

Arpa ve buğday bitkilerinin sınıflandırılmasında uzaktan algılama indislerinin karşılaştırılması

The comparison of remote sensing indices in the classification of barley and wheat crops

Aykut Durgut^{1,*} Sarp Korkut Sümer¹ Emre Özelkan²

¹;Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye.

²;Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Çanakkale, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): A. Durgut, e-mail (e-posta): aykutdurgut@gmail.com

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 06.11.2024
Düzeltilme tarihi : 13.12.2024
Kabul tarihi : 17.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Bitki indisleri
Buğday
NDVI

Durgut, A., Sümer, S. K., Özelkan, E. "Arpa ve buğday bitkilerinin sınıflandırılmasında uzaktan algılama indislerinin karşılaştırılması" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 171-197

ÖZET

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ve küresel iklim değişikliği beraberinde gıda kıtlığı ve açlık gibi sorunlar getirmektedir. Dünya'da birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de kişi başına hububat ihtiyacı artmaktadır. Ülkemizde hububat yetiştirilen alanların büyük bölümünde birinci sırada buğday, ikinci sırada ise arpa yer almaktadır. Buğday ve arpa gibi kritik ürünlerin üretim miktarının önceden belirlenmesi, bitkinin üretiminde kayıp olmaması ve en yüksek verim elde edilebilmesi, ulusal ve uluslararası ekonomik planlamayı ve gıda güvenliğini etkilemektedir. Arpa ve buğday üretim alanlarının belirlenmesi ve izlenmesi için uzaktan algılama bitki indeksleri kullanılabilir. Ancak buğday ve arpanın benzer bitkiler olması ve yetiştirme zamanlarının da yakın olması uzaktan algılama yöntemleri ile ayırılmasını güçleştirmektedir. Bu çalışmada, Balıkesir ili Edremit ve İvrindi ilçeleri, Çanakkale ili Ezine, Gelibolu ve Gökçeada ilçeleri, Manisa ili Turgutlu ilçesi, Samsun ili Yakakent ilçesi, Kayseri ili İncesu ilçesi, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi, Yozgat ili Sorgun ilçesinde 2022 ve 2023 yıllarında buğday ve arpa ekilen üretim alanları uzaktan algılama yöntemleri ile incelenmiştir. Belirlenen tarlaların 01 Ekim 2022 ve 31 Temmuz 2023 tarihleri arasındaki görüntüleri bulut tabanlı Google Earth Engine(GEE) platformu ile Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 ve Sentinel-2 MSI uydularından elde edilmiştir. Elde edilen görüntülerden NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi), EVI (Geliştirilmiş Bitki İndeksi), LAI (Yaprak Alan İndeksi), SAVI (Toprak Düzeltilmiş Bitki İndeksi), GCI (Yeşil Klorofil İndeksi), GLI (Yeşil Yaprak İndeksi), GARI (Yeşil Atmosfer Dirençli İndeksi), DVI (Fark Bitki İndeksi), GNDVI (Yeşil Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi), RDVI (Oranlı Bitki İndeksi), TGI (Dönüştürülmüş Bitki İndeksi), VARI (Görünür Atmosfer Dirençli İndeksi), MCARI (Değiştirilmiş Klorofil Emilim Oranı İndeksi), TVI (Üçgen Bitki İndeksi), NDRE (Normalleştirilmiş Fark Kırmızı Kenar İndeksi), RECI (Kırmızı Kenar Klorofil İndeksi), CVI (Klorofil Bitki İndeksi) bitki indeksleri üretilmiştir. 2 farklı uydudan 17 farklı indisin karşılaştırmalı analizini içeren bu çalışmada, arpa ile buğdayı ayırt edebilecek en uygun indisin hangisi olduğu araştırılmıştır. Çalışma sonucunda buğday ve arpa ekilen tarlaların ayırımında t-testi, Anova ve Lojistik Regresyon analizleri sonucunda Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 uydusunda Haziran ayında GARI indeksi (f=4.98, p=0.03), Sentinel 2 uydusunda Mayıs ayında GLI indeksi (f=624.2, p=0.00) etkili olduğu belirlenmiştir.

Article Info

Received date : 06.11.2024
Revised date : 13.12.2024
Accepted date : 17.12.2024

Keywords:

Vegetation indices
Wheat
NDVI

Durgut, A., Sümer, S. K., Özelkan, E. "Arpa ve buğday bitkilerinin sınıflandırılmasında uzaktan algılama indislerinin karşılaştırılması" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 171-197

ABSTRACT

The rapid population growth and global climate change in the world bring about issues such as food scarcity and hunger. As in many countries, Turkey is also experiencing an increase in the per capita demand for cereals. In our country, wheat occupies the first rank and barley the second rank in terms of the area planted with cereals. Determining the production quantity of critical crops such as wheat and barley in advance, ensuring no loss in their production, and achieving maximum yield have significant impacts on both national and international economic planning and food security. Remote sensing vegetation indices are used to determine and monitor wheat and barley fields. However, since wheat and barley are similar crops and their growing periods are close, it becomes challenging to distinguish them using remote sensing methods. In this study, wheat and barley fields in the provinces of Balıkesir (Edremit and İvrindi districts), Çanakkale (Ezine, Gelibolu, and Gökçeada districts), Manisa (Turgutlu district), Samsun (Yakakent district), Kayseri (İncesu district), Eskişehir (Sivrihisar district), and Yozgat (Sorgun district) were investigated using remote sensing methods in the years 2022 and 2023. The images of the selected fields were obtained between October 1, 2022, and July 31, 2023, from the Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 and Sentinel-2 MSI satellites via the cloud-based Google Earth Engine (GEE) platform. From the obtained images, vegetation indices such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index), LAI (Leaf Area Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), GCI (Green Chlorophyll Index), GLI (Green Leaf Index), GARI (Green Atmospherically Resistant Index), DVI (Difference Vegetation Index), GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), RDVI (Ratio Vegetation Index), TGI (Transformed Vegetation Index), VARI (Visible Atmospherically Resistant Index), MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index), TVI (Triangular Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge Index), RECI (Red Edge Chlorophyll Index), and CVI (Chlorophyll Vegetation Index) were generated. This study, which includes a comparative analysis of 17 different indices from two different satellites, aimed to determine which index is the most suitable for distinguishing wheat from barley. As a result, it was found that in the differentiation of wheat and barley fields, the GARI index in June from the Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 satellite (f=4.98, p=0.03) and the GLI index in May from the Sentinel 2 satellite (f=624.2, p=0.00) were effective.

1. GİRİŞ

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ve küresel iklim değişikliği birçok sorun oluşturmaktadır. Bu sorunların başında açlık gelmektedir. Geri kalmış ve gelişmekte olan ülkelerin büyük bir bölümünün açlıkla karşı karşıya oldukları bir gerçektir (Sevinç, 2023). Dünya'daki birçok ülke, nüfus artışının üretilen gıda maddeleri miktarından daha fazla olması nedeniyle kendi kendine yetebilecek durumda değildir. Aynı zamanda her toplumun coğrafi ve ekonomik yapısına, yetiştirdikleri ürünlere, ülkelerin gelişmişliğine, kişilerin istek ve zevklerine bağlı bir beslenme şekli bulunmaktadır. Türkiye'de kişi başına hububat tüketimi, Çin, Hindistan, ABD, Pakistan, Rusya, Mısır, İran'dan sonra 8. sıradadır (Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), 2022). Ülkemizde hububat yetiştirilen alanların büyük bölümünde buğday, ikinci sırada ise arpa üretimi yapılmaktadır. Buğday ülkemizde ekmek, kadayıf, yufka, bulgur, kuskus, eriş, makarna, keşkek gibi insan beslenmesinde, arpa ise hayvancılıkta yem olarak ve malt sanayisinde kullanılmaktadır (İmamoğlu vd., 2016; Özberk vd., 2016; Atar vd., 2017;)

Ülkemizde 2019 yılında buğday üretimi 19 milyon ton, arpa üretimi 7,6 milyon ton, 2020 yılında buğday üretimi 20,5 milyon ton, arpa üretimi 8,3 milyon ton, 2021 yılında bir önceki yıla göre buğday üretimi 17,7 milyon ton, arpa üretimi 5,8 milyon ton, 2022 yılında ise buğday üretimi 19,8 milyon ton, arpa üretimi 8,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2023 yılında ülkemizde ekilen buğday, yaklaşık 68 milyon dekar ekim alanı ve 22 milyon ton üretim ile ilk sırada yer alırken, arpa yaklaşık 32 milyon dekar ekim alanı ve 9,2 milyon tonluk üretim ile buğdayı izlemektedir (TUİK, 2024). 2023 yılında üretilen buğdayın tüketimi karşılama derecesi %95,9, arpanın yeterlilik derecesi %90,0 olarak gerçekleşmiştir (TUİK, 2024).

Buğday ve arpa gibi önemli ürünlerde nüfus artışına oranla artan ihtiyacı karşılamak ve ihracatı arttırmak için ekim alanlarının çoğaltılması ya da verimliliğin artırılması gerekmektedir (Erenstein vd., 2022). Aynı zamanda Ukrayna-Rusya savaşı gibi bir durumda oluşabilecek tahıl krizini engellemek için ürün takibi ve verim artışı da önemlidir (Sezer, 2024). Bu nedenle buğday ve arpa gibi kritik tarla ürünlerinin hastalıklarının izlenmesi, rekoltesinin tahminlenmesi ve ürünün takip edilmesi ile sorunlarının giderilmesi sonucunda yüksek verim elde edilmesi, ulusal ve uluslararası ekonomik planlamayı ve gıda güvenliğini etkileyebileceğinden önem arz etmektedir.

Buğday ve arpa üretiminde verimi arttırabilmek için bitki sağlığının takip edilmesi, hastalıklarla mücadele edilmesi, rekolte ve verim tahmini yapılmasında uzaktan algılama, sıklıkla ve giderek artarak kullanılan yöntemlerdendir (Sishodia vd., 2020; Khanal vd., 2020; Zhou vd., 2022; Nduku vd., 2023; Wu vd., 2023). Uzaktan algılama, insansız hava araçları (İHA), uydu görüntüleme sistemleri gibi yöntemler ile büyük alanları tek seferde tarayarak sonuç elde edilmesini sağlamaktadır. Uzaktan algılama ile buğday ve arpanın verimini etkileyen iklim, sulama, gübreleme gibi birçok etmen takip edilebilmektedir (Liliane ve Charles, 2020). Bitki sağlığını uzaktan algılama ile takibi için NDVI, EVI, LAI gibi indeks görüntüleri çok sıklıkla kullanılmaktadır (Xue ve Su, 2017).

Uzaktan algılama verileri ile üretilen bitki örtüsü indekleri, istenilen konumdan elde edilen yeşil bitkilerin spektral özelliklerini iki veya daha fazla görüntü bandından çeşitli matematiksel modeller ile hesaplanarak anlamlı bir değer elde edilmesidir (Xue ve Su, 2017). Bitki örtüsü indeksi ile bitkinin fotosentetik aktivitesi belirlenerek mekansal ve zamansal karşılaştırmalar yapılabilmektedir. Bitkilerin sağlığının takip edilmesi için Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksini (NDVI) (Rouse vd., 1973), Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI) (Huete, 2002), yaprak alan indeksi (LAI) (Boegh vd., 2002), Toprak Ayarlı Bitki İndeksi(SAVI) (Huete, 1988), Yeşil Klorofil İndeksi (GCI) (Gitelson vd., 2003), Yeşil

Yaprak İndeksi (GLI) (Louhaichi vd., 2001), Yeşil Atmosferik Direnç İndeksi (GARI) (Gitelson vd., 1996), Farklı Bitki İndeksi (DVI) (Tucker, 1979), Yeşil Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (GNDVI) (Gitelson ve Merzlyak, 1998), Oransal Farklı Bitki İndeksi(RDVI) (Roujean ve Breon, 1995), Üçgen Yeşillik İndeksi(TGI) (Hunt vd., 2011), Görünür Atmosferik Direnç İndeksi (VARI) (Gitelson, 2002), Modifiye Klorofil Absorbsiyon Oranı İndeksi (MCARI) (Daughtry, 2000), Üçgen Bitki İndeksi (TVI) (Broge ve Leblanc, 2000), Normalleştirilmiş Fark Kırmızı Kenar İndeksi (NDRE) (Barnes vd., 2000), Kırmızı Kenar Klorofil İndeksi (RECI) (Gitelson ve Merzlyak, 1994), Bitki Örtüsü İndeksi (CVI) (Vincini vd., 2008), Klorofil İndeksi(CI) (Gitelson vd., 1996) gibi çeşitli bitki indeksleri geliştirilmiştir ve bu indeksler ile çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Google Earth Engine (GEE), Google tarafından geliştirilen bulut tabanlı coğrafi veri işleme platformu olup, dünya çapında büyük miktardaki coğrafi verilerin işlenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için kullanılmaktadır. GEE, 2010 yılında, uydu görüntülerini ve diğer coğrafi verileri kullanarak çevresel süreçleri analiz etmek, modellemek ve karar vermeye yardımcı olmak amacıyla geliştirildi. GEE'nin en büyük avantajlarından biri uzaktan algılamadaki büyük veri setlerini depolamaya gerek olmadan hızlı bir şekilde işleme kabiliyetidir. GEE platformu ile Landsat, Sentinel ve MODIS gibi çeşitli uydu görüntülerine erişim sağlayarak ormanlar, su kaynakları, şehir alanları, tarım alanları incelenebilmektedir (Mutanga, ve diğerleri, 2019).

Bu çalışmada, Balıkesir ili Edremit ve İvrindi ilçeleri, Çanakkale ili Ezine, Gelibolu ve Gökçeada ilçeleri, Manisa ili Turgutlu ilçesi, Samsun ili Yakakent ilçesi, Kayseri ili İncesu ilçesi, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi, Yozgat ili Sorgun ilçesinde 2022 ve 2023 yıllarında buğday ve arpa ekilen tarlalar kullanılmıştır. Belirlenen tarlaların 01 Ekim 2022 ve 31 Temmuz 2023 tarihleri arasındaki görüntüleri bulut tabanlı Google Earth Engine(GEE) platformu ile Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 ve Sentinel-2 MSI uydularından elde edilmiştir. Elde edilen görüntülerin NDVI, EVI, LAI, SAVI, GCI, GLI, GARI, DVI, GNDVI, RDVI, TGI, VARI, MCARI, TVI, NDRE, RECI, CVI bitki indekslerine ait en yüksek değerleri belirlenmiştir.

Buğday ve arpanın yetiştirme zamanlarının yakın olmasından dolayı uzaktan algılama ile ayrıştırılması güç olmaktadır (Qader vd., 2018). Literatürdeki çalışmalarda arpa ve buğday ayrımı yapılmadan ve NDVI, LAI gibi çok bilinen birkaç indeks ile rekolte tahmini, bitki sağlığı izlenmesi gibi çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Hamid ve Ali, 2024; TaehWan vd., 2022; Yasamin vd., 2021; Isabella vd., 2020). Bu çalışma, uzaktan algılama ile buğday gibi önemli bir ürünün arpadan ayrılarak sağlığını takip etmek ve rekoltesini tahmin edebilmek için en uygun indisin hangi ay kullanılabileceğini belirlemek için yapılmıştır.

Bu çalışmada amaçlananlar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

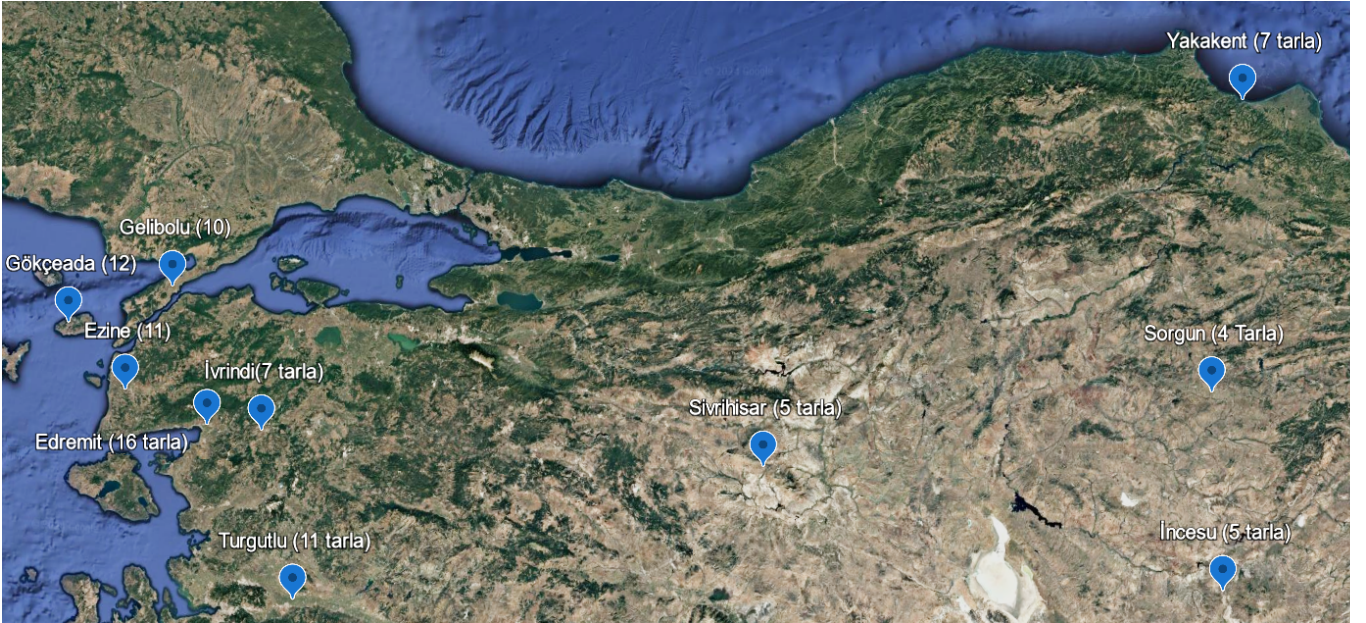
- Bitkinin en sağlıklı olduğu dönemin belirlenmesi için hangi indisin daha uygun olduğunu belirlemek,
- Uydu görüntülerinden arpa ve buğdayı ayırt edebilecek en uygun indisi ve zamanı belirlemek,
- Uydu tercihi için aynı tarlada hangi uyduda indekslerin daha yüksek değere ulaştığını belirlemektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Çalışmada, Balıkesir ili Edremit ve İvrindi ilçeleri, Çanakkale ili Ezine, Gelibolu ve Gökçeada ilçeleri, Manisa ili Turgutlu ilçesi, Samsun ili Yakakent ilçesi, Kayseri ili İncesu ilçesi, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi, Yozgat ili Sorgun ilçesinde 01 Ekim 2022 ve 31 Temmuz 2023 tarihleri arasında 45 adet buğday ve 43 adet arpa ekili üretim alanı kullanılmıştır (Şekil 1).

Çanakkale ili ortalama sıcaklık 15.2°C ve yıllık yağış toplamı 625.3 mm, Balıkesir ili ortalama sıcaklık 14.8°C ve yıllık yağış toplamı 604.5 mm, Samsun ili ortalama sıcaklık 14.6°C ve yıllık yağış toplamı 723.2 mm, Kayseri ili karasal iklim özelliğinde ortalama sıcaklık 10.7°C ve yıllık yağış toplamı 390.5 mm, Yozgat ili ortalama sıcaklık 9.2°C ve yıllık yağış toplamı 571.4 mm, Eskişehir ili ortalama sıcaklık 11°C ve yıllık yağış toplamı 355.9 mm, Manisa ili ortalama sıcaklık 16.9°C ve yıllık yağış toplamı 743.6 mm'dir.



Şekil 1. Çalışma yapılan üretim alanları

2.2. Uzaktan Algılama Verisi

Çalışma alanında bulunan ilçe tarım müdürlüklerinden ve çiftçilerden elde edilen çiftçi kayıt sistemine (ÇKS) ait verilerden buğday ve arpa ekili alanlar belirlenmiştir (Şekil 2). Çalışmada 43 buğday ve 45 arpa tarlası kullanılmıştır. Tarlalarda ekim ve hasat dönemleri 01 Ekim 2022 ve 31 Temmuz 2023 tarihleri arasındadır. Bu nedenle kullanılacak uydu görüntüleri bu tarihler arasında bulut tabanlı Google Earth Engine(GEE) platformu ile Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 ve Sentinel-2 MSI uydularından elde edilmiştir (Tablo 1 ve Tablo 2). Uydu görüntüleri, bulut oranı %20'den az olan günlerden 30 m çözünürlüğünde seçilmiştir. GEE ile tarlalar işaretlenirken tarlada bulunan su yolu, kadastral yol, ağaç vb alanlar seçime dahil edilmemiştir.

GEE, atmosfere bağlı düzeltme ve verilerin düzgün bir şekilde coğrafi koordinat sistemine yerleştirilmesi için gerekli coğrafi düzeltmeleri EPSG veri seti ile otomatik olarak yapabilmektedir.

Tablo 1. Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 uydusu bandları

Band ismi	Çözünürlük	Dalga Boyu	Tanım
B1	30 metre	0.43 - 0.45 μm	Kıyı aerosolü
B2	30 metre	0.45 - 0.51 μm	Mavi
B3	30 metre	0.53 - 0.59 μm	Yeşil
B4	30 metre	0.64 - 0.67 μm	Kırmızı
B5	30 metre	0.85 - 0.88 μm	Yakın Kızılötesi
B6	30 metre	1.57 - 1.65 μm	Kırsadalga Kızılötesi 1
B7	30 metre	2.11 - 2.29 μm	Kırsadalga Kızılötesi 2
B8	15 metre	0.52 - 0.90 μm	Band 8 renklere duyarlı (pankromatik)
B9	30 metre	1.36 - 1.38 μm	Sirrus (Cirrus)
B10	30 metre	10.60 - 11.19 μm	Termal Kızılötesi 1, 100m - 30m
B11	30 metre	11.50 - 12.51 μm	Termal kızılötesi 2, 100m - 30m
QA_PIXEL	30 metre		Landsat Collection 2 QA Bitmask

Tablo 2. Sentinel-2 uydusu bandları

Sentinel-2 Bandı	Merkezi dalga boyu (μm)	Çözünürlük (m)
Bant-1 Kıyı Aerosolü	0,433	60
Bant-2 Mavi	0,490	10
Bant-3 Yeşil	0,560	10
Bant-4 Kırmızı	0,665	10
Bant-5 Vegetasyon kırmızı kenar	0,705	20
Bant-6 Vegetasyon kırmızı kenar	0,740	20
Bant-7 Vegetasyon kırmızı kenar	0,783	20
Bant-8 NIR	0,842	10
Bant-8B Vegetasyon kırmızı kenar	0,865	20
Bant-9 Su buharı	0,945	60
Bant-10 SWIR - Cirrius	1,375	60
Bant-11 SWIR	1,610	20
Bant-12 SWIR	2,190	20



Şekil 2. Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) parsel sorgulama sitesinden alınan örnek parseller (Balıkesir-Edremit)

Çalışma kapsamında elde edilen görüntülerin bitki indeks değerleri hesaplanılmıştır. Çalışmada kullanılan indislerin formülleri Tablo 3’de listelenmiştir.

Tablo 3. Kullanılan bitki indisleri

Bitkisel İndeks	Formül	Referans
NDVI	$NDVI = \frac{NIR - Kırmızı}{NIR + Kırmızı}$	(Rouse vd., 1973)
EVI	$EVI = 2.5 * \frac{NIR - Kırmızı}{NIR + 6 * Kırmızı - 7.5 * Mavi + 1}$	(Huete, 2002)
LAI	$LAI = 3.618 * EVI - 0.118$	(Boegh vd., 2002)
SAVI	$SAVI = \frac{1.5 * (NIR - Kırmızı)}{NIR + Kırmızı + 0.5}$	(Huete, 1988)
GCI	$GCI = \frac{NIR}{Yeşil} - 1$	(Gitelson vd., 2003)
GLI	$GLI = \frac{(Yeşil - Kırmızı) + (Yeşil - Mavi)}{(2 * Yeşil) + Mavi + Kırmızı}$	(Louhaichi vd., 2001)
GARI	$GARI = \frac{NIR - (Yeşil - (Mavi - Kırmızı))}{NIR + (Yeşil - (Mavi - Kırmızı))}$	(Gitelson vd., 1996)
DVI	$DVI = NIR - Kırmızı$	(Tucker, 1979)
GNDVI	$GNDVI = \frac{NIR - Yeşil}{NIR + Yeşil}$	(Gitelson ve Merzlyak, 1998)
RDVI	$RDVI = \frac{NIR - Kırmızı}{\sqrt{NIR + Kırmızı}}$	(Roujean ve Breon, 1995)
TGI	$TGI = \frac{(\lambda_{kırmızı} - \lambda_{kırmızı})(\rho_{kırmızı} - \rho_{yeşil}) - ((\lambda_{kırmızı} - \lambda_{yeşil})(\rho_{kırmızı} - \rho_{mavi}))}{2}$	(Hunt vd., 2011)

VARI	$VARI = \frac{Yeşil - Kırmızı}{Yeşil + Kırmızı - Mavi}$	(Gitelson, 2002)
MCARI	$MCARI = [(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2(\rho_{700} - \rho_{550})] * (\rho_{700}/\rho_{670})$	(Daughtry, 2000)
TVI	$TVI = \frac{120(\rho_{750} - \rho_{550}) - 200(\rho_{670} - \rho_{550})}{2}$	(Broge ve Leblanc, 2000)
NDRE	$NDRE = (NIR - Kırmızı Kenar)/(NIR + KırmızıKenar)$	(Barnes vd., 2000)
RECI	$ReCI = (NIR / Kırmızı) - 1$	(Gitelson ve Merzlyak, 1994)
CVI	$CVI = (NIR/Yeşil) * (Kırmızı/Yeşil)$	(Vincini vd., 2008)
CI	$CI = NIR/Kırmızıkenar - 1$	(Gitelson vd., 1996)

NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi - Normalized Difference Vegetation Index) sağlıklı yetişen bitki, yakın kızılötesi (NIR) ve yeşil ışığı yansıtmakta ve bu nedenle gözümüze yeşil görünmektedir. Sağlıksız bitki ise yakın kızılötesi ve yeşil ışığı daha az yansıtmaktadır. Görüntüden elde edilen NDVI değerleri -1 ile +1 arasında değişmektedir. Sağlıklı bitkinin olduğu yerlerde NDVI değerleri +1'e yaklaşırken, sağlıksız bitkinin olduğu yerlerde ise NDVI değeri -1'e doğru yaklaşmaktadır (Rouse, 1973).

SAVI/MSAVI (Değiştirilmiş Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü Endeksi), bitki sağlığını belirlemek için toprak yansımalarını hesaba katarak etkisi en aza indirilmiştir. Bitkinin erken büyüme aşamaları veya meyve bahçeleri gibi bitki örtüsü yoğun olmayan alanlarda kullanımı daha uygundur. SAVI indeksi, -1 ile +1 arasında bir değer alabilmektedir. SAVI değeri, 0'dan küçük ise bitki örtüsü olmayan bölgeler ya da su alanlarını, 0 ise bitki örtüsü çok seyrek ya da hiç yoktur. 0.2 - 0.3 aralığında bitki örtüsü seyrek ya da stres altında, 0.5'den büyük değer ise yoğun ve sağlıklı bitki örtüsü anlamına gelmektedir. SAVI indisinde, bitki örtüsü ile toprak farkını ortaya koymak için bir L katsayısı (toprak düzeltme faktörü) kullanılmaktadır. Bu katsayı, topraktan gelen ışık yansımalarının bitki örtüsü üzerindeki etkisini azaltmaya yardımcı olmaktadır (Huete, 1988).

EVI (Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi), atmosferik etkiler ve toprağın yansıtması gibi çevresel faktörlerin olumsuz etkileri azaltılmıştır. EVI değeri 0 ise bitki örtüsü yok ya da çok seyrek, 0.2 - 0.5 arasında seyrek ve stres altında bitki örtüsü, 0.5 - 1 arasında sağlıklı ve yoğun bitki örtüsü, 1'in üzerinde ise çok yoğun ve sağlıklı bitki örtüsü anlamına gelmektedir. EVI, NDVI'dan farklı olarak atmosferik etkileri ve toprak arka planının etkisini azaltarak bitki örtüsünün sağlığını daha hassas bir şekilde izlemeyi amaçlamıştır (Huete, 2002).

LAI (Yaprak alan indeksi- Leaf Area Index), belli alana düşen yaprak alanı miktarını ölçmek için kullanılmaktadır. Bitki yapraklarının kapladığı alanın toprağın alanına oranı olarak tanımlanabilmektedir. Bitki gelişim oranını ve biyokütle üretim miktarını belirlemek için kullanılır. LAI'nin değeri genellikle 0 ile 10 arasında değişir. Ancak çok yoğun ormanlık alanlarda bu değer 10'un üzerine de çıkabilmektedir. LAI değeri 0 ise yaprak ya da bitki örtüsü yok, 0 - 1 arasında çok seyrek bitki örtüsü, 1 - 3 arasında orta derecede bitki örtüsü, 3 - 5 arasında yoğun bitki örtüsü, 5'ten büyük ise çok yoğun bitki örtüsünü ifade etmektedir. LAI, yaprakların toplam yüzey alanının, üzerinde büyüdüğü toprağın yüzey alanına oranıdır. Örneğin, yaprakların toplam alanı toprak alanının iki katıysa, LAI = 2 olmaktadır (Boegh, 2002).

TGI (Triangular Greenness Index), yaprak alanı etkisinden arındırarak bitki klorofilini değerlendirmekte ve bitki azot ihtiyaçlarını ölçmektedir. TGI, multispektral sensörlerin kullanılmadığı yerlerde kullanılabilir. TGI değeri, 0 ise bitki örtüsü yok, 0 - 0.5 arasında seyrek bitki örtüsü, 0.5 - 1.0 arasında orta yoğunlukta bitki örtüsü, 1'den büyükse yoğun bitki örtüsü anlamına gelmektedir (Hunt, 2011).

NDRE (Normalized Difference Red Edge), bitki yapraklarındaki klorofil miktarını ve bitki sağlığını ölçmektedir. NDRE, toprak azotundan bağımsız olarak bitki azot stresini değerlendirmek için kullanılmaktadır. NDRE'de kullanılan bantlar bitkilerin alt kanopisini görüntülediğinden, NDRE genellikle orta ve geç evre mahsullerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. NDRE, gübre gereksinimlerini veya yaprak azotundaki değişkenliği takip etmek için kullanılabilir. NDRE değeri 0'dan düşük ise bitki örtüsü yok, 0 - 0.2 arasında seyrek bitki örtüsü, 0.2 - 0.5 arasında orta yoğunlukta bitki örtüsü, 0.5'den yüksek ise yoğun bitki örtüsü anlamına gelmektedir. NDRE'de kullanılan kırmızı kenar bandı, bitkilerin fotosentez etkinliğini ve sağlık durumunu değerlendirmede daha duyarlıdır, böylece NDRE'nin hassasiyeti artmaktadır (Barnes, 2000).

RECI (Kırmızı-kenar Klorofil Bitki Örtüsü İndeksi - Red-Edge Chlorophyll Vegetation Index), azotla beslenen yapraklardaki klorofil miktarını belirlemeye yarar. RECI, hasat zamanı için uygun değildir. RECI değeri 0'ın altında ise bitki örtüsü yok, 0 - 0.2 arasında klorofil içeriği düşük, 0.2 - 0.5 değerleri arasında orta derecede klorofil içeriği, 0.5'den büyük değerlerde yüksek klorofil içeriği anlamındadır. RECI, kırmızı kenar dalga boyu ile bitkinin klorofil seviyelerini belirlemeyi amaçlamıştır (Gitelson ve Merzlyak, 1994).

GNDVI (Yeşil Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü Endeksi - Green Normalized Difference Vegetation Index), NDVI indeksinin değiştirilmiş halidir. Bitkinin fotosentez durumunu değerlendirmek ve klorofil yoğunluğunu ölçmek için kullanılmaktadır. GNDVI, yoğun bitki örtüsünde veya olgunluk aşamasındaki bitkilerde solmuş mahsulleri belirlemek ve azot içeriğini ölçmek için kullanılmaktadır. GNDVI değeri negatif ise bitki örtüsü yok, 0 - 0.2 arasında düşük bitki örtüsü yoğunluğu, 0.2 - 0.5 arasında orta yoğunlukta bitki örtüsü, 0.5'den büyük değerler yüksek klorofil içeriği anlamına gelmektedir. GNDVI, klorofil içeriğini yeşil ve yakın kızılötesi bandlarla hesaplayarak bitki sağlığını daha hassas bir şekilde izlemeye çalışmaktadır (Gitelson, 1998; Ahamed ve diğerleri, 2011).

VARI (Visible Atmospherically Resistant Index), görünür RGB bandlarını kullanmaktadır. Atmosferik etkilerden etkilenmediği için bitki sağlığını ve stresini değerlendirmek için kullanılmaktadır. VARI indisi görünür spektrumdaki bandları aracılığıyla bitkilerin yeşillik seviyesini belirler. VARI indisi -1 ile +1 arasında değerler almaktadır (Gitelson, 2002).

GCI (Green Chlorophyll Vegetation Index), çeşitli bitki türlerinde klorofil miktarını tahmin etmek için kullanılmaktadır. GCI indeksi, klorofilin NIR bandındaki yansımalarının yeşil banttaki yansımalarına oranı olarak hesaplanır. Mevsimselliğin, çevresel streslerin veya uygulanan pestisitlerin bitki örtüsü sağlığı üzerindeki etkisini izlemek için kullanılır. GCI, -1 - +1 arasında değer almakta ve değerlerin yüksek olması, bitki sağlığının iyi olduğunu göstermektedir. GCI, bitkiler tarafından yoğun bir şekilde yansıtılan NIR ve klorofil tarafından emilen yeşil bandı kullanarak bitkilerin klorofil içeriğini hesaplamayı amaçlamaktadır (Gitelson, 2003).

MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index), bitki stresi ve hastalıkların erken tespitini bitkinin klorofil içeriğini değerlendirerek gerçekleştirmektedir. MCARI, yeşil yansıma değerlerini kullanarak, arka plandaki toprak etkisini en aza indirmeye çalışmaktadır (Daughtry, 2000).

TVI (Triangular Vegetation Index), bitki sağlığını ve fotosentez aktivitesini takip ederek verimliliği ve bitki sağlığını izlemek için kullanılmaktadır. Sağlıklı bitki örtüsü fotosentez yaparken kırmızı bandı emdiğinden ve kızılötesi ışığı yansıttığından TVI'da bu bantlar ile hesaplama yapılmıştır. TVI genelde 0 ile 1.12 arasında değer almaktadır (Broge, ve diğerleri, 2000).

DVI (Bitki Ayrım İndeksi - Difference Vegetation Index), yakın kızılötesi yansımadan, görünür kırmızıyı çıkarmakla elde edilmektedir. DVI, toprak ve bitki örtüsü arasında ayrım yapar, fakat gölgelerin oluşturduğu yansıma ve parlaklık arasındaki farkı hesaplamaz. NIR bantı sağlıklı bitkilerde yüksek değerler, kırmızı bandı bitkiler emdiği için düşük değerler göstermektedir. Yüksek DVI değerleri, bitkilerin sağlıklı olduğunu ve fotosentetik aktivitenin iyi olduğunu gösterirken, düşük DVI değerleri bitki stresini veya hastalığını işaret etmektedir (Tucker, 1979).

RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index), yoğun bitki örtüsü alanlarında biyofiziksel parametreler arasındaki ilişkileri doğrusallaştırmayı amaçlamaktadır. 0 ile 1 arasında RDVI değerleri sağlıklı bitki örtüsünü, 0'ın altındaki değerler bitki sağlığının düşük olduğunu veya toprak gibi bitki örtüsü bulunmayan alanları belirtmektedir (Roujean, 1995).

GARI (Green Atmospherically Resistant Index), NDVI'dan daha geniş bir klorofil aralığını değerlendirebilir ve atmosferik durumlardan daha az etkilenir. GARI, atmosferik etkileri azaltarak bitki sağlığını daha doğru bir şekilde değerlendirmeye olanak tanır. 0 ile 1 arasında GARI değerleri, yüksek fotosentetik aktiviteyi temsil eder. Daha yüksek değerler, daha yoğun ve sağlıklı bitki örtüsünü işaret etmektedir (Gitelson, 1996).

CVI (Chlorophyll vegetation index), bitkinin klorofil içeriğine karşı artan bir duyarlılığa sahiptir. Bitkilerin fotosentetik aktivitesini ve genel sağlık durumunu değerlendirmek amacıyla kullanılır. Sayısal değer aralığı genellikle 0 ile 1 arasında değişmektedir. Ancak bazı sistemlerde daha yüksek değerler de görülebilmektedir (Vincini, 2008).

CI (Chlorophyll index rededge), bitkideki klorofil seviyesini ölçmektedir. Besin ihtiyaçları ile verimi belirlemek için kullanılmaktadır. Formülünde kullanılan kırmızı kenar bandı, bitki örtüsünün yansıma spektrumunda kırmızıdan yakın kızılötesine geçiş arasındaki dar bir banttır. CI, klorofil içeriği, bitki sağlığı ve verim potansiyeli hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Düşük klorofil seviyeleri, besin eksiklikleri, su stresi veya zararlılar gibi sorunların göstergesi olabilmektedir. CI değer aralığı 0 ile 2 arasında değişmekte ve daha yüksek değerler daha sağlıklı bitkileri göstermektedir (Gitelson, 1996).

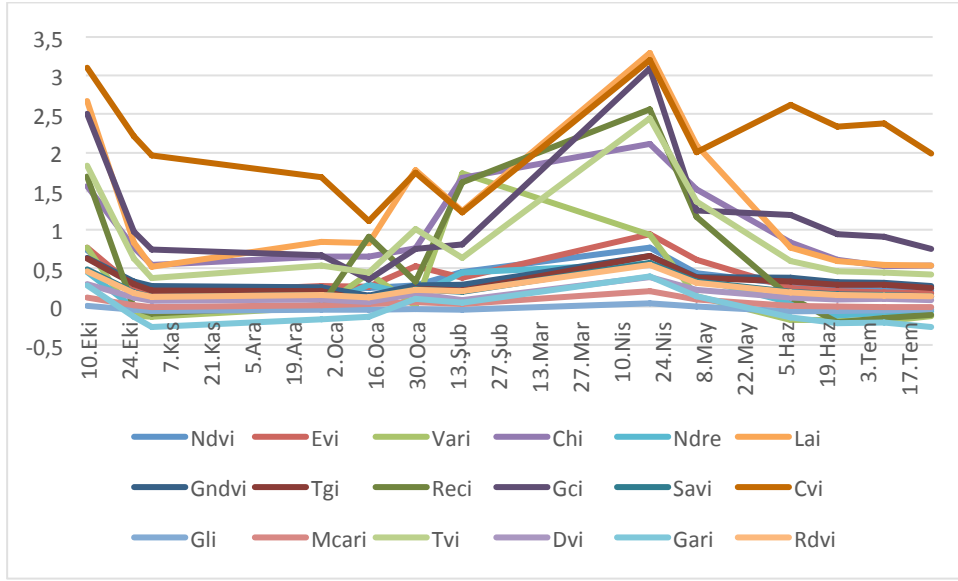
GLI (Green Leaf Index): RGB görüntüler ile buğday alanını ölçmek için geliştirilmiştir. GLI, yeşil bitkilerin varlığını toprak veya su gibi bitki harici yüzeylerden ayırmaya yardımcı olmaktadır. GLI, değerleri -1 ile +1 arasında değişmektedir (Hunt Jr., ve diğerleri, 2011).

Bitki örtüsü indeksleri hesaplanırken uydudan alınan tarlanın görüntüsüne ilgili indeks formülü uygulandıktan sonra elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır ve bu değer görüntünün elde edildiği tarihteki bitki örtüsü indeksi olarak kabul edilmiştir. Bitkinin klorofil düzeyinin en yüksek, dolayısıyla en sağlıklı olduğu dönemde bitki görünür yeşil ve yakın kızılötesi ışığı yansıtmaktadır (Lee, 2015). Arpa ve buğdayın en yüksek klorofil düzeyine sahip olduğu tarihler yakındır. Bu nedenle çalışmada kullanılan tarlaların Ekim-Temmuz ayları arasındaki görüntü değerlerinin aylık ortalaması alınarak

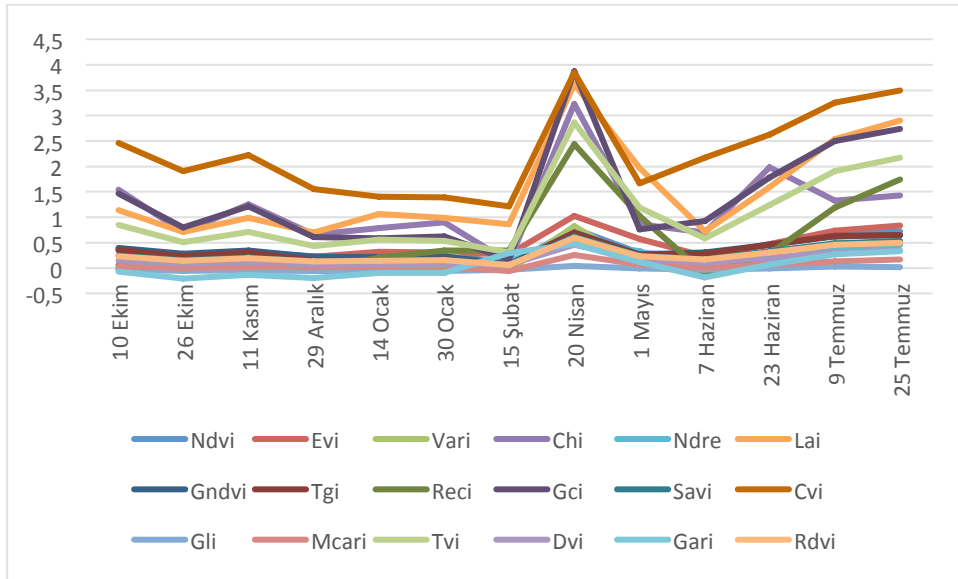
indeks değerleri aylık olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda arpa ve buğdayın indekslerdeki en yüksek değerleri karşılaştırılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan buğday ve arpa tarlalarının Landsat 9 uydusundan 01 Ekim 2022 – 31 Temmuz 2023 tarihleri arasında belirlenen indislere ait zaman çizelgeleri elde edilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te Balıkesir ili Edremit ilçesinde bulunan buğday ve arpa tarlasına ait zaman çizelgeleri görülmektedir.



Şekil 3. Buğday için bitki indeksleri grafiği (Balıkesir-Edremit)



Şekil 4. Arpa için bitki indeksleri grafiği (Balıkesir-Edremit)

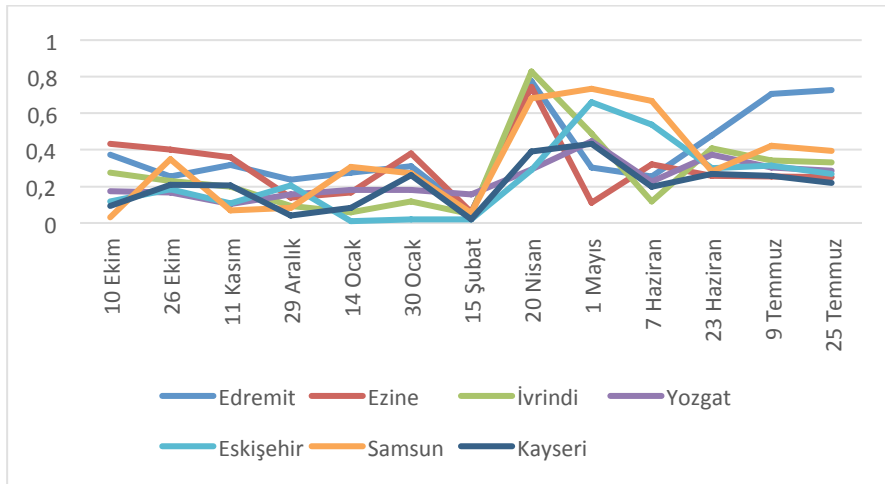
2022-2023 ekim sezonunda Balıkesir ili Edremit ilçesinde bulunan buğday tarlasının Landsat 9 uydusu kullanılarak elde edilen bazı bitki indislerine ait zaman grafiklerindeki değerler Tablo 4' de de listelenmiştir.

Tablo 4. Balıkesir ili Edremit ilçesi 2023 yılı buğday tarlası bitki örtüsü indisleri

Tarih	NDVI	EVI	GNDVI	TGI	SAVI	DVI
10 Ekim	0.729	0.770	0.633	0.622	0.484	0.290
26 Ekim	0.274	0.262	0.327	0.291	0.188	0.116
11 Kasım	0.206	0.176	0.265	0.213	0.127	0.073
29 Aralık	0.241	0.266	0.247	0.198	0.155	0.091
14 Ocak	0.240	0.260	0.142	0.072	0.119	0.060
30 Ocak	0.274	0.523	0.272	0.232	0.226	0.167
15 Şubat	0.453	0.375	0.286	0.213	0.190	0.088
20 Nisan	0.766	0.944	0.656	0.659	0.569	0.386
06 Mayıs	0.431	0.612	0.384	0.372	0.323	0.216
07 Haziran	0.293	0.245	0.372	0.324	0.192	0.114
23 Haziran	0.233	0.197	0.319	0.28	0.156	0.094
09 Temmuz	0.207	0.182	0.311	0.284	0.152	0.099
25 Temmuz	0.210	0.179	0.271	0.246	0.138	0.082

Tablo 4'te görüldüğü gibi Balıkesir-Edremit ilçesinde belirlenen buğday tarlası için Landsat uydusunda tüm indislerin en yüksek değeri 20 Nisan'da elde edilmiştir. 10 Ekim'de elde edilen değerin yüksek olmasının nedeni bu tarlada yaz aylarında ekili olan mısır ürünüdür. Aynı ilçede bulunan diğer buğday tarlalarında da aynı tarihte en yüksek değer elde edilmiştir.

Şekil 5'te çalışmada kullanılan şehirlerde ekilen arpa tarlalarının NDVI değerlerinin zaman serileri görülmektedir. Zaman serilerinde şehirlerin konumları, iklim koşullarından dolayı bitkinin gelişim zamanlarının farklı tarihlerde gerçekleştiği ve batı bölgelerde doğu bölgelere göre bitkinin bir ay daha erken olgunlaştığı belirlenmiştir.



Şekil 5. Belirlenen tarlalardaki arpa tarlalarının NDVI indis değerleri

Tablo 5 ve Tablo 6’da çeşitli bölgelerde ekili olan arpanın Landsat ve Sentinel uydularından elde edilen bitki indislerinin en yüksek olduğu tarihler listelenmiştir. Arpa ve buğdayın ayırımında indislerin en yüksek olduğu tarih klorofil seviyesinin en yüksek olduğu tarih olup bu da arpa ve buğdayın ayırımını kolaylaştırabilmektedir (Abad, ve diğerleri, 2018). Sentinel uydusunda Edremit şehri için NDRE ve CVI indisleri hariç diğer tüm indislerde Landsat uydusundan yaklaşık bir ay daha erken en yüksek değerin elde edildiği görülmektedir. Diğer şehirlerde VARI, CVI ve GARI indisleri hariç diğer indisler her iki uyduda da yakın tarihlerde yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir.

Tablo 5. Çeşitli alanlardaki arpa tarlalarının bitki örtüsü indislerinin en yüksek olduğu tarihler (Landsat uydusu)

	Edremit	Ezine	Yakakent	İncesu	Gelibolu	Sivrihisar	Sorgun	İvrindi	Gökçeada	Turgutlu
NDVI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
EVI	20 Nis	20 Nis	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
VARI	20 Nis	20 Nis	01 Nis	03 May	04 Nis	02 Haz	29 Haz	20 Nis	04 Nis	30 Mart
CI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
NDRE	20 Nis	20 Nis	03 May	12 May	04 Nis	02 Haz	26 Nis	20 Nis	04 Nis	15 Nis
LAI	20 Nis	20 Nis	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
GNDVI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
TGI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
RECI	20 Nis	20 Nis	03 May	12 May	04 Nis	02 Haz	26 Nis	20 Nis	04 Nis	30 Mart
GCI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
SAVI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
CVI	20 Nis	26 Mar	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
GLI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	13 Nis	04 Nis	15 Nis
MCARI	20 Nis	26 Mart	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
TVI	20 Nis	20 Nis	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
DVI	20 Nis	26 Mart	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
GARI	20 Nis	06 May	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	26 Nis	20 Nis	04 Nis	15 Nis
RDVI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis

Tablo 6. Çeşitli alanlardaki arpa tarlalarının bitki örtüsü indislerinin en yüksek olduğu tarihler (Sentinel uydusu)

	Edremit	Ezine	Yakakent	İncesu	Gelibolu	Sivrihisar	Sorgun	İvrindi	Gökçeada	Turgutlu
NDVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
EVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	07 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
VARI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	07 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
CI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
NDRE	22 Nis	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
LAI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	07 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
GNDVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
TGI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
RECI	22 Nis	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
GCI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
SAVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
CVI	22 Nis	23 Mart	03 May	03 May	25 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	05 May	22 Nis
GLI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	07 May	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
MCARI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	25 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
TVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	25 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
DVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	25 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
GARI	23 Mart	23 Mart	22 Tem	12 Şub.	25 Nis	01 May	22 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
RDVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	25 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis

Tablo 5 ve Tablo 6'dan görüleceği üzere Landsat 9 uydusu ile arpa tarlalarından elde edilen indeks verilerden Balıkesir-Edremit ve Çanakkale-Ezine 20 Nisan, Çanakkale-Gelibolu 04 Nisan, Yozgat-Sorgun ve Samsun Yakakent 03 Mayıs, Eskişehir-Sivrihisar 01 Mayıs, Kayseri-İncesu 03 Mayıs tarihinde bitkisel indekslerin en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Sentinel 2 uydusundan elde edilen verilerden ise Balıkesir-Edremit ve Çanakkale-Ezine 23 Mart, Çanakkale-Gelibolu 25 Nisan, Samsun-Yakakent ve Kayseri-İncesu 03 Mayıs, Yozgat-Sorgun 02 Haziran, Eskişehir-Sivrihisar 01 Mayıs tarihlerinde en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Landsat 9 ve Sentinel 2 uydularından elde edilen bitki indekslerinin en yüksek tarihleri arasında çok fark olmadığı görülmektedir. Balıkesir-Edremit, Çanakkale-Ezine'de Landsat ve Sentinel uyduları arasındaki tarih farkının nedeni, bulutlanma oranının yüksek olmasıdır. Bu nedenle Mart ayında Landsat 9 uydusundan görüntü elde edilememiştir.

Tablo 7 ve Tablo 8'de Landsat ve Sentinel uydularından elde edilen buğday tarlalarına ait bitki indekslerinin en yüksek olduğu tarihler verilmiştir.

Tablo 7. Buğday tarlalarının bitki örtüsü indekslerinin en yüksek olduğu tarihler (Landsat uydusu)

	Edremit	Gelibolu	Ezine	Yakakent	İncesu	Sivrihisar	Sorgun	İvrindi	Gökçeada	Turgutlu
NDVI	20 Nis	20Nis	20 Nis	03 May	19 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
EVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	19 May	19 May	17 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
VARI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	24 Nis	13 Nis
CI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
NDRE	20 Nis	20 Nis	13 May	03 May	12 May	02 haz	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
LAI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	19 May	19 May	17 may	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
GNDVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
TGI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
RECI	20 Nis	20 Nis	13 May	03 May	12 May	02 haz	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
GCI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
SAVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
CVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	06 Tem	20 Nis	10 May	13 Nis
GLI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	13 Nis	24 Nis	13 Nis
MCARI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	19 May	19 May	17 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
TVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	19 May	17 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
DVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	19 May	17 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
GARI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	12 May	17 May	10 Nis	20 Nis	10 May	13 Nis
RDVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis

Tablo 7'de Landsat 9 uydusu ile elde edilen buğday tarlalarına ait bitki indislerinin en yüksek değerlerinin tarihleri listelenmektedir. Landsat 9 uydusundan buğday ekili tarlalarda elde edilen en yüksek değerler Çanakkale-Gelibolu ve Ezine ile Balıkesir-Edremit ve İvrindi 20 Nisan, Manisa-Turgutlu 13 Nisan tarihinde elde edilmiştir. Samsun-Yakakent şehrinde ise LAI, EVI ve MCARI indeksleri dışındaki tüm indekslerden 03 Mayıs tarihi elde edilmiştir. Kayseri-İncesu şehrindeki bitki örtüsü indeks değerleri 03-19 Mayıs tarihleri arasında değişmektedir. Yozgat-Sorgun ilçesi buğdayın en geç olduğu yer olarak belirlenmiştir.

Çanakkale, Balıkesir, Manisa illerinin bulunduğu batı bölgelerde bitki indisleri 13-20 Nisan tarihlerinde en yüksek değerlere ulaşırken, doğu bölgelere gidildikçe en yüksek değerlerin Mayıs ve Haziran aylarında elde edildiği görülmektedir. GARI ve NDRE indekslerinin, diğer bitki indekslerinden daha farklı tarihlerde yüksek değere ulaştığı görülmektedir.

Tablo 8. Buğday tarlalarına ait bitki örtüsü indekslerinin en yüksek olduğu tarihler (Sentinel uydusu)

	Edremit	Gelibolu	Ezine	Yakakent	İncesu	Sivrihisar	Sorgun	İvrindi	Gökçeada	Turgutlu
NDVI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
EVI	22 Nis	07 Nis	25 Nis	07 Haz	03 May	26 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
VARI	23 Mart	07 Nis	07 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	07 Nis	22 Nis
CI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
NDRE	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
LAI	22 Nis	07 Nis	25 Nis	07 Haz	03 May	26 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
GNDVI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
TGI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
RECI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	26 Mart	22 Nis
GCI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
SAVI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
CVI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
GLI	07 Nis	07 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	07 Haz	22 Nis	07 May	07 May
MCARI	22 Nis	20 Nis	07 May	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
TVI	22 Nis	07 Nis	07 May	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
DVI	22 Nis	20 Nis	07 May	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
GARI	22 Nis	25 Nis	25 Nis	17 Haz	23 Nis	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
RDVI	22 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May

Tablo 8’de buğday tarlalarına ait bitki indekslerinin en yüksek değere ulaştığı tarihler Sentinel 2 uydusundan elde edilmiştir. Landsat 9 ve Sentinel 2 uydularının bölgeler üzerinden geçme tarihleri aynı zamana denk gelmediği için tarih farklılıkları oluşabilmektedir. Uydulardan görüntüleri elde ederken bulutluluk oranı %20’den az olan günlerin görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel 2 uydusunda bitki indekslerinin en yüksek değerli tarihleri Landsat uydusuna göre daha değişkendir. Bunun nedeni Sentinel uydusundan daha yakın tarihli ve daha fazla görüntü elde edilmesidir.

Buğdaya ait Sentinel 2 uydusundan elde edilen verilere göre Balıkesir-Edremit 7 Nisan, Çanakkale-Ezine ve Gelibolu 20 Nisan, Manisa-Turgutlu 22 Nisan-7 Mayıs, Eskişehir-Sivrihisar 1 Mayıs-16 Mayıs, Kayseri-İncesu 03 Mayıs, Yozgat-Sorgun 2 Haziran, Samsun-Yakakent 7 Haziran tarihlerinde bitki indisleri en yüksek değerlere ulaşmıştır.

Balıkesir-Edremit, Çanakkale-Ezine, Çanakkale-Gelibolu şehirleri birbirlerine yakın konumlarda olduğundan, en yüksek bitki indisleri değerleri yakın tarihlerde elde edilmiştir. Tablo 8 ve Tablo 9’da görüldüğü gibi buğday ve arpa için en geç tarih Yozgat-Sorgun şehrinde elde edilmiştir.

Bitkilerin farklı tarihlerde en yüksek değere ulaşmasında sulama, gübreleme, iklim koşulları gibi etmenlerin etkisi de bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan tarlaların Ekim 2022 ile Temmuz 2023 ayları arasındaki tüm ayların NDVI, EVI, VARI, CI, NDRE, LAI, GNDVI, TGI, RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, GARI, RDVI indekslerinin değerleri alınarak buğday ve arpa tarlalarını ayırt etme performansları değerlendirilmiştir. Bitki indekslerinin performanslarını değerlendirmek için t-testi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Lojistik regresyon uygulanmıştır. Tablo 9’da buğday ve arpa tarlalarının aylık bitki indeks değerlerinin buğday ve arpa ayırımındaki performansı gösterilmektedir.

Tablo 9. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı ANOVA sonuçları (Landsat uydusu)

İndeks	Kasım		Aralık		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz	
	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p
NDVI	4.09	0.06	1.93	0.18	0.00	1.00	0.72	0.40	0.01	0.94	3.48	0.07	0.07	0.80	0.26	0.61	1.02	0.32
EVI	2.18	0.16	0.32	0.58	0.21	0.65	0.00	0.96	0.04	0.84	3.80	0.06	0.84	0.37	0.34	0.56	0.56	0.46
VARI	6.46	0.02	0.51	0.48	1.49	0.23	2.28	0.14	1.39	0.25	3.86	0.06	0.01	0.93	0.61	0.44	1.56	0.22
CI	3.45	0.08	1.75	0.20	0.47	0.50	0.56	0.46	0.38	0.55	3.58	0.07	0.15	0.70	0.23	0.63	1.10	0.30
NDRE	0.07	0.80	4.73	0.04	4.67	0.04	0.03	0.85	1.68	0.21	0.31	0.58	1.12	0.30	3.20	0.08	0.27	0.61
LAI	2.19	0.15	0.32	0.58	0.20	0.66	0.00	0.96	0.04	0.84	3.80	0.06	0.84	0.37	0.34	0.56	0.56	0.46
GNDVI	1.76	0.20	1.16	0.29	0.20	0.66	0.29	0.60	0.12	0.73	3.34	0.08	0.06	0.81	0.39	0.54	0.56	0.46
TGI	1.37	0.26	0.67	0.42	0.16	0.69	0.11	0.74	0.12	0.73	3.44	0.07	0.15	0.70	0.49	0.49	0.46	0.50
RECI	0.01	0.93	3.72	0.06	4.14	0.05	0.02	0.88	1.55	0.22	0.06	0.80	0.62	0.44	2.95	0.10	0.17	0.69
GCI	1.72	0.20	1.47	0.24	0.04	0.84	0.46	0.51	0.08	0.78	3.51	0.07	0.15	0.70	0.28	0.60	0.75	0.39
SAVI	1.85	0.19	1.06	0.31	0.08	0.78	0.16	0.69	0.05	0.83	3.86	0.06	0.40	0.53	0.10	0.75	0.46	0.51
CVI	0.16	0.69	1.10	0.30	0.44	0.52	0.20	0.66	0.08	0.78	3.06	0.09	0.07	0.79	0.07	0.79	0.02	0.89
GLI	0.00	0.98	0.95	0.34	1.01	0.33	0.18	0.67	0.21	0.65	3.58	0.07	1.02	0.32	0.23	0.63	0.29	0.59
MCARI	1.45	0.24	3.35	0.08	0.67	0.42	0.72	0.40	1.41	0.25	4.49	0.04	0.47	0.50	0.19	0.66	0.31	0.58
TVI	1.50	0.24	0.40	0.53	0.21	0.65	0.03	0.86	0.21	0.65	4.16	0.05	0.80	0.38	0.02	0.88	0.27	0.61
DVI	0.69	0.42	0.04	0.84	0.16	0.70	0.00	0.98	0.12	0.73	4.06	0.05	0.98	0.33	0.09	0.76	0.06	0.80
GARI	0.00	0.98	1.29	0.27	2.08	0.16	0.65	0.43	0.02	0.90	0.07	0.79	2.62	0.12	4.98	0.03	0.35	0.56
RDVI	2.06	0.17	0.97	0.33	0.06	0.81	0.18	0.67	0.05	0.83	3.86	0.06	0.40	0.53	0.05	0.82	0.45	0.51

ANOVA analizinde p-değeri 0.05 değerinden küçükse anlamlı bir fark olduğu, buğday ve arpa tarlalarının ayırımının yapılabildiği anlamına gelir. P değeri 0.05 değerine eşit ya da büyükse, indeksin buğday ve arpa ayırımı yapamadığı anlamına gelmektedir. F istatistik değeri daha yüksek olanlar grupların arasında daha büyük bir fark olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle F değerinin yüksek olması, buğday ve arpa arasında önemli bir fark olduğunu gösterir. Buna göre Tablo 9'daki Landsat uydusuna ait ANOVA sonuçlarından Kasım ayında VARI, Aralık ve Ocak aylarında NDRE, Nisan ayında MCARI, Haziran ayında ise GARI indeksinin anlamlı olduğu, buğday ve arpa tarlalarının ayırımında etkili olduğu belirlenmiştir. Tablo 10'da ise Sentinel uydusuna ait aylık bitki indekslerinin buğday ve arpa ayırma doğrulukları gösterilmektedir.

Tablo 10. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı ANOVA sonuçları (Sentinel uydusu)

İndeks	Kasım		Aralık		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz	
	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p
NDVI	1.24	0.27	0.03	0.87	1.34	0.26	0.55	0.46	0.88	0.36	0.06	0.81	0.22	0.64	0.04	0.85	0.13	0.72
EVI	0.31	0.58	0.03	0.86	0.03	0.87	0.40	0.53	0.26	0.61	0.26	0.61	0.50	0.48	0.31	0.58	0.20	0.65
VARI	0.00	0.98	3.18	0.08	6.16	0.02	1.44	0.24	1.03	0.32	0.19	0.67	0.11	0.74	0.03	0.86	0.05	0.82
CI	1.73	0.20	0.84	0.37	1.64	0.21	0.84	0.37	0.71	0.41	0.10	0.75	0.73	0.40	0.00	0.95	0.08	0.78
NDRE	1.12	0.30	0.01	0.93	1.19	0.28	0.59	0.45	0.98	0.33	0.02	0.89	0.24	0.63	0.03	0.86	0.12	0.73
LAI	0.32	0.58	0.03	0.86	0.03	0.87	0.40	0.53	0.26	0.61	0.26	0.61	0.50	0.48	0.31	0.58	0.21	0.65
GNDVI	2.16	0.15	0.12	0.73	0.37	0.55	0.27	0.60	0.57	0.46	0.03	0.87	0.33	0.57	0.14	0.71	0.58	0.45
TGI	1.22	0.28	0.30	0.58	0.11	0.74	0.29	0.59	0.52	0.48	0.05	0.82	0.36	0.55	0.05	0.82	0.62	0.44
RECI	0.27	0.61	0.01	0.94	0.64	0.43	0.03	0.87	0.00	0.97	4.54	0.04	4.97	0.03	1.10	0.30	1.90	0.18
GCI	3.93	0.06	1.62	0.21	0.01	0.92	3.02	0.09	12.55	0.00	35.10	0.00	52.72	0.00	10.40	0.00	7.67	0.01
SAVI	15.00	0.00	10.04	0.00	10.93	0.00	27.63	0.00	25.62	0.00	59.13	0.00	141.6	0.00	59.26	0.00	21.48	0.00
CVI	24.24	0.00	11.57	0.00	18.63	0.00	38.20	0.00	27.77	0.00	70.54	0.00	196.0	0.00	136.7	0.00	45.71	0.00
GLI	47.79	0.00	48.55	0.00	23.19	0.00	51.35	0.00	622.7	0.00	624.2	0.00	564.8	0.00	307.5	0.00	178.2	0.00
MCARI	2.24	0.14	0.18	0.67	0.04	0.85	4.34	0.05	2.58	0.12	26.00	0.00	22.64	0.00	0.47	0.50	10.63	0.00
TVI	12.67	0.00	8.07	0.01	0.00	0.97	0.36	0.55	0.02	0.90	19.53	0.00	5.08	0.03	1.75	0.19	0.14	0.71
DVI	12.50	0.00	9.12	0.00	0.09	0.77	0.22	0.64	0.00	0.98	22.74	0.00	6.51	0.02	3.21	0.08	0.98	0.33
GARI	7.47	0.01	6.98	0.01	0.01	0.91	0.35	0.56	0.00	1.00	1.94	0.17	7.16	0.01	0.01	0.94	4.41	0.04
RDVI	10.15	0.00	7.29	0.01	0.01	0.94	0.28	0.60	0.08	0.78	18.86	0.00	5.37	0.03	1.69	0.20	0.77	0.39

Tablo 10'daki Sentinel uydusundan elde edilen ANOVA sonuçlarına göre Kasım ve Aralık aylarında SAVI, CVI, GLI, TVI, DVI, GARI, RDVI, Ocak ayında SAVI, CVI, GLI, VARI, Şubat ayında SAVI, CVI, GLI, MCARI, Mart ve Haziran aylarında GCI, SAVI, CVI, GLI, Nisan ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, RDVI, Mayıs ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, GARI, RDVI indekslerinin anlamlı olduğu, buğday ve arpayı ayırabildiği görülmüştür.

Elde edilen indeks değerlerinin buğday ve arpa tarlalarının ayırımının performans değerlendirmesi Lojistik Regresyon koordinat inişi algoritması ile de yapılmış ve Tablo 11 ile Tablo 12'de gösterilmektedir. Lojistik regresyon sonucunda elde edilen her indekse ait faktör (koefisyan), o indeksin buğday ve arpa arasındaki ayırımında ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Pozitif koefisyan, buğday ve arpa ayırımını daha yüksek olasılıkla yapılabildiğini, negatif koefisyan ise iki bitki arasındaki ayırımın olmadığını göstermektedir. Lojistik regresyonda 0.5 karar sınırı olarak alınabilir, 0.5 üzerindeki değerler buğday ve arpa ayırımını daha iyi yapabilmektedir.

Tablo 11. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı Lojistik Regresyon sonuçları (Landsat uydusu)

İndeks	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
CI	0.39672	0.16504	-0.20784	0.25914	0.52761	-0.19274	0.47915	-0.17446	1.00220
CVI	-0.50946	-0.13714	0.01020	0.26325	0.03318	0.28321	0.13510	-0.58068	-0.05126
DVI	-0.02887	-0.00380	0.00436	-0.01901	-0.01101	-0.0031	-0.02759	0.01682	-0.04356
EVI	-0.04964	0.06418	-0.03818	-0.05620	-0.02651	0.03927	0.02056	0.06402	0.03274
GARI	-0.26453	0.18772	0.01833	-0.19476	-0.30639	0.02153	-0.37547	0.74329	-0.47367
GCI	0.07935	0.01326	-0.17145	0.35722	0.52941	0.12042	0.11046	-0.33775	0.54452
GLI	-0.00135	0.02525	-0.01160	-0.01512	-0.00905	-0.00486	-0.01298	-0.00618	-0.00054
GNDVI	0.03649	0.02328	-0.05885	0.11152	0.15384	0.04595	0.12445	-0.13066	0.09898
LAI	-0.14808	0.22659	-0.15528	-0.19231	-0.02829	0.13320	0.03938	0.27053	0.13218
MCARI	0.05925	-0.06126	0.00040	0.01922	0.02794	-0.01583	0.01374	0.00307	0.01961
NDRE	-0.22566	0.15439	0.01987	-0.10306	-0.12649	0.16122	-0.16904	0.17244	-0.08066
NDVI	0.14364	0.04589	-0.06433	0.14026	0.11613	0.05747	0.20319	-0.07377	0.16905
RDVI	0.02357	0.00589	-0.02177	0.03615	0.03504	0.01635	0.05010	-0.02974	0.03209
RECI	-0.5537	0.59064	0.24612	-0.12487	-0.01658	0.74506	-0.41260	0.40044	-0.29078
SAVI	0.01822	-0.00099	-0.02556	0.03564	0.04164	0.01840	0.04944	-0.04664	0.03594
TGI	0.01498	0.04467	-0.07257	0.09299	0.15668	0.03263	0.09604	-0.14424	0.08461
TVI	0.00101	-0.16374	-0.25846	-0.20557	-0.09719	-0.13476	-0.14991	0.25285	-0.25730
VARI	0.26002	-0.38549	-0.06270	0.31465	-0.11596	-0.06159	0.28032	0.34670	0.16414

Tablo 11'deki Lojistik Regresyon sonuçlarına göre, Aralık ayında RECI, Mart ayında CHI, Haziran ayında GARI, Temmuz ayında GCI, CHI indekslerinin buğday ve arpa ayırımını daha iyi yapabileceği belirlenmiştir.

Tablo 12. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı Lojistik Regresyon sonuçları (Sentinel uydusu)

İndeks	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
CI	-2.6E-07	-2E-05	-3.3E-07	-6.3E-08	-1.7E-07	-3.1E-09	-2.4E-08	-3.7E-08	-1.9E-07
CVI	9.2E-05	-0.00134	3.6E-05	2.69E-05	-8E-06	1.15E-05	1.15E-05	5.06E-05	0.000105
DVI	-4.1E-05	0.00085	2.33E-05	-2.9E-05	-0.0003	-3.8E-05	-4.2E-05	-4.5E-05	-0.00012
EVI	-9.5E-08	-5.7E-06	-2.2E-07	-3.8E-08	-1.2E-07	-4.9E-09	-1.1E-08	-2.6E-08	-9.8E-08
GARI	-0.00155	-0.0079	-0.0017	-0.00127	-0.00088	-0.00038	-0.00057	-0.00112	-0.00166
GCI	-5.4E-05	-0.0027	-0.00028	-0.00011	-0.00027	4.56E-07	-8.2E-06	6.21E-07	-8.8E-05
GLI	0.001447	0.003807	0.002885	0.001393	0.00223	0.000116	0.00019	0.000602	0.002175
GNDVI	-1E-07	-8.1E-06	-1.4E-07	-3E-08	-1.1E-07	-1.3E-09	-1.4E-08	-1.1E-08	-7.5E-08
LAI	-2.7E-07	-1.9E-05	-7.5E-07	-1.2E-07	-4.3E-07	-1.6E-08	-3.2E-08	-8.2E-08	-3.3E-07
MCARI	-4E-05	-0.00789	-0.00028	7.28E-07	-1.9E-06	2.06E-05	-8.7E-06	-1.3E-05	-0.0002
NDRE	-7.3E-08	-5.5E-06	-7.4E-08	-1.7E-08	-5.2E-08	-7E-10	-7.7E-09	-1.2E-08	-5.4E-08
NDVI	-1E-07	-8E-06	-1.1E-07	-2.6E-08	-7.1E-08	-1.1E-09	-1E-08	-1.5E-08	-6.9E-08
RDVI	-2E-06	-6.5E-05	-8.1E-07	-5.2E-07	9.26E-08	-8.6E-08	-2.4E-07	-3E-07	-1.5E-06
RECI	-1.8E-07	-1.3E-05	-1.9E-07	-3.8E-08	-1.1E-07	-2.2E-09	-1.8E-08	-2.8E-08	-1.4E-07
SAVI	0.003143	0.011462	0.000872	0.000211	0.001921	0.000572	0.000644	0.00071	0.00045
TGI	-7.9E-08	-7.7E-06	-1.6E-07	-2.6E-08	-1.2E-07	-9.2E-10	-1.3E-08	-9.8E-09	-7.3E-08
TVI	-0.00019	0.000309	7.81E-06	-4.5E-05	-4.7E-05	-0.00011	-0.00011	-7.6E-05	5.64E-06
VARI	-8.1E-09	4.49E-05	1.41E-07	7.77E-09	8.98E-08	4.39E-10	8.15E-09	-6.5E-09	1.12E-08

Tablo 12'deki Lojistik regresyon sonuçlarına göre eşik değeri olarak alınan 0.5 değerini hiçbir indeks geçmemektedir. Pozitif olan değerlerin ayırım yaptığı göz önüne alınırsa Kasım ayında CVI ve GLI, Aralık, Ocak, Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında GLI, Şubat ve Mart aylarında GLI ve GNDVI indeksleri iki bitki arasında ayırımı yapabilmektedir. Ancak lojistik regresyon sonucuna göre buğday ve arpayı çok iyi ayırt edemedikleri görülmektedir.

Çalışmada indeks performansları t-testi ile de değerlendirilmiştir. T-testinde p değeri, 0.05'ten küçükse istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. Bu değer 0.05'ten büyükse istatistiksel olarak anlamlı değildir. Tablo 13 ve Tablo 14'te görülen p değerleri 0.05 değerinden küçükse bu değere sahip olan indeks değerinin bulunduğu ayda buğday ve arpa ayırımını yapabildiği anlamına gelmektedir.

Tablo 13. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı t-testi sonuçları (Landsat uydusu)

İndeks	Kasım		Aralık		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz	
	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	P
NDVI	2.023	0.057	-1.388	0.176	0.000	1.000	0.851	0.403	-0.075	0.941	-1.865	0.073	-0.255	0.800	-0.510	0.614	1.012	0.320
EVI	1.477	0.155	0.566	0.576	-0.453	0.655	-0.051	0.960	-0.200	0.843	-1.949	0.061	-0.918	0.367	0.585	0.563	0.747	0.461
VARI	2.541	0.019	-0.717	0.479	1.220	0.234	1.508	0.144	-1.180	0.249	-1.966	0.059	-0.095	0.925	0.781	0.442	1.251	0.221
CI	1.857	0.078	-1.323	0.196	0.684	0.501	0.745	0.463	-0.613	0.546	-1.892	0.069	-0.385	0.703	-0.485	0.632	1.050	0.302
NDRE	-0.257	0.800	2.175	0.038	2.160	0.041	0.185	0.854	-1.296	0.206	-0.555	0.583	-1.057	0.300	1.790	0.084	0.522	0.606
LAI	1.481	0.154	0.566	0.576	-0.452	0.655	-0.052	0.959	-0.198	0.845	-1.948	0.061	-0.919	0.366	0.586	0.562	0.746	0.462
GNDVI	1.328	0.199	-1.079	0.290	-0.443	0.662	0.536	0.596	0.353	0.727	-1.828	0.078	-0.246	0.807	-0.622	0.539	0.750	0.459
TGI	1.170	0.256	-0.819	0.419	-0.402	0.691	0.336	0.739	0.354	0.727	-1.854	0.074	-0.390	0.700	-0.702	0.488	0.678	0.503
RECI	-0.087	0.932	1.930	0.063	2.034	0.053	0.152	0.880	-1.244	0.225	-0.252	0.803	-0.789	0.437	1.719	0.097	0.407	0.687

İndeks	Kasım		Aralık		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz	
	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	P
GCI	1.311	0.205	-1.210	0.236	0.199	0.844	0.676	0.505	-0.279	0.783	-1.872	0.072	-0.393	0.697	-0.529	0.601	0.863	0.395
SAVI	1.362	0.188	-1.031	0.311	-0.279	0.782	0.405	0.689	-0.215	0.831	-1.964	0.060	-0.629	0.534	-0.324	0.749	0.675	0.505
CVI	0.406	0.689	-1.050	0.302	-0.661	0.515	0.446	0.659	0.277	0.784	-1.748	0.091	-0.269	0.790	-0.270	0.789	0.142	0.888
GLI	-0.031	0.976	0.975	0.338	1.004	0.326	-0.425	0.674	-0.463	0.647	-1.892	0.069	-1.008	0.322	-0.482	0.633	0.541	0.592
MCARI	1.205	0.242	-1.832	0.077	-0.815	0.423	0.849	0.404	-1.186	0.247	-2.119	0.043	-0.689	0.496	-0.438	0.665	0.555	0.583
TVI	1.224	0.235	-0.635	0.531	-0.453	0.654	0.177	0.861	-0.460	0.649	-2.039	0.051	-0.896	0.378	0.148	0.883	0.516	0.609
DVI	0.832	0.415	-0.199	0.844	-0.394	0.697	-0.026	0.979	-0.352	0.728	-2.014	0.054	-0.990	0.330	0.305	0.763	0.252	0.803
GARI	-0.022	0.983	1.136	0.265	1.443	0.162	-0.807	0.427	-0.123	0.903	-0.267	0.791	-1.618	0.117	2.231	0.034	-0.591	0.559
RDVI	1.436	0.166	-0.984	0.333	-0.238	0.814	0.428	0.673	-0.217	0.830	-1.964	0.059	-0.629	0.535	-0.226	0.823	0.671	0.507

Tablo 13'te Kasım ayında VARI, Aralık ve Ocak aylarında NDRE, Nisan ayında MCARI, Haziran ayında GARI indeksinin Landsat uyusunda buğday ve arpa ayırımı yapabildiği görülmektedir.

Tablo 14. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı t-testi sonuçları(Sentinel uyduyu)

İndeks	Kasım		Aralık		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz	
	t	p	t	p	t	p	t	p	T	p	t	p	t	p	t	P	t	P
NDVI	1.11	0.27	0.16	0.86	1.15	0.25	0.74	0.46	0.93	0.35	-0.24	0.81	-0.46	0.64	0.19	0.84	-0.35	0.72
EVI	0.56	0.58	0.17	0.86	0.16	0.86	0.630	0.53	0.51	0.61	-0.51	0.61	-0.70	0.48	0.55	0.58	-0.45	0.65
VARI	0.02	0.98	1.783	0.08	2.48	0.01	1.201	0.23	1.01	0.32	-0.43	0.66	-0.33	0.73	-0.18	0.85	0.23	0.81
CI	1.31	0.19	0.915	0.36	1.28	0.20	0.917	0.36	0.84	0.40	-0.32	0.74	-0.85	0.39	-0.06	0.95	-0.28	0.78
NDRE	1.05	0.29	0.08	0.93	1.09	0.28	0.77	0.44	0.99	0.33	-0.14	0.88	-0.48	0.62	0.17	0.86	-0.35	0.72
LAI	0.56	0.57	0.17	0.86	0.16	0.86	0.62	0.53	0.51	0.61	-0.51	0.61	-0.70	0.48	0.56	0.57	-0.45	0.65
GNDVI	1.46	0.15	-0.34	0.73	0.60	0.54	0.52	0.60	0.75	0.45	-0.15	0.87	-0.57	0.56	0.37	0.71	-0.75	0.45
TGI	1.10	0.27	-0.55	0.58	0.33	0.74	0.54	0.59	0.72	0.47	-0.22	0.82	-0.60	0.55	0.23	0.81	-0.78	0.43
RECI	0.52	0.60	-0.07	0.93	0.80	0.42	-0.16	0.87	-0.03	0.97	-2.13	0.04	-2.22	0.03	-1.05	0.30	-1.37	0.17
GCI	1.98	0.05	1.27	0.21	0.10	0.91	1.73	0.09	3.54	0.00	5.92	0.00	7.26	0.00	3.22	0.00	2.76	0.00
SAVI	3.87	0.00	3.16	0.00	3.30	0.00	5.25	0.00	5.06	0.00	7.69	0.00	11.90	0.00	7.69	0.00	4.63	0.00
CVI	4.92	0.00	3.40	0.00	4.31	0.00	6.18	0.00	5.27	0.00	8.39	0.00	14.00	0.00	11.69	0.00	6.76	0.00
GLI	6.91	0.00	6.96	0.00	4.81	0.00	7.16	0.00	24.95	0.00	40.30	0.00	23.76	0.00	17.53	0.00	34.32	0.00
MCARI	-1.4	0.14	-0.42	0.67	0.18	0.85	-2.08	0.04	-1.60	0.12	-5.09	0.00	-4.75	0.00	-0.68	0.49	-3.26	0.00
TVI	3.55	0.00	2.84	0.00	-0.3	0.97	-0.60	0.55	0.13	0.89	-4.41	0.00	-2.25	0.03	-1.32	0.19	-0.38	0.70
DVI	3.53	0.00	3.02	0.00	0.30	0.76	-0.47	0.64	-0.02	0.97	-4.76	0.00	-2.55	0.01	-1.79	0.08	-0.99	0.32
GARI	2.73	0.01	2.64	0.01	-0.1	0.91	0.59	0.55	0.00	0.99	-1.39	0.17	-2.67	0.01	0.07	0.94	-2.10	0.04
RDVI	3.18	0.00	2.70	0.01	0.07	0.94	-0.52	0.60	0.28	0.77	-4.34	0.00	-2.31	0.02	-1.29	0.20	-0.87	0.38

Tablo 14'de Kasım ve Aralık aylarında SAVI, CVI, GLI, TVI, DVI, GARI, RDVI, Ocak ayında VARI, SAVI, CVI, GLI, Şubat ayında SAVI, CVI, GLI, MCARI, Nisan ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, TVI, DVI, RDVI, Mayıs ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, GARI, RDVI, Haziran ve Mart aylarında GCI, SAVI, CVI, GLI indekslerinin buğday ve arpa ayırımı yapabildiği görülmüştür.

Bazı araştırmacıların buğday ve arpa tarlalarını beraber değerlendirdikleri çalışmalarda karşılaştırılan indeks sayısı az olmasına rağmen NDVI indeksinden en doğru sonucu elde etmişlerdir (Peştemalci vd., 1995; Huete vd., 1997; Payero vd., 2004; Qader vd., 2018; Morlin Carneiro vd., 2020). Na vd. çalışmalarında arpa ve buğday büyüme tahmini gerçekleştirebilmek için farklı bitki indeksleri ile çalışmışlar ve RVI, NDVI, NGRDI ve GLI indekslerinin daha başarılı olduğunu belirlemişlerdir (Na vd., 2016). RGB görüntüler ile çalışmada GLI, VARI, TGI indeksleri kullanılmıştır. Fuentes-Peailillo vd., 2018 yılındaki çalışmalarına benzer olarak TGI indeksi RGB görüntüleri için en uygun indeks olduğu görülmüştür (Fuentes-Peailillo vd., 2018). Buğday ve arpa tarlalarını indeksler ile ayırt edebilmek için araştırmacılar buğday ve arpa tarlalarını makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırmışlardır ve

çalışmalarında çeşitli indeksler ile zaman serileri kullanmışlardır (Faqe Ibrahim vd., 2023; Ibrahim vd., 2022; Nitze vd., 2012; Sun vd., 2020; Zheng vd., 2015; Ashourloo vd., 2022; Viña vd., 2011).

Sağlıklı bitkilerde klorofil düzeyi yüksek olduğundan yakın kızılötesi bandı ve görünür spektrumda yeşil band yansıtılmaktadır. Bu nedenle bu bandları kullanan indislerin daha iyi sonuç verdiği düşünülmektedir.

Çalışmada Landsat uydusunda, Anova ve t-testi sonuçlarına göre Kasım ayında VARI, Aralık ve Ocak aylarında NDRE, Nisan ayında MCARI, Haziran ayında ise GARI indeksinin anlamlı olduğu, Lojistik Regresyon sonuçlarına göre Aralık ayında RECI, Mart ayında CHI, Haziran ayında GARI, Temmuz ayında GCI, CHI indekslerinin buğday ve arpa ayırımını daha iyi yapabileceği belirlenmiştir. Sentinel uydusunda ise Anova ve t-testi sonuçlarına göre Kasım ve Aralık aylarında SAVI, CVI, GLI, TVI, DVI, GARI, RDVI, Ocak ayında SAVI, CVI, GLI, VARI, Şubat ayında SAVI, CVI, GLI, MCARI, Mart ve Haziran aylarında GCI, SAVI, CVI, GLI, Nisan ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, RDVI, Mayıs ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, GARI, RDVI indeksleri, Lojistik regresyon sonuçlarına göre eşik değerini geçen bir indeks olmadığı fakat Kasım ayında CVI ve GLI, Aralık, Ocak, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz aylarında GLI, Şubat ve Mart aylarında GLI ve GNDVI indeksleri pozitif değer aldığı ve çok iyi olmasa da iki bitki arasında ayırımı yapabilecekleri belirlenmiştir.

Anova, t-testi ve lojistik regresyon sonuçları beraber değerlendirildiğinde, Landsat uydusunda GARI indeksi Haziran ayında buğday ve arpa ayırımını en yüksek koefisyan (0.74) ve en düşük p değeri ($p=0.03$) ile gerçekleştirebileceği görülmüştür ($t=2.231$, $f=4.98$).

Sentinel uydusunda ise Anova ve t-testi sonuçlarına göre buğday ve arpa farkını GLI indeksi Mayıs ayında daha iyi ayırabilmektedir ($p=0.00$, $f=624.2$, $t=40.3$). Lojistik regresyon sonuçlarına göre SAVI ve GLI indeksleri ayırım yapabilmesine rağmen çok başarılı olmadıkları belirlenmiştir.

GARI indeksinin yeşil alan ve su içeriği gibi özellikleri belirleyebildikleri için Landsat uydusunda daha iyi sonuç verdiği, Sentinel uydusunda ise GLI indeksi yeşil yaprak alanına odaklandığından arpa ve buğdayı ayırabildiği görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kritik bir ürün olan buğday ve arpanın ürün sınıflandırması ile ekim alanlarının belirlenmesi, iki ürünün yetiştirme zamanları yakın olduğundan güç olabilmektedir. Uydu görüntülerini elde ederken bulut etkisi olduğundan ve uyduların görüntü elde etme aralığı uzun olduğundan klorofil seviyeleri tespitinde farklılıklar oluşmuştur. Bu nedenle hangi uydunun en yüksek klorofil miktarını tespit ettiği belirlenmemiştir. Her indeksin bir bitkiye ya da bitkinin bir özelliğine odaklanması, indekslerin doğru amaçla kullanılması için gereklidir.

Bölgesel olarak arpa ve buğdayın ekim ve yetiştirme zamanları farklılık gösterdiği indekslerin zaman serilerinden anlaşılabilir. Batı bölgelerinde (Balıkesir, Çanakkale) iki bitki de Mart-Nisan aylarında en yüksek klorofil seviyesine ulaşırken, İç Anadolunun batısında (Yozgat, Kayseri) batı bölgelerine göre 10-15 gün fark ile Mayıs ayında klorofil seviyesi en yüksek değerine ulaşmıştır. Bu nedenle indeksleri kullanırken bölgesel olarak değerlendirmek önemlidir.

Aynı bölgede yetişen arpanın buğdaydan 10-15 gün önce en yüksek klorofil düzeyine ulaştığı belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar:

- Arpanın en yüksek klorofil miktarının olduğu dönemin belirlenmesi için Landsat 9 uydusunda GCI, NDVI, TGI indeksleri, Sentinel 2 uydusunda NDVI, TGI, SAVI indeksleri,
 - Buğdayın en yüksek klorofil miktarının olduğu dönemin belirlenmesi için Landsat 9 uydusunda NDVI, CI, TGI indeksleri, Sentinel 2 uydusunda NDVI, GCI, SAVI indeksleri,
 - Her iki uydu için buğday tarlaları için NDVI, SAVI, GCI, arpa tarlaları için TGI, NDVI, GNDVI indeksleri,
 - Buğday ve arpa tarlalarının ayırt edilmesinde Landsat uydusunda Haziran ayında GARI indeksi, Sentinel uydusunda Mayıs ayında GLI indeksleri,
- en iyi sonuçları verdiği için ilgili çalışmalarda kullanılmak için uygun olduğu düşünülmektedir.

- Uydu görüntülerinden arpa ve buğdayı ayırt edebilecek en uygun indeksler: Landsat 9 uydusunda GARI, Sentinel 2 uydusu için CLI indeksleri olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilerden Landsat 9 uydusunda tarlaların daha iyi ayırt edilebildiği saptanmıştır.

Çalışmanın devamında, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri ile buğday ve arpa tarlalarının belirlenmesi ve ayırt edilmesinde kullanılarak doğruluk oranı arttırılabilir. Aynı zamanda indeks değerleri ile rekolte arasında ilişki olabileceği varsayılarak rekolte tahmini gerçekleştirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu makale, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü'nde, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı doktora programında yürütülmekte olan "Uzaktan Algılama ve Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Ürün Rekolte Tahmini" başlıklı Doktora Tezi kapsamında hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abad M.S.J., Abkar A.A. ve Mojaradi B. (2018). Effect of the Temporal Gradient of Vegetation Indices on Early-Season Wheat Classification Using the Random Forest Classifier. *Applied Sciences*. 8(8):1216. <https://doi.org/10.3390/app8081216>
- Ahamed, T., Tian, L., Zhang, Y., ve Ting, K. C. (2011). A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. *Biomass and bioenergy*, 35(7), 2455-2469. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.028>
- Amani M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Brisco, B. (2020). Google earth engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326-5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Ashourloo D., Nematollahi, H., Huete, A., Aghighi, H., Azadbakht, M., Shahrabi, H. S., ve Goodarzashti, S. (2022). A new phenology-based method for mapping wheat and barley using time-series of Sentinel-2 images *Remote Sensing of Environment*, 280, 113206. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113206>

- Atar B. Gıdamız buğdayın, geçmişten geleceğe yolculuğu. Yalvaç Akademi Dergisi, 2017. - Cilt 2(1), 1-12.
- Barnes, E. M., Clarke, T. R., Richards, S. E., Colaizzi, P. D., Haberland, J., Kostrzewski, M., ve Moran, M. S. (2000, July). Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. In *Proceedings of the fifth international conference on precision agriculture, Bloomington, MN, USA* (Vol. 1619, No. 6).
- BM Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS> . 2022.
- Boegh, E., Soegaard, H., Broge, N., Hasager, C. B., Jensen, N. O., Schelde, K., ve Thomsen, A. (2002). Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture. *Remote sensing of Environment*, 81(2-3), 179-193. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00342-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00342-X)
- Broge, N. H., ve Leblanc, E. (2001). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote sensing of environment*, 76(2), 156-172. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00197-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00197-8)
- Daughtry, C. S., Walthall, C. L., Kim, M. S., De Colstoun, E. B., ve McMurtrey Iii, J. E. (2000). Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote sensing of Environment*, 74(2), 229-239. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00113-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00113-9)
- Erenstein, O., Jaleta, M., Mottaleb, K. A., Sonder, K., Donovan, J., ve Braun, H. J. (2022). Global trends in wheat production, consumption and trade. In *Wheat improvement: food security in a changing climate* (pp. 47-66). Cham: Springer International Publishing.
- Faqe Ibrahim, G. R., Rasul, A., ve Abdullah, H. (2023). Improving crop classification accuracy with integrated Sentinel-1 and Sentinel-2 data: a case study of barley and wheat. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 7(2), 22.
- Fuentes-Peailillo, F., Ortega-Farias, S., Rivera, A., Bardeen, M., ve Moreno, M. (2018, October). Comparison of vegetation indices acquired from RGB and Multispectral sensors placed on UAV. In *2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)* (pp. 1-6). IEEE.
- Gitelson, A. A., Gritz, Y., ve Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of plant physiology*, 160(3), 271-282. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., ve 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. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7).
- Gitelson, A. A., Stark, R., Grits, U., Rundquist, D., Kaufman, Y., ve Derry, D. (2002). Vegetation and soil lines in visible spectral space: A concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2537-2562. <https://doi.org/10.1080/01431160110107806>.

- Gitelson, A. A., ve Merzlyak, M. N. (1998). Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. *Advances in space research*, 22(5), 689-692. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(97\)01133-2](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(97)01133-2).
- Hamid, B. Y. ve Ali, S. H. . (2024). Integration Between Satellite Images and Spectral Analysis Using The ASD Device to Distinguish Wheat and Barley Plants. *Journal Port Science Research*, 6(special), 118-126. <https://doi.org/10.36371/port.2023.special.15>
- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K. V., ve Van Leeuwen, W. J. D. A. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote sensing of environment*, 59(3), 440-451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5).
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., ve Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).
- Hunt Jr, E. R., Daughtry, C. S. T., Eitel, J. U., ve Long, D. S. (2011). Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy journal*, 103(4), 1090-1099. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0395>.
- Ibrahim, G. R. F., Rasul, A., Abdullah, H. (2022). Integration of Sentinel 1 and Sentinel 2 Data for Crop Classification Improvement: Barley and Wheat as an Example. Preprints 2022, 2022090169. <https://doi.org/10.20944/preprints202209.0169.v1>.
- İmamoğlu, A., ve SARI, Z. M. N. (2016). Arpa yetiştiriciliği. *Çiftçi Broşürü*, (125).
- Isabella, P., Felix, R., Mariette, V., Claudio, N. ve Wolfgang, W. (2020). Classification of Wheat and Barley Fields Using Sentinel-1 Backscatter. *IGARSS 2020-2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 140-143. doi: 10.1109/IGARSS39084.2020.9323560
- Khanal, S., Kc, K., Fulton, J. P., Shearer, S., ve Ozkan, E. (2020). Remote sensing in agriculture—accomplishments, limitations, and opportunities. *Remote Sensing*, 12(22), 3783. ; <https://doi.org/10.3390/rs12223783>.
- Lee, W. S. (2015). Plant health detection and monitoring. *Hyperspectral Imaging Technology in Food and Agriculture*, 275-288
- Liliane, T. N., ve Charles, M. S. (2020). Factors affecting yield of crops. *Agronomy-climate change ve food security*, 9
- Louhaichi, M., Borman, M. M., ve Johnson, D. E. (2001). Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1), 65-70. <https://doi.org/10.1080/10106040108542184>.
- Mancino, G., Ferrara, A., Padula, A., ve Nolè, A. (2020). Cross-comparison between Landsat 8 (OLI) and Landsat 7 (ETM+) derived vegetation indices in a Mediterranean environment. *Remote Sensing*, 12(2), 291. <https://doi.org/10.3390/rs12020291>.
- Morlin Carneiro, F., Angeli Furlani, C. E., Zerbato, C., Candida de Menezes, P., da Silva Gírio, L. A., ve Freire de Oliveira, M. (2020). Comparison between vegetation indices for detecting spatial and temporal variabilities in soybean crop using canopy sensors. *Precision Agriculture*, 21, 979-1007

- Mutanga O. ve Kumar L. Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing*. 2019; 11(5):591. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- Na, S. I., Park, C. W., Cheong, Y. K., Kang, C. S., Choi, I. B., ve Lee, K. D. (2016). Selection of optimal vegetation indices for estimation of barley ve wheat growth based on remote sensing-An application of unmanned aerial vehicle and field investigation data. *Korean Journal of Remote Sensing*, 32(5), 483-497. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2016.32.5.7>.
- Nduku, L., Munghemezulu, C., Mashaba-Munghemezulu, Z., Kalumba, A. M., Chirima, G. J., Masiza, W., ve De Villiers, C. (2023). Global research trends for unmanned aerial vehicle remote sensing application in wheat crop monitoring. *Geomatics*, 3(1), 115-136. <https://doi.org/10.3390/geomatics3010006>.
- Nitze, I., Schulthess, U., ve Asche, H. (2012). Comparison of machine learning algorithms random forest, artificial neural network and support vector machine to maximum likelihood for supervised crop type classification. *Proceedings of the 4th GEOBIA, Rio de Janeiro, Brazil*, 79, 3540.
- Özberk, F., Karagöz, A., Özberk, İ., ve Atlı, A. (2016). Buğday genetik kaynaklarından yerel ve kültür çeşitlerine; Türkiye'de buğday ve ekmek. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 218-233 .
- Payero, J. O., Neale, C. M. U., ve Wright, J. L. (2004). Comparison of eleven vegetation indices for estimating plant height of alfalfa and grass. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(3), 385-393 .
- Peştemalci, V., Dinc, U., YEG'İNGİL, İ., Kandirmaz, M., Cullu, M. A., Öztürk, N., ve Aksoy, E. (1995). Acreage estimation of wheat and barley fields in the province of Adana, Turkey. *Remote Sensing*, 16(6), 1075-1085.
- Qader, S. H., Dash, J., ve Atkinson, P. M. (2018). Forecasting wheat and barley crop production in arid and semi-arid regions using remotely sensed primary productivity and crop phenology: A case study in Iraq. *Science of the total Environment*, 613, 250-262. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.057>.
- Roujean, J. L., ve Breon, F. M. (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote sensing of Environment*, 51(3), 375-384. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00114-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)00114-3).
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., ve Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309.
- Sevinç, M. Y., ve Aktuğ, S. S. (2023). *Nüfus artışının yol açtığı sorunlara küresel bakış*, Uluslararası Sosyal Bilimler Programları Değerlendirme ve Akreditasyon Derneği (USDAD)).
- Sezer, S. (2024). Rusya-Ukrayna Savaşı'nın jeopolitik sonuçları. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(1), 158-180. <https://doi.org/10.25287/ohuibf.1331462>.
- Sishodia, R. P., Ray, R. L., ve Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote sensing*, 12(19), <https://doi.org/10.3390/rs12193136>.
- Sun, Z., Di, L., Fang, H., ve Burgess, A. (2020). Deep learning classification for crop types in north dakota. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 2200-2213 .

- Taehwan, S., Jong, H, Ko., Seungtaek, J., Jiwoo, K., Kyung-Do, L. ve Sangin, S. (2022). Assimilation of Deep Learning and Machine Learning Schemes into a Remote Sensing-Incorporated Crop Model to Simulate Barley and Wheat Productivities. *Remote sensing*, 14(21):5443-5443. doi: 10.3390/rs14215443
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., ve Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 164, 152-170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150
- TUİK. 2024. - <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>.
- Viña, A., Gitelson, A. A., Nguy-Robertson, A. L., ve Peng, Y. (2011). Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote sensing of environment*, 115(12), 3468-3478. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.010>.
- Vincini, M., Frazzi, E. R. M. E. S., ve D'Alessio, P. A. O. L. O. (2008). A broad-band leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale. *Precision Agriculture*, 9, 303-319.
- Wikipedia- Nisan 2024. - https://en.wikipedia.org/wiki/Vegetation_index.
- Wu, B., Zhang, M., Zeng, H., Tian, F., Potgieter, A. B., Qin, X., ve Loupian, E. (2023). Challenges and opportunities in remote sensing-based crop monitoring: A review. *National Science Review*, 10(4), nwac290. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac290>.
- Xue, J., ve Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of sensors*, 2017(1), 1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>.
- Yasamin, A., Hamideh, N., Ali, M., Maryam, N., Farrokh, P. ve Parisa, H. (2021). Effects of spatial, temporal, and spectral resolutions on the estimation of wheat and barley leaf area index using multi- and hyper-spectral data (case study: Karaj, Iran). *Precision Agriculture*, 22(3):1-29. doi: 10.1007/S11119-020-09749-9
- Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., ve Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(18), 3778. <https://doi.org/10.3390/rs13183778>
- Zheng, B., Myint, S. W., Thenkabail, P. S., ve Aggarwal, R. M. (2015). A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 103-112 . <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.07.002>.
- Zhou, W., Liu, Y., Ata-Ul-Karim, S. T., Ge, Q., Li, X., ve Xiao, J. (2022). Integrating climate and satellite remote sensing data for predicting county-level wheat yield in China using machine learning methods. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 111, 102861 <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102861>.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Rapid population growth and global climate change in the world create many problems. One of the biggest of these problems is hunger. It is a fact that a large part of underdeveloped and developing countries are facing hunger. Wheat stands out as the main food product in these countries.

It is necessary to follow the development status and health of wheat and barley, which are in critical condition, from planting to harvest. Since it would be difficult to physically follow large areas of land, remote sensing methods such as unmanned aerial vehicles (UAV) and satellite imaging systems are used. Remote sensing methods are used in agricultural areas for land cover determination, agricultural product monitoring, and yield estimation. Various plant indices such as Normalized Vegetation Index (NDVI) and Leaf Area Index (LAI) have been developed to follow the health of plants, and various studies have been carried out with these indices. However, due to the close growing seasons of wheat and barley, it is difficult to separate them with remote sensing.

In this study, it was tried to determine the most suitable index for the discrimination of wheat and barley by comparing the various vegetation indices of wheat and barley grown in various cities in Turkey for the year 2023. At the same time, it was tried to determine which of the Landsat and Sentinel satellites gave better results.

Methodology

In the study, various fields planted with wheat and barley in 2022 and 2023 in Balıkesir Edremit and İvrindi, Çanakkale Ezine, Gelibolu and Gökçeada, Manisa Turgutlu, Samsun Yakakent, Kayseri İncesu, Eskişehir Sivrihisar, Yozgat Sorgun were used. The images of the determined fields between October 01 and July 31 were obtained from the cloud-based Google Earth Engine (GEE) platform and Landsat and Sentinel satellites. Wheat planted areas were determined from the data of the farmer registration system obtained from the district agricultural directorates and farmers. Various vegetation indices of the determined areas were obtained using Landsat and Sentinel satellites. Satellite images were selected from the days with less than 20% cloud ratio between October 01 and July 31 via GEE.

When calculating vegetation indices, the average of the values obtained after applying the relevant index formula to the field image taken from the satellite was taken and this value was accepted as the vegetation index on that date. The highest value of vegetation is obtained when the plant is the healthiest and most mature. According to the data obtained from the Sentinel 2 satellite for wheat, vegetation indices reached their highest values on April 7 in Balıkesir-Edremit, April 20 in Çanakkale-Ezine and Gelibolu, April 22 in Manisa-Turgutlu - May 7, May 1 in Eskişehir-Sivrihisar - May 16, May 3 in Kayseri-İncesu, June 2 in Yozgat-Sorgun, and June 7 in Samsun-Yakakent. Since Balıkesir-Edremit, Çanakkale-Ezine, and Çanakkale-Gelibolu cities are located close to each other, the highest values of vegetation indices were obtained on recent dates. The latest date for wheat and barley was obtained from Yozgat-Sorgun city.

Results and Conclusions

The period when wheat and barley had the highest vegetation index was determined with time graphs obtained from various vegetation indices and the separation of the two plants was attempted.

In the Landsat satellite, Evi and Lai indices were determined to be at a significant level in 4 different cities, namely Samsun, Kayseri, Eskişehir and Yozgat. Since the growing times in Çanakkale and Balıkesir provinces were very close, the highest values of the indices were obtained on the same dates. With the Mcari index, it was determined that the highest index values for wheat and barley were obtained on different dates in all cities except Edremit.

It is understood from the time series of the indices that the planting and growing times of barley and wheat differ regionally. In the western regions (Balıkesir, Çanakkale), both plants reach the highest chlorophyll level in March-April, while in the west of central Anatolia (Yozgat, Kayseri), the chlorophyll level reached the highest value in May with a difference of 10-15 days compared to the western regions. Therefore, it is important to evaluate the indices regionally. It was determined that barley grown in the same region reached the highest chlorophyll level 10-15 days before wheat. Regionally, the sowing and growing periods of wheat and barley vary, which can be observed from the time series of the indices. In the western regions (Balıkesir, Çanakkale), both crops reach their highest chlorophyll levels in March-April, while in the western part of Central Anatolia (Yozgat, Kayseri), chlorophyll levels peak in May, 10-15 days later than in the western regions. Therefore, it is important to consider regional factors when using indices. It has been determined that barley in the same region reaches its highest chlorophyll level 10-15 days earlier than wheat.

The results obtained in the study are as follows:

- To determine the period when barley has the highest chlorophyll content, the GCI, NDVI, and TGI indices from Landsat 9, and the NDVI, TGI, and SAVI indices from Sentinel 2 were used.
- To determine the period when wheat has the highest chlorophyll content, the NDVI, CI, and TGI indices from Landsat 9, and the NDVI, GCI, and SAVI indices from Sentinel 2 were used.
- For both satellites, the NDVI, SAVI, and GCI indices were used for wheat fields, and the TGI, NDVI, and GNDVI indices for barley fields.
- In distinguishing wheat and barley fields, the GARI index in June from the Landsat satellite and the GLI index in May from the Sentinel satellite gave the best results, and they are considered suitable for use in related studies.

Yazarların Biyografisi



Aykut DURGUT

1985 yılında Balıkesir’de doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Balıkesir’de yaptı. Lisans eğitimini 2003-2007 yılları arasında Muğla Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini 2014-2016 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Öğretimi Anabilim Dalında tamamladı. Doktora eğitimine Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri alanında devam etmektedir.

İletişim

aykutdurgut@gmail.com

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-4589-9350>



Sarp Korkut SÜMER

1972 yılında Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ceyhan’da tamamladı. Lisans eğitimini 1990-1994 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini 1997 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında; doktora eğitimini ise 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında tamamladı. 1997 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2005 yılında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde Yardımcı Doçent kadrosuna atandı. Aynı bölümde 2011 yılında Doçent olarak ve 2017 yılında Profesör olarak atandı. Halen aynı bölümde görevini sürdürmektedir.

İletişim

sarpksumer@comu.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0001-7679-6154>



Emre ÖZELKAN

1982 yılında Adana’da doğdu. Lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü’nde (2005), yüksek lisans (2008) ve doktora (2014) eğitimini İTÜ Bilişim Enstitüsü Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı’nda tamamladı. İTÜ’de çalıştığı süre boyunca Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi (UHUZAM) ve Tarım ve Çevre Bilişimi Uygulama ve Araştırma Merkezi (TARBİL) birimlerde görevler aldı. Bir yıl süre ile Amerika Birleşik Devletleri, Kuzey Karolayna Üniversitesi – Charlotte (UNC-Charlotte), Coğrafya ve Yer Bilimleri Bölümü’nde post doktora (2015) yaptı. Sonrasında İstanbul Piri Reis Üniversitesi Denizcilik Fakültesi ve Meslek Yüksekokulu’nda öğretim görevlisi (2016) olarak görev aldı. 2017 itibariyle Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama öğretim üyesi olarak görev almaktadır. İklim, hidrometeoroloji, tarım, meteorolojik kökenli doğal afetler, şehir-bölge planlama, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama alanlarında çalışmalarını sürdürmektedir.

İletişim

emreozelkan@comu.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-2031-1610>