir. 2015-2016, 2016-2017 ve 2017-2018 sezonlarına ait ekim ile hasat tarihleri arasında belirli zaman aralıklarında alınan Landsat-8 ve Sentinel-2 uydu görüntülerinden üretilen Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) ve Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (Soil-Adjusted Vegetation Index-SAVI) yardımıyla buğday bitkisinin gelişim süreçleri incelenmiştir. Ayrıca 3 yıla ilişkin NDVI, SAVI, Yeşil Bant Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Green Normalized Difference Vegetation Index-GNDVI) ve Modifiye Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index-MSAVI) değerleri ile TİGEM'den temin edilen verim değerleri birlikte değerlendirilerek verim tahmin modeli kurulmuştur. Oluşturulan model 2018-2019 sezonunda hem sulu hem de kuru tarlalarda uygulanarak doğruluk analizi yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde elde edilen modelin sulu tarlalarda kuru tarlalara oranda daha yüksek başarı gösterdiği görülmüştür. Ayrıca hem sulu tarlada hem de kuru tarlada elde edilen model %80 in üzerinde bir doğruluk göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Uzaktan algılama, verim tahmin modeli, kışık buğday verim tahmini, fenolojik evre, bitki örtüsü indeksi

Use of Vegetation Indices in Wheat Yield Estimation in Irrigated and Dry Agricultural Lands

Abstract

The need for agricultural land is rising depending on the increasing world population. Traditional and modern methods are frequently used to monitor agricultural land. In this study, the phenological stages of the wheat plant were examined with the help of vegetation indices obtained from multi-temporal and multispectral satellite images, and a yield estimation model was established by using vegetation indices and yield values. In the study, were selected five irrigated and five dry farming fields of the wheat in the land of the General Directorate of Agricultural Enterprises (TİGEM) in Şanlıurfa province. The development processes of the wheat plant were examined with the help of NDVI and SAVI indices produced from Landsat-8 and Sentinel-2 satellite images taken at certain time intervals between sowing and harvesting for the seasons 2015-2016, 2016-2017, and 2017-2018. In addition, the yield estimation model was established by evaluating the NDVI, SAVI, Green NDVI (GNDVI), and Modified SAVI (MSAVI) values for 3 years together with the yield values obtained from the TİGEM. Accuracy analysis was performed by applying the model created in both irrigated and dry fields in the 2018-2019 season. When the results were examined, it was seen that the obtained model showed higher success in irrigated fields compared to dry fields. In addition, the model obtained in both irrigated and dry fields showed an accuracy of over 80%.

Key words: Remote sensing, yield estimation model, yield estimation of winter wheat, phenological stage, vegetation index

Giriş

Sağlık alanındaki gelişmeler insan ömrünün uzatmasına ve bu durum da dolaylı olarak dünya nüfusunun artmasına sebep olmaktadır. Dünya nüfustaki sürekli artışa karşın yeryüzünün kullanılabilir alanları her geçen gün azalmaktadır. Tarım alanlarında çölleşme, iklim değişikliği, ekilebilir alanların tahribatı, yanlış kentleşme gibi sebeplerden dolayı ekilebilir tarım arazileri her geçen gün azalmaktadır. Birleşmiş Milletler (BM)'in raporuna göre dünya nüfusu son yüzyılda 3 kat artarken her yıl 24 milyar verimli toprak ve 15 milyar ağaç yok olmaktadır (The Global Land Outlook, 2017). Gelecek yıllarda bu çevresel şartlara bağlı olarak tarım sektöründe artan talebin karşılanmasında önemli zorlukların yaşanması beklenmektedir (Demirpolat ve Leloğlu, 2018). Tarım alanlarının korunması ve mevcut tarım alanlarından optimum şekilde faydalanılması temel gıdanın karşılanması için önem taşımaktadır.

Dünya tahılları sıralamasında mısırdan sonra ikinci sırada yer alan buğday, Türkiye'de en çok üretilen tahıl konumundadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye'de tahıl üretimine ayrılan alanın yaklaşık %62 si buğday ekimi için ayrılmaktadır. Üretim olarak ise toplam üretilen tahıl miktarının %36'sını buğday oluşturmaktadır (TÜİK, 2018).

Tarım alanlarına ait bilgilerin hasattan önce elde edilmesi hem tarladaki ürünün gelişim evresinin incelenmesinde hem de ithalat ihracat planlamalarının yapılmasında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Daha önce verim tahmin çalışmaları saha ölçümlerine ve gözlemcilerin yorumlarına dayanıyordu. Bu geleneksel yöntemler öznel, maliyetli ve hata yapmaya müsaitti. Günümüzde uzaktan algılama teknikleri ve uydu sistemlerinin gelişmesi sayesinde, uydu verilerini kullanarak birçok alanda olduğu gibi tarımsal uygulamalarda da daha güvenilir sonuçlar almak mümkün hale gelmiştir. Uzaktan algılama teknikleri ve uydu sistemleri arazi örtüsünün belirlenmesi, hidrolojik çalışmalar, tarım arazilerinin izlenmesi (Kaya ve Polat, 2021), erozyon, tsunami ve su baskını (Yiğit ve Kaya, 2020) gibi çeşitli alanlarda arazi hakkında detaylı veri toplamak için kullanılmaktadır. Uydu sistemlerinde bulunan geniş spektrum yelpazesi ve yüksek çözünürlüklü görüntüler sayesinde tarım alanları hakkında uzaktan bilgi sahibi olmak mümkündür. Yaklaşık 50 yıldır dünya yüzeyini gözlemleyen uydular sayesinde yeryüzünde meydana gelen değişikliklerin analizini yapmak ve

bu veriler kullanılarak geleceğe yönelik kestirimler yapmak mümkün mümkündür. Landsat-8 ve Sentinel-2 gibi orta mekansal çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin internet üzerinden ücretsiz olarak paylaşılması bu alanda yapılan uygulamaların artmasına katkı sağlamaktadır.

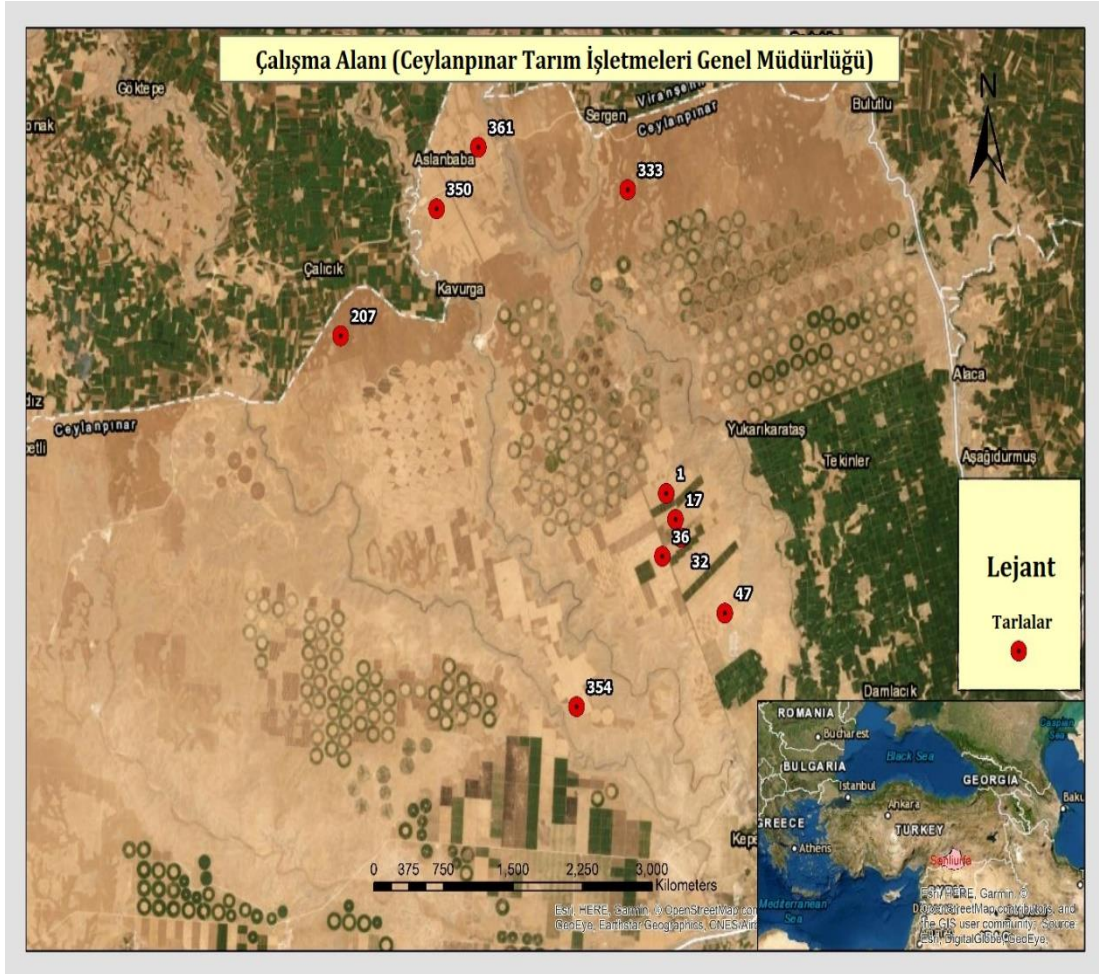
Hasat öncesinde yapılan verim tahmin çalışmaları mahsuller için verim tahmini yapmanın yanı sıra bitkinin gelişme evresini takip ederek olası hastalık durumlarını da önceden tahmin etmek mümkündür (Pinter ve ark., 2003). Birçok ülke için önemli bir konu olan hasat öncesi verim tahmin çalışmalarında (Fernandez-Ordóñez ve Soria-Ruiz, 2017) uzaktan algılama yöntemleri oldukça aktif olarak kullanılmaktadır (Salazar ve ark., 2007). Literatürde hasat öncesi verimi tahmin etmeye yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. "Uzaktan Algılama ile Tarım ve Kaynak Envanteri Çalışmaları (Agriculture and resources inventory surveys through aerospace remote sensing – AgRISTARS) (Ferguson, 1982) ve "Geniş Alan Mahsul Envanter Çalışması (Large Area Crop Inventory Experiment- LACIE (Tucker ve ark., 1991) ilk verim tahmini uygulamaları olarak kabul edilmektedir. Avrupa'da "Uzaktan Algılama ile Tarımı İzleme" (Monitoring Agriculture with Remote Sensing- MARS) projesi ve ABD Tarım Bakanlığı'nın Ulusal Tarım İstatistikleri Servisi (National Agricultural Statistics Service- NASS), uzaktan algılama çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır (Craig, 2001). Raun ve ark. (2001) ve Ren ve ark. (2010) yaptıkları çalışmalarda bitki indekslerinin hasat öncesinde verim tahmin etmede başarılı olduklarını belirtmişlerdir. NDVI tabanlı bir verim tahmin modeli kullanan Becker-Reshef ve ark. (2010) ve Mkhabela ve ark. (2011) verim tahminini %10'luk hata ile belirlemişlerdir. Gontia ve Tiwari (2011) ise NDVI ve SAVI arasında karşılaştırma yapmıştır ve sonuç olarak SAVI'nin NDVI'dan daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada Şanlıurfa ilinde bulunan Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne (TİGEM) ait arazi üzerinde bulunan 5 adet sulu ve 5 adet kuru tarım yapılan buğday tarlası incelenmiştir. Sentinel-2 ve Landsat-8 uydu görüntüleri kullanılarak tarlalardaki buğdayın yansıtımı incelenmiş ve bitki örtüsü indeksleri ile verim değerleri kullanılarak verim tahmin modeli oluşturulmuştur. Ayrıca oluşturulan model test verisi üzerinde denenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Şanlıurfa ilinde bulunan TİGEM arazisi üzerindeki buğday tarlaları

incelenmiştir ((38°45'D- 38°53'D ve 37°06'K- 37°14'K) (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma bölgesindeki seçili tarlaların konumları

Alan yaklaşık 1650 km²'dir ve bölgede buğday, arpa, pamuk, mısır, mercimek ve isot biberi başta olmak üzere çeşitli bitkiler yetiştirilmektedir (Benek, 2006). Şanlıurfa ili yazları sıcak ve kurak, kışları ise yağışlı ve ılıman bir iklime sahiptir. Matematiksel konumu itibarıyla Ekvator'a yakın olduğundan dolayı şehirde karasal iklim hakimdir. Bölgede yağış miktarı tarım için yeterli düzeyde olmakla birlikte yeraltı sularının fazla olması ve sıcaklığın uygun olması buğday tarımı için uygun ortam oluşturmaktadır.

Uydu verisi

Çalışmada buğday tarlalarındaki yansıtımı sayısal olarak belirlemek için Landsat-8 ve Sentinel-2 uydu verilerinden yararlanılmıştır. Landsat ve

Sentinel uydusunun birlikte kullanılmasının en önemli sebebi ise aynı bölgeyi farklı zamanda tarıyor olmalarıdır. Bu sayede çalışma alanına ilişkin istenilen zaman sıklığıyla bulutsuz görüntüler seçilmiştir. Landsat-8 ve Sentinel-2 uydularının genel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çalışmada verim tahmin modelini kurmak için 2015-2016, 2016-2017 ve 2017-2018 sezonlarına ait NDVI, SAVI, GNDVI ve MSAVI bitki örtüsü indeksleri kullanılmıştır. Ekim döneminden hasat dönemine kadar çekilen kullanılabilir (buluttan etkilenmeyen) görüntüler indirilmiş ve bu görüntüler üzerinden bitki örtüsü indeksleri üretilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin tarihleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Uydu verisi özellikleri

Landsat 8 OLI-TIRS				Sentinel-2		
Tarama genişliği (km)	185 x 180			290		
Radyometrik Çözünürlük (bit)	12			12		
Zamansal Çözünürlük	16			10 (2 adet uydu olduğu için 5 gün)		
Bant İsmi	Bant No.	Dalga boyu (µm)	Mekansal Çözünürlük (m)	Bant No.	Dalga boyu (µm)	Mekansal Çözünürlük (m)
Mavi	Bant 2	0.45-0.51	30	Bant 2	0.49	10
Yeşil	Bant 3	0.53-0.59	30	Bant 3	0.56	10
Kırmızı	Bant 4	0.64-0.67	30	Bant 4	0.665	10
Yakın Kızılötesi	Bant 5	0.85-0.88	30	Bant 8	0.842	10

Çizelge 2. Kullanılan uydu verisi tarihleri (*: Landsat verileri, **:Sentinel verileri)

	2015-2016	2016-2017	2017-2018
Aralık	05.12.2015** 19.12.2015* 25.12.2015**	09.12.2016**	04.12.2017** 08.12.2017* 14.12.2017**
Ocak		08.01.2017** 18.01.2017**	09.01.2018* 13.01.2018**
Şubat		07.02.2017** 17.02.2017** 23.02.2017*	02.02.2018**
Mart	08.03.2016* 24.03.2016**		19.03.2018**
Nisan	23.04.2016**	28.04.2017**	08.04.2018** 13.04.2018** 23.04.2018**
Mayıs	03.05.2016**	08.05.2017** 14.05.2017* 30.05.2017*	18.05.2018** 23.05.2018**
Haziran	02.06.2016** 12.06.2016** 22.06.2016** 28.06.2016*	07.06.2017** 17.06.2017** 27.06.2017**	07.06.2018** 12.06.2018** 17.06.2018** 22.06.2018** 27.06.2018**

Referans Verisi

Çalışmada kullanılan verim değerleri TİGEM'den temin edilmiştir. TİGEM'in güvenlik politikaları doğrultusunda tarla sınırları içerisinde İHA uçuşu ve saha ölçümü yapmak yasaktır. Bu sebeple çalışmada saha gözlemi yapılmamış ve sadece TİGEM'den alınan verim değerleri ile uydu

görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada 5 adet kuru ve 5 adet sulu tarım yapılan tarla kullanılmıştır. Ancak buğday, genellikle her yıl ekimi olan bir bitki olmadığı (Tanaka, 1989) için bazı tarlalar belirli dönemlerde nadasa bırakılmıştır. Çizelge 3'te parsellerin ekilip ekilmediği ve ekili parsellere ait verim değerleri gösterilmiştir.

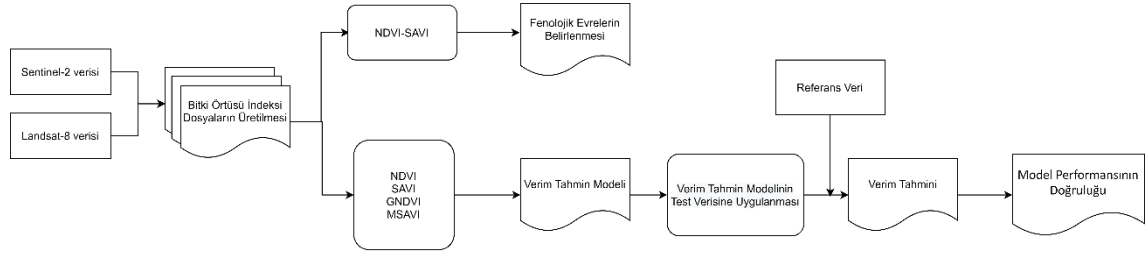
Çizelge 3. Parsel verim değerleri

CEYLANPINAR TİGEM BUĞDAY VERİMİ (kg/dekar)										
Tarla Numarası	Sulu Tarım Alanı					Kuru Tarım Alanı				
	1	17	32	36	47	207	333	350	354	361
2015-2016	496.9	*	*	*	*	285.6	359.9	*	161	*
2016-2017	*	627	411	397	532.8	*	*	167.3	*	249.6
2017-2018	506.2	558.4	403.1	371.8	445	125.1	46.6	*	37.3	*

Metodoloji

Bitkiler ekimden hasada kadar farklı fenolojik evrelerden geçmektedirler. Uzaktan algılama teknikleri kullanılarak bitki gelişiminin evreleri belirlenebilir. Bu çalışmada verim tahmin modelini elde etmek için Landsat-8 ve Sentinel-2 uydu verileri kullanılmıştır. İndirilen uydu görüntülerindeki Çalışma alanı Sentinel görüntülerinin tarama alanı sınırına denk gelmektedir. Dolayısıyla çalışma alanını değerlendirmek için iki farklı Sentinel verisine mozaik işlemi uygulanmıştır. Sonraki adımda ise

Landsat uydu verisinin RGB ve NIR bantları 30 metre mekansal çözünürlüğe sahipken Sentinel-2 uydusunun aynı bantları 10 metre mekansal çözünürlüğe sahiptir. Bundan dolayı 30 metre olan Landsat 8 görüntüleri 10 metreye yeniden örneklendirilmiştir (resample). Son olarak ön işlem yapılan uydu görüntülerinden NDVI, SAVI, GNDVI ve MSAVI indeksleri üretilmiştir. Elde edilen indeks değerleri ile verim değerleri arasında doğrusal regresyon kurularak verim tahmin denklemleri oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. İş Akış Şeması

Buğday Bitkisinin Fenolojik Evreleri

Bitkiler ekim döneminden hasat dönemine kadar farklı evrelerden geçmektedir. Bitkilerin büyüme ve gelişiminin doğru bir şekilde belirlenmesi bitkilerin sağlıkları konusunda bilgi edinmek için önemli bir faktördür. BBCH skalası (BBCH-scale) bitkinin ekimden hasadına kadar olan büyüme evrelerini tanımlamak için kullanılmaktadır (Meier, 2001). Buğday bitkisinin gelişimi için en önemli aşama çiçeklenme evresidir. Buğday bitkisi çiçeklenme evresinde en yeşil formuna ulaşır.

Bitki Örtüsü İndeksleri

Bitki örtüsü yoğunluğu bitkinin, toprağın ve iklim değişikliğinin en önemli göstergelerinden biridir. Bitki örtüsü yoğunluğunu belirlemek için literatürde bitki örtüsü tabanlı birçok sayıda indeks kullanılmıştır. Bu çalışmada ise NDVI, SAVI, GNDVI ve MSAVI'nin performansları karşılaştırılmıştır.

NDVI bant aritmetiği, elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi ve kırmızı dalga

boyundaki ışık değerlerinin birbirinden çıkarılıp daha sonra iki bantın toplamına bölünmesiyle elde edilir (Çelik ve Karabulut, 2017; Tucker ve ark., 1981; Viovy ve ark., 1992; Kalfas ve ark., 2011). NDVI ilk kez Rouse ve ark. (1974) tarafından kullanılmıştır. NDVI zaman serileri kuraklık ve mevsimsel olayların belirlenmesi, arazi örtü türlerinin sınıflandırılması ve bitki örtüsü değişiminin izlenmesi gibi tarımsal araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Brown ve ark., 2008). GNDVI ise NDVI'dan farklı olarak kırmızı bant yerine yeşil bantı kullanır. GNDVI fotosentez oranının ve bitki stresinin hesaplanmasında kullanılır (Gitelson ve ark., 1996).

SAVI temel olarak NDVI'ya benzemektedir. Ancak SAVI'de NDVI'dan farklı olarak toprak alanlarının etkisi daha fazladır. Bundan dolayı SAVI indeksinin hesaplamalarında arazideki bitki örtüsü miktarı hakkında önceden bilgi gerektiren bir gölgelik arka plan ayar faktörü (L) kullanılır. Heute (1988), toprak arka plan değişimlerini hesaba katan en uygun değer L = 0.5 olduğunu önermektedir. L faktörü 0 olduğu durumda SAVI değeri NDVI

değerine eşittir. MSAVI’de, SAVI’den farklı olarak L faktörü mevcut bitki örtüsü miktarına göre değişir

(Richardson ve Wiegand, 1977) (Çizelge 4).

Çizelge 4. Bitki örtüsü indekslerinin denklemleri

İndeks	Eşitlik	Referans
NDVI	$\frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}}$	Rouse vd. (1974)
GNDVI	$\frac{\text{NIR} - \text{Green}}{\text{NIR} + \text{Green}}$	Gitelson vd. (1996)
SAVI	$\frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red} + L} \times (1 + L)$	Huete (1988)
MSAVI	$\frac{2x\text{NIR} + 1 - \sqrt{(2x\text{NIR} + 1)^2 - 8(\text{NIR} - \text{Red})}}{2}$	Qi vd. (1994)

Verim Tahmin Modeli

Çalışmada iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi inceleyen lineer regresyon modeli kurulmuştur. Uydu görüntülerinden elde edilen bitki örtüsü indeksleri ile verim değerleri arasında lineer regresyon modeli kurulmuştur. Lineer regresyon modelinin denklemi (1) eşitliğinde verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1)$$

Lineer regresyon modelinde bağımlı değişken (Y) ile bağımsız değişken (X) arasında bir ilişki kurulur. β_0 ve β_1 değerleri eğimi bilinmeyen katsayıları, ε ise rasgele hata bileşenini ifade eder. Korelasyon katsayısı ise (2) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (2)$$

Bulgular ve Tartışma

Verim tahmin modelinin kurulabilmesi için fenolojik evrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bölümde fenolojik evrelerin belirlenmesi, verim

tahmin modelinin kurulması ve modelin doğruluğu incelenecektir.

Fenolojik Evrelerin Belirlenmesi

Uydu görüntüleri kullanılarak bitki hakkında büyüme ve sağlık kontrolleri yapılabilir. Bitki örtüsü indekslerinin belirli zaman aralıklarıyla üretilmesi bitkinin gelişim sürecini sayısal olarak görmemizi ve grafik şeklinde yorumlayabilmemizi sağlar. Çalışmada buğday bitkisinin fenolojik evrelerinin belirlenebilmesi için 2015-2016, 2016-2017 ve 2017-2018 sezonlarına ait bitki örtüsü indeks değerleri kullanılmıştır. Her üç sezona ait NDVI ve SAVI değerleri incelenerek çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrası dönemler belirlenmiştir. Bir sonraki bölümde kurulan verim tahmin modelinde bu bölümde belirlenen fenolojik evreler dikkate alınmıştır. Her üç sezona ait NDVI ve SAVI değerlerinden elde edilen fenolojik evreler Çizelge 5’te verilmiştir.

Çizelge 5 incelendiğinde 2017-2018 sezonunda çiçeklenme evresinin diğer sezonlara göre daha erken olduğu görülmektedir. Çiçeklenme evresinin en geç olduğu sezon 2016-2017 sezonudur.

Çizelge 5. Buğday bitkisinin fenolojik evre tarihleri

Sezon	Çiçeklenme Öncesi Tarihi	Çiçeklenme Evresi Tarihi	Çiçeklenme Sonrası Tarihi
2015-2016	24.03.2016	23.04.2016	03.05.2016
2016-2017	28.04.2017	08.05.2017	14.05.2017
2017-2018	02.02.2018	19.03.2018	18.05.2018

Verim Tahmin Modelinin Kurulması

Bir önceki bölümde belirlenen fenolojik evreler kullanılarak ekim yapılan her tarla için NDVI, SAVI, GNDVI ve MSAVI değerleri üretilmiştir. Elde edilen indeks değerleri ile gerçek verim değerleri arasında lineer regresyon modeli

kurulmuş ve verim tahmin denklemleri oluşturulmuştur. Her üç sezon ve her evre için NDVI ve GNDVI değerleri Çizelge 6’da, SAVI ve MSAVI değerleri Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 6. Çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrası için NDVI ve GNDVI değerleri

Sezon	Tarla No	NDVI				GNDVI	
		Çiçeklenme Öncesi (24.3.2016)	Çiçeklenme Evresi (23.4.2016)	Çiçeklenme Sonrası (03.5.2016)	Çiçeklenme Öncesi (24.3.2016)	Çiçeklenme Evresi (23.4.2016)	Çiçeklenme Sonrası (03.05.2016)
2015-2016	1	0.64	0.81	0.41	0.55	0.7	0.37
	350	0.65	0.67	0.51	0.58	0.59	0.47
	354	0.37	0.4	0.29	0.32	0.3	0.25
	361	0.66	0.75	0.6	0.58	0.67	0.54
Sezon	Tarla No	Çiçeklenme Öncesi (28.4.2017)	Çiçeklenme Evresi (08.5.2017)	Çiçeklenme Sonrası (14.5.2017)	Çiçeklenme Öncesi (28.4.2017)	Çiçeklenme Evresi (08.5.2017)	Çiçeklenme Sonrası (14.5.2017)
2016-2017	17	0.56	0.72	0.43	0.51	0.63	0.56
	32	0.62	0.74	0.44	0.55	0.64	0.57
	36	0.66	0.73	0.43	0.58	0.63	0.54
	47	0.61	0.74	0.44	0.55	0.65	0.58
	207	0.49	0.52	0.28	0.45	0.5	0.39
	333	0.47	0.63	0.31	0.44	0.56	0.44
Sezon	Tarla No	Çiçeklenme Öncesi (02.2.2018)	Çiçeklenme Evresi (19.3.2018)	Çiçeklenme Sonrası (18.5.2018)	Çiçeklenme Öncesi (02.2.2018)	Çiçeklenme Evresi (19.3.2018)	Çiçeklenme Sonrası (18.5.2018)
2017-2018	1	0.48	0.81	0.5	0.42	0.68	0.45
	17	0.49	0.81	0.49	0.44	0.68	0.36
	32	0.47	0.82	0.44	0.41	0.69	0.41
	36	0.39	0.75	0.37	0.38	0.46	0.42
	47	0.52	0.8	0.46	0.44	0.67	0.43
	350	0.47	0.69	0.34	0.46	0.35	0.6
	354	0.24	0.34	0.12	0.3	0.27	0.28
	361	0.37	0.49	0.27	0.41	0.36	0.56

Çizelge 7. Çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrası için SAVI ve MSAVI değerleri

Sezon	Tarla No	SAVI				MSAVI	
		Çiçeklenme Öncesi (24.3.2016)	Çiçeklenme Evresi (23.4.2016)	Çiçeklenme Sonrası (03.5.2016)	Çiçeklenme Öncesi (24.3.2016)	Çiçeklenme Evresi (23.4.2016)	Çiçeklenme Sonrası (03.5.2016)
2015-2016	1	0.51	0.59	0.27	0.45	0.63	0.24
	350	0.54	0.64	0.34	0.49	0.48	0.31
	354	0.29	0.3	0.13	0.67	0.09	0.08
	361	0.53	0.6	0.44	0.48	0.6	0.43
Sezon	Tarla No	Çiçeklenme Öncesi (28.4.2017)	Çiçeklenme Evresi (08.5.2017)	Çiçeklenme Sonrası (14.5.2017)	Çiçeklenme Öncesi (28.4.2017)	Çiçeklenme Evresi (08.5.2017)	Çiçeklenme Sonrası (14.5.2017)
2016-2017	17	0.43	0.65	0.44	0.42	0.5	0.4
	32	0.46	0.66	0.45	0.46	0.51	0.42
	36	0.49	0.65	0.4	0.48	0.51	0.39
	47	0.46	0.66	0.48	0.46	0.53	0.43
	207	0.36	0.41	0.23	0.34	0.34	0.18
	333	0.37	0.46	0.24	0.35	0.4	0.24
Sezon	Tarla No	Çiçeklenme Öncesi (02.2.2018)	Çiçeklenme Evresi (19.3.2018)	Çiçeklenme Sonrası (18.5.2018)	Çiçeklenme Öncesi (02.2.2018)	Çiçeklenme Evresi (19.3.2018)	Çiçeklenme Sonrası (18.5.2018)
2017-2018	1	0.29	0.59	0.31	0.27	0.62	0.28
	17	0.3	0.64	0.3	0.28	0.68	0.18
	32	0.28	0.6	0.26	0.25	0.64	0.24
	36	0.25	0.46	0.28	0.23	0.35	0.26
	47	0.31	0.57	0.28	0.28	0.6	0.25
	350	0.3	0.49	0.19	0.27	0.17	0.48
	354	0.09	0.12	0.06	0.11	0.06	0.08
	361	0.23	0.42	0.18	0.21	0.15	0.41

Çalışmada bitki örtüsü indeksleri ile verim arasında lineer regresyon modeli kurulmuştur. Çizelge 6 ve 7'deki indeks değerleri ile Çizelge 3'teki gerçek verim değerleri arasında (2) bağıntısıyla lineer regresyon kurulmuştur. Modelde her evre ve her indeks için ayrı ayrı formül hesaplanmıştır. Kurulan denklemler, korelasyon

katsayıları ve determinasyon katsayıları Çizelge 8'de verilmiştir. Denklemlerde fenolojik evreler ve sezonluk verim değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Bitki örtüsü indekslerindeki değişimin sezonluk verim değerlerini ne kadar açıklayabildiği ise determinasyon katsayısı ile belirtilmiştir.

Çizelge 8. Bitki örtüsü indeksleri ve verim değerleri arasındaki doğrusal denklemler, korelasyon ve determinasyon katsayıları

İndeks	Evre	Denklem	Korelasyon Katsayısı (R)	Determinasyon Katsayısı (R ²)
	Çiçeklenme Öncesi	y= 894.5x-111.36	0.59	0.35
NDVI	Çiçeklenme Evresi	y= 1006x-340.5	0.82	0.67
	Çiçeklenme Sonrası	y= 1159x-114.11	0.73	0.53
	Çiçeklenme Öncesi	y= 698.68x+92.319	0.48	0.23
SAVI	Çiçeklenme Evresi	y= 987.73x-178.09	0.80	0.64
	Çiçeklenme Sonrası	y= 1147.5x+8.0299	0.74	0.55
	Çiçeklenme Öncesi	y=980.68x-113.13	0.48	0.23
GNDVI	Çiçeklenme Evresi	y=1044.6x-239.74	0.86	0.74
	Çiçeklenme Sonrası	y=356.08x+180.76	0.64	0.40
	Çiçeklenme Öncesi	y=301.09x+234.53	0.71	0.50
MSAVI	Çiçeklenme Evresi	y=771.23x+7.5578	0.87	0.75
	Çiçeklenme Sonrası	y=325.98x+247.37	0.64	0.41

Çizelge 8 incelendiğinde en yüksek korelasyon katsayısının her indeks için çiçeklenme evresinde diğer evrelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Buradan anlaşıldığı üzere verim değerlerini en iyi açıklayan bitki örtüsü indeksi değerleri çiçeklenme evresinde elde edilen değerlerdir. Verim değerleri ile bitki örtüsü indeksleri arasındaki en yüksek ilişki çiçeklenme evresinde MSAVI (0.87) ile elde edilmiştir.

Modelin Performans Doğruluğu

Tarım mahsullerine ilişkin hasattan önce verim tahmini yapmak ve bitkinin gelişimini takip etmek birçok yönden avantajlıdır. Bitkinin gelişim evrelerinin incelenmesi olası böceklenme, ilaç

gereksinimi, su gereksinimi vb. çok sayıda parametrenin kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca hasattan önce verim tahmini yapmak hem tarım politikalarının düzenlenmesinde hem de ithalat-ihracat dengesinin kurulmasında avantaj sağlamaktadır. 2015-2016, 2016-2017 ve 2017-2018 sezonlarındaki verim değerleri ve indeks değerlerinden elde edilen verim tahmin modeli 2018-2019 sezonundaki sulu ve kuru tarım yapılan tarlalara ayrı ayrı uygulanmıştır. Tahmini verim değerleri ile gerçek verim değerleri karşılaştırılmış ve sonuçlar sulu tarım yapılan alanlar için Çizelge 9, kuru tarım yapılan alanlar için ise Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 9. Her fenolojik evre için bitki örtüsü indeksi bazlı model performans doğruluğu (sulu tarım alanı)

İndeks	Evre	İndeks Değeri	Tahmini Verim	Gerçek Verim	Doğruluk Oranı
NDVI	Çiçeklenme Öncesi	0.44	280.43	283.16	99.04
	Çiçeklenme Evresi	0.65	315.41	283.16	88.61
	Çiçeklenme Sonrası	0.43	381.94	283.16	65.11
SAVI	Çiçeklenme Öncesi	0.40	370.39	283.16	69.19
	Çiçeklenme Evresi	0.52	333.55	283.16	82.20
	Çiçeklenme Sonrası	0.44	517.52	283.16	17.23
GNDVI	Çiçeklenme Öncesi	0.27	147.73	283.16	52.17
	Çiçeklenme Evresi	0.45	230.33	283.16	81.34
	Çiçeklenme Sonrası	0.27	277.61	283.16	98.04
MSAVI	Çiçeklenme Öncesi	0.23	304.99	283.16	92.29
	Çiçeklenme Evresi	0.40	317.59	283.16	87.84
	Çiçeklenme Sonrası	0.26	332.12	283.16	82.71

Çizelge 10. Her fenolojik evre için bitki örtüsü indeksi bazlı model performans doğruluğu (kuru tarım alanı)

İndeks	Evre	İndeks Değeri	Tahmini Verim	Gerçek Verim	Doğruluk Oranı
NDVI	Çiçeklenme Öncesi	0.56	385.09	332.65	84.24
	Çiçeklenme Evresi	0.72	383.82	332.65	84.62
	Çiçeklenme Sonrası	0.30	227.8	332.65	68.48
SAVI	Çiçeklenme Öncesi	0.63	528.99	332.65	40.98
	Çiçeklenme Evresi	0.47	281.2	332.65	84.53
	Çiçeklenme Sonrası	0.33	380.97	332.65	85.48
GNDVI	Çiçeklenme Öncesi	0.32	200.69	332.65	60.33
	Çiçeklenme Evresi	0.50	277.34	332.65	83.37
	Çiçeklenme Sonrası	0.19	248.42	332.65	74.68
MSAVI	Çiçeklenme Öncesi	0.54	397.12	332.65	80.62
	Çiçeklenme Evresi	0.31	246.64	332.65	74.14
	Çiçeklenme Sonrası	0.11	283.23	332.65	85.14

Çizelge 9 incelendiğinde sulu tarım alanlarındaki verimi tahmin etmede en yüksek doğruluk çiçeklenme öncesinde NDVI’da (%99.04), ikinci en yüksek doğruluk ise GNDVI’da çiçeklenme sonrasında hesaplanmıştır (%98.04).

Çizelge 10’da gösterildiği gibi kuru tarım alanlarındaki en yüksek doğruluk çiçeklenme sonrasında SAVI’de görülmüştür. Çizelge 9 ve 10 birlikte verim tahmin modelinin sulu tarım alanlarındaki buğday verimini tahmin etmede daha başarılı olduğu görülmüştür. Ayrıca sulu tarım alanlarında ve kuru tarım alanlarında farklı

indeksler için farklı evrelerde daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan 4 farklı indeksin verim tahminini modellemedeki başarısı araştırılmıştır. Verim tahmin modelinin kurulabilmesi için ilk önce bitkinin yaşam döngüsünün belirlenmesi gerekmektedir. Bitkiler ekim anından hasat anına kadar pek çok farklı evreden geçmektedir. Uzaktan algılama teknikleri, uydu sistemleri üzerine kurulan sistemler

yardımıyla arazi üzerinden multispektral bilgi sağlamaya olanak tanır. Bir bitkinin verim tahmininin belirlenebilmesi için en önemli evre çiçeklenme evresidir. Bitkiler çiçeklenme evresinde bünyesinde çok fazla miktarda klorofil bulundurulur. Bir başka deyişle bitkiler çiçeklenme evresinde en yeşil formuna ulaşır. Uydu sistemleri üzerine yerleştirilmiş multispektral algılayıcılar bitki örtüsü üzerinden farklı bant aralıklarında algılama yapabilmektedir. Çalışmada ilk olarak Avrupa Uzay Ajansı ve Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'nun resmî sitesinden indirilen Sentinel-2 ve Landsat-8 uydu verilerine ön işlem uygulanmış ve bitki örtüsü indeksleri türetilmiştir. NDVI ve SAVI kullanılarak buğday bitkisinin çiçeklenme öncesi, çiçeklenme ve çiçeklenme sonrası evreleri belirlenmiştir. Daha sonra uydu görüntüleri yardımıyla oluşturulan bitki indeksleri ve gerçek verim değerleri kullanılarak verim tahmin modeli kurulmuştur. Kurulan modelde en yüksek korelasyon $r = 0.87$ ile MSAVI de görülmüştür. Diğer korelasyon katsayıları ise $r = 0.86$ (GNDVI), $r = 0.82$ (NDVI) ve $r = 0.80$ (SAVI) olarak hesaplandı. 2018-2019 sezonunda hem sulu tarım yapılan tarlalarda hem de kuru tarım yapılan tarlalarda verim tahmin modeli test edildi. Çizelge 9'daki sonuçlara göre kurulan verim tahmin modelinin sulu ve kuru tarım yapılan alanlarda farklı evrelerde daha gerçeğe yakın tahminler yaptığı gözlemlenmiştir. Sulu tarım yapılan alanlarda en yüksek doğruluk %99.04 ile çiçeklenme öncesindeki NDVI'da görülmüştür. Kuru tarımın yapıldığı alanda ise en yüksek doğruluk %85.48 ile çiçeklenme sonrasında SAVI'de görülmüştür.

Çalışmanın amacı ve bulguları göz önüne alındığında bitki örtüsü indekslerinin sulu ve kuru tarım yapılan alanlarda farklı değer aralıklarında olduğu ve verim tahmin modelinin farklı indeksler için farklı evrelerde daha gerçeğe yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Çalışma dikkate değer sonuçlar içermesine rağmen kullanılan uydu verilerinin çözünürlükleri ve verim tahmin modelinin belirli bir bölgeyi temsil etmesi gibi eksiklikler mevcuttur. Gelecek çalışmalarda daha geniş ve farklı iklim özelliklerine sahip alanlarda ve yüksek çözünürlüklü multispektral kameraların kullanıldığı verim tahmin modeli kurulması planlanmaktadır. Tüm bunlara ek olarak TIGEM kuruluşunun politikaları gereği arazide saha ölçümü yapmak yasak olduğundan bu çalışma saha araştırmasından yoksundur. Gelecek çalışmalarda kurulan modelin saha araştırmalarıyla desteklenmesi planlanmaktadır.

&: Bu çalışma " Çok Bantlı Uydu Görüntüleri Kullanılarak Buğday Bitkisinin İncelenmesi-

Ceylanpınar TIGEM Örneği" başlıklı yüksek lisans tezinin bir bölümünden üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

- Anonim 2017. Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/kategori/getkategori?p=tarim-111&dil=1>
- Anonymous 2017. The Global Land Outlook. <https://knowledge.unccd.int/glo/>
- Becker-Reshef, I., Vermote, E., Lindeman, M., Justice, C. 2010. A Generalized Regression-Based Model for Forecasting Winter Wheat Yields in Kansas and Ukraine Using MODIS Data. *Remote Sensing of Environment*, 114(6), 1312–1323.
- Benek, S. 2006. Şanlıurfa İlinin Tarımsal Yapısı, Sorunları ve Çözüm Önerileri. *Turkish Journal Of Geographical Sciences*, 4(1): 67-91.
- Brown, J.F., Wardlow, B., Tadesse, T., Hayes, M.J., Reed, B.C. 2008. The Vegetation Drought Response Index (VEGDRI): A New Integrated Approach for Monitoring Drought Stress in Vegetation. *GIScience and Remote Sensing*, 45(1):16-46.
- Craig, M.E. 2001. A Resource Sharing Approach to Crop Identification and Estimation. *In ASPRS 2001 Proceedings of the 2001 Annual Conference*, Bethesda, ABD.
- Çelik, M.A., Karabulut, M. 2017. Uydu Tabanlı Kuraklık İndisi (SVI) Kullanılarak Yarı Kurak Akdeniz İkliminde (Kilis) Buğday Bitkisinin Kurak Koşullara Verdiği Tepkinin İncelenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(1):111-130.
- Demirpolat, C., Leloğlu, U.M. 2018. Barley Yield Estimation with Sentinel-2 Vegetation Indices. *In 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) 2-5 Mayıs 2018*, İzmir.
- Ferguson, M.C. 1982. Evaluation of Trends in Yield Models: Agristars Supporting Research. December, SR J1-04157, JSC-17428.
- Fernandez-Ordonez, Y.M., Soria-Ruiz, J. 2017. Maize Crop Yield Estimation with Remote Sensing and Empirical Models. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 25-30 Haziran 2017, Aachen, Almanya.

- Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Merzlyak, M.N. 1996. Use of A Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS- MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3): 289–298.
- Gontia, N.K., Tiwari, K.N. 2011. Yield Estimation Model and Water Productivity of Wheat Crop (*Triticum Aestivum*) in an Irrigation Command Using Remote Sensing and GIS. *Journal of The Indian Society of Remote Sensing*, 39(1):27–37.
- Huete, A. 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 298-309.
- Kalfas, J., Xiao, X., Vanegas, D., Verma, S., Suyker, A.E. 2011. Modeling Gross Primary Production of Irrigated and Rainfed Maize Using MODIS Imagery and CO₂ Flux Tower Data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151:1514-1528.
- Kaya, Y., Polat, N. 2021. Bitki İndeksleri Kullanarak Buğday Bitkisinin Rekolte Tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12 (1) , 99-110 . DOI: 10.24012/dumf.860325
- Meier, U. 2001. Growth stages of *mono- and dicotyledonous plants*. Berlin, Germany. German Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, BBCH-Monograph, *Blackwell Science*.
- Mkhabela, M.S., Bullock, P., Raj, S., Wang, S., Yang, Y. 2011. Crop Yield Forecasting on The Canadian Prairies Using MODIS NDVI Data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3):385–393.
- Pinter, P.J., Hatfield, J.L., Schepers, J.S., Barnes, E.M., Moran, M.S., Daughtry, C.S., Upchurch, D.R. 2003. Remote Sensing for Crop Management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6):647-664.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H., Sorooshian, S. 1994. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment*, 48(2): 119-126.
- Raun, W.R., Solie, J.B., Johnson, G.V., Stone, M.L., Lukina, E.V., Thomason, W.E., Schepers, J.S. 2001. In-Season Prediction of Potential Grain Yield in Winter Wheat Using Canopy Reflectance. *Agronomy Journal*, 93(1): 131-138.
- Ren, J.Q., Chen, Z.X., Zhou, Q.B., Tang, H.J. 2010. LAI-Based Regional Winter Wheat Yield Estimation by Remote Sensing. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 21(11): 2883-2888.
- Richardson, A.J., Wiegand, C. 1977. Distinguishing Vegetation from Soil Background Information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12):1541–1552.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. 1974. Monitoring Vegetation Systems in The Great Plains with ERTS. *Third ERTS-I Symposium*, Washington DC, ABD.
- Salazar, L., Kogan, F., Roytman, L. 2007. Use of Remote Sensing Data for Estimation of Winter Wheat Yield in The United States. *International Journal of Remote Sensing*, 28(17):3795-3811.
- Tanaka, D.L. 1989. Spring Wheat Plant Parameters As Affected by Fallow Methods in The Northern Great Plains. *Soil Science Society of America Journal*, 53(5):1506–1511.
- Tucker, C.J., Holben, B.N., Elgin, J.H., McMurtrey, J.E. 1981. Remote Sensing of Total Dry-Matter Accumulation in Winter Wheat. *Remote Sensing of Environment*, 11:171-189.
- Tucker, C.J., Townshend, J.R.G., Goff, T.E. 1985. African Land Cover Classification Using Satellite Data. *Science*, 9227(4685):369-375.
- Viovy, N., Arino, O., Belward, A.S. 1992. The Best Index Slope Extraction (BISE): A Method Forreducing Noise in NDVI Time Series. *International Journal of Remote Sensing*, 13(8):1585-1590.
- Yiğit, A.Y., Kaya, Y. 2020. Sentinel-2A Uydu Verileri Kullanılarak Sel Alanlarının İncelenmesi: Düzce Örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(1), 1-9.