

**T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇOK BANTLI UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK BUĞDAY
BİTKİSİNİN İNCELENMESİ – CEYLANPINAR TİGEM ÖRNEĞİ**

Yunus KAYA

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2020**

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇOK BANTLI UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK BUĞDAY
BİTKİSİNİN İNCELENMESİ – CEYLANPINAR TİGEM ÖRNEĞİ**

Yunus KAYA

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2020**

Dr. Öğr. Üyesi Nizar POLAT danışmanlığında, Yunus Kaya'nın hazırladığı “Çok Bantlı Uydu Görüntüleri Kullanılarak Buğday Bitkisinin İncelenmesi – Ceylanpınar TİGEM Örneği” konulu bu çalışma 10/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Nizar POLAT

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YILMAZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali DERELİ

Bu Tezin Harita Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	i
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Hipotez	3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Tarım Alanlarının Tespiti ve Zamansal Değişimlerin ve Gelişim Evrelerinin İzlenmesi ile İlgili Çalışmalar	4
2.2. Rekolte Tahmini ile İlgili Çalışmalar	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM	15
3.1. Uzaktan Algılama	15
3.1.1. Tanım	15
3.1.2. Kullanım alanları	15
3.1.3. Elektromanyetik spektrum özellikleri	15
3.1.4. Uzaktan algılamada çözünürlük	18
3.1.5. Uydu sistemleri	21
3.2. Bitki İndeksleri	24
3.2.1. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	25
3.2.2. SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	26
3.2.3. GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)	26
3.2.4. MSAVI 2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index)	27
3.2.5. NDWI (Normalized Difference Water Index)	27
3.3. Buğday Bitkisi	27
3.3.1. Buğday çeşitleri	28
3.3.2. Buğday bitkisinin iklim istekleri	29
3.3.3. Buğday bitkisinin fenolojik evreleri	29
3.4. Çalışma Alanı	31
3.5. Kullanılan Veriler	32
3.5.1. Parsel verimleri	32
3.5.2. Uydu görüntüleri	33
3.6. Yöntem	35
3.6.1. Uydu görüntülerinin indirilmesi	36
3.6.2. Uydu görüntülerinin işlenmesi	36
3.6.3. Fenolojik evrelerin incelenmesi	36
3.6.4. Verim tahmin modelinin kurulması	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	40
4.1. Fenolojik Evrelerin Belirlenmesi	40
4.1.1. 2015-2016 sezonu	41
4.1.2. 2016-2017 sezonu	43
4.1.3. 2017-2018 sezonu	46
4.2. Verim Tahmini	51
4.3. Doğruluk Analizi	58
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	72

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇOK BANTLI UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK BUĞDAY BİTKİSİNİN İNCELENMESİ – CEYLANPINAR TİGEM ÖRNEĞİ

Yunus KAYA

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nizar POLAT
Yıl: 2020, Sayfa: 73

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 ili Ceylanpınar ilçesinde 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 NDVI ve SAVI indeksleri yardımıyla buğday bitkisinin gelişim süreçleri incelenmiştir. Ayrıca 3 yıla ilişkin NDVI, SAVI, GNDVI, MSAVI2 ve NDWI2 indeks değerleri ile TİGEM'den temin edilen verim değerleri birlikte değerlendirilerek çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrası dönemler için verim tahmin modeli kurulmuştur. Oluşturulan model 2018-2019 sezonunda belirlenen tarlalarda uygulanarak doğruluk analizi yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde çiçeklenme evresinde verim tahmin modelleri ile buğday verimi arasında yüksek korelasyon olduğu görülmüştür. En yüksek ilişki ise %86 ile çiçeklenme evresindeki SAVI indeksinden elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: bitki örtüsü indeksi, uydu görüntüsü, buğday, fenolojik evre, verim tahmin modeli

ABSTRACT

MSc Thesis

EXAMINATION of WHEAT by USING MULTISPECTRAL SATELLITE DATA –EXAMPLE of CEYLANPINAR TIGEM

Yunus KAYA

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatic Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nizar POLAT
Year: 2020, Page: 73**

In this study, the phenological stages of the wheat plant were investigated by using the vegetation indexes obtained from multi-time satellite images and yield estimation model was developed by using the vegetation indexes and yield values. The study area is the land of the General Directorate of Agricultural Enterprises located in the Ceylanpınar district of Şanlıurfa. We selected 5 irrigated farming areas and 5 dry farming areas. The development processes of wheat 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 harvest dates of 2015-2016, 2016-2017 and 2017-2018 seasons. In addition, NDVI, SAVI, GNDVI, MSAVI2 and NDWI2 index values and yield values were evaluated together and yield estimation model was established for pre-flowering, flowering stage and post-flowering periods. The model was applied in the wheat-fields determined in the 2018-2019 season and accuracy analysis was performed. The results showed that there was a high correlation between yield estimation models and wheat yield at the flowering stage. The highest correlation was obtained from the SAVI index at the flowering stage with %86.

KEY WORDS: vegetation index, satellite image, wheat, phenological stage, yield estimation model

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tüm aşamalarında ve her konuda bana destek olan, deneyimlerini paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Nizar POLAT'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmamda ve fikirlerimin olgunlaşmasında yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Tez çalışmasında kullanmam üzere verilerini benimle paylaşan Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim. Bununla birlikte tez yazım sürecinde yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen başta Arş. Gör. Halil İbrahim ŞENOL ve Abdurahman Yasin YİĞİT olmak üzere tüm arkadaşlarıma ve elbette aileme çok teşekkür ederim.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum bölgeleri	16
Şekil 3.2. Landsat TM uydusunun 3. bandına ait 4 tip çözünürlük	19
Şekil 3.3. Çalışma alanı	31
Şekil 3.4. Çalışma alanını kapsayan örnek Landsat (a) ve Sentinel (b) görüntüsü	33
Şekil 3.5. İş akış şeması	35
Şekil 3.6. Parsellerin uydu görüntüsü üzerinden seçimi	37
Şekil 4.1. Sulu tarım için örnek SAVI ve NDVI histogramı	40
Şekil 4.2. Kuru tarım için örnek SAVI ve NDVI histogramı	40
Şekil 4.3. 2015-2016 sezonu sulu parsellere ait NDVI grafiği	41
Şekil 4.4. 2015-2016 sezonu sulu parsellere ait SAVI grafiği	42
Şekil 4.5. 2015-2016 kuru parsellere ait NDVI grafiği	42
Şekil 4.6. 2015-2016 sezonu kuru parsellere ait SAVI grafiği	43
Şekil 4.7. 2016-2017 sezonu sulu parsellere ait NDVI grafiği	44
Şekil 4.8. 2016-2017 sezonu sulu parsellere ait SAVI grafiği	44
Şekil 4.9. 2016-2017 sezonu kuru parsellere ait NDVI grafiği	45
Şekil 4.10. 2016-2017 sezonu kuru parsellere ait SAVI grafiği	45
Şekil 4.11. 2017-2018 sezonu sulu parsellere ait NDVI grafiği	46
Şekil 4.12. 2017-2018 sezonu sulu parsellere ait SAVI grafiği	47
Şekil 4.13. 2017-2018 sezonu kuru parsellere ait NDVI grafiği	47
Şekil 4.14. 2017-2018 sezonu kuru parsellere ait SAVI grafiği	48
Şekil 4.15. Çiçeklenme öncesi SAVI yansıtım haritası	49
Şekil 4.16. Çiçeklenme evresi SAVI yansıtım haritası	50
Şekil 4.17. Çiçeklenme sonrası SAVI yansıtım haritası	50
Şekil 4.18. Çiçeklenme öncesi ortalama NDVI değerlerinin verim ile ilişkisi	54
Şekil 4.19. Çiçeklenme dönemi ortalama NDVI değerlerinin verim ile ilişkisi	55
Şekil 4.20. Çiçeklenme sonrası ortalama NDVI değerlerinin verim ile ilişkisi	55
Şekil 4.21. Çiçeklenme öncesi ortalama SAVI değerlerinin verim ile ilişkisi	56
Şekil 4.22. Çiçeklenme dönemi ortalama SAVI değerlerinin verim ile ilişkisi	56
Şekil 4.23. Çiçeklenme sonrası ortalama SAVI değerlerinin verim ile ilişkisi	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Landsat 1-5 uydu özellikleri.....	22
Çizelge 3.2. Landsat 7 uydu özellikleri	22
Çizelge 3.3. Landsat 8 uydu özellikleri	23
Çizelge 3.4. Sentinel-2 uydu özellikleri	24
Çizelge 3.5. TİGEM arazi alanları	32
Çizelge 3.6. Çalışma alanına ait parsel verimleri	32
Çizelge 3.7. Kullanılan uydu görüntü tarihleri	34
Çizelge 4.1. Farklı evrelerdeki ortalama NDVI değerleri	52
Çizelge 4.2. Farklı evrelerdeki ortalama SAVI değerleri	52
Çizelge 4.3. Farklı evrelerdeki ortalama GNDVI değerleri	53
Çizelge 4.4. Farklı evrelerdeki ortalama MSAVI2 değerleri	53
Çizelge 4.5. Farklı evrelerdeki ortalama NDWI2 değerleri	54
Çizelge 4.6. İndekslere ait denklem, korelasyon katsayısı ve determinasyon katsayıları	58
Çizelge 4.7. Doğruluk analizi (NDVI)	59
Çizelge 4.8. Doğruluk analizi (SAVI)	60
Çizelge 4.9. Doğruluk analizi (GNDVI)	60
Çizelge 4.10. Doğruluk analizi (MSAVI2)	61
Çizelge 4.11. Doğruluk analizi (NDWI2)	61

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AMS	: AgroMetShell
AVHRR	: The Advanced Very High-Resolution Radiometer
AWiFS	: Advanced Wide Field Sensor
BM	: Birleşmiş Milletler
ESA	: European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
ETM	: Enhanced Thematic Mapper
EVI	: Enhanced Vegetation Index
FAO	: Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
FPAR	: Fraction of Photosynthetically Active Radiation
GEMI	: Global Environment Monitoring Index
GNDVI	: Green Normalized Difference Vegetation Index (Yeşil Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi)
GRVI	: Green Ratio Vegetation Index (Yeşil Oran Bitki Örtüsü İndeksi)
IRS-P6	: Indian Remote-Sensing Satellite-P6
LISS-III	: Linear Imaging Self-Scanner
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSAVI	: Modified Soil-adjusted Vegetation Index
MSS	: Multispectral Scanner
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NDNI	: Normalized Difference Nitrogen Index (Normalize Edilmiş Fark Azot İndeksi)
NDRE	: Normalized Difference Red Edge Index
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi)
NDWI	: Normalized Difference Water Index (Normalize Edilmiş Su İndeksi)
NIR	: Near Infrared (Yakın Kızılötesi)
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
OLI	: Operational Land Imager
OSAVI	: Optimized Soil Adjusted Vegetation Index
PCA	: Principal Component Analysis
PCM	: Precision Crop Management
RVI	: Ratio Vegetation Index
SAVI	: Soil-adjusted Vegetation Index (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi)
SPOT XS	: Satellite Pour l'Observation de la Terre Multispektral
SRI	: Spectral Reflectance Indices
SWIR	: Short-wave Infrared (Kısa Dalga Kızılötesi)
TIRS	: Thermal Infrared Sensör
TİGEM	: Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
TM	: Thematic Mapper
TSAVI	: Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USGS	: United States Geological Survey (Amerika Yerbilimsel Araştırma Kurumu)
UV	: Ultraviyole
WDRVI	: Wide Dynamic Range Vegetation Index
YAI	: Yaprak Alan İndeksi (Leaf Area Index)
YSA	: Yapay Sinir Ağları
μm	: Mikrometre
ha	: Hektar
λ	: Dalga Boyu

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusu; sağlık alanındaki gelişmeler, insanların bilinçlenmesi vb. sebeplerden dolayı sürekli artmakta ve yaşam süresi uzamaktadır. Dünya nüfusu sürekli artarken tarım alanları; çölleşme, iklim değişikliği, yanlış tarım politikaları, tarım alanlarının tahribatı gibi nedenlerle her geçen gün azalmaktadır. Birleşmiş Milletler (BM)'in yayınladığı bir rapora göre dünya nüfusu son yüzyılda 3 kat artarken her yıl 24 milyar ton verimli toprak ve 15 milyar ağaç yok olmaktadır (The Global Land Outlook, 2017). Artan dünya nüfusunun, küresel çaptaki iklim değişimi, azot kirliliği ve çölleşme gibi çevresel şartlar dolayısıyla tarım sektörünün hızla artan talebi karşılamakta önemli zorluklarla karşılaşacağı beklenmektedir (Demirpolat ve Leloğlu, 2018). Bu sebeple tarım alanlarını korumak ve mevcut tarım alanlarından maksimum fayda sağlamak hem günümüz hem de gelecek için önem arz etmektedir.

Buğday bitkisi, dünya tahıl üretimi dikkate alındığında ikinci sırada yer alırken Türkiye tarımında en çok üretilen tahıl konumundadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre son yıllarda Türkiye'de tahıl üretimine ayrılan arazi yaklaşık 125 milyon dekadır. Bu arazilerin yaklaşık %62'si buğday için ayrılmıştır. Üretim açısından bakıldığında ise ortalama yıllık tahıl üretimi 55 milyon ton iken buğday bitkisi bu üretimin yaklaşık %36'sını oluşturmaktadır.

Tarım arazilerinden verimli şekilde yararlanabilmek için bu arazilerin sürekli kontrol edilmesi ve elde edilen verilerin kayıt altına alınması önemlidir. Uzaktan algılama teknikleri ve uydu sistemleri arazi örtüsünün belirlenmesi, hidrolojik çalışmalar, tarım arazilerinin izlenmesi ve heyelan, sel, tsunami gibi doğal afetlerin incelenmesi başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Uydular üzerine yerleştirilen sensörler yardımıyla üretilen bitki örtüsü indeksleri bitkinin gelişim evrelerinin incelenmesi ve verim tahmini yapılması konusunda önemli katkılar sağlamaktadır. Geçmiş yıllara ait uydu görüntüleri, hem önceki yıllara ilişkin tarım alanlarının kontrol edilmesine hem de gelecek yıllara ilişkin tarım alanlarının

yönetimine yardımcı olmakta ve rekolte tahmini konusunda bilgi vermektedir. LANDSAT ve SENTINEL gibi bazı uydu sistemlerinin orta mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntülerini internet üzerinden ücretsiz olarak paylaşması, uygulama alanlarının giderek artmasına katkı sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında uydu görüntülerinden elde edilen indeks değerleri yardımıyla buğday bitkisinin fenolojik evreleri incelenmiş ve buğday bitkisine yönelik verim tahmin modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model sayesinde gelecek yıllarda tarım arazilerindeki rekolte tahminini yaklaşık olarak belirlemek mümkün hale gelmiştir. Çalışmanın hem çiftçilere hem de ilgili devlet kuruluşlarına katkı sağlaması beklenmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Tarım alanlarının izlenmesi, zamana bağlı değişimlerin gözlenmesi ve tarım alanlarından elde edilecek verimin tahmini, tarım politikalarının yönetilmesi için önemlidir. Uydu teknolojilerinin gelişmesi ve uydu görüntülerinin özellikle mekânsal ve spektral çözünürlüklerinin artmasıyla birlikte uzaktan algılama teknikleri tarım alanlarının kontrolünde ve verim tahmin çalışmalarında kolaylıkla kullanılabilir. Bu çalışmanın amacı;

- İnternet üzerinden ücretsiz temin edilebilen uydu görüntülerinden elde edilen piksel yansıtım değerleri yardımıyla buğday bitkisinin ekimden hasat dönemine kadar fenolojik evrelerini incelemek,
- Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI), Yeşil Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (GNDVI), Modifiye Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi 2 (MSAVI 2) ve Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi 2 (NDWI 2), ile geçmiş yıllarda meydana gelen verim değerlerini kullanarak bir verim tahmin modeli kurmaktır.

1.2. Hipotez

Uydu görüntüleri kullanılarak buğday bitkisinin fenolojik evreleri incelenebilir ve kayıt altına alınabilir. Ayrıca geçmiş yıllara ait uydu görüntülerinden elde edilen yansıtım değerleri ve verim değerleri kullanılarak verim tahmin modeli kurulabilir. Bu model; sadece yansıtım değerleri bilinerek, bölgedeki buğday parsellerinin gelecek yıllara ilişkin verim değerlerini tahmin etmemize yardımcı olur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Uzaktan algılama yöntemleri haritacılık, hidroloji, jeoloji, ormancılık, tarım vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Aşağıda bu çalışmalara ilişkin literatürde bulunan çalışmalar sıralanmıştır.

2.1. Tarım Alanlarının Tespiti ve Zamansal Değişimlerin ve Gelişim Evrelerinin İzlenmesi ile İlgili Çalışmalar

Literatürde zamansal değişimin karşılaştırma için çok sayıda teknik kullanılmıştır Bunlar; görüntü farklılaştırma tekniği, görüntü oranı kullanımı, normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi, ana bileşen analizi, çok tarihli görüntü sınıflandırma, sınıflandırma sonrası karşılaştırma, manuel sayısallaştırma şeklinde sıralanabilir (Maus ve ark., 1992; Doak ve Lackey, 1993; Green ve ark., 1994; Jensen, 1987; Jensen ve ark., 1993; Mas, 1997; El-Raey ve ark., 1999).

Jackson ve ark. (1980), el radyometresi ve uydu görüntülerinin bitkilerin gelişimini izlemede kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada 12 adet buğday tarlası hem el radyometresi ile hem de Landsat görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışmanın sonunda yansıma oranları ile hesaplanan indislerin, yaprak alan indeksi (YAI) ve bitkinin fizyolojik gelişimi hakkında önemli bilgiler verdiği belirtilmiştir. Benzer bir çalışmada ise Rudorff ve Batista (1990), 1988 sezonunda yetişen üç farklı buğdayın gelişim evrelerini incelemişlerdir. Çalışmada dört farklı çiftlikten 30 örnek alınmış ve yansıtım değerleri incelenmiştir. Ekimden 30 gün sonra hasada kadar her hafta yapılan ölçümlerden sonra oluşturulan bitki indeksleri tane verimi ve kanopi (gölgelik) yüksekliği gibi agronomik değişkenlerle ilişkilendirilmiştir. Önyüklemeden çiçeklenme aşamasının başlangıcına kadar elde edilen bitki indeksleri tahıl verimi ile yüksek bir korelasyon (0.82-0.93) göstermiştir. Bu işlem bitkinin büyüme döngüsü boyunca çok zamanlı olarak analiz edilmiş ve sonuçlar ürün gelişiminin belirli aşamalarında ve belirli dalga boylarında yansıyan enerjinin nihai verim hakkında bilgi verdiği belirtilmiştir. Pinter ve ark. (1981), ise arpa ve buğday bitkilerine ait yansıma değerlerinin fenolojik evrelerindeki değişimleri incelemiştir. Çalışmada iki bitkinin

gelişim süresinde 0.6-0.7 μm ve 0.8-1.1 μm dalga boyları arasındaki yansıma değerlerinden hesaplanan bitki örtüsü indeksi ile rekolte arasındaki korelasyon incelenmiş ve sonuç olarak iki değişken arasında %88 oranında korelasyon tespit edilmiştir.

Peştemalci ve ark. (1991), Landsat-5 TM verilerinin buğday ve arpa alanlarını belirlemede uygun olup olmadığını incelemiştir. Çalışmada uydu görüntüleri üzerinden sınıflandırma yapılmıştır. Ayrıca verim değerleri ile bitki indeksi arasında verim tahmin modeli kurulmuştur. Çalışmanın sonucunda sınıflandırma sonucu elde edilen alanlar ile yersel ölçümlerle elde edilen alan arasında %8.2 fark gözlenmiştir.

Sönmez ve Sarı (1999), Landsat-5 TM uydusunun sayısal verilerini kullanarak Batı Akdeniz bölgesinde yetiştirilen buğdayın spektral özelliklerinin ve alansal dağılımının belirlenmesini amaçlamışlardır. Çalışmada Antalya bölgesindeki buğday bitkisinin diğer objelerden ayırt edilebilmesi için en uygun bant kombinasyonunun TM verilerinin 4.(yeşil), 5.(kırmızı) ve 7.(yakın kızılötesi) bantlarının olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sarı ve ark. (2007) ise Landsat-7 ETM uydusundan elde edilen verilerle bu kez Batı Akdeniz bölgesinde üretimi yapılan pamuk bitkisinin alan dağılımını incelemişler ve %92.9 oranında doğruluk elde etmişlerdir.

Akkartal ve ark. (2005), Türkiye'nin Trakya bölgesindeki Kırklareli iline bağlı Lüleburgaz ilçesi ve çevresindeki bitki örtüsü değişimini belirlemek için üç zamanlı Landsat TM ve bir SPOT XS görüntüsünü kullanmışlar. Farklı bitki örtüsü indeksleri uygulanarak, 1987 ve 2003 yılları arasındaki bitki örtüsündeki değişimleri irdelenmişlerdir. Çalışmada çok spektrumlu/çoklu algılayıcı uydu verilerinin buğday da dahil olmak üzere bitki örtüsü analizinde başarıyla uygulanabileceği gösterilmiştir.

Karabulut (2006), mekânsal çözünürlüğü yerel ölçekte 1.1 km ve küresel ölçekte 4 km olan NOAA AVHRR verilerini kullanarak Türkiye'deki bitki örtüsü durumunun değerlendirilmesini amaçlamıştır. Çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerini kapsayan; 1992, 1993 ve 1995 yıllarına ait uydu görüntülerinden elde edilen NDVI değerleri yardımıyla 1992-1995 yılları arasındaki bitkisel aktivite durumları incelenmiştir.

Çalışmada orman alanlarının yıl boyunca yüksek yansıtım değerlerine sahip olduğu, otsu bitkilerin ise İç Anadolu bölgesinde Mayıs-Haziran ve Doğu Anadolu bölgesinde Haziran-Temmuz aylarında kısa süreli yüksek yansıtım değerleri gösterdiği belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda yeryüzünün bitki örtüsünün değişimi ve kuraklığın bitki örtüsü üzerindeki etkisinin incelenmesi için uzaktan algılama yöntemlerinin kullanılması oldukça pratik ve ucuz olduğu belirtilmiştir.

Kitiş (2009), yüksek lisans tez çalışmasında 2006 yılına ait QuickBird uydu görüntüsü ve 1989 yılına ait hava fotoğrafları yardımıyla sınıflandırma yöntemini kullanarak Adana'nın kuzey bölgesinin arazi örtüsü, arazi kullanımı ve arazi değişim haritalarını üretmiştir. Çalışmanın sonucunda şehir merkezi yerleşim alanları, sanayi bölgeleri, kuru tarım arazileri, zeytinlikler ve seyrek orman alanlarında 1989 yılından 2006 yılına kadar olan değişimler incelenerek geleceğe yönelik planlamalara yardımcı olabilecek bir altlık oluşturulmuştur.

Ateşoğlu ve Tunay (2010), 1975, 1987 ve 2000 tarihli Landsat uydu görüntü verilerini kullanarak Bartın ilinin kıyı bölgelerindeki bitki örtüsü değişimini incelemiştir. Çalışmada NDVI, SAVI, LAI, FPAR, PCA ve TST indeksleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda NDVI'nin diğer bitki indekslerine göre daha etkin sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Mermer ve ark. (2011), Doğu Anadolu bölgesinde yer alan 6 ilde (Erzurum, Iğdır, Van, Kars, Malatya, Muş) bulunan mera alanlarının fenoloji takvimlerini incelemiştir. Çalışmada yıl içerisindeki değişimleri belirlemek için SPOT-VEGETATION uydularından elde edilen 10 günlük dilimler halinde 36 farklı NDVI değeri ile meralardan alınan koordinat verileri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda indeks değerlerinin yılın 7. veya 8. on günlük dilimlerinde (Mart ayının birinci veya ikinci haftası) yükselmeye başladığı ve 14. ve 15. on günlük dilimde (Mayıs ayının orasında) en yüksek değere ulaştığı belirtilmiştir. Çalışmada uydu görüntüleri ile mera alanlarına ilişkin değişimlerin kolaylıkla gözlemlenebileceği vurgulanmıştır.

Özcan ve ark. (2011), farklı bölgelerde yetişen buğday bitkisinin gelişim düzeylerini incelemek ve karşılaştırmak için SPOT 5 uydusundan elde edilen görüntüleri kullanmıştır. Çalışma alanı olarak Türkiye’de tarımın en çok yapıldığı yer olan Şanlıurfa ilinin Hilvan ve Akçakale ilçeleri seçilmiştir. Her iki ilçeye ilişkin 2010-2011 sezonu için beş farklı tarihte uydu görüntüsü alınmış ve uydu görüntüsü üzerinden sınıflandırma işlemi ve NDVI analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda aynı il içerisinde yer almasına rağmen farklı ekolojik koşullarda yetişen ve farklı ekim zamanına sahip olan iki farklı buğdayın gelişiminin birbirinden farklı olduğu ve buna bağlı olarak farklı yansıtım değerlerine sahip oldukları gözlenmiştir.

Algancı ve ark. (2011), farklı uydulardan elde ettikleri, farklı mekânsal çözünürlüklerde algılanmış olan uydu görüntülerini kullanarak Şanlıurfa ili Akçakale ilçesindeki tarım alanlarını ürün ve alan bazında ayırt etme doğruluklarını incelemiştir. Farklı uydu verileri kontrolsüz sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırılmış ve sınıflandırma sonucunda üretilen tarım alanlarına ait ürün tipi ve bu ürünlerin mekânsal dağılımına yönelik doğruluk analizleri yer gerçeği verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar mekânsal çözünürlük arttıkça tarım arazilerinin belirlenme oranının arttığını göstermektedir. Büyük ve etrafında farklı arazi örtüsü türleri olan tarım parselleri orta mekânsal çözünürlükteki uydu görüntüleri ile de tespit edilebilmektedir.

Yıldız ve ark. (2012), 1999-2010 yılları arasında her yıl için 36 adet 10 günlük NDVI verilerini VAST yazılımı ile analiz ederek ülkemizdeki bitki örtüsünün zamansal ve mekânsal değişimini incelemiştir. Çalışmada SPOT 4 ve SPOT 5 uyduları üzerine yerleştirilen SPOT VEGETATION algılayıcıları tarafından üretilen 1 km mekânsal çözünürlüğe sahip uydu verileri kullanılmıştır. Yapılan çalışmada vejetasyon aktivitesinin en erken Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde başladığı belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda NDVI verileri ile bitki örtüsü değişiminin başarılı bir şekilde ortaya konulacağı belirtilmiştir.

Yadav ve ark. (2014), Hindistan’ın Haryana eyaletinde bulunan buğday ve pirinç hasatından sonra yaygın hale gelen anız yakma işlemini araştırmak için uydu verilerini

kullanmışlardır. Çalışmada çok yıllık IRS-P6 AWiFS ve LISS-III verileri kullanılmıştır. 2010 yılında 3 farklı ilçeyi inceleyen araştırmacılar her bir tarihteki NDVI değerlerini üretmişlerdir. Çalışmanın sonucunda üç proje bölgesinde toplam 100.05 bin hektar alanda buğday anızları, 90.84 bin hektar alanda ise pirinç anızları tespit edilmiştir. Sonuç olarak çok tarihli LISS-3 verilerinden elde edilen NDVI değerleri ilçe düzeyinde buğday ve pirinç anız yakma alanlarının tahmini için faydalı olduğu belirtilmiştir.

Özcan (2014), tez çalışmasında uydu görüntüleri yardımıyla bitki karakteristiklerini ve farklı istasyonlardaki ürün özelliklerini incelemiştir. Çalışmada buğday bitkisinin fenolojik dönemlerinde algılanan SPOT 5 uydu görüntülerinden NDVI ve MSAVI indeksleri üretilmiştir. Çalışmanın sonucunda iklimsel olarak farklı bölgelerde bulunan iki istasyonda bulunan buğday/arpa bitkisinin sapa kalkma ve çiçeklenme dönemlerinde farklı yansıtım değerleri gözlenmiştir.

Reis ve Bayram (2015), yaptıkları bir çalışmada Konya ili Yunak ilçesindeki bitki örtüsünün zamana bağlı değişimini karşılaştırmıştır. Çalışmada LANDSAT 7 TM görüntüleri kullanılmıştır. Bitki örtüsü analizinde NDVI ve sınıflandırmada Watershed Bölütleme Algoritması sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda NDVI ile ürün çeşitliliği hakkında bilgi edinmenin kolay ve hızlı bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Yıldız ve ark. (2018), SPOT-VEGETATION NDVI görüntüleri kullanarak Sivas, Konya, Adana, Edirne ve Şanlıurfa illerinde en yüksek NDVI değişkenliğinin hangi dönemlerde olduğunu araştırmışlardır. Çalışmada on günlük maksimum NDVI zaman serisi veri setinden yararlanılmış ve 1999-2010 yılları arasında toplam 36 görüntü kullanılmıştır. Elde edilen her on günlük dönem görüntülerinden standart sapma, ortalama ve değişkenlik katsayısı görüntüleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda İç Anadolu ve Marmara bölgesindeki tarımsal faaliyetlerden dolayı Mayıs ayına ait NDVI değerlerinin yüksek olduğu gözlenirken kuru tarım yapılan buğday ve arpa ekili bölgelerde toprağın iki yılda bir nadasa bırakılması NDVI değişim katsayısını artırmıştır. Karadeniz, Ege ve Akdeniz bölgelerinde ise özellikle ormanların yoğun olduğu alanlarda değişim katsayısı düşük bulunmuştur. Elde edilen

değişkenlik katsayısı görüntüsü incelendiğinde, en yüksek değişkenliğin Aralık – Şubat ayları arasındaki dönemde olduğu bulunmuş ve yaz aylarında NDVI görüntülerindeki değişkenliğin azaldığı tespit edilmiştir. Ancak Adana ve Şanlıurfa gibi kış aylarının daha sıcak olduğu bölgelerde ise tarımsal faaliyetlerden dolayı değişim katsayısı daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Yin ve ark. (2018), Kafkasya bölgesindeki arazi terklerini belirlemek için Landsat görüntüleri üzerinden değişimleri sınıflandırarak terklerin ne zaman yapıldığını belirlemişlerdir. Çalışmada ilk olarak arazi terkinin yaygın olduğu yerler çok çözünürlüklü segmentasyon yaklaşımı ile Landsat görüntüsü üzerinden tespit edilmiştir. Daha sonra her arazi için rastgele orman algoritması kullanarak her yıl tarımsal arazinin kullanılma olasılığı test edilmiştir. Son aşamada ise olasılık zaman serilerini tüm bölgelere uygulayarak değişim sınıfları belirlenmiş ve terk edilmelerin ne zaman ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda nesne seviyesindeki değişikliklerde 97 ± 1 ve piksel seviyesindeki değişimlerde 82 ± 3 doğruluk sağlanmıştır. Sonuç olarak zaman serilerinin mekânsal ve zamansal segmentasyon yaklaşımlarının tarımsal arazi terkinin belirlemede etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Dara ve ark. (2018), ise Kazakistan'daki ekim alanlarının 1988-2013 yılları arasındaki terk edilmesini ve 1991-2013 yılları arasındaki geri kazanımını tespit etmek için Landsat uydusunu kullanmışlardır. Çalışmada uydu görüntüsünden oluşturulan terk etme ve geri kazanım haritaları genel olarak 89 doğrulukla belirlenirken terk edilen ekim alanları kazanılan ekim alanlarından daha yüksek doğrulukla tespit edilmiştir.

2.2. Rekolte Tahmini ile İlgili Çalışmalar

Colwell ve ark. (1977), kışlık buğday verimini incelemek için Landsat uydu görüntüleri ile meteorolojik veri, arazi ölçümleri ve kültürel faktörleri bir arada değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda Landsat verilerinin verim tahmini için önemli bir gösterge olduğu, Landsat verileri ile yapılan tahminin gerçek verim değerlerine yakın olduğu ve agrometeorolojik verilerle birlikte uydu verilerinin kullanılmasının daha doğru sonuçlar ortaya koyacağı belirtilmiştir. Benzer şekilde Li

(1990), Çin’de yetiştirilen kışlık buğdayın verimini tahmin etmek için AVHRR NOAA ve Landsat MSS ve Landsat TM görüntülerinden yararlanmıştır. Çalışmada 21 milyon hektar alanı kapsayan, 140 farklı ilçede 400 gözlem alanı seçilmiş ve radyometrik ölçümlerin yanında agronomik bilgiler de dikkate alınmıştır. Çalışmanın sonunda 1986-1988 yılları arasında hesaplanan buğday verimi hatası %2.3-4.5 arasındadır. Çalışmada uzaktan algılama tekniklerinin çok büyük alanlar için kullanışlı bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Uzaktan algılama tekniği, geniş arazilerin verilerini toplamak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Aronoff, 1989). Ekili alan ve ürün rekolte çalışmalarının doğrudan arazi çalışmaları yapılarak gerçekleştirilmesi büyük boyutlarda işgücü ve zaman kaybına neden olduğu gibi, ekili alanların ve sınır çizgilerinin sağlıklı belirlenmesi, uydu verilerinde saptanan bilgiler kadar yüksek doğruluğa sahip olamamaktadırlar (Evsahibioğlu, 2008).

Moran ve ark. (1997), çevreyi korumak ve ürünlerden elde edilen faydaları optimize etmek için geliştirdikleri hassas ürün yönetimi (PCM) modelini kurmak için uzaktan algılama tekniklerini ve meteorolojik/iklim verilerini kullanmışlardır. Çalışmada modeli kurmak için uzaktan algılama yöntemlerinin daha önce kullanılan klasik yöntemlere kıyasla daha pratik çözümler geliştirdiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda bitkilerin gelişim süreçlerinin incelenmesi için uydu görüntülerinin kullanılmasının zaman, maliyet ve doğruluk açısından büyük avantaj sağladığı vurgulanmıştır.

Raun ve ark. (2001)’a göre uydu görüntülerinden belirli zaman aralıklarında elde edilen spektral değerler ile hesaplanan bitki örtüsü indeksleri buğday verimi tahmininde başarılı sonuçlar vermektedir. Pinter ve ark. (2003), elektromanyetik spektrum ve temel agronomik koşullar ile biyofiziksel bitki süreçleri arasındaki temel ilişkileri araştırmışlardır. Bunun yanında sulama zamanlaması, besin yönetimi, haşere kontrolü ve verim tahmini konularında uzaktan algılamanın kullanılmasına ilişkin örnek uygulamalar sunmuşlardır. Çalışmada uzaktan algılama yöntemlerinin tarımsal kaynakların modern yönetiminde, toprak ve mahsul özelliklerinin takibinde son 40

yıldır başarılı bir şekilde kullanıldığı ve gelecekte de çoklu ve hiperspektral görüntülerin, yönetim odaklı mahsul simülasyonlarında başarılı bir şekilde kullanılabilceği belirtilmiştir.

Jiang ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada kışlık buğday verim tahmin modelini oluşturmak için yapay sinir ağlarını (YSA) kullanmışlardır. Çalışmada yapay sinir ağlarının geri yayılım algoritmalarını (back-propagation algorithms) kullanmışlar ve girdi verileri olarak NDVI, bitki gölge yüzey sıcaklığı, su stresi indeksi ve birim alana düşen ortalama ürün verimi kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda yapay sinir ağlarından elde edilen verim tahmin modelinin geleneksel yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği ve bu modelin çok daha geniş alanlar için uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

Şimşek ve ark. (2007), Türkiye'deki buğday verimini modellemek için fenolojik gözlemler, meteorolojik veriler, toprak özellikleri ve NDVI görüntülerini kullanarak Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'nün geliştirdiği AgroMetShell modelini uygulamışlardır. Türkiye genelinde kurulan 265 istasyon için ölçümler yapılmış ve Adana, Konya, Sivas ve Şanlıurfa illeri için kurulan AMS modelinden elde edilen çıktılar ile verim değerleri arasında çoklu regresyon analizleri yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda tahmin değerleri ile gerçek değerleri arasında $r^2 = 0.9067$ düzeyinde korelasyon görülmüştür.

Süslü (2007), Ankara-Şereflikoçhisar ilçesindeki arpa ve buğday bitkisi için rekolte tahmini yapmıştır. Çalışmada 2005 yılı hasat zamanından hemen önce elde edilen birer adet SPOT 2 ve Landsat 5 TM uydu görüntüleri kullanılmıştır. Verim değerlerinin tahminini yapmak için arazideki en düşük ve en yüksek verim değerleri ile NDVI, SAVI ve OSAVI indeksleri kullanılmıştır. Uygulama sonucunda arpa ve buğday rekolte NDVI ile %99, OSAVI ile %99, SAVI ile arpa %94, buğday %98 doğrulukla hesaplanmıştır.

Motohka ve ark. (2010), çalışmalarında Japonya'da seçili dört farklı ekosistem bölgesinde Yeşil Oran Bitki Örtüsü İndeksi (GRVI)'nin fenolojik bir gösterge olarak

kullanılıp kullanılmayacağını değerlendirmişlerdir. Seçilen çalışma bölgesine ait hem spektral yansıma değerleri hem de çok yıllık zemin gözlemleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda GRVI değerleri ile bitki örtüsü değişimi arasında yüksek korelasyon görülmüştür.

Gontia ve Tiwari (2011), Hindistan'da yetiştirilen buğday mahsulünün verim ve su tahminini yapmak için uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanmışlardır. Çalışmada Hindistan Uzaktan Algılama Uydusu (IRS-P6) verilerinden NDVI ve SAVI indeksleri üretilmiş ve bu değerler gerçek buğday verimi ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma sonucunda buğday verim tahmininde NDVI için R^2 değeri 0.799 iken SAVI için R^2 değeri 0.9172 bulunmuştur.

Lopresti ve ark. (2015), 2003-2011 yılları arasındaki 9 yıllık süreçte MODIS-NDVI verilerinin buğday verimi ile arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmada araziden alınan ilk 5 yıla ait ortalama verim değerleri ile NDVI değerleri arasında basit regresyon modeli kurulmuş ve diğer 4 yıllık verim değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda son 4 yıla ilişkin tahmini verim değerleri ile gerçek verim değerleri karşılaştırılmış ve iki değer arasında %75 korelasyon olduğu gözlenmiştir.

Jurecka ve ark. (2016), arpa verimini incelemek için uzaktan algılamanın kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada farklı tarihlere ilişkin Landsat-8 ve Sentinel-2 uydusundan elde edilen görüntüler kullanılarak NDVI ve EVI2 indeksleri üretilmiştir. Araziden alınan gerçek verim değerleriyle tahmin edilen verim değerleri karşılaştırılmış ve NDVI indeksinin EVI2 indeksinden daha güçlü korelasyon sağladığı belirlenmiştir.

Escolá ve ark. (2017), arpa üretimi için hassas tarımdaki Sentinel-2A görüntülerinin potansiyelini değerlendirmişlerdir. Çalışmada hasat dönemindeki alınan görüntülerden NDVI, WDRVI, GRVI ve GNDVI bitki indeksleri üretilerek doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. Çalışmada uydu görüntülerinden elde edilen verilerle arazideki biçerdövere kurulmuş bir verim monitörü kullanılarak elde

edilen veriler karşılaştırılmıştır. Yeşil tabanlı bitki örtüsü indekslerinin daha iyi korelasyon gösterdiği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda Sentinel-2A uydusunun ekilebilir tarım alanlarındaki hassas tarım için umut verici bir araç olduğu belirtilmiştir.

Skakun ve ark. (2017), Kirohohradka/Ukrayna’da yaptıkları bir çalışmada kışlık ürün haritalaması ve kışlık buğday bitkisinin verim değerlendirmesini incelemek için LANDSAT-8 ve Sentinel-2A görüntülerini kullanmışlardır. Çalışmada 1 Mart- 6 Nisan tarihleri arasında, zaman dilimi için hesaplanan en yüksek NDVI değeri Landsat-8 ve Sentinel-2A uydu verilerinin kombinasyonu ve ayrı ayrı değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. Bölgedeki kışlık mahsul alanı tahmin edilirken Landsat ve Sentinel-2A görüntüleri birlikte kullanıldığında $R^2=0.90$ değeri elde edildi. Aynı alanda sadece Landsat görüntüleri kullanıldığında $R^2=0.64$, sadece Sentinel-2A görüntüleri kullanıldığı zaman ise $R^2=0.88$ bulunmuştur. Landsat-8 – Sentinel-2A kombinasyonu için en yüksek NDVI yaklaşımı 0.31 t / ha (%7.7) hata sunarken, bu değerler sadece Landsat-8 kullanımı için 1.8 kat daha (0.57 t / ha , %14.3) ve sadece Sentinel-2A kullanımı için 1.5 kat daha yüksektir (0.46 t / ha , %11.5). Sonuç olarak Landsat-8 ve Sentinel-2A'nın entegrasyonunun hem kış mahsulü haritalaması hem de kışlık buğday verimi değerlendirmesi için olumlu bir etkiye sahip olduğunu görülmektedir.

Lambert ve ark. (2017), Koutiala/Mali bölgesinde yaptıkları bir çalışmada Sahra altı Afrika’daki küçük işletme sistemlerindeki verimi haritalamak için uzaktan algılama tekniklerinden yararlanmışlardır. Çalışmada 10-20 metre çözünürlüklü Sentinel-2 uydusuna ait görüntüler kullanılmıştır. 3 aşamadan oluşan çalışmada ilk olarak mahsul tipi Sentinel-2 uydu görüntülerindeki zaman serileri ile eşleştirilmiştir. Daha sonra bitki örtüsü indeksleri ve verim değerleri kullanılarak her bir ürün için verim tahmini yapılmıştır. Son aşamada ise bu iki aşama birleştirilerek verim haritası ve verim değişim analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda %85 doğrulukla mahsul tipi haritası üretilmiştir. Verim tahmin çalışmasında ise ortalama %61 doğruluk sağlanmıştır.

Guo ve ark. (2018), belirli bir test bölgesine ilişkin buğday büyüme parametrelerini ve verim tahminini belirlemek için uzaktan algılama verilerini kullanmıştır. Çalışmada NDVI, RVI, SAVI ve EVI indeksleri kullanılarak WheatGrow modeli oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda en iyi sonuçlar SAVI indeksinin uygulandığı bölgelerde elde edilmiştir. Bunun nedeninin ise SAVI indeksinin bitki örtüsü özelliklerini daha çok yansıttığı belirtilmiştir. Campos ve ark. (2019) ise buğdayın verim/biyokütle değişkenliğini araştırmak için uzaktan algılama ve meteorolojik verilerin yeteneğini araştırmışlardır. Çalışmada uzaktan algılama tabanlı bitki örtüsü indeksleri ile su verimliliğine dayalı basit bir model elde edilmiştir. Çalışma sonucunda NDVI'nin büyüme oranlarının yansıtımında önemli bir gösterge olduğu vurgulanmıştır.

Chandel ve ark. (2019), Hindistan'ın Madhya Prades kentinde belirlenen bir alanda buğdayın büyüme evrelerinde azotun etkisini araştırmışlardır. Çalışmada spektral yansıtma indeksi (SRI), normazile edilmiş fark azot indeksi (NDNI), NDWI, NDVI ve SAVI indeksleri kullanılarak bir regresyon modeli kurulmuştur. Çalışmanın sonucunda NDVI indeksinin başağa kalkma aşamasında güçlü korelasyon gösterdiği ve tahıl-biyokütle verimleri %96 doğrulukla tahmin edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM**3.1. Uzaktan Algılama****3.1.1. Tanım**

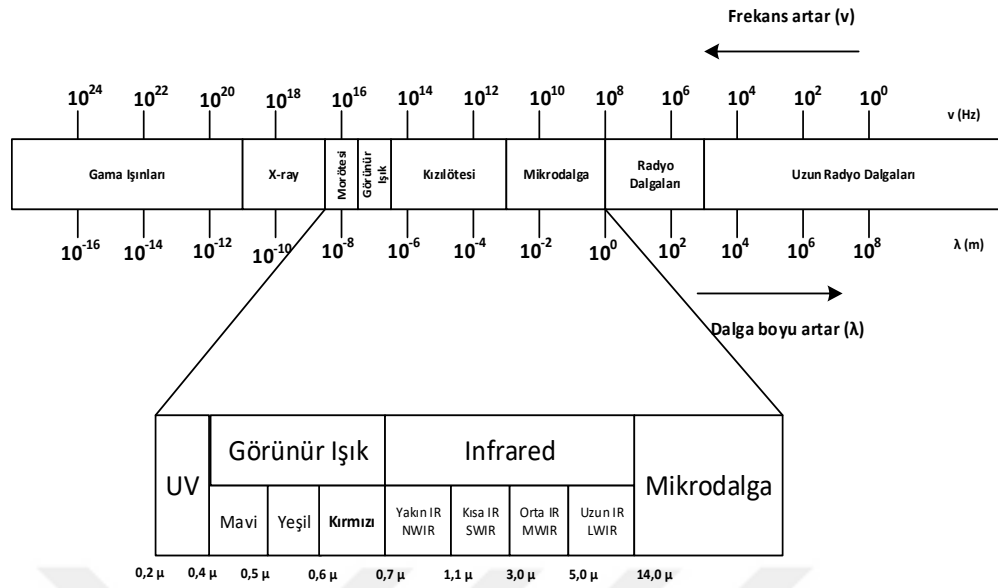
Uzaktan algılama, herhangi bir fiziksel temas olmaksızın (Lintz ve Simonett, 1976) yeryüzünden belli uzaklıkta veya uzaydaki platformlara kurulan modern sensör ve cihazlar (Fischer ve ark., 1976) aracılığıyla sensörlerin görüş alanındaki hedef bölgelerden (White, 1977) gelen elektromanyetik enerjinin kaydedilmesi ve analiz edilmesiyle hedef bölge veya obje(ler) hakkında bilgi edinme bilimi olarak tanımlanabilir.

3.1.2. Kullanım alanları

Uzaktan algılama teknikleri haritacılık, hidroloji, jeoloji, ormancılık, tarım vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Haritacılık alanında etüd haritalarının ve 3 boyutlu (3B) sayısal arazi modellerinin oluşturulması, yeryüzüne ilişkin değişimlerin izlenmesi ve topoğrafik harita üretimi (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2011) gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. Tarım çalışmalarında kullanımında ise, tarım alanlarının otomatik olarak belirlenmesi, bitki örtüsünün ayırımı, ürün ekili alanların değişim analizleri ve rekolte tahmini vb. yöntemleri sıralayabiliriz.

3.1.3. Elektromanyetik spektrum özellikleri

Elektromanyetik spektrum; tüm elektromanyetik radyasyonun frekans ve dalga boyuna göre dağılımıdır (Şekil 3.1). Her ne kadar elektromanyetik dalgalar ışık hızında hareket etseler de bunu çok çeşitli frekanslarda, dalga boylarında ve foton enerjilerinde yaparlar. Elektromanyetik spektrum dalga uzunluklarına göre gama ışınları, X ışınları morötesi, görünür ışık, kızılötesi, mikrodalga ve radyo dalgaları gibi bölümlere ayrılırlar.



Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum bölgeleri

Gama ışını: Gama ışınları elektromanyetik spektrumun en kısa dalga boyuna ($\lambda < 0.3 \mu\text{m}$) ve en yüksek enerjisine sahip olan ışınlardır. Evrendeki süpernova patlamaları ya da atomların parçalanması sonucu uzaydaki radyoaktif maddelerin bozulması sonucunda üretilirler. Atmosferin üst tabakalarında yutulduğundan dolayı uzaktan algılama alanında kullanılmamaktadır. Genelde kanser hücrelerin öldürülmesi için radyoterapi tedavisinde kullanılırlar.

X ışını: $0.03 < \lambda < 3 \mu\text{m}$ dalga boyu uzunluğuna ve yüksek frekansa sahiplerdir. Günümüzde tıpta röntgen ve tomografi cihazlarında ve güvenlik amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır.

Morötesi ışın (UV): $0.2-0.4 \mu\text{m}$ dalga boyuna sahiptir ve uzaktan algılamaya olanak sağlamaktadır. Doğal veya yapay olarak üretilmektedir. Güneşten çok büyük miktarlarda yayılmasının yanında özel aydınlatma cihazları tarafından da üretilmektedir. Kullanım alanları yaygındır. Gıda ve ilaç endüstrisinde ürünleri sterilize etmek için, solaryumda, sahte paraların tespit edilmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Yeryüzündeki kayalar ve mineraller gibi bazı materyaller morötesi ışın tarafından aydınlatıldığında ışık saçarak veya gelen ışığı yayarlar. Bu sebeple bu tip materyaller sensörler tarafından algınavabilirler. Dalga uzunluğu $0.3 \mu\text{m}$ den küçük

olan morötesi ışınları atmosferin üst tabakasında yutulurken diğer kısmı sensörlerle saptanabilir.

Görünür ışık: İnsan gözü ile algılanabilen görünür ışıklar 0.4-0.7 μm dalga uzunluğuna sahiptir. Görünen ışık bölgesindeki en uzun dalga boyu kırmızı, en kısa dalga boyu ise menekşe rengidir.

Menekşe: 0.4-0.446 μm

Mavi :0.446-0.500 μm

Yeşil :0.500-0.578 μm

Sarı :0.578-0.592 μm

Turuncu :0.592-0.620 μm

Kırmızı :0.620-0.700 μm

Mavi renk; yeşil bitkilerin içerdiği klorofilin en iyi emildiği dalga boyudur (0.40 μm). Yeşil renk; 13 metre derinliğindeki temiz suya nüfuz etme, temiz ve bulanık su arasındaki kontrastlığı belirleme, sudaki yağı tespit etme ve yakın bitkilerin yaptığı yüksek yansımaya belirleme özelliğine sahiptir. Kırmızı renk; klorofilin emilmesi nedeniyle (0.66 μm) bitkileri ayırt etme ve yerleşim sahası niteliklerini analiz etme, ölü yaprakların içerdiği kırmızı ve sarı renkteki pigmentlerin yaptığı yansıtmayı tespit edebilme özelliğine sahiptir.

İnsan gözü, güneş ışınlarını tek veya homojen bir renkte görmektedir. Aslında gördüğümüz renk elektromanyetik spektrumun ultraviyole, görünen ve infrared bölgelerinin yaydığı dalga uzunluklarından oluşmaktadır. Güneş ışınları bir prizmadan geçirildiğinde bu renkleri ayrı ayrı görmek mümkündür (Floyd ve Sabins, 1987).

Kızılötesi (Infrared): Infrared bölgesi elektromanyetik bölgenin 0.7-14 μm dalga uzunluğunda yer almaktadır. Yakın infrared bölgesi 0.72-1.1 μm aralığındadır. Yakın infrared bölgesindeki yansımalar bitkilerin analizinde, iğne ve yayvan yapraklı ağaçların ayırt edilmesinde ve kıyı haritacılığında kullanılmaktadır. Kısa dalga infrared bölgesi 1.1-3.0 μm aralığındadır. Kısa dalga infrared sudaki yağın belirlenmesinde ve bitkilerdeki nem miktarının belirlenmesinde kullanılır. Orta dalga

infrared bölgesi 3.0-5.0 μm aralığındadır ve dumana nüfuz etme özelliği vardır. Orta dalga infrared bacalardan çıkan ve yangınlardan kaynaklanan ısı yayılımını belirlemede kullanılır. Uzun dalga infrared 5.0-14.0 μm aralığındadır. Bazı bitkilerin yoğunluğunun ve örtü tipinin belirlenmesinde kullanılır.

Mikrodalga: 0.1-100 cm dalga uzunluğuna sahip olan mikrodalgalar son zamanlarda uzaktan algılama alanında da sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Mikrodalga bölgesi farklı gereksinimler için farklı bantlar içermektedir.

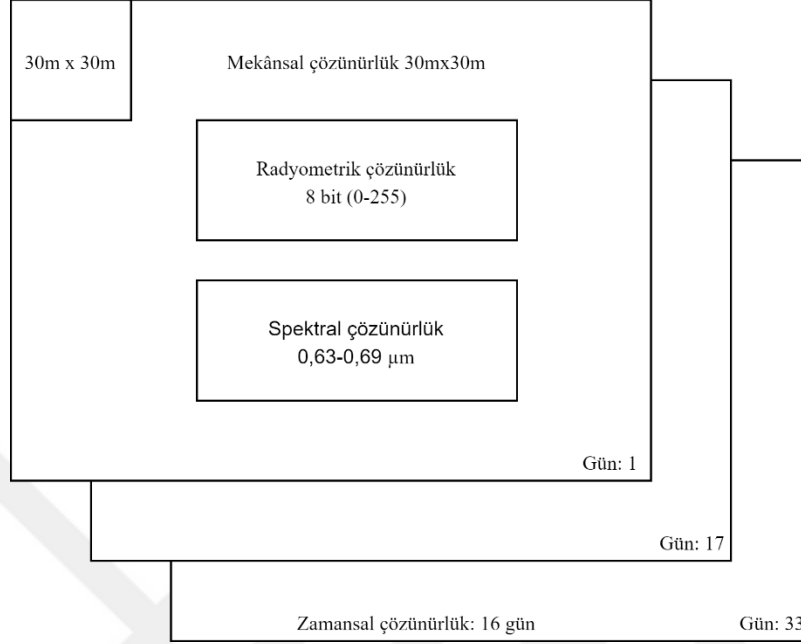
- P bandı (30-100 cm) NASA'nın deneysel araştırma sistemi olarak uçaklarda kullanılmaktadır.
- L bandı (15-30 cm) askeri uygulamalar ve cep telefonlarında kullanılır.
- S bandı (7.5-15 cm) navigasyon işaretleri ve optik iletişimde kullanılmaktadır.
- C bandı (3.75-7.5 cm) toz, kar, bulut ve sis gibi hava olaylarından etkilenmedikleri için uzun mesafeli telsiz iletişimde kullanılır.
- X bandı (25-37.5 mm) uydu haberleşmesi, radar ve uzay iletişimi alanlarında kullanılır.
- Ku bandı (16.7-25 mm) uydu haberleşmesinde ve kıyı alanlarında rüzgarın hızı ve yönünü tespit etmek için kullanılır.
- K (11.3-16.7 mm) ve Ka (5-11.3 mm) bandı uydu iletişimi, astronomik gözlem ve radar için kullanılmaktadır.

Radio dalgaları: Elektromanyetik spektrumda en büyük dalga boyuna (1 m-2 km) ve en küçük frekansa sahiptir. Hem şimşek, yıldırım ve güneş gibi doğada var olan kaynaklardan yayılmaktadır hem de çeşitli vericiler tarafından üretilmektedir.

3.1.4. Uzaktan algılamada çözünürlük

Uzaktan algılamada çözünürlük; görüntünün sağladığı potansiyel detaylar olarak tanımlanabilir. Uzaktan algılamada elde ettiğimiz verilerin kalitesini birbirinden farklı özelliklere sahip 4 farklı çözünürlük etkilemektedir. Bunlar; mekânsal, spektral,

radyometrik ve zamansal çözünürlük olarak adlandırılır. Uyduların çözünürlük özellikleri şematik olarak Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Landsat TM uydusunun 3. bandına ait 4 tip çözünürlük

- **Mekânsal çözünürlük:** Mekânsal çözünürlük, sensör tarafından algılanan görüntünün mekânsal detay derecesini gösterir. Bir diğer deyişle mekânsal çözünürlük görüntüyü oluşturan piksellerin boyutudur ve uzunluk ölçü birimleri ile ifade edilir. Mekânsal çözünürlüğün düşük olması hassasiyetin daha iyi olduğu anlamına gelir. Örneğin 5 metrelik mekânsal çözünürlük değeri 10 metrelik mekânsal çözünürlük değerine göre daha çok detay sağlamaktadır. Sensörler birbirinden farklı mekânsal çözünürlük değerine sahiptir. Yapılan projenin maliyeti ve zaman faktörleri göz önüne alınarak hangi sensörün yeterli olduğuna karar verilir. Mekânsal çözünürlük kendi arasında üçe ayrılır.

Düşük çözünürlüklü görüntüler; mekânsal çözünürlüğü 100 metre ve daha büyük olan görüntülerdir (MODIS, OrbView2 gibi). Genellikle ormancılık alanında genel bitki örtüsünü belirlemek için kullanılır. Orta çözünürlüklü görüntüler; mekânsal çözünürlüğü 10 ile 100 metre arasında olan görüntülerdir (Landsat 7 ETM, SPOT 5, ASTER gibi). Genellikle ulusal orman alanlarının belirlenmesinde veya bitki

örtülerinin izlenmesinde kullanılır. Yüksek çözünürlüklü görüntüler ise mekânsal çözünürlüğü 10 metrenin altında olan görüntülerdir (IKONOS, QUICKBIRD gibi). 1999 yılından beri kullanılan yüksek çözünürlüklü görüntüler; yüksek geometrik doğruluk, topoğrafik kayıklıkların olmaması ve yılın her zamanında veri temin edilebilmesi gibi avantajlardan dolayı pek çok alanda hava fotoğraflarının yerini almıştır.

• **Spektral (tayfsal) çözünürlük:** Spektral çözünürlük; sensörün elektromanyetik spektrumda kaydedebildiği belirli dalga boyu aralığını ifade etmektedir. Bir banttaki kaydedilen enerjinin dalga uzunlukları arasındaki mesafe geniş ise tayfsal çözünürlük düşük, dar ise tayfsal çözünürlük yüksektir. Örneğin; Landsat 7 uydusunun mavi bandı 0.45-0.52 μm , yeşil bandı 0.52-0.60 μm , kırmızı bandı 0.63-0.69 μm , NIR bandı 0.77-0.90 μm ve pankromatik (siyah-beyaz) bandı 0.52-0.90 μm dalga uzunluğunda algılama yapmaktadır. Burada pankromatik bandın dalga boyu aralığı diğer dört banttan daha geniş olduğu için pankromatik bandın spektral çözünürlüğü daha düşüktür.

• **Radyometrik çözünürlük:** Radyometrik çözünürlük; sensörün elektromanyetik enerjinin büyüklüğüne karşı duyarlılığını ifade etmektedir. Görüntü verisinin değerleri, sayısal numaralarla ifade edilmektedir. Bu numaralar ikili sayı sisteminde tanımlanır ve 2'nin kuvvetlerine "bit" adı verilir ($1 \text{ bit}=2^1=2$, $8 \text{ bit}=2^3=8$, $256 \text{ bit}=2^8=256$). Bit değeri ne kadar yüksekse verinin radyometrik çözünürlüğü o kadar yüksek demektir. Sensörler elektromanyetik enerjiyi sahip oldukları bit değerleri arasında ölçmektedir. Örneğin 8 bitlik bir veride 256 farklı gri değeri olup; 0 (sıfır) değeri siyahı, 255 değeri de beyazı temsil etmektedir.

• **Zamansal çözünürlük:** Zamansal çözünürlük belirli bir alana yönelik sensörün algıladığı görüntünün sıklığını ifade etmektedir. Zamana bağlı değişimlerin izlenmesinde önemli bir faktör olan zamansal çözünürlük görüntüleme faaliyetleri arasındaki zamanı belirtmektedir. Örneğin Landsat uydusunun zamansal çözünürlüğü 16 gün, SPOT uydusunun çözünürlüğü 26 gün, NOAA AVHRR meteoroloji uydusu için 12 saattir.

3.1.5. Uydu sistemleri

Uydular uzayın bilinmeyen yerlerinin keşfi, televizyon yayını, internet ağının kontrolü, hava koşullarının takip edilmesi, yeryüzünün izlenmesi gibi farklı amaçlarla uzun yıllardır kullanılmaktadır. Uydu teknolojisinin temel fikri 1945 yılında Arthur C. Clarke tarafından ortaya atılmıştır. İlk uydu 4 Ekim 1957 yılında Sovyetler Birliği tarafından uzaya fırlatılan Sputnik 1 uydusudur. İlerleyen yıllarda hızlı bir şekilde gelişen uydu teknolojisi günümüzde çok sayıda uyuyla veri sağlamaya devam etmektedir. Günümüzde aktif olarak 576 tanesi ABD'ye ait olmak üzere 1000'den fazla uydu bulunmaktadır. Uzayda bulunan uyduları askeri amaçlı uydular, meteoroloji uyduları, iletişim ve yayın uyduları ve araştırma ve gözlem uyduları olmak üzere 4 ana başlık altında toplayabiliriz. Bu bölümde yalnızca Landsat ve Sentinel uydu sistemleri açıklanacaktır.

Araştırma ve gözlem uyduları; genellikle ziraat ve ormancılık alanında suların kirliliğinin tespitinde, orman ve tarım arazilerinin değişimlerinin izlenmesinde, bitki örtüsü takibinde, yeryüzü kaynaklarının tespitinde, şehir planlama ve harita üretiminde, yangın, sel, çığ, buzul hareketliliği gibi doğal ve yapay afetlerin takip edilmesinde kullanılmaktadır.

•LANDSAT uydu sistemi

Yeryüzündeki doğal kaynakların izlenmesi için ilk olarak 1972 yılında uzaya fırlatılmıştır. Bu uydu yaklaşık 6 yıl görev yapmış ve 300 bin yeryüzü görüntüsü çekmiştir. Daha sonra 4 adet Landsat uydusu daha yörüngeye oturtulmuştur. İlk kuşak Landsat programı üç uydudan oluşmaktadır (Landsat1, 2, 3). Bu uydular Return Beam Vidicon (RBV) kamera ve Multispectral Scanner System (MSS) sensörleriyle donatılmışlardır. İkinci kuşak olan Landsat uyduları 1982'de Landsat 4 ile başlamış ve bu uydularda RBV yerine Thematic Mapper (TM) isimli bir cihaz kullanılmıştır (Çizelge 3.1). 1993 yılında Landsat 6 uydusu düştükten sonra Landsat 7 geliştirilmiş TM ve MSS ile donatılarak Mart 1999'da fırlatılmıştır. Landsat 7 geliştirilmiş TM bandında standart 7 banda ek olarak 15 metre çözünürlüğe sahip pankromatik bant

(0.50-0.90 μm) bulunmaktadır. Ayrıca termal bandın çözünürlüğü de 60 metreye indirilmiştir (Çizelge 3.2). Son Landsat uydusu ise 11 Şubat 2013 tarihinde fırlatılmıştır. Yerden 705 kilometre yükseklikteki yörüngede dönen uydu bir turunu 16 günde tamamlamaktadır. Landsat 8 uydusunda; 2. kuşak Landsat uydularında bulunan TM ve MSS yerine Operational Land Imager (OLI) ve Thermal Infrared Sensör (TIRS) algılayıcıları kullanılmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.1. Landsat 1-5 uydu özellikleri

Landsat 1-5 MSS				Landsat 4-5 TM		
Şerit Genişliği (km)		170 x 185		Şerit Genişliği (km)		170 x 183
Radyometrik Çözünürlük (bit)		6		Radyometrik Çözünürlük (bit)		8
Landsat 1-3	Landsat 4-5	Dalga Boyu (μm)	Çözünürlük (m)	Landsat 4-5	Dalga boyu (μm)	Çözünürlük (m)
Bant 4	Bant 1	0.5-0.6	60	Bant 1	0.45-0.52	30
Bant 5	Bant 2	0.6-0.7	60	Bant 2	0.52-0.60	30
Bant 6	Bant 3	0.7-0.8	60	Bant 3	0.63-0.69	30
Bant 7	Bant 4	0.8-1.1	60	Bant 4	0.76-0.90	30
				Bant 5	1.55-1.75	30
				Bant 6	10.4-12.5	120(30)
				Bant 7	2.08-2.35	30

Çizelge 3.2. Landsat 7 uydu özellikleri

Landsat 7 ETM+		
Şerit Genişliği (km)		170 x 183
Radyometrik Çözünürlük (bit)		8
Landsat 7	Dalga Boyu (μm)	Çözünürlük (m)
Bant 1	0.45-0.52	30
Bant 2	0.52-0.60	30
Bant 3	0.63-0.69	30
Bant 4	0.77-0.90	30
Bant 5	1.55-1.75	30
Bant 6	10.4-12.5	120(30)
Bant 7	2.08-2.35	30
Bant 8	0.52-0.90	15

Çizelge 3.3. Landsat 8 uydu özellikleri

Landsat 8 OLI-TIRS		
Şerit Genişliği (km)	170 x 183	
Radyometrik Çözünürlük (bit)	12	
Landsat 8	Dalga Boyu (μm)	Çözünürlük (m)
Bant 1	0.43-0.45	30
Bant 2	0.45-0.51	30
Bant 3	0.53-0.59	30
Bant 4	0.64-0.67	30
Bant 5	0.85-0.88	30
Bant 6	1.57-1.65	30
Bant 7	2.11-2.29	30
Bant 8	0.50-0.68	15
Bant 9	1.36-1.38	30
Bant 10	10.6-11.19	100
Bant 11	11.50-12.51	100

• SENTINEL uydu sistemi

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) Copernicus programının operasyonel ihtiyaçları için Sentinel uydusunu geliştirmiştir. Her Sentinel programı, Copernicus servisleri için tam bir veri seti sağlaması ve tam bir kapsam sağlaması sebebiyle iki uydudan oluşan bir bileşke şeklinde dizayn edilmiştir.

Sentinel 1 misyonu, hava koşullarından bağımsız olarak görüntüleme yapan C grubu sentetik açıklıklı radar ile gündüz ve gece çalışan iki kutup yörüngeli uydudan oluşur. Sentinel-1 ESA'nın Copernicus programı için geliştirdiği beş misyondan ilkidir ve ekvatorda 6 gün zamansal çözünürlüğe sahiptir. Sentinel-1A uydusu 3 Nisan 2014 ve Sentinel-1B uydusu 25 Nisan 2016 da fırlatılmış 1C ve 1D uydularının ise 2020'den sonra fırlatılması planlanmaktadır. Sentinel 2 misyonu, aynı yörüngeye yerleştirilmiş birbirine 180 derecede fazlanmış iki kutup yörüngeli uydudan oluşur. Sentinel-2; arazi yüzey koşullarındaki değişikliği, geniş ekili alanların takibini yapmayı mümkün kılar. 56° güney ve 84° kuzey enlemleri arasında taramalar yapmaktadır. Zamansal çözünürlüğü ekvatorda 10 gündür. Ancak sistemde 2 adet uydu olduğu için her 5 günde bir aynı yer görüntülenmektedir. 45° enleminde ise 3 günlük zamansal çözünürlüğe sahiptir. Sentinel-2A uydusu 23 Haziran 2015, Sentinel-2B uydusu ise 7 Mart 2017 tarihinde fırlatılmıştır. Sentinel-2 uydusunun teknik

özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Sentinel-3 misyonunun temel amacı, deniz yüzey topografyası, deniz ve kara yüzey sıcaklığı ile okyanus ve kara yüzey rengini, okyanus alan tahmini, çevresel izleme ve iklim izlemesini desteklemek için yüksek doğruluk ve güvenilirlikle ölçmektir. Sentinel-4 misyonunun temel amacı ise yüksek mekânsal çözünürlükte ve hızlı bir tekrar ziyaret süresiyle Avrupa'daki hava kalitesi iz gazlarını ve aerosollerini izlemektir. Sentinel-5 misyonu, ultraviyole ile kısa dalga arasındaki kızılötesi aralığında 7 farklı spektral bantla çalışan yüksek çözünürlüklü spektrometre sisteminden oluşur: UV-1 (270-300 μ m), UV-2 (300-370 μ m), VIS (370-500 μ m), NIR-1 (685-710 μ m), NIR-2 (745-773 μ m), SWIR-1 (1590-1675 μ m) ve SWIR-3 (2305-2385 μ m). Cihaz MetOp-SG A uydusunda taşınacaktır.

Çizelge 3.4. Sentinel-2 uydu özellikleri

SENTINEL-2		
Radyometrik Çözünürlük (bit)		8
Sentinel-2	Dalga Boyu (μ m)	Çözünürlük (m)
Bant 1- Kıyı Aerosolü	0.443	60
Bant 2- Mavi	0.49	10
Bant 3- Yeşil	0.56	10
Bant 4- Kırmızı	0.665	10
Bant 5- Kırmızı Kenar (Red Edge)	0.705	20
Bant 6- Kırmızı Kenar (Red Edge)	0.74	20
Bant 7- Kırmızı Kenar (Red Edge)	0.783	20
Bant 8- Yakın Infrared (NIR)	0.842	10
Bant 8A- Kırmızı Kenar (Red Edge)	0.865	20
Bant 9- Su Buharı	0.945	60
Bant 10- Kısa Dalga Infrared (SWIR)	1.375	60
Bant 11- Kısa Dalga Infrared (SWIR)	1.610	20
Bant 12- Kısa Dalga Infrared (SWIR)	2.190	20

3.2. Bitki İndeksleri

Bitki örtüsü ve yoğunluğu; bitki, toprak ve iklim oluşumunda önemli göstergelerden biridir (Gündeş, 2007). Bitki örtüsü belirleme çalışmalarında hedef bölgedeki bitki örtüsünün karakteristik spektral özelliklerinin tespiti için uydular üzerinde bulunan orijinal spektral bantlar her zaman yeterli olmayabilir (Üstüner ve ark., 2016). Bu durumda uzaktan algılama çalışmalarında sıklıkla kullanılan bitki örtüsü indeksleri bitki örtüsünün karakteristik özelliklerinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır (Jackson ve Huete, 1991). Farklı uzaktan algılama çalışmaları için çok

fazla sayıda bitki indeksi modeli geliştirilmiştir. PVI (Perpendicular Vegetation Index), GEMI (Global Environment Monitoring Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index), OSAVI (Optimum Soil Adjusted Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index), GRVI (Green Ratio Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) bunlardan bazılarıdır.

Literatürdeki çalışmalardan da anlaşılacağı gibi farklı değerleri tespit etmek için farklı ve çalışmaya özgü indekslerin kullanılması sonuçların doğruluğunu artırmaktadır. Buğday alanlarının tespiti ve verim tahmini çalışmalarında NDVI ve SAVI indekslerinin diğer indekslere oranla daha başarılı oldukları önceki çalışmalarda belirtilmiştir.

3.2.1. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

NDVI bant aritmetiği, elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi ve kırmızı dalga boyundaki ışık değerlerinin birbirinden çıkarılıp daha sonra iki bandın toplamına bölünmesiyle elde edilir (Çelik ve Karabulut, 2017). NDVI ilk kez Rouse ve ark. (1974) tarafından kullanılmıştır. NDVI en çok kullanılan bitki indekslerindedir (Tucker ve ark., 1985) ve şu formülle hesaplanır (Viovy ve ark., 1992; Kalfas ve ark., 2011):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3.1)$$

Landsat uydusu için yakın kızılötesi değeri 5. bantta, kırmızı değeri ise 4.bantttadır. Sentinel uydusu için ise yakın kızılötesi değeri 8. bantta, kırmızı değeri 4.bantttadır.

NDVI “-1” ile “+1” arasında değerler alır. Bitki örtüsünün yeşil olduğu yerlerde indeks değeri +1’e, toprak, taşlık, kayalık gibi alanlarda NDVI değeri 0’a yakındır. Su, kar ve bulut gibi yüzeylerde ise NDVI değeri -1’e yaklaşır. 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).

3.2.2. SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)

SAVI indeksi de temel olarak NDVI'ya benzemektedir, ancak SAVI indeksinde 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. Terrill (1994) ise L parametresinin bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde 0 ya da 0'a çok yakın bir değer, bitki örtüsünün seyrek olduğu bölgelerde ise 1 ya da 1' yakın bir değer alması gerektiğini belirtmiştir. Bu indeks toprağın görülebildiği seyrek bitki örtüsü bulunan bölgelerde kullanılmaktadır. SAVI indeksi (3.2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$SAVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} \times (1 + L) \quad (3.2)$$

Çalışma alanındaki bitki örtüsü normal yoğunlukta olduğu için L=0.50 alınmıştır. NIR değeri Landsat uydusunda 5.bantta, Sentinel uydusunda 8.bantta bulunmaktadır. Kırmızı (Red) değeri ise her iki uyduda da 4.bantta bulunmaktadır.

3.2.3. GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)

GNDVI bitki örtüsü indeksi NDVI'dan farklı olarak görünür kırmızı dalga boyu yerine yeşil dalga boyunu kullanır. GNDVI fotosentez oranlarının ölçülmesinde ve bitki stresinin izlenmesinde kullanışlıdır (Gitelson, 2004). GNDVI (3.3) eşitliği ile hesaplanır.

$$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green} \quad (3.3)$$

Landsat uydusu için yakın kızılötesi değeri 5. bantta, yeşil değeri ise 3.banttadır. Sentinel uydusu için ise yakın kızılötesi değeri 8. bantta, kırmızı değeri 3.banttadır.

3.2.4. MSAVI 2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index)

Bitki örtüsünün yoğunluğuna göre SAVI değerindeki L faktöründe değişimler meydana gelmektedir. L faktörü 0 olduğu durumda SAVI değeri NDVI değerine eşit olmaktadır. Ancak, toprağın etkisine en uygun ayarın elde edilmesi için L arka plan ayar faktörünün mevcut bitki örtüsü miktarına göre değişmesi gerekir. Böylece değiştirilmiş SAVI (MSAVI2) indeksi elde edilir (Richardson and Wiegand, 1977). MSAVI2 (3.4) eşitliği ile hesaplanır.

$$MSAVI\ 2 = \frac{2xNIR + 1 - \sqrt{(2xNIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}}{2} \quad (3.4)$$

3.2.5. NDWI (Normalized Difference Water Index)

NDWI (Gao, 1996) NIR ve SWIR dalgalarından elde edilen ve yaprakların su içeriğindeki değişimine duyarlı bir indekstir. SWIR yansımaları bitkinin yaprağının fotosentez yapan kısmındaki (mezofil) değişimleri yansıtırken, NIR yansımaları yaprağın iç yapısından ve kuru madde içeriğinden etkilenir. NIR ile SWIR kombinasyonu bitki örtüsünün su içeriğinin belirlenmesinde kullanılır. NDWI2 (3.5) eşitliği ile hesaplanır (Ceccato ve ark., 2001).

$$NDWI2 = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (3.5)$$

3.3. Buğday Bitkisi

Buğday bitkisi insanlığın yerleşik hayatta tükettiği ilk gıda ürünlerinden biridir ve tarihi 8000 yıl öncesine dayanmaktadır. Günümüzde buğday bitkisi hem dünyada hem de ülkemizde diğer tahıllardan daha fazla yetiştirilmekte ve insanlar için önemli

bir tahıl kaynağı olmaya devam etmektedir (Curtis, 2002). Buğdaydan elde edilen un, bulgur, makarna, nişasta gibi ürünler insan beslenmesinde; buğday bitkisinin sapları kâğıt-karton sanayisinde ve hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır. Buğday bitkisinin hemen hemen her iklim koşulu için farklı türleri vardır.

3.3.1. Buğday çeşitleri

Türkiye bitki çeşitliliği bakımından çok zengin bir coğrafyada bulunmaktadır. Türkiye’de 3649’u (%31.82) endemik olmak üzere toplam 11707 bitki türü bulunmaktadır (Güner, 2012). Dünya nüfusunun beslenmesinde önemli bir yer tutan buğday ilk defa Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde kültüre alınmıştır ve başta Güneydoğu Anadolu Bölgesi olmak üzere tüm Türkiye’de buğdayın yabani akrabaları büyük çeşitlilik göstermektedir (Cabi ve Doğan, 2009; Karagöz ve Özberk, 2010; Cabi ve ark., 2010). Günümüzde iki tür buğdayın kültürü yapılmaktadır. Bunlar; hekzaploid ekmeklik buğday ve tetraploid set veya makarnalık buğday olarak sınıflandırılır. Türkiye’de önceden yabani formda bulunan buğday zamanla evrim geçirmiş veya birbirleriyle melezlenerek insan eliyle değiştirilmiştir. Türkiye’de günümüzde tarımı yapılan çok sayıda buğday çeşidi vardır. Bunlardan bazıları; siyez, makarnalık buğday, kaba buğday, doğu buğdayı, rus buğdayı, kavuzlu buğday, dallı buğday, ekmeklik buğday ve cüce buğdaydır (Kün, 1981).

Buğday çeşitliliği bölgeden bölgeye de değişiklik göstermektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde daha çok makarnalık buğday yetiştirilmektedir. Bölgede, 1946 yılında %67 ve 1954 yılında %61 oranında makarnalık buğday yetiştirilmiştir. Trakya ve Marmara bölgesi 1950’li yıllarda kaliteli makarnalık buğday alanyken günümüzde üretim büyük ölçüde ekmeklik buğdaya dönmüştür. Karadeniz ve Ege bölgelerinde ise makarnalık ve ekmeklik buğday dağılımı yaklaşık eşittir. Akdeniz bölgesinde de yarı yarıya kırmızı ve beyaz taneli makarnalık buğday yetişmektedir (Özberk ve ark., 2016).

3.3.2. Buğday bitkisinin iklim istekleri

Buğday, geniş bir adaptasyon yeteneğine sahip olmasına rağmen aşırı sıcak ve nemden hoşlanmayan bir serin iklim tahılıdır (Boydaş ve Turgut, 2009). Buğday bitkisi dünya üzerinde en fazla 30°- 60° kuzey ve 27°- 40° güney enlemlerinde yetiştirilmesine rağmen, Kuzey kutbundan ekvator yakınındaki noktalara kadar yetiştirilebilir. Uluslararası Mısır ve Buğday Geliştirme Merkezi (CIMMYT) tarafından son 20 yılda (Saunders ve Hettel, 1994) yapılan geliştirme araştırması, daha sıcak alanlarda buğday üretiminin teknolojik olarak mümkün olduğunu göstermiştir. Büyümenin ilk aşamasında hava sıcak ve nemli, daha sonraki aşamalarda ise güneşli ve kuru olmalıdır. Buğday için en iyi büyüme sıcaklığı minimum 3 °C ile 4 °C ve maksimum 30 °C ile 32 °C arasındadır. Ortalama olarak 25 °C buğday bitkisi için ideal büyüme sıcaklığıdır (Briggle, 1980). Buğday bitkisi gelişiminin ilk evrelerinde (çimlenme-kardeşlenme) 8-10 °C sıcaklık ve bağıl nemin en az %60 olması beklenir. Kardeşlenme ve sapa kalkma evreleri arasında da fazla sıcaklık gerekmez. 10-15 °C sıcaklık, %65 nem ve yarı kapalı havalar uygundur. Sapa kalkma ile sıcaklık ve nem isteği artar. Olgunlaşma döneminin hemen öncesinde bağıl nemin yüksek olması buğday verimini olumlu yönde etkiler. Döllenme ile birlikte düşük nem ve yüksek sıcaklık tanenin kalitesini artırır (Boydaş ve Turgut, 2009). Buğday için ideal yağış miktarı 375 ile 875 aralığında olsa da yıllık yağışın 250-1750 mm olduğu çoğu yerde buğday yetiştirilebilir (Leonard ve Martin, 1963). Buğday bitkisi her türlü toprakta yetişmektedir. Ancak genellikle derin, killi ve humus miktarı yüksek olan topraklarda daha fazla verim elde edilmektedir.

3.3.3. Buğday bitkisinin fenolojik evreleri

Bitki büyüme ve gelişiminin sağlıklı bir şekilde anlaşılması, modern buğday yönetim sistemlerinin temel unsurlarındandır. Gübre, sulama ve ilaçlama zamanlarının optimum bir şekilde planlanması için buğdayın gelişim evrelerinin net bir şekilde belirlenmesi ve takviminin çıkartılması gerekmektedir. Buğday bitkisinin yaşam döngüsü dört ana başlıkta toplanabilir.

• Çimlenme ve fide aşaması

Çimlenme, hasat sonrası uyku süresini bitiren bir buğday çekirdeği tarafından su alımı ile başlar. Çimlenme aşamasında buğday tohumlarının çimlenebilmesi için yeterli sıcaklık ve neme ihtiyaç duyulur. Buğday tohumlarının çimlenme aşamasındaki optimum sıcaklık 12.22 °C-25 °C (54 °F-77 °F) arasındadır. Uygun koşullar altında, fide ortaya çıkması genellikle yedi gün içinde gerçekleşir. Fide aşaması ilk yaprağın ortaya çıkması ile başlar ve bitkinin tepesi genellikle üçüncü yapraktan sonra belirginleşir.

• Kardeşlenme ve kök uzaması

Taç oluşumundan kısa bir süre sonra filizler ortaya çıkar ve taç kök sistemi gelişir. Taç kök sistemi, bitkinin büyüme mevsimi boyunca bitkisine besin ve su sağlar. Buğday bitkisi bu aşamadan sonra kök uzatma aşamasında başlar. Çoğu kısa mevsim buğdayı, kök uzamasından önce sap üzerinde 7-8 yaprak üretir.

• Başağa kalkma (sapa kalkma) ve çiçeklenme

Bu aşama buğday başağının tamamen gövdeden çıktığı aşamadır. Bu aşamadan sonra bitki büyümeye ve çiçeklenmeye başlar. Çiçeklenme normal şartlar altında üç ile beş gün arasında değişir. Çiçeklenme sırasında yüksek sıcaklık ve kuraklık tane verimini azaltır.

• Olgunlaşma

Çiçeklenme evresinden sonra olgunlaşma aşaması başlar. Olgunlaşma dört aşamada gerçekleşir: süt (milk), yumuşak hamur (soft dough), sert hamur (hard dough) ve son olarak olgunlaşır. Bu sırada buğday bitkisi saman rengine döner ve tane çok sertleşir.

3.4. Çalışma Alanı

Bu tez çalışmasında inceleme alanı olarak Şanlıurfa ili Ceylanpınar ilçesinde bulunan TİGEM arazisi seçilmiştir (Şekil 3.3). Verim tahmini için TİGEM'in belirlediği 5 kuru 5 sulu olmak üzere toplam 10 parsel kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Çalışma alanı

TİGEM; tarım ve tarıma dayalı sanayi için tohumluk, damızlık ve hammadde üretmek ve gen kaynaklarını koruma misyonuyla hareket eden bir devlet kuruluşudur. TİGEM Türkiye'nin değişik bölgelerine dağılmış olan 37 işletmesinden yirmi tanesini uzun süreli kiraya vermiş olup geriye kalan 17 işletmenin faaliyetlerini kendisi yürütmektedir.

Ceylanpınar işletmesini diğer işletmelerden ayıran en büyük özellik arazi büyüklüğüdür. TİGEM'in kendisinin işlettiği bölgelerin toplam alanı yaklaşık 3.3 milyon dekadır. Ceylanpınar'daki işletmenin alanı ise 1.6 milyon dekadır. Yani Ceylanpınar ilçesindeki TİGEM arazisi Türkiye üzerine yayılmış diğer 16 işletmenin alanlarının toplamına eşittir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. TİGEM arazi alanları

Arazi Türü	Ceylanpınar-Şanlıurfa arazileri (da)	Tüm TİGEM arazileri (da)
Tarla arazisi	966 436	2 039 362
Tabii mera arazisi	404 433	629 829
Bahçe arazisi	64 512	120 245
Kültür altı arazi toplamı	1 435 381	2 789 436
Kültür dışı arazi	198 481	485 637
Sulanan arazi	696 568	942 499
Toplam arazi	1 633 862	3 275 073

3.5. Kullanılan Veriler

3.5.1. Parsel verimleri

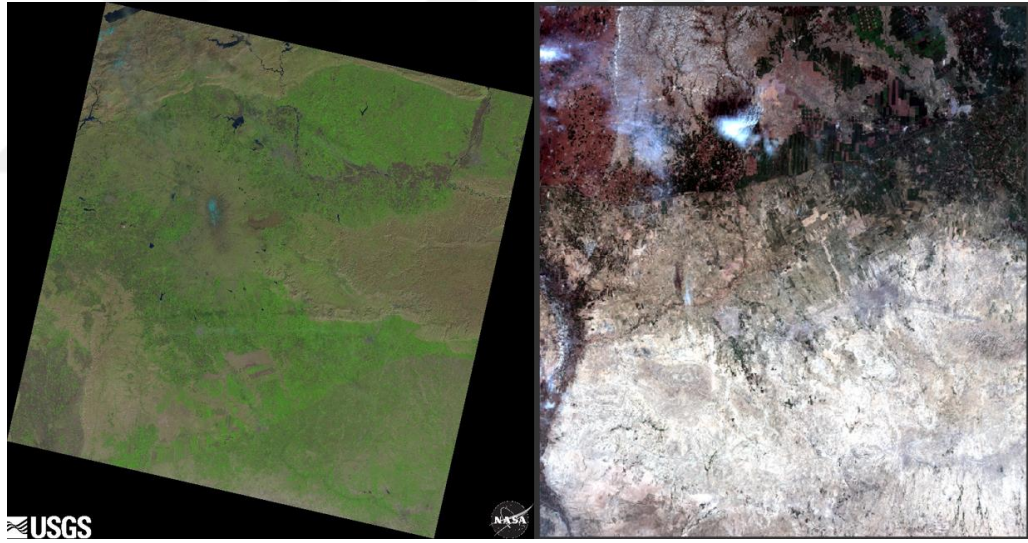
Çalışma alanında TİGEM yetkililerinin uygun gördüğü parsellere ilişkin verim ve yağış değerleri TİGEM ile yapılan yazışmalar sonucu elde edilmiştir. Çalışma alanına ait meteorolojik veriler Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Çalışma alanına ait parsel verimleri

CEYLANPINAR TİGEM YILLARA GÖRE PARSEL VERİMLERİ										
SULU TARIM ARAZİSİ										
YILLAR	1 Nolu Parsel		17 Nolu Parsel		32 Nolu Parsel		36 Nolu Parsel		47 Nolu Parsel	
	Verim (kg/da)	Yağış (mm)	Verim (kg/da)	Yağış (mm)	Verim (kg/da)	Yağış (mm)	Verim (kg/da)	Yağış (mm)	Verim (kg/da)	Yağış (mm)
2015-2016	496.9	301.5	MERCİMEK	301.5	MERCİMEK	301.5	MERCİMEK	301.5	MERCİMEK	301.5
2016-2017	MERCİMEK	189.0	627.0	189.0	411.0	189.0	397.0	189.0	532.8	189.0
2017-2018	506.2	277.0	558.4	277.0	403.1	277.0	371.8	277.0	445.0	277.0
KURU TARIM ARAZİSİ										
YILLAR	350 Nolu Parsel		361 Nolu Parsel		207 Nolu Parsel		354 Nolu Parsel		333 Nolu Parsel	
	Verim (kg/da)	Yağış (mm)	Verim (kg/da)	Yağış (mm)	Verim (kg/da)	Yağış (mm)	Verim (kg/da)	Yağış (mm)	Verim (kg/da)	Yağış (mm)
2015-2016	285.6	285.5	359.9	285.5	NADAS	239.5	161.0	252.5	NADAS	313.5
2016-2017	NADAS	249.0	NADAS	249.0	167.3	189.0	NADAS	182.0	249.6	231.0
2017-2018	125.1	257.0	46.6	257.0	NADAS	229.0	37.3	161.0	NADAS	230.0

3.5.2. Uydu görüntüleri

TİGEM arazisinde belirlenen buğday tarlalarının izlenmesi için uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Çalışmada; Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA: National Aeronautics and Space Administration) ve Amerika Yerbilimsel Araştırma Kurumu (USGS: United States Geological Survey) iş birliğiyle ücretsiz olarak internet üzerinden sağlanabilen Landsat-8 ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA: European Space Agency) tarafından geliştirilen ve internet üzerinden ücretsiz olarak yayınlanan Sentinel-2A uydu verileri kullanılmıştır (Şekil 3.4). İki uydu verisinin birlikte kullanılmasının asıl sebebi; daha sık aralıklı uydu verileri kullanarak buğdayın fenolojik evrelerinin ve bitki gelişim süreçlerinin daha hassas bir şekilde incelenmesidir. Ayrıca çalışmada iki uydu verisi kullanılarak bulutlu havaların fazla olduğu aylarda bulutsuz görüntülerin elde edilme ihtimalini artırmaktır.



Şekil 3.4. Çalışma alanını kapsayan örnek Landsat (a) ve Sentinel (b) görüntüsü

2015-2016, 2016-2017 ve 2017-2018 sezonlarında buğday bitkisinin ekiminden hasatına kadar gözlemlenebilmesi için her üç yılın Aralık ve haziran ayları arasında 34 adet Landsat-8, 49 adet ise Sentinel-2A/2B olmak üzere toplam 83 adet uydu görüntüsü indirilmiştir. İndirilen uydu görüntülerinden çalışma alanı üzerinde bulut olmayan ve tarlaların net bir şekilde görülebildiği görüntüler seçilerek 8 adet Landsat-

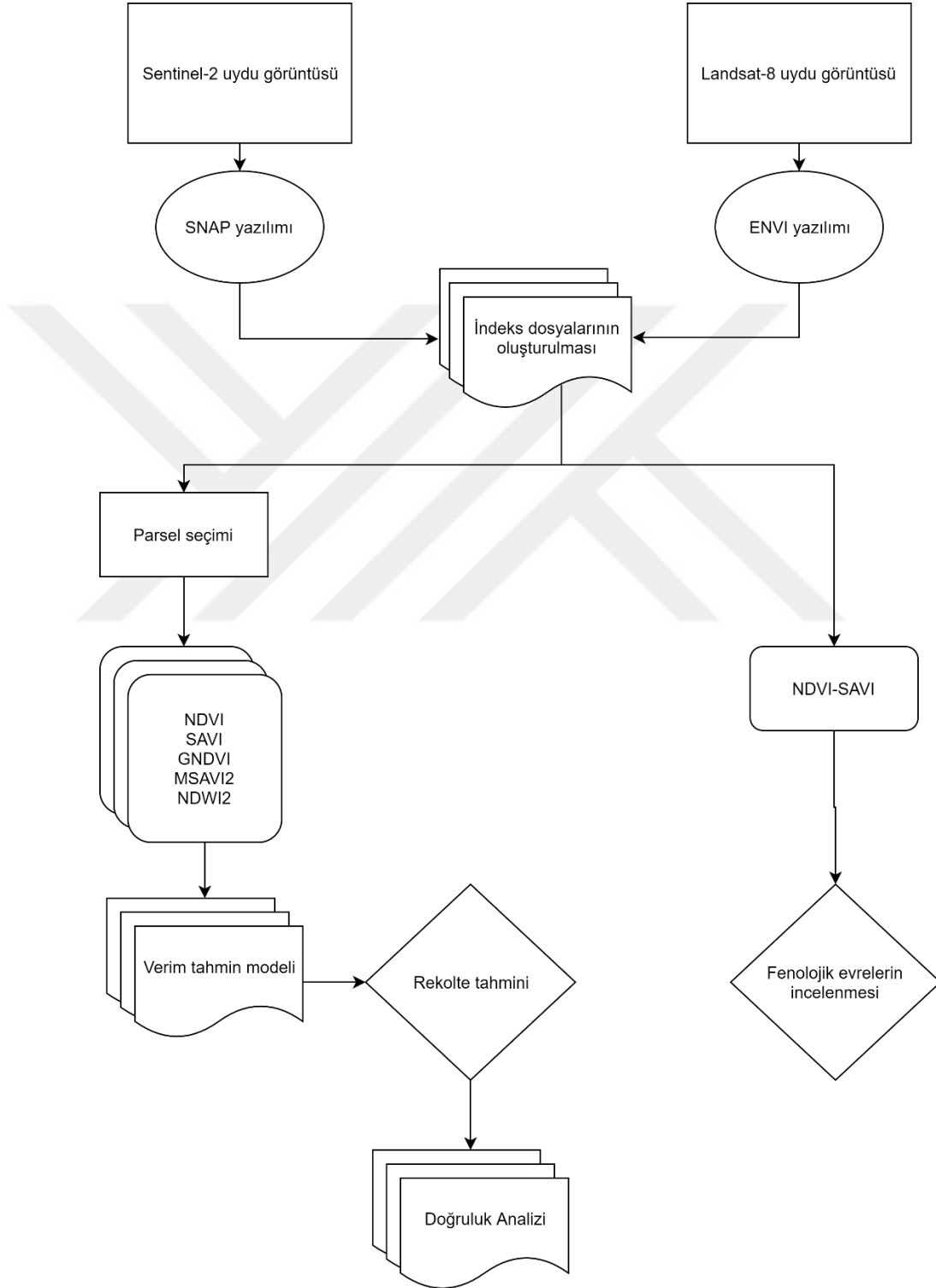
8 ve 33 adet Sentinel-2A/2B uydu görüntüsü çalışmanın ilerleyen aşamalarında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan görüntülerin tarihleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Kullanılan uydu görüntü tarihleri

	2015-2016	2016-2017	2017-2018
ARALIK	05.12.2015 19.12.2015 (L) 25.12.2015	09.12.2016	04.12.2017 08.12.2017 (L) 14.12.2017
OCAK		08.01.2017 18.01.2017	09.01.2018 (L) 13.01.2018
ŞUBAT		07.02.2017 17.02.2017 23.02.2017 (L)	02.02.2018
MART	08.03.2016 (L) 24.03.2016		19.03.2018
NİSAN	23.04.2016	28.04.2017	08.04.2018 13.04.2018 23.04.2018
MAYIS	03.05.2016	08.05.2017 14.05.2017 (L) 30.05.2017 (L)	18.05.2018 23.05.2018
HAZİRAN	02.06.2016 12.06.2016 22.06.2016 28.06.2016 (L)	07.06.2017 17.06.2017 27.06.2017	07.06.2018 12.06.2018 17.06.2018 22.06.2018 27.06.2018

3.6. Yöntem

Çalışmanın işlem adımları Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. İş akış şeması

3.6.1. Uydu görüntülerinin indirilmesi

NASA ve USGS tarafından ücretsiz olarak paylaşılan Landsat 8 uydu verileri Amerika Yerbilimsel Araştırma Kurumu resmî sitesinden indirilmiştir. İndirme işlemi yapılırken arama kriterlerinde yörünge/satır (path/row) değeri 172/34 ve veri seti olarak da “Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1” seçilmiştir.

ESA tarafından ücretsiz paylaşılan Sentinel-2A uydu verileri ise Avrupa Uzay Ajansı'nın resmî sitesinden indirilmiştir. İndirme işleminde uydu platformu olarak “S2A_*” ve “S2B_*” seçilmiştir. Daha sonra çalışma alanı harita üzerinden belirlenmiştir. Çalışma alanının tamamını kapsayan tek bir uydu görüntüsü yoktur bu yüzden çalışma alanını içine alan iki görüntü indirilmiştir.

3.6.2. Uydu görüntülerinin işlenmesi

Sentinel-2A uydu verileri SNAP (Sentinels Application Platform) yazılımında her tarih için görüntüler ayrı ayrı açılarak NDVI, SAVI, GNDVI, MSAVI2 ve NDWI dosyaları üretilmiştir. Üretilen dosyalar ENVI (Exelis Visual Information) formatında kaydedilmiştir. Landsat 8 görüntüleri ise direkt olarak ENVI yazılımında açılarak aynı denklemler kullanılarak indeks dosyaları üretilmiştir.

3.6.3. Fenolojik evrelerin incelenmesi

NDVI ve SAVI indeks dosyalarında çalışma alanımızda bulunan ve verim değerlerini bildiğimiz 10 adet parsel (1, 17, 32, 36, 47, 207, 333, 350, 354 ve 361 numaralı parseller) piksel bazlı olarak ayrı ayrı seçilmiş ve kaydedilmiştir (Şekil 3.6). Parsel sınırlarındaki NDVI ve SAVI değerleri doğru sonuçlar vermeyeceği için pikseller parsel sınırlarından belli bir miktar içeriden alınmıştır. Buğday bitkisi her yıl ekilmeye uygun bir bitki olmadığı için yalnızca ekimin yapıldığı sezonlara ilişkin gelişim dönemleri incelenmiştir.



Şekil 3.6. Parsellerin uydu görüntüsü üzerinden seçimi

Daha sonra ENVI yazılımında her bir parsele ait NDVI ve SAVI histogramları oluşturulmuş ve sayısal olarak dışarıya aktarılmıştır. Aktarılan veriler içinde ilgisiz indeks değerlerine sahip pikseller ayıklanmıştır. Bu işlem belirlenirken her parcel için mevcut piksel sayısındaki indeks değerlerine bakılmıştır ve piksel sayısının %5 i kadar piksel elenmiştir. Eleme işlemi indeks değerinin alt ve üst sınırından alınmıştır. Geriye kalan indeks değerleri yardımıyla ağırlıklı ortalama indeks değeri bulunmuştur. Ağırlıklı indeks değeri (3.6) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Ağırlıklı ortalama indeks değeri} = \frac{\text{İndeks değeri} \times \text{piksel sayısı}}{[\text{piksel sayısı}]} \quad (3.6)$$

Ağırlıklı indeks değeri hem NDVI hem de SAVI indeksi için her bir parselde ve tüm tarihlere ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen ağırlıklı ortalama indeks değerleri

ile fenolojik evrelerdeki ortalama NDVI ve SAVI değerleri yıl ve parsel bazlı olarak karşılaştırılmıştır.

3.6.4. Verim tahmin modelinin kurulması

Bitki örtüsü indeksi değerlerinin (NDVI ve SAVI) yıl içerisinde zirve yaptığı tarih başağa kalkma ve çiçeklenme aşamasıdır. Bitki; başağa kalkma ve çiçeklenme aşamasında en yeşil formuna sahip olacağı için NDVI ve SAVI oranları diğer tarihlere göre daha yüksektir. Çalışmada verim modeli kurulurken çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrası yansıtım değerleri ayrı ayrı değerlendirilmiş ve her bir aşamanın verimle olan ilişkisi incelenmiştir. Bunun için bu tarihlerdeki indeks değerlerinin %5'lik kısmı atıldıktan sonra geriye kalan değerlerin ağırlıklı ortalamaları alınmıştır. Her bir parselde ait ortalama değerler sezondaki verim miktarı ile eşleştirilmiş ve bu iki değişken arasında doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Verim tahmin modeli (3.7) eşitliği ile bulunmuştur.

$$\text{Verim tahmini} = a \times \text{Bitki İndeksi} + b \quad (3.7)$$

Verim tahmin modeli kurulurken buğday bitkisinin ekili olduğu tarlalar değerlendirmeye alınmıştır. Verim tahmin modelinin doğruluğunu etkilememesi için nadasa bırakılan ve mercimek ekilen tarlalar veri kümesinden çıkarılmıştır.

İki ya da daha fazla değişken arasındaki doğrusal ilişki korelasyon olarak ifade edilir. Basit korelasyon analizi sonucunda iki değişken arasında doğrusal ilişki olup olmadığı ve varsa bu ilişkinin derecesi Pearson korelasyon katsayısıyla hesaplanır. Korelasyon katsayısı "r" ile gösterilir ve -1 ile +1 arasında değerler alır. Korelasyon katsayısı r= -1 ise tam negatif doğrusal ilişki, r= +1 ise tam pozitif doğrusal ilişki vardır. Korelasyon katsayısı r=0 ise iki değişken arasında ilişki yoktur (Benesty ve ark., 2009).

- $r < 0.2$ ise çok zayıf ilişki ya da korelasyon yok
- $0.2-0.4$ arasında ise zayıf korelasyon
- $0.4-0.6$ arasında ise orta şiddette korelasyon
- $0.6-0.8$ arasında ise yüksek korelasyon
- $0.8 >$ ise çok yüksek korelasyon olduğu yorumu yapılır.

Korelasyon katsayısı (3.8) eşitliği ile hesaplanır.

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (3.8)$$

Değişkenlerden birindeki değişimin ne kadarının diğer değişken tarafından açıklandığını belirten değere determinasyon katsayısı denir. Determinasyon katsayısı korelasyon katsayısının karesi alınarak hesaplanır ve 0 ile 1 arasında değer alır. Determinasyon katsayısı $r^2 = 0$ 'a yakınsa açıklama oranı zayıf, $r^2 = 1$ 'e yakınsa açıklama oranı yüksektir.

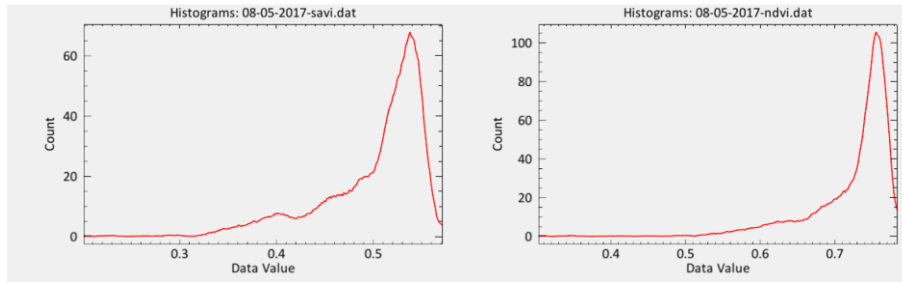
Çalışma sonucunda oluşturulan modelin verilerle uyumunu test etmek için korelasyon katsayısı (r) ve determinasyon katsayısı (r^2) değerleri hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

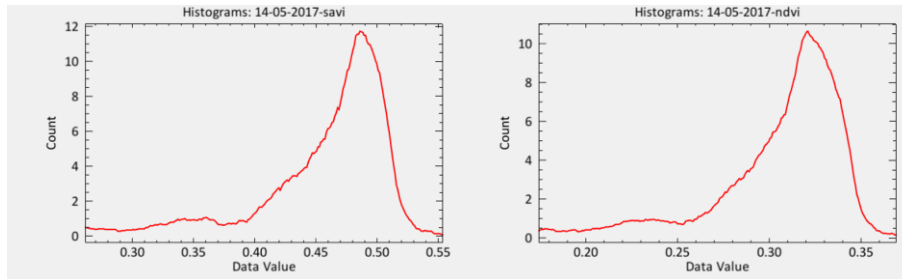
4.1. Fenolojik Evrelerin Belirlenmesi

Tarla bitkilerinin ürün gelişim aşamalarının izlenmesi; bitkinin sıcaklık, nem ve yağış gibi faktörlerden ne şekilde etkilendiği, olası böcek hastalıklarının tespiti, sulama ve gübre miktarlarının yeterli olup olmadığı gibi birçok faktörün sayısal olarak izlenmesi ve gerekli durumlarda müdahale edilebilmesi için önemlidir. Bitkilerin gelişim süreçleri uydu görüntülerinden elde edilen bitki örtüsü indeksleri ile sayısal olarak tespit edilebilmekte ve oluşturulan grafikler yardımıyla analizi yapılan tarlaya ilişkin yorum yapmak mümkün olmaktadır.

Fenolojik evrelerin incelenmesi için ilk olarak ekimden hasada kadar olan süreçteki kullanılabilir tüm uydu görüntülerinden NDVI ve SAVI değerlerinin histogramları ENVI yazılımında üretilmiş ve oluşturulan histogramlardan hem kuru tarım hem de sulu tarım için NDVI ve SAVI indekslerinden bazı örnekler Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sulu tarım için örnek SAVI ve NDVI histogramı

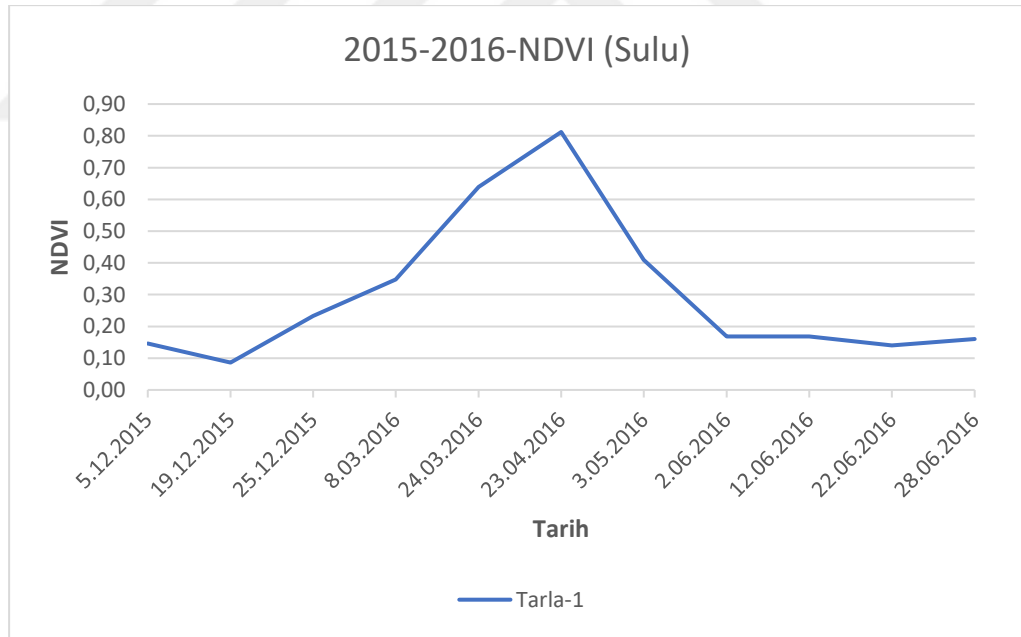


Şekil 4.2. Kuru tarım için örnek SAVI ve NDVI histogramı

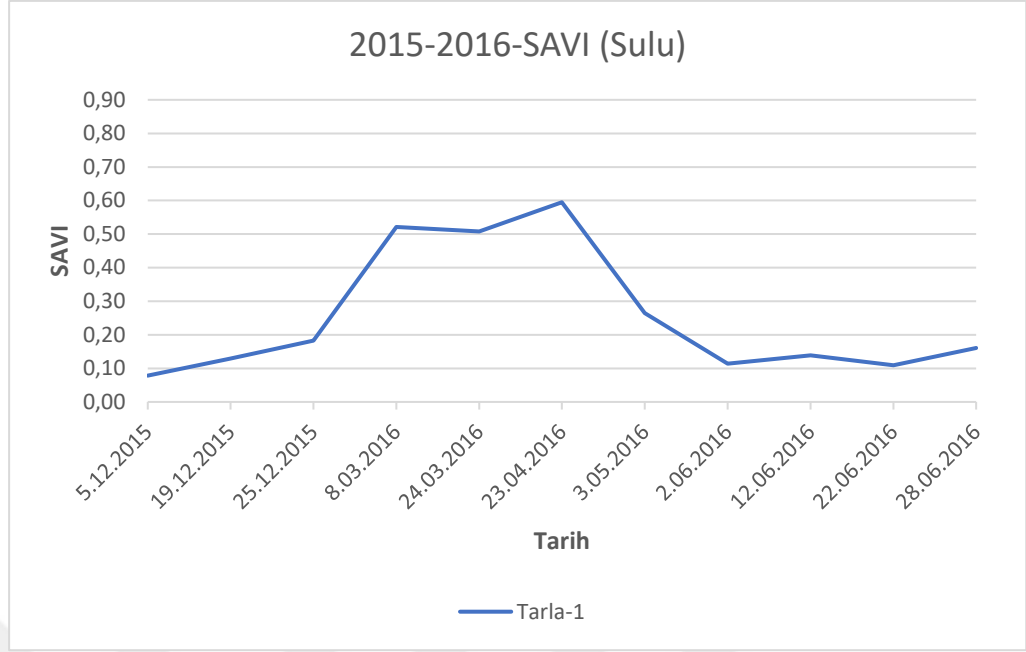
Daha sonra üretilen histogram değerlerinin sayısal halleri programdan çıktı olarak alınmış ve arazideki normal dağılıma uymayan indeks değerleri (piksel sayısının %5'i kadar) veri kümesinden çıkarılmıştır. Geriye kalan normal dağılıma uygun indeks değerlerinin ağırlıklı ortalamaları alınarak 'ortalama NDVI' ve 'ortalama SAVI' değerleri elde edilmiştir. Ortalama NDVI ve SAVI değerleri hem kuru ve sulü tarım yapılan alanlar için hem de birleşik halde her yıl ayrı ayrı grafik şeklinde oluşturulmuştur.

4.1.1. 2015-2016 sezonu

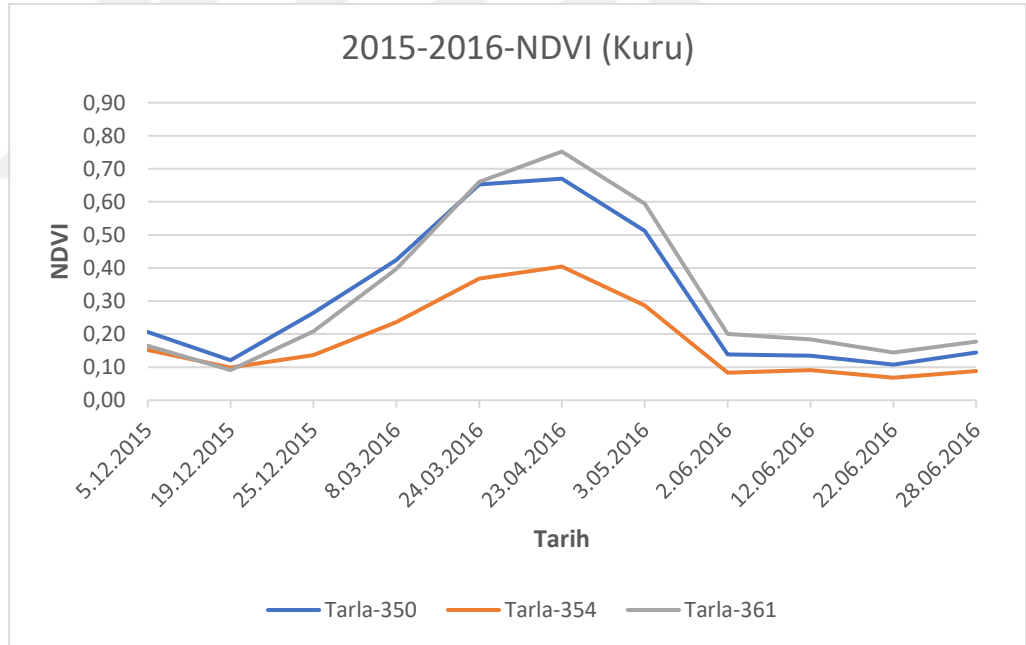
2015-2016 yılında buğday ekilmiş olan; sulü tarım yapılan 1 tarla (1 numaralı), kuru tarım yapılan 3 tarla (350, 354 ve 356 numaralı) bulunmaktadır. Sulü ve kuru parsellere ilişkin NDVI ve SAVI değişim değerleri Şekil 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.



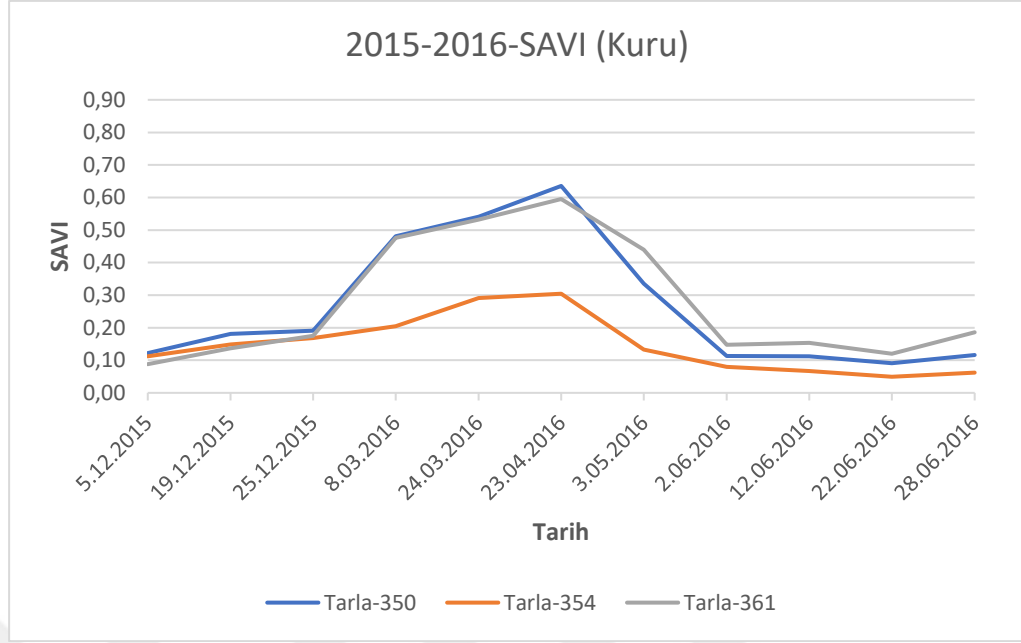
Şekil 4.3. 2015-2016 sezonu sulü parsellere ait NDVI grafiğı



Şekil 4.4. 2015-2016 sezonu sulu parsellere ait SAVI grafiği



Şekil 4.5. 2015-2016 kuru parsellere ait NDVI grafiği

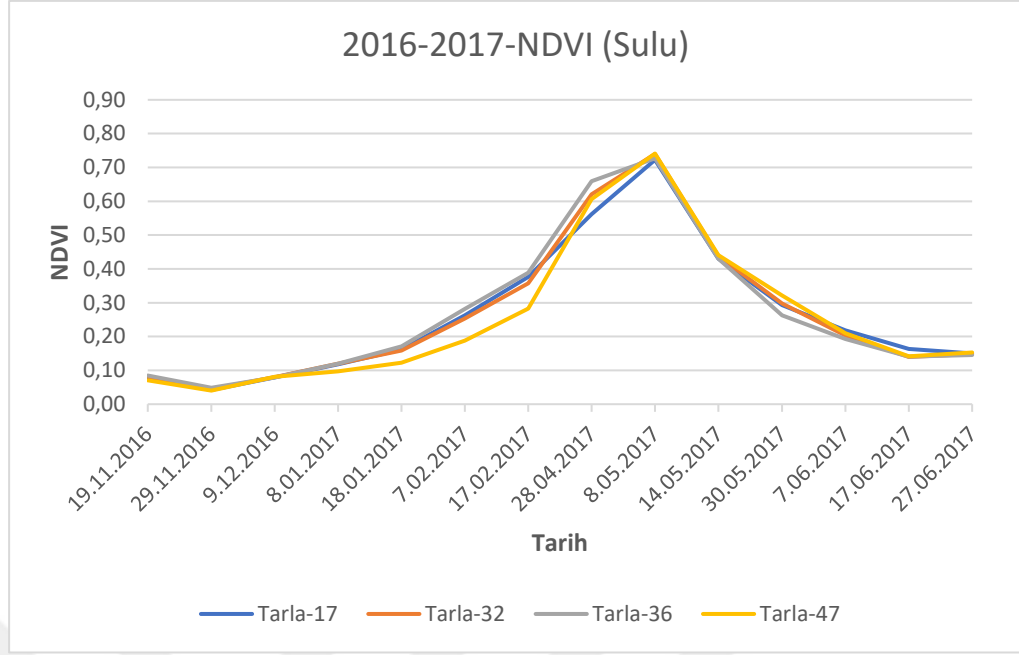


Şekil 4.6. 2015-2016 sezonu kuru parsellere ait SAVI grafiği

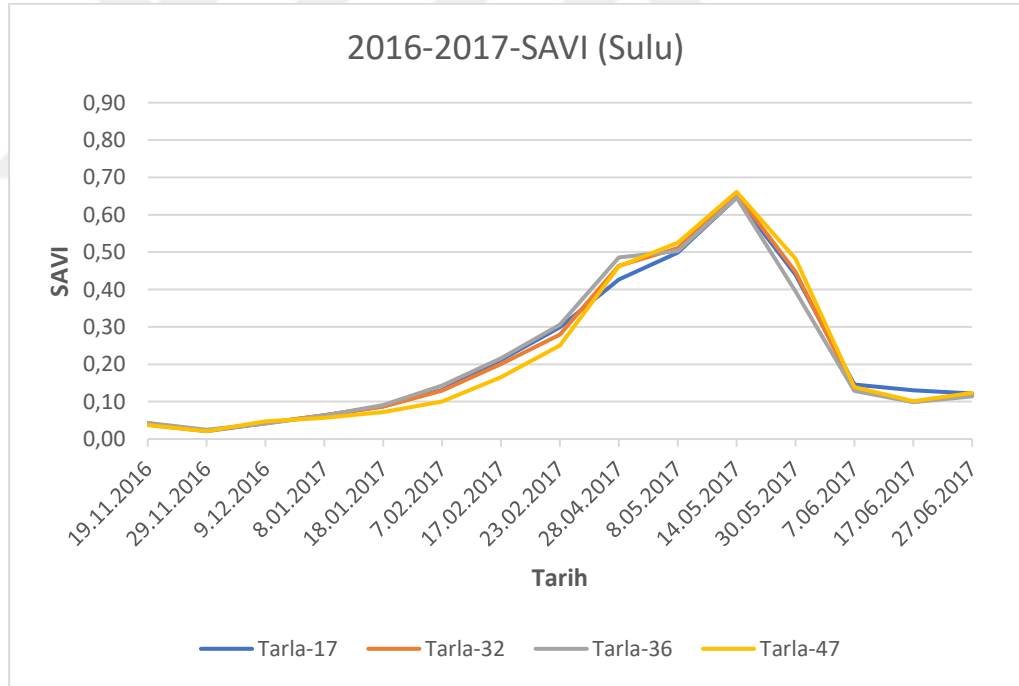
2015-2016 sezonundaki NDVI ve SAVI grafikleri incelendiğinde hem sulu hem de kuru tarımın yapıldığı tarlalardaki NDVI ve SAVI değerleri Nisan ayının sonunda (23 Nisan 2016) maksimum değere ulaşmıştır. Buna göre 2015-2016 sezonunda başağa (sapa) kalkma ve çiçeklenme aşaması hem sulu tarım yapılan hem de kuru tarım yapılan tarlalar için Nisan ayının sonunda gerçekleşmiştir.

4.1.2. 2016-2017 sezonu

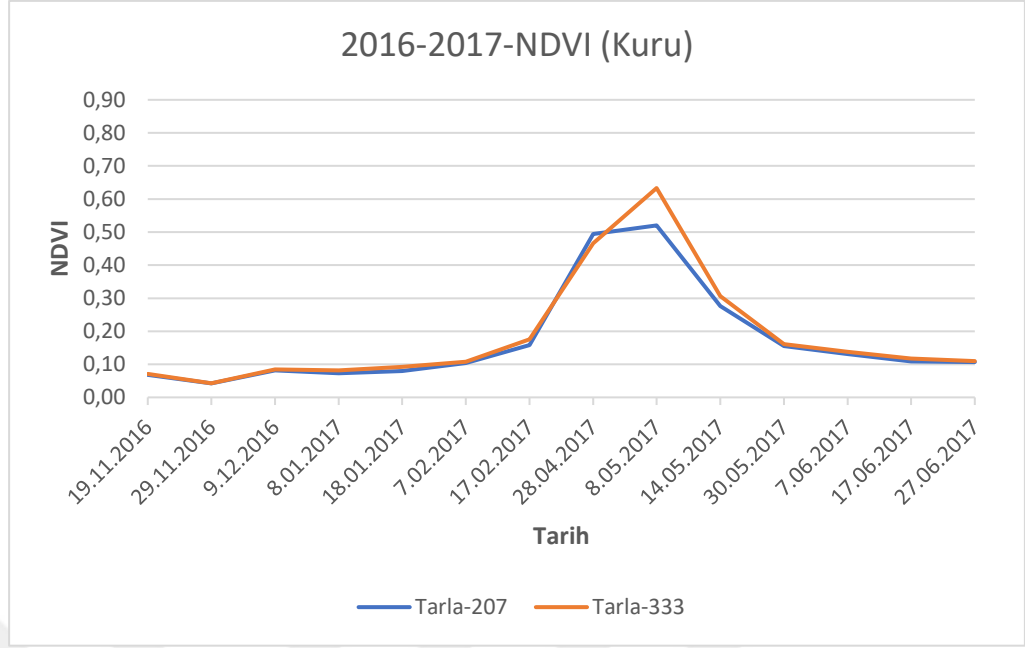
2016-2017 yılında buğday ekilmiş olan; sulu tarım yapılan 4 tarla (17, 32, 36 ve 47 numaralı), kuru tarım yapılan 2 tarla (207 ve 333 numaralı) bulunmaktadır. Sulu ve kuru parsellere ilişkin NDVI ve SAVI değişim değerleri Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da verilmiştir.



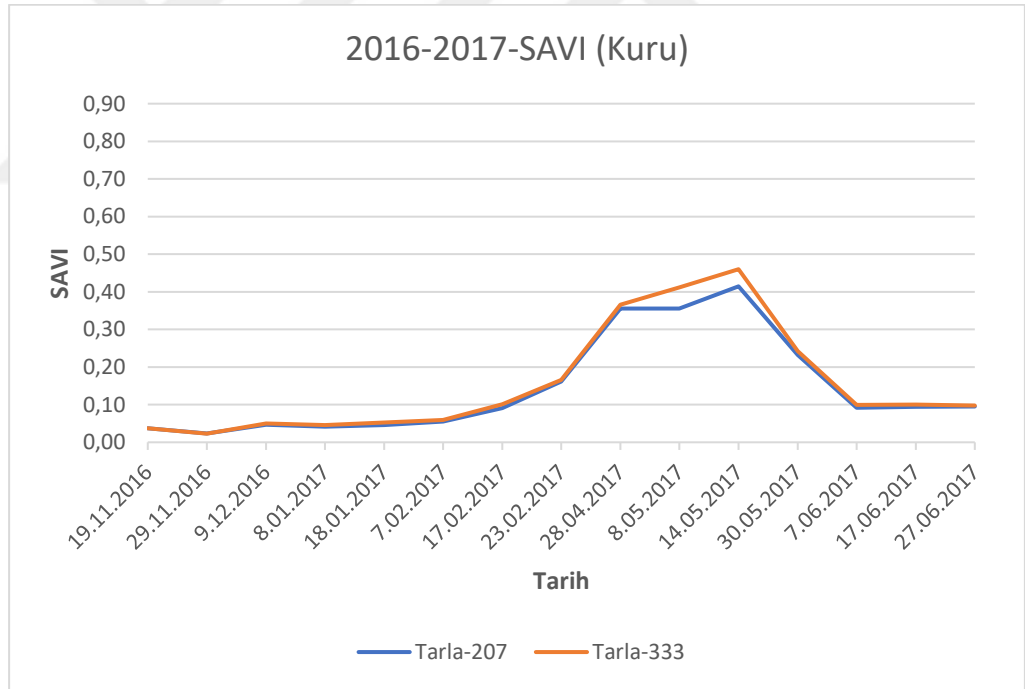
Şekil 4.7. 2016-2017 sezonu sulu parsellere ait NDVI grafiği



Şekil 4.8. 2016-2017 sezonu sulu parsellere ait SAVI grafiği



Şekil 4.9. 2016-2017 sezonu kuru parsellere ait NDVI grafiği



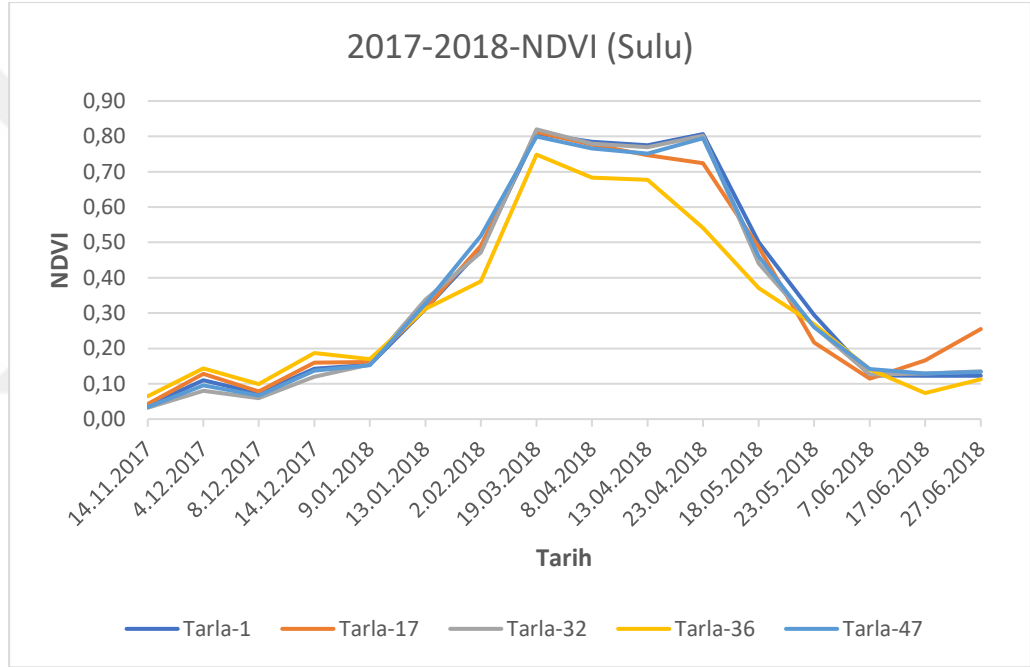
Şekil 4.10. 2016-2017 sezonu kuru parsellere ait SAVI grafiği

2016-2017 sezonundaki NDVI ve SAVI grafikleri incelendiğinde hem sulu hem de kuru tarımın yapıldığı tarlalardaki NDVI ve SAVI değerleri mayıs ayının ortalarına doğru (8 Mayıs 2017-14 Mayıs 2017) en yüksek değerlerine ulaşmıştır. 2016-2017

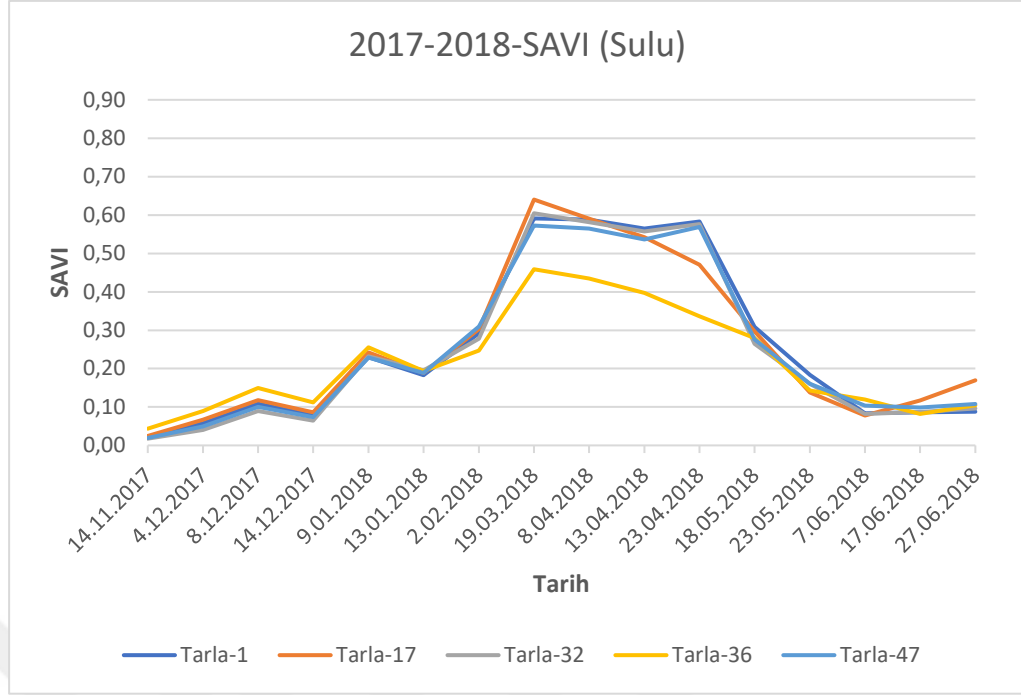
sezonunda başağa kalkma ve çiçeklenme aşaması mayıs ayının ortalarında gerçekleşmiştir.

4.1.3. 2017-2018 sezonu

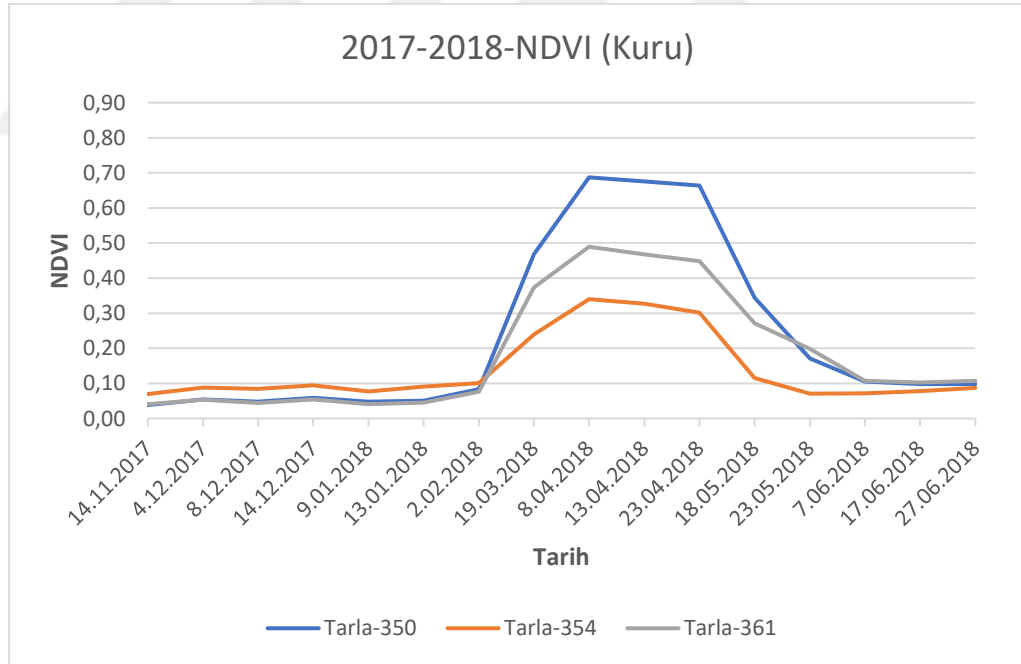
2017-2018 yılında buğday ekilmiş olan; sulu tarım yapılan 5 tarla (1, 17, 32, 36 ve 47 numaralı), kuru tarım yapılan 3 tarla (350, 354 ve 361 numaralı) bulunmaktadır. Sulu ve kuru parsellere ilişkin NDVI ve SAVI değişim değerleri Şekil 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'te verilmiştir.



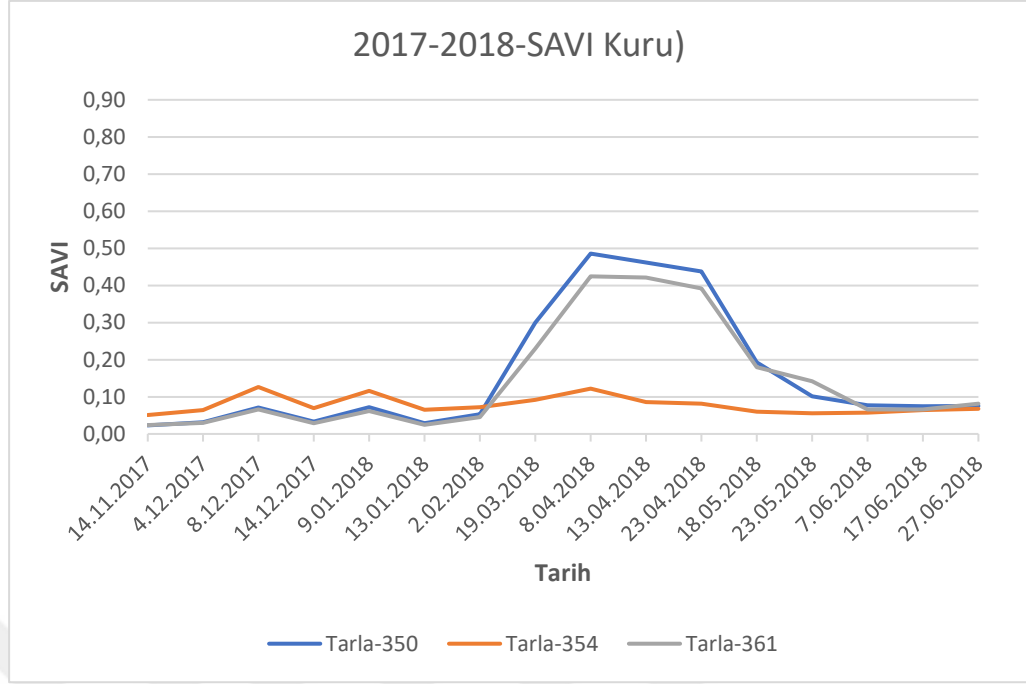
Şekil 4.11. 2017-2018 sezonu sulu parsellere ait NDVI grafiği



Şekil 4.12. 2017-2018 sezonu sulu parsellere ait SAVI grafiği



Şekil 4.13. 2017-2018 sezonu kuru parsellere ait NDVI grafiği

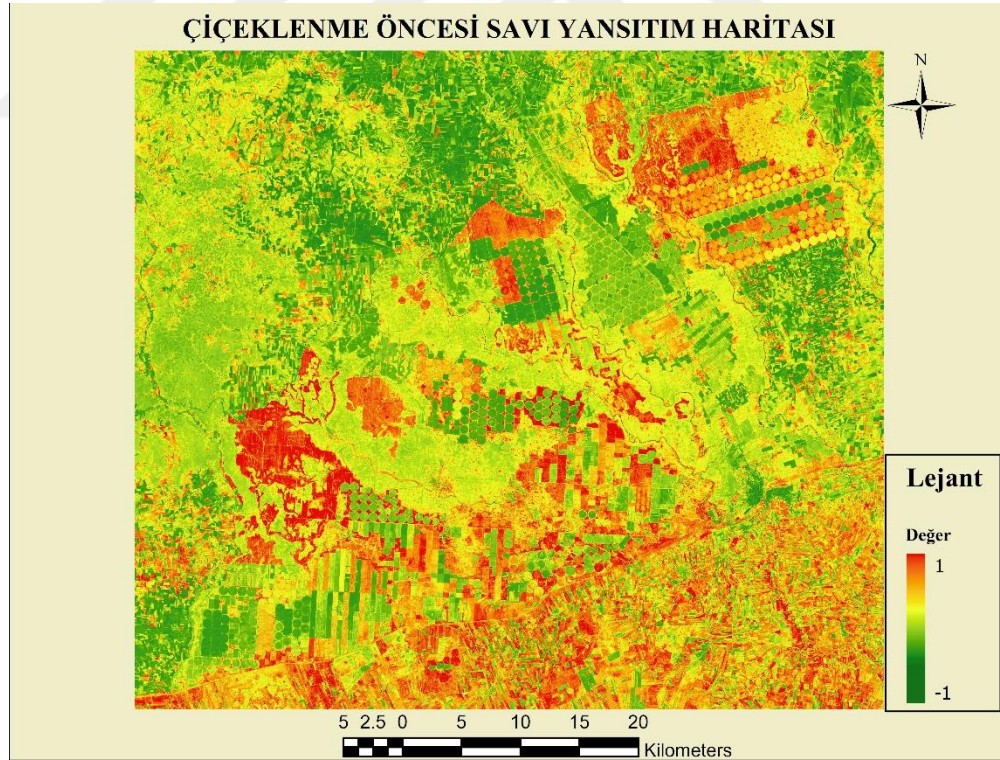


Şekil 4.14. 2017-2018 sezonu kuru parsellere ait SAVI grafiği

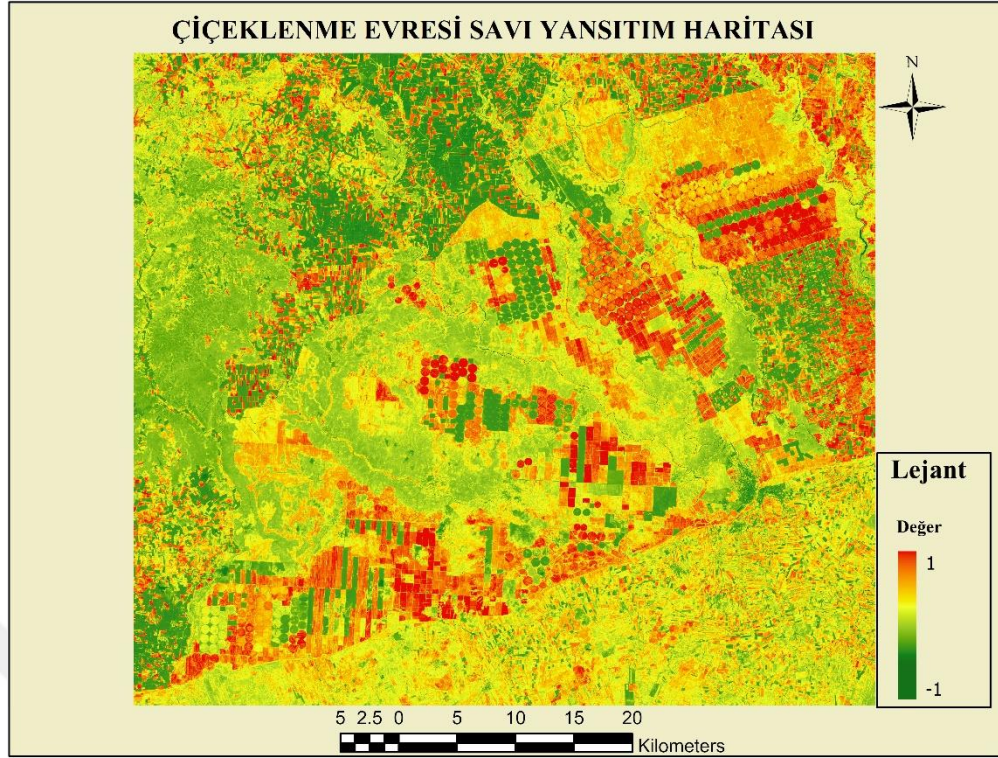
2017-2018 sezonundaki ortalama NDVI ve SAVI grafikleri incelendiğinde NDVI ve SAVI değerleri Mart ayının sonundan Nisan ayının sonuna kadar yüksek değerler almıştır. Başağa kalkma ve çiçeklenme aşaması 2017-2018 sezonunda mart ayının sonlarında gerçekleşmiştir.

Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14 incelendiğinde buğday bitkisinin yıllara göre farklı sezonlarda yeşerdiği anlaşılmaktadır. 2015-2016 sezonunda sulu ve kuru tarım için hem NDVI hem SAVI değerleri 23 Nisan tarihli görüntüde en yüksek değerine ulaşmıştır. Bu sebeple 23 Nisan tarihi çiçeklenme evresi olarak kabul edilmiştir. Bu tarihten önceki uydu görüntüsü (23 Mart 2016) çiçeklenme öncesi ve bir sonraki uydu görüntüsü (3 Mayıs 2016) çiçeklenme sonrası olarak kabul edilmiştir. 2016-2017 sezonunda NDVI değeri hem sulu hem de kuru tarım yapılan tarlalarda 8 Mayıs 2017 tarihli görüntüde en yüksek değerine ulaşırken SAVI değeri 14 Mayıs 2017 tarihinde hem sulu hem de kuru tarım yapılan tarlalarda en yüksek değerine ulaşmıştır. Bu sebeple NDVI için 8 Mayıs SAVI için 14 Mayıs tarihi çiçeklenme evresi olarak kabul edilmiştir. Her iki indeks için de bir önceki uydu görüntüsü (28 Nisan 2017) çiçeklenme öncesi ve bir sonraki uydu görüntüsü (30 Mayıs 2017) çiçeklenme sonrası olarak kabul edilmiştir. 2017-2018 sezonunda ise

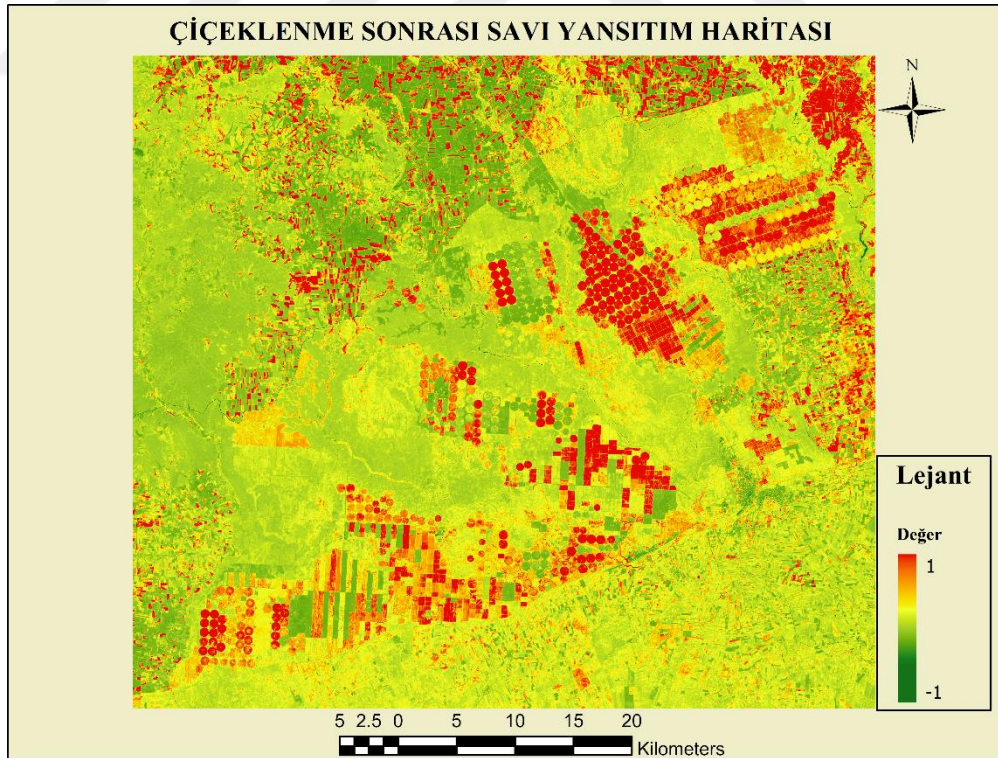
çiçeklenme evresi sulu tarım yapılan tarlalarda NDVI ve SAVI değerleri 19 Mart tarihinde en yüksek değerlerine ulaşmışlardır. Kuru tarım yapılan tarlalarda ise NDVI ve SAVI değerleri 8 Nisan tarihinde en yüksek değerlerine ulaşmışlardır. Bu sebeple sulu tarım yapılan tarlalar için 19 Mart çiçeklenme evresi kabul edilmiş, bir önceki uydu görüntüsü (2 Şubat 2018) çiçeklenme öncesi ve bir sonraki uydu görüntüsü (18 Mayıs 2018) çiçeklenme sonrası olarak kabul edilirken kuru tarım yapılan tarlalar için 8 Nisan çiçeklenme evresi olarak kabul edilmiş, bir önceki uydu görüntüsü (19 Mart 2018) çiçeklenme öncesi ve bir sonraki uydu görüntüsü (18 Mayıs 2018) çiçeklenme sonrası olarak kabul edilmiştir. Çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrası oluşturulan SAVI değerlerinden elde edilen yansıtım haritaları Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17’de verilmiştir. SAVI değerleri -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Çiçeklenme öncesinde düşük olan SAVI değerleri çiçeklenme evresinde maksimum değere ulaşmaktadır. Şekil 4.16’da kırmızı renkli alanlar muhtemel buğday tarlalarını ifade etmektedir.



Şekil 4.15. Çiçeklenme öncesi SAVI yansıtım haritası



Şekil 4.16. Çiçeklenme evresi SAVI yansıtım haritası



Şekil 4.17. Çiçeklenme sonrası SAVI yansıtım haritası

Üç sezona ait ortalama NDVI ve SAVI değışim grafikleri incelendiğinde NDVI değeri SAVI değeriyle sayısal olarak daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi SAVI indeksinin toprak yansıtımının yüksek olmasıdır. Arazide ekim yerleri dışında kalan alanlar SAVI indeks değeriyle azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca sulu tarım yapılan tarlalardaki yansıtım değeri kuru tarım yapılan tarlalardaki yansıtım değeriyle daha fazladır. Buradan da sulu tarım yapılan bölgelerdeki bitkilerin daha sağlıklı ve daha yeşil olduğu sonucuna varabiliriz. Öte yandan sulu tarım yapılan tarlalardaki verim, kuru tarım yapılan tarlalardaki verime göre daha fazladır.

4.2. Verim Tahmini

Tarım alanlarına ilişkin verimin önceden tahmin edilmesi gerek rekolte planlarının oluşturulmasında gerekse de ithalat ihracat miktarlarının öngörülmesinde önem arz etmektedir. Rekolte ile NDVI arasında güçlü bir ilişki vardır (Jiang ve ark., 2004).

Buğday alanları için NDVI, SAVI, GNDVI, MSAVI, MSAVI2 ve NDWI2 değeri göz önüne alınarak doğrusal regresyon analizi yapılarak verim tahmin modeli kurulmuştur. Kurulan modelde buğdayın çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrasındaki indeks değeriyle verim değeri arasında ilişki kurulmuştur. Çiçeklenme evresinin tarihleri “Fenolojik Evrelerin Belirlenmesi” başlığında verilmiştir. Çalışmada kullanılan indeks değeri Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı evrelerdeki ortalama NDVI değerleri

SEZON	Tarla	Çiçeklenme öncesi	Çiçeklenme evresi	Çiçeklenme sonrası
2015-2016	1	0.64	0.81	0.41
	350	0.65	0.67	0.51
	354	0.37	0.40	0.29
	361	0.66	0.75	0.59
2016-2017	17	0.56	0.72	0.43
	32	0.62	0.74	0.44
	36	0.66	0.73	0.43
	47	0.61	0.74	0.44
	207	0.49	0.52	0.28
	333	0.47	0.63	0.31
2017-2018	1	0.48	0.81	0.50
	17	0.49	0.81	0.49
	32	0.47	0.82	0.44
	36	0.39	0.75	0.37
	47	0.52	0.80	0.46
	350	0.47	0.69	0.34
	354	0.24	0.34	0.12
	361	0.37	0.49	0.27

Çizelge 4.2. Farklı evrelerdeki ortalama SAVI değerleri

SEZON	Tarla	Çiçeklenme öncesi	Çiçeklenme evresi	Çiçeklenme sonrası
2015-2016	1	0.51	0.59	0.27
	350	0.54	0.64	0.34
	354	0.29	0.30	0.13
	361	0.53	0.60	0.44
2016-2017	17	0.43	0.65	0.44
	32	0.46	0.66	0.45
	36	0.49	0.65	0.39
	47	0.46	0.66	0.48
	207	0.36	0.41	0.23
	333	0.37	0.46	0.24
2017-2018	1	0.29	0.59	0.31
	17	0.30	0.64	0.30
	32	0.28	0.60	0.26
	36	0.25	0.46	0.28
	47	0.31	0.57	0.28
	350	0.30	0.49	0.19
	354	0.09	0.12	0.06
	361	0.23	0.42	0.18

Çizelge 4.3. Farklı evrelerdeki ortalama GNDVI değerleri

SEZON	Tarla	Çiçeklenme öncesi	Çiçeklenme evresi	Çiçeklenme sonrası
2015-2016	1	0.55	0.70	0.37
	350	0.58	0.59	0.47
	354	0.32	0.30	0.25
	361	0.58	0.67	0.54
2016-2017	17	0.51	0.63	0.56
	32	0.55	0.64	0.57
	36	0.58	0.63	0.54
	47	0.55	0.65	0.58
	207	0.45	0.50	0.39
	333	0.44	0.56	0.44
2017-2018	1	0.42	0.68	0.45
	17	0.44	0.68	0.36
	32	0.41	0.69	0.41
	36	0.38	0.46	0.42
	47	0.44	0.67	0.43
	350	0.46	0.35	0.60
	354	0.30	0.27	0.28
	361	0.41	0.36	0.56

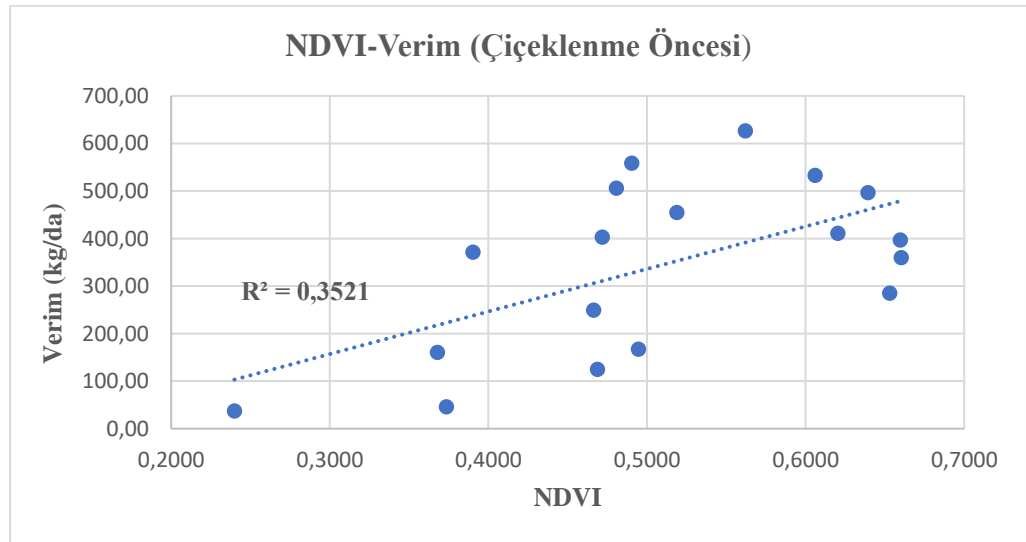
Çizelge 4.4. Farklı evrelerdeki ortalama MSAVI2 değerleri

SEZON	Tarla	Çiçeklenme öncesi	Çiçeklenme evresi	Çiçeklenme sonrası
2015-2016	1	0.45	0.63	0.24
	350	0.49	0.48	0.31
	354	0.67	0.09	0.08
	361	0.48	0.60	0.43
2016-2017	17	0.42	0.50	0.40
	32	0.46	0.51	0.42
	36	0.48	0.51	0.39
	47	0.46	0.53	0.43
	207	0.34	0.34	0.18
	333	0.35	0.40	0.24
2017-2018	1	0.27	0.62	0.28
	17	0.28	0.68	0.18
	32	0.25	0.64	0.24
	36	0.23	0.35	0.26
	47	0.28	0.60	0.25
	350	0.27	0.17	0.48
	354	0.11	0.06	0.08
	361	0.21	0.15	0.41

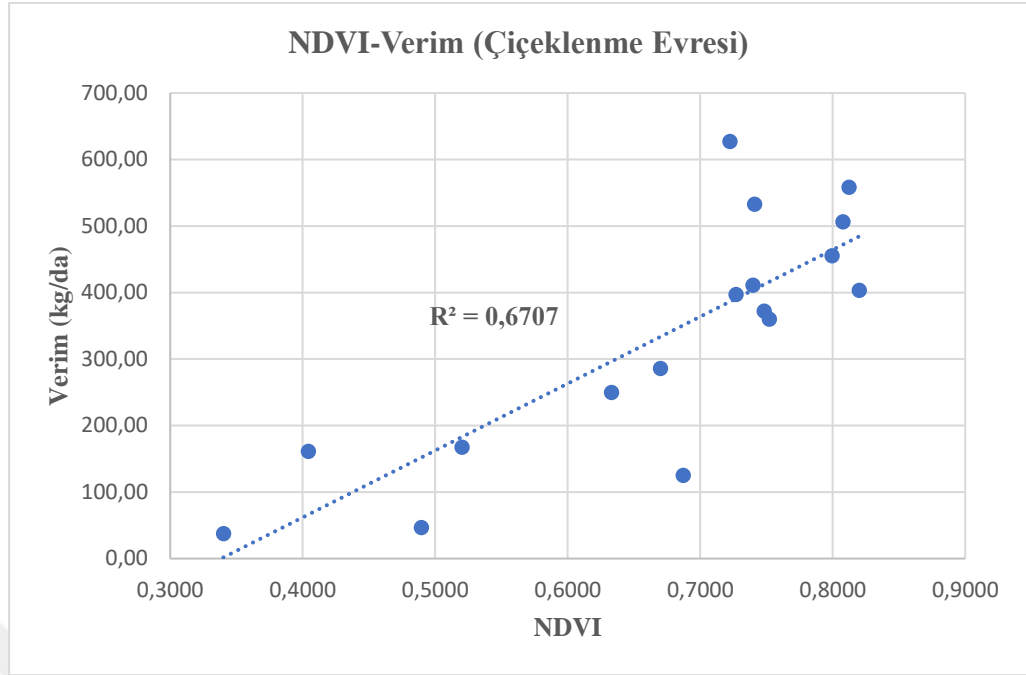
Çizelge 4.5. Farklı evrelerdeki ortalama NDWI2 değerleri

SEZON	Tarla	Çiçeklenme öncesi	Çiçeklenme evresi	Çiçeklenme sonrası
2015-2016	1	-0.55	-0.70	-0.37
	350	-0.58	-0.59	-0.47
	354	-0.32	-0.30	-0.25
	361	-0.58	-0.67	-0.54
2016-2017	17	-0.51	-0.63	-0.56
	32	-0.55	-0.64	-0.57
	36	-0.58	-0.63	-0.54
	47	-0.55	-0.65	-0.58
	207	-0.45	-0.50	-0.39
	333	-0.44	-0.56	-0.44
2017-2018	1	-0.42	-0.68	-0.45
	17	-0.44	-0.68	-0.36
	32	-0.41	-0.69	-0.41
	36	-0.38	-0.46	-0.42
	47	-0.44	-0.67	-0.43
	350	-0.46	-0.35	-0.60
	354	-0.30	-0.27	-0.28
	361	-0.41	-0.36	-0.56

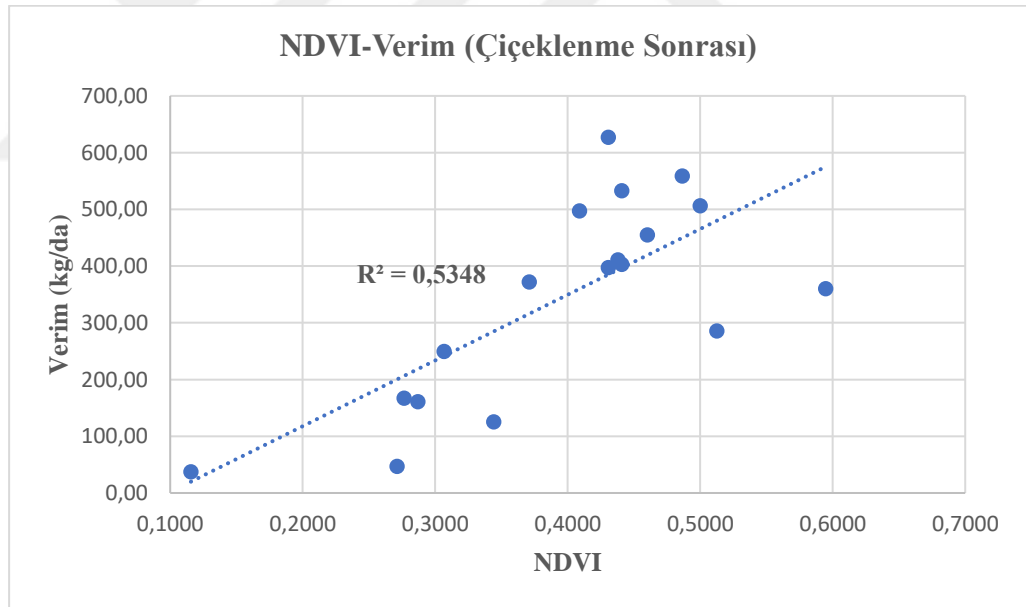
Arazi üzerinden çiçeklenme öncesi, çiçeklenme dönemi ve çiçeklenme sonrası olmak üzere her üç dönemden üç farklı sezona ait ortalama NDVI, SAVI, GNDVI, MSAVI2 ve NDWI2 değerleri ile TİGEM'den alınan verim değerleri (kg/da) arasında doğrusal regresyon analizi yapılmış ve verim değerleri her indeks için ayrı ayrı hesaplanmıştır. NDVI değerlerinden hesaplanan verim değerlerinin grafiği Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20'de; SAVI değerlerinden hesaplanan verim değerlerinin grafiği Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23'te verilmiştir.



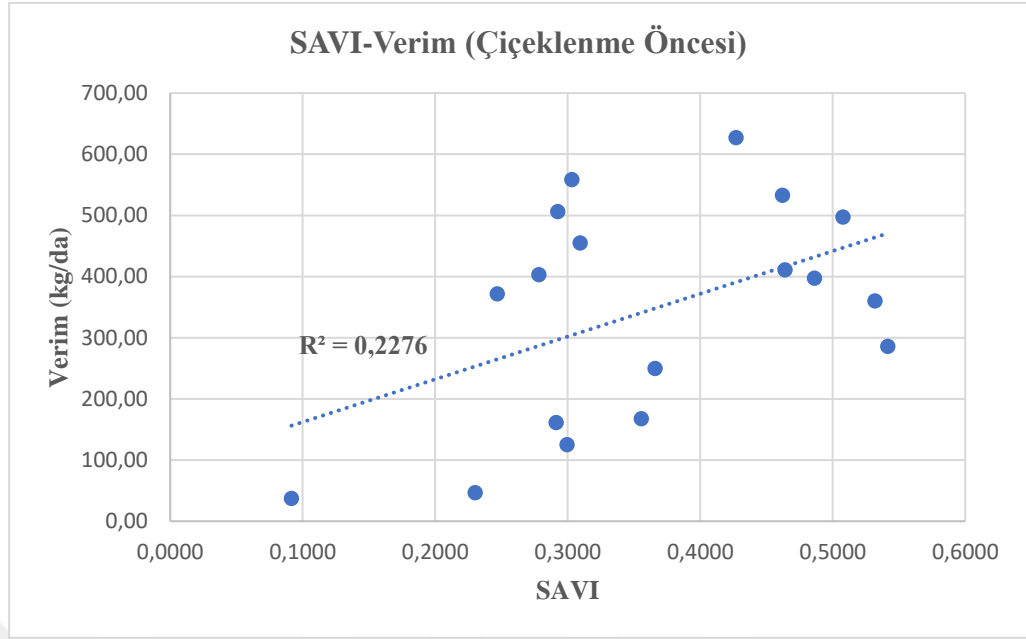
Şekil 4.18. Çiçeklenme öncesi ortalama NDVI değerlerinin verim ile ilişkisi



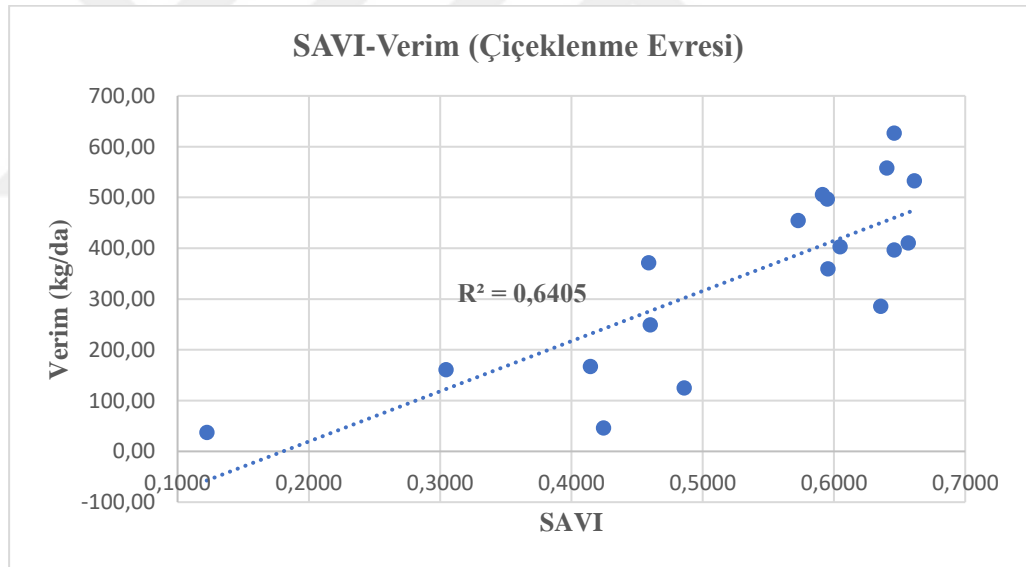
Şekil 4.19. Çiçeklenme dönemi ortalama NDVI değerlerinin verim ile ilişkisi



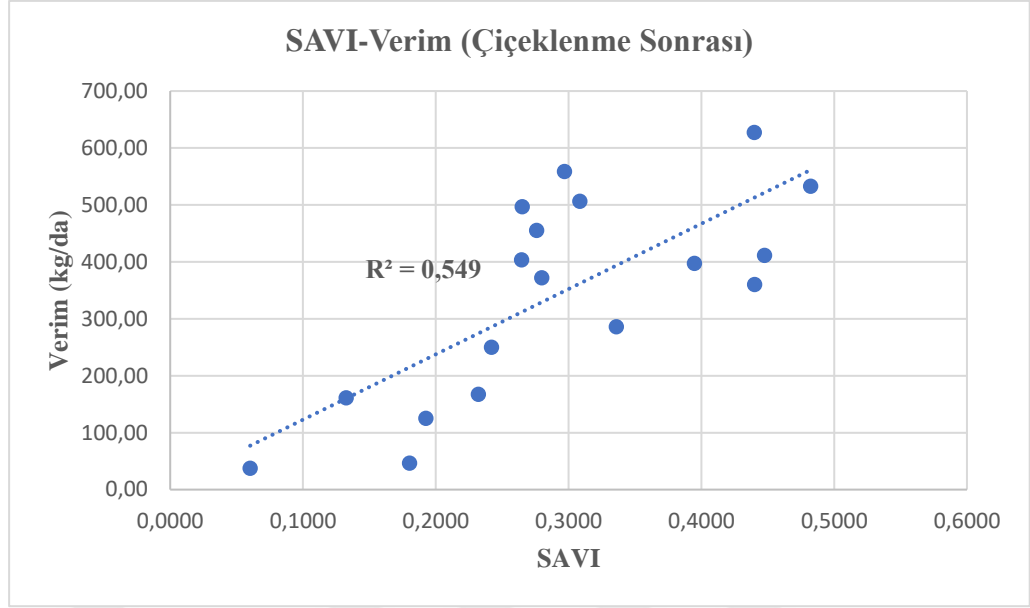
Şekil 4.20. Çiçeklenme sonrası ortalama NDVI değerlerinin verim ile ilişkisi



Şekil 4.21. Çiçeklenme öncesi ortalama SAVI değerlerinin verim ile ilişkisi



Şekil 4.22. Çiçeklenme dönemi ortalama SAVI değerlerinin verim ile ilişkisi



Şekil 4.23. Çiçeklenme sonrası ortalama SAVI değerlerinin verim ile ilişkisi

Oluşturulan denklemlerdeki iki değişken arasında ilişki olup olmadığı, varsa ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir. Ayrıca verim tahmin modelinde kullanılan ortalama NDVI, SAVI, GNDVI, MSAVI2 ve NDWI2 indekslerindeki değişimin verimdeki değişimin ne kadarını açıkladığı determinasyon katsayısı ile bulunmuştur. Örnek olarak NDVI ve SAVI için oluşturulan grafikler diğer indeksler için de oluşturulmuş ve verim denklemleri, korelasyon katsayıları ve determinasyon katsayısı değerleri benzer şekilde elde edilmiştir. Çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrası için oluşturulan verim modellerinin denklemleri, korelasyon katsayıları ve determinasyon katsayıları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. İndekslere ait denklem, korelasyon katsayısı ve determinasyon katsayıları

İndeks	Evre	Denklemler	Korelasyon Katsayısı (R)	R ²
NDVI	Çiçeklenme Öncesi	$y = 894.5x - 111.36$	0.59	0.35
	Çiçeklenme Evresi	$y = 1006x - 340.5$	0.82	0.67
	Çiçeklenme Sonrası	$y = 1159x - 114.11$	0.73	0.53
SAVI	Çiçeklenme Öncesi	$y = 698.68x + 92.319$	0.48	0.23
	Çiçeklenme Evresi	$y = 987.73x - 178.09$	0.80	0.64
	Çiçeklenme Sonrası	$y = 1147.5x + 8.0299$	0.74	0.55
GNDVI	Çiçeklenme Öncesi	$y = 980.68x - 113.13$	0.48	0.23
	Çiçeklenme Evresi	$y = 1044.6x - 239.74$	0.86	0.74
	Çiçeklenme Sonrası	$y = 356.08x + 180.76$	0.64	0.40
MSAVI2	Çiçeklenme Öncesi	$y = 301.09x + 234.53$	0.71	0.50
	Çiçeklenme Evresi	$y = 771.23x + 7.5578$	0.87	0.75
	Çiçeklenme Sonrası	$y = 325.98x + 247.37$	0.64	0.41
NDWI2	Çiçeklenme Öncesi	$y = -980.68x - 113.13$	0.48	0.23
	Çiçeklenme Evresi	$y = -1044.6x - 239.74$	0.86	0.74
	Çiçeklenme Sonrası	$y = -356.08x + 180.76$	0.64	0.40

Çizelge 4.6'dan anlaşılacağı gibi çiçeklenme evresindeki tüm indeks değerleri ile verim arasında çok yüksek korelasyon bulunmaktadır. Bu durumda çiçeklenme döneminde elde edilen indeks değerleri ile buğday bitkisinin verim tahmini yüksek doğrulukla yapılabilmektedir.

4.3. Doğruluk Analizi

Deneyler sonucu elde edilen verim tahmin modeli 2018-2019 sezonundaki buğday verim tahmini için uygulanmıştır. Ekimden hasada kadar belirli aralıklarla uzaktan algılanan Landsat-8 ve Sentinel-2A/2B uydu verilerinden NDVI, SAVI, GNDVI, MSAVI2 ve NDWI2 indeksleri üretilmiştir. Elde edilen indeks değerleri incelenerek çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrası belirlenmiş ve bu tarihlerdeki tüm indeks değerleri verim modelinde elde edilen denkleme uygulanmıştır. Ekim yapılan tarlalara ait verim değerleri her üç dönem için oluşturulan 7 farklı indeks değeri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Her bir indeks değerinden ve her bir dönemden elde edilen verim tahminleri Çizelge 4.6'da belirtilen formüllere göre oluşturulmuştur. Daha sonra tahmin edilen verim değerleri TİGEM'den alınan gerçek verim değerleriyle karşılaştırılmış ve modelin doğrulukları oransal olarak belirlenmiştir. Doğruluk oranları (4.1) eşitliği ile bulunmuştur.

$$\text{Model Doğruluğu} = \left(1 - \frac{|\text{Tahmini verim} - \text{Gerçek verim}|}{\text{Gerçek verim}} \right) * 100 \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliği ile bulunan doğruluk değerlerinin her dönem için ortalaması alınarak ortalama doğruluk değerleri üretilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Doğruluk analizi (NDVI)

EVRE	Tarla	NDVI	Tahmini Verim (kg/da)	Gerçek Verim (kg/da)	Doğruluk Oranı (%)	Doğruluk Ort. (%)
Çiçeklenme Öncesi	1	0.41	254.9	459.6	55.5	79.0
	17	0.51	346.7	268.5	70.9	
	32	0.36	207.2	202.9	97.9	
	36	0.53	364.7	265.0	62.4	
	47	0.38	224.9	219.8	97.7	
	207	0.53	364.5	340.5	92.9	
	333	0.58	404.2	324.8	75.5	
Çiçeklenme Evresi	1	0.75	411.4	459.6	89.5	76.0
	17	0.71	375.1	268.5	60.3	
	32	0.49	152.2	202.9	75.0	
	36	0.68	344.0	265.0	70.2	
	47	0.63	289.6	219.8	68.3	
	207	0.73	389.7	340.5	85.6	
	333	0.71	378.7	324.8	83.4	
Çiçeklenme Sonrası	1	0.64	628.3	459.6	63.3	67.1
	17	0.46	420.2	268.5	43.5	
	32	0.34	276.0	202.9	64.0	
	36	0.41	365.8	265.0	62.0	
	47	0.29	220.0	219.8	99.9	
	207	0.29	224.2	340.5	65.8	
	333	0.30	230.3	324.8	70.9	

Çizelge 4.8. Doğruluk analizi (SAVI)

EVRE	Tarla	SAVI	Tahmini Verim (kg/da)	Gerçek Verim (kg/da)	Doğruluk Oranı (%)	Doğruluk Ort. (%)
Çiçeklenme Öncesi	1	0.23	252.5	459.6	54.9	81.3
	17	0.31	307.2	268.5	85.6	
	32	0.22	245.1	202.9	79.2	
	36	0.33	323.6	265.0	77.9	
	47	0.24	259.9	219.8	81.7	
	207	0.34	328.5	340.5	96.5	
	333	0.30	302.6	324.8	93.2	
Çiçeklenme Evresi	1	0.53	348.5	459.6	75.8	85.7
	17	0.50	317.3	268.5	81.8	
	32	0.33	145.0	202.9	71.5	
	36	0.45	270.5	265.0	97.9	
	47	0.44	255.9	219.8	83.6	
	207	0.51	330.2	340.5	97.0	
	333	0.48	299.2	324.8	92.1	
Çiçeklenme Sonrası	1	0.42	484.7	459.6	94.5	80.4
	17	0.30	353.1	268.5	68.5	
	32	0.21	247.2	202.9	78.2	
	36	0.25	290.2	265.0	90.5	
	47	0.19	228.1	219.8	96.2	
	207	0.19	221.0	340.5	64.9	
	333	0.19	227.3	324.8	70.0	

Çizelge 4.9. Doğruluk analizi (GNDVI)

EVRE	Tarla	GNDVI	Tahmini Verim (kg/da)	Gerçek Verim (kg/da)	Doğruluk Oranı (%)	Doğruluk Ort. (%)
Çiçeklenme Öncesi	1	0.30	184.3	459.6	40.1	62.0
	17	0.44	321.7	268.5	80.2	
	32	0.34	222.8	202.9	90.2	
	36	0.52	397.1	265.0	50.1	
	47	0.39	273.3	219.8	75.7	
	207	0.65	527.6	340.5	45.0	
	333	0.60	478.0	324.8	52.8	
Çiçeklenme Evresi	1	0.45	232.3	459.6	50.5	65.2
	17	0.63	416.6	268.5	44.8	
	32	0.41	192.7	202.9	95.0	
	36	0.52	307.8	265.0	83.8	
	47	0.58	368.6	219.8	32.3	
	207	0.49	277.0	340.5	81.4	
	333	0.44	222.9	324.8	68.6	
Çiçeklenme Sonrası	1	0.42	330.1	459.6	71.8	67.9
	17	0.50	358.4	268.5	66.5	
	32	0.35	305.7	202.9	49.3	
	36	0.54	374.7	265.0	58.6	
	47	0.41	328.1	219.8	50.7	
	207	0.33	298.3	340.5	87.6	
	333	0.32	294.6	324.8	90.7	

Çizelge 4.10. Doğruluk analizi (MSAVI2)

EVRE	Tarla	MSAVI2	Tahmini Verim (kg/da)	Gerçek Verim (kg/da)	Doğruluk Oranı (%)	Doğruluk Ort. (%)
Çiçeklenme Öncesi	1	0.13	272.2	459.6	59.2	70.4
	17	0.27	317.2	268.5	81.8	
	32	0.17	286.3	202.9	58.9	
	36	0.37	346.4	265.0	69.3	
	47	0.23	304.0	219.8	61.7	
	207	0.58	408.7	340.5	80.0	
	333	0.50	384.4	324.8	81.7	
Çiçeklenme Evresi	1	0.32	255.9	459.6	55.7	63.7
	17	0.56	437.4	268.5	37.1	
	32	0.27	216.3	202.9	93.4	
	36	0.37	294.1	265.0	89.0	
	47	0.49	388.0	219.8	23.5	
	207	0.34	269.5	340.5	79.2	
	333	0.28	221.0	324.8	68.1	
Çiçeklenme Sonrası	1	0.25	328.3	459.6	71.4	68.7
	17	0.30	346.8	268.5	70.9	
	32	0.16	300.6	202.9	51.8	
	36	0.39	374.9	265.0	58.5	
	47	0.20	311.4	219.8	58.3	
	207	0.11	283.3	340.5	83.2	
	333	0.11	282.3	324.8	86.9	

Çizelge 4.11. Doğruluk analizi (NDWI2)

EVRE	Tarla	NDWI2	Tahmini Verim (kg/da)	Gerçek Verim (kg/da)	Doğruluk Oranı (%)	Doğruluk Ort. (%)
Çiçeklenme Öncesi	1	-0.30	184.3	459.6	40.1	62.0
	17	-0.44	321.7	268.5	80.2	
	32	-0.34	222.8	202.9	90.2	
	36	-0.52	397.1	265.0	50.1	
	47	-0.39	273.3	219.8	75.7	
	207	-0.65	527.6	340.5	45.0	
	333	-0.60	478.0	324.8	52.8	
Çiçeklenme Evresi	1	-0.45	232.3	459.6	50.5	65.2
	17	-0.63	416.6	268.5	44.8	
	32	-0.41	192.7	202.9	95.0	
	36	-0.52	307.8	265.0	83.8	
	47	-0.58	368.6	219.8	32.3	
	207	-0.49	277.0	340.5	81.4	
	333	-0.44	222.9	324.8	68.6	
Çiçeklenme Sonrası	1	-0.42	330.1	459.6	71.8	67.9
	17	-0.50	358.4	268.5	66.5	
	32	-0.35	305.7	202.9	49.3	
	36	-0.54	374.7	265.0	58.6	
	47	-0.41	328.1	219.8	50.7	
	207	-0.33	298.3	340.5	87.6	
	333	-0.32	294.6	324.8	90.7	

Çizelge 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11 incelendiğinde en yüksek indeks-verim korelasyonu çiçeklenme evresinde olmasına rağmen NDVI ve MSAVI2 indekslerinden oluşturulan verim tahmin modelinde çiçeklenme öncesi değerler ile verim doğrulukları daha yüksektir. 2019 yılında çalışma alanına ilişkin ekim yapılan 7 tarlanın (5 sulu, 2 kuru) ortalama verim değerleri incelendiğinde en düşük doğruluk çiçeklenme öncesinde GNDVI ve NDWI2 indekslerinde görülmüştür (%62). En yüksek doğruluk ise çiçeklenme evresinde SAVI indeksinde elde edilmiştir (%85.7). Verim tahmin modeli tarla bazında incelendiğinde ise 32, 36 ve 207 numaralı tarlalarda çiçeklenme evresindeki verim doğruluğu diğer dönemlere göre daha yüksektir. 1 ve 333 numaralı parsellerde çiçeklenme sonrası elde edilen doğruluk daha yüksek iken 17 ve 47 numaralı tarlalarda çiçeklenme öncesi alınan indeks değerleri daha yüksek doğruluk göstermiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Büyük tarım arazilerine ve verimli topraklara sahip ülkemizde tarım alanlarının korunması ve mevcut tarım arazilerinin en iyi şekilde kullanılması ülke tarımı ve ekonomisi için önemlidir. Temel yaşam gıdalarından biri olan buğday dünyada ikinci Türkiye’de ise en çok üretimi yapılan tahıl konumundadır. Bu sebeple buğday bitkisinin büyüme evrelerinin takip edilmesi ve rekoltenin hasattan önce belirlenmesi tarımsal politikaların belirlenmesi için önem taşımaktadır.

Özellikle büyük alanlarda çalışma yaparken, klasik yöntemler uzun zaman ve yüksek maliyet gerektirmektedir. Ayrıca yersel yöntemlerle oluşturulan mahsul büyüme ve verim modelleri yalnızca küçük alanlar için kullanıldığında oldukça tutarlı sonuçlar vermektedir. Bunun sebebi modele dahil edilen tüm parsellerin yaklaşık olarak aynı iklim koşullarına (yağış, sıcaklık, nem gibi) ve çevresel koşullara (gübreleme, toprak tipi, tarım uygulama politikası, sulama gibi) sahip olmasıdır. Bununla birlikte verim tahmin modelinin daha geniş alanlarda uygulanması gerektiğinde; model oluşturulurken iklim ve çevresel faktörlerin de modele dahil edilmesi zor olacağı için çözümü uygun olmayacaktır (Faivre ve ark., 2004).

Uydu sistemlerinin gelişmesi ve uzaktan algılama tekniklerinin ilerlemesiyle birlikte ekim alanlarının belirlenmesi ve verimin tahmin edilmesinde uydu görüntüleri büyük kolaylık sağlamaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken durum uydu görüntülerinin belirli amaçlar için doğru şekilde kullanımıdır. Hedef ürünün ekim ve hasat zamanları iyi belirlenmeli ve bu tarihler arasındaki bulut ve sisten etkilenmeyen uydu görüntüleri kullanılmalıdır.

Uydu sistemleri farklı dalga boylarında enerji kaydedebilen algılayıcılarla donatıldıkları için bitki örtüsü hakkında faydalı bilgiler sunmaktadır. NDVI, SAVI, GNDVI, MSAVI2 ve NDWI2 indeksleri kullanılarak bitkilerdeki klorofil maddesinin yansıtımı yardımıyla bitkilerin yeşillik durumları analiz edilir. Bu şekilde arazideki bitki örtüsü yoğunluğu belirlenir ve bitkilerin sağlık düzeyleri kontrol edilebilir.

Bu çalışmada Şanlıurfa ili Ceylanpınar ilçesinde bulunan TİGEM arazisi üzerinde belirlenen 5 adet sulu tarım yapılan parsel, 5 adet de kuru tarım yapılan parsel üzerindeki buğday bitkisinin fenolojik evreleri incelenmiştir. 2015-2016, 2016-2017 ve 2017-2018 sezonlarında buğdayın ekiminden hasadına kadar olan sürede elde edilen uydu görüntülerinden NDVI ve SAVI indeksleri üretilmiş ve buğdayın gelişim aşamaları incelenmiştir. Çalışmada her iki uyduya ait verilerin kullanılmasının asıl sebebi sık tarihli uydu görüntüsü incelenerek fenolojik evrelerin hassas bir şekilde takip edilebilmesidir. Sulu tarım arazilerinde yansıtım değerlerinin kuru tarım arazilerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca kuru tarım arazilerindeki verim değerleri sulu tarım arazisindeki verim değerlerine göre oldukça düşüktür. Bu durum tarım arazilerinde yalnızca yağışın bitki gelişimi için yeterli olmadığını ve sulamanın önemini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında belirli parseller üzerinde 3 farklı sezondaki indeks değerleri ile gerçek verim değerleri arasındaki ilişkiye dayanan verim tahmin modeli kurulmuştur. Çalışmada örnek olarak alınan 10 parsel için verim değerleri TİGEM tarafından temin edilmiştir. Çok bantlı Landsat-8 ve Sentinel-2A/2B uydu görüntülerinden elde edilen NDVI, SAVI, GNDVI, MSAVI2 ve NDWI2 indeks değerleri ile verim arasında doğrusal regresyon modeli kurulmuştur. Buğdayın çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrası dönemlerinde elde edilen indeks değerleri yardımıyla her bir dönem ve her bir indeks için bir verim tahmin modeli kurulmuştur. Toplamda 7 farklı indeks ve 3 farklı dönem için 21 adet regresyon modeli kurulmuş ve bu modellerin hepsi istatistiksel olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda kurulan verim tahmin modellerinde indeks değerleri ile verim değerleri arasında en düşük korelasyon ($r= 0.4761$) GNDVI indeksi çiçeklenme öncesi dönem ve NDWI2 indeksi çiçeklenme öncesi dönemde görülmüştür. En yüksek korelasyon ($r= 0.8661$) ise MSAVI2 indeksi çiçeklenme evresinde görülmüştür. İstatistiksel olarak incelendiğinde çiçeklenme evresindeki bitki örtüsü indeks değeriyle verim değerleri arasında çok yüksek korelasyon ($r>0.80$) görülmüştür. Çalışmada elde edilen verim modelinin doğruluğunu incelemek için 2018-2019 sezonunda aynı bölgede ekilen buğday ürünü tahmin edilmeye çalışılmıştır. En yüksek doğruluk çiçeklenme evresinde SAVI indeksinde elde edilmiştir. Parsel bazlı verim tahmin doğrulukları

%71.5 ile %97.9 arasında değişmekte ve ortalama olarak %85.7 oranında bir doğruluk elde edilmiştir.

Daha önce bu bölgede buğday bitkisinin incelenmesi için bu tür kapsamlı bir çalışma yapılmamakla birlikte bu çalışmada elde edilen model gelecek yıllardaki verim tahminlerinin oluşturulmasında kullanılabilir niteliktedir. Ayrıca çalışmada yersel ölçümleri hiç kullanmadan yalnızca uydu görüntüleri ve örnek verim değerleri kullanılarak buğdayın gelişiminin izlenmesi ve rekolte tahmininin yapılmasına ilişkin başarılı bir metodoloji sunulmuştur.



KAYNAKLAR

- AKKARTAL, A., TÜRÜDÜ, O. ve SUNAR ERBEK, F., 2005. Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri ile Bitki Örtüsü Değişim Analizi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart-1 Nisan, Ankara.
- ALGANCI, U., SERTEL, E., ÖRMECİ, C. ve ÖZDOĞAN, M., 2011. Uydu Görüntülerinde Mekansal Çözünürlüğün Tarım Alanlarının ve Ürün Tiplerinin Belirlenmesine Etkisinin Araştırılması: Şanlıurfa Örneği. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan, Ankara.
- ARONOFF, S., 1989. Geographic Information Systems: A Management Perspective. *Geocarto International*, 4(4): 58.
- ATEŞOĞLU, A., ve TUNAY, M., 2010. Bartın Kıyı Alanlarında Bitki Örtüsü Değişim Analizi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 10(1): 84-95.
- BENESTY, J., CHEN, J., HUANG, Y., ve COHEN, I., 2009. Pearson Correlation Coefficient in Noise Reduction in Speech Processing. s. 1-4, Springer, Berlin, Heidelberg.
- BOYDAŞ, M. G., ve TURGUT, N., 2009. Farklı Toprak İşleme Aletlerinin Kışlık Buğday Verimi Üzerine Etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40(1):25-35.
- BRIGGLE, L.W., 1980. Origin and Botany of Wheat. *Wheat documenta cibageigy*. s. 6-13, Basle, Switzerland.
- BROWN, J.F., WARDLOW, B., TADESSE, T., HAYES, M.J., ve 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.
- CABİ, E., ve DOĞAN, M., 2009. A First Vouchered Wild Record for the Flora of Turkey: *Aegilops juvenalis* (Thell) Eig (Poaceae). *Turkish Journal of Botany*, 33(6): 447-452.
- CABİ E., DOĞAN, M., ÖZLER, H., AKAYDIN, G., ve KARAGÖZ, A., 2010. Taxonomy, Morphology and Palynology of *Aegilops vavilovii* (Zhuk.) Chennav. (Poaceae:Triticeae). *African Journal of Agricultural Research*, 5(20):2841-2849.
- CAMPOS, I., GONZÁLEZ-GÓMEZ, L., VILLODRE, J., CALERA, M., CAMPOY, J., JIMÉNEZ, N., PLAZA, C., SÁNCHEZ-PRÍETO, S., ve CALERA, A., 2019. Mapping Within-Field Variability in Wheat Yield and Biomass Using Remote Sensing Vegetation Indices. *Precision Agriculture*, 20(2):214-236.
- CECCATO, P., FLASSE, S., TARANTOLA, S., JACQUEMOND, S., ve GREGOIRE, J. M., 2001. Detecting Vegetation Water Content Using Reflectance in the Optical Domain. *Remote Sensing of Environment* 77:22-33.

- CHANDEL, N. S., TIWARI, P. S., SINGH, K. P., JAT, D., GAIKWAD, B. B., TRIPATHI, H., ve GOLHANI, K., 2019. Yield Prediction in Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Using Spectral Reflectance Indices. *Current Science*, 116(2):272-278.
- COLWELL, J. E., RICE, D. P., ve NALEPKA, R. F., 1977. Wheat Yield Forecasts Using Landsat Data. *Proceedings of 11th International Symposium on Remote Sensing of Environment*. s. 1245-1254, Ann Arbor MI.
- CURTIS, B. C. (2002). *Wheat in The World. Bread Wheat: Report On Improvement and Production*, International Corn and Wheat Development Center, Mexico.
- ÇELİK, M. A., ve 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.
- DARA, A., BAUMANN, M., KUEMMERLE, T., PFLUGMACHER, D., RABE, A., GRIFFITHS, P., HOLZEL, N., KAMP, J., FREITAG, M., ve HOSTERT, P., 2018. Mapping The Timing of Cropland Abandonment and Recultivation in Northern Kazakhstan Using Annual Landsat Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 213:49-60.
- DEMİRPOLAT, C., ve LELOĞLU, U. M., 2018. Barley Yield Estimation With Sentinel-2 Vegetation Indices. In *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. s. 1-4. IEEE.
- DOAK, S., ve LACKEY, L., 1993. Assessing Change in Urban Natural Areas With Multi-Date Satellite Imagery. In *Proceedings of the GIS'93 Symposium, Vancouver, British Columbia*. s. 1163-1168.
- EL-RAEY, M., EL-DIN, S. S., KHAFAGY, A. A., ve ABO ZED, A. I., 1999. Remote Sensing of Beach Erosion/Accretion Patterns Along Damietta-Port Said Shoreline, Egypt. *International Journal of Remote Sensing*, 20(6):1087-1106.
- ESCOLÀ, A., BADIA, N., ARNÓ, J., ve MARTINEZ-CASASNOVAS, J., 2017. Using Sentinel-2 Images to Implement Precision Agriculture Techniques in Large Arable Fields: First Results of A Case Study. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2):377-382.
- EVSAHİBİOĞLU, A. N., 2008. Sulu Tarım Alanlarında Küçük Parselli Bitki Desenlerinin Uzaktan Algılanma Potansiyeli. 2. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu 2008, Erciyes Üniversitesi, Kayseri. s. 305-314.
- FAIVRE, R., LEENHARDT, D., VOLTZ, M., BENOIT, M., PAPY, F., DEDIEU, G., ve WALLACH, D., 2004. Spatialising crop models. *Agronomie, EDP Sciences*, 24(4):205-217.
- FISCHER, R. A., 1976. Crop Temperature Modification and Yield Potential in a Dwarf Spring Wheat 1. *Crop Science*, 16(6):855-859.
- FLOYD, F., ve SABINS, J. R., 1987. *Remote Sensing Principles and Interpretation*. *Cartography*, 11(4):251-252.
- GAO, B. C., 1996. NDWI- A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *Remote Sensing Of Environment* 58:257-266.

- GITELSON, A.A., 2004. Wide Dynamic Range Vegetation Index for Remotequantification of Biophysical Characteristics of Vegetation. *Journal of Plant Physiology* 161:165-173.
- GONTIA, N. K., ve 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.
- GREEN, K., KEMPKA, D., ve LACKEY, L., 1994. Using Remote Sensing to Detect and Monitor Land-Cover and Land-Use Change. *Photogrammetric Engineering Aad Remote Sensing*, 60(3):331-337.
- GUO, C., ZHANG, L., ZHOU, X., ZHU, Y., CAO, W., QIU, X., CHENG, T., ve TIAN, Y., 2018. Integrating Remote Sensing Information With Crop Model to Monitor Wheat Growth and Yield Based on Simulation Zone Partitioning. *Precision Agriculture*, 19(1):55-78.
- GÜNDEŞ, S., 2007. Türkiye'nin Bitki Örtüsü Değişiminin NOAA Uydu Verileri ile Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, s. 71.
- GÜNER, A., 2012. Türkiye Bitkileri Listesi. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları, Flora Dizisi, İstanbul.
- JACKSON, R. D., PINTER JR, P. J., REGINATO, R. J., ve IDSO, S. B., 1980. Hand-Held Radiometry: A Set of Notes Developed For Use at the Workshop of Hand-Held Radiometry, Phoenix, Ariz., 25-26 Şubat, 1980.
- JACKSON, R. D., ve HUETE A. R., 1991. Interpreting Vegetation Indices. *Preventive Veterinary Medicine*, 11 (3):185-200.
- JENSEN, J. R., ve LULLA, K., 1987. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. *Geocarto International*, 2(1): s.65.
- JENSEN, J. R., COWEN, D. J., ALTHAUSEN, J. D., NARUMALANI, S., ve WEATHERBEE, O., 1993. An Evaluation of the Coastwatch Change Detection Protocol in South Carolina. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(6):1039-1046.
- JIANG, D., YANG, X., CLINTON, N., ve WANG, N., 2004. An Artificial Neural Network Model for Estimating Crop Yields Using Remotely Sensed Information. *International Journul of Remote Sensing*, 25(9):1723-1732.
- JURECKA, F., HLAVINKA, P., LUKAS, V., TRNKA, M., ve ZALUD, Z., 2016. Crop yield estimation in the field level using vegetation indices. In proceedings of international phd students conference, Mendelnet, 2016. s. 90-95.
- KALFAS, J., XIAO, X., VANEGAS, D., VERMA, S., ve SUYKER, A.E., 2011. Modeling Gross Primary Productionof Irrigated and Rainfed Maize Using MODIS Imagery and CO2 Flux Tower Data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151:1514-1528.
- KARABULUT, M., 2006. NOAA AVHRR Verilerini Kullanarak Türkiye'de Bitki Örtüsünün İzlenmesi ve İncelenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 4(1):29-42.
- KARAGÖZ, A., ve ÖZBERK, İ., 2010. Türkiye'de Buğday Genetik Kaynakları ve İslahta Kullanılması. Makarnalık Buğday ve Mamulleri Sempozyumu. 17-18 Mayıs 2010, Şanlıurfa. s.67-74.

- KAVZOĞLU, T., ve ÇÖLKESEN, İ., 2011. Uzaktan Algılama Teknolojileri ve Uygulama Alanları. Türkiye’de Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Çalıştayı, 26-27 Mayıs, 2011, Okan Üniversitesi, İstanbul.
- KİTİŞ, C. K., 2009. Arazi Kullanımındaki Değişimlerin Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla İzlenmesinde Quickbird Uydu Verileri ve Hava Fotoğraflarının Birlikte Kullanılma Olanaklarının Kuzey Adana Örneğinde Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, s. 168.
- KÜN, E., 1981. Serin İklim Tahılları. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 6, Ders Notları No: 1, Samsun, s.250.
- LAMBERT, M. J., BLAES, X., TRAORÉ, P. S., ve DEFOURNY, P., 2017. Estimate Yield at Parcel Level From S2 Time Serie in Sub-Saharan Smallholder Farming Systems. In 2017 9th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images. s. 1-7.
- LEONARD, W.H., ve MARTİN, J.H., 1963. Cereal crops. MacMillan Publishing, New York, USA. s. 824.
- LI, Y. Z., 1990. Estimating Production of Winter Wheat by Remote Sensing and Unified Ground Network. II. Nationwide Estimation of Wheat Yields. In Applications of Remote Sensing in Agriculture. Butterworths, London, UK. s. 149-158.
- LOPRESTI, M. F., DI BELLA, C. M., ve DEGIOANNI, A. J., 2015. Relationship Between MODIS-NDVI Data and Wheat Yield: A Case Study in Northern Buenos Aires Province, Argentina. Information Processing In Agriculture, 2(2):73-84.
- MAS, J. F., 1997. Monitoring Land-Cover Changes in the Terminos Lagoon Region, Mexico: A Comparison of Change Detection Techniques. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, USA.
- MAUS, P., LANDRUM, V., JOHNSON, J., SCHANTA, M., ve PLATT, B., 1992. Utilizing Satellite Data and GIS to Map Land Cover Change. In Proceedings of GIS’92 Symposium, Vancouver, British Columbia. s.1-6.
- MERMER, A., YILDIZ, H., ÜNAL, E., URLA, Ö., AYDOĞDU, M., AVAĞ, A., ÖZGÖZ, M. M., AKSAKAL, E., DUMLU, S. E., KOÇ, A., ŞİMŞEK, U., ÖZAYDIN, K. A., AYDOĞMUŞ, O., DEDEOĞLU, F., TUGAÇ, M., ve TORUNLAR, H., 2011. Doğu Anadolu Bölgesinde Mera Vegetasyonunun Uydu Görüntüleri (NDVI) ile İzlenmesi. 9. Tarla Bitkileri Kongresi, 12-15 Eylül 2011, Bursa.
- MORAN, M. S., INOUE, Y., ve BARNES, E. M., 1997. Opportunities and Limitations for Image-Based Remote Sensing in Precision Crop Management. Remote Sensing of Environment, 61(3):319-346.
- MOTOHKA, T., NASAHARA, K. N., OGUMA, H., ve TSUCHIDA, S., 2010. Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. Remote Sensing, 2(10):2369-2387.
- MUSK, L. F., 1979. Remote Sensing of Environment. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 3(4):609–611.

- ÖZBERK, İ., ATAY, S., ALTAY, F., CABİ, E., ÖZKAN, H., ve ATLI, A., 2016. Türkiye'nin Buğday Atlası. WWF-Türkiye Yayınları, İstanbul, s. 85.
- ÖZCAN, O., 2014. Başlıca İklim Parametrelerinin Bitki Su Tüketimine Etkilerinin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, s. 142.
- ÖZCAN, O., MUSAOĞLU, N., ÜSTÜNDAĞ, B., KURUCU, Y., ve ÖRMECİ, C., 2011. Buğday Bitkisinin Farklı Ekim Bölgelerindeki Gelişim Düzeyinin Bilgi Teknolojileri ile İncelenmesi. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 31 Ekim-4 Kasım 2011, s. 159.
- PINTER JR, P. J., JACKSON, R. D., IDSO, S. B., ve REGINATO, R. J., 1981. Multidate Spectral Reflectance as Predictors of Yield in Water Stressed Wheat And Barley. *International Journal of Remote Sensing*, 2(1):43-48.
- PINTER, P. J., HATFIELD, J. L., SCHEPERS, J. S., BARNES, E. M., MORAN, M. S., DAUGHTRY, C. S., ve UPCHURCH, D. R., 2003. Remote Sensing for Crop Management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6):647-664.
- RAUN, W. R., SOLIE, J. B., JOHNSON, G. V., STONE, M. L., LUKINA, E. V., THOMASON, W. E., ve SCHEPERS, J. S., 2001. In-Season Prediction of Potential Grain Yield in Winter Wheat Using Canopy Reflectance. *Agronomy Journal*, 93(1):131-138.
- REİS, H.Ç., ve BAYRAM, B., 2015. Landsat Uydu Görüntüleri Kullanılarak Kontrolsüz Sınıflandırma Yöntemi ile Bitki Örtüsü Değişimi: Konya Yunak Örneği. 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.
- RICHARDSON, A. J., ve WIEGAND, C., 1977. Distinguishing Vegetation From Soil Background Information. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 43(12):1541-1552.
- ROUSE JR, J., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., ve DEERING, D. W., 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains With ERTS. In: *Third ERTS Symposium*, Washington DC, s. 309-317.
- RUDORFF, B. F. T., ve BATISTA, G. T., 1990. Spectral Response of Wheat and It's Relationship to Agronomic Variables in the Tropical Region. *Remote Sensing of Environment*, 31(1):53-63.
- SARI, M., SÖNMEZ, N.K., ve YILDIRAN, M., 2007. Pamuk Bitkisinin Kantitatif Yansıma Özelliklerinin ve Alansal Dağılımının Uydu Verileri ile Belirlenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1):1-10.
- SAUNDERS, D.A., ve HETTEL, G.P., 1994. Wheat in heat-Stressed Environments: Irrigated, Dry Areas and Rice-Wheat Farming Systems. *CIMMYT, Mexico, DF*, s. 402.
- SKAKUN, S., VERMOTE, E., ROGER, J. C., ve FRANCH, B., 2017. Combined Use of Landsat-8 and Sentinel-2A Images for Winter Crop Mapping and Winter Wheat Yield Assessment at Regional Scale. *Geosciences*, 3(2):163-186.
- SÖNMEZ, N. K., ve SARI, M., 1999. Sayısal Uydu Verileri ile Batı Akdeniz Bölgesinde Buğday Bitkisinin Spektral Özelliklerinin ve Alansal Dağılımının Belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(4):929-934.

- SÜSLÜ, A., 2007. Şereflikoçhisar İlçesindeki Tarım Arazilerinde Uzaktan Algılama Yöntemiyle Ekili Alanların Tespiti ve Rekolte Tahmini. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, s. 96.
- ŞİMŞEK, O., YILDIZ, A. M. H., ÖZAYDIN, K. A., ve ÇAKMAK, B., 2007. AgroMetShell Modeli Kullanılarak Türkiye’de Buğdayın Verim Tahmini. Tarım Bilimleri Dergisi, 13(3):299-307.
- TUCKER, C.J., TOWNSHEND, J.R.G., ve GOFF, T.E., 1985. African Land Cover Classification Using Satellite Data. Science, 9227(4685):369-375.
- ÜSTÜNER, M., ŞANLI, F. B. ve ABDİKAN, S., 2016. Bitki Örtüsü İndekslerinin Tarımsal Ürün Deseni Tespitindeki Etkisinin Araştırılması. 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu 2016, Adana. s. 271-275.
- VIOVY, N., ARINO, O., ve 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.
- WHITE, L. P., 1977. Aerial Photography and Remote Sensing for Soil Survey. Oxford University Press, New York, 96 pp.
- YADAV, M., SHARMA, M. P., PRAWASI, R., KHICHI, R., KUMAR, P., MANDAL, V. P., SALIM, A., ve HOODA, R. S., 2014. Estimation of Wheat/Rice Residue Burning Areas in Major Districts of Haryana, India Using Remote Sensing Data. Journal of The Indian Society of Remote Sensing, 42(2):343-352.
- YILDIZ, H., MERMER, A., ÜNAL, E., ve AKBAŞ, F., 2012. Türkiye Bitki Örtüsünün NDVI Verileri ile Zamansal ve Mekansal Analizi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 21(2):50-56.
- YILDIZ, H., ÜNAL, E., ve AYDOĞDU, M., 2018. NDVI Zaman Serisi Görüntülerinde Değişkenliğin İzlenmesi. VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir.
- YIN, H., PRISHCHEPOV, A. V., KUEMMERLE, T., BLEYHL, B., BUCHNER, J., ve RADELOFF, V. C., 2018. Mapping Agricultural Land Abandonment from Spatial and Temporal Segmentation of Landsat Time Series. Remote Sensing of Environment, 210:12-24.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yunus KAYA
Uyruğu : T. C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Isparta – 24.11.1994
Telefon : 0414 318 30 00-1855
e-mail : kayayunus.2051@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: ŞAİK Anadolu Lisesi, Merkez, ISPARTA	2012
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, KONYA	2017
Yüksek Lisans:	Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği A.B.D. Haliliye, ŞANLIURFA	2020

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018-	Harran Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Uzaktan Algılama, Fotogrametri

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

- KAYA, Y., ve POLAT, N., 2019. Bitki İndeksi Kullanarak Buğday Bitkisinin Fenolojik Evrelerinin İncelenmesi. 10. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu, 25-27 Nisan 2019, Aksaray. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)
- KAYA, Y., ve POLAT, N., 2019. Uydu Görüntüleriyle Buğday Bitkisinin İncelenmesi. 6. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 1-3 Kasım 2019, Şanlıurfa. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)
- KAYA, Y., ve POLAT, N., 2020. Investigation of Phenological Stages of Wheat Plant Using Vegetation Index. Mersin Photogrammetry Journal, 2(1). (Kabul edildi). (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

