

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANÜSTÜ ENSTİTÜSÜ

**UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ TEMEL ALINARAK
VERİMLİLİK TAHMİNİNİN OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilufar KARİMLİ(705191011)

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Oğuz SELBESOĞLU

MAYIS 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ ENSTİTÜSÜ

**UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ TEMEL ALINARAK
VERİMLİLİK TAHMİNİNİN OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilufar KARİMLİ(705191011)

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Oğuz SELBESOĞLU

MAYIS 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 705191011 numaralı yüksek lisans öğrencisi Nilufar Karimli, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ TEMEL ALINARAK VERİMLİLİK TAHMİNİNİN OLUŞTURULMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Mahmut Oğuz SELBESOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Muhammed Oğuzhan METE**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Tolga BAKIRMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Tarihi : 11 Nisan 2022
Savunma Tarihi : 11 Mayıs 2022



ÖNSÖZ

Giderek artan insan nüfusunun yeterli kaynaklarla temin edilebilmesi kaygısı, Gıda Güvenliği alanına olan dikkati de beraberinde getirmektedir. Tarım verilerinin geleceğe dönük analizi ve işlenmesi, bu alanda planlama olanaklarını artırmakla birlikte, gerekli önlemlerin de önceden alınmasına olanak tanımaktadır. Fakat bu alanların boyut ve sayısı göz önüne alındığında, saha çalışmaları maliyet ve zaman gerektiren uygulamalar olacaktır. Uzaktan algılamanın optik sensörler yardımı ile gelmiş olduğu durum, farklı verilerin mesafeden düşük maliyet ve kısa zaman içerisinde temin edilmesine olanak tanır. Bu çalışmada, verim planlamada uzaktan algılama verilerinin uygulamasının sınırları incelenecektir.

Tez çalışmam süresince ve ondan önce Yüksek Lisans öğrenim sürecim boyunca desteğini bir an olsun esirgemeyen, değerli tecrübelerini, bilgi birikimini ve vaktini benimle paylaşan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Oğuz SELBESOĞLU'na ve değerli öğretmenlerime teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Öğrenim dönemimde ve tezimin hazırlanma sürecinde bana her zaman destek olan aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2023

Nilufar Karimli
(Uzaktan Algılama Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ TEMEL ALINARAK VERİMLİLİK TAHMİNİNİN OLUŞTURULMASI.....	xix
ÖZET.....	xix
GENERATION OF YIELD ESTIMATION BASED ON REMOTE SENSING DATA	xxi
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. METODOLOJİ	11
2.1. Verimlilik Belirlemede Mamatkulov Yaklaşımı	11
2.2. Mamatlukov Yaklaşımında Kullanılan Endeksler	12
2.2.1. Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon Endeksi	12
2.2.2. Bitki verimlilik katsayısı	14
2.2.3. Toprak Kalitesi İndeksi	15
2.2.4. SQI Hesaplamada MEDALUS Yöntemi	19
3. KALİTE METRİKLERİ.....	28
3.1. Karesel Ortalama Hata (RMSE)	28
4. DEĞERLENDİRME.....	30
4.1. Çalışma Bölgesi.....	30
4.2. Teknik Özellikler.....	31
4.2.1. Veri seçimi.....	31
4.2.2. Uygulama seçimi	37
4.3. Elde Edilen bulgular	40
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR	47
EKLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	61



KISALTMALAR

SRTM	: Mekik Radarı Topografya Misyonu
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
NASA	: ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi ()
UA	: Uzaktan Algılama
SAR	: Sentetik Açıklıklı Radar
VV	: Çift Dikey
HH	: Çift Yatay
NIR	: Yakın Kızılötesi
SPOT	: Yer Gözlem Uydusu
CBS	: Coğrafi Bilişim Sistemleri
GPS	: Küresel Konumlandırma Sistemi
ESRI	: ABD Çevre Sistemleri Araştırma Enstitüsü
SNAP ESA	: Avrupa Uzay Ajansı Sentinel Uygulama Platformu
İHA	: İnsansız Hava Aracı
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
Hİ	: Hasat İndeksi
APAR	: Absorbe Edilen Fotosentetik Aktif Radyasyon
NDVI	: Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
SQI	: Toprak Kalitesi İndeksi
SQ	: Toprak Kalitesi
DN	: Dijital Sayı
LAI	: Yaprak Alanı İndeksine
RDC	: Kök Geliştirme Kapasitesi
WSC	: Su Depolama Kapasitesi
NSC	: Besin Tedarik Kapasitesi

STI	: Toprak Doku İndeksi,
SGI	: Eğim Gradyan İndeksi,
SDI	: Toprak Derinlik İndeksi,
NDMI	: Drenaj Durumu İndeksi,
TICI	: Total İnorganik Karbon Bileşenleri İndeksi
SI	: Toprak Tuzluluk İndeksi
ETM	: Gelişmiş Tematik Harita Düzenleyici
MSR	: Çoklu Aşamalı Regresyon
PSD	: Partikül Boyutu Dağılımı
AVHRR	: Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre
SWIR	: Kısa Dalgalı Kızılötesi
TS	: Zaman Serisi
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
Ca(OH)₂	: Kalsiyum Hidroksit
CO₂	: Karbondioksit
GEE	: Google Earth Engine
CoI	: Renk İndeksi
DEM	: Dijital Yükseklik Modeli
RMSD	: Ortalama Kare Sapma
RMSE	: Ortalama Kare Hata
RMSPE	: Yüzde Kök Ortalama Karesel Hata
RGB	: Kırmızı Mavi Yeşil
SLC	: Tek Bakış Kompleksi
IW	: İnterferometrik Geniş
MSI	: Multispektral Görüntüleyiciyi
VNIR	: Görünür ve NIR
FIR	: Sahte Kızılötesi
EC	: Avrupa Komisyonu
SAR	: Sentetik Apertür Radar
GRD	: Yer Aralığı Tespit Edilen
OCN	: Okyanus
FDBAQ	: Esnek Dinamik Blok Uyarlamalı Niceleme

TOPSAR	: Aşamalı Taramalı SAR
EW	: Ekstra Geniş
SMOS	: Toprak Nemi ve Okyanus Tuzluluğu
TOPS	: Aşamalı Taramalarla Arazi Gözlemi
EEE	: Earth Engine Explorer
EE	: Earth Engine
UNIX	: Tek Yönlü Bilgi İşlem Sistemi
GNU	: GNU UNIX Değildir
OSGeo	: Açık Kaynaklı Geo-uzaysal Vakfı'nın
OGR	: Basit Özellikler Referans Uygulaması
GDAL	: Mekansal Veri Soyutlama Kitaplığı
YGI	: Verimlilik Gradyan İndeksi



SEMBOLLER

pH	: Hidrojen potansiyeli
X	: Prosedürlerin sayısı
Y	: En az 20 baş veya bakladaki tanelerin sayısının ve ortalamasının sayımı
Z	: İlgili mahsulün tane ağırlığının belirlenmesi
e	: Biyokütle birimlerinde ışık kullanım verimliliği
A	: Arazinin bitki örtüsüyle kaplı alanı
B	: Toprak Kalitesi İndeksi
C	: Verim hesaplaması için özel katsayı
K_c	: Kappa bitki katsayısı
K_{cmax}	: Maksimal Kappa bitki katsayısı
K_{cmin}	: Minimal Kappa bitki katsayısı
W	: Toprak kalite parametresi
ρ	: Dalga boyu parametresi
$dz/dx, dz/dy$	: Yatay ve dikey yönler
Δ	: Yatay ve dikey yönlerdeki değişim oranı
θ	: Tahmin edilen değer
$\hat{\theta}$	: Gerçek değer



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Bantlara göre farklı özelliklerin hesaplanan değerleri	14
Çizelge 4.1. Sentinel-2 bantlarının farklı özellikleri	35
Çizelge 4.2: Sentinel-1 uydu verilerinin teknik özellikleri	37
Çizelge 4.3: Toplam Verim, Geçerlilik oranı ve RMSE.....	45
Çizelge A.1. Çalışma alanı ile ilgili temin edilmiş veriler.....	57
Çizelge A.2: Kullanılmış Sentinel-1 verileri ve özellikleri.....	58
Çizelge A.3: Kullanılmış Sentinel-2 verileri ve özellikleri	58



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Verimlilik tahmini yöntemleri.....	11
Şekil 2.2: Çalışmada kullanılmış verimlilik hesaplama yönteminin genel yapısı.....	19
Şekil 2.3: Sentinel-1 uydu verisinden 13 metre çözünürlüklü DEM oluşturmak için uygulanan algoritma.....	29
Şekil 4.1: Test alanının detayları	32
Şekil 4.2: Çalışma alanının Sentinel-2 raster verileri	35
Şekil 4.3: Sentinel-1 misyonu ürünleri	36
Şekil 4.4: Çalışma alanının DEM haritası	38
Şekil 4.5: Hesaplanmış endeksler	42
Şekil 4.6: SQI ve NDVI değerleri arasındaki korelasyon.....	44
Şekil 4.7: Modifiye edilmiş Mamatkulov'un kompleks yaklaşımı ve modifiye edilmiş MEDALUS metodu ile elde edilmiş Verimlilik Gradyan İndeksi (YGI).....	45



UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ TEMEL ALINARAK VERİMLİLİK TAHMINİNİN OLUŞTURULMASI

ÖZET

Artan insan nüfusunun yeterli gıda ile temin edilmesine ilişkin kaygılar, dikkatleri Gıda Güvenliği alanına çekmektedir. Tarımsal verilerin geleceğe odaklı analiz edilmesi ve işlenmesi, bu alandaki planlama potansiyelini geliştirmekle birlikte gerekli önlemlerin önceden alınmasını da sağlamaktadır. Ancak, bu bölgelerin genişliği ve sayısı göz önüne alındığında, saha araştırması pahalı ve zaman alıcı bir prosedür olmaktadır. Uzaktan Algılama ve optik sensörlerin ortaya çıkmasıyla, çeşitli verileri uzaktan, hızlı ve düşük maliyetli bir şekilde elde etmek mümkün hale gelmiştir.

Bu tez çalışması, Gıda Güvenliği alanında Uzaktan Algılama veri uygulamasının sınırlamalarını ve kapasitesini araştırmıştır. Sonuç olarak, Mamatkulov yaklaşımı ve MEDALUS modeli kullanılarak, Sentinel 1 ve Sentinel 2 verilerinden kışlık buğdayda oldukça doğru Verim Tahmini sonuçları (%98,03) hiçbir maliyet olmadan ve yüksek kullanılabilirlikle elde edilmiştir.

Bu yöntem, regresyon modellerinin oluşturulmasını veya herhangi bir saha çalışmasını beklemeye gerek kalmadan, yeni oluşturulmuş veya önceki yılların verimliliği hakkında bilgi sahibi olmadığımız ekin alanlarının verimliliği hakkında tahminlerde bulunmayı mümkün kılabilir. Çıkan sonuca bakıldığında bu konuda daha kapsamlı analizler yapılabilir.



GENERATION OF YIELD ESTIMATION BASED ON REMOTE SENSING DATA

SUMMARY

Concerns about the expanding human population's adequate supply of food draw attention to the field of Food Security. Various studies indicate that the total crop production need to be doubled for procurement of the fast-growing population of the Earth. When we add the decreasing water reserves and the productivity capacity of the soils in parallel here, the need to develop sustainable agricultural approaches arises.

The modern type of agriculture called precision agriculture, which includes the creation of appropriate plans by calculating factors such as retrospective data analysis, climate, water consumption, fertilizer and pesticide spraying requirements, comes to our aid in the above sense. Analysis of empirical-statistical and physical data are the main elements of precision agriculture. The processing of these data can be carried out with both classical and modern technology-based methods.

Future-focused analysis and processing of agricultural data not only improve planning capabilities in this field but also enables the required precautions to be taken beforehand. However, given the breadth and number of these regions, field research would be an expensive and time-consuming endeavour.

At this very moment, advances in space technology come to our aid. Remote sensing satellites, located in lower and middle orbits and intended for ground surveillance, give new meanings to measurable reality by bringing various filters and applying calculations. These images help to analyze include soil, water, vegetation, etc. values. Therefore, it increases the diversity of transportation and data in every sense. With the advent of remote sensing and optical sensors, it is now possible to acquire diverse data remotely, quickly, and in the long term - inexpensively.

Our thesis study investigated the limitations and capabilities of remote sensing data application in the field of Food Security. For Food Security applications, it is very crucial to monitor plant status and productivity measures, water reserves and changes in soil quality in real time and to create future plans based on statistical models.

Remote sensing provides data on almost all of these. Moreover, it is possible with today's technology to include remote sensing data in productivity calculation methods and to develop new productivity calculation models based on remote sensing data.

Our study explores the applicability and modifiability limits of a complex productivity model calculated only based on remote sensing data, without laboratory knowledge and space in the efficiency calculation.

Mamatkulov's mixed approach, which is based on various methods, including the classical empirical-statistical model in productivity calculation, the Monteith model, which is the plant growth efficiency calculation method, the water consumption balance model, was modified with the MEDALUS model, which is based on the geometric mean value calculation in soil quality calculation, and overall calculations were carried out.

Optical data on vegetation was used for vegetation and water consumption values, and optical and radar images of bare soil area were used for soil quality values. As the study area, the Privolnoye district of Jalilabad province of the Republic of Azerbaijan was determined, and SUPER ELITE brand winter hard wheat was determined as the study applied harvest type due to the long flocculation process.

Open-source Sentinel 1 and Sentinel 2 data were used for calculations, and an elevation model was produced from radar images. SNAP ESA and QGIS open-source remote sensing and GIS applications are used for calculations.

The model we developed as a result of the calculations achieved low RMSE (0.01985) and high accuracy (98.0326%) on winter wheat obtained from the Sentinel 1 and Sentinel 2 data without any cost and with high availability.

A non-linear positive correlation was found between NDVI and SQI. Thus, it was concluded that if the SQI in the soil shows high trends before planting, the NDVI and thus the LAI values will also be high.

The Mamatlukov model took into account the effect of water consumption and vegetation by NDVI calculation and the effect of SQ based on MEDALUS method on crop yield. This approach has been applied according to many research sources, respectively, with parameters that can only be calculated from satellite images. Results were checked with statistically greater than previous crop yield and minimal RMSE confirmed.

This method can make it possible to make predictions about the productivity of newly created crop fields or for which we do not have information about the productivity of previous years, without the need to wait for building regression models or any field studies. Considering the outcome, wide-range and larger analyses on this topic can be carried through.

Modern agriculture can benefit greatly from the application of GIS and UA technologies to monitor crop development, identify areas affected by different causes, assess soil quality status, predict productivity and visualize the true topography of crop fields, among other spatial analyses. In the future, this study may be modified and scaled up to further improve the results.



1. GİRİŞ

24 Ekim 1946'da, İkinci Dünya Savaşı'nın sona ermesi ile Sputnik uydusunun uzay çağını başlatması tarihleri arasındaki kısa zaman süreci içerisinde, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) bilim adamları Dünya'nın uzaydan görülen ilk resimlerini elde ettiler. Daha sonra ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından 7 Ağustos 1959'da fırlatılan Explorer VI Dünya uydusundan 14 Ağustos 1959'da dünya yüzeyinden yaklaşık 27500 kilometre yukarıdayken çekilen Orta Pasifik okyanusunun güneş ışığı alan alanı ve bulut örtüsünü gösteren ilk kaba resim elde edilmesi ile haritacılık alanında yeni çağın başlangıcı – uzay teknolojisinin yer bilimlerinde ve haritacılıkta uygulanmasının temeli atılmış oldu (Ramaseri, 2019).

Uydulardan elde edilen Uzaktan Algılama (UA) verileri günümüzde haritacılığın ayrılmaz parçasını oluşturmaktadır. Bu verilerin elde edilmesi için üretilen uydular, UA uyduları olarak adlandırılmaktadır.

UA algılama için kullanmakta olan sinyal kaynağına göre iki ana türe sınıflandırılır: aktif ve pasif. Aktif UA araçları, kendi emisyon veya ışık kaynaklarıyla, pasif olanlar ise yansıyan kaynakla çalışır (Psomiadis ve diğerleri, 2016).

UA uydu sistemleri spektral çözünürlükler açısından da farklılıklar göstermektedir:

- Optik görüntüleme sistemleri - buraya görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi aittir.
- Pankromatik veya Mono-spektral bantlı, siyah beyaz, gri tonlamalı görüntülü sistemler
- Multispektral (birkaç spektral bant) sistemler
- Süper spektral (onlarca spektral bant) sistemler

- Hiper-spektral (yüzlerce spektral bant) sistemler
- Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) görüntüleme sistemleri
- Tek frekanslı
- Çoklu frekanslı (İki veya daha fazla frekans bandının kombinasyonu)
- Tek polarizasyonlu (Çift Dikey (VV) iletim ve dikey alım için veya Çift Yatay (HH) iletim ve yatay alım için veya HV-yatay iletim ve dikey alım için)
- Çoklu polarizasyonlu (İki veya daha fazla polarizasyon modunun kombinasyonu)
- Termal görüntüleme sistemli (Psomiadis ve diğerleri, 2016).

Optik sensörlü uydular, yörünge, uydunun dönüş açıları, içerdikleri ekipmanların kısıtlamalarına bağlı olarak yaklaşık 500-1000 km arasında bir şerit içinde hareket ederek Dünya'nın görüntülerini oluşturur ve bu görüntüler farklı haritalarının üretilmesinde veya belirli parametrelerin tahmin edilmesinde önemli fayda sağlar (Munemasa ve diğerleri, 2018).

Sensörler, dalga boyu spektrumunun optik kısmında çalışır ve görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi dalga boylarını içerir. Bu dalga boyları, ormanlar ile diğer bitki örtüsü sınıfları arasında ayırım yapmak için, şehirleşmenin, su havzalarında oluşan değişimlerin, boş toprak alanının ve topraktaki tuzluluk oranının belirlenmesi gibi çeşitli parametrelerin belirlenmesinde oldukça kullanışlıdır.

Optik uydu verileri radar verileriyle birleştirilebilir, çünkü optik uydu verilerindeki renk bilgileri farklı bitki türlerini ayırt edebilirken radar verileri arazi veya bitki örtüsü özellikleri hakkında ek bilgi sağlar. Örneğin belirli bir alan üzerinde belirli periyot aralığı ile yeni bir görüntü elde eden ve Yakın Kızılötesi (NIR) dalga boyu bölgesinde daha fazla bant bulunan optik uydu verileriyle birleştirilmiş radar verileri, bitki türlerini sınıflandırmak ve haritalamak için kullanılmaya uygundur.

Ayrıntılı haritalama için yaygın olarak kullanılan uydu sensörleri arasında piksel boyutu 10 ila 30 m aralığında değişen orta çözünürlüklü Yer Gözlem Uydusu (SPOT), Landsat-8, Landsat-9, Sentinel-1 ve Sentinel-2 bulunmaktadır.

Uydu teknolojilerinin ve UA sistemlerinin gelişimi, beraberinde UA verilerini analiz eden uygulamaların da gelişimini getirdi. Bu sistemler UA ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) olarak adlandırılmaktadır.

İlk kez 1960'ların başında, Kanada'da coğrafi verileri depolamak ve haritalar üretmek için ilk CBS geliştirildi. Bu veriler, arazinin tarımı, vahşi yaşamı, ormancılığı ve diğer faaliyetleri destekleme kapasitesinin bir göstergesini sağlamıştır (Longley ve diğerleri, 2005). CBS, UA verilerinin görsel temsillerini oluşturan ve mekansal analizler yapan, donanım, yazılım ve verileri birleştiren teknolojidir.

Günümüzde CBS, çiftçiler ve tarım endüstrisi için önemi olan ve yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Bu teknolojiler, özellikle tarım alanında analiz ve değerlendirmelere yönelik yeni ve daha iyi yaklaşımlar tanımlar. CBS'de işlenen veriler, coğrafi bileşeni olduğu sürece akla gelebilecek hemen hemen her şeyi temsil edebilir. Verilerin elde edildiği donanım, bilgisayardan uydulara, dronlara ve el tipi Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ünitelerine kadar her şey olabilir. CBS uygulamaları, hem yerel hem de dünya genelinde tarım alanında önemli bir rol oynamaktadır. Çiftçilere üretimi artırmada, maliyetleri düşürmede ve arazi kaynaklarını yönetmek için etkili bir araç sağlamada yardımcı olan CBS, son 10 sene içerisinde giderek daha değerli hale gelmiştir (Ghosh, P.; Kumpatla, S. 2022). Bu hususta birkaç farklı yazılım paketi vardır, ABD Çevre Sistemleri Araştırma Enstitüsü (ESRI) ürünü olan ArcGIS paketi, kamuya açık QGIS, Avrupa Uzay Ajansı Sentinel Uygulama Platformu (SNAP ESA) en çok kullanılan örneklerdendir.

Kamu, özel ve kar amacı gütmeyen sektörlerin nerede ise tümü, kamu hizmetlerini yönetmekten lojistik hareketini ve dağıtımını organize etmeye kadar bir çok şeyi yapmak için CBS'yi kullanır, ancak CBS'nin gerçek gücü, çoklu veri katmanlarını veya değişkenleri analiz etme yeteneğinde yatmaktadır.

Tarım için daha karmaşık mekansal analizler hasat yönetimine, saha uygunluğuna ve drenaj planlamasına yardımcı olmak için toprak tipi, rüzgar yönü, yağış miktarı, eğim, bakı, topografya veya yükseklik gibi sel, kuraklık, erozyon ve hastalık risklerinin önlenmesi gibi değişkenleri karşılaştırabilir. CBS, çiftçilerin bu tür farklı değişkenlere uyum sağlamasına, mahsullerin sağlığını izlemesine, belirli bir tarladan elde edilen verimi tahmin etmesine ve hasatı en üst düzeye çıkarmasına yardımcı olabilir.

CBS, ihtiyaç duyulan alanları ve gıda güvensizliğinin altında yatan nedenleri belirlemek için uydular ve mobil cihazlar tarafından toplanan verilerin yanı sıra arazi kullanımı ve birincil gıda hasatı istatistiklerini kullanarak küresel gıda güvenliği alanında da etkili çözümler sunar (Panda ve diğerleri, 2010). Dünyanın yüzeyi hakkında yüksek irtifalardan taranarak bilgi toplanması için UA uyduları, insansız hava araçları (İHA) ve pilotlu hava araçları kullanılmaktadır. GPS, İHA'lar ve robotik teknolojilerindeki hızlı gelişmelerle birlikte birçok tarımcılık işi bilgisayarlaştırılmış hale gelmektedir.

CBS, hassas tarım veya uydu çiftçiliği olarak da adlandırılan otomatikleştirilmiş operasyonların ayrılmaz bir parçasıdır. Çiftçiler, UA verileri ve ayrıca doğrudan tarım makinelerine monte edilmiş sensörlerden toplanan verileri kullanarak, verimi en üst düzeye çıkarmak için ekimlerini planlamak için karar verme yeteneklerini geliştirmektedir. Önceki mahsul verimleri, arazi özellikleri, organik madde içeriği, pH, nem ve toprağın besin seviyelerinin tümü, hassas tarım için uygun hazırlığa yardımcı olmaktadır. GPS izleme üniteleri ile donatılmış biçerdöverler, verimlilik, bitki su içeriği ve klorofil seviyeleri gibi hasat kalite değerleri ile gerçek zamanlı olarak ve hasat edilen alanda tam olarak ölçülebilir.

Günümüzün yetkili makamları için, nüfustaki sürekli artışı desteklemek için gerekli gıda kaynaklarını sağlama ihtiyacı büyüyen bir kaygı haline gelmiştir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'ya göre, gelecekteki gıda ihtiyaçlarını karşılamak için mevcut hasatın 2050 yılına kadar ikiye katlanması gerektiği tahmin edilmektedir (FAO, 2009). Bu amaçlar için, CBS sadece gerçek zamanlı analizler için değil, aynı zamanda geçmiş verileri karşılaştırmak için de kullanılmaktadır.

Uydu görüntüleri, zaman içinde tarımsal arazi kullanımının tarihsel eğilimlerini değerlendirmek için kullanılabilir. Bu, gelecekteki nüfuslara yiyecek sağlamak için gereken ekilebilir arazi miktarını tahmin etmeye ve planlamaya yardımcı olabilir. Tohum, gübre, besin maddeleri veya pestisitlerin yalnızca ihtiyaç duyulan yerde ve zamanda uygulanması, çiftçi için önemli bir maliyet tasarrufu sağlayabilir ve gelirleri artırabilir. Ek olarak, bazı kimyasalların aşırı uygulanmasından kaynaklanan olumsuz çevresel etkiler hafifletilir ve belirli kimyasalların kullanımı, veri analizine dayalı olarak potansiyel olarak tamamen ortadan kaldırılabilir.

Bu tür sistemler kurulduğunda, hassas tarım işlemi buna benzer bir kapalı döngü izler: veri toplama/analiz etme, hasat planlama, planı uygulama ve sonraki sezon için sonuçları analiz etme. Verimlilik tahmini yöntemleri bu sistemlerin görüldüğü üzere çok önemli bir parçası olmaktadır.

Tarım, birçok gelişmekte olan ekonominin bel kemiği olarak, Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'nın (GSYİH) önemli bir bölümünü sağlamaktadır. Bu nedenle, düşük verimlerin tahmin edilmesi durumunda zamanında müdahaleler yapılabileceğinden, hasattan önce makul doğrulukta verim tahminleri elde etme olasılığı önemlidir. Hasat tahmini, ekonomik kalkınmada ulusal, bölgesel ve global ölçekte çok önemli etkindir (Hayest ve Decker, 1996). Nüfus artışı nedeniyle, makro ve mikro düzeyde planlamaya ve özellikle tarım sigortası talebine artan bir ihtiyaç vardır (Anup 2005), bu da tarım düzeyinde verim istatistiklerine olan ihtiyacı artırır. Bu tahminler, yetkilileri mahsul verimindeki potansiyel düşüş konusunda uyarır ve zamanında ithalat ve ihracat kararları alınmasına izin verir.

Verimlilik tahminlerinin UA ve CBS kullanarak elde edilmesi, maliyetlerin düşürülmesi ve otomatikleştirmenin sağlanması için mühim uygulama türüdür. Mahsul verimini tahmin etmek için iki geleneksel yöntem vardır: ampirik-istatistiksel ve hasat büyüme modelleri (Jorgensen, 1994). Bu yöntemler saha raporlarına dayanmaktadır.

Bunlardan ilki, birçok ülkede uygulanan, mahsul için geleneksel veri toplama tekniklerine ve zemine dayalı saha raporlarına dayanan verim tahminini temel alan geleneksel yöntemdir (Reynolds ve diğerleri, 2000; dela Torre ve diğ., 2021). Belirli bir bölgede, uzun yıllar mahsul verimini baz alan ampirik-istatistiksel modeller ve mahsul verimi üzerinde etkili faktörler bulunur. Daha sonra mahsul verimi, ampirik bir denklemle etkin parametre ile ilişkilendirilir ve her bir faktörün katsayısı bulunur. Şimdi bu katsayılarla hasat verimi tahmin ediliyor. Her ampirik model seti, hasat verimini bir dizi faktörle ilişkilendirmektedir. Çoğu ampirik-istatistiksel yöntemde, etkili faktörler çevreseldir. Yöntemin prosedürü aşağıdaki gibidir:

- 1 m²'lik bir alanı ölçün ve kafa veya bölmelerin sayısının elde edilmesi.
- Verimliliğin ortalamasını almak için bu prosedürün birkaç kez tekrarı (X)
- En az 20 baş veya bakladaki tanelerin sayısının ve ortalamasının sayımı (Y)
- İlgili mahsulün tane ağırlığının belirlenmesi (Z)
- t/ha cinsinden verim = $(X \times Y \times Z) / 10.000$

Bu yöntem maliyetlidir, zaman alıcıdır ve eksik zemin gözlemleri nedeniyle hatalara eğilimlidir, bu da yetersiz mahsul verimi değerlendirmesine ve hasat alanı tahminlerine yol açar. Çoğu ülkede, gıda kıtlığını önlemek için uygun önlemlerin alınması için veriler çok geç elde edilir.

Hasat büyüme modelleri, mahsul verimini, farklı fizyolojik süreçlerin çevre ile karmaşık etkileşiminin bir fonksiyonu olarak tahmin eder. Bu modeller, günlük ürün büyüme simülatörü ile biyokütle üretim potansiyelini tahmin eder.

Bu günlerde planlı tarım çoğu ülkede uygulanmaktadır. Geleneksel yöntemlerin dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- Genellikle alana spesifik değil
- Maliyetli ve zaman alıcı
- Gerçek zamanlı değil

Verim tahminlerinin doğruluğu, yeterli sayıda sayımın yapılmasına bağlıdır. Belirlenen sonuç tahmini sadece yol gösterici olacaktır ve tahminlerden yola çıkılarak yapılan varsayımlar bir dereceye kadar belirsizlik içermektedir. Bu yöntemlerin çalıştırılması, çok fazla zemin faktörü gerektirmesi, doğru biçimde veri toplanması ve yüksek maliyet gibi çok sayıda zorluğa sahiptir. Bu nedenle bu dezavantajları ortadan kaldıran yöntemler geliştirilmiştir. UA yöntemleri, geleneksel metodolojinin dezavantajları aynı anda ortadan kaldırır (X.Mo ve diğerleri, 2004).

Uydu görüntüleri kullanılarak mahsul verimi tahmin yöntemleri ve uydu görüntülerinin tarımda yer gözlemi kullanımı 1970'li yıllardan itibaren başlamıştır (Monteith, 1977). O dönemlerde uydu görüntülerinin pahalı olması ve uzamsal çözünürlüklerinin düşük olması nedeniyle bu yöntemlerin kullanımı gelenek değildi. 1990 yılından itibaren yukarıdaki dezavantajlar ortadan kaldırılarak yüksek uzaysal ve spektral çözünürlüklü görüntüler üretilmiş ve çoğu araştırmacı bu yöntemleri kullanmıştır (Groten, 1993). UA verileri, neredeyse gerçek zamanlı olarak dünyadaki özellikler ve fenomenler hakkında küresel ölçekte uzamsal bilgi sağlama potansiyeline ve kapasitesine sahiptir. Sadece bitki örtüsü sınıflarını belirlemede değil, aynı zamanda mahsul verimini tahmin etmede de potansiyelleri mevcuttur.

Günümüzde elimizde elektromanyetik dalga yansıması ile üretilen ve bu görüntülerden farklı bitki örtüsü indeksleri hesaplama olanağı tanıyan veriler vardır. Bu indeksler, yeşil kütle ve su, protein vb. içeriğinin dalganın yansıması üzerinde etkisi olduğundan, bitki sağlığı ve üretkenliğinin gerçek zamanlı değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılır (Anup, 2005). Çoğu çalışma, uydu görüntülerinden çıkarılan bitki spektral indeksi ile yeşil biyokütle ve verim arasında yüksek bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Bu nedenle vejetasyon spektral indeksi ile yeşil biyokütle ve verimi birleştirmek, hasattan önce verimi tahmin etmek için kullanılabilir (Groten, 1993). Bilim adamları, bu verileri kullanarak defalarca mahsul verimi ve bitki örtüsü durumunun tahmini, su talebinin değerlendirilmesi ve vejetasyonun gelişimi, hasat haritalaması, arazi örtüsü/kullanım değişikliklerinin izlenmesi ve ayrıca hassas tarım ve sulama yönetimi dahil olmak üzere tarımda UA'nın büyük uygulamaları ortaya çıkaran çalışmalar yapmıştır. (Atzberger, 2013; Bernardes ve diğerleri, 2012; Sakamoto ve diğerleri, 2005).

Tarımsal üretim, güneş radyasyonu, su tüketimi vb. gibi kompleks çevresel faktörlerin bir sonucudur. Verimlilik tahmini uygulamalarındaki amaç, mahsul verimini bu faktörlerin bir fonksiyonu olarak minimum zaman ve maliyetle ve maksimum doğrulukla tahmin edebilen yöntem bulmaktır.

UA verilerinin tek başına veya diğer yardımcı saha veya laboratuvar verileriyle kombinasyon halinde analizi, hasat döneminden önce verimliliğin belirlenmesine izin verir (Dempewolf ve diğerleri, 2014; Morel ve diğerleri, 2014). UA'nın ürün durumu ve sağlığı hakkında bilgi sağlama yeteneği, potansiyel ürün veriminin tahminine önemli bir katkıdır. UA verileriyle verimliliği tahmin etmek için birden fazla metodolojik yaklaşım tartışılmaktadır. Bu yöntemler tekli veya kompleks olarak ele alınabilmektedir. Sözü geçen yöntemler 3 kategoriye ayrılır:

- Ampirik-istatistiksel modellere dayalı UA yöntemleri (dela Torre ve diğ., 2021).
- Biyokütle tahmin modellerine dayalı UA yöntemleri (Monteith, 1972; Mass, 1988).
- Su tüketimi denge modeline dayalı UA yöntemleri (Reynolds ve diğerleri, 2000).

Bunlardan ilki, bitki örtüsü indeksi ile hasat zamanındaki verimin yerinde ölçümü arasında ampirik bir ilişkinin belirlendiği basit bir yaklaşımdır (Bolton ve Friedl, 2013; Tucker ve diğerleri, 1985). İdeal olarak, bitki örtüsü endeksinin hesaplandığı görüntünün elde edilme tarihi, yerinde verim ölçümü zamanı ile çakışmaktadır. Ancak, bu her zaman böyle değildir, bu nedenle iki metriktten birinin enterpolasyonunu gerektirir. Bu yöntemler geleneksel yöntemlere dayanmaktadır, ancak burada spektral indeksler yer ölçümünden değil uydu görüntülerinden hesaplanmaktadır. Bu yaklaşımın dezavantajı, kurulan ilişkinin genellikle yalnızca belirli alan, ürün türü ve belirli tarihte elde edilen UA verileri için geçerli olmasıdır. Bunun nedeni, büyüme mevsimlerinin yağış, sıcaklık, ekilen ürün, gübre uygulaması ve diğer biyofiziksel ve yönetim faktörlerinde farklılık göstermesidir.

Biyokütle tahmin modellerine dayalı verimlilik belirleme yöntemi, farklı fizyolojik süreçlerin çevre ile karmaşık etkileşimine odaklanır. Bu yöntem, hasat büyüme modeli (Mass, 1988) ve Monteith modeli (Monteith, 1972) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Biyokütle tahmin modellerine dayalı yaklaşımlardan biri, hasat büyüme modeli farklı büyüme aşamalarını tanımlar. Hasat büyüme modellerini ve UA verilerinden spektral gözlemi birleştirmenin birçok yolu vardır ve ilk olarak Mass (1988) tarafından tanımlanmış ve sınıflandırmaları Delecolle (1992) tarafından tekrar gözden geçirilmiştir. Model/gözlem eşleştirmesinin genel stratejisi, radyometrik gözlemlerden modelleme prosedüründe doğrudan meydana gelen değişkenler veya parametrelerden oluşur. Bir değişkeni türetmek için UA verilerinin doğrudan kullanımı, UA verilerinin yeterli bir zaman diliminde mevcut olduğunu varsayar. Tarihler arasındaki boşluklar bu nedenle belirlenmiş enterpolasyon prosedürü ile doldurulmalıdır. Ancak, doğrudan UA ile izlenemeyen mahsul biyokütlesi gibi değişkenlerin tutarlı tahminini elde etmek için bu süreçlerin gelişmiş tanımı gereklidir.

Bir başka biyokütle tahmin modeli olan Monteith modeli, Monteith (1972) tarafından türetilen UA ile mahsul verimini modellemek için basit ve kullanışlı bir paradigmadır. Bu model, mahsul verimini tahmin etmek için Biyokütle kullanır.

$$Biyokütle = APAR * e \quad (1.1)$$

$$Y = APAR * e * HI, sentner \quad (1.2)$$

Burada, e: biyokütle birimlerinde ışık kullanım verimliliği; HI: Hasat İndeksi; APAR: Absorbe Edilen Fotosentetik Aktif Radyasyondur. e'deki değişkenlik, çeşitli besin maddelerinden ve sudan kaynaklanabilir. Çok sayıda çalışma göstermiştir ki, su kısıtlı değilse ve sıcaklık optimal ise, e, bitkilerin nispeten sabit bir özelliğidir. Bazı hesaplamalarda, doğruluk artışı için sıcaklık ve toprak neminin etkisi dikkate alınır. e gibi, HI nispeten sabittir. Bu faktörün değerleri deneysel olarak belirlenmiş ve uluslararası literatürde açıklanmıştır. Son yıllardaki mahsul bilgilerinden hesaplanabilir.

Su tüketimi denge modeline dayalı UA yöntemleri, ürün büyüme aşamaları sırasında buharlaşma fraksiyonunun bir fonksiyonu olarak ürün verimini tahmin eder ve buharlaşma fraksiyonunu tahmin etmek için su tüketimi denge modelini kullanır (Reynolds ve diğerleri, 2000). İlk başta, tüm büyüme periyodu setlere bölünür ve daha sonra bu setlerde buharlaşma fraksiyonu hesaplanır.

Bir sene için bitkinin büyümesini ve verimliliği etkileyen faktörler göz önünde bulundurularak bu modeller aracılığıyla daha iyi tahminler yapılabilir. Meteorolojik ve iklimsel veriler (yüzey sıcaklığı, yağış, vb.), toprak özellikleri ve çiftçilik uygulamaları gibi bilgiler, hasat büyümesini ve mahsulün nihai tahminlerini modellemek için eğim ve bitki örtüsü endeksleri gibi uzamsal olarak açık UA'den türetilen bilgilerle birleştirilir. (Dorigo ve diğerleri, 2007).

Buğday (*Triticum L.*), irrigasyon, iklim faktörleri ve toprak tipleri açısından çok çeşitli çevre koşullarında yetiştirilebilen, dünyanın en çok yetiştirilen hasat türlerinden biridir. 2021 yılında küresel buğday üretimi 770,4 milyon ton olarak gerçekleşti (FAO, 2021). Dünya genelinde ortalama buğday verimliliği yaklaşık 3,5 t/ha'dır ve küresel buğday talebini karşılamak için 2050 yılına kadar 5 t/ha'ya çıkarılması gerekmektedir (FAO, 2009). Buğday, Azerbaycan'da yaygın olarak yetiştirilen ürünlerden biridir. Buğday unu, Azerbaycan halkının beslenmesinde özel bir yeri olan ekmek ve diğer unlu mamullerin üretimi için ana hammadde. 2020-2021 yılında Azerbaycan'da 986.685 ha alana hububat (buğday ve arpa) ekilmiştir ([Url-1](#)). Azerbaycan'da 16 çeşit buğday cinsi bulunmaktadır (FAO, 2006). 2021'de Azerbaycan Bakanlar Kurulu tarafından onaylanan kota temelinde üretilen Süper Elit tohum türü, yıllık 165 ton ile üretilen 3 ana tohum türünden biridir. Bu tohum, esas olarak Azerbaycan Mahsul Yetiştiriciliği Araştırma Enstitüsü tarafından üretilmektedir. Kışlık buğday, yüksek besin değeri ve çok amaçlı kullanımı nedeniyle dünya çapında insan tüketiminin ana temellerinden birini oluşturmaktadır. Bu nedenle kışlık buğdayın verim tahmini gıda güvenliği açısından önemli bir konudur. 2022 yılında Azerbaycan'da üretilen hububat ve bakliyatların 1 milyon 736,1 bin tonu (%54,9) buğdaydan elde edilmiştir. Ayrıca, kışlık buğday da %62 ile toplam kışlık mahsul üretiminin en büyük payını oluşturmaktadır (Azerbaijan-News, 2023).

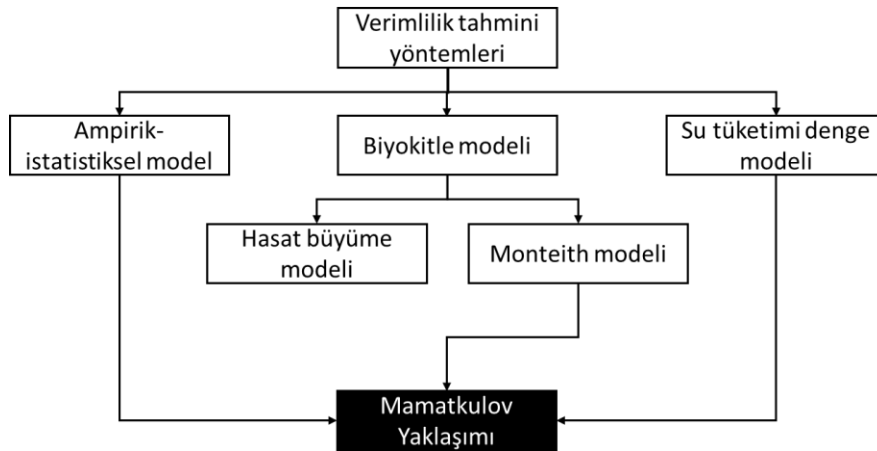
2. METODOLOJİ

2.1. Verimlilik Belirlemede Mamatkulov Yaklaşımı

Geleneksel olarak, büyüme mevsimi boyunca mahsul verimi tahmini, güçlü fizyolojik ve fiziksel kavramlara dayalı belirli bir mahsul için gelişme, fotosentez, evapotranspirasyon ve verimi tanımlamak için iklim, toprak ve diğer yardımcı verileri özümseyen modeller içerir. Bu modeller, zemin veya gerilmelerde uzamsal değişkenlik mevcut olması durumunda zayıf etkenler olmaktadır (Wiegand, 1984).

Bununla birlikte, hasat kanopilerinin uzaktan algılanması, zamansal kapsamı ve birçok spektral dalga boyunda görüntü elde etme kabiliyeti nedeniyle, tarımsal izleme için potansiyel olarak değerli bir araç olarak tanıtılmıştır (Quarmby ve diğerleri, 1993).

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, Mamatlukov'un karma yaklaşımı su tüketimi, hasat büyüme ve Monteith modellerine dayanmakla birlikte klasik ampirik verimlilik hesaplama modelini de baz almaktadır (Mamatkulov ve diğerleri, 2021).



Şekil 2.1 : Verimlilik tahmini yöntemleri.

Mamatlukov'un karma yaklaşımındaekin alanının toprak bonitet seviyesine göre verimlilik tahmini şu şekilde hesaplanır:

$$Y=A \times B \times C \quad (2.1)$$

Burada A, arazinin bitki örtüsüyle kaplı alanıdır, Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) baz alınarak hesaplanır; B, Toprak Kalitesi İndeksi (SQI); C, verim hesaplaması için özel katsayıdır.

Böylece formülde, Monteith yaklaşımı baz alınarak C - Kappa bitki katsayısı (K_c) olarak kabul edilir ve aşağıdaki gibi yeniden oluşturulur.

$$Y = NDVI \times SQI \times K_c \quad (2.2)$$

Bu yöntem önemli faktörleri verim hesaplamasında indeks olarak ele almanın yanı sıra, indeksler UA ve CBS tabanlı yaklaşım ile hesaplamaya uygundur. Çoklu veri yaklaşımı yardımı ile bu model kullanılarak yapılan araştırmalar için daha yüksek doğruluk sağlanabilir.

UA ve CBS tabanlı tarım izleme, ulusal, bölgesel ve küresel ölçekte güvenilir ve zamanında ekin alanı tahminleri ve mahsul üretim tahminleri sağlayan gıda güvenliği bilgi sisteminin önemli bir bileşenidir. Yeraltı suyu durumu ve toprak kalitesi (SQ) gibi diğer yardımcı çevresel verilerin yanı sıra uzamsal-zamansal Sentinel 2 görüntülerinden formüle edilmiş endeksler, ürün gelişimi ve verimi tahmin etme konusunda daha güvenilir sonuçlar sağlayabilir.

2.2.Mamatlukov Yaklaşımında Kullanılan Endeksler

2.2.1. Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon Endeksi

UA verileri, bitki örtüsü haritalama ve izleme için yaygın olarak kullanılır. Özellikle yeşil bitki örtüsü envanteri, verimlilik tahmini ve bitki örtüsü değerlendirmesi, uydu görüntülerinin kullanıldığı alanlardan sadece birkaçıdır.

Yapraklarda bulunan bu klorofil gün ışığında inorganik bileşenlerden organik madde üretimini sağlar. Bu işlem sırasında güneşten üretilen 0,63-0,69 µm dalga boyunda elektromanyetik enerji elde edilir. Sağlıklı bitki örtüsü, 'yeşil' yaprakların yapısı nedeniyle en yüksek yansımanın yakın kızılötesi dalga boylarında bulunabileceğini ve klorofil varlığından dolayı en büyük absorpsiyonun kırmızı dalga boylarında olduğunu göstermektedir (Ozyavuz, 2010).

Bitki yoğunluğu uydu sensörlerinin günlük zamansal çözünürlüğü ve kapsama alanı, bölgesel, kıtasal ve küresel ölçekler gibi mevsimsel ve yıllık dinamiklerle değişmektedir (Ozyavuz ve Donmez, 2014).

NDVI, UA görüntülerinde bitki örtüsünün yeşilliğini ve yoğunluğunu ölçer. Bunun için NIR ve görünür kırmızı (R) ışık kullanılarak geliştirilmiş formülünden tek bir bant oluşturulur (Ozyavuz, 2010). NDVI hesaplamasında piksel bantlarından oluşturulan dijital sayı (DN) ve farklı bant değerleri kullanılır. Sağlıklı bitki örtüsü, iki bant arasındaki farkı hesaplayarak elde edebileceğimiz çok karakteristik bir spektral yansıma eğrisine sahiptir. NDVI, UA verilerinden elde edilen spektral bantlardan aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (2.3)$$

Bu formüle göre, görüntünün belirli bir noktasındaki bitki yoğunluğu (NDVI), kırmızı ve kızılötesi aralıkta yansıyan ışığın yoğunluklarındaki farkın bu yoğunlukların toplamına bölünmesine eşittir. NDVI sonuçları, siyah beyaz görüntü şeklinde tek bant halinde oluşturulur. Çeşitli özneliklerin bantlara göre hesaplanan değerleri Çizelge 2.1`de gösterilmiştir:

Çizelge 2.1. Bantlara göre farklı özelliklerin hesaplanan değerleri.

Sınıf	IR değeri	Görünür kırmızı değeri	NDVI değeri
Bitki	yüksek	alçak	yüksek
Bulut-su-kar	yüksek	alçak	negatif
Kaya-çıplak toprak	yüksek	yüksek	~0

Bir bitkinin belirli zaman periyotları boyunca düzenli olarak hesaplanan NDVI değeri, koşullarındaki değişiklikler hakkında çok şeyi ortaya çıkarabilir. Başka bir deyişle, bitki sağlık durumunu uzaktan tahmin etmek için NDVI'yı kullanabiliriz. NDVI değerlerinde ani düşüş, bitki sağlığının bozulmasının veya yangın gibi kenar faktörlerin belirtisi olabilir. Bu düşüş, bitkinin hasat edilmesi gibi normal değişikliklere de karşılık gelebilir, bu nedenle NDVI değerinin diğer mevcut verilerle kontrol edilmesi gerekir (Ozyavuz ve Donmez, 2014).

Doğru şekilde yorumlanmış NDVI değerleri, agronomistlerin bitki sağlık durumunu daha iyi anlamalarına, daha sağlıklı verim elde etmelerine, gübrelerden tasarruf etmelerine ve b. yardımcı olabileme kapasitesine sahiptir.

NDVI -1.0'dan 1.0'a kadar olan değerleri tanımlar, burada negatif değerler çoğunlukla bulutlardan, sudan ve kardan oluşur ve sıfıra yakın değerler öncelikle kayalardan ve çıplak topraktan oluşur. NDVI işlevinin çok küçük değerleri (0,1 veya daha az), boş kaya, kum veya kar alanlarına karşılık gelir. Orta değerler (0,2 ila 0,3 arası) çalılırları ve çayırları temsil ederken, büyük değerler (0,6 ila 0,8 arası) ılıman ve tropikal ormanları gösterir (Ozyavuz ve Donmez, 2014).

2.2.2. Bitki verimlilik katsayısı

Bitki verimliliği için K_c , belirli bir bitki türü için spesifik katsayıdır. Tipik olarak K_c , alan üzerinde deneysel olarak hesaplanır. Bu değer, toprak, hasat, iklim koşulları ve hasat yönetimi tekniklerinin etkilerindeki çoklu değişiklikleri temsil eder. Her ekin tarlasının, iklime, büyüme dönemine ve klorofil oranlarına dayalı bir dizi özel ekin katsayıları vardır.

Bitki katsayısı hesaplama yöntemlerinden biri Mısır'daki buğday tarlalarında yapılan araştırmaya dayanmaktadır (El-Shirbeny ve diğerleri, 2014). Bahsedilen araştırmada NDVI indeksi ile K_c arasında bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir.

$$K_c = (K_{cmax} (NDVI - K_{cmin})) / (NDVI_{cmax} - NDVI_{cmin}) \quad (2.4)$$

Deneysel verilere göre, K_{cmax} genellikle 1.2'ye, K_{cmin} ise 0.1'e eşittir (Beerli ve diğerleri, 2020).

Çalışma için ele aldığımız yaklaşım, Yaprak Alanı İndeksine (LAI) dayalı K_c hesaplama yöntemidir. Araştırma, optik ve SAR UA görüntüleri kullanılarak İsrail'de bulunan üzüm ekinlerine uygulanmıştır (Beeri ve diğerleri, 2020). Sonuç olarak, bu araştırmadaki K_c ve LAI arasındaki korelasyon doğrulanmıştır.

$$K_c = -0.0283 * LAI^2 + 0.3547 * LAI + 0.0775 \quad (2.5)$$

LAI – bitki gelişimini ve üretimini takip etmek için kullanılan en önemli biyofiziksel değişkenlerden biri olarak, zemin alanı birimi başına düşen yaprak alanı gibi tanımlanan indekstir. Büyük tarım alanları için, alan araştırmalarıyla LAI'nin belirlenmesi zaman alıcı ve zordur. Ayrıca, LAI geniş bir alanda geleneksel yöntemler ile ölçülemez. Güvenilir, güncel ve tutarlı uzamsal-zamansal kapsam ve çözünürlüğün yanı sıra kullanım kolaylığı sunabildikleri için, UA tarafından toplanan coğrafi verilerin kullanılması gibi dolaylı yaklaşımlar popüler hale geldi. Bu nedenle LAI değerlerinin hızlı ve hassas bir şekilde hesaplanması için uydu verilerinin kullanılmasının en uygun yaklaşım olduğu düşünülmektedir (Najatishendi, 2017).

$$LAI = (Yaprak\ alanı) / (Tüm\ alan) \quad (2.6)$$

2.2.3. Toprak Kalitesi İndeksi

SQ, son yıllarda ortaya çıkan ve farklı sistemler kullanarak toprağı değerlendirmek için kullanılan en yaygın kavramlardan biridir. SQI genel anlamı ile, insan kaynaklı veya doğal olsun, toprağın bir ekosistem sınırı içinde işlev görme becerisidir. Toprağı bozulma süreçlerinden korurken mahsul verimliliğinin sürdürülebilirliğini sağlamayı amaçlar (Vasu ve diğerleri, 2016; Lal, 2015). SQ değerlendirilmesi genelde toprağın mahsul verimi, erozyon, yüzey zemin, ve hava kalitesi üzerindeki etkilerine ele almak için kullanılır (Bünemann ve diğerleri, 2018).

Çölleşme ve bozunma olaylarıyla ilgili toprak özellikleri iki temel parametreyi etkiler: su depolama ve tutma kapasitesi; erozyon direnci.

Bu özelliklere göre bir toprağın kalitesinin tam değerlendirmesi, düzenli toprak etüt raporlarında verilen toprak özellikleri kullanılarak yapılabilir.

Dünyanın birçok bölgesinde, yoğun arazi kullanımı ile bu kullanım tiplerindeki değişiklikler dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere birçok nedenden dolayı toprak kalitesi hızla düşmektedir (Gomiero, 2016; Borrelli ve diğerleri, 2020). Bu nedenle, SQ değerlendirmesi, tarımsal sistemlerin sürdürülebilirliğini izlemenin ve sürdürülebilirliğin temeli olarak kabul edilir (AbdelRahman ve Tahoun, 2019).

SQ'nun değerlendirilmesi kişisel bilgilere dayanmaktadır, bu da veri eksikliği ve coğrafi konumlar arasındaki benzerlik eksikliğine yol açabilmektedir. Bu nedenle, SQ değerlendirmesi, en düşük düzeyde öznel ile nicel, belgelenmiş, tekrarlanabilir ve mekansal olarak açık bir yaklaşımla gerçekleştirilmelidir (AbdelRahman, ve diğerleri, 2016). Ek olarak, toprak kalitesinin değerlendirilmesi için toprak özelliklerini etkileyen göstergelere ihtiyaç vardır (Pham ve diğerleri, 2018; Moges ve diğerleri, 2013).

SQ, fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler dikkate alındığında, toprağın mahsul üretimi için uygunluğunu belirlemede, toprak kalitesini ve mahsul verimini etkilemede çok önemli bir role sahiptir (Baroudy ve diğerleri, 2020; Andrews ve diğerleri, 2001). Böylece, SQ göstergeleri, stabil ve dinamik toprak özelliklerine bölünebilir (Wienhold ve diğerleri, 2005).

Toprak derinliği, pH, toprak nemlilik oranı ve nitrat konsantrasyonları dinamik toprak özellikleridir ve onların periyodik olarak izlenmesi gerekirken, eğim gradyanı, toprak dokusu, mahsul verimliliğindeki farkı etkileyen stabil toprak özellikleri olarak kabul edilir. Bu, yönetim sürecinin dinamik toprak özelliklerini, örneğin değişken sulama veya gübreleme uygulama oranını etkileyen bitki verimliliğindeki farklılık üzerindeki etkisini açıklar (Bünemann ve diğerleri, 2018).

SQ'de insan kaynaklı değişikliklerin değerlendirilmesi, yüksek mahsul verimini temin etmek için önemlidir. Çok çeşitli ekili topraklar, nispi toprak özelliklerine ve mahsul verimine dayalı olarak uygun SQI tanımlanmasını gerektirir. Dünya çapında büyük topraklar için SQI'yi tahmin etmek için çok sayıda girişimde bulunulmasına rağmen, oluşturulmuş standart bir yöntem yoktur. Bu nedenle, mevcut çeşitli yöntemlerin karşılaştırılması yoluyla kullanıcı dostu ve güvenilir bir SQI geliştirmeye ihtiyaç vardır.

SQ, toprağın doğal veya yönetilen ekosistem sınırları içinde işlev görme ve toprak bozulmasını azaltırken bitki verimliliğini sürdürme kapasitesi olarak tanımlanır (Karlen ve Stott, 1994). SQ karmaşık bir işlevsel kavram olduğundan ve doğrudan tarlada veya laboratuvarında ölçülemediğinden ve ancak yalnızca toprak özelliklerinden çıkarsanabildiğinden (Diack ve Stott, 2001), SQ'ni tahmin etmek için bir çok toprak parametresi veya göstergesi tanımlanmaktadır.

SQI, denetim hedeflerini yalnızca toprak bozulmasına neden olabilecek kendiliğinden gelişen süreçlere değil, aynı zamanda çevresel faktörlere de odaklanması için değerlendirilmektedir (Karlen ve diğerleri, 1997). 1990'ların başında SQI tahmin etmek için matematiksel veya istatistiksel modeller ortaya atılmıştır (Larson ve Pierce, 1991).

SQI tahmini, birkaç fonksiyonel faktörle bağlantılı olduğundan karmaşık bir prosedürdür (Bhardwaj ve diğerleri, 2011). Yine de, bir çok toprak türü ve yönetimi ile ilgili çalışmada SQI'yi tahmin etmede önemli ilerlemeler kaydedilmiştir (Andrews ve Carroll, 2001; Andrews ve Karlen, 2004; Andrews ve diğerleri, 2002; Fernandes ve diğerleri, 2011; Mandal ve diğerleri, 2011). Bu çalışmalardan çoğu, yalnızca bir yöntem kullanarak SQ'ni endekslemiştir (Zornoza ve diğerleri, 2008).

Çoğu çalışma, son nokta değişkeni olarak toprağın çevresel etki faktörlerine odaklandığından ve çeşitli toprak katmanlarının SQI'si hesaplanmadığından, mahsul verimliliğine karşı SQI'nin doğrulanmasıyla ilgili veriler azdır (Zornoza ve diğerleri, 2008; Jokela ve diğerleri, 2011; Navas ve diğerleri, 2011).

SQI'nin hesaplanması kompleks olduğundan, mevcut çeşitli yöntemlerin karşılaştırılması yoluyla kullanıcı dostu ve güvenilir bir SQI geliştirmeye ihtiyaç oluşmuştur. Bu nedenle, Mukherjee ve Lal tarafından (2014) kavramsal olarak birbirinden farklı üç yöntemle hesaplanan SQI'leri karşılaştırılarak SQI hesaplaması için temel formül geliştirilmiştir. SQI'yi tahmin etmek kullanılmakta olan bazı yöntemler şunlardır:

- basit toplamsal SQI (SQI-1):

$$SQI-1 = (\sum SQI - SQI_{Min}) / (SQI_{Max} - SQI_{Min}) \quad (2.7)$$

Burada, SQI_{Min} = SQI'nin Minimum değeri ve SQI_{Max} = Maksimum toplam veri kümesinden SQI değeridir.

- ağırlıklı toplamsal SQI (SQI-2):

$$SQI-2 = [(W_1) * RDC] + [(W_2) * WSC] + [(W_3) * NSC] \quad (2.8)$$

Burada, RDC (kök geliştirme kapasitesi) toprağın bitki kök gelişimine izin verme yeteneğinin derecesidir, WSC (su depolama kapasitesi) toprağın su depolama yeteneğinin derecesidir, NSC (besin tedarik kapasitesi) toprağın besin sağlama yeteneği. W_1 , W_2 ve W_3 , her bir zemin fonksiyonu (RDC, WSC ve NSC) için ilgili sayısal ağırlıklardır.

- temel bileşen analizine dayalı istatistiksel olarak modellenmiş SQI (SQI-3):

$$SQI-3 = \sum W * \text{tekli parametre puanı} \quad (2.9)$$

- geometrik orta değere dayalı SQI (SQI-4) (Wojewódzki ve diğerleri, 2022):

$$SQI-4 = \sqrt[n]{W_1 * \dots * W_n} \quad (2.10)$$

Bununla birlikte, yalnızca yüzey topraklarından (0-20 cm) hesaplanan SQI, kök sistemi daha derin katmanlara kadar uzanabileceğinden, SQI'yi ürün verimliliğini belirlemek için kullanmada soru işareti oluşmaktadır (Brady ve Weil 1984). Genel olarak, SQI'ler hiçbir yöntem altında derinliklerde önemli ölçüde farklılık göstermemiştir, bu da SQ'nin incelenen alanlarda farklı derinlikler için önemli ölçüde farklılık göstermediğini ortaya koymaktadır. Her 4 SQI mahsul verimiyle önemli ölçüde ilişkili olmuştur (Wojewódzki ve diğerleri, 2022; Mamatkulov ve diğerleri, 2021). Bununla birlikte, muhtemelen toprağın üst tabakasındaki daha yüksek bitki kök yoğunluğu nedeniyle, 0-20 cm toprak tabakasında daha derin toprak profilinden görece daha yüksek korelasyon katsayısı gözlenecektir (Maurya ve Lal 1980).

Mahsul verimi değişmez bir şekilde toprak verimliliği durumu ile ilişkilidir. Bunun yanı sıra, mahsul çeşidine göre yapılan analizler, SQI ile hasat tipi arasındaki korelasyonun düşük olduğunu ortaya koymuştur (Mukherjee ve Lal, 2014). Bunu temel alarak, bitki tipi farketmezsiniz SQI sonucunun verim tahmini hesaplamalarında standart olarak kullanılabileceği sonucuna varabiliriz.

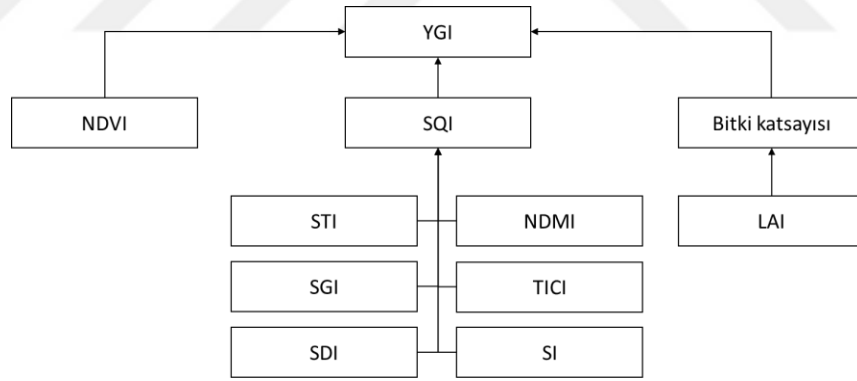
2.2.4. SQI Hesaplamada MEDALUS Yöntemi

Formül içerisinde kullanacağımız SQI değişiminin sadece UA verileri kullanarak hesaplanması için tercih ettiğimiz ve geometrik orta değer kalite hesaplama yöntemine dayalı olan MEDALUS yönteminde (Kosmas ve diğerleri, 1999), fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerine, UA ve CBS verilerine dayalı SQ değerlendirmesi için mekansal bir model geliştirilmiştir.

Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüsü kullanılarak fizyografik birimlerin tanımlanması da dahil olmak üzere araştırma hedefine ulaşmak için çeşitli aşamalar gerçekleştirilmiştir. MEDALUS yöntemine dayalı SQ hesaplaması aşağıdaki formüle dayanmaktadır (Kosmas ve diğerleri, 1999).

$$SQI = \sqrt[6]{(STI * SGI * SDI * NDMI * TICI * SI)} \quad (2.11)$$

Burada STI toprak doku indeksi, SGI eğim gradyan indeksi, SDI toprak derinlik indeksi, NDMI drenaj durumu indeksi, TICI total inorganik karbon bileşenleri indeksi ve SI toprak tuzluluk indeksidir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Çalışmada kullanılmış verimlilik hesaplama yönteminin genel yapısı.

Tarımda organik madde konsantrasyonu ve yoğun yanlış yönetim uygulamaları (Bedolla-Rivera ve diğerleri) derinlik, tuzluluk ve kalsitin SQI'nin belirlenmesinde en etkili faktörler olduğunu göstermiş ve bu parametrelerin mevcut çalışmada kullanılmasının önemini doğrulamıştır. SQ sınıflandırılmalarının geliştirilmesi, iyileştirme gerektirebilecek toprakları belirlediği nedeni ile, SQ'nin iyileştirilmesi gibi tarımsal yönetim maliyetlerini indirebilir.

2.2.4.1. Toprak Doku İndeksi

Toprak dokusu, su depolama, kation değişim kapasitesi, toprak verimliliği, iç drenaj ve absorpsiyon özellikleri gibi toprağın birçok fiziksel ve kimyasal özelliği ve davranışı üzerinde önemli bir etkili faktör olarak kabul edilir (Nemes ve diğerleri, 2009; Manrique ve diğerleri 1991; Gawlik ve diğerleri 1999; Makabe ve diğerleri 2009). Organik madde içeriği açısından, toprak yapısı genellikle toprağın hidrolik özelliklerini ve kation değişim kapasitesini tahmin etmek için pedotransfer fonksiyonları geliştirmek için kullanılır (Wösten ve diğerleri 2001; Seybold ve diğerleri 2005). Ayrıca, toprak dokusu, toprak erozyonuna karşı direnci ölçmek için de uygun bir özelliktir (Le Bissonnais 1996; Warrington ve diğerleri 2009). Bu nedenle, yüksek çözünürlüklü toprak dokusu haritaları, hidrolojik ve jeolojik modellemenin yanı sıra tarımsal yönetim ve çevre koruma ile ilgili diğer faaliyetler için gereklidir (Hassink 1992; Oberthür ve diğerleri 1996; Zhao ve diğerleri 2009).

STI hesaplamada Landsat Gelişmiş Tematik Harita Düzenleyici (ETM) UA verilerini kullanarak yapılan çalışmada (Liao ve diğerleri, 2013), Çin'in Shandong Eyaleti, Pingdu şehrinde bulunan bir sahadan alınan sınırlı sayıda toprak örneği kullanılarak yüzey toprak dokusunun mekansal tahmini için yardımcı değişkenler olarak değerlendirilmiştir. Yüzey toprağı dokusundaki değişkenliği değerlendirmek için üç yöntem uygulanmıştır:

- yüzey toprağı kumu, silt ve kil içerikleri ve UA verileri arasındaki ilişkiye dayalı Çoklu Aşamalı Regresyon (MSR);
- yüzey toprağı kumu, silt ve kil içeriğinin kriging edilmesi;
- UA verileriyle birlikte kuarj.

Korelasyon analizi, yüzey toprağı kumu, silt ve kil içeriğinin Landsat ETM DN ile altı bandın (Bant 1-5 ve Band 7) önemli ölçüde ilişkili olduğunu ve Bant 7'nin DN'sinin toprak kumundaki değişkenliğin çoğunu açıkladığını göstermiştir. Bant 7'nin DN'si, yüzey toprak dokusunun tahmini için yardımcı veri olarak seçilmiştir. Çapraz doğrulama sonuçları, hem MSR hem de kriging tahminlerinin, peyzajdaki farklılıklar ve çalışma alanındaki düşük yoğunluklu örnekleme nedeniyle düşük güvenilirliğe sahip olduğunu göstermiştir. UA verileriyle kohlama, MSR ve kriging ile karşılaştırıldığında yüzey toprak dokusu tahminlerini önemli ölçüde iyileştirir.

Yates ve Warrick (1987) tarafından yapılan çalışmada, toprak dokusunun belirlenmesi için değişkenler arasında 0,5 veya daha büyük korelasyon katsayıları için tahminler için kokriglemenin sıradan krigingden daha üstün olduğu öne sürülmüştür. Toprak dokusunun mekansal dağılımının kriging interpolasyonu ile tahmin edilebildiği sonucuna varılmıştır. Ne yazık ki, Partikül Boyutu Dağılımının (PSD) laboratuvar ölçümleri maliyetli ve zaman alıcıdır. Cokriging, kolayca ölçülebilen yardımcı değişkenlerle yüksek düzeyde ilişkili olduğunda toprak dokusunu tahmin etmek için de kullanılabilir. Bir başka çalışmada Lagacherie ve diğerleri (2008), toprak dokusunun, yüzey pürüzlülüğünde düşük varyasyon ile küçükten büyüğe ölçeklerde önemli ölçüde toprak yansıması ile ilişkili olduğunu bulmuştur.

PSD ölçümü ile karşılaştırıldığında, geniş alanların ayrıntılı tanımları için UA verilerinin elde edilmesi çok daha kolaydır. Bu nedenle, UA verileri, yüzey toprak dokusunun tahmini için faydalı yardımcı değişkenler olabilir. Laboratuvar toprak yansıma verileri (Zhang ve diğerleri 1992) ve IKONOS (Sullivan ve diğerleri 2005) ve Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre (AVHRR) görüntüleri (Odeh ve McBratney 2000) gibi uydu UA verileri kullanılarak toprak dokusunun mekansal tahminine odaklanan birkaç çalışma vardır.

$$STI = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2} \quad (2.12)$$

2.2.4.2. Toprak Derinlik İndeksi

Üst toprak, organik madde ve mikroorganizmaların en yüksek konsantrasyonuna sahiptir ve yerin biyolojik toprak aktivitesinin genelini gerçekleştirdiği kısımdır. Üst toprak, mineral parçacıklardan ve organik maddeden oluşur ve genellikle 13-25 cm derinliğe kadar uzanır. Bunlar birlikte, biyolojik aktiviteyi teşvik eden su ve havayı tutabilen bir substrat oluşturur (Broll ve diğerleri, 2006).

Bitkiler hayati besin maddelerinin çoğunu buradan aldıkları için üst toprakta genellikle yüksek konsantrasyonda kök bulunur. Aynı zamanda, SQ'nin bozulacağı ve bitkiler için daha az uygun hale geleceği önemli bakteriyel, fungal ve entomolojik aktiviteye de bu kısım ev sahipliği yapar.

Sağlıklı bir üst toprak tabakası, çok çeşitli türlere ev sahipliği yapan çok zengin bir mikrobiyomdur (Bahram ve diğerleri, 2017). Yol yatağı ve temel altı, üstü açık ve elementlere maruz kalmış gibi koşullara bağlı olarak zamanla farklı şekillerde yoğunlaşır ve yerleşir. Toprak susuz kaldığında bu yapı etkilenir. Susuz kalmış üst toprak hacmi önemli ölçüde azalır ve rüzgar erozyonuna maruz kalabilir (Marsh, 2010).

Toprak derinliği, bu nedenden dolayı tarım için hayati önem taşımaktadır. Elde bulunan verilere göre, ortalama tarım alanı toprak derinliği 20-30 cm civarında değişim göstermelidir (Broll ve diğerleri, 2006; Pflanzenernähr ve Bodenk 1998).

Azerbaycan arazisi genelinde toprak derinliği 0 ila 20 cm arasında değişmektedir. Tarım alanlarında bu rakamlar 15-20 cm civarını göstermektedir (Mammadov, 2007). Elde bulunan bu verilerden yola çıkarak, hesaplamamızda SDI 0.2 m olarak kabul edilecektir.

2.2.4.3. Normalleştirilmiş Fark Nem İndeksi

NDMI, özellikle salgınlardan sonra bozulan yeşil alanların toparlanmasının tespiti için yararlıdır ve yeşil alanların sağlığı (bozulmaların ve kurtarma modunun bireysel aşamaları) ile ilgili bilgiler sağlamaktadır.

2000-lerin başlarında yapılan bir çalışmada, Landsat verilerinin, kabuk böceği rahatsızlığının kırmızı-saldırı evresini tespit etmede etkili olduğu kanıtlanmıştır (Franklin ve diğerleri, 2003). Ücretsiz erişim arşivinin mevcudiyeti nedeniyle, Landsat'ın uydu görüntüleri arşivi, çok çeşitli disiplinler için en yaygın kullanılan arşivlerden biridir. Landsat verileri, örneğin böcek felaketi gibi bir hastalık ve salgınlardan neden olduğu vejetasyon bozulmasının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan görünür, NIR ve Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) bantlarını temin etmektedir (Wulder ve diğerleri, 2016). Landsat UA verilerinin özellikle zaman kapsamı 40 yıldan uzun olduğu için daha uzun Zaman Serisi (TS) için kullanılması uygundur. Ancak, 16 günlük zamansal çözünürlük, özellikle dağlık alanlarda bulut kapsamı nedeniyle daha da düşük olan sınırlayıcı bir faktördür. Bir senelik periyot boyunca yalnızca birkaç görüntünün olması durumunda, genellikle yılda yalnızca bir seçilen referans görüntü kullanılır. Uzun bir TS periyodu durumunda (20 yıldan fazla), elde edilen verilerin çeşitli radyometrik ve spektral çözünürlükleri, farklı sensör tipleri nedeniyle TS sonuçlarını etkileyebilir (Roy ve diğerleri, 2016).

NDMI, alanın su stres seviyesini tanımlar ve NIR ve SWIR bölgelerindeki kırılan radyasyonların farkı ile toplamı arasındaki oran olarak hesaplanır. NDMI'nin mutlak değerinin yorumlanması, su stresi sorunları sıklıkla yaşanmakta olan tarım alanlarının kısa sürede analizini mümkün kılar. NDMI'nin yorumlanması kolaydır: değerleri -1 ile 1 arasında değişir. NDMI şu denklem kullanılarak hesaplanır (Gao, 1996):

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1} \quad (2.13)$$

2.2.4.4. Total İnorganik Karbon İndeksi

Yarı kurak ve kurak ortamlarda karbonatik ana materyal üzerinde gelişen topraklardaki inorganik karbon içeriği, toprak gelişiminin önemli bir göstergesi olmaktadır. Kalsit inorganik bir karbonat mineralidir ve kalsiyum karbonatın ($CaCO_3$) en kararlı polimorfudur (Ersoy ve diğerleri, 2021). Kalsit, çoğu ölü deniz organizmalarının kabuklarından oluşan, özellikle kireçtaşı olmak üzere tortul kayaçların ortak bir bileşenidir. Tortul kayaçların yaklaşık %10'u kireçtaşıdır.

Çözünmüş karbondioksit miktarı düşerse, reaksiyon kalsit çöktürmek için tersine döner. Sonuç olarak kalsit, su sıcaklığı, pH ve çözünmüş iyon konsantrasyonları gibi faktörlere bağlı olarak ya yeraltı suyu ile çözülebilir veya yeraltı suyu ile çöktürülebilir. Yağış için koşullar uygun olduğunda kalsit, kaya tanelerini bir araya getiren ve kırıkları doldurabilen mineral kaplamalar oluşturur. Çözünme için koşullar uygun olduğunda, kalsitin çıkarılması kayanın gözenekliliğini ve geçirgenliğini önemli ölçüde artırabilir (Wolfgang, 2004).

Karbonatlaşma, toprak bozulmasına yol açan kimyasal bir süreçtir. Bu süreç, kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$) 'nin havada bulunan karbondioksit (CO_2) ile etkileşimidir. İlk başta karbonik asit, karbon dioksitin gözenek suyunda çözünmesiyle oluşur ve daha sonra kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek $CaCO_3$ oluşturur. Toprağın gözenekliliği ne kadar yüksek olursa, korozyona uğraması o kadar kolay olur (Glasser ve diğerleri, 2008).

Yüksek inorganik karbon içerikleri, zayıf gelişmiş veya bozulmuş toprakları gösterir. İnorganik karbonun mekansal tespiti, arazi tahribatının ve güncel morfolojinin izlenmesi bağlamında büyük bir öneme sahip olduğundan, SQI belirlenmesinde kullanıma uygundur.

Bu çalışmanın amacı, SQ parametresi olarak TICI içeriğinin UA'ya dayalı olarak değerlendirilmesidir. Bu amaca ulaşmak için, inorganik karbon oranını tahmin etmeye yönelik araştırmaya başvurulmuştur (Mitchell ve diğerleri, 2017). Bu araştırmaya göre, TICI, UA verileri üzerinde Renklendirme İndeksi (CoI) kullanılarak hesaplanır:

$$CoI = \rho_{555} - (\rho_{443} + \frac{555 - 443}{670 - 443} * (\rho_{670} - \rho_{443})) \quad (2.14)$$

$$TICI = 0.4579CoI - 0.0006 \quad (2.15)$$

Bu yaklaşım Sentinel-2 verileriyle güncellenebilmektedir. Böylece, TICI aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$TICI = 0.4579\rho_{559.8} - (\rho_{443} + \frac{559.8 - 442.7}{664.6 - 442.7} * (\rho_{664.6} - \rho_{442.7})) - 0.0006 \quad (2.16)$$

2.2.4.5. Tuzluluk İndeksi

Toprak tuzlanması, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde en yaygın arazi bozunma süreçlerinden biridir. Bu tür iklim koşulları altında, toprakta çözünür tuzlar birikir ve toprak özelliklerini etkiler ve verimlilikte nihai düşüşe neden olur. Sulanan alanlarda toprak tuzluluğu tarım için ciddi bir sorun haline gelmektedir (Zewdu vd., 2017).

Tuzluluk, yüksek veya orta miktarda çözünmüş tuzlar içeren irrigasyon sularının sürekli kullanımından kaynaklanan çözünür tuzların birikmesi nedeniyle sulanan tarım topraklarında yaygın olarak oluşur (Jingwei ve diğerleri, 2008; Allbed ve Kumar, 2013). Tuzlu toprak koşulları, dünya genelinde önemli tarım alanlarının değerinin ve üretkenliğinin azalmasına neden olmuştur (Elhag ve Jarbou, 2017). Etkili toprak işleme programlarının daha iyi planlanması ve uygulanması için toprak tuzluluğunun kapsamı ve büyüklüğü hakkında bilgiye tarım alanlarında ihtiyaç duyulmaktadır.

Kurak ve yarı kurak iklimlerdeki toprakların bitki köklerinin sık bulunduğu toprağın üst katmanındaki aşırı tuzlanma dünya çapında kendini göstermekte olan bir fenomendir. Profildeki yüzeyden veya sığ derinliklerden nemin arttırılması ve bitki köklerinden tuzların süzülmesi için yetersiz yıllık yağış, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki topraklarda çözünür tuzların aşırı birikmesine neden olur. (Abdelfattah ve diğerleri, 2009, Taha ve diğerleri, 2015).

Su yönetiminin etkin ilkelerinin uygulanmaması, sızıntı yoluyla aşırı sulama ve su israfına neden olabilir; bu da toprak verimliliğini azaltan ve sonunda ekilebilir arazi kaybına yol açan su birikintisi ve sodiklik sorunlarına neden olur.

Tuzdan etkilenen topraklar dünya genelinde özellikle kurak, yarı kurak ve bazı az nemli bölgelerde yaygındır. Oran'da ikincil tuzlanma sonucu tuzluluk ve alkalilik sorunu her yıl artmaktadır. Tuzdan etkilenen alanlar ortalama olarak dünyadaki sulanan alanların %20'sini oluştururken, kurak ve yarı kurak ülkelerde bu rakam %30'un üzerine çıkmaktadır (Newer ve diğerleri, 2013).

Bu nedenle, sodikliği kontrol etmek ve azaltmak için uygulanan teknolojiye gelişmeler, özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinin toplam arazi alanının %60'ından fazlasını kapladığı bölgeler için modern tarımsal yönetim için özellikle önemli konulardır (OWWDSA, 2007). Çeşitli istatistiksel yöntemlere ek olarak UA'yı kullanan entegre yaklaşımlar, toprak tuzluluğu tahmin modellerinin geliştirilmesinde başarı göstermektedir. Uzun platformlarının alanın sinoptik görünümünü sağlama yeteneği, UA'yı, yerin hızlı ve zamanında izlenmesi ve tuzdan etkilenen toprakların tanımlanması için benzersiz bir araç haline getirir.

Tuzdan etkilenen topraklar, dünya genelinde özellikle yarı kurak ve bazı yarı nemli bölgelerde yaygındır. Toprak tuzluluğu, doğal veya insan kaynaklı süreçler tarafından ortaya çıkarılmıştır ve büyük bir çevresel tehlikedir. UA teknolojisindeki son gelişmeler, bozulmuş arazilerin envanteri, karakterizasyonu ve izlenmesinde yeni tekniklerin yolunu açmıştır.

Tuzluluk ve su birikmesinin dinamik davranışını incelemek için UA ve CBS etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Sodikliğin yoğunluğu ve etkileri bölgeden bölgeye ve bölgeden bölgeye değişmektedir. Tuzluluktan etkilenen arazinin uydu UA, içerik tasviri (kristalografi, kayaların tespiti, mineraloji, vb.) için dijital görüntü işleme yoluyla karar destek sistemi için yararlı bir araçtır.

Tuzluluk indeksi için en yaygın kullanılan teknik, elektromanyetik spektrumda spektral bantlar kullanılarak farklı indeks ve oran görüntülerinin hesaplanmasıdır. Kuru toprak genellikle daha yüksek yansıtma özelliğine sahiptir. Tuzdan etkilenen alanları belirlemek için uydu görüntüleri ve Sahte renk kombinasyonları görsel olarak yorumlanmaktadır. Dijital UA verilerini analiz etmek için UA ve CBS yazılımları kullanılmaktadır (Elhag ve Jarbou, 2017).

$$SI = \sqrt{G * B} \quad (2.17)$$

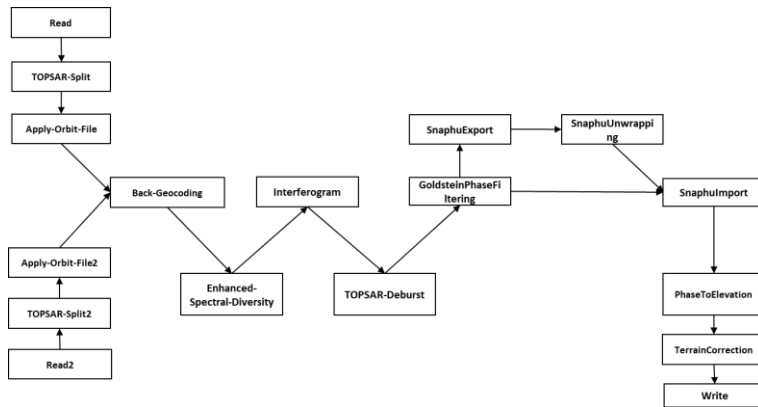
Burada G-Yeşil, B ise mavi spektral UA bandı anlamına gelmektedir.

Yüzeyde biriken beyaz veya beyaz mavimsi tuz kabukları, kurak mevsimde tuzluluğun tespiti ve korelasyonu için iyi bir göstergedir. Uydu UA verileri, tuzdan etkilenen alanları ve tuzluluktan etkilenen bitkileri tahmin etmek için etkili bir analitik araç olduğunu kanıtlayan bu topraklar hakkında gerçek zamanlı bilgiler sağlamaktadır.

2.2.4.6. Eğim Gradyanı İndeksi

Dijital Yükseklik Modeli (DEM), bir dizi nokta aracılığıyla sürekli bir topografik yükseklik yüzeyini temsil eden dijital bir kartografik veri kümesidir. Her nokta, konumunda (x ve y) bir özelliğin yüksekliğini (z) temsil eder. DEM "çıplak yeryüzü" temsilidir, çünkü vadiler, dağlar ve heyelanlar gibi jeolojik (zemin) özelliklerin yüksekliği hakkında bilgi içerirler. Bitki örtüsü veya binalar gibi zemin dışı özelliklerle ilgili herhangi bir yükseklik verisi içermezler (Prodanović ve diğerleri, 2009). Drenaj havzaları ve kanal ağları gibi arazi özellikleri de DEM'lerden belirlenebilir. DEM'ler hidrolojik ve jeolojik analizlerde, doğal kaynakların araştırılmasında, tarımsal yönetimde vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

DEM, raster veya vektör tabanlı olarak vizüelleştirilebilir. DEM, düzenli aralıklarla bir dizi zemin konumu için örneklenmiş bir dizi yükseklikten oluşur. DEM'ler yaygın olarak Şekil 2.3'deki gibi UA teknikleri kullanılarak toplanan veriler kullanılarak oluşturulur, ancak arazi etütlerinden de oluşturulabilirler.



Şekil 2.3: Sentinel-1 uydu verisinden 13 metre çözünürlüklü DEM oluşturmak için uygulanan algoritma.

DEM'ler genellikle CBS'de kullanılır ve dijital olarak üretilen kabartma haritalar için en yaygın veri kaynağıdır. DEM'lerin yaygın kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

- Arazi parametrelerinin çıkarılması.
- Su akışını veya kütle hareketini modelleme.
- 3D görselleştirmelerin oluşturulması
- Fiziksel modellerin oluşturulması (yükseltilmiş kabartma haritalar dahil).
- Hava fotoğrafçılığının veya uydu görüntülerinin düzeltilmesi.
- Yerçekimi ölçümlerinin (gravimetri, fiziksel jeodezi) arazi düzeltilmesi.

"Eğim", her pikselde DEM'in değişim oranını karakterize eder. SG'nin elde edilen uzaysal dağılımları, yüksek SG değerlerine sahip anormal bölgelere işaret etmektedir (Prodanović ve diğerleri, 2009).

DEM'den SGI hesaplamak için çeşitli algoritmalar mevcuttur. QGIS bu nedenle düzlemsel bir yöntem kullanmaktadır. Bu yaklaşımda, eğimi hesaplamak için her bir komşu hücre ile merkez hücre arasındaki yatay (dz/dx) ve dikey (dz/dy) yönlerdeki yüzey değişim oranı (Δ) kullanılmaktadır.

3. KALİTE METRİKLERİ

3.1. Karesel Ortalama Hata (RMSE)

Ortalama Kare Sapma (RMSD) veya Ortalama Kare Hata (RMSE), bir model tarafından tahmin edilen değerler ile gözlemlenen değerler arasındaki farkların sıklıkla kullanılan ölçüsüdür. RMSD için 0 değeri tahminlerin verilere mükemmel uyumunu gösterir. Fakat bu pratikte neredeyse hiç elde edilmemiştir. Genel olarak, daha düşük bir RMSD, daha iyidir. Ancak, ölçü kullanılan sayıların ölçeğine bağlı olduğundan, farklı veri türleri arasındaki karşılaştırmalar geçersiz olacaktır.

RMSD, karesel hataların ortalamasının kareköküdür. Her hatanın RMSD üzerindeki etkisi, karesi alınan hatanın boyutuyla orantılıdır; dolayısıyla daha büyük hataların RMSD üzerinde orantısız olarak büyük bir etkisi vardır. Sonuç olarak, RMSD aykırı değerlere karşı hassastır (Pontius ve diğerleri, 2008; Willmott ve Matsuura, 2006). Tahmini parametre θ ile ilgili olarak bir tahmin edicinin $\hat{\theta}$ RMSD'si, ortalama kare hatasının karekökü olarak tanımlanır:

$$RMSD(\hat{\theta}) = \sqrt{MSE(\hat{\theta})} = \sqrt{E((\hat{\theta} - \theta)^2)} \quad (2.18)$$

Burada, $\hat{\theta}$ tahmin edilen değer, θ gerçek değerdir. RMSD, tahmin edilen değerler ile gözlemlenen değerler arasındaki farkların ikinci örnek momentinin karekökünü veya bu farkların ikinci dereceden geometrik ortalamasını temsil eder. Bu sapmalar, hesaplamalar tahmin için kullanılan veri örneği üzerinden hesaplandığında hatalar veya tahmin hataları olarak adlandırılır.

RMSE, çeşitli veri noktaları için tahminlerdeki hataların büyüklüklerini tek bir tahmin gücü ölçüsünde toplamaya hizmet eder. RMSE, ölçeğe bağlı olduğu için veri kümeleri arasında değil, belirli bir veri kümesi için farklı modellerin tahmin hatalarını karşılaştırmak için bir doğruluk ölçüsüdür (Hyndman ve diğerleri, 2006).

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_i - \theta)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.19)$$

RMSE hata verisi olduğu için ideal değeri 0 olmalıdır ($\hat{\theta} = \theta$ ise). Dolayısıyla hesaplama sonucunda kare ortalama hatası ne kadar büyükse hata o kadar büyük diyebiliriz.

Tahmin performansı, yüzde kök ortalama karesel hata (RMSPE) ile ölçülebilmektedir. Her tahmin edici için, RMSPE aşağıdaki gibi hesaplanır (Hyndman ve diğerleri, 2006):

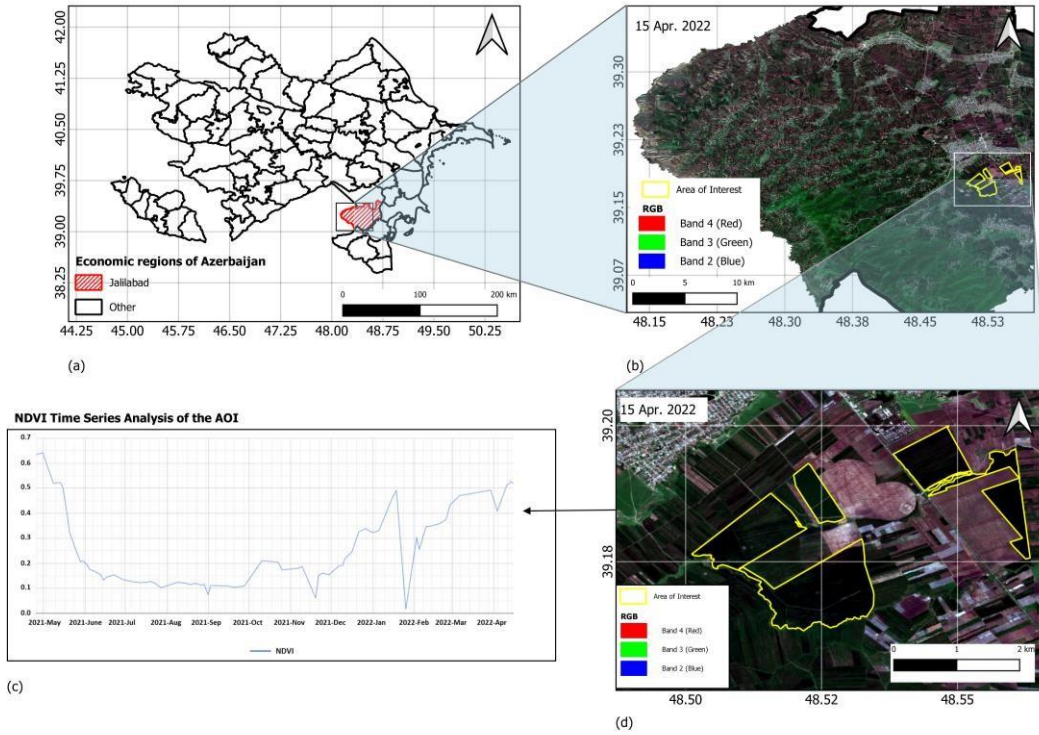
$$RMSPE = RMSE * 100\% \quad (2.20)$$



4. DEĞERLENDİRME

4.1. Çalışma Bölgesi

Bu çalışma için, Şekil 4.1 (a)'da gösterildiği gibi 48.5' D 39.2' K Azerbaycan Cumhuriyeti, Celilabad il sınırları içinde yer alan Privolnoye köyünde Devlet Rezerv Fonuna ait 5.384 km karelik bir test alanı seçilmiştir. Alçak dağlık yarı kurak alan Süper Elit cinsinden sert kışlık buğdayla ekilmiştir.



Şekil 4.1: Test alanının detayları. (a) Azerbaycan Cumhuriyeti il haritası; (b) Celilabad'ın Kırmızı Mavi Yeşil (RGB) Doğal görünüm bant kombinasyonu, test alanı belirtilmiş; (c) Çalışma alanının Google Earth Engine (GEE) kullanılarak oluşturulan 2021–2022 NDVI zaman serisi analizi, (d) Belirlenmiş test alanı ve yakın çevresinin RGB Doğal görünüm bant kombinasyonu.

Sert kışlık buğday, görünüm ve diğer özellikler bakımından yumuşak buğdaydan farklıdır. Sert kışlık buğdayın sapları çok kalın ve serttir. Taneleri beyaz, kırmızı, açık veya koyu kehribar gibi farklı renklerde değişir. Sert kışlık buğday unu, yumuşak buğday ununa göre daha kaliteli olduğu için makarna üretiminde daha çok kullanılmaktadır (Özer ve diğerleri, 2020).

Kışlık buğday bitkilerinin gelişiminin ilk döneminde talep edilen atmosferik faktörler yazlık buğdaydan farklıdır. Kışlık buğdayın önyüklenme süresi daha uzundur (Özer ve diğerleri, 2020).

Azerbaycan'da kışlık buğday esas olarak eylül sonundan kasım başına kadar ekilir ve ardından bir sonraki yılın mayıs sonu veya haziran başında hasat edilir. Kışlık sert buğdayı genellikle yarı kurak yüksek verimli alanlarda sulanmaz, bu nedenle verim tahmini için toprak nemine dayalı su tüketim dengesi modeli uygulanabilir (Özer ve diğerleri, 2020).

GEE kullanılarak elde edilen bir yıllık NDVI değerlerinin Zaman Serisi Analizi yardımı ile vejetasyon trendleri incelenmiştir. Böylece çıplak toprak ve yüksek bitki örtüsü dönemleri tanımlanmıştır. 2021 Ağustos başı ile 2021 Eylül sonu arasındaki zaman dilimleri arasında bitki örtüsü eğilimlerinin en düşük sabit değerleri takip ettiği gözlemlenmiştir. Nisan ve Mayıs ayları ise bu zaman serisinde en yüksek vejetasyon trendlerini izlemiştir.

Nisan 2022 ilkbaharında alınan görüntülere bitki örtüsü analizi uygulanırken, SQI bileşen indeksleri bir önceki zaman çizelgesi olan Ağustos 2021'e göre hesaplanmıştır.

4.2. Teknik Özellikler

4.2.1. Veri seçimi

Şekil 4.1 (c)'ye göre belirlenmiş özelliklere ve hesaplanacak indekslere uygun 2021 senesi Eylül veya Ağustos ayına ve 2022 senesi Nisan ila Mayıs ayına ait optik, 2021 senesi Eylül ila Ağustos ayına ait ise radar uydu UA verilerine gerek duyulduğu tespit edilmiştir. Optik UA verisinin görünen dalga uzunluğu bantlarına ek, NIR ve SWIR1, SWIR2 bantlarını da içermesi gerekmektedir. Bu özellikleri içeren çevrimiçi kamuya açık verilere uygun optik Sentinel-2 ve radar Sentinel-1 Tekli Bakış Kompleksi (SLC) İnterferometrik Giriş (IW) verileri belirlenmiştir.

Sentinel-2 multispektral optik veri seti, geleneksel verilerden daha iyi uzaysal, zamansal ve spektral çözünürlüklerde veri sağlama becerisiyle bu tür analizler için optimal veri kaynağı olmaktadır. Görüntüler iki paralel 2A ve 2B misyonları aracılığıyla alınır ve örtüşen sahneler olması durumunda zamansal çözünürlük beş günden azdır (Immitzer ve diğerleri, 2016). Yeni yapılan bir çalışmada, spektral ve uzamsal çözünürlük bağlamında Sentinel-2 için %67 ve Landsat 8 için %36 doğrulukla karşılaştırılmıştır (Abdullah ve diğerleri, 2019).

Sentinel-2 görevinin ana amacı, yerin operasyonel olarak izlenmesi için yüksek çözünürlüklü optik görüntüler sağlamaktır (Bertini ve diğ., 2012). Kullanıcı topluluğunun gerektirdiği şekilde, Sentinel-2 uyduları, Atmosferin Altındaki yansıma haritaları, arazi örtüsü haritaları, arazi değişikliği tespit haritaları ve jeofizik değişkenleri belirlemek üzere kullanılmaktadır (yaprak alanı indeksi, yaprak klorofil içeriği, yaprak su içeriği, vb.).

Sentinel-2 görevinin ana özelliklerinden biri, 5 günlük periyod ile gözlemlerin yüksek sıklığıdır. Veri TS'lerin potansiyelini vurgular ve bu nedenle ürün tanımını yönlendirir. Sistem ürün dökümü aşağıdaki gibidir:

- Düzey-0 ve Düzey-1A, sırasıyla ham sıkıştırılmış ve sıkıştırılmamış verilere karşılık gelen sistem ürünleridir. Bu veriler dahili kalibrasyon amaçlarıyla sınırlıdır.
- Düzey-1B ilk kamu ürünüdür. Karanlık sinyal, piksel tepkisi düzensizliği, karışma, kusurlu pikseller, restorasyon ve 60m bantlar için gruplama gibi radyometrik düzeltmeleri ve ürüne eklenmiş geliştirilmiş bir fiziksel geometrik model içerir;,
- Düzey-1C, bir alt piksel çok spektral ve çok tarih kaydı ile orto-rektifiye edilmiş atmosfer tepesi yansıması sağlar. Bu düzeyde ürünle bir bulut ve kara/su maskesi ilişkilendirilir. Düzey-1C ürününün yerden örnekleme mesafesi, duruma göre 10m, 20m veya 60m olmaktadır (Url-2).

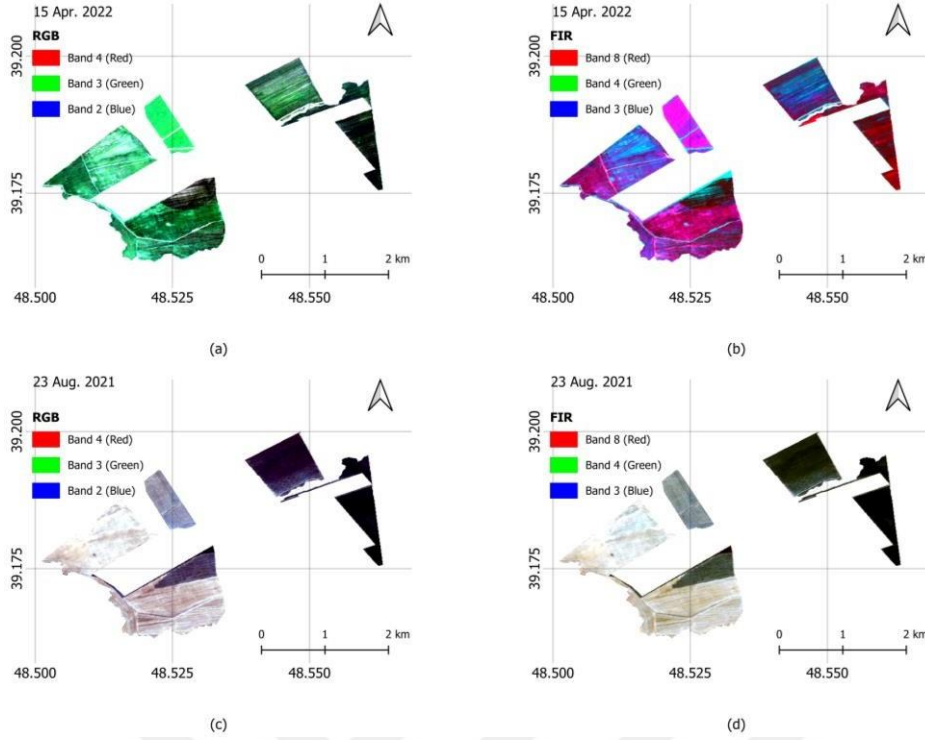
İlk sonuçlar, hem görüntü kalitesi performansı hem de bilgi işlem performansı açısından çok umut verici olmaktadır. Bu, önceki CNES görevlerinden kalan mevcut optimize edilmiş görüntü işleme kitaplıklarının önemli bir yeniden kullanımı sayesinde mümkün olmuştur (Url-2). Dolayısıyla bu proje, optik görüntü UA özel alanında Avrupa uzay ajansları arasında başarılı ve verimli işbirliğinin bir örneğidir.

Sentinel-2, Multispektral Görüntüleyiciyi (MSI) taşır. Bu sensör, Çizelge 4.1'den de görüldüğü üzere, 10, 20 ila 60 metre piksel boyutu arasında değişen 13 spektral banda sahiptir: Mavi (B2), yeşil (B3), kırmızı (B4) ve yakın kızılötesi (B8) kanalları 10 metre çözünürlüktedir. Ardından, kırmızı kenarı (B5), NIR (B6, B7 ve B8A) ve SWIR (B11 ve B12) 20 metrelik bir yerden örnekleme mesafesine sahiptir. Son olarak, aerosol (B1) ve cirrus bandı (B10) 60 metrelik bir piksel boyutundadır (Url-3).

Çizelge 4.1. Sentinel-2 bantlarının farklı özellikleri (ERDAS, 2013).

Bant	Çözünürlük	Merkezi Dalga Boyu	Açıklama
B1	60 m	443 nm	Ultra Mavi (Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Mavi
B3	10 m	560 nm	Yeşil
B4	10 m	665 nm	Kırmızı
B5	20 m	705 nm	Görünür ve NIR (VNIR)
B6	20 m	740 nm	VNIR
B7	20 m	783 nm	VNIR
B8	10 m	842 nm	VNIR
B8a	20 m	865 nm	VNIR
B9	60 m	940 nm	SWIR
B10	60 m	1375 nm	SWIR
B11	20 m	1610 nm	SWIR
B12	20 m	2190 nm	SWIR

Şekil 4.2'de gösterildiği gibi, Sentinel 2 optik veri kombinasyonları uygulanmış 23 Ağustos 2021'den itibaren ekimden önceki çıplak toprağı ve 15 Nisan 2022'den itibaren önyüklenmiş kışlık buğdayın yeşil alanını kaplayan 2. seviye Sentinel 2 ürünü elde edilmiştir.

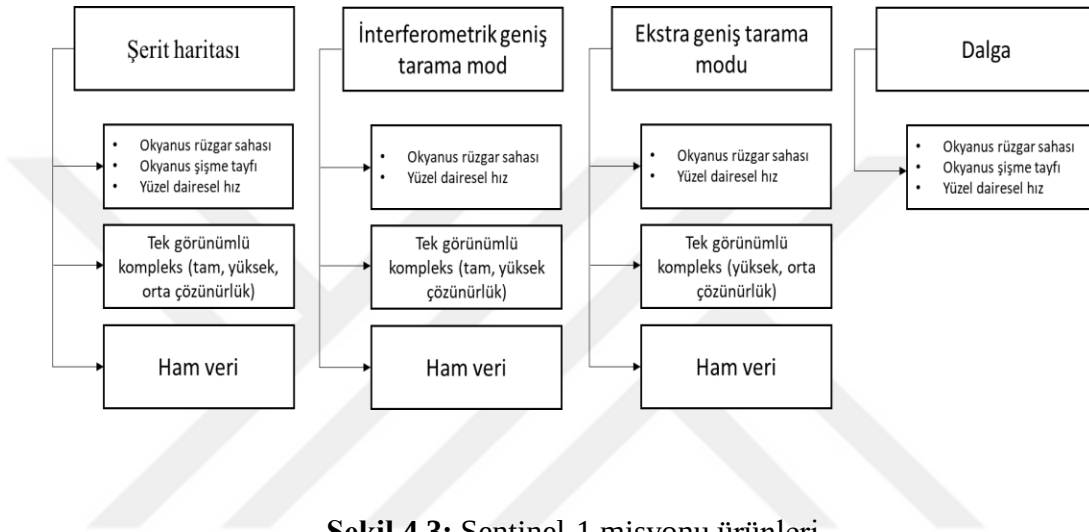


Şekil 4.2: Çalışma alanının Sentinel-2 raster verileri (a) RGB kombinasyonu, açık toprak; (b) Sahte Kızılötesi (FIR) kombinasyonu, açık toprak; (c) RGB kombinasyonu, yeşil alan; (d) FIR kombinasyonu, yeşil alan.

Sentinel-1 misyonu, Avrupa Komisyonu (EC) ve ESA ortak girişimi olan Copernicus için çevre ve güvenlikle ilgili bilgi hizmetlerinin uygulanmasına yönelik girişimdir. Dünya gözlem uydularından alınan gözlem verilerine ve yer tabanlı bilgilere dayanmaktadır (Url-4). Sentinel-1, farklı çözünürlükte (5 m'ye kadar) ve kapsama alanında (400 km'ye kadar) dört özel görüntüleme modunda çalışan C-bandı görüntülemeyi içerir. Çift polarizasyon özelliği, çok kısa tekrar ziyaret süreleri ve hızlı ürün teslimatı sağlar. Her bir gözlem için, uzay aracı konumu ve tutumunun kesin ölçümleri mevcuttur (Url-5).

Sentetik Apertür Radar (SAR), bulut örtüsü veya aydınlatma eksikliği ile engellenmeyen dalga boylarında çalışma avantajına sahiptir ve tüm hava koşullarında gündüz veya gece site üzerinden veri alabilir (Url-5). Sentinel-1, C-SAR cihazı ile güvenilir, tekrarlanan geniş alan izleme sunabilir. SAR sinyali, genlik ve faz bilgisi içermektedir. Genlik, radar yanıtının gücüdür ve faz, bir tam sinüs dalgası döngüsünün (tek bir SAR dalga boyu) kesridir (Url-4).

İnterferogram oluşturmak için öncelikle uydu anteni ile yer hedefleri arasındaki mesafe ile belirlenir. Ortak kayıttan sonra iki görüntünün fazını birleştirerek, bilgileri topografya ile yüksek oranda ilişkili olan bir interferogram oluşturulabilir. Bununla birlikte, interferogram, atmosferik problemler, açılma hataları ve yüzey değişikliklerinden kaynaklanan dekorrelasyon gibi ortaya çıkan ve ürünün kalitesini potansiyel olarak azaltan birçok başka etken vardır. Sentinel-1 misyonu ürünleri, Şekil 4.3'de gösterilen mod ve verilere ayrılmaktadır.



Her mod potansiyel olarak SAR Düzey-0, Düzey-1 SLC, Düzey-1 Yer Aralığı Tespit Edilen (GRD) ve Düzey-2 Okyanus (OCN) ürünleri üretebilir. SAR Düzeyi-0 ürünleri, Esnek Dinamik Blok Uyarlamalı Niceleme (FDBAQ) sıkıştırılmış odaklanmamış SAR ham verileri dizisinden oluşur. Verilerin kullanılabilir olması için sıkıştırılması ve SAR işlemcisi kullanılarak işlenmesi gerekir (Url-6).

Düzey-1 SLC ürünleri, uydudan alınan yörünge ve konum verileri kullanılarak coğrafi olarak referans verilen ve sıfır Doppler eğimli-aralıklı geometride sağlanan odaklanmış SAR verilerinden oluşur. Veriler, tam iletim sinyali bant genişliğini kullanan her boyutta tek bir bakış içerir ve faz bilgisini koruyan karmaşık örneklerden oluşur. Seviye-1 GRD ürünleri, bir Dünya elipsoid modeli kullanılarak tespit edilen, çok yönlü bakılan ve yer menziline yansıtılan odaklanmış SAR verilerinden oluşur. Faz bilgisi kaybolur. Ortaya çıkan ürün, daha kötü uzaysal çözünürlük pahasına azaltılmış benek ile yaklaşık kare uzaysal çözünürlüklü piksellere ve kare piksel aralığına sahiptir.

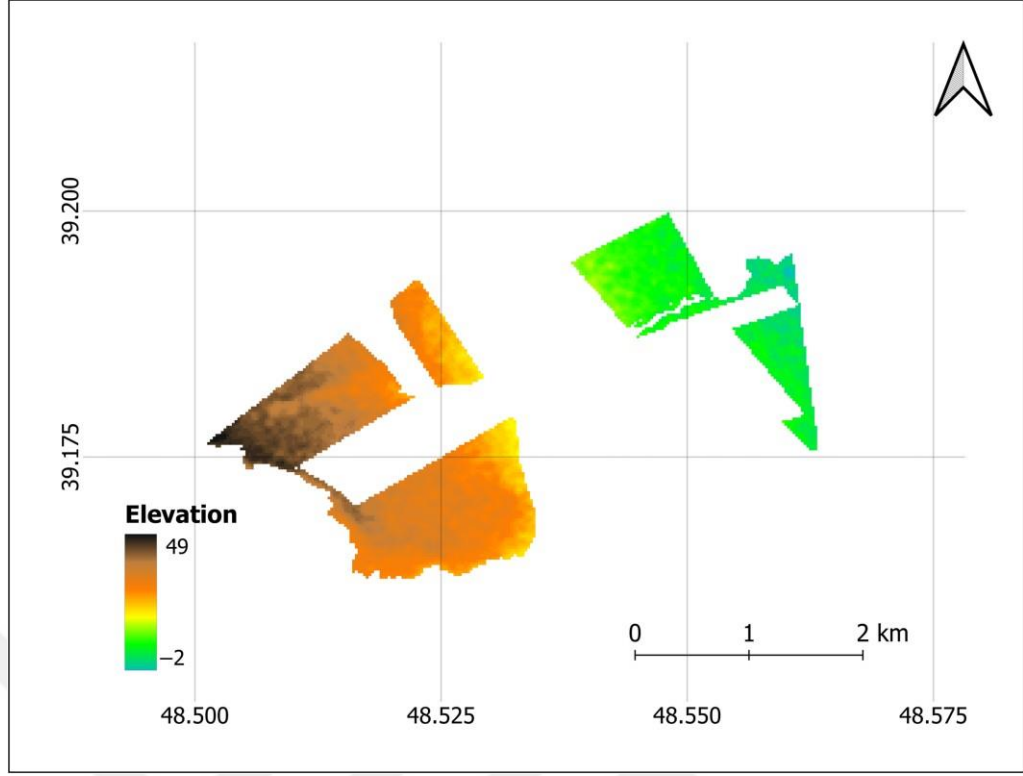
IW alan modu, Sentinel-1 için kara üzerinden ana alım modudur. 5 m'ye 20 m uzamsal çözünürlükte (tek bakış) 250 km'lik bir tarama ile veri alır. IW modu, Aşamalı Taramalı SAR (TOPSAR) ile Arazi Gözlemini kullanarak üç alt alan yakalar. IW SLC ürünleri, bir IW ürününde toplam üç (tek polarizasyon) veya altı (çift polarizasyon) görüntü için, polarizasyon kanalı başına üç alt alandan oluşur. Her bir alt alan görüntüsü, her bir çoğuşmanın ayrı bir SLC görüntüsü olarak işlendiği bir dizi çoğuşmadan oluşur (Url-6). Sentinel-1 uydu verilerinin teknik özellikleri Çizelge 4.2`de detaylandırılmıştır.

Çizelge 4.2: Sentinel-1 uydu verilerinin teknik özellikleri.

Işın Kimliği	IW1	IW2	IW3
Geliş Açıları	32.9°	38.3°	43.1°
Eğimli Aralık Çözünürlüğü	2,7 m	3,1 m	3,5 m
Menzil Bant Genişliği	56,5 Mhz	48,3 MHz	42,79 MHz
Azimet Çözünürlüğü	22,5 m	22,7 m	22,6 m
İşleme Bant Genişliği	327Hz	313Hz	314Hz
Doppler Centroid Açıklığı	5,2 kHz	4,4 kHz	4,6 kHz
Eğimli Aralık Piksel Aralığı		2,3 m	
Aralık Örnekleme Frekansı		64,35 Mhz	
Azimet Piksel Aralığı		14,1 m	
Azimet Örnekleme Frekansı		486,49Hz	
Azimet Dönüş Açısı		±0,6°	
Burst Uzunluğu (T Odaklı)		2,75 sn/≈ 20 km	
Dalga Boyu		5.547 santimetre	
Polarizasyon		Tek (HH veya VV) veya Çift (HH+HV veya VV+VH)	

Veri ürünleri, Dalga modu için tek polarizasyonda - VV veya Çift HH ve şerit haritası, IW ve Ekstra Geniş (EW) modları için çift polarizasyonda - VV+VH veya HH+HV, veya tek polarizasyonda - HH veya VV mevcuttur.

Bu parametrelerde elde edilmiş 2 aynı yörüngeye sahip Sentinel-1 uydu verilerinden Şekil 2.3`deki algoritma izlenerek Şekil 4.4`de gösterilen DEM oluşturulmuştur.



Şekil 4.4: Çalışma alanının DEM haritası.

4.2.2. Uygulama seçimi

SNAP ESA, tüm Sentinel Araç Kutuları için ortak bir mimaridir. SNAP ESA ve bağımsız Sentinel Araç Kutuları, Sentinel sensörleri dışında çok sayıda sensörü destekler. SNAP ESA, kullanıcılara çok sayıda uluslararası misyonlardan alınan görüntüleri işleme ve analiz etme olanağı tanıyarak 2014'ten beri yer gözlem faaliyetini devam ettirmektedir (Camps ve diğerleri, 2011). SNAP ESA, aşağıdaki bazı teknolojik özellikleri nedeniyle bu çalışma kapsamında kullanıma uygundur:

- Genişletilebilirlik;
- Grafik İşleme Çerçevesi;
- Tüm Araç Kutuları için ortak mimari;
- Giga piksel görüntülerde bile çok hızlı görüntü görüntüleme ve gezinme;
- Kullanıcı tanımlı işleme zincirleri oluşturmak için grafik işleme çerçevesi;
- Gelişmiş katman yönetimi;
- İstatistikler ve çeşitli grafikler için zengin çalışma alanı tanımları;

- Rastgele matematiksel ifadeler kullanan esnek bant aritmetiği;
- Ortak harita projeksiyonlarına doğru yeniden projeksiyon ve orto-düzeltilme;
- Yer kontrol noktalarını kullanarak coğrafi kodlama ve düzeltilme;
- Otomatik SRTM DEM indirme ve DEM oluşturmada döşeme olanağı.

Platform, Avrupa Birliği'nin Copernicus Programının Sentinel-1, Sentinel-2 ve Sentinel-3'ün yanı sıra Toprak Nemi ve Okyanus Tuzluluğu (SMOS) gibi ESA Earth Explorer görevlerinden gelen görüntülere erişim sağlar (Camps ve diğerleri, 2011; Bitek ve Erenoğlu, 2018; Neckel ve diğerleri, 2022; Munoz ve diğerleri, 2019). Ayrıca, üçüncü taraf misyonları olarak bilinen çok sayıda uydu tarafından sağlanan verileri de içerir.

SNAP, kullanımı kolay grafik arayüze sahiptir ve komut penceresinden de çalıştırılabilir (Munoz ve diğerleri, 2019). Sonuç olarak, çok az kodlama ve programlama deneyimine sahip kişilerin yanı sıra veri analizinde uzmanlar tarafından erişilebilir. Bu özellikler, çok çeşitli analiz ve işleme faaliyetlerini destekleyerek bilimsel araştırma, eğitim ve öğretime ve toplum genelinde yenilikçi uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlar (Munoz ve diğerleri, 2019).

Biraz farklı görüş açılarından iki SAR görüntüsü interferometrik çift olarak birleştirildiğinde, bunların faz farkı, DEM oluşturmak ve arazi değişikliklerini yarım dalga boyunda bir hassasiyetle izlemek için kullanılabilir (Hu ve diğerleri, 2014).

DEM oluşturmak için elde edilen faz farkı, interferometrik fazın hesaplanması için temel oluşturur. SNAP ESA SAR interferogramı, faz farkları olarak ifade edilen, uydu ile dünya yüzeyi arasındaki mesafedeki göreceli değişikliklerin bir haritası olan iki SAR görüntüsünün çapraz çarpılmasıyla oluşturulan karmaşık görüntüdür. Bu nedenle, faz farkı bağlı yüksekliğin ve belirsizliğin yüksekliğinin bir fonksiyonudur (Rocca ve Ferretti, 2014).

Küçük değişiklikleri tahmin etmenin en basit yolu, faz farkının birinci, topografik faz periyodu ikinciden daha küçük olacak şekilde minimum taban çizgisine sahip bir görüntü çifti seçmektir. Taban çizgisi, iki uydu veya yörünge arasındaki mesafedir, yani taban çizgisi ne kadar küçükse, topoğrafyanın faza katkısı o kadar düşük olur (Ferretti ve diğerleri, 2007).

Aşamalı Taramalarla Arazi Gözlemi (TOPS) edinme modu geniş bir kapsama alanına sahiptir. IW görüntü modu, hem yer menzilinde hem de azimut çözünürlüğünde (5 x 20 m ve 20 x 40 m) 250 ve 400 km'lik şerit genişlikleri sağlar (Ferretti ve diğerleri, 2007).

Earth Engine Explorer (EEE), Earth Engine (EE) Veri Kataloğu'nda bulunan çok sayıda küresel ve bölgesel veri kümesine erişimi olan, jeo-uzamsal görüntü verisi görüntüleyicisidir. Dünya üzerinde herhangi bir yere yakınlaştırma ve kaydırma, görselleştirme ayarlarını yapma ve zaman içindeki değişimi incelemek için verileri katmanlama yeteneği ile verilerin hızlı bir şekilde görüntülenmesine olanak tanır (Gardner, 2010).

GEE, uydu görüntülerini ve diğer coğrafi ve gözlem verilerini işlemeye yönelik bir bulut bilişim platformudur. Geniş bir uydu görüntüsü veri tabanına ve bu görüntüleri analiz etmek için gereken hesaplama gücüne erişim sağlar (Gardner, 2010). GEE, her on altı günde bir Landsat uydusundan alınan jeo-uzamsal verileri kullanarak doğal kaynaklar ve iklimdeki dinamik değişikliklerin gözlemlenmesine olanak tanır (Kumar ve Mutanga, 2018). GEE, Landsat ve Sentinel-2 verilerine Google Cloud Storage ile işbirliği yaparak araştırmacıların kolayca erişmesini sağlayan bir platform haline geldi. GEE, analiz için bilgisayarlarla birlikte bir veri kataloğu sağlar; bu, bilim insanlarının verileri, algoritmaları ve görselleştirmeleri kullanarak işbirliği yapmasına olanak tanır (Gorelick, 2013). Platform, komuta vermek için Python ve JavaScript uygulama programlama arayüzleri sağlar ve uygulama geliştirmek için grafik kullanıcı arayüzü (Kumar ve Mutanga, 2018) içerir. Otomatik TS oluşturmak için uygundur.

QGIS, genel kamu lisansı altında lisanslanan açık kaynaklı bir CBS'dir. Açık Kaynaklı Jeo-uzaysal Vakfı'nın (OSGeo) resmi projesidir. Proje Mayıs 2002'de başlamış ve aynı yılın Haziran ayında SourceForge üzerinde kurulmuştur. QGIS, Qt araç seti ve C++ kullanılarak geliştirilmiştir (Moyrout ve Portet, 2018).

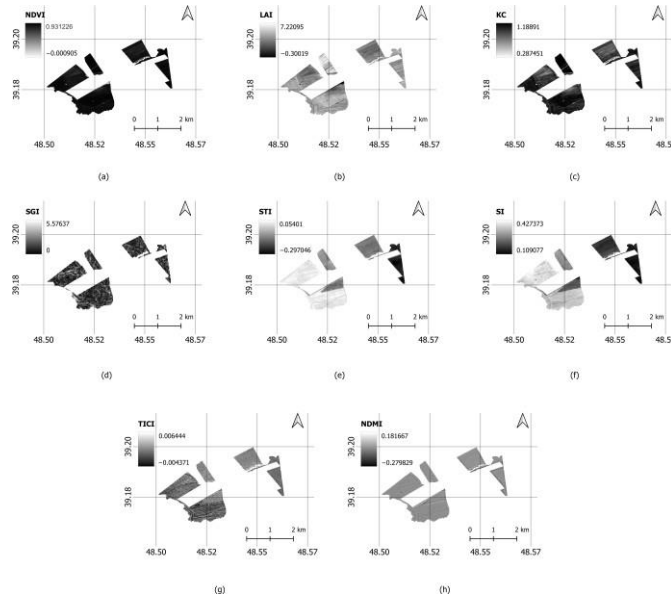
QGIS, çok sayıda raster ve vektör veri formatını destekler. QGIS'de mekansal veri tabanlarında ve diğer OpenGIS Basit Özellikler Referans Uygulaması (OGR) destekli formatlarda mekansal veri analizi yapmak mümkündür.

QGIS vektör analizi, raster analizi, örnekleme, coğrafi işleme, geometri ve veritabanı yönetimi araçları kullanmaya olanak tanır, 400'den fazla modülün işlevselliğini içeren entegre araç kullanımı veya yerel ve üçüncü taraf algoritmaları çağırmak için güçlü bir jeo-uzamsal analiz çerçevesi sağlayan işleme eklentisi sunar. Raster menüsündeki Raster Hesaplayıcı, mevcut raster piksel değerleri temelinde hesaplamalar yapmanızı sağlar. Sonuçlar, Mekansal Veri Soyutlama Kitaplığı (GDAL) destekli bir biçimde yeni bir tarama katmanına yazılır (Moyrout ve Portet, 2018).

4.3. Elde Edilen bulgular

Yeşil önyüklenme dönemindeki tarım alanı ve boş toprak görüntülerini içeren iki Sentinel-2 optik mozaik raster veri seti ve ayrıca çalışmada SGI hesaplamak için Sentinel-1 radar raster verileri kullanılmıştır.

NDVI ve LAI'yi hesaplamak için yeşil alan görüntüleri kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.5 (a), (b) ve (c)'de gösterilmiştir. Sentinel 2 verileri kullanılarak Şekil 4.5 (e), (f), (g), (h)'de gösterildiği gibi birkaç SQ indeksi hesaplanmıştır. İlaveten, Sentinel -1 SLC IW verilerinden elde edilmiş DEM verisi, daha sonra SGI'yi hesaplamak için kullanılmıştır (Şekil 4.5 (d)). Çeşitli aralıklarla yapılan hesaplamalardan elde edilen endeks sonuçları aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Hesaplanmış endeksler: (a) NDVI; (b) LAI; (c) KC; (d) SGI; (e) STI; (f) SI; (g) TICI; (h) NDMI.

Bu çalışmada ~ 0 ile ~ 1 aralığında NDVI sonuçları elde edilmiştir. Genel olarak, NDVI değerleri -1 ile 1 arasında değişir (Özyavuz, 2010). Negatif değerler su kütlelerini, 0 'a yakın pozitif değerler çıplak araziye, binaları ve yolları ve $0,2$ 'den büyük değerler bölgeye bağlı olarak yeşil alanları göstermektedir (Özyavuz, 2010). Şekil 4.5 (a)'dan görüldüğü gibi, çalışma alanının NDVI değerleri genellikle yüksek değerler göstermektedir.

LAI indeksi genellikle ~ 0 ile 10 arasında değişir (Najatishendi, 2017). 0 'a yakın değerler çıplak zemini gösterirken, indeks değeri ~ 10 'a yükseldikçe alan başına düşen yeşil yapraklar artar. Şekil 4.5(b)'de gösterildiği gibi, bu araştırmadaki çalışma alanının yeşil alanı $\sim 0,3$ ile ~ 7 aralığında elde edilmiştir. Negatif sonuçlar 0 olarak kabul edilebilir. LAI'den K_C indeksi hesaplandığı için değerleri 0.08 'den başlar (El-Shirbeny ve diğerleri, 2014).

Bu çalışmada eğim gradyanı yüzde 0 ile ~ 5 arasında elde edilir. Genellikle 0 ile 100 arasında değişir. 0 ile 3 arasındaki varyasyonlar çok az eğimi veya hiç eğim olmamasını gösterirken, 4 ile 9 arasındaki varyasyonlar yumuşak eğimler olarak kabul edilir (Shields ve Harrington, 1988).

STI katsayısı genellikle -1 (alçak) ile 1 (yüksek) değerler arasında değişir (Odeh ve McBratney, 2000). $1373,5$ nm dalga boyuna sahip Band 10 ve $1613,7$ nm dalga boyuna sahip Band 11, SNAP ESA Sen2Cor algoritması kullanılarak Sentinel 2 Seviye 1 verileri düzeltilerek elde edildi. Şekil 4.5 (e)'de gösterildiği gibi, bu çalışmada çalışma alanı için toprak dokusu orta değerlere sahiptir.

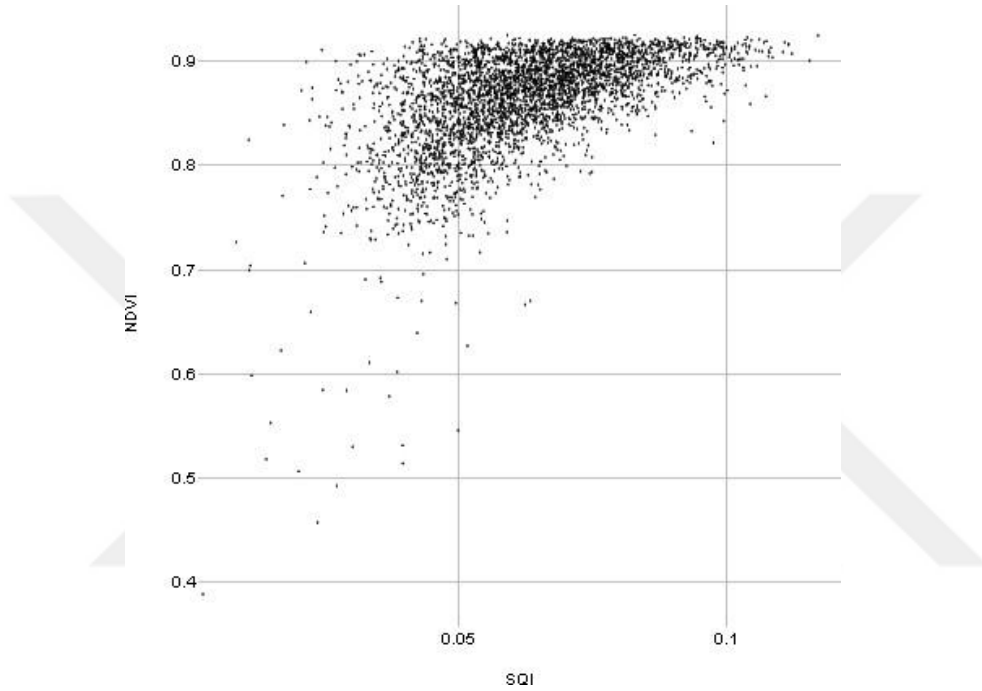
Şekil 4.5 (f), $0,2$ 'nin üzerindeki değerler boş topraklardaki tuzluluğu gösterdiğinden, çalışma alanı için yüksek tuzlu toprak konsantrasyonlarını işaret etmektedir. 0 ile 0.19 arasındaki değerler düşük tuzluluğu veya hiç tuzluluğun olmamasını gösterirken, bu indeks için maksimum tuzluluk değeri 1 'dir (Allbed ve Lalit, 2013)

Toplam inorganik karbon bileşiklerini belirlemek için yapılan hesaplamalar sonucunda, bu indeks -1 (düşük) ile 1 (yüksek) arasında değiştiği için Şekil 4.5 (g)'de gösterildiği gibi çalışma alanında orta ila düşük değerler elde edilmiştir (Mitchell ve diğerleri, 2017).

NDMI değerleri -1 (düşük) ile 1 (yüksek) arasında değişir, burada negatif değerler düşük, pozitif değerler ise yüksek su/drenaj içeriğini gösterir (Gao, 1996). Şekil 4.5 (h)'de gösterildiği gibi, bu tezde çalışma alanı için toprak nemi düşük ila orta değerlere sahiptir.

Şekil 4.5'de gösterilen sonuçların ardından, toprak kalitesi endeksleri daha sonra SQI hesaplama yaklaşımlarına dahil edilmiştir. Bunun için indeksler birbiriyle çarpılmış ve daha sonra altıncı dereceden kök ile hesaplanarak geometric orta değeri edle edilmiştir.

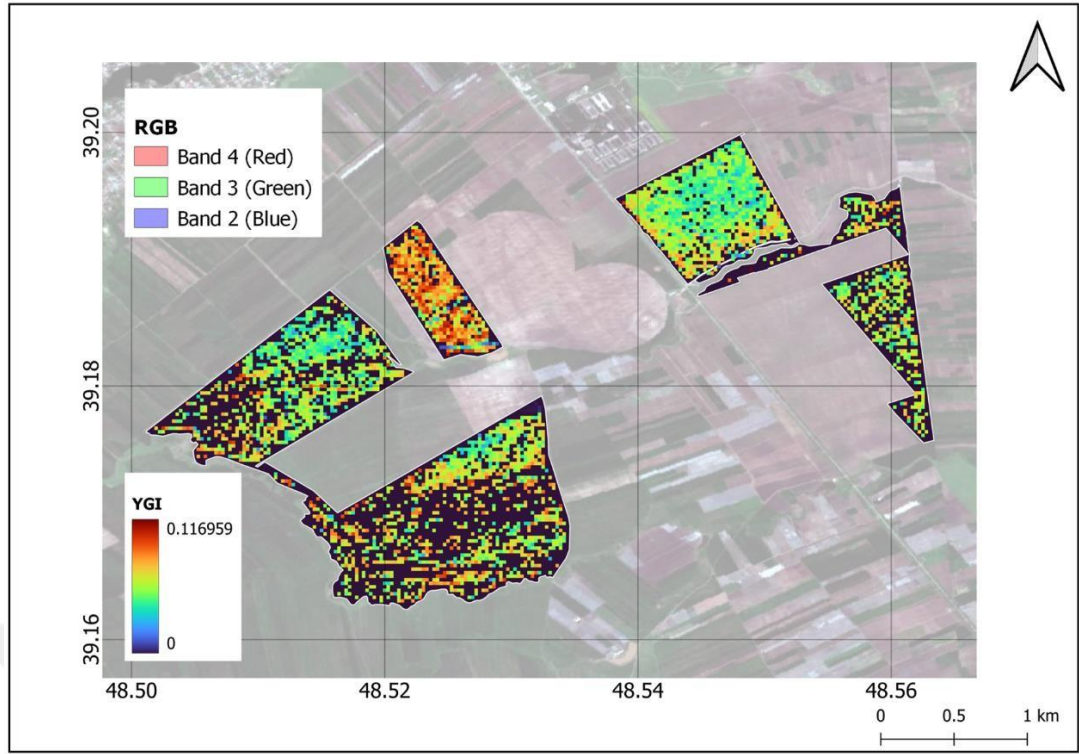
QGIS'te Data plotting algoritması kullanılarak SQI ve NDVI değerleri arasındaki korelasyon Şekil 4.6`de görselleştirilmiştir.



Şekil 4.6: SQI ve NDVI değerleri arasındaki korelasyon.

Şekil 4.6'da gösterildiği gibi, NDVI ve SQI arasında doğrusal olmayan dağınık pozitif korelasyon tespit edilmiştir.

Sonuçlara göre SQI oranı 0 ile 1 arasında değişmektedir. Mamatkulov'un centner kullanarak hesaplanmış yaklaşımına göre ise SQI 0 ile 100 arasındaki değişkenlere göre ayarlanmalıdır. Dolayısı ile, bahsi geçen çalışma sonuçları centner olarak hesaplarken, bizim yürüttüğümüz çalışmada ton cinsinden sonuçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu dikkate alınarak Şekil 4.6'da gösterilen sonuç 100 üzerinden yeniden ölçeklendirilmeden Toplam Verimlilik hesaplanmıştır. SQI, NDVI ve Kc indekslerinin çarpılmasıyla MEDALUS yöntemi kullanılarak elde edilen verimlilik gradyanı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Modifiye edilmiş Mamatkulov'un kompleks yaklaşımı ve modifiye edilmiş MEDALUS metodu ile elde edilmiş Verimlilik Gradyan İndeksi (YGI)

Verilen çalışma alanının Toplam Verimini tahmin etmek için YGI oranının ortalama değeri, toplam piksel sayısı ile çarpılmıştır. Böylece QGIS arayüzü kullanılarak elde edilmiş ``benzersiz değer indeksi`` raporlarına göre, bu sayı 3637 olarak belirlenmiştir. Resmi kaynaklar tarafından bildirilen ve klasik ampirik-istatistiksel yöntemlere dayalı verimlilik tahmin verileri 1103,2 tondur. Endikasyonlar Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3: Toplam Verim, Geçerlilik oranı ve RMSE.

	YIELD Orta değer
Y _{orta} değer	0.029730528
Piksel sayısı	3637
Y _{total} , ton	1081.299
RMSPE, %	1.985
GeçerlilikY _{orta} değer, %	98.0326

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada mahsul verimi tahmin yöntemleri tartışılmıştır. Geleneksel konvansiyonel yaklaşımlar, sahadan gelen raporlara dayanmaktadır. Bu prosedürler zaman alıcıdır ve yetersiz zemin gözlemleri nedeniyle hatalara eğilimlidir. Bu da hatalı mahsul verimi ve mahsul alanı tahminleriyle sonuçlanmaktadır (Reynolds ve diğerleri, 2000).

Geliştirilmiş modelin sonuçları, hem alan kapasitesi, hem de çalışma alanının NDVT'sı ile ilişkilendirilmiştir. Bu yöntemin, yetkili kişi ve kuruluşlara kurak ve yarı kurak koşullar altında SQ'ni haritalama ve değerlendirme konusunda yardımcı olacak bir değerlendirme aracı olarak oldukça elverişli olduğu tespit edilmiştir.

CBS ve UA teknolojileri, tarım sektöründeki karmaşık sorunları ele almak için yararlı araçlar olabilir. Bunun temel nedeni, CBS ve UA gibi gelişmiş tekniklerin tarımla ilgili zamanında, doğru, düşük maliyetli ve tekrarlayan bilgilerin yönetilmesine büyük ölçüde katkıda bulunabilmesidir (Kingra ve diğerleri, 2016).

CBS ve UA teknolojilerini uygulayarak, etkilenen alanları belirleyen ekinlerin gelişim sürecini izlemek, toprak kalite durumunu belirlemek, verim tahmini, ekin alanlarının gerçek topografyasını görselleştirmek ve modern tarımda diğer mekansal analizler için büyük bir kullanım olabilir (Mamatkulov ve diğerleri, 2021).

Ampirik-istatistiksel modellere dayalı UA yöntemleri, faktör ağırlıkları bölgeye göre değiştiğinden ve geniş ölçekte işletilemeyenler diğer faktörlerin etkisini göz ardı ettiğinden, diğer bölgelerde kalibre edilmeye ihtiyaç duyar.

Geniş bir ölçekte, klasik su tüketimi denge modeline dayalı UA teknikleri uygulanabilir, ancak toprak içeriği ve fotosentetik yoğunluk gibi çeşitli yönlerin etkisini göz ardı ederler.

Hasat büyüme modelleri, en etkili parametreleri dikkate alan kapsamlı modellerdir. Büyük ölçekte çalıştırılabilirler, ancak çok sayıda agronomik özelliğe ve çeşitli kriterlere sahiptirler. Sonuç olarak, pahalı ve zaman alıcıdır.

Kompleks yöntemler yukarıdaki dezavantajları aynı anda ortadan kaldırmaktadır. Tarafımızdan uygulanmış çalışma, hasat üretiminde ampirik, Monteith ve su tüketimi denge modellerine dayalı karma Mamatkulov yaklaşımının, yaklaşımın bileşeni olan SQI hesaplaması için modifiye edilmiş MEDALUS geometrik orta değer yönteminin, bitki katsayısının, fotosenteze dayalı olarak hesaplanmış NDVI'nin etkilerini ele almıştır. Çok sayıda kaynak ele alınarak, sadece UA verilerinden elde edilen parametrelerle hesaplama gerçekleştirilmiştir. SQI, K_c ve NDVI gibi indeksler kullanılarak, YGI formülü hesaplanmış ve Denklem 2.2'de gösterildiği gibi, Ton cinsinden Toplam Verimi tahmin etmek için YGI ortalama değeri piksel sayısı ile çarpılmıştır. Hesaplamalar sonucunda geliştirdiğimiz model, sadece UA verilerini ve CBS uygulamalarını kullanarak düşük RMSPE (0.01985) ve yüksek doğruluk (%98,0326) elde etmiştir.

Buna karşılık, Mamatkulov çalışmasının bulguları, yüksek verimli tarım arazilerine uygulanan hasat hesaplama formülünün, yalnızca NDVI ve SI indekslerini hesaplamak için UA verilerini kullanarak %96 gibi yüksek bir doğruluğa sahip olduğunu göstermiştir (Mamatkulov ve diğerleri, 2021). Bu çalışmada verim tahminlerinin doğruluğu düşük verimli tarım alanları için hala yüksek (%85), ancak yüksek verimli arazilere kıyasla önemli ölçüde düşük sonuç vermiştir (Mamatkulov ve diğerleri, 2021). Çalışmada çoğu veri laboratuvar analizlerinden elde edilmiştir.

Sonuç olarak, yalnızca UA verilerini ve CBS yöntemlerini kullanarak, bu araştırmanın dayandığı Mamatkulov formülü ve çalışmanın amacına uygun şekilde modifiye ettiğimiz MEDALUS modeli - yüksek doğruluk (%98,0326), düşük maliyet ve yüksek kullanılabilirlik dikkate alınarak beklenen tarımsal verimi operatif şekilde tahmin etmiştir.

NDVI ve SQI arasında doğrusal olmayan pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Böylece, eğer toprakta SQI ekimden önce yüksek eğilimler gösteriyorsa, NDVI ve dolayısıyla LAI değerlerinin de yüksek olacağı sonucuna varılmıştır.

Bu makaledeki yaklaşım bir seçenek olarak ele alındığında, geniş veri yelpazesi kullanılarak daha ayrıntılı analizler yapılabilir.

İklim değışikliğı ve küresel ısınma, gezegenimiz için başlıca tehditlerdir. Doğal kaynakların azalmasının başlıca sebepleri olan deniz seviyesinin yükselmesi, sel, orman yangını, kuraklık gibi birçok doğal afete, göçlere ve beklenmeyen ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri, insanların yaşam standardını yükseltmek için iklime dirençli yaşam şartlarını hedeflemektedir.

Bu açıdan bakıldığında, bu çalışma güvenilir, düşük maliyetli ve doğru mahsul tahminini saha çalışmasına dayalı, ücretsiz ve sadece uzaktan algılanan açık erişimli görüntülere dayalı olarak yürütölmüştür.

Mamatlukov modeli, NDVI hesaplaması ile su tüketiminin ve vejetasyonun etkisini ve sıcaklık ve MEDALUS yöntemine dayalı SQ`nin mahsul verimi üzerindeki etkisini dikkate almıştır. Bu yaklaşım, uydu görüntülerinden hesaplanabilen tüm parametrelerle, sırasıyla birçok araştırma kaynaklarına göre uygulanmıştır. Sonuçlar, önceki mahsul veriminin istatistiksel olarak daha fazlası ile kontrol edilmiş ve minimal RMSE teyit edilmiştir.

Beklentimiz, bu makale kapsamında incelenen sonuçlara dayalı olarak hayata geçirilecek yeni yaklaşımların, tarımdan ekolojiye ve şehircilik dahil olmak üzere hayatımızın birçok alanında önemli rol oynayabilecek uygulamalara yol açacağı yönündedir.

Modern tarım, diğer mekansal analizlerin yanı sıra mahsul gelişimini izlemek, farklı nedenlerden etkilenen alanları tespit etmek, toprak kalite durumunu değerlendirmek, verimliliğı tahmin etmek ve mahsul alanlarının gerçek topografyasını görselleştirmek için CBS ve UA teknolojilerinin uygulanmasından büyük ölçüde yararlanabilir. Gelecekte bu çalışma sonuçları daha da iyileştirmek için yeniden modifiye edilebilir ve ölçeklenebilir. Bu veriler ışığında bu alanda yapılacak olan daha detaylı analizlerin, gelişmiş donanımlı bilgisayar kümeleri ve sunucular üzerinde, paralel programla ve büyük veri analizi gibi modern metodlar ile çok daha hızlı gerçekleştirilmesi sağlanabilir. Bu ölçeklendirmeler, UA verilerinin gelecek imkanlarına bağlıdır.

Bu tez kapsamında incelenen sonuçlardan yola çıkılarak uygulanacak olan yeni yöntemlerin tarım, ekoloji ve yönetim planlama da dahil olmakla hayatımızın bir çok alanında etkin rol oynayabilecek uygulamalara yol açabilmesini temenni ediyoruz.

KAYNAKLAR

- Abdelfattah, M. A., Shahid, S. A., Othman, Y. R.** (2009). Soil salinity mapping model developed using RS and GIS: a case study from Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Eur. J. Sci. Res.* 26, 342–351.
- Abdelrahman, M. A. E., Natarajan, A., Srinivasamurthy, C. A., Hegde, R.** (2016). Estimating soil fertility status in physically degraded land using GIS and remote sensing techniques in Chamarajanagar district, Karnataka, India. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.*, 19, 95–108.
- Abdelrahman, M. A. E. & Tahoun, S.** (2019). GIS model-builder based on comprehensive geostatistical approach to assess soil quality. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 13, 204–214.
- Abdullah, H., Skidmore, A. K., Darvishzadeh, R., Heurich, M.** (2019). Sentinel-2 accurately maps green-attack stage of European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) compared with Landsat-8. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 5, 87–106.
- Allbed, A. & Kumar, L.** (2013). Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology. *Adv. Remote Sens.* 2, 373–385.
- Andrews S. S. & Carroll C. R.** (2001). Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, 11, 1573–1585.
- Andrews S. S., Karlen D. L., Cambardella C. A.** (2004). The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal* 68, 1945–1962.
- Andrews, S. S., Karlen, D. L., Mitchell, J. P.** (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in northern California. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 90, 25–45.
- Andrews S. S., Mitchell J. P., Mancinelli R., Karlen D. L., Hartz T. K.** (2002). On-Farm Assessment of Soil Quality in California's Central Valley. *Agron J*, 94, 12–23.
- Anup K. P., Lim C., Ramesh P. S., Menas K.** (2006). Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8, 26–33
- Atzberger, C.** (2013). Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. *Remote Sensing*, 5, 949–981.

- Bahram, M., Hildebrand, F., Forslund, S. K., Anderson, J. L., Soudzilovskaia, N. A., Bodegom, Huerta-Cepas, J.** (2017). Structure and function of the global topsoil microbiome. *Nature*. 560 (7717), 233–237.
- Baroudy, A. A. E., Ali, A. M., Mohamed, E. S., Moghanm, F. S., Shokr, M. S., Savin, I., Aldosari, A. A.** (2020). Modeling Land Suitability for Rice Crop Using Remote Sensing and Soil Quality Indicators: The Case Study of the Nile Delta. *Sustainability*, 12, 9653.
- Bedolla-Rivera, H.I., Xochilt Negrete-Rodríguez, M.D., Medina-Herrera, M.D., Gámez-Vázquez, F.P., Álvarez-Bernal, D., Conde-Barajas, E.** (2020). Development of a Soil Quality Index for Soils under Different Agricultural Management Conditions in the Central Lowlands of Mexico: Physicochemical, Biological and Ecophysiological Indicators. *Sustainability*, 12, 9754.
- Beeri, O., Netzer, Y., Munitz, S., Mintz, D., Pelta, R., Shilo, T., Mey-tal, S.** (2020). Kc and LAI Estimations Using Optical and SAR Remote Sensing Imagery for Vineyards Plots. *Remote Sens.*, 12, 3478.
- Bernardes, T. Meriera, M. A. Adami, M. Giarolle A. and Rudorff B. F.** (2012). Monitoring biennial bearing effect on coffee yield using MODIS remote sensing imagery. *Journal of Remote Sens*, 4, 2492
- Bertini, F., Brand, O., Carlier, S., Del Bello, U., Drusch, M., Duca, R. Pineiro, J.** (2012). Sentinel-2 ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. ESA bulletin. Bulletin ASE. *European Space Agency*. (SP-1322).
- Bhardwaj A. K, Jasrotia P., Hamilton S. K., Robertson G. P.** (2011) Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. *Agriculture Ecosystems & Environment* 140, 419–429.
- Bitek, D. & Erenoğlu, R..** (2022). Forest Fire Analysis with Sentinel-2 Satellite Imagery and its Relationship with Disaster Management Processes: The Case of Mati in 2018. *Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management*. <https://doi.org/10.52114/apjhad.1211651>.
- Bolton, D. & Friedl, M.** (2013). Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. *Agricultural and Forest Meteorology* 173. 74 – 84.
- Borrelli, P., Robinson, D.A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J.E., Alewell, C., Ballabio, C.** (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *Proc. Natl. Acad. Sci.* 117, 21994.
- Weil, R. & Brady, N.** (2017). *The Nature and Properties of Soils*. (15th ed.). New York: Pearson Education

- Broll, G., Brauckmann, H.-J., Overesch, M., Junge, B., Erber, C., Milbert, G., Baize, D. and Nachtergaele, F.** (2006), Topsoil characterization-recommendations for revision and expansion of the FAO-Draft (1998) with emphasis on humus forms and biological features. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 169, 453-461.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Mäder, P.** (2018). Soil quality—A critical review. *Soil Biol. Biochem.*, 120, 105–125.
- Camps, A., Gourrion, J., Tarongí, J., Vall-llossera, M., Gutierrez, A., Barbosa, J., Castro, R.** (2011). Radio-Frequency Interference Detection and Mitigation Algorithms for Synthetic Aperture Radiometers. *Algorithms*. 4. 155-182.
- Correa M., Nixon A., Tansey, K., Murillo-Feo, C.** (2019). Effect of a DEM in the Estimation of Coherence and Unwrapped Phase InSAR for Landslides Detection.
- dela Torre, D. M., Gao, J., Macinnis-Ng, C.** (2021). Remote sensing-based estimation of rice yields using various models: A critical review. *Geospatial Information Science*. 24. 1-24.
- Delecolle, R., Maas, S. J., Guérif, M., and Baret, F.** (1992), Remote sensing and crop production models: present trends, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 47, 145-161.
- Diack M. & Stott D.** (2001) Development of a soil quality index for the Chalmers Silty Clay Loam from the Midwest USA. Purdue University: *USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory*. (pp. 550–555).
- Dorigo, W.A., Zurita-Milla, R., de Wit, A.J.W., Brazile, J., Singh, R. Schaepman, M.E.** (2007). A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9, 165-193.
- Dreybrodt, W.** (2004). Dissolution: Carbonate rocks. *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. (pp. 295–298).
- El-Shirbeny, M., Ali, A., Saleh, N.** (2014). Crop Water Requirements in Egypt Using Remote Sensing Techniques. *J. Agric. Chem. Environ.*, 3, 57–65.
- Elhag, M. & Jarbou, A. B.** (2017). Soil Salinity Mapping and Hydrological Drought Indices Assessment in Arid Environments Based on Remote Sensing Techniques. *Geosci. Instrum. Methods Data Syst.*, 6, 149–158.
- Ersoy, O., Fidan, S., Köse, H., Güler, D., Özdöver, Ö.** (2021) Effect of Calcium Carbonate Particle Size on the Scratch Resistance of Rapid Alkyd-Based Wood Coatings. *Coatings*, 11, 340.
- FAO.** (2006), National report on the State of Plant Genetic resources for Food and Agriculture in Azerbaijan. Baku, December.
- FAO.** (2009), Global agriculture towards 2050. *How to feed the world 2050 High level expert forum*, (pp 1). Rome, Italy, October 12-13.
- FAO.** (2021), FAOSTAT statistical database. *FAOSTAT Statistical Database*, Rome, Italy.

- Fernandes, J. C., Gamero, C. A., Rodrigues, J. G. L. Mira's-Avalos, J. M.** (2011) Determination of the quality index of a Paleudult under sunflower culture and different management systems. *Soil and Tillage Research*, 112, 167–174.
- Ferretti, A., Monti-Guarnieri A., Prati, C., Rocca, F., Massonnet, D.** (2007). InSAR Principles: Guidelines for SARInterferometry Processing and Interpretation, *ESA Publications, TM-19*.
- Franklin, S.E., Wulder, M.A., Skakun, R.S., Carroll, A.L.** (2003). Mountain pine beetle red-attack forest damage classification using stratified Landsat TM data in British Columbia, Canada. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 69, 283–288.
- Gao, B.** (1996). NDWI—A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sensing of Environment*, vol. 58, no. 3, 257–66.
- Gawlik B. M., Bo F., Kettrup A., Muntau H.** (1999). Characterization of a second generation of European reference soils for sorption studies in the framework of chemical testing – Part I: Chemical composition and pedological properties. *Sci. Total Environ.*, 229, 99–107.
- Ghosh P & Kumpatla P. S.** (2022) GIS Applications in Agriculture. Geographic Information Systems and Applications in Coastal Studies. *IntechOpen*.
- Glasser, F.P., Marchand, J., Samson, E.,** (2008). Durability of concrete - Degradation phenomena involving detrimental chemical reactions. *Cement and Concrete Research*, 38, 226 – 246 .
- Gomiero, T.** (2016) Soil Degradation, Land Scarcity and Food Security:Reviewing a Complex Challenge. *Sustainability*, 8, 281.
- Gorelick, N.** (2013). Google Earth Engine. *Egu General Assembly Conference Abstracts*. 15: EGU2013–11997. Bibcode:2013EGUGA..1511997G.
- Groten, S. M. E.** (1993). NDVI - crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso. *International Journal of Remote Sensing*, 14 (8), 1495-1515.
- Dempewolf, H., Eastwood R. J., Guarino L., Khoury, C. K., Müller, J. V., Toll J.** (2014) Adapting Agriculture to Climate Change: A Global Initiative to Collect, Conserve, and Use Crop Wild Relatives, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38:4, 369-377.
- Hassink J.** (1992). Effects of soil texture and structure on carbon and nitrogen mineralization in grass-land soils. *Biol. Fert. Soils*, 14, 126–134.
- Hayes, M.J. & Decker, W.L.** (1996). Using NOAA AVHRR data to estimate maize production in the United States Corn Belt. *Int. J.Remote Sense*. 17, 3189-3200.
- Hu, J. Li, Z.W. Ding, X.L. Zhu, J.J. Zhang, L. Sun, Q.** (2014). Resolving three-dimensional surfacedisplacements from InSAR measurements: A review,” *Earth-Science Rev.*, 133, 1–17.
- Hyndman, R. J. & Koehler, A. B.** (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*. 22 (4), 679–688.

- Immitzer, M., Vuolo, F., Atzberger, C.** (2016). First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sens.* 8, 166.
- Jingwei, W., Vincent, B., Yang, J., Bouarfa, S., Vidal, A.,** (2008). Remote sensing monitoring of changes in soil salinity: a case study in Inner Mongolia, China. *J. Sens.* 8, 7035–7049.
- Jokela W, Posner J, Hedtcke J, Balser T, Read H.** (2011) Midwest Cropping System Effects on Soil Properties and on a Soil Quality Index. *Agronomy Journal*, 103, 1552–1562.
- Jorgensen, S.E.,** (1994). Models as instruments for combination of ecological theory and environmental practice. *Ecol. Model.* 75-76, 5-20.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. and Schuman, G.E.** (1997) Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4-10.
- Karlen D. L. & Stott D. E.** (1994). A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicsek DF, Stewart BA, editors. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, WI: *Soil Science Society of America*. (pp. 53–72).
- Kingra, P. K., Majumder, D., Singh, S. P.** (2016). Application of Remote Sensing and Gis in Agriculture and Natural Resource Management Under Changing Climatic Conditions. *Agric. Res. J.* 53, 295–302.
- Kosmas, C., Ferrara, A., Briassouli, H., Imeson, A.** (1999). The Medalus Project: Mediterranean Desertification and Land Use, Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping Environmentally Sensitive Areas to Desertification. Luxembourg, (pp 31-47).
- Kumar, L. & Mutanga, O.** (2018). Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Remote Sens.* 10, 1509.
- Lagacherie P., Baret F., Feret J. B., Madeira N. J, RobbezMasson J. M.** (2008), Estimation of soil clay and calcium carbonate using laboratory, field, and airborne hyperspectral measurements. *Remote Sens. Environ.*, 112, 825–835.
- Lal, R.** 2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation, *Sustainability*, 7, 5875–5895.
- Larson W. E. & Pierce F. J.** (1991) Conservation and enhancement of soil quality. Evaluation of Sustainable Land Management in the Developing World. *International Board for Soil Research and Management*, Bangkok, 175-203.
- Le Bissonnais, Y.** (1996). Aggregate stability and measurement of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* 47, 425–437.
- Liao, K., Xu, S., Wu, J., Zhu, Q.** (2013). Spatial estimation of surface soil texture using remote sensing data. *Soil Science and Plant Nutrition.* 59.
- Longley, P. A., Goodchild, M., Maguire, D. J., Rhind, D.W.** (2005). Geographic information systems and science 3e. *Information systems journal.* 20.

- Makabe S., Kakuda K., Sasaki Y., Ando T., Fujii H., Ando, H.** (2009). Relationship between Mineral Composition or Soil Texture and Available Silicon in Alluvial Paddy Soils on the Shounai Plain, Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 55, 2, 300–08.
- Mamatkulov, Z., Safarov, E., Oymatov, R., Abdurahmanov, I., Rajapbaev, M.** (2021). Application of GIS and RS in real-time crop monitoring and yield forecasting: A case study of cotton fields in low and high productive farmlands. In *Proceedings of the Annual International Scientific Conference on Geoinformatics GI 2021: Supporting sustainable development by GIST*, Tashkent, Uzbekistan, 27–29 January, 227.
- Mammadov, Q.S.** (2007). Azərbaycan Respublikası Torpaq Atlası, Baku: Elm, 127.
- Mandal, U.K., Ramachandran, K., Sharma, K.L., Satyam, B., Venkanna, K., Udaya Bhanu, M., Venkateswarlu, B.** (2011) Assessing Soil Quality in a Semiarid Tropical Watershed Using a Geographic Information System. *Soil Science Society of America Journal* 75, 1144–1160.
- Manrique, L. A., Kiniry, J. R., Hodges, T., Axness, D. S.** (1991). Dry Matter Production and Radiation Interception of Potato. *Crop Science*, 31,
- Marsh, W. M.** (2010). Landscape planning: environmental applications (5th ed.). Hoboken, NJ: Wiley. (ISBN 9780470570814).
- Mass, S. J.,** (1988). Use of remotely-sensed information in agricultural crop growth models. *Ecological Modeling*. 41, 247-268
- Maurya P. R., Lal R.** (1980) Effects of No-Tillage and Ploughing on Roots of Maize and Leguminous Crops. *Experimental Agriculture* 16, 185–193
- Mitchell, C., Hu, C., Bowler, B., Drapeau, D., Balch, W.M.** (2017), Estimating Particulate Inorganic Carbon Concentrations of the Global Ocean From Ocean Color Measurements Using a Reflectance Difference Approach. *J. Geophys. Res.* 122, 8707–8720.
- Mo, X., et al.,** (2004). Simulating temporal and spatial variation of evapotranspiration over the Lushi basin. *Journal of Hydrology*, 285, 125–142.
- Moges, A., Dagnachew, M., Yimer, F.** (2013), Land Use Effects on Soil Quality Indicators: A Case Study of Abo-Wonsho Southern Ethiopia. *Appl. Environ. Soil Sci.* 784989.
- Monteith, J. L.** (1972). Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 9(3), 747–766.
- Monteith, J. L., & Moss, C. J.** (1977). Climate and the Efficiency of Crop Production in Britain [and Discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 281 (980), 277–294.
- Morel, J., Todoroff, P., Bégué, A., Bury, A., Martiné, J.-F., Petit, M.** (2014), Toward a Satellite-Based System of Sugarcane Yield Estimation and Forecasting in Smallholder Farming Conditions: A Case Study on Reunion Island. *Remote Sensing*, 6, 7, 6620–6635.
- Moyroud, N., & Portet, F.** (2018). Introduction to QGIS. In *QGIS and Generic Tools* (eds N. Baghdadi, C. Mallet and M. Zribi).

- Mukherjee, A., Lal, R.** (2014) Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods. *PLoS ONE* 9, (8), e105981.
- Munemasa, Y., Saito, Y., Carrasco-Casado, A., Trinh, P. V., Takenaka, H., Kubo-oka, K., Toyoshima, M.** (2018). Feasibility study of a scalable laser communication terminal in NICT for next-generation space networks, *Proc. SPIE 11180, International Conference on Space Optics — ICSO 111805W*.
- Najatishendi, E.** (2017) Paddy-Rice Leaf Area Index (LAI) Estimation Using Radar and Optical Imagery. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul.
- Navas M., Benito M., Rodriguez I., Masaguer A.** (2011) Effect of five forage legume covers on soil quality at the Eastern plains of Venezuela. *Applied Soil Ecology*, 49, 242–249.
- Neckel, A., Santosh, M., Bodah, Br., Maculan, L., Pinto O. D., Korcelski, C., Toscan, P., Pasa, L., Caino, I., Moro, L., Junior, D., Tibério C. G., Silva, C., Mores, G.** (2022). Using the Sentinel-3B Satellite in Geospatial Analysis of Suspended Aerosols in the Kiev, Ukraine Region. *Sustainability*. 14, 16357.
- Nemes, A., Timlin, D.J., Pachepsky, Y.A. and Rawls, W.J.** (2009) Evaluation of the Rawls et al. (1982) Pedotransfer Functions for Their Applicability at the U.S. National Scale, *Soil Science Society of America Journal*, 73, (5), 1638–45.
- Newer, B., Ali A., Zargawi, H., (2013).** Soil salinity mapping model developed using remote sensing and GIS in Libya.
- Oberthür T, Dobermann A, Neue H. U.** (1996). How good is a reconnaissance soil map for agronomic purposes, *Soil Use Manage*, 12,33–43.
- Odeh I. O. A. & McBratney A. B.** (2000). Using AVHRR images for spatial prediction of clay content in the lower Namoi Valley of eastern Australia. *Geoderma*, 97, 237–254.
- OWWDSA,** (2007). Soil survey and land evaluation report. Fentale irrigation based development project, unpublished feasibility study. *Oromia Water Works Design and Supervision Authority*, Addis Ababa, Ethiopia.
- Ölkədə Kənd Təsərrüfatı Məhsullarının Yığımı Başa Çatıb.** (2023). *Azerbaijan-News*, Retrieved on 21 February 2023 from: <https://www.azerbaijan-news.az/az/posts/detail/olkede-kend-teserrufati-mehsullarinin-yigimi-basa-catib-1675119441>
- Özer, G., Paulitz, T.C., Imren, M., Alkan, M., Muminjanov, H., Dababat, A.A.** (2020). Identity and Pathogenicity of Fungi Associated with Crown and Root Rot of Dryland Winter Wheat in Azerbaijan. *Plant Dis.*, 104, 2149–2157.
- Özyavuz, M.** (2010). Analysis of changes in vegetation using multitemporal satellite imagery, the case of Tekirdağ Coastal Town. *Journal of Coastal Research*. 26. 1038-1046.
- Özyavuz, M. & Dönmez, Y.** (2014). Monitoring the changing position of coastlines using information technologies, an example of tekirdag. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 15. 1051-1058.

- Panda, S. S., Ames, D. P., Panigrahi, S.** (2010). Application of vegetation indices for agricultural crop yield prediction using neural network techniques. *Remote Sens.*, 2, 673–696.
- Pham, T.G., Nguyen, H.T., Kappas, M.** (2018). Assessment of soil quality indicators under different agricultural land uses and topographic aspects in Central Vietnam. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 6, 280–288.
- Pontius, R., Thontteh, O., Chen, H.** (2008). Components of information for multiple resolution comparison between maps that share a real variable. *Environmental Ecological Statistics.* 15 2, 111–142.
- Prodanović, D., Stanić, M., Milivojević, V., Simić, Z., Arsić, M.** (2009). DEM-based GIS algorithms for automatic creation of hydrological models data. *J. Serb. Soc. Comput. Mech.* 3, 64–85.
- Psomiadis, E., Dercas, N., Dalezios, N., Spyropoulos, N.** (2016). The role of spatial and spectral resolution on the effectiveness of satellite-based vegetation indices. *Proc. SPIE 9998, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVIII*, (99981L)
- Quarmby N., Milnes M., Hindle T., Silleos N.** (1993). The use of multi-temporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 199–210.
- Christopherson, J.B., Ramaseri Chandra, S.N., and Quanbeck, J.Q.** (2019). 2019 Joint Agency Commercial Imagery Evaluation - *Land Remote Sensing Satellite Compendium. U.S. Geological Survey Circular 1455*, 191.
- Reynolds, M. & Yittayew, D. C.** (2000). Slack, Estimation crop yields and production by integrating the FAO Crop Speci. C Water Balance model with real-time satellite data and ground-based ancillary data. *Int.g. remote sensing*, 21, (18), 3487-3508
- Rocca F. & Ferretti, A.** (2014). An Overview of SAR Interferometry, (pp 1–13),
- Roy, D.P., Kovalskyy, V., Zhang, H.K., Vermote, E.F., Yan, L., Kumar, S.S., Egorov, A.** (2016). Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *Remote Sens. Environ.*, 185, 57–70.
- Sakamoto, T., Yokozawa, M., Toritani, H., Shibayama, M., Ishitsuka, N.** (2005). A crop phenology detection method using time series MODIS data. *Journal of Remote Sens Environ*, 96, 366
- Seybold, C., Grossman, R. B., Reinsch, T. G.** (2005). Predicting Cation Exchange Capacity for Soil Survey Using Linear Models. *Soil Science Society of America Journal*, 69. 856-863
- Shields, D. H. & Harrington, E. J.** (1988). Measurements of slope movements with a simple camera. In *Proceedings of the Landslides Proceedings of the fifth International Symposium*, A.A. Balkema:, Rotterdam, Netherlands, (pp. 521–525).
- Sullivan, D. G., Shaw, J. N., Rickman D.** (2005). IKONOS imagery to estimate surface soil property variability in two Alabama physiographies. *Soil Science Society of America Journal*, 69, 1789–1798.

- Gorji, T., Tanik, A., Sertel, E.** (2015). Soil salinity prediction, monitoring and mapping using modern technologies. *Procedia Earth Planet. Sci.* 15, 507–512.
- Tucker, C. J., Vanpraet, C. L., Sharman, M. J., Van Ittersum, G.** (1985). Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980–1984. *Remote Sensing of Environment*, 17, (3), 233-249.
- Url-1** < www.stat.gov.az>, erişim tarihi 29.08.2021.
- Url-2** <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>>, erişim tarihi 29.08.2021.
- Url-3** <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>>, erişim tarihi 29.08.2021.
- Url-4** <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>>, erişim tarihi 29.08.2021.
- Url-5** <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar>>, erişim tarihi 29.08.2021.
- Url-6** <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar>>, erişim tarihi 29.08.2021.
- Vasu, D., Singh, S.K., Ray, S.K., Duraisami, V.P., Tiwary, P., Chandran, P., Nimkar, A.M., Anantwar, S.G.** (2016). Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, 282, 70–79.
- Warrington D. N., Mamedov A. I., Bhardwaj A. K., Levy G. J.** (2009). Primary particle size distribution of eroded material affected by degree of aggregate slaking and seal development. *Eur. J. Soil Sci.*, 60, 84–93.
- Wiegand, C. L. & Richardson, A. J.** (1984). Leaf Area, Light Interception, and Yield Estimates from Spectral Components Analysis1. *Agronomy Journal*, 76 543-548.
- Wienhold, B. J., Varvel, G. E., Doran, J. W.** (2005). Quality of Soil, *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier (ISBN 9780123485304) (pp.349–353).
- Willmott, C. & Matsuura, K.** (2006). On the use of dimensioned measures of error to evaluate the performance of spatial interpolators. *International Journal of Geographical Information Science*. 20, 89–102.
- Wojewódzki, P., Lemanowicz, J., Debska, B., Haddad, S.** (2022). Soil Enzyme Activity Response under the Amendment of Different Types of Biochar. *Agronomy*, 12, 569.
- Wösten, H., Pachepsky, Y., Rawls, W.J.** (2001). Pedotransfer functions: Bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*. 251. 123-150.
- Wulder, M.A., White, J.C., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Belward, A.S., Cohen, W.B., Fosnight, E.A., Shaw, J., Masek, J.G., Roy, D.P.** (2016). The Global Landsat Archive: Status, Consolidation, and Direction. *Remote Sensing of Environment*, 185, 271-283.

- Zewdu, S., Suryabhagavan, K.V., Balakrishnan, M.,** (2016). Land-use/land-cover dynamics in sago irrigation farm south Ethiopia using geospatial tools. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 15, 91–97.
- Zhang, R., Warrick, A. W., Myers, D. E.** (1992). Improvement of the prediction of soil particle size fractions using spectral properties. *Geoderma*, 52, 223–234.
- Zhao, Z. Y., Chow, T. L., Rees, H. W., Yang, Q., Xing, Z. S., Meng, F. R.** (2009). Predict soil texture distributions using an artificial neural network model. *Comput. Electron. Agr.*, 65,36–48.
- Zornoza R., Mataix-Solera J., Guerrero C., Arcenegui V., Mataix-Beneyto J., et al.** (2008). Validating the effectiveness and sensitivity of two soil quality indices based on natural forest soils under Mediterranean conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 2079–2087



EKLER

Çizelge A.1: Çalışma alanı ile ilgili temin edilmiş veriler

Çizelge A.2: Kullanılmış Sentinel-1 verileri ve özellikleri

Çizelge A.3: Kullanılmış Sentinel-2 verileri ve özellikleri

Çizelge A.1 : Çalışma alanı ile ilgili temin edilmiş veriler.

İl	Köy	Alan, ha	Beyan tarihi	Bitki türü	Ekin yılı	Ekin ayı	Prognoz, ton	Ekin tipi	Kategori
Jalilabad	Devlet Rezerv Fonu - Privolnoye	46.6	11/17/2021 16:25	WINTER DURUM WHEAT - BƏRƏKƏTLİ 95 ® (SUPER ELİT)	2021	11	3.2	birincil	Rezerv fonu toprakları
Jalilabad	Devlet Rezerv Fonu - Privolnoye	161.9	12/4/2021 15:09	WINTER DURUM WHEAT - BƏRƏKƏTLİ 95 ® (SUPER ELİT)	2021	11	400	birincil	Rezerv fonu toprakları
Jalilabad	Devlet Rezerv Fonu - Privolnoye	330	12/4/2021 15:09	WINTER DURUM WHEAT - BƏRƏKƏTLİ 95 ® (SUPER ELİT)	2021	11	700	birincil	Rezerv fonu toprakları

Çizelge A.2 : Kullanılmış Sentinel-1 verileri ve özellikleri.

Dosya ismi	Tarih	Araç	Mod	Uydu	Döngü No	Yörünge No (start)	Yörünge No (stop)	Geçiş yönü	Polarizasyon	Ürün seviyesi	Ürün tipi
S1A_IW_SLC_1SDV_20220317T024441_20220317T024508_042355_050CB2_60D3	2022-03-17T02:44:41.229Z	SAR-C	IW	Sentine l-1	256	42355	42355	DESCENDING	VV VH	L1	SLC
S1A_IW_SLC_1SDV_20220422T024442_20220422T024509_042880_051E62_25DA	2022-04-22T02:44:42.567Z	SAR-C	IW	Sentine l-1	259	42880	42880	DESCENDING	VV VH	L2	SLC

Çizelge A.3 : Kullanılmış Sentinel-2 verileri ve özellikleri.

Dosya ismi	Tarih	Araç	Uydu	Bulutluluk yüzdesi	Yörünge No (start)	Geçiş yönü	İşlem seviyesi	Ürün türü
S2A_MSIL1C_20210823T072621_N0301_R049_T38SQJ_20210824T153037	2021-08-23T07:26:21.024Z	MSI	Sentinel-2	0.3842	32221	DESCENDING	Level-1C	S2MSI1C
S2A_MSIL2A_20210823T072621_N0301_R049_T38SQJ_20210824T161823	2021-08-23T07:26:21.024Z	MSI	Sentinel-2	1.062374	32221	DESCENDING	Level-2A	S2MSI2A
S2B_MSIL2A_20220415T072609_N0400_R049_T38SQJ_20220415T101738	2022-04-15T07:26:09.024Z	MSI	Sentinel-2	0.127517	26673	DESCENDING	Level-2A	S2MSI2A

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Nilufar Karimli

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Azərbaycan Ulusal Havacılık Akademisi, Hava Taşımacılığı Fakültesi, Uzay teknolojisi Mühendisliği (Burslu)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Embawood L.Ş., İç tasarımcı (2016-2017)
- SINAM L.Ş., CBS analist (2020-2022)
- Digirella L.Ş., UA verileri analisti (2022-devam ediyor)

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Karimli N. ve Selbesoğlu M.O.** 2023. Remote Sensing-Based Yield Estimation of Winter Wheat Using Vegetation and Soil Indices in Jalilabad, Azerbaijan. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 12(124). ([Makale](#))

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Ahadov B. ve Karimli N.** 2023. Analyzing Land Use/Land Cover Changes and its Dynamics Using Remote Sensing Data: A case study of Gabala, Azerbaijan. *EGU General Assembly 2023*, Vienna, Austria, EGU23-3777. ([Makale](#))
- **Karimli N., Ahadov B., ve Kadirov F.** 2022. Application of advanced processing of the remote sensing data on land use and land cover changes in Zangilan, East Zangezur. *Journal of Life Sciences and Biomedicine*, 77(2), 5–11. ([Makale](#))