



GÖKTÜRK-1 UYDU GÖRÜNTÜLERİNDE PUS GİDERME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nursen DAVDAV ALKAN

Danışman

Prof. Dr. Murat UYSAL

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKTÜRK-1 UYDU GÖRÜNTÜLERİNDE PUS GİDERME

Nursen DAVDAV ALKAN

Danışman

Prof. Dr. Murat UYSAL

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Nursen DAVDAV ALKAN tarafından hazırlanan “Göktürk-1 Uydu Görüntülerinde Pus Giderme” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 22/02/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman :Prof. Dr. Murat UYSAL

Başkan : Prof. Dr. Murat UYSAL
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Nizar POLAT
Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK
Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../.....tarih ve
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Bekir YALÇIN

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

22 / 02 /2024

Nursen DAVDAV ALKAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÖKTÜRK-1 UYDU GÖRÜNTÜLERİNDE PUS GİDERME

Nursen DAVDAV ALKAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat UYSAL

Bu tez çalışmasında, Göktürk-1 uydu görüntülerinde pus kaynaklı atmosferik bozulmaların yol açtığı problemler ele alınmıştır. PCI Geomatica yazılımının sağladığı ATCOR atmosferik düzeltme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen pus giderme işlemi, başarılı bir şekilde atmosferik bozulmaları azaltarak görüntülerin kalitesini önemli ölçüde artırmıştır.

Atmosferik düzeltme sonrasında, PCI Geomatica'nın Ortho Engine modülü kullanılarak yüksek çözünürlüklü ortofoto üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu aşama, pus etkilerinden arındırılmış, coğrafi referanslı ve hassas görüntülerin elde edilmesine olanak sağlamıştır. Ortaya çıkan ortofoto, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uygulamalarında, arazi analizlerinde ve çeşitli uzaktan algılama projelerinde kullanılacak güvenilir bir veri kaynağı sunmaktadır.

Tez kapsamında ayrıca, PCI Geomatica'nın Mosaic Tool ara yüzünde gerçekleştirilen görüntü zenginleştirme süreci detaylı bir şekilde incelenmiştir. Mosaic Tool, çeşitli görüntüleri birleştirme ve daha yüksek kaliteli bir görüntü oluşturma konusunda kullanılan bir araçtır. Bu aşama, ortofotolardan elde edilen verilerin daha derinlemesine analiz edilmesini sağlamış ve görüntü kalitesini önemli ölçüde artırmıştır.

Bu tez çalışması, Göktürk-1 uydu görüntülerindeki atmosferik bozulmaların etkin bir şekilde giderilmesi ve elde edilen verilerin daha fazla değer katması için uygulanan

aşamaları detaylı bir şekilde sunmaktadır. Ayrıca, kullanılan yöntemlerin pratik uygulamaları, elde edilen sonuçların önemi ve bu süreçlerin coğrafi bilgi sistemleri, tarım, çevre izleme gibi alanlarda nasıl kullanılabileceğı üzerine vurgular yapılmıştır. Bu çalışma, uzaktan algılama alanında atmosferik düzeltme konusunda gerçekleştirilen kapsamlı bir metodolojinin potansiyelini vurgulamakta ve bu alandaki gelecekteki araştırmalara katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2024, ix + 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: Radyometrik Düzeltme, Atmosferik Düzeltme, Pus Giderme, Ortofoto, Görüntü Zenginleştirme

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

HAZE REMOVAL IN GÖKTÜRK-1 SATELLITE IMAGES

Student Nursen DAVDAV ALKAN

Afyon Kocatepe University

Institute of Science and Technology

Department of Geomatic Engineering

Supervisor: Prof. Murat UYSAL

This thesis study investigates the problems caused by atmospheric haze, particularly those related to the presence of haze, in Göktürk-1 satellite images. The haze removal process, carried out using the ATCOR atmospheric correction method provided by PCI Geomatica software, successfully reduced atmospheric disturbances and significantly improved the quality of the images.

After atmospheric correction, high-resolution orthophoto production was performed using the Ortho Engine module of PCI Geomatica. This step allowed for the acquisition of images that were free of haze effects, georeferenced, and accurate. The resulting orthophoto provides a reliable data source for use in geographic information systems (GIS) applications, land analysis, and various remote sensing projects.

The thesis also examines in detail the image enrichment process carried out in the Mosaic Tool interface of PCI Geomatica. Mosaic Tool is a tool used to combine multiple images and create a higher quality image. This step allowed for a more in-depth analysis of the data obtained from the orthophotos and significantly improved the image quality.

This thesis work presents in detail the steps applied to effectively remove atmospheric disturbances in Göktürk-1 satellite images and add value to the obtained data. In addition, emphasis is placed on the practical applications of the methods used, the importance of the results obtained, and how these processes can be used in areas such as geographic

information systems, agriculture, and environmental monitoring. This study emphasizes the potential of a comprehensive methodology for atmospheric correction in the field of remote sensing and aims to contribute to future research in this area.

2024, ix + 60 pages

Keywords: Radiometric Correction, Atmospheric Correction, Haze Removal, orthophoto, Image Enhancement



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Murat UYSAL, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen en büyük destekçilerimden biri olan Jeoloji Yüksek Mühendisi Merve YILMAZ'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma, tezimde kullandığım verileri sağladıkları ve bu çalışmaya katkıda bulundukları için Harita Genel Müdürlüğü'ne ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan annem Birsen DAVDAV'a, tez sürecimdeki enerjim olan minik mucizem oğlum Arel ALKAN'a ve bana her zaman destek olan sevgili eşim Murat ALKAN'a teşekkür ederim.

Nursen DAVDAV ALKAN
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Uzaktan Algılama	3
2.2 Uydular	5
2.2.1 Göktürk-1 Uydusu.....	10
2.3 Ön İşleme	12
2.3.1 Radyometrik Düzeltme	12
2.3.2 Atmosferik Düzeltme	14
2.4 Görüntü Zenginleştirme	18
2.5 Sınıflandırma	19
2.5.1 Kontrollü Sınıflandırma	20
2.5.2 Kontrolsüz Sınıflandırma	23
2.5.3 Doğruluk Analizi	24
3. MATERYAL ve METOT	26
3.1 Çalışma Alanı ve Veri Seti	26
3.2 Pus Giderme Yöntemi.....	27
3.3 Ortofoto Üretimi	32
3.4 Görüntü Zenginleştirme	34
3.5 Kontrollü Sınıflandırma.....	35
4. BULGULAR	38
4.1 Pus Giderme Sonuçları	38
4.2 Ortofoto Kalite Değerlendirmesi	44
4.3 Görüntü Zenginleştirme Etkileri	45

4.4 Sınıflandırma Doğruluk Değerlendirmesi	46
4.5 Spektral Analiz	51
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	57
6. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	60



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

O ₂	Oksijen
CO ₂	Karbondiyoksit

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CBS	Coğrafi bilgi sistemleri
GPS	Global Positioning System
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
HTS	Yüksek Verimli Uydu
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
SSTL	Surrey Satellite Technology Limited
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TUSAŞ	Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.
YKN	Yer Kontrol Noktası

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Uzaktan algılamanın temel bileşenleri	4
Şekil 2.2 Fotoğrafçı güvercinler ve Frankfurt'tan çektikleri fotoğraflar.....	4
Şekil 2.3 SPUTNIK – ilk yeryüzü gözlem uydusu	6
Şekil 2.4 Göktürk-1 Uydusu.....	10
Şekil 2.5 Göktürk-1 uydusunun teknik özellikleri	11
Şekil 2.6 Göktürk-1 uydusu görüntü seviyeleri	11
Şekil 2.7 Uydu görüntü verisine atmosferin etkisi	12
Şekil 2.8 Atmosferin farklı tarihlerdeki görüntüye etkisi	13
Şekil 2.9 Atmosferin ölçülen ışınlırlığa etkisi	15
Şekil 2.10 Koyu piksel çıkartımı yöntemi.....	16
Şekil 2.11 Görüntü zenginleştirmesinde histogram işlemleri	18
Şekil 2.12 Bursa iline ait 1987 Landsat TM uydu görüntüsü.....	19
Şekil 2.13 Kontrollü sınıflandırmada kullanılan yardımcı veriler.	21
Şekil 2.14 Kontrollü sınıflandırma.....	21
Şekil 2.15 Paralelkenar yöntemi.....	22
Şekil 2.16 En Kısa Uzaklık yöntemi.	23
Şekil 2.17 Kontrolsüz sınıflandırmanın akış şeması	24
Şekil 3.1 Çalışma alanı.....	26
Şekil 3.2 Göktürk-1 uydu görüntüsünün PCI Geomatica yazılımına yüklenmesi	29
Şekil 3.3 Atmosferik düzeltme parametreleri.....	29
Şekil 3.4 ATCOR parametreleri.....	30
Şekil 3.5 (a) Pus giderme öncesi, (b) Pus giderme sonrası	31
Şekil 3.6 Puslu Göktürk-1 Uydu Görüntüsü - YKN Dağılımı	33
Şekil 3.7 Pus sonrası Göktürk-1 Uydu Görüntüsü - YKN Dağılımı	33
Şekil 3.8 Görüntü zenginleştirme çalışmaları.	35
Şekil 3.9 Kontrollü sınıflandırma için kontrol sınıflarının oluşturulması.....	36
Şekil 3.10 Puslu görüntünün sınıflandırma başarısı.....	36
Şekil 3.11 Pusu giderilmiş görüntünün sınıflandırma başarısı.....	37
Şekil 4.1 Birinci bölgede farklı parametrelerin karşılaştırması.....	39

Şekil 4.2 İkinci bölgede farklı parametrelerin karşılaştırması	40
Şekil 4.3 Üçüncü bölgede farklı parametrelerin karşılaştırması	41
Şekil 4.4 ATCOR Atmosferik Düzeltmenin Etkisi	42
Şekil 4.5 Yoğun puslu bir bölgede atmosferik etkilerin kısmen giderilememesi	43
Şekil 4.6 (a) Pus giderme öncesi, (b) Pus giderme sonrası	44
Şekil 4.7 Görüntü zenginleştirme öncesi (a) ve sonrası (b)	46
Şekil 4.8 Puslu Göktürk-1 görüntüsü (a) ve sınıflandırma (b)	47
Şekil 4.9 Pusu giderilmiş Göktürk-1 görüntüsü (a) ve sınıflandırma (b)	48
Şekil 4.10 Puslu Göktürk-1 görüntüsü (a) ve sınıflandırma (b)	49
Şekil 4.11 Pusu giderilmiş Göktürk-1 görüntüsü (a) ve sınıflandırma (b)	50
Şekil 4.12 Çoklu histogram grafiği	52
Şekil 4.13 İstatistikli histogram grafiği	53
Şekil 4.14 Dağılım grafiği	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Doğruluk analizi.....	45
-----------------------------------	----



1. GİRİŞ

Uzaktan algılama, coğrafya, jeodezi, coğrafi bilgi sistemleri, çevre bilimleri, tarım, orman yönetimi, kent planlaması ve daha birçok disiplinde büyük öneme sahip olan bir bilim ve teknoloji dalıdır. Bu disiplin, dünya yüzeyinin üzerinden uzaktan toplanan verileri kullanarak coğrafi bilgiyi elde etme sürecini ifade eder. Uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, lazer tarama, termal ve çok bantlı sensörler gibi veri toplama araçları, uzaktan algılamanın temelini oluşturur. Bu teknolojiler sayesinde, dünya yüzeyindeki değişiklikleri izlemek, kaynakları yönetmek, çevresel değişiklikleri takip etmek ve doğal afetlerin etkilerini değerlendirmek gibi birçok alanda önemli bilgiler elde etmek mümkün hale gelmiştir.

Uzaktan algılama teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler ve uydu görüntüleme sistemlerinin gelişimi, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uygulamaları için kritik öneme sahip veri kaynakları sunmaktadır. Ancak, atmosferik koşullar bu potansiyel bilgi kaynağının etkin bir şekilde kullanılmasını kısıtlamaktadır. Bu tez çalışması, Göktürk-1 uydu görüntülerindeki atmosferik bozulmaların spesifik olarak pus etkisinden kaynaklanan sorunları ele almaktadır.

Atmosferdeki su buharı, partikül ve gazların karışımı olan pus, optik dalga boylarında saçılma ve emilme etkileri yaratır. Bu durum, uzaktan algılama görüntülerinde renk, kontrast ve doğruluk kayıplarına neden olabilir. Bu tez, PCI Geomatica yazılımının sunduğu Atcor atmosferik düzeltme yöntemi ile Göktürk-1 uydu görüntülerindeki pus etkisinin giderilmesine odaklanmaktadır. Yapılan atmosferik düzeltme sonuçları, başarılı bir biçimde pusun etkilerini azalttığını göstermiştir.

Atmosferik düzeltme sonrasında, bu çalışmada PCI Geomatica'nın Ortho Engine modülü kullanılarak ortofoto üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu aşama, yüksek çözünürlüklü ve atmosferik etkilerden arındırılmış görüntülerin üretilmesine imkan tanımıştır. Elde edilen ortofoto, coğrafi bilgi sistemleri uygulamalarında kullanılmak üzere hassas ve güvenilir veri kaynakları sunmaktadır.

Tez kapsamında, PCI Geomatica'nın Mosaic Tool ara yüzünde gerçekleştirilen görüntü zenginleştirme işlemi de ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Mosaic Tool, çeşitli görüntülerin birleştirilmesi ve daha yüksek kaliteli bir kompozit görüntü oluşturulması için kullanılan bir araçtır. Bu aşama, elde edilen ortofotolardan daha fazla bilgi çıkarmak ve görüntü kalitesini artırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde, kullanılan yöntemlerin detaylı teknik açıklamaları, elde edilen sonuçların analizi ve bu sonuçların uygulama alanları üzerinde durulacaktır.

Tezin yapısı, Giriş bölümü ile başlamaktadır ve ardından Literatür Bilgileri, Materyal ve Metot, Bulgular, Tartışma ve Sonuç bölümleri izlemektedir. Bu çalışma, pus giderme tekniklerinin geliştirilmesine ve uzaktan algılama alanında daha fazla bilgi edinmeye katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Ayrıca, bu tez, Göktürk-1 uydu görüntüleri üzerinde yapılan pus giderme çalışmalarına önemli bir katkı sunma potansiyeline sahiptir.

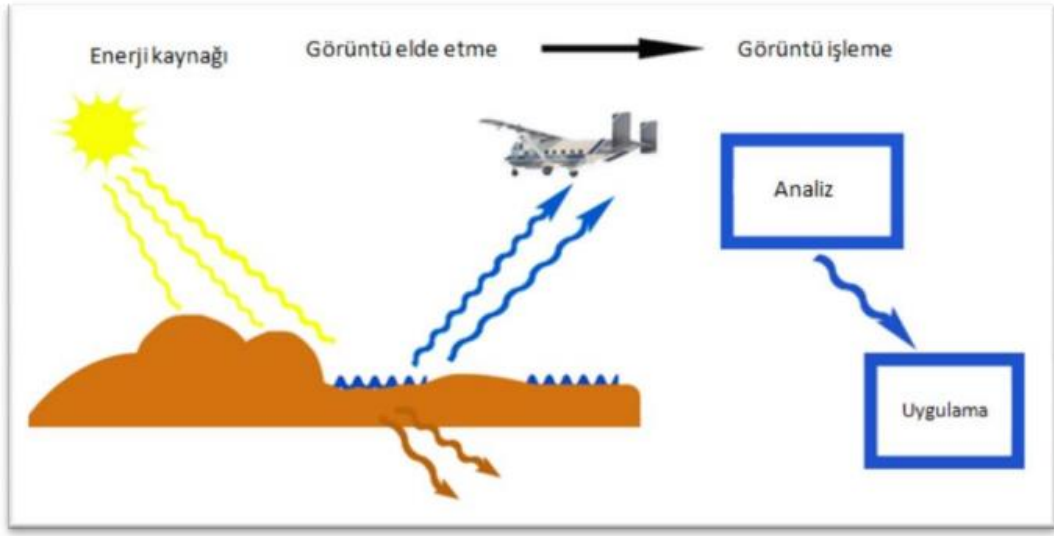
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, yeryüzü ve atmosferdeki nesnelerle temassız bir şekilde bilgi edinme ve değerlendirme bilimidir. Bu bilgi, uzayda veya atmosferde bulunan platformlara yerleştirilen ölçüm aletleri ile toplanmaktadır. Özellikle uydu üzerinde taşınan algılayıcılar, uzaktan algılamada önemli bir rol oynamaktadır. Uzaktan algılama sistemleri, nesnelerden yayılan elektromanyetik enerjiyi ölçmektedir. Bu enerji, uydu veya hava aracı üzerinde bulunan aletlerle analiz edilmektedir (Aliyazıcıoğlu 2019).

Uzaktan algılamanın temel bileşenleri:

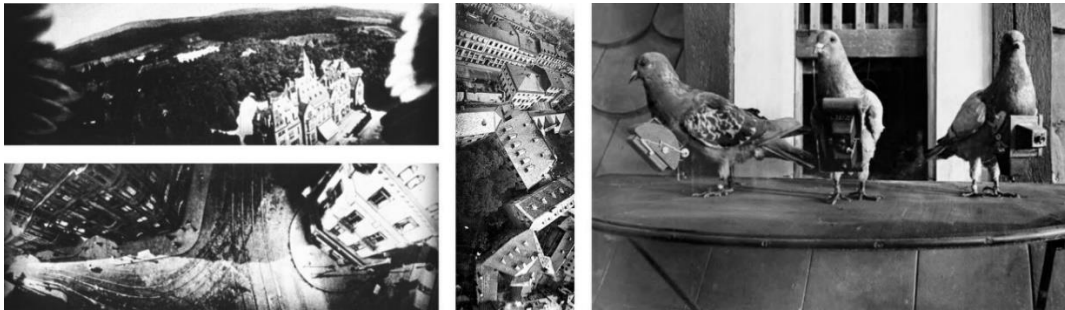
1. Enerji Kaynağı: Uzaktan algılamanın ilk adımı, hedefe ışık enerjisi göndermektir.
2. Işınım ve Atmosfer: Enerji kaynaktan yeryüzüne ve yeryüzünden algılayıcıya giderken atmosferden geçer. Atmosfer, ışınımı absorbe ederek, saçarak ve kırılmasına neden olarak onu etkiler.
3. Hedef ile Etkileşim: Atmosferden geçen ışık, hedefin özelliklerine bağlı olarak yansır, saçılır veya emilir. Bu etkileşim, hedefin türü, dokusu ve sıcaklığı gibi bilgiler hakkında bilgi verir.
4. Algılayıcı: Hedefle etkileşime giren ışık, bir algılayıcı tarafından toplanır ve kaydedilir. Algılayıcılar, kameralar, radarlar ve spektrometreler gibi çeşitli sensörler olabilir.
5. Aktarma ve İşleme: Alıcı tarafından kaydedilen veriler, işleme ve analiz için bir alıcı istasyonuna gönderilir.
6. Yorum ve Analiz: Görüntüler ve veriler, hedef hakkında bilgi çıkarmak için yorumlanır ve analiz edilir. Bu işlem, özel yazılımlar ve algoritmalar kullanılarak yapılır.
7. Uygulama: Görüntülerden elde edilen bilgiler, özel problemlerin çözümüne katkı sağlayacak şekilde düzenlenmesi ve yeni bilgilerin keşfedilmesi için yapılan işlemlerdir.



Şekil 2.1 Uzaktan algılamanın temel bileşenleri (Kayman 2015).

Uzaktan algılama alanında temel unsur, yeryüzünün görüntüsünü kaydetme yeteneğidir; bu nedenle bu bilim dalının başlangıcı, 19. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır. İlk başlarda, bu alandaki çalışmalar görsel algılama ve ölçümleme üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak, teknolojik gelişmeler ve bilimsel keşifler, uzaktan algılama yöntemlerinin çeşitlenmesini ve gelişmesini sağlamıştır.

İlk uzaktan algılama çalışmalarından biri, 1840'larda Fransız fotoğrafçı ve balon pilotu Nadar'ın, Paris'ten 600 metre yükseklikteki bir balondan çektiği fotoğrafların kullanılmasıdır. Bu, havadan görüntüleme tekniğinin başlangıcını işaret eder. Bu ilk dönemlerde platform olarak güvercinler de kullanılmıştır (Şekil 2.2) (Sunar vd. 2018).



Şekil 2.2 Fotoğrafçı güvercinler ve Frankfurt'tan çektikleri fotoğraflar (İnt.Kyn.1).

Uzaktan algılama, çeşitli disiplinlerde yaygın olarak, özellikle Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), jeoloji, meteoroloji, tarım, ormancılık, çevre bilimleri ve askeri alanlarda kullanılmaktadır.

2.2 Uydular

Uydu teknolojisi, 20. yüzyılın ortalarından itibaren hızla gelişmeye başlamıştır. I. Dünya Savaşı sırasında hava fotoğrafları önemli bir keşif aracı olmuş ve II. Dünya Savaşı sırasında ise kullanımı artmıştır. Uydu çağıının başlangıcı olarak kabul edilen olay, Sovyetler Birliği'nin 4 Ekim 1957 tarihinde Sputnik 1 (Şekil 2.3) adlı yapay uydusunu uzaya fırlatmasıdır. Bu, insanlık tarihindeki ilk yapay uydunun başarılı bir şekilde fırlatılmasıdır. ABD, Sovyetler Birliği'nin Sputnik 1 ve 2'ye yanıt olarak 31 Ocak 1958'de Explorer 1 adlı ilk Amerikan yapay uydusunu fırlattı. Bu uydunun keşfi, Van Allen radyasyon kuşaklarını ortaya çıkardı. 1960'lı yıllarda, iletişim uydularının geliştirilmesiyle birlikte, haberleşme ve televizyon yayınları için uydu teknolojisi daha yaygın hale geldi. Telstar (1962) bu dönemde önemli bir iletişim uydusuydu. 1972 yılında ABD'nin Landsat programı, dünya yüzeyini izlemek ve haritalamak amacıyla uydu teknolojisini kullanmıştır. Landsat serisi, çevresel izleme ve doğal kaynak yönetimi için önemli bir araç haline gelmiştir. 1970'ler ve 1980'lerde Amerika'nın GPS (Global Positioning System) ve Rusya'nın GLONASS sistemleri gibi global navigasyon uyduları, konum belirleme ve navigasyon açısından önemli bir rol oynamıştır. 1990'lar ve 2000'lerde Uydu teknolojisinin gelişimi, çeşitli alanlarda kullanımını genişletti. Yüksek çözünürlüklü görüntüleme, hiper-spektral analiz ve diğer gelişmiş sensörlerle donatılmış araştırma uyduları, bilimsel ve çevresel amaçlar için kullanılmaktadır. 2000'ler ve sonrasında internet erişimini genişletmek amacıyla uydu teknolojisi, dünya genelinde internet erişimi sağlamak için kullanılan uydu tabanlı iletişim uyduları tarafından benimsenmiştir. 2010'lar ve sonrasında daha küçük ve düşük maliyetli küp uydular, özellikle özel şirketler ve üniversiteler tarafından kullanılmaktadır. Ticari uydular, iletişim, gözlem ve diğer çeşitli uygulamalarda önemli bir yer edinmiştir.

Günümüzde, uzay ajansları, özel şirketler ve araştırma kuruluşları tarafından fırlatılan birçok yapay uydu, dünya üzerindeki çeşitli ihtiyaçlara yanıt vermek üzere uzaya

gönderilmektedir. Uydu teknolojisi, iletişim, gözlem, bilimsel araştırmalar, çevre izleme, askeri amaçlar ve daha birçok alanda hayati bir rol oynamaktadır (Sunar vd. 2018).



Şekil 2.3 SPUTNIK – ilk yeryüzü gözlem uydusu (İnt.Kyn.2).

Türkiye'de uzay ve uydu teknolojilerine olan ilgi ve yatırım, son yıllarda önemli ölçüde güçlenmiştir. Türkiye'nin uydularla ilgili gelişim süreci ise aşağıdaki gibidir.

Ülkemiz, 1990'lı yıllarda uzay teknolojilerine daha fazla odaklanarak, şu anda aktif olarak hizmet veren toplamda 8 uyduya sahiptir. Bu uyduların 5'i haberleşme uydusu olarak görev yapmakta olup Türksat 3A, Türksat 4A, Türksat 4B, Türksat 5A ve Türksat 5B adlarıyla bilinirken, geriye kalan 3 uydu olan Göktürk-1, Göktürk-2 ve Rasat ise gözlem amaçlı kullanılmaktadır (İnt.Kyn.3).

Ülkemizin ilk uydu fırlatma girişimi, maalesef başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Türksat 1A uydusu, 24 Ocak 1994 yılında Kourou'dan fırlatılan Ariane 4 roketiyle uzaya gönderilmiştir; ancak rokette gerçekleşen bir arıza sonucunda, sadece 12 dakika sonra okyanusa düşüp parçalanmıştır.

Türksat 1A uydusunun başarısızlığının ardından, hızla harekete geçen Türk mühendisleri, Türksat 1B uydusunu geliştirmiştir. Türkiye'nin uzaya gönderilen ilk uydusu olan Türksat 1B, 10 Ağustos 1994 yılında Ariane 4 roketi ile başarılı bir şekilde fırlatılmış ve yörüngeye yerleştirilmiştir. Tam 12 sene haberleşme uydusu olarak görev yapan Türksat 1B, emekliliğe ayrılarak 2006 yılında hizmetine son verilmiştir.

10 Temmuz 1996 tarihinde Türkiye'nin ikinci haberleşme uydusu olan Türksat 1C,

Ariane 4 roketi ile uzaya başarılı bir şekilde gönderilmiş ve uzun bir süre boyunca etkin bir hizmet sağlamıştır. Yaklaşık 14 sene süresince haberleşme uydusu olarak görev yapan Türksat 1C, 2008 senesinde yeni nesil Türksat 3A uydusuna tüm sinyal trafiğini devretmiştir. Aynı zamanda, 2008 senesinin sonlarına doğru televizyon yayıncılığı görevini tamamlayan uydu, 2010 senesinde ise tamamen emekli olmuştur.

Ülkemizin uzaya gönderdiği bir öteki Türk uydu olan Türksat 2A, 1 Şubat 2001 yılında Ariane 4 roketiyle başarılı bir biçimde fırlatılmış ve 42 derece Doğu boylamında yörüngeye oturarak görevine başlamıştır. Türk Telekom ve Alcatel işbirliğiyle kurulan Eurasiasat şirketi tarafından planlanan bu iletişim uydusu, Türksat tarafından işletilmektedir. Yaklaşık 15 yıl süresince başarılı bir hizmet sunan Türksat 2A, 27 Eylül 2016 tarihinde görevini tamamlamıştır.

BiLSAT uydusu, Türkiye'de TÜBİTAK UZAY tarafından tasarlanan ve yerli sanayi katkılarıyla üretilen bir uydu olup, ÇOBAN ve GEZGİN adı verilen iki görev yükünü barındırmaktadır. Bu yükler, Türkiye'nin uzay teknolojilerini geliştirmek ve küçük uydu teknolojilerine odaklanmak amacıyla TÜBİTAK UZAY tarafından tasarlanmıştır. BiLSAT projesi, SSTL firması ile işbirliği yaparak küçük uydu tasarımı ve üretimi için gerekli altyapıyı kurmuş ve Türkiye'nin ilk uzaktan algılama uydusu olan BiLSAT'ı üreterek 27 Eylül 2003 yılında yörüngeye göndermiştir.

İngiliz Skynet 5C uydusu ile beraber 13 Haziran 2008 tarihinde uzaya fırlatılan Türksat 3A haberleşme uydusu, Thales Alenia Space şirketi tarafından üretilmiştir. Türk mühendislerinin de katkıda bulunduğu 22 kişilik bir ekip tarafından yapılan bu uydu, hâlâ faal olarak görevine devam etmektedir. 16 Temmuz 2008 yılında Türksat 1C uydusunun tüm sinyal trafiğini üstlenerek görevine başlayan Türksat 3A, aynı zamanda 27 Ekim 2008 yılında Türksat 2A üzerinden yayın yapan kanalların frekanslarını da devralmıştır.

Türkiye'nin tamamen kendi tasarımı ve üretimiyle gerçekleştirdiği ilk yer gözlem uydusu unvanına sahip olan RASAT, 17 Ağustos 2011 yılında Rusya'nın Kazakistan sınırındaki Orenburg bölgesinde bulunan Yasny Fırlatma Üssü'nden Dnepr roketiyle uzaya gönderilmiştir. TÜBİTAK tarafından danışmanlık veya dış destek almadan geliştirilen bu

uydu, haritacılık, şehircilik ve planlama, afet izleme, kirlilik ve çevre izleme gibi amaçlar için görev yapmıştır. İlk olarak 3 yıl tasarım ömrüyle planlanan yer gözlem uydusu, üzerinden geçen 10 yıla rağmen hala aktif bir şekilde görev yapmaya devam etmektedir.

Göktürk-2, Türkiye'nin TÜBİTAK UZAY ve Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş iş birliğiyle geliştirdiği bir yer gözlem uydusudur. 18 Aralık 2012 tarihinde Çin'deki Jiuquan Fırlatma Üssü'nden Uzun Yürüyüş-2D roketiyle başarıyla fırlatılmıştır. Göktürk-2, donanımının yüzde 80'inden fazlası ve yazılımlarının yüzde 100'ü Türk mühendisleri tarafından üretilmiştir. Bu uydunun temel görevleri arasında haritacılık, çevresel izleme, tarım alanlarının yönetimi, afet izleme ve askeri amaçlı kullanım bulunmaktadır. Göktürk-2'nin yüksek çözünürlüklü optik kamerası, yeryüzündeki detayları incelemek ve çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Uydu, Türkiye'nin uzay teknolojileri ve gözlem kapasitesini güçlendirmek adına önemli bir adım olarak değerlendirilmiştir.

Türkiye, geçmişte genellikle yabancı şirketlerle işbirliği yaparak uydularını geliştirmiştir. Ancak bu yaklaşım 26 Nisan 2013 yılında değişti ve Türkiye, ilk yerli tasarım ve üretim alçak yörünge haberleşme uydusu olan Türksat-3USAT'ı kendi başına geliştirmek için adım atmıştır. Bu önemli adım, Türksat firmasıyla ortaklaşa geliştirilen bir Türk haberleşme nano uydusunu içermektedir. Uydu, 26 Nisan 2013 tarihinde Çin'in Jiuquan şehrinden Chang Zheng 2D roketi ile uzaya fırlatılmıştır.

14 Şubat 2014 tarihinde, Türk mühendislerin de katkı sağladığı Japonya merkezli Mitsubishi Electric firması tarafından tasarlanan Türksat 4A haberleşme uydusu, Kazakistan'daki Baykonur Uzay Üssü'nden Proton roketi ile başarılı bir şekilde fırlatılmıştır. Uydu, fırlatıldıktan yaklaşık 4 ay sonra, 50 derece doğu boylamında test edildikten sonra 9 Haziran 2014 yılında test yörüngesinden ayrılarak asıl görevini yerine getireceği 42° doğu boylamındaki konumuna geçmiştir.

Türksat 4A uydusunun fırlatılmasının ardından hızla harekete geçen Türkiye, Japonya merkezli Mitsubishi Electric firmasıyla birlikte tasarlanan Türksat 4B haberleşme uydusu için çalışmalara başlamıştır. Uydu, 16 Ekim 2015 yılında Kazakistan'daki Baykonur

Uzay Üssü'nden Proton roketiyle başarılı bir şekilde uzaya gönderilmiştir. Başlangıçta planlanan fırlatma tarihi 6 Ekim 2015 yılı idi; ancak Baykonur Uzay Üssü'nde diğer uyduların fırlatıldığı esnada zarar gören proton roketinin bakımı sebebiyle tarih yaklaşık 10 gün ertelenmiştir.

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. ile Aselsan'ın teknolojik katkılarıyla İtalyan uzay hizmeti şirketi Telespazio tarafından Millî Savunma Bakanlığı için tasarlanan Göktürk-1, 5 Aralık 2016 yılında Kourou'dan Vega roketiyle başarılı bir şekilde uzaya fırlatılmıştır. Bu 0,50 m çözünürlüğe sahip uydu, coğrafi sınırlamalara tabi olmadan dünyanın herhangi bir yerinde keşif yapma yeteneğine sahiptir. Ayrıca, haritalama, kıyı bölgesi yönetimi, planlama, jeoloji, felaket yönetimi, çevre kontrolü, arazi örtüsü araştırması, su kaynakları ve ekosistem izleme konularında çeşitli sivil uygulamalarda kullanılmaktadır.

Uzaya gönderilen Türk uyduları arasında olan Türksat 5A, 8 Ocak 2021 yılında Elon Musk'ın liderliğindeki SpaceX firmasının Falcon 9 roketi ile ABD'deki Cape Canaveral Üssü'nden başarılı bir şekilde fırlatılmıştır. Yörünge görev süresi 30 sene olarak belirlenen Türksat 5A uydusu; Türkiye, Orta Batı Afrika, Kuzey Afrika, Güney Afrika, Avrupa, Orta Doğu, Ege Denizi, Akdeniz ve Karadeniz'i kapsayan geniş bir coğrafyada, 1728 MHz kapasitesiyle TV yayıncılığı ve veri haberleşme hizmetleri sunacaktır (İnt.Kyn.3).

Türksat 5B, 19 Aralık 2021 tarihinde Cape Canaveral, ABD'den Space X firmasının Falcon 9 roketiyle başarıyla fırlatılan bir ticari haberleşme uydusudur. Kasım 2017 tarihinde Türksat A.Ş. ile yapılan sözleşme kapsamında, AIRBUS D&S (Defence and Space) firması tarafından üretilen bir haberleşme uydusu, hizmet vereceği yer olan 42° Doğu yörüngesine yerleştirilmek üzere tasarlanmıştır. Türksat 5B uydusu, Sabit Uydu Servisi (FSS) sınıfı uydulardan en az 20 kat daha fazla kapasite verimliliği sağlayan Yüksek Verimli Uydu (HTS) sınıfına aittir. Bu uydunun faydalı yük kapasitesi, Türksat uydu filosunun en güçlüsü olmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Türksat 5B, Orta Doğu'nun tamamı, Nijerya, Kızıldeniz, Akdeniz, Kuzey ve Doğu Afrika, Basra Körfezi, Güney Afrika ve yakın komşu ülkelerini içeren geniş bir kapsama alanında hizmet

verecektir. Havacılık ve denizcilik sektörlerinde etkin bir biçimde kullanılmak üzere uzaydaki kapasiteyi entegre etme planları yapılmaktadır. Ayrıca, Türksat 5B uydusunun sağlayacağı özellikle yüksek veri kapasitesi sayesinde Türkiye'nin karasal altyapıyla erişilemeyen bölgelere internet altyapısı kurma imkanı sağlanabilecek ve bu sayede uzak yerlere ulaşılabilecektir (İnt.Kyn.9).

Türkiye'nin uzay ve uydu teknolojilerindeki gelişmeler, ülkenin kendi uydularını iyileştirmesi ve kullanım açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Bu, bilim, iletişim, güvenlik ve çeşitli endüstri sektörlerindeki uygulamalara katkı sağlamaktadır (İnt.Kyn.3).

2.2.1 Göktürk-1 Uydusu

Dünya'nın herhangi bir bölgesinden talep edilen anlık yüksek çözünürlüklü görüntüleri engel olmaksızın sağlayabilen, sadece askeri istihbarat gereksinimlerini karşılamakla kalmayıp aynı zamanda imara aykırı yapılaşmanın izlenmesi, orman kontrolü, ürün rekolte belirleme, doğal afetlerin ardından oluşan hasar tespiti ve coğrafi harita verilerinin üretilmesi gibi alanlarda da hizmet verebilen bir uydu sisteminin temin edilme ihtiyacı, Göktürk-1 uydu projesinin ortaya çıkmasına yol açmıştır (Ünal vd. 2021).

Göktürk-1, Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. (TUSAŞ) ile Aselsan'ın teknolojik katkılarıyla İtalyan uzay hizmeti şirketi Telespazio iş birliğiyle Millî Savunma Bakanlığı için özel olarak tasarlanmış ve geliştirilmiş olan bir yer gözlem uydusudur. 0.5 metreye kadar (50 cm) yüksek çözünürlüklü görüntüleme kapasitesine sahiptir (İnt.Kyn.4).



Şekil 2.4 Göktürk-1 Uydusu (İnt.Kyn.5).

GÖKTÜRK-1 Projesi, sadece askeri istihbarat amaçlı yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmekle kalmayıp, aynı zamanda uzay ve uydu sistemlerine yönelik teknoloji, altyapı geliştirilmesini ve uzman insan gücünü içermektedir. Ayrıca, orman alanlarının kontrolü, doğal afet (sel, deprem, yangın vb.) sonrasında hızlı hasar tespiti, kaçak yapılaşmanın takibi, ürün rekolte tespiti ve coğrafi harita verilerinin üretilmesi gibi bir dizi sivil faaliyet alanında da ihtiyaçlara yönelik çözümler sunmayı hedeflemektedir (İnt.Kyn.6)

Özellik	Göktürk-1 Uydusu
Yörünge tipi	Güneş eşzamanlı
Yörünge İrtifası	681 km
Eğim Açısı	98.11°
Periyot	98 dk 11 sn
Spot Boyutu	15x15 km
Şerit Genişliği	15 km
Şerit Uzunluğu	780 km / 14.300 km
Konumsal Çözünürlük	0,5 m PAN - 2 m RGB
Radyometrik Çözünürlük	11-Bit
Konumsal Doğruluk	
Yatay	10 m (YKN'siz), 2m (YKN ile)
Düşey	20 m (YKN'siz), 3m (YKN ile)
Spektral Bantlar	PAN, RGB, NIR
Günlük Yörünge Sayısı	14-15 (14,7)
Görüntüleme Sıklığı	2-3 gün ($\pm 30^\circ$ açıyla)
	11 gün ($\pm 5^\circ$ açıyla)
Uydu Ömrü	7 yıl 3 ay

Şekil 2.5 Göktürk-1 uydusunun teknik özellikleri.

Göktürk-1 uydu görüntülerinin veri işleme seviyeleri ve açıklamaları Şekil 2.6'da belirtilmiştir.

Görüntü Seviyesi	Tanımı
Seviye-0 (L0)	Ham Görüntü
Seviye-1 (L1)	Radyometrik olarak düzeltilmiş görüntü
Seviye-2A (L2A)	Geometrik olarak düzeltilmiş görüntü
Seviye-2B (L2B)	L2A görüntünün WGS84 referans sistemine göre georektifiye edilmesiyle elde edilen görüntü
Seviye-3A (L3A)	Rasyonel Polinom Katsayıları (Rational Polynomial Coefficients, RPC) kullanılarak ortorektifiye edilmiş görüntü
Seviye-3B (L3B)	Yer Kontrol Noktaları kullanılarak coğrafi konumlandırması yapılmış ve kalibre edilmiş ortorektifiye edilmiş görüntü
Seviye-4 (L4)	Sayısal Yükseklik Modeli
Seviye-5 (L5)	Mozaik görüntü
Seviye-6 (L6)	Tematik harita (Sınıflandırma)

Şekil 2.6 Göktürk-1 uydusu görüntü seviyeleri (Arasan vd. 2019).

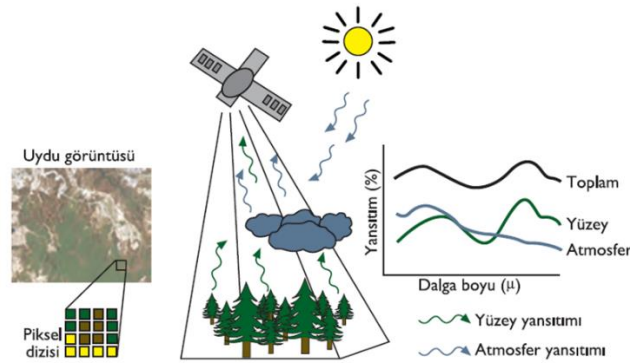
2.3 Ön İşleme

Görüntü elde edilirken, geometrik yapısında ve piksel parlaklık değerlerinde belirli sistemsel karakterlere sahip geometrik veya radyometrik hatalar meydana gelebilir. Algılayıcı, uydu sistemleri ve yeryüzü özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan hatalar genellikle geometrik hatalar olarak adlandırılır. Diğer taraftan, algılayıcı, ışığın dalga boyu, atmosfer ve topografik etkilerin birleşimi sonucu meydana gelen hatalar genellikle radyometrik hatalar olarak tanımlanır. Dijital görüntünün doğru bir şekilde yorumlanabilmesi veya bilgisayarla analiz edilebilmesi için, hedeflenen seviyede doğruluk elde edebilmek için geometrik ve radyometrik hataların olabildiğince düzeltilmeleri gereklidir. Ön işleme aşamasında, görüntü verisinden kaynaklanan sistemsel hatalar, uygun fiziksel ve matematiksel yöntemlerle giderilmeye çalışılır ve bu düzeltme işlemi iki aşamada gerçekleştirilir:

1. Radyometrik düzeltme aşamasında, ölçülen sinyalin kalibre edilmesi gerçekleştirilir.
2. Geometrik düzeltme aşaması ise görüntünün gerçek yüzey konumundan kaynaklanan hataların düzeltilmesini amaçlar.

2.3.1 Radyometrik Düzeltme

Herhangi bir algılama sistemi tarafından ölçülen ışıma, aydınlatma geometrisindeki, atmosferik koşullardaki, görüş geometrisindeki ve algılayıcı özelliklerindeki değişikliklerden etkilenir (Şekil 2.7). Bu etkilerin genellikle düzeltilmesi, algılayıcı sistem ve uygulama türüne bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin, görüş geometrisi gibi etkiler, uçak tabanlı sistemlerde uydu sistemlerine kıyasla daha belirgin bir etki gösterebilir (Sunar vd. 2018).

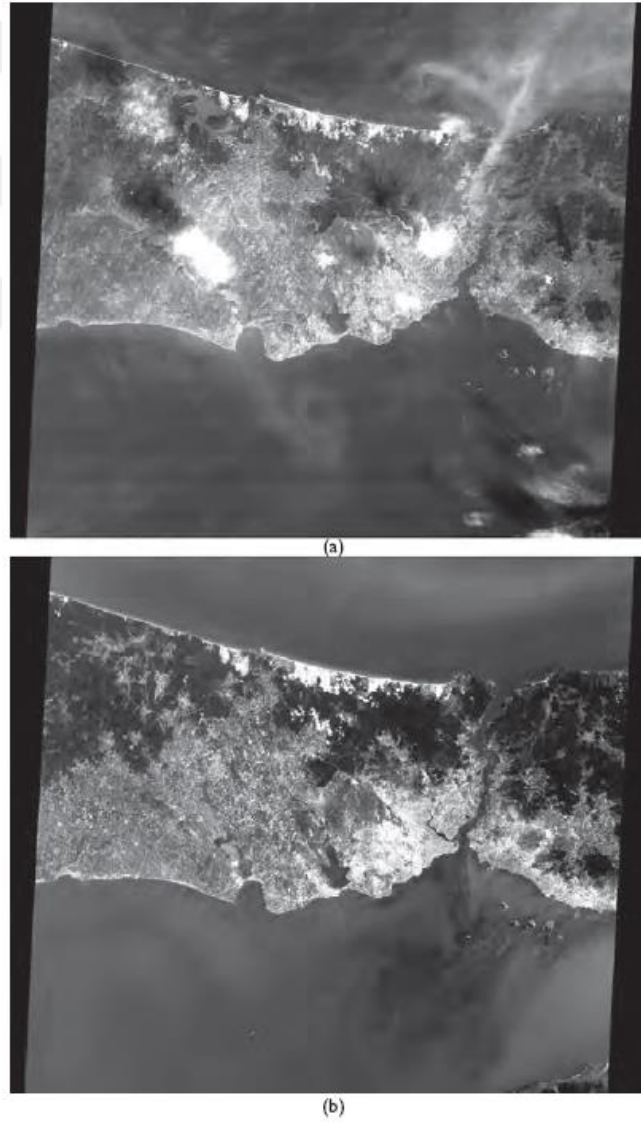


Şekil 2.7 Uydu görüntü verisine atmosferin etkisi (İnt.Kyn.7).

Uzaktan algılama görüntülerinin yorum ve analizi için iki temel varsayım vardır:

- Görüntü piksel değerleri, yeryüzü yansımalarının mekânsal dağılımını doğru bir biçimde temsil etmektedir.
- Bu yansıma büyüklüğü, yeryüzünün kimyasal, biyolojik veya fiziksel özellikleriyle ilişkilidir.

Birinci varsayım, görüntünün geometrik niteliğiyle ilgiliyken, radyometrik niteliğiyle ilgili olan ikinci varsayım, algılayıcı kalibrasyonu, Güneş birim ışınlırlığındaki değişimler, atmosferik saçılma ve yutulma etkilerinin düzeltilmeden geçerli olamaz.



Şekil 2.8 Atmosferin farklı tarihlerdeki görüntüye etkisi. (a) Landsat TM, Bant 1 - 10 Şubat 1983
(b) Landsat TM, Bant 1 - 12 Haziran 1984

2.3.2 Atmosferik Düzeltme

Atmosferik düzeltme (atmospheric correction), uydu görüntülerinde atmosfer etkilerini minimize etmek veya ortadan kaldırmak için kullanılan bir dizi yöntem ve süreçtir. Atmosferik düzeltme, yeryüzü özelliklerini daha doğru bir şekilde belirlemek, nesnelerin sınıflandırılmasını geliştirmek ve uydu görüntülerini farklı zamanlarda ve farklı sensörlerle karşılaştırılabilir hale getirmek amacıyla uygulanır.

Atmosfer, Güneş'in ışınlarını etkileyerek karmaşık bir etkileşim meydana getirir. Temel olarak atmosfer, gelen enerjiyi absorbe eder ve/veya dağıtır. Uzaktan algılama sistemleri aracılığıyla toplanan optik bölge enerjisi, yeryüzünden yansıyan veya yayılan enerji ile atmosferin saçtığı ve/veya yaydığı enerjinin bir karışımını temsil eder (Şekil 2.9). Birim zamanda birim alandan birim katı içinden algılayıcının algıladığı enerji olan ışınlılık, birim zamanda birim alana gelen enerjinin (birim ışınlılık), hedef yansıtımının, atmosferin saçtığı enerjinin ve atmosferik yutulmanın bir fonksiyonudur. Görüntüdeki her bir piksel değeri, algılayıcı ışınlılığının bir fonksiyonu olarak belirlenir. Matematiksel olarak;

$$R_{ölçülen} = \frac{\rho \cdot E \cdot T}{\pi} + L_p \quad (2.1)$$

ile ifade edilebilir, burada;

$R_{ölçülen}$ = algılayıcının ölçtüğü toplam spektral ışınlılık,

ρ = algılanan yer yüzeyinin yansıtımı,

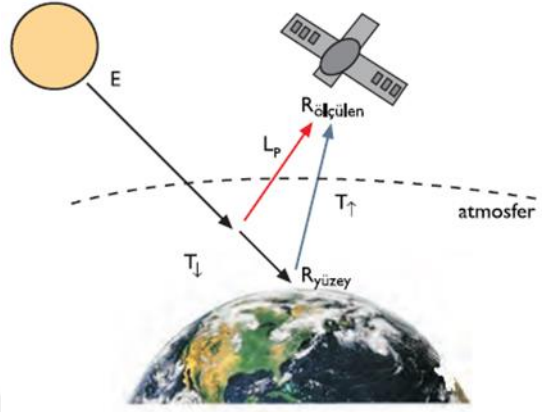
E = birim zamanda yer yüzeyinin birim alanına gelen enerji (birim ışınlılık),

T = atmosferin geçirimi (gelen enerji miktarının atmosfer olmaması durumunda yeryüzüne gelecek olan enerji miktarına oranı),

L_p = atmosferik yol ışınlılığı

Katı açısı değeri π olan paydadaki terim, yarım kürenin ışığı algılama kapasitesini temsil eder ve " $\rho \cdot E \cdot T$ " çarpımını ($W.m^2$) "birim ışınlılıktan" "ışınlılığa" ($W.m^{-2}.sr^{-1}$) dönüştürmek için kullanılır. Bu dönüşüm, hedefin Lambert yansıtma özelliğine sahip olduğu varsayımına dayanır. ρ terimi sadece yüzey yansıtma katsayısını gösterir. Atmosferik yol ışınlılığının toplamı (L_p) görüntü kontrastını düşüren pus etkisini

oluşturur ve bu etki kısa dalga boylarında daha belirgin hale gelir. Başka bir ifadeyle, görünür bölgedeki L_p değeri kızılötesi bölgedeki olandan daha fazladır. Benzer şekilde, görünür bölgedeki mavi bant için L_p değeri kırmızı bant için olandan daha büyüktür.



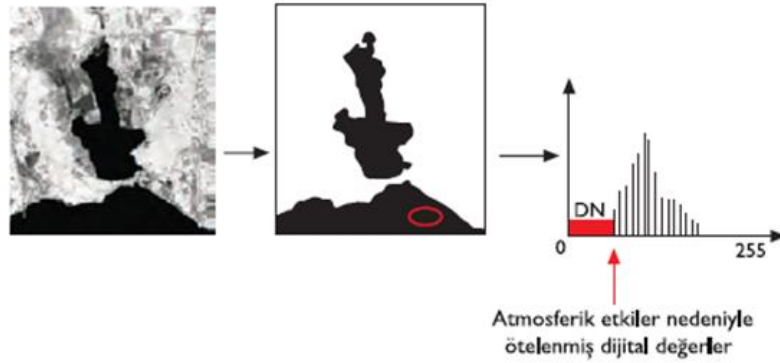
Şekil 2.9 Atmosferin ölçülen ışınlığa etkisi.

Radyometrik düzeltme, atmosferik etkileri giderme sürecinde üç farklı yöntemle uygulanmaktadır:

1. Uydu sensörü, atmosfer ile hedef arasındaki etkileşimi ve ilişkileri modellemek için fiziksel metotlar kullanır. Atmosferik düzeltmelerin fiziksel olarak modelledildiği bu yaklaşım, en güçlü ve tutarlı olanıdır, ancak aynı zamanda en zor olanıdır. 5S, 6S, MODTRAN, LOWTRAN, FLAASH, ATCOR2 ve ATCOR3 gibi en yaygın kullanılan modeller, meteorolojik, mevsimsel ve coğrafi değişkenleri giriş olarak alır. Ancak, bu değişkenler için pratikte yeterli zamansal ve mekânsal çözünürlükte değerleri elde etmek zordur ve özellikle atmosferik aerosollerin dağılımını tahmin etmek zordur. Bu yöntemlerde Güneş birim ışınlığı, Güneş ile Dünya arasındaki uzaklığın değişimine bağlı olarak normalize edilir.

2. İkinci metodolojide, atmosferik düzeltmeler, bilinen doğal veya yapay yeryüzü hedeflerinin yansıtma özelliklerine dayanmaktadır. Bu hedef nesneler, atmosferik koşulların bir yerden diğerine olan değişimlerini etkin bir şekilde belirlemede kullanılabilir, çünkü yansıtma özellikleri çok iyi bilinmekte, yeterli çözünürlüğe sahiptir ve görüntü alanına homojen bir şekilde dağılmıştır.

3. "Koyu piksel çıkartımı," atmosferik düzeltme alanında yaygın olarak kullanılan ve kolayca uygulanabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, belirli bir spektral bant için minimum parlaklık değeri (DN) belirlenir ve bu değer, görüntü histogramını öteler. Diğer bir deyişle, belirlenen değer, görüntüdeki tüm piksellerin yansıtım değerlerinden çıkarılır. Tekniğin temelinde, ilgili spektral bant için bazı piksellerin sıfır yansıtım değerine sahip olduğu varsayılır. Bu sayede, bu pikseller için ölçülen ışınırılığın (L_p) atmosferik saçılma sonucu meydana geldiği ve konumdan konuma değişmediği kabul edilir. Optik verilerde genellikle gölge alanlar ve kızıl ötesi bantlar için temiz derin su kütleleri hedef olarak seçilir. Şekil 2.10' da, İstanbul ilinin Büyükçekmece bölgesine ait Landsat TM uydu verisinde, kızıl ötesi bantta su kütlesi hedef olarak belirlenmiş ve suyla ilgili piksellerin sıfır yansıtım değerine sahip olması gerektiği düşünülerek atmosferik etkinin belirlenmesi gösterilmiştir. Ancak, bu yöntem genel bir yaklaşım olup, daha çok pratik amaçlar için kullanılan kolay ve uygulanabilir bir tekniktir.



Şekil 2.10 Koyu piksel çıkartımı yöntemi (Sunar vd. 2018).

Literatür araştırmasında atmosferik düzeltme yöntemleri kullanılarak uydu görüntülerinde pus giderme ile alakalı çalışmalar incelenmiştir. Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Makarau vd. (2013) yaptıkları çalışmada orta ve yüksek çözünürlükte pus tespiti ve giderilmesi için, ampirik ve otomatik bir yöntem sunulmuştur. Değerlendirmeler Landsat 8 OLI ve WorldView-2 uyduları üzerinde yapılmıştır. Makarau ve arkadaşları yeni bir pus giderme yöntemi geliştirmişlerdir. Algoritma, HTM'ye bağlı olarak mekansal olarak

değişen bulanıklığı ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Pus giderme yönteminin değerlendirilmesi aynı alandan alınan net ve puslu bir sahne, pusu giderme sonuçlarının spektral olarak tutarlı olduğu gösterilmiştir. Bu yöntem, başlangıç verisi DN ölçümlerine veya kalibre edilmiş parlaklık bilgilerine uygulanabilir. Tam anlamıyla otomatik bir şekilde gerçekleştirilen bu yöntem, uzaktan algılanan verilerin toplu işleme sistemlerinde bir zincir olarak kullanılabilir sonucuna varmışlardır.

Çetin vd. (2017) tarafından Hyperion spektral verileri üzerinde yapılan atmosferik düzeltme çalışmalarında, referans yer spektral verileri kullanılarak elde edilen ATCOR ve Ampirik Doğrusal yöntemlerinin, özellikle spektral eğrilerin kararlılığı açısından daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan, FLAASH yönteminin sonuçları incelendiğinde, özellikle 900 nm ve 1300 nm gibi atmosferik bantlara yakın bölgelerde, O₂, CO₂ ve su buharından kaynaklanan nedenlerle yansıma değerlerinde %20'ye varan önemli sapmaların ortaya çıktığı görülmüştür.

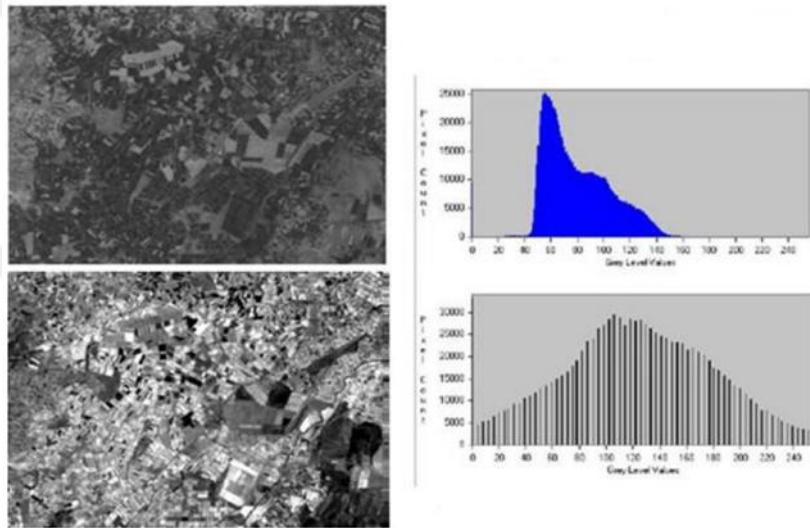
Hultberg (2018) tarafından yapılan çalışmada amaç pusu giderecek bir yöntem bulmaktır. Karanlık Kanal Yöntemini Kullanarak Tek Görüntüden Pus Giderme ve Yakın Kızılötesi Kullanarak Renkli Görüntüden Pus Giderme algoritmalarını seçmiştir. En iyi sonucu Karanlık Kanal Yönteminin verdiği kanaatine varmıştır. Karanlık Kanal Yönteminin sonucu karanlık yapmadan bulanıklığın çoğunu giderdiğini, ince pusların tamamını kalın puslarında büyük çoğunluğunu giderdiği tespit edilmiştir.

Ahmad vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada uzaktan algılama görüntüleri üzerindeki pus etkileri ve bu etkilerin düzeltilmesi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Pusun uzaktan algılama görüntüleri üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla, ilk olarak gerçek uzaktan algılama görüntüleri üzerinde pus simülasyonu yapılmıştır. Simüle edilen puslu görüntüler üzerindeki etkilerin değerlendirilmesi için spektral imza analizi, korelasyon analizi ve sınıflandırma doğruluğu analizi uygulanmıştır. Ardından, pusun düzeltilmesi için ağırlıklı ortalama çıkarma ve filtreleme içeren bir metodoloji geliştirilmiştir. Düzeltilmiş görüntülerin kalitesinin değerlendirilmesi için sinyal-gürültü oranı (SNR) ve sınıflandırma doğruluğu kullanılmıştır. En sonunda, geliştirilen pus düzeltme yöntemi gerçek puslu görüntüler üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen

yöntemin puslu görüntülerden çoğu pus etkisini etkili bir şekilde giderdiğini göstermektedir.

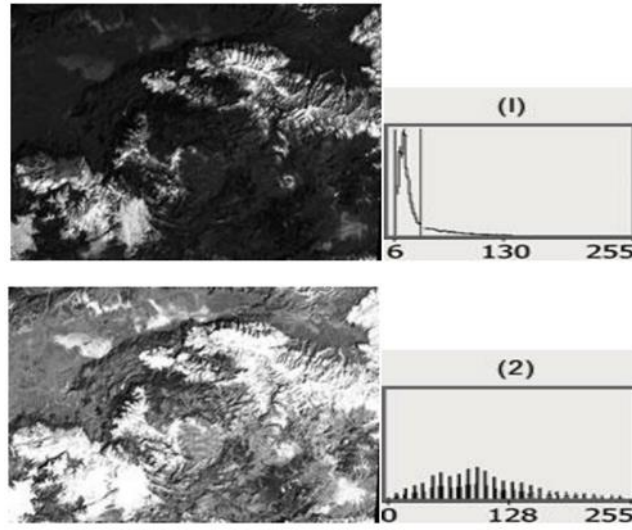
2.4 Görüntü Zenginleştirme

Görüntünün daha kolay ve yüksek kaliteli hale getirilebilmesi amacıyla, ön işleme ve görüntü iyileştirme yöntemleri büyük bir öneme sahiptir. Görüntüler, bir dizi histogram işlemi ve filtreleme yöntemi kullanılarak zenginleştirilebilir. Bir görüntüdeki yansıma değerlerinin grafik gösterimine histogram denilmektedir. Bu grafikte, yansıma değerleri genellikle 0 ile 255 arasında x ekseninde yer alırken, bu değerlerin görüntüde tekrar etme sıklığı y ekseninde yer almaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Görüntü zenginleştirmesinde histogram işlemleri.

Bir görüntünün belirli bir dağılıma sahip yansıma değerleri üzerinde yapılan işlemler, görüntüde istenen özellikleri daha belirgin kılabilir. Aşağıda Şekil 2.12’ de Bursa iline ait 1987 Landsat TM uydu görüntüsü bulunmaktadır. Ham görüntünün histogram grafiği (1) ile gösterilmiştir. Lineer kontrast artırımı yöntemi uygulanan yeni görüntüde (2), birçok detay daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.12 Bursa iline ait 1987 Landsat TM uydu görüntüsü.

Filtreleme, görüntü işleme fonksiyonlarının bir başka türüdür ve filtre kullanılarak görüntü zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Uzaysal filtreler, bir görüntüdeki belirli objeleri vurgulamak ya da bastırmak hedefiyle kullanılır. Alçak geçiren bir filtre, geniş, yakın tonlu ve homojen alanları vurgulamak ve minik detayları azaltarak basitleştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Yüksek geçiren filtreler ise ufak detayları keskinleştirmek ve olabildiğince çok detayı ortaya çıkarmak için tercih edilir. Doğrusal filtreler veya kenar vurgulama filtreleri, çizgisel yapıları, alan sınırlarını ve yolları vurgulamak için kullanılır (İnt.Kyn.8)

2.5 Sınıflandırma

Uzaktan algılamada sınıflandırma, temelde her pikseli ait olduğu kategoriye ayıran bir işlemdir. Bu işlem, cisimlerin farklı spektral yansıtım değerlerine dayanarak gerçekleştirilir. Her pikselin spektral bantlara göre farklılık gösteren sayısal değerler kümesi, ayırt etme ve tanıma işleminde kullanılır. Sınıflandırmanın temel amacı, yeryüzünde aynı spektral özellikleri taşıyan nesneleri gruplandırmaktır. Bu işlem için çok spektrumlu veri kullanılır ve her piksele ait spektral özellik verisi, sınıflandırma için sayısal değerleri oluşturur. Her obje, spektral yansıtım ve yutulmaya bağlı olarak farklı sayılarla ifade edilir. Sınıflandırma, tematik bilgi çıkarmak için kullanılan en önemli yöntemdir. Sınıflandırma sonucu elde edilen görüntü tematik harita olarak adlandırılır.

Elde edilen tematik harita, bir harita projeksiyonuna kayıt edildiğinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılabilir.

Uzaktan algılamada sınıflandırma işlemi, belirli adımları takip ederek gerçekleştirilir. Bu adımlar şunlardır:

1. Sınıfların Belirlenmesi ve Kontrol Alanları: Sınıflandırma işlemi için, öncelikle yeryüzü özelliklerini temsil edecek sınıflar belirlenir. Kontrol alanları, her sınıf için referans veri kaynağı olarak seçilir. Arazi çalışmaları, çalışma bölgesi hakkında bilgi toplamak için yapılır. Mevcut veriler ve haritalar da sınıflandırmada kullanılır.
2. Görüntü ve Bant Seçimi: Çalışma amacına uygun görüntüler ve spektral bantlar seçilir.
3. Eğitim ve Test Verileri: Kontrol alanlarından yararlanarak eğitim ve test verileri oluşturulur. Eğitim verileri, algoritmaya sınıfları öğretmek için kullanılır. Test verileri ise sınıflandırmanın doğruluğunu değerlendirmek için kullanılır.
4. Sınıflandırma Algoritması: Çalışma amacına uygun bir sınıflandırma algoritması seçilir ve uygulanır. Farklı algoritmalar farklı çalışma prensiplerine sahiptir.
5. Doğruluk Analizi ve Yorumlama: Sınıflandırılmış görüntü için doğruluk analizi yapılır. Elde edilen tematik haritalar yorumlanarak anlamlı bilgiler çıkarılır.

Sınıflandırma işleminde genel olarak iki yaklaşım kullanılır:

- Kontrollü sınıflandırma
- Kontrolsüz sınıflandırma

2.5.1 Kontrollü Sınıflandırma

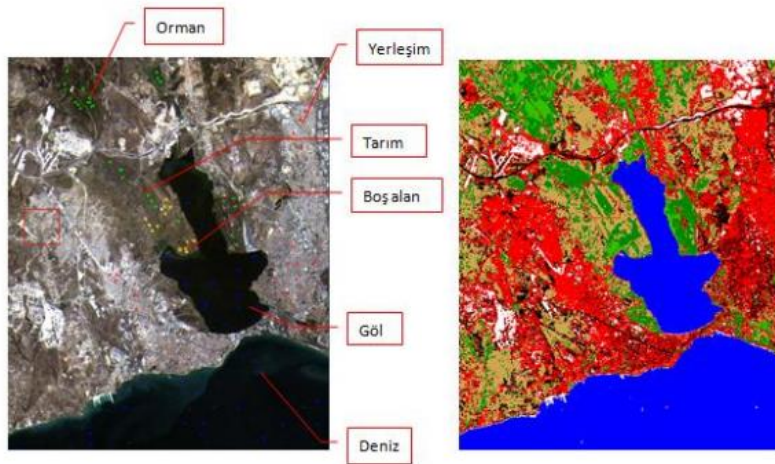
Kontrollü sınıflandırma, görüntüdeki nesnelerin sınıflandırılması için arazi çalışmaları, hava fotoğrafları ve mevcut haritalardan elde edilen bilgilere dayanan bir yöntemdir. Bu yöntemde, sınıflandırma öncesinde görüntüdeki sınıf sayısı ve hangi sınıfların olması

gerektiği belirlenir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Kontrollü sınıflandırmada kullanılan yardımcı veriler.

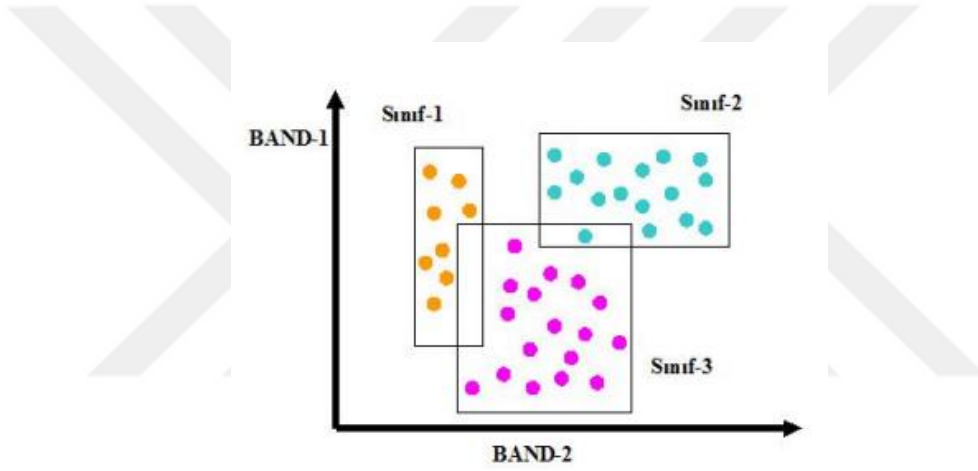
Kontrollü sınıflandırmanın ilk adımında, uygulayıcı, her arazi örtüsü sınıfı için temsili örnekler içeren kontrol bölgelerini seçer. Bu bölgelerin doğru seçilmesi, sınıflandırma doğruluğu için çok önemlidir. Bölgeyi iyi bilen ve yeterli yardımcı veriye sahip bir uygulayıcı, doğru kontrol bölgeleri seçebilir. İkinci adımda ise sınıflandırma işlemi gerçekleşir. Görüntüdeki her piksel, kontrol bölgelerinde bulunan sınıflara göre sınıflandırılır. Pikseller, en çok benzer olduğu arazi örtüsü sınıfına atanır. Kontrol bölgelerine uymayan pikseller "bilinmeyen" olarak etiketlenir ve ek bilgiler kullanılarak sınıflandırılır. Sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra, arazi örtüsü sınıflarını gösteren bir görüntü oluşturulur. Bu sonuçlar tematik haritalar, istatistiksel tablolar veya Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile kullanılabilir. (Şekil 2.14)



Şekil 2.14 Kontrollü sınıflandırma (İstanbul, Avcılar-LANDSAT-TM).

Kontrollü sınıflandırmada üç temel algoritma kullanılır. Paralelkenar yöntemi, En Kısa Uzaklık yöntemi ve Maksimum Olabilirlik yöntemidir.

- **Paralelkenar yöntemi:** Özellik uzayında her bir sınıfın minimum ve maksimum değerleri belirlenerek dikdörtgen veya paralelkenarlar oluşturulur. Sınıflandırma için, piksel içinde bulunduğu şeklin sınıfına atanır (Şekil 2.15). Parametrik olmayan bu yöntem, hızlı hesaplama ve basit matematiksel ifade sunar. Fakat sınıflandırılmayan piksel sayısı fazladır. Çakışan sınıflar sınıflandırmayı zorlaştırır. Bu durumda, aday pikseller rastgele bir çakışan sınıfa atanır ve problem çözülür.



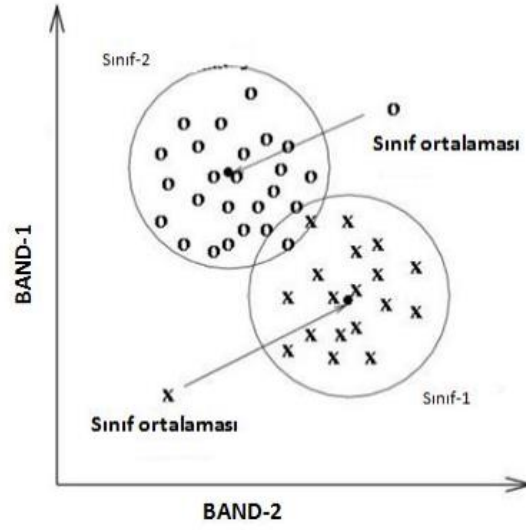
Şekil 2.15 Paralelkenar yöntemi.

- **En Kısa Uzaklık yöntemi:** Veri sayısının az olduğu durumlarda ideal olan bu yöntemde, önce her bir sınıf için ortalama değerler hesaplanır. Ardından, bilinmeyen her pikselin bütün sınıf merkezlerine olan uzaklıkları bulunur. En yakın sınıfa göre pikseller sınıflandırılır.

Uzaklık ölçütlerinden en yaygın kullanılan Öklid uzaklığıdır.

p boyutlu özellik uzayı için A ve B noktaları arasındaki Öklid uzaklığı Eşitlik 2.2’de gösterilmiştir.

$$D_{AB} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (A_i - B_i)^2} \quad (2.2)$$



Şekil 2.16 En Kısa Uzaklık yöntemi.

- **Maksimum Olabilirlik Yöntemi:** Kontrollü sınıflandırmada en yaygın kullanılan algoritma olan bu yöntemde, ortalama, varyans ve kovaryans gibi istatistiksel değerler dikkate alınır. Her bir kontrol alanı sınıfı için olasılık fonksiyonları hesaplanır ve pikseller en yüksek olasılıklı gruba atanır. Normal dağılım varsayımı ile sınıfların ilk olasılıkları eşit kabul edilir. Yöntem, pikselleri parlaklık ve varyans-kovaryans matrisine göre sınıflandırır. Böylece özellik uzayındaki dağılımlar da dikkate alınmış olur. Maksimum olabilirlik yönteminde kullanılan formül aşağıdaki şekildedir:

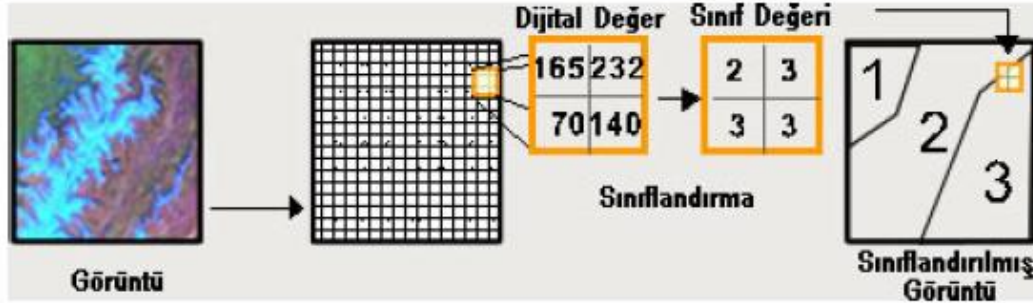
$$D = \ln(a_c) - [0.5x\ln(|Kov_c|)] - [0.5x(X - M_c)^T x(Kov_c^{-1})x(X - M_c)] \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte; D, uzaklık ağırlıklı olasılık değerini; c, örnek bir sınıfı; X, aday pikselin ölçüm vektörünü; M_c , c örnek sınıfının ortalama vektörünü; a_c , aday pikselin c sınıfına ait olma yüzdesini, Kov_c , c sınıfındaki piksellerin varyans-kovaryans matrisini göstermektedir (Kayman 2015).

2.5.2 Kontrolsüz Sınıflandırma

Kontrolsüz sınıflandırma tekniği, görüntüdeki belirsiz elemanları analiz eden ve bu elemanları farklı sınıflar altında gruplayarak görüntüdeki doğal gruplaşmalara dayanan

algoritmaları içerir. Kontrol bölgeleri yerine, görüntüdeki belirsiz elemanlar dikkate alınır ve bunlar görüntüdeki DN değerlerine dayanarak çeşitli sınıflar altında birleştirilir. Şekil 2.17 'de kontrolsüz sınıflandırma sürecinin adımları gösterilmiştir.



Şekil 2.17 Kontrolsüz sınıflandırmanın akış şeması.

Doğal spektral gruplaşmaları belirlemede kullanılan kümeleme algoritmaları, görüntü verisindeki mevcut olan doğal gruplaşmaları tespit etmek için kullanılır. Kümeleme yöntemi tamamen otomatiktir ve önceden herhangi bir bilgi gerektirmez. Bu yöntemde, noktalar arasındaki uzaklığın belirlenmesi için genellikle Öklit uzaklığı, Mahalonobis uzaklığı gibi farklı uzaklık ölçütleri kullanılır. Kümeleme kriteri olarak çoğunlukla, küme içindeki noktalar arasındaki uzaklığın minimum, küme merkezleri arasındaki uzaklığın ise maksimum olması temel alınır.

Kontrolsüz sınıflandırma sonucunda elde edilen kümeler, spektral kümelerdir. Bu kümeler, görüntü DN değerlerindeki doğal gruplaşmalara dayanır ve bu spektral kümelerin önceden bilinmeyen nitelikleri vardır. Oluşturulan kümelerin doğal özellikleri ancak daha sonra, o bölgeye ait harita veya yerel bilgilerle karşılaştırılarak tespit edilir.

2.5.3 Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi, sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan bir işlemdir. Bu analiz, genellikle yer doğruluklu verilere dayanarak gerçekleştirilir çünkü her piksel için ayrı ayrı karşılaştırma yapmak pratik değildir. Bu nedenle, grup referans pikseller seçilir.

Doğruluk analizi sonrasında hata matrisi oluşturulur ve bu matris, kontrol verisi ile

sınıflandırılmış görüntü arasındaki karşılaştırmayı sağlar. Hata matrisi, doğruluk sonuçlarını anlaşılır bir şekilde gösterir; referans verileri matrisin sütunlarında yer alırken, sınıflandırma verileri satırlarında listelenir. Matrisin ana köşegeninde doğru sınıflandırılmış örnekler bulunurken, diğer elemanlar hataları gösterir.

Doğruluk analizi için iki yaygın kriter vardır: üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğu. Üretici doğruluğu, doğru sınıflandırılmış örneklerin sütun sayısına bölünmesiyle hesaplanırken, kullanıcı doğruluğu doğru sınıflandırılmış örneklerin satır sayısına bölünmesiyle hesaplanır.

Kappa analizi ise doğruluk analizinde sıkça kullanılan bir başka yöntemdir; bu analiz, hata matrisindeki genel doğruluk ile olasılıksal doğruluk arasındaki farka dayanır ve sınıflar arası doğrulukları da içerir, bu yüzden genel doğruluk ölçütünden daha kapsamlı bir ölçüdür.

Kappa formülü, genel sınıflandırma için kullanılan bir ölçüdür ve aşağıda verilmiştir.

$$Kappa = \frac{N \sum x_{ij} - \sum (x_i + x_{+j}) / N^2 - \sum (x_i + x_{+j})}{N^2 - \sum (x_i + x_{+j})} \quad (2.4)$$

N= Tüm kategorilerdeki örnek sınıf toplamı

$\sum x_{ij}$ =Doğru sınıflandırılmış örnek sayısı

$\sum (x_i + x_{+j})$ =Her kategorideki hata matrisinin satır ve sütun toplamlarındaki ürünlerin toplamı

Kappa değeri, her sınıf için aşağıda belirtilen şekilde hesaplanır.

$$Kappa = \frac{N x_{ij} - \sum (x_i + x_{+j}) / N x_i - \sum (x_i + x_{+j})}{N x_i - \sum (x_i + x_{+j})} \quad (2.5)$$

N= Tüm kategorilerdek örnek sınıf toplamı

x_{ij} =Her kategorideki doğru sınıflandırılmış örnek sayısı

x_i =Her kategoride için hata matrisindeki satır toplamı

x_{+j} =Her kategoride için hata matrisindeki sütun toplamı (Özküralpli 2006).

3. MATERYAL ve METOT

Bu bölüm, çalışmanın temelini oluşturan malzeme ve kullanılan metodolojiyi detaylı bir şekilde açıklamayı amaçlamaktadır. Göktürk-1 uydu görüntüleri üzerinde pus giderme uygulamasının gerçekleştirildiği bu çalışma, atmosferik etkilerin azaltılması ve daha net görüntüler elde edilmesi amacıyla taşımaktadır. Bu hedefe ulaşmak için kullanılan veri kaynakları, yazılım ve araçlar, pus giderme işlemi, ortofoto üretimi, görüntü zenginleştirme stratejileri, doğrulama ve değerlendirme aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1 Çalışma Alanı ve Veri Seti

Çalışmada, 21 Haziran 2021 tarihli 1 adet Göktürk-1 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Bu görüntünün köşe koordinatları $39^{\circ} 44' 13.64''$ N $32^{\circ} 40' 0.73''$ E, $39^{\circ} 55' 23.80''$ N $32^{\circ} 36' 21.23''$ E, $4^{\circ} 0' 46.36''$ N $32^{\circ} 50' 32.23''$ E ve $39^{\circ} 49' 34.66''$ N $32^{\circ} 54' 6.90''$ E olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Çalışma alanı.

Şekil 3.1’de, söz konusu Göktürk-1 uydu görüntüsüne ait çalışma alanı gösterilmektedir.

Görüntü, Ankara ilini kapsamakta olup, Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) ücretsiz olarak temin edilmiştir. Seçilen görüntü, yüksek çözünürlük ve çok bantlı özelliklere sahip olması nedeniyle atmosferik koşullardan kaynaklanan pus etkilerini analiz etmek için idealdir.

Ortofoto üretiminde kullanılmak üzere, Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından çekilen hava fotoğraflarından üretilen referans ortofotolar ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Harita Genel Müdürlüğünden ücretsiz olarak temin edilmiştir.

Referans ortofotolar, yüksek doğruluk ve geometrik tutarlılığa sahip olan, gerçek araziye temsil eden görüntülerdir. SYM ise, yeryüzünün yükseklik bilgilerini içeren bir veri kümesidir. Bu veriler, ortofoto üretim sürecinde önemli bir rol oynamaktadır.

3.2 Pus Giderme Yöntemi

Pus giderme işlemi, PCI Geomatica yazılımının ATCOR (Atmospheric Correction) modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu modül, atmosferin görüntü üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak için çeşitli algoritmalar ve araçlar sunmaktadır.

ATCOR, dünya yüzeyinin fiziksel parametrelerini tanımlamak için uydu görüntü verileri üzerindeki atmosferik (yayma kuvveti, sıcaklık gibi) ve yansıma etkilerini azaltmak için kullanılan bir yöntemdir. Doğru ve güvenilir bir şekilde kullanıldığında, görüntülerin kalitesini ve doğruluğunu önemli ölçüde artırabilmektedir.

ATCOR modülü, atmosferik etkileri düzeltebilmek için uzaktan algılama prensiplerini temel almaktadır. Gelişmiş atmosferik düzeltme parametreleri ve modelleriyle, uydu görüntülerindeki atmosferik etkilerin başarıyla giderilmesini sağlamaktadır.

Bu yöntem, multispektral ve pankromatik görüntülere uygulanabilir. Bu yöntem aşağıdaki analizler için önemlidir:

- Atmosferin ve güneş ışığının etkisini ortadan kaldırmak veya azaltmak
- Çok zamanlı uydu görüntülerinde farklı çekim zamanlarıyla karşılaştırabilmek.

- Değişiklik algılama ve sınıflandırma algoritmalarının sonuçlarını iyileştirmek
- Benzer spektral bantlara sahip çok sensörlü görüntüleri karşılaştırabilmek
- Uydu görüntülerinden alınan zemin yansıma verilerini sahadaki ölçümlerden alınan zemin yansımasıyla karşılaştırmak.

ATCOR modülünün kullanım alanları:

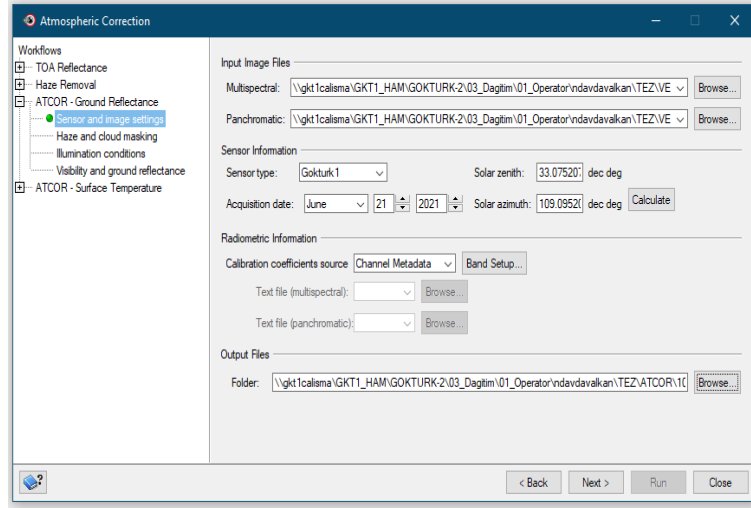
- Uzaktan algılama
- Uydu görüntü işleme
- Hava fotoğrafçılığı
- Dijital fotogrametri
- Çevresel izleme
- Arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırması (İnt.Kyn.10).

Pus giderme işleminde aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

1. Görüntü ATCOR modülüne yüklenmiştir.
2. Belirlenen parametreler ATCOR modülüne girilmiştir.
3. ATCOR modülü atmosferik düzeltme işlemini gerçekleştirmiştir.
4. Düzeltilmiş görüntü kaydedilmiştir.

Göktürk-1 uydusundan alınmış bir L2A seviyesinde (geometrik olarak düzeltilmiş) görüntü, atmosferik etkilerden arındırılmak üzere PCI Geomatica Focus arayüzünden Atmospheric Correction yazılımına yüklenmiştir (Şekil 3.2).

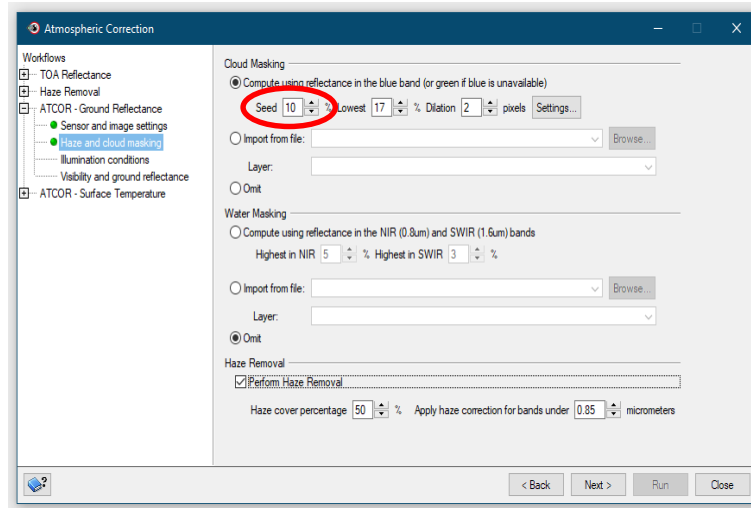
Ardından, atmosferik koşulları düzeltmek için bazı parametreleri ayarlamak gerekmektedir. Bu parametrelerden biri, bulutların en parlak piksellerinin radyansını temsil eden 'seed' değeridir. Seed değerini doğru seçmek, atmosferik düzeltmenin başarısı için çok önemlidir.



Şekil 3.2 Gökürk-1 uydu görüntüsünün PCI Geomatica yazılımına yüklenmesi.

Bu çalışmada, seed değeri için 10, 50 ve 90 olmak üzere üç farklı değer denenmiştir. 10 ve 50 değerlerinde görüntüler hala puslu ve yeterince net değildir. Fakat seed değerini 90'a yükseltildiğinde, daha net bir görüntü elde edilmiştir.

Bulgular kısmında, bu üç farklı seed değeri için elde edilen sonuçları detaylı olarak sunulacaktır. Bu sayede, seed değerinin atmosferik düzeltme üzerindeki etkisini daha iyi anlaşılacaktır.



Şekil 3.3 Atmosferik düzeltme parametreleri.

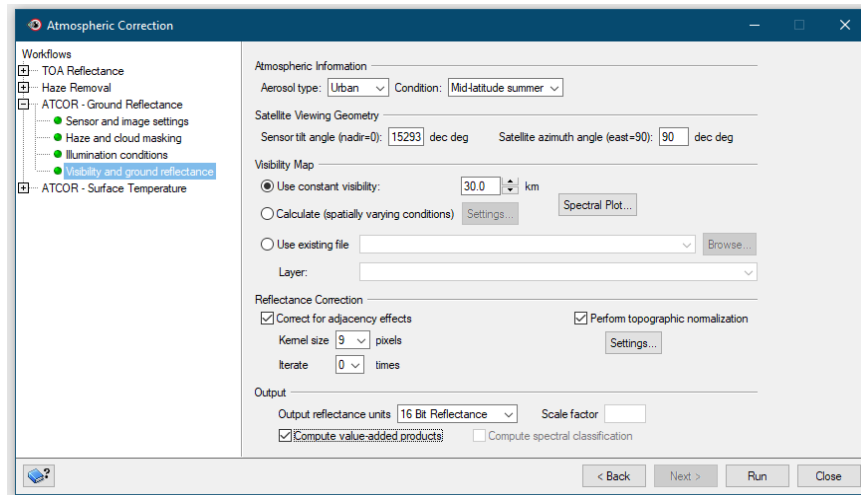
En parlak piksel değeri (seed) girildikten sonra, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) seçilmiştir. SYM, yeryüzünün yükseklik bilgilerini içeren bir veri kümesidir. Pus giderme

işleminde SYM, atmosferin ışığı saçılma şeklini modellemek için kullanılır.

Kullanılan görüntü, 2021 yılı Haziran ayında Ankara şehri üzerinde çekilmiştir. Bu nedenle pus giderme işlemi için ATCOR modelinin Şekil 3.4'teki parametreleri kullanılmıştır.

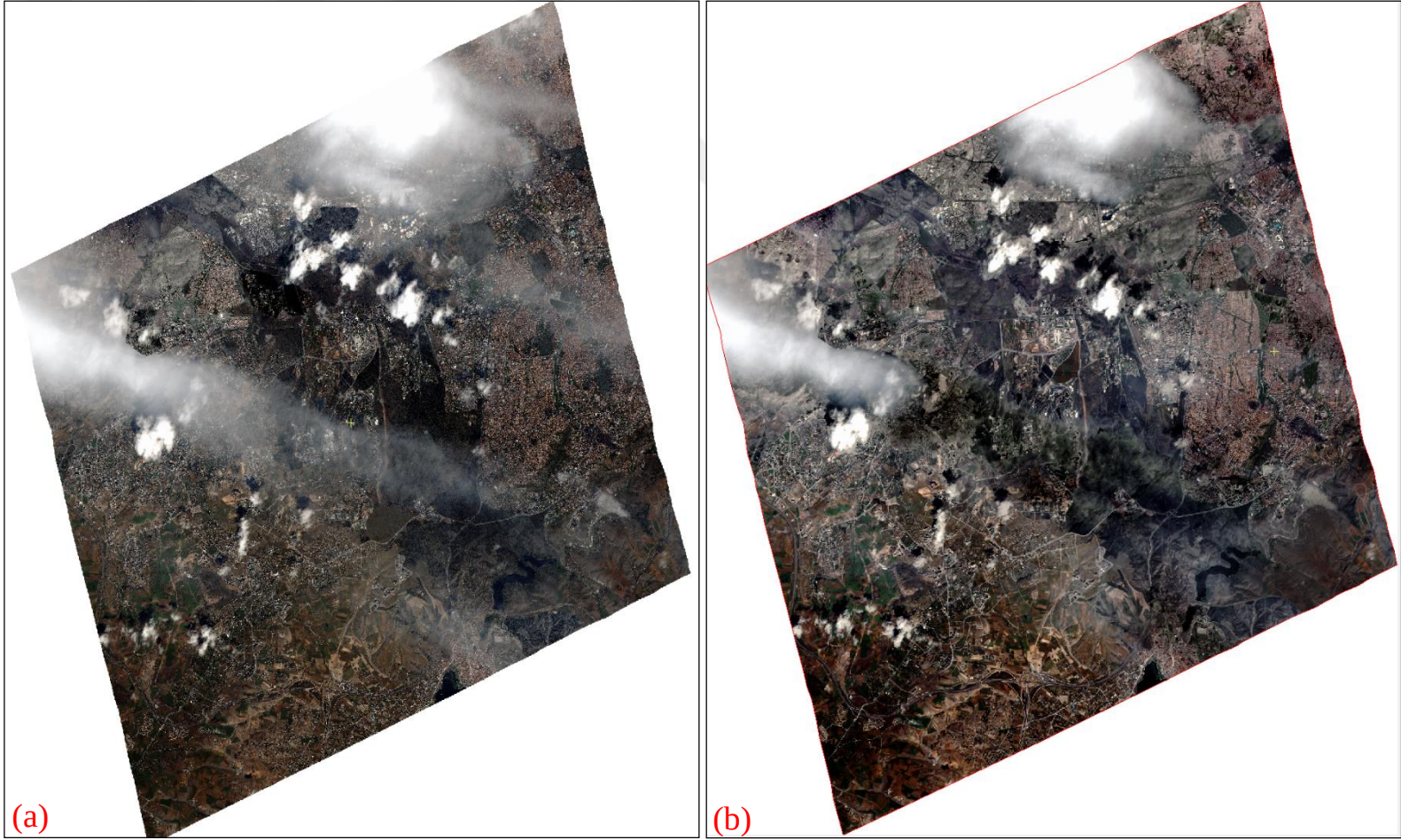
Seçilen parametreler şunlardır:

- En parlak piksel değeri (seed): Bu değer, atmosferin aerosol içeriği hakkında bilgi verir.
- Aerosol tipi: Atmosferdeki aerosol türleri, ışığın saçılma şeklini etkiler.
- Görüntünün yerleşim durumu: Görüntünün deniz üzerinde mi, kara üzerinde mi veya karma bir arazi üzerinde mi olduğu, atmosferik düzeltme işlemini etkiler.
- Görüntünün çekim tarihi: Atmosferin aerosol içeriği mevsime göre değişebilmektedir.
- Görüntünün çekim açısı: Görüntünün çekim açısı, atmosferin görüntü üzerindeki etkisini etkiler.
- Bulunduğu yarım küre: Atmosferin aerosol içeriği, kuzey ve güney yarım kürelerde farklılık gösterebilmektedir (İnt.Kyn.10).



Şekil 3.4 ATCOR parametreleri.

Pus giderme işlemi sonrası elde edilen görüntülerde, pusun etkisinin önemli ölçüde azaldığı ve coğrafi detayların daha net bir şekilde görülebildiği gözlemlenmiştir. Renk bozulmalarının giderilmesi ile görüntülerin görsel kalitesi de artmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 (a) Pus giderme öncesi, (b) Pus giderme sonrası.

İstatistiksel inceleme sonuçlarına göre, pus giderilmiş görüntülerdeki piksellerin parlaklık değerlerinin daha homojen hale geldiği belirlenmiştir. Ayrıca, görüntülerin kontrast ve keskinlik değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış gözlemlenmiştir. Bu bulgular, atmosferik düzeltme işleminin görüntülerin içeriğindeki farklılıkları azaltarak ve görüntü kalitesini artırarak nasıl etkili olduğunu göstermektedir.

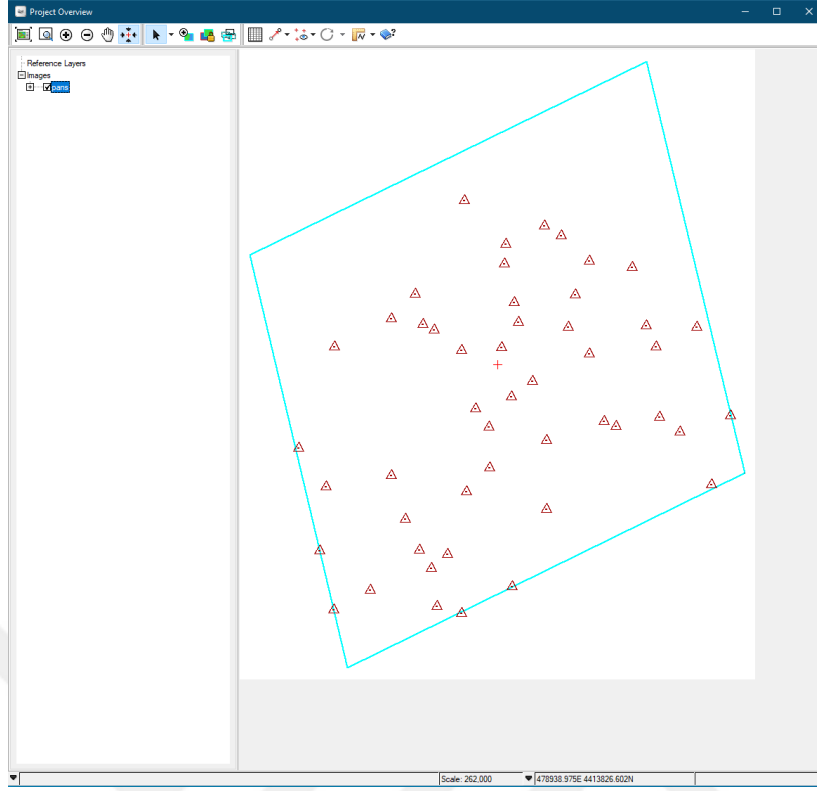
3.3 Ortofoto Üretimi

Pus giderme işleminden sonra, düzeltilmiş uydu görüntüsü kullanılarak PCI Geomatica yazılımının Ortho Engine arayüzü ile pus öncesi ve pus sonrası ortofoto üretilmiştir ve doğruluk analizi yapılmıştır. Ortofoto, gerçek dünyayı temsil eden ve coğrafi olarak doğru bir görüntüdür.

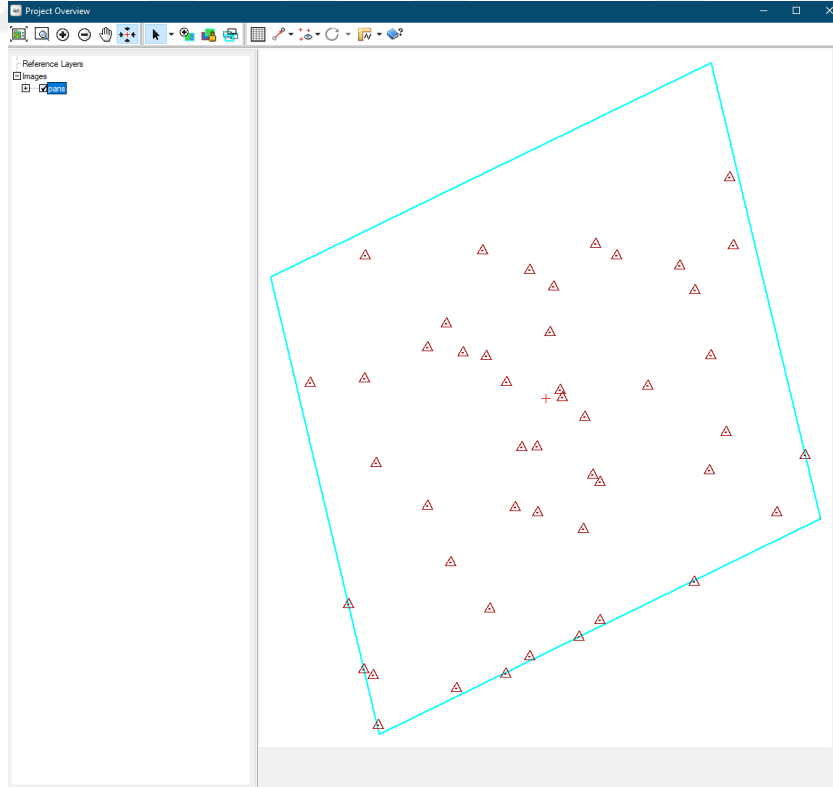
Ortofoto üretimi, uydu görüntülerini coğrafi olarak doğru ve kullanışlı hale getiren bir dizi aşamadan oluşur. İlk olarak, görüntü pus ve atmosferik etkilerden arındırılır. Ardından, görüntü üzerinde ve haritada eşleştirilebilen belirli noktalar olan yer kontrol noktaları (YKN) seçilir. Bu YKN'ler, görüntünün coğrafi düzeltmesinde kullanılır. Üçüncü aşamada, yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılır. SYM, arazinin yükseklik bilgilerini içerir ve görüntünün eğriliğini düzeltmeye yardımcı olur. Son aşamada, Ortho Engine yazılımı, YKN ve SYM'yi kullanarak görüntüyü coğrafi olarak düzeltir ve ortofotoyu üretir. Ortofoto, gerçek arazinin bir görüntüsüdür ve haritalama, mühendislik ve diğer birçok uygulamada kullanılabilir.

Ortofoto üretimi, uydu görüntülerinden coğrafi olarak doğru bilgi elde etmek için önemli bir adımdır. Ortofotolar, haritalama, arazi kullanımı planlama, afet yönetimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (İnt.Kyn.10).

Şekil 3.6'da Göktürk-1 uydu görüntüsünün puslu halinin ortofotosunu üretmek için kullanılan Yer Kontrol Noktalarının (YKN) dağılımı gösterilmektedir. YKN'ler, görüntünün coğrafi doğruluğunu kontrol etmek için kullanılan referans noktalardır. Pus, görüntünün netliğini ve renk doğruluğunu azaltarak YKN'lerin belirlenmesini zorlaştırabilir. HGM tarafından çekilen güncel hava fotoğraflarından üretilen referans ortofotolar kullanılarak 49 adet YKN ile Göktürk-1 uydu görüntüsünün ortofotosu üretilmiştir. Üretilen ortofotonun doğruluğu 2.50 metredir.



Şekil 3.6 Puslu Göktürk-1 Uydu Görüntüsü - YKN Dağılımı.



Şekil 3.7 Pus sonrası Göktürk-1 Uydu Görüntüsü - YKN Dağılımı.

Şekil 3.7'de, PCI Geomatica ATCOR ile pus giderildikten sonra Göktürk-1 uydu görüntüsünün ortofotosunu üretmek için kullanılan YKN'lerin dağılımı gösterilmektedir. Pus giderme işlemi, görüntünün netliğini ve renk doğruluğunu artırarak YKN'lerin daha kolay belirlenmesini sağlar. HGM tarafından çekilen güncel hava fotoğraflarından üretilen referans ortofotolar kullanılarak 48 adet YKN ile Göktürk-1 uydu görüntüsünün ortofotosu üretilmiştir. Üretilen ortofotonun doğruluğu 2.37 metredir.

Pus giderme işleminin, Göktürk-1 uydu görüntüsünün doğruluğunu 2.50 m'den 2.37 m'ye yükselterek önemli ölçüde iyileştirdiği görülmektedir. Bu da pus gidermenin, uydu görüntülerinin coğrafi doğruluğunu artırmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

3.4 Görüntü Zenginleştirme

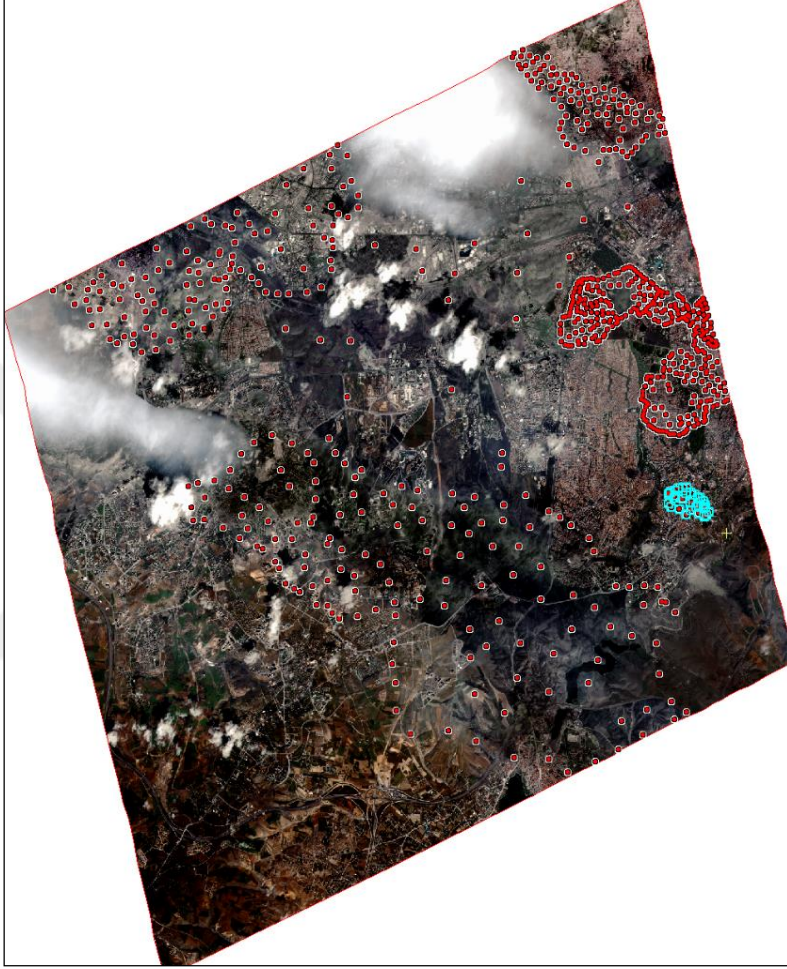
Pus giderildikten sonra, görüntünün görsel çekiciliğini ve bilgi içeriğini artırmak için çeşitli teknikler kullanılmıştır.

Görüntü zenginleştirme için PCI Geomatica Mosaic Tool kullanılarak aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

- Increase Dodging Brightness: Görüntünün belirli kısımlarının aydınlatılmasıyla kontrast ve görsel derinlik artırılmıştır.
- Decrease Dodging Brightness: Görüntünün belirli kısımlarının karartılmasıyla kontrast ve görsel derinlik artırılmıştır.
- Decrease Dodging Contrast: Görüntünün genel kontrastının azaltılmasıyla daha yumuşak ve pastel bir görünüm oluşturulmuştur.
- Increase Dodging Contrast: Görüntünün genel kontrastının artırılmasıyla daha keskin ve net bir görünüm oluşturulmuştur.

Şekil 3.8'de, pus giderme işleminden sonra ortaya çıkan beyaz izleri ortadan kaldırmak için, PCI Geomatica'nın Add Floating Point aracıyla belirlenen bölgelere noktalar yerleştirilmiştir. Bu işlem, görüntünün belirli kısımlarının aydınlatılması ve karartılması yoluyla kontrast ve görsel derinliği artırarak beyaz izlerin ortadan kalkmasını sağlamıştır. Noktaların yerleştirilmesi, görüntüdeki kontrastı ve görsel derinliği optimize etmeye

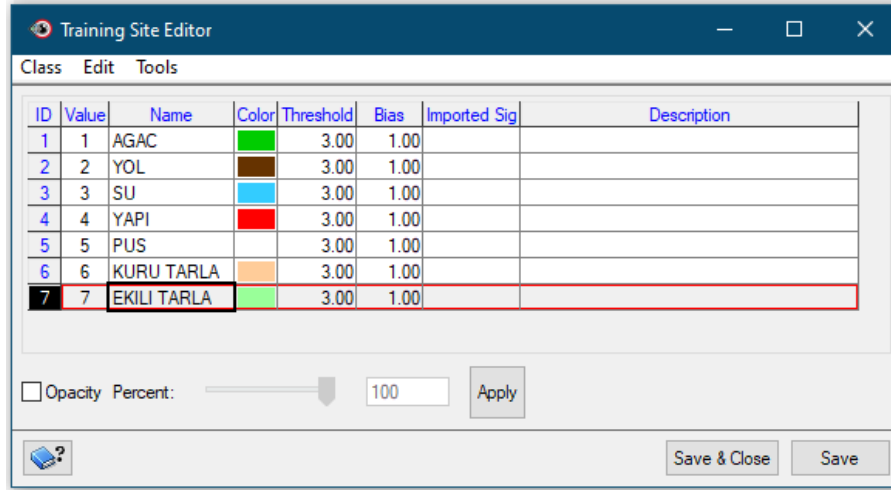
yönelik dikkatli bir analiz sonucunda gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, pus giderme işleminin istenmeyen etkisi giderilmiş ve renkler güzelleştirilerek, daha net, daha ayrıntılı ve daha yüksek kaliteli bir görüntü elde edilmiştir. Görüntünün görsel çekiciliği ve bilgi içeriği artırılmıştır.



Şekil 3.8 Görüntü zenginleştirme çalışmaları.

3.5 Kontrollü Sınıflandırma

Göktürk-1 uydu görüntülerinde pusun sınıflandırma başarısına etkisini araştırmak için için, PCI Geomatica'nın Kontrollü Sınıflandırma (Supervised Classification) aracı ve Maximum Likelihood yöntemi kullanılmıştır. Ağaç, yol su, yapı, pus, kuru tarla ve ekili tarla gibi sınıflar için örnek alanlar seçilerek pus öncesi ve sonrası görüntüler ayrı ayrı sınıflandırılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Kontrollü sınıflandırma için kontrol sınıflarının oluşturulması.

Elde edilen sonuçlar, pusun sınıflandırma başarısını olumsuz etkilediğini göstermiştir. Pus, piksel renk değerlerini bozarak sınıflandırmayı zorlaştırmaktadır. Puslu görüntüde genel doğruluk %88 iken, kappa katsayısı 0.88 olarak hesaplanmıştır. (Şekil 3.10)

Classification Algorithm:		Maximum Likelihood							
Classification Input Channels:		3,4,5							
Classification Training Channel:		9							
Classification Result Channel:		10							
Name	Code	Pixels	%Image	Thres	Bias				
AGAC	1	395152259	-32.84	3.00	1.00				
YOL	2	306887216	-25.50	3.00	1.00				
SU	3	27171578	-2.26	3.00	1.00				
YAPI	4	1451942978	-120.66	3.00	1.00				
PUS	5	193104656	-16.05	3.00	1.00				
KURU TARLA	6	561626395	-46.67	3.00	1.00				
EKILI TARLA	7	155709583	-12.94	3.00	1.00				
NULL	0	0	-0.00						
Total		-1203372631	100.00						
CONFUSION MATRIX									
Areas		Percent Pixels Classified by Code							
Name	Code	Pixels	1	2	3	4	5	6	7
AGAC	1	86956	51.21	7.24	0.10	0.75	0.00	1.44	39.27
YOL	2	82736	5.53	16.27	0.26	34.65	0.19	38.21	4.89
SU	3	160684	0.19	0.00	99.65	0.10	0.00	0.07	0.00
YAPI	4	293003	0.12	14.37	0.30	35.57	10.31	39.32	0.00
PUS	5	3924352	0.00	0.01	0.00	5.70	94.01	0.28	0.00
KURU TARLA	6	60054	0.32	3.59	2.10	5.79	0.00	88.20	0.00
EKILI TARLA	7	150545	12.47	9.88	0.00	0.00	0.00	0.00	77.65
Average accuracy = 66.08 %									
Overall accuracy = 87.88 %									
KAPPA COEFFICIENT = 0.87879			Standard Deviation = 0.00000						

Şekil 3.10 Puslu görüntünün sınıflandırma başarısı.

Pusu giderilmiş görüntüde ise genel doğruluk %91'e yükselirken, kappa katsayısı 0.91'e ulaşmıştır (Şekil 3.11)

Classification Algorithm:		Maximum Likelihood			
Classification Input Channels:		3,4,5			
Classification Training Channel:		9			
Classification Result Channel:		10			
Name	Code	Pixels	%Image	Thres	Bias
AGAC	1	266494139	26.06	3.00	1.00
YOL	2	102456732	10.02	3.00	1.00
SU	3	19548063	1.91	3.00	1.00
YAPI	4	106354458	10.40	3.00	1.00
PUS	5	72391688	7.08	3.00	1.00
KURU TARLA	6	347804938	34.02	3.00	1.00
EKILI TARLA	7	107399582	10.50	3.00	1.00
NULL	0	0	0.00		
Total		1022449600	100.00		

Areas		Percent Pixels Classified by Code							
Name	Code	Pixels	1	2	3	4	5	6	7
AGAC	1	41498	60.54	0.00	0.02	0.00	0.03	1.97	37.44
YOL	2	18819	0.41	67.36	0.83	16.26	0.63	14.51	0.00
SU	3	66905	0.06	0.02	98.29	0.00	0.00	1.63	0.00
YAPI	4	3179	0.00	31.71	0.00	58.01	1.95	8.34	0.00
PUS	5	1582099	0.00	0.00	0.00	6.03	93.94	0.03	0.00
KURU TARLA	6	48688	1.37	15.22	1.36	12.08	7.51	62.45	0.00
EKILI TARLA	7	134039	17.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	82.29

Average accuracy = 74.70 %	
Overall accuracy = 91.41 %	
KAPPA COEFFICIENT = 0.91398 Standard Deviation = 0.00000	

Şekil 3.11 Pusu giderilmiş görüntünün sınıflandırma başarısı.

Bu çalışmada, pus giderme işleminin sınıflandırma doğruluğunu artırdığı ve Kontrollü Sınıflandırma ile Maximum Likelihood yönteminin hem puslu hem de pussuz görüntülerde yüksek doğruluk sağladığı kanıtlanmıştır.

Sonuç olarak, pusu gidermenin uydu görüntülerinden arazi örtüsü bilgilerini daha yüksek doğrulukla çıkarmak için önemli bir ön işlem olduğunu ortaya koymaktadır.

4. BULGULAR

Çalışmanın temel odak noktası, Göktürk-1 uydu görüntülerindeki atmosferik pus etkilerini azaltmak amacıyla PCI Geomatica yazılımında uygulanan ATCOR yönteminin başarısı değerlendirmektir.

4.1 Pus Giderme Sonuçları

Bu çalışmada, Göktürk-1 uydu görüntüsünden pus giderme işlemi için ATCOR algoritması kullanılmıştır. Pus giderme işleminin başarısını artırmak için 3 farklı parametre değeri denenmiştir. Parametre değeri 10 ve 50 olarak seçildiğinde pus giderme işlemi başarısız olmuştur. Bu değerler, atmosferik etkilerin yeterince giderilmesi için yeterli parlaklık sağlayamamıştır. Ancak, parametre değeri 90 olarak ayarlandığında pus giderme işlemi başarılı olmuştur. Bu değer, atmosferik etkilerin belirgin bir şekilde azaltılmasına ve görüntünün daha net hale gelmesine katkıda bulunmuştur.

Sonuç olarak, Şekil 4.1c, Şekil 4.2c ve Şekil 4.3c'de görüldüğü gibi, parametre değeri 90 ile yapılan pus giderme işlemi 3 farklı bölgede de atmosferik etkilerin belirgin bir şekilde azaltılmasına katkı sağlamıştır. Bu sayede, görüntünün görsel çekiciliği ve bilgi içeriği artmıştır.



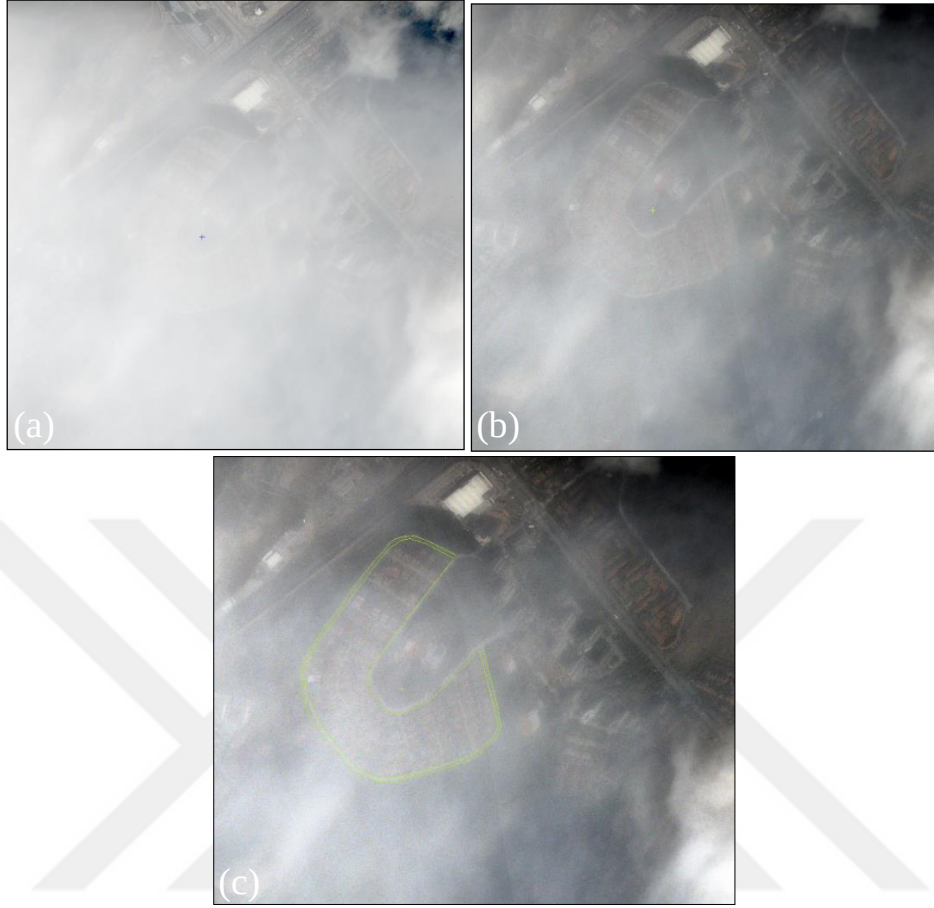
Şekil 4.1 Birinci bölgede farklı parametrelerin karşılaştırması. (a) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 10 seçilmesi, (b) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 50 seçilmesi, (c) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 90 seçilmesi.



Şekil 4.2 İkinci bölgede farklı parametrelerin karşılaştırması. (a) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 10 seçilmesi, (b) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 50 seçilmesi, (c) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 90 seçilmesi.



Şekil 4.3 Üçüncü bölgede farklı parametrelerin karşılaştırması. (a) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 10 seçilmesi, (b) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 50 seçilmesi, (c) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 90 seçilmesi



Şekil 4.4 ATCOR Atmosferik Düzeltmenin Etkisi. (a) puslu görüntü (b) pus giderilmiş görüntü (c) detayları çizilmiş görüntü

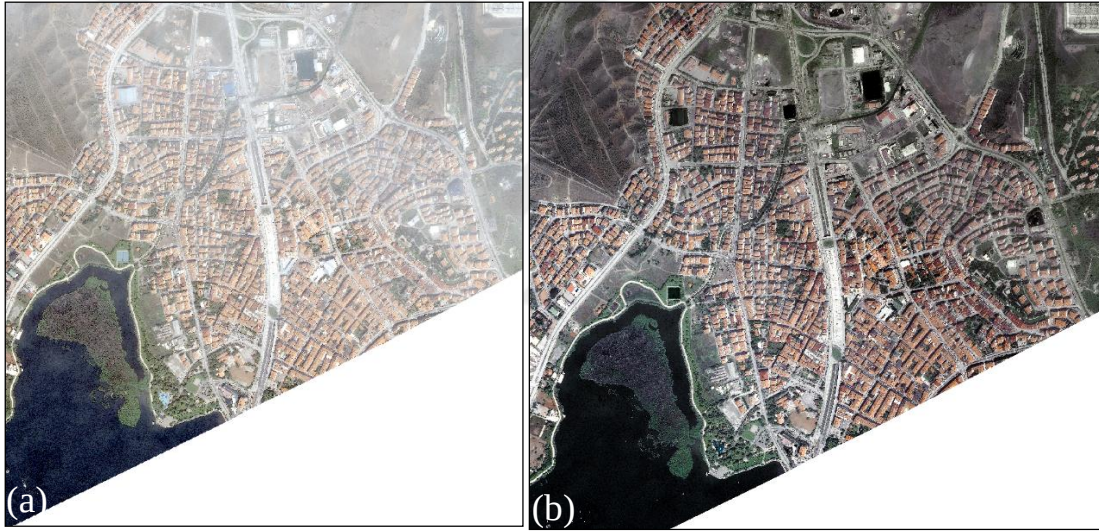
Şekil 4.4 (a)'daki pus, nesneleri bulanıklaştırıyor ve detayların net olarak görünmemesine neden olmaktadır. Pus, atmosferdeki aerosol ve su buharı gibi parçacıklardan oluşur ve güneş ışığının saçılmasına neden olmaktadır. Bu görüntü, pusun görüntüler üzerinde ne kadar büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. ATCOR atmosferik düzeltme modülü kullanılarak pus giderme işleminden sonra elde edilen görüntüde (Şekil 4.4 (b)) detaylar kısmen daha net ve ayrıntılı görülmektedir. Şekil 4.4 (c)'de, ada etrafındaki yolun kısmen daha net ve ayrıntılı bir şekilde görülebildiği ve çizilebildiği gözlemlenmektedir. Görüntü, pusun atmosferdeki partiküllerin güneş ışığını saçması sonucu oluştuğunu ve ATCOR atmosferik düzeltme modülünün bu saçılma etkisini tersine çevirerek pusun giderilmesini sağladığını açıkça göstermektedir. Bu sayede, puslu havalarda bile adanın topografik özelliklerinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi mümkün hale gelmektedir.



Şekil 4.5 Yoğun puslu bir bölgede atmosferik etkilerin kısmen giderilememesi. (a) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 10 seçilmesi, (b) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 50 seçilmesi, (c) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 90 seçilmesi

Şekil 4.5'te gösterilen yoğun puslu bir bölgede, kullanılan pus giderme algoritmasının bazı atmosferik izleri tam anlamıyla gideremediği gözlemlenmiştir. Bu izler renk bozulması şeklinde görülmüştür. Bu tür izlerin kalmasının nedenleri arasında pus yoğunluğu, görüntü kalitesi ve algoritma seçimi yer alabilir. Atmosferik izler, görüntünün görsel kalitesini düşürerek sınıflandırma ve diğer işlemleri zorlaştırabilmektedir. Bu sorunu çözmek için farklı algoritmalar denenebilir, görüntü kalitesi artırılabilir ve atmosferik izlerin etkilerini en aza indiren teknikler kullanılabilir.

Pus giderme işlemi sonrası elde edilen görüntülerde, pusun etkisinin önemli ölçüde azaldığı ve coğrafi detayların daha net bir şekilde görülebildiği gözlemlenmiştir. Renk bozulmalarının giderilmesi ile görüntülerin görsel kalitesi de artmıştır.



Şekil 4.6 (a) Pus giderme öncesi, (b) Pus giderme sonrası.

Sonuç olarak, ATCOR modelinin Göktürk-1 uydu görüntülerinde pus giderme için etkili bir araç olduğu görülmüştür. Görüntü zenginleştirme teknikleri ile pusun neden olduğu renk bozulmaları da giderilebilmektedir. Bu sayede, puslu havalarda bile Göktürk-1 uydu görüntülerinden faydalanmak ve daha doğru analizler yapmak mümkün hale gelmektedir.

4.2 Ortofoto Kalite Değerlendirmesi

Puslu ve pusu giderilmiş Göktürk-1 uydu görüntülerinden üretilen ortofotoların doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır. Puslu görüntüden üretilen ortofoto için 2.50 m, pusu

giderilmiş görüntüden üretilen ortofoto için ise 2.37 m doğruluk değeri elde edilmiştir. Pusun YKN belirlemeyi zorlaştırdığı ve ortofoto doğruluğunu düşürdüğü gözlemlenmiştir. Pus gidermenin YKN belirlemeyi kolaylaştırdığı ve ortofoto doğruluğunu 2.50 m'den 2.37 m'ye yükselttiği görülmüştür. (Çizelge 4.1)

Çizelge 4.1 Doğruluk analizi.

Puslu Görüntü		Pusu Giderilmiş Görüntü	
YKN Sayısı	49	YKN Sayısı	48
KOH(m)	2.5	KOH(m)	2.37

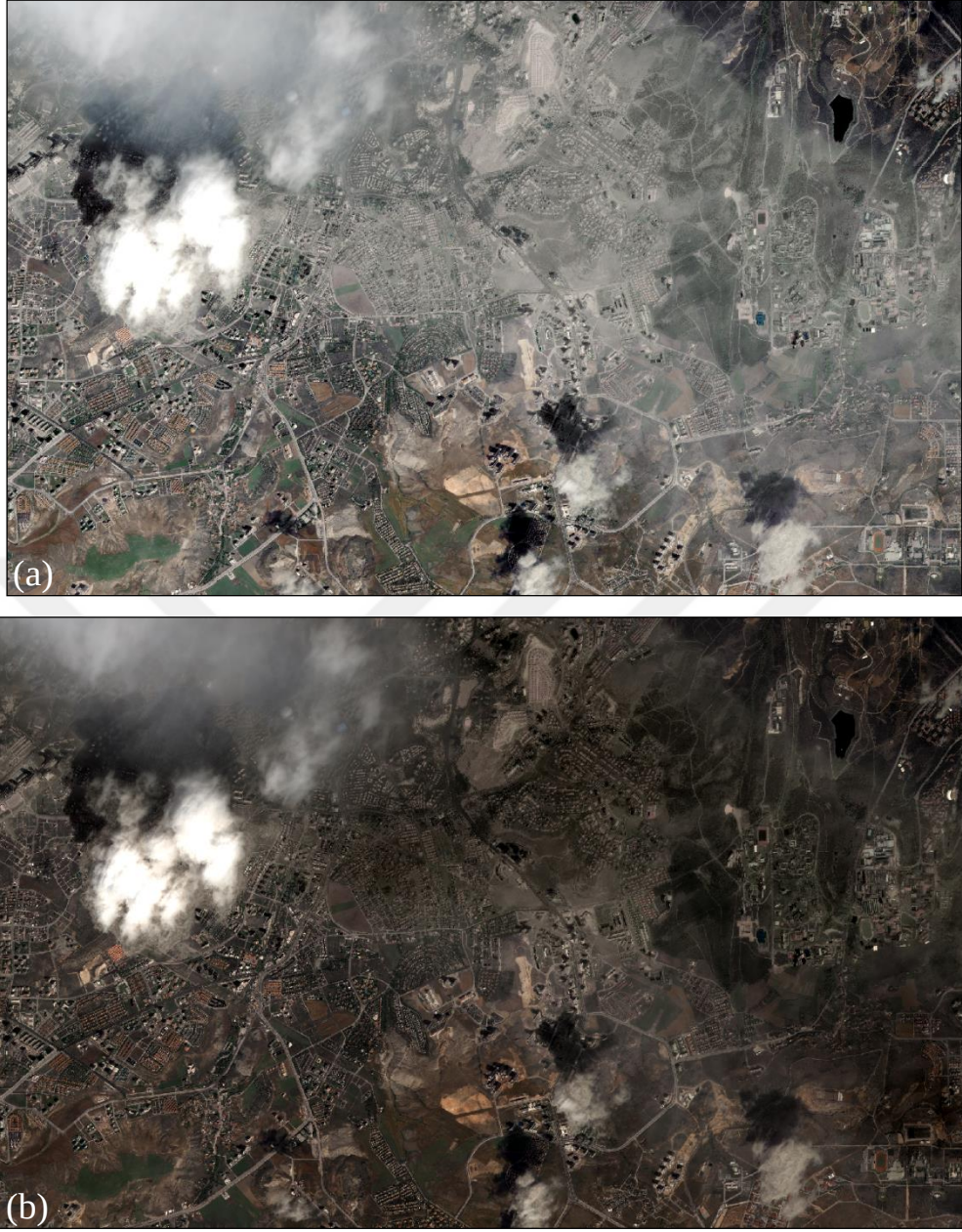
Sonuç olarak, kullanılan görüntü için pus giderme işleminin Göktürk-1 uydu görüntüsünün ortofoto doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirdiği ve coğrafi bilginin daha doğru bir şekilde elde edilmesine katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır.

4.3 Görüntü Zenginleştirme Etkileri

Pus giderme işleminden sonra, PCI Geomatica Mosaic Tool kullanılarak uygulanan görüntü zenginleştirme teknikleri, Göktürk-1 uydu görüntülerinin görsel çekiciliğini ve bilgi içeriğini önemli ölçüde artırmıştır. Parlaklık ve kontrast ayarları, görüntünün gölgeli ve aydınlık alanlarını dengeleyerek, detayları ortaya çıkarmış ve arazi örtüsü sınıflarının ayırt edilmesini kolaylaştırmıştır. Görüntü zenginleştirme, görüntünün estetik açıdan daha güzel görünmesini sağlayarak, bilgi içeriğini de zenginleştirmiştir.

Şekil 4.7 (a) 'daki görüntüde, pusun etkisiyle renklerin soluk olduğu, arazi örtüsü sınıflarının ayırt edilmesinin zor olduğu ve beyaz izlerin görüldüğü gözlemlenmektedir. Bu görüntüde pus giderme işlemi uygulanmış, ancak beyaz izler hala mevcuttur. Şekil 4.7 (b)'deki görüntüde ise görüntü zenginleştirme teknikleri uygulanarak renklerin düzeltildiği, kontrastın ve keskinliğin artırıldığı ve beyaz izlerin ortadan kalktığı gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak görüntü zenginleştirme teknikleri, pus giderme işleminin ardından ortaya çıkan beyaz izleri ortadan kaldırmak ve görüntünün görsel çekiciliğini ve bilgi içeriğini önemli ölçüde artırmak için kullanılmıştır.



Şekil 4.7 Görüntü zenginleştirme öncesi (a) ve sonrası (b).

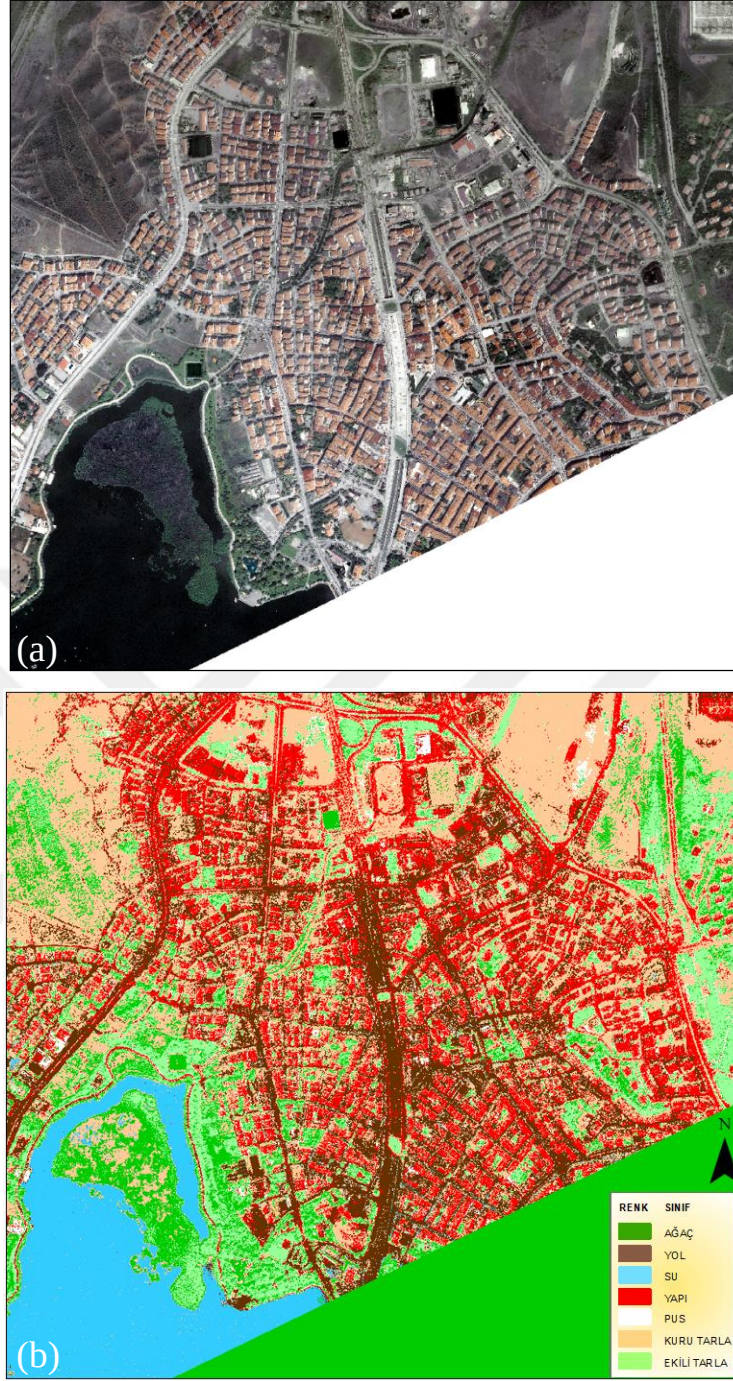
4.4 Sınıflandırma Doğruluk Değerlendirmesi

Göktürk-1 uydu görüntülerinde pusun sınıflandırma başarısını %88'den %91'e yükselterek olumsuz etkisini ortadan kaldırdığı ve Maximum Likelihood yönteminin her iki görüntüde de yüksek doğruluk sağlayabileceği kanıtlanmıştır. Pus, piksel renklerini bozarak sınıflandırmayı zorlaştırmaktadır. Pus giderme, bu sorunu çözerek sınıflandırma doğruluğunu önemli ölçüde artırmıştır.



Şekil 4.8 Puslu Gökçürk-1 görüntüsü (a) ve sınıflandırma (b).

Şekil 4.8 'de puslu bir görüntüde yapıların yapı sınıfına değil de kuru tarla sınıfına atandığı görülmektedir. Bu durumun pusun renkleri bozması ve bulanıklaştırması, algoritmanın binaları ayırt etmesini zorlaştırmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.9 Pusu giderilmiş Göktürk-1 görüntüsü (a) ve sınıflandırma (b).

Pusu giderilmiş görüntüde (Şekil 4.9) yapıların yapı sınıfına atandığı görülmektedir. Pus giderme işleminin renkleri netleştirmesi ve binaların dokusunu ve şeklini ortaya çıkarması, sınıflandırma algoritmasının binayı doğru şekilde tanımlamasına yardımcı olmuştur. Görseldeki binalar net ve keskin görünmektedir.



Şekil 4.10 Puslu Gökürk-1 görüntüsü (a) ve sınıflandırma (b).

Şekil 4.10’da, pusun renkleri bozarak sınıflandırmayı zorlaştırdığı gözlemlenmiştir. Bu durum, piksel renklerinin bozulmasına ve farklı arazi örtüsü tiplerinin ayırt edilmesinin zorlaşmasına neden olmuştur. Sınıflandırma haritasında yapılan incelemede, hatalı sınıflandırmaların mevcut olduğu ve genel doğruluğun %88 seviyesinde kaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.11 Pusu giderilmiş Göktürk-1 görüntüsü (a) ve sınıflandırma (b).

Şekil 4.11’de, pusun ortadan kalkmasıyla birlikte sınıflandırma doğruluğunun önemli ölçüde arttığı ve genel doğruluğun %91’e yükseldiği görülmüştür. Pus giderme işlemi, piksel renklerinin doğruluğunu geri kazandırarak farklı arazi örtüsü tiplerinin kolayca

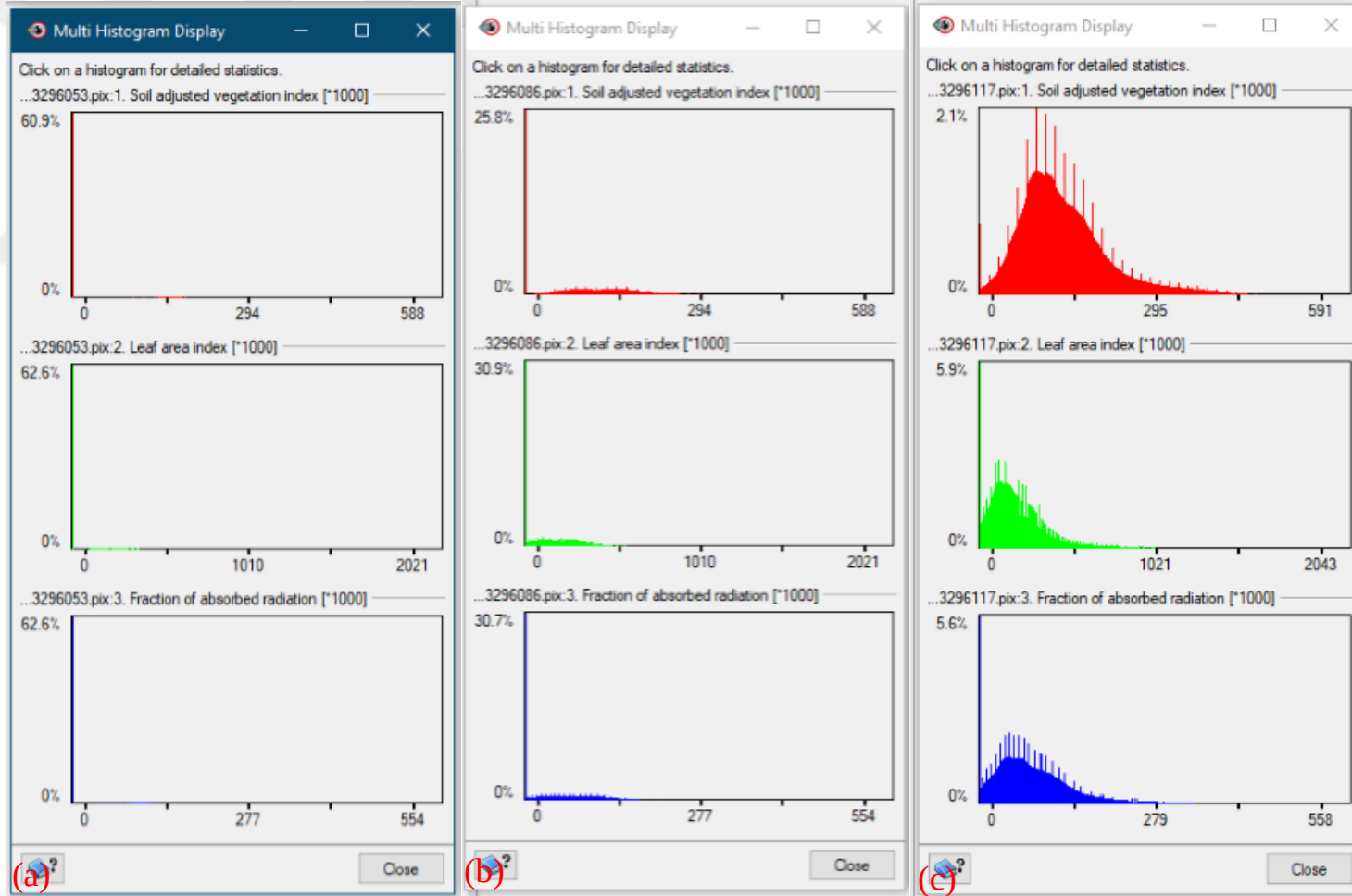
ayırt edilebilmesini sağlamıştır. Sınıflandırma haritasında yapılan incelemede, hatalı sınıflandırmaların önemli ölçüde azaldığı ve genel doğruluğun kayda değer bir şekilde yükseldiği gözlemlenmiştir.

4.5 Spektral Analiz

Bu çalışmanın kapsamında elde ettiğimiz bulgular, kullanılan PCI Geomatica yazılımı ile gerçekleştirilen pus giderme işlemine dayalı olarak derinlemesine analiz edilmiştir. Bu analizleri desteklemek ve sonuçları daha anlaşılır kılmak amacıyla çoklu histogram grafiği, istatistikli histogram grafiği ve dağılım grafiği kullanılmıştır.

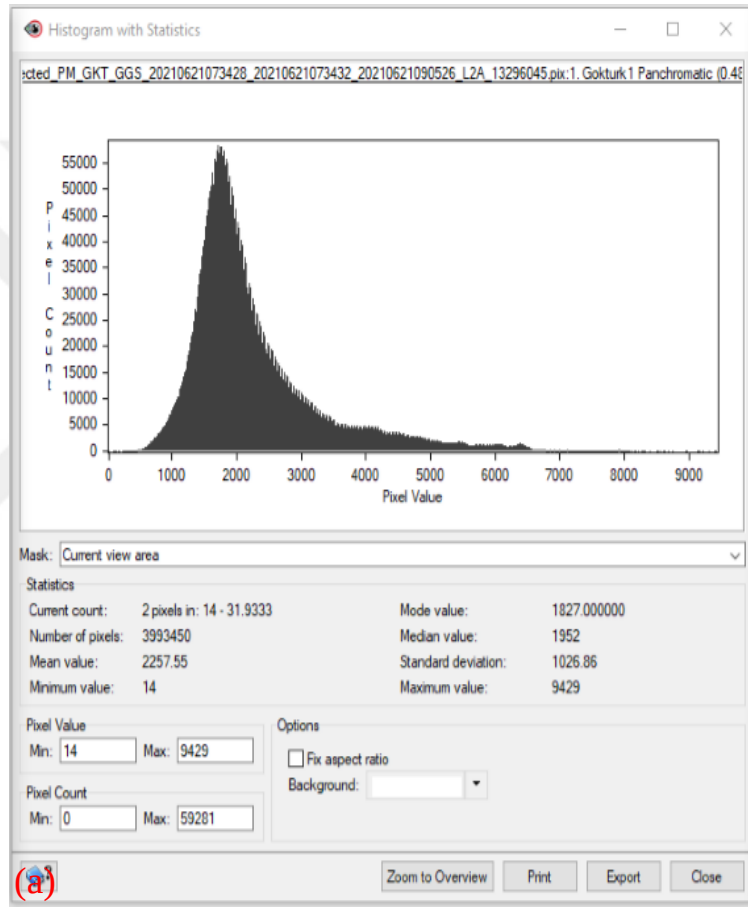
Çoklu histogram grafiği, farklı aşamalardaki görüntülerin renk dağılımını karşılaştırmak için kullanılmıştır. Pus giderme çoklu histogram grafiği ile görselleştirilmiştir. Bu analiz, her aşamanın görüntü kalitesine ve renk dengesine olan etkisini açıkça göstermektedir.(Şekil 4.12)

Şekil 4.12'deki grafik, puslu ve pusu giderilmiş görüntünün parlaklık, kontrast, detay ve dokusundaki değişiklikleri analiz etmek için kullanılmıştır. Puslu görüntülerde, tüm bantlarda piksel değerleri genellikle düşük ve dar bir aralığa sıkıştırılır. Pus giderme işleminden sonra, piksel değerleri daha geniş bir aralığa yayılır ve farklı bantlarda daha fazla ayrışma görülmektedir.

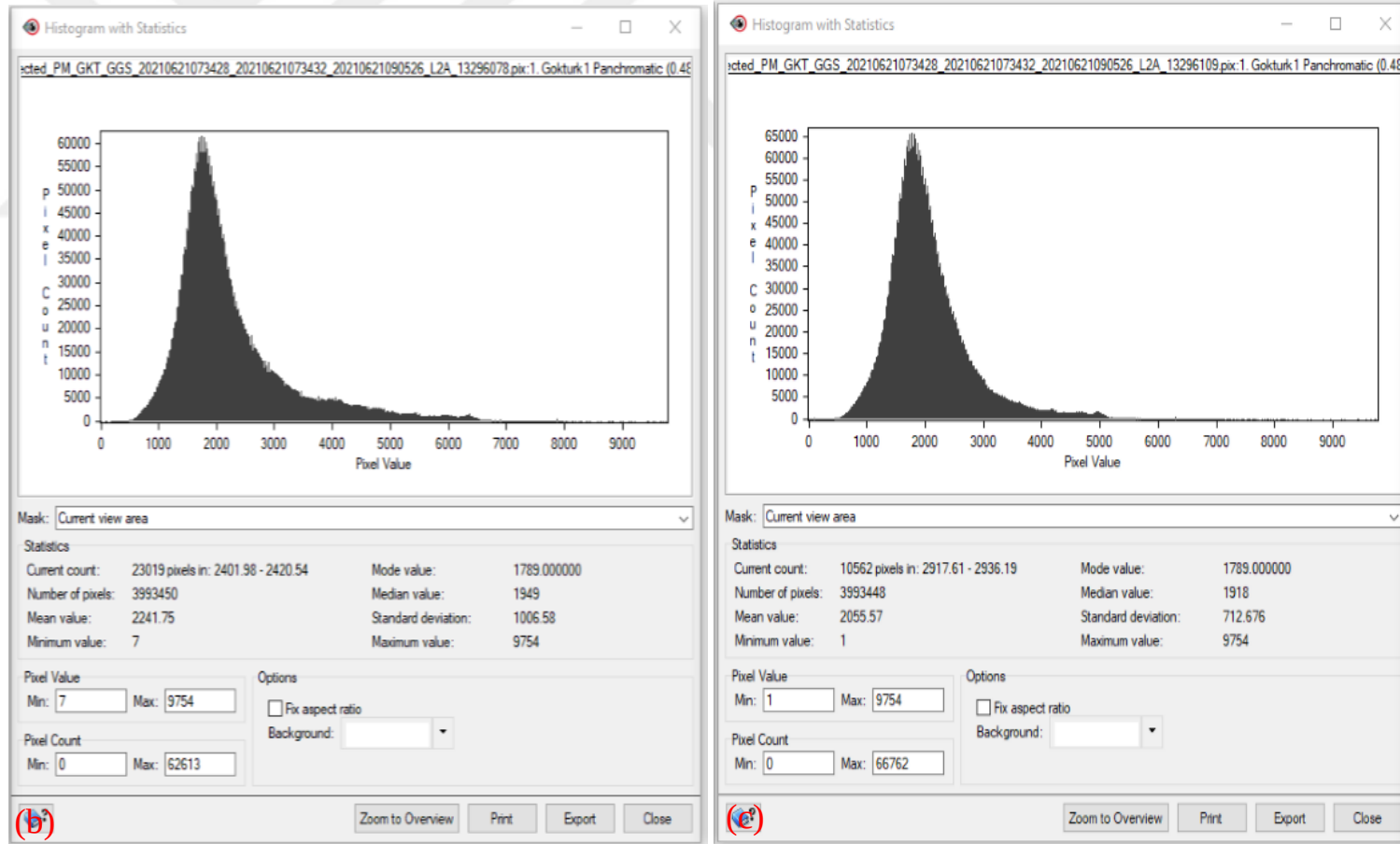


Şekil 4.12 Çoklu histogram grafiği. (a) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 10 seçilmesi sonucu çoklu histogram grafiği, (b) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 50 seçilmesi sonucu çoklu histogram grafiği, (c) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 90 seçilmesi sonucu çoklu histogram grafiği.

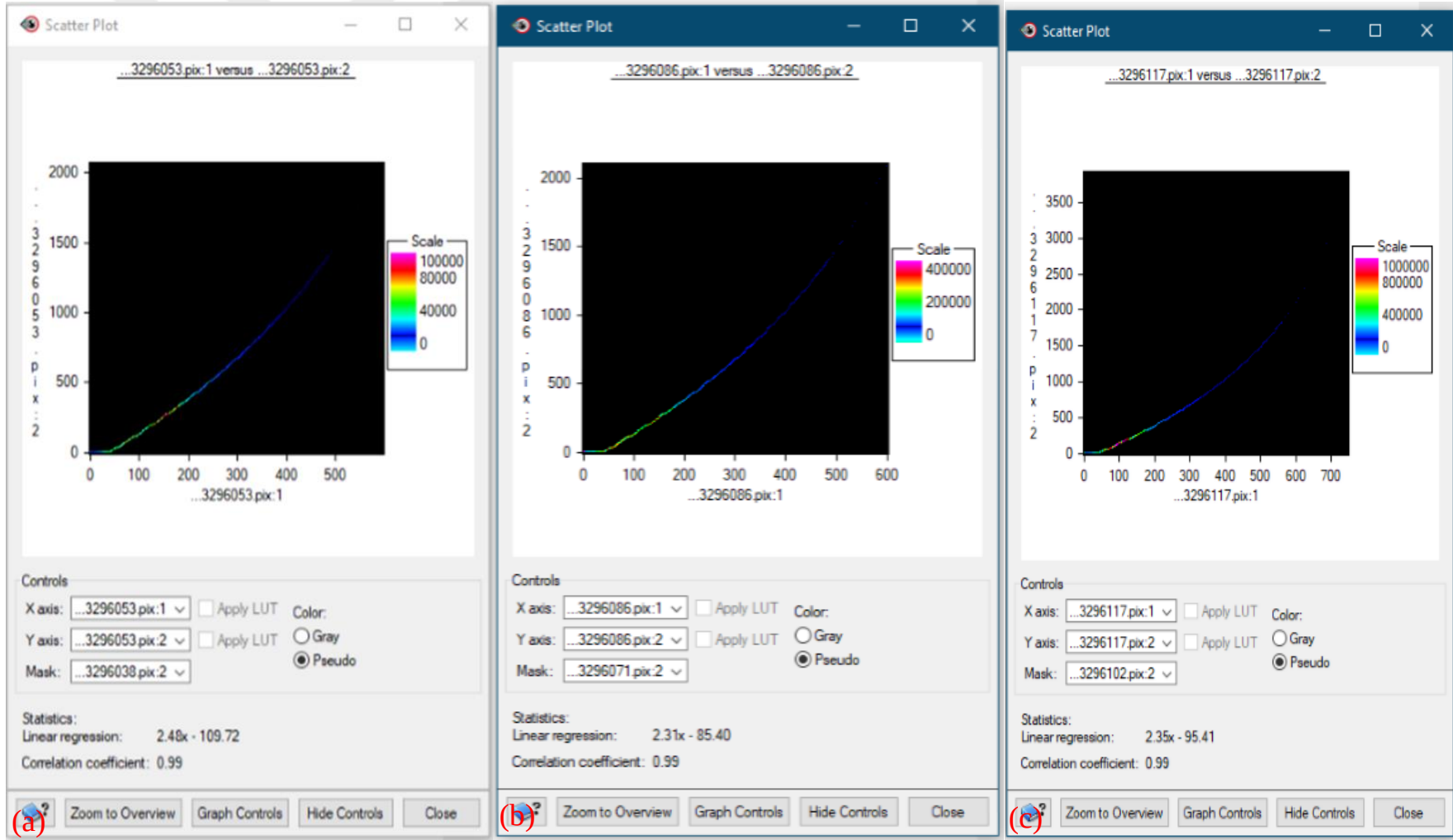
İstatistikli histogram grafiği, piksel değerlerinin frekanslarını ve ortalamalarını içerir. Her bir işlem aşamasında elde edilen değerlerin istatistiksel dağılımı, histogram grafikleri aracılığıyla detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu analiz, işlemlerin görüntü üzerindeki genel etkilerini ve piksel değerlerindeki değişimleri açıklığa kavuşturmuştur. Puslu görüntülerde, ortalama ve medyan değerleri düşük, standart sapma ise düşük veya orta seviyededir. Pus giderme işleminden sonra, ortalama ve medyan değerleri artar, standart sapma ise artar veya sabit kalabilir. (Şekil 4.13)



Şekil 4.13 İstatistikli histogram grafiği. (a) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 10 seçilmesi sonucu istatistikli histogram grafiği, (b) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 50 seçilmesi sonucu istatistikli histogram grafiği, (c) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 90 seçilmesi sonucu istatistikli histogram grafiği.



Şekil 4.13 (devamı) İstatistikli histogram grafiği. (a) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 10 seçilmesi sonucu istatistikli histogram grafiği, (b) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 50 seçilmesi sonucu istatistikli histogram grafiği, (c) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 90 seçilmesi sonucu istatistikli histogram grafiği.



Şekil 4.14 Dağılım grafiği . (a) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 10 seçilmesi sonucu dağılım grafiği, (b) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 50 seçilmesi sonucu dağılım grafiği, (c) Bulutlar üzerindeki en parlak piksel değerinin 90 seçilmesi sonucu dağılım grafiği.

Dağılım grafiği, görüntü üzerinde belirli bir öznitelik veya parametrenin dağılımını gösterir. Pus giderme işlemine bağlı olarak elde edilen özniteliklerin dağılımı, dağılım grafikleri kullanılarak incelenmiştir. Bu analiz, her bir aşamanın özniteliklerdeki değişimi net bir şekilde ortaya koymaktadır. Pus öncesi dağılım grafiği, görüntünün piksel değerlerinin dağılımını gösterir. Puslu görüntülerde, dağılım grafiği genellikle dar ve sivri bir tepeye sahiptir. Pus giderme işleminden sonra, dağılım grafiği genişler ve düzleşir. (Şekil 4.14)

Bu grafiklerle elde edilen bulgular, Göktürk-1 uydu görüntülerindeki pus giderme süreçlerinin etkinliğini ve her bir aşamanın görüntü kalitesine olan katkısını daha derinlemesine anlamamıza yardımcı olmuştur. Çalışmanın genel başarısını destekleyen bu grafik analizleri, atmosferik düzeltme konusunda elde edilen sonuçları daha anlaşılır bir şekilde ortaya koymaktadır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, Göktürk-1 uydu görüntülerinden pus giderme, ortofoto üretimi, görüntü zenginleştirme ve sınıflandırma işlemleri için ATCOR algoritması ve çeşitli teknikler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan yöntemlerin genel olarak başarılı olduğunu göstermektedir.

Pus giderme işleminde ATCOR algoritması, atmosferik etkilerin önemli ölçüde azaltılmasını sağlamıştır. Görüntülerin netliği ve detay seviyesi artmış, analiz ve yorumlanmaları kolaylaşmıştır. Ancak, yoğun puslu alanlarda algoritmanın performansı etkilenmiş ve bazı atmosferik izler kalmıştır. Bu durum, algoritmanın yoğun pus koşullarına daha iyi adapte edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Uygulanan görüntü zenginleştirme teknikleri, puslu görüntülerde kaybolan detayları ortaya çıkarmayı ve görüntünün genel estetiğini geliştirmeyi başarmıştır. Görsel çekiciliğin artmasıyla birlikte, görüntünün bilgi içeriği de zenginleşmiştir. Bu sayede, arazi örtüsü sınıflarının daha net bir şekilde ayırt edilmesi ve görüntüden daha fazla bilgi çıkarılması mümkün hale gelmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada, Göktürk-1 uydu görüntülerinde atmosferik etkileri azaltma ve görüntü kalitesini artırma konusundaki mevcut yöntemlerin etkinliğini değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, ATCOR algoritmasının ve görüntü zenginleştirme tekniklerinin bu amaç için kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Ancak, yoğun puslu alanlarda algoritmaların performansı daha da geliştirilebilir. Gelecekteki çalışmalarda, farklı hava koşullarında ve daha geniş bir görüntü yelpazesinde algoritmaların test edilmesi ve optimize edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma, uydu görüntülerinde atmosferik etkileri azaltma ve görüntü kalitesini artırma konusundaki araştırmalara katkıda bulunmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Ahmad A, Abdullah M, Quegan S, Sufahani S.F, Sakidin H, 2019, Haze Effects on Satellite Remote Sensing Imagery and their Corrections, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 10, no.10, Malaysia.
- Akatay V, 2023, Uzaktan Algılama Verileri İle 3b Kent Modeli Ve Altlık Haritaların Oluşturularak Açık Kaynak Kodlu Web Platformunda Servis Edilmesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 15s, Zonguldak.
- Aliyazıcıoğlu P, 2019, Uydu Görüntüleri Üzerinden Kontrollü Sınıflandırma Yöntemi İle Bitki Deseninin Belirlenmesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 3s, Bursa.
- Arasan G, Yılmaz A, Fırat O, Avşar E, Güner H, Ayğın K, Yüce D, 2019, TUFUAB X.Teknik Sempozyumu, Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Doğruluk Analizi, 448s, Aksaray.
- Çetin M, Musaoğlu N, 2008, Eo-1 Hyperion Görüntülerinde Spektral Kalibrasyon Ve Atmosferik Düzeltme, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Kayseri.
- Hultberg J, 2018, Dehazing of Satellite Images, Linköping University, Department of Electrical Engineering, Master of Science, Linköping.
- Kayman Ö, 2015, Spektral İndekslerin Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırmasına Etkisi: İstanbul, Beylikdüzü İlçesi, Arazi Kullanımı Değişimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 3-4s, İstanbul.
- Kayman Ö, 2015, Spektral İndekslerin Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırmasına Etkisi: İstanbul, Beylikdüzü İlçesi, Arazi Kullanımı Değişimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 43-48s, İstanbul
- Makarau A, Richter R, Müller R, Reinartz P, 2013, Haze Detection and Removal in Remotely Sensed Multispectral Imagery, Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 5895-5905s.

Özkürallı İ, 2006, Trakya Meriç Havzasındaki Çeltik Ekili Alanlarda Ürün Gelişiminin Çok Zamanlı Radar Uydu Görüntü Verileri Yardımıyla İzlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62-64s, İstanbul.

Sunar F, Özkan C, Osmanoğlu B, 2018, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi, Uzaktan Algılama Yayını, Eskişehir.

İnternet Kaynakları

- 1- https://en.wikipedia.org/wiki/Pigeon_photography#/media/File:Pigeon_photographers_and_aerial_photographs.jpg, 30.11.2023
- 2- <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1957-001B>, 10.12.2023
- 3- <https://shiftdelete.net/dunden-bugune-uzaya-gonderilen-turk-uydulari>, 25.12.2023
- 4- <https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6kt%C3%BCrk-1>, 30.11.2023
- 5- <https://tua.gov.tr/tr/proje/gokturk-1>, 12.12.2023
- 6- https://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=87, 30.11.2023
- 7- <https://docplayer.biz.tr/37046388-Goruntu-analizi-doc-dr-fusun-balik-sanli.html>, 10.10.2023
- 8- <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/odengiz/110258/11.pdf>, 29.11.2023
- 9- <https://uydu.turksat.com.tr/tr/uydu-filosu/turksat-5b>, 08.01.2024
- 10- <https://catalyst.earth/about/>, 16.02.2024