

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN TOPOGRAFIK DÜZELTİLMESİNDE
KULLANILAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gül Nur KARAL NESİL

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

OCAK 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN TOPOGRAFİK DÜZELTİLMESİNDE
KULLANILAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gül Nur KARAL NESİL
(501191620)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU

OCAK 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**COMPARISON OF THE METHODS USED IN THE TOPOGRAPHIC
CORRECTION OF SATELLITE IMAGES**

M.Sc. THESIS

**Gül Nur KARAL NESİL
(501191620)**

Department of Geomatics Engineering

Geomatics Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU

JANUARY 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501191620 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gül Nur KARAL NESİL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN TOPOGRAFİK DÜZELTİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Orkan ÖZCAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cumhur GÜNGÖROĞLU
Karabük Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03.01.2023**
Savunma Tarihi : **19.01.2023**





Aileme,



ÖNSÖZ

Çalışma sürecinde hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen, her zaman gösterdiği ilgi ve verdiği desteklerden dolayı saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Nebiye Musaoğlu'na teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan sevgili eşim Mustafa Eren Nesil'e, annem ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2023

Gül Nur KARAL NESİL
(Geomatik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
2. UZAKTAN ALGILAMA ve GÖRÜNTÜ İŞLEME	7
2.1 Uzaktan Algılama	7
2.2 Elektromanyetik Spektrum	8
2.3 Cisimlerin Spektral Yansıtım Özellikleri	9
2.4 Görüntü Ön İşleme	11
2.5 Topografik Düzeltme Yöntemleri	12
2.5.1 Minnaert yöntemi	13
2.5.2 Cosine yöntemi	14
2.5.3 Sun Canopy Sensor (SCS) yöntemi	14
2.5.4 Minnaert+SCS yöntemi	14
2.5.5 Piksel Tabanlı Minnaert (PBM) yöntemi	14
2.5.6 Path Length Correction (PLC) yöntemi	15
2.6 Sınıflandırma	15
2.6.1 Maksimum olabilirlik sınıflandırma yöntemi	16
2.6.2 Rastgele orman sınıflandırma yöntemi	17
2.7 Tematik Doğruluk Analizi	18
3. UYGULAMA	21
3.1 Çalışma Alanı ve Veri	21
3.2 Yöntem	24
3.3 Topografik Düzeltme Yöntemlerinin Uydu Görüntülerine Uygulanması	26
3.3.1 İstatistiksel ve görsel analiz	26
3.3.2 Landsat 8 görüntüsü topografik düzeltme sonuçları	27
3.3.3 Sentinel 2 görüntüsü topografik düzeltme sonuçları	31
3.3.3.1 5 m çözünürlüklü SYM ile elde edilen sonuçlar	32
3.3.3.2 30 m çözünürlüklü SYM ile elde edilen sonuçlar	38
3.3.4 Pleiades görüntüsü topografik düzeltme sonuçları	42
3.4 Sınıflandırma Yöntemlerinin Uydu Görüntülerine Uygulanması	46
3.4.1 Landsat 8 görüntüsü sınıflandırma sonuçları	47
3.4.1.1 Maksimum olabilirlik sınıflandırma yöntemi	47

3.4.1.2 Rastgele orman sınıflandırma yöntemi	48
3.4.2 Sentinel 2 görüntüsü sınıflandırma sonuçları.....	50
3.4.2.1 Maksimum olabilirlik sınıflandırma yöntemi	50
3.4.2.2 Rastgele orman sınıflandırma yöntemi	52
3.4.3 Pleiades görüntüsü sınıflandırma sonuçları.....	54
3.4.3.1 Maksimum olabilirlik sınıflandırma yöntemi	54
3.4.3.2 Rastgele orman sınıflandırma yöntemi	56
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	73



KISALTMALAR

BOA	: Bottom of Atmosphere
CV	: Coefficient of Variation
ES	: Elektromanyetik Spektrum
ESA	: European Space Agency
GAA	: Güneş Azimut Açısı
GZA	: Güneş Zenit Açısı
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
IL	: Illumination Model
IR	: Infrared
NIR	: Near Infrared
OLI	: Operational Land Imager
ORFEO	: Optical and Radar Federated Earth Observation
PBM	: Pixel Based Minnaert
PLC	: Path Length Correction
RO	: Rastgele Orman
SCS	: Sun Canopy Sensor
SD	: Standard Deviation
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SWIR	: Shortwave Infrared
TOA	: Top of Atmosphere
USGS	: United States Geological Survey
UV	: Ultraviyole



SEMBOLLER

γ	: Gama Işını
ρ	: Topografik Düzeltme Öncesi Yansıtım Değeri
ρ_h	: Topografik Düzeltme Sonrası Yansıtım Değeri
θ_z	: Güneş Zenit Açısı
φ_s	: Güneş Azimut Açısı
θ_v	: Algılayıcı Zenit Açısı
φ_v	: Algılayıcı Azimut Açısı
i	: Güneş Geliş Açısı
α	: Eğim
β	: Bakı Değeri
k	: Minnaert Katsayısı
$^{\circ}$	: Derece
σ	: Standart Sapma
μ	: Ortalama
$\rho\lambda, \rho b(p)$	: Atmosfer Üstü Yansıtım Değeri
$\rho\lambda'$	: Güneş Açısı Düzeltmesi Yapılmamış Yansıtım Değeri
M_p, A_p	: Yeniden Ölçeklendirme Faktörleri
Q_{cal}	: Kalibre Edilmiş Piksel Değerleri
Se	: Güneş Yükseklik Açısı
$X(p)$	: Piksel Değeri
$Lb(p)$	: Atmosfer Üstü Radyans Değeri
$E0(b)$	: Güneş Spektral Işınması
d	: Düzeltme Katsayısı
π	: Pi Sayısı
λ	: Dalga Boyu
ν	: Frekans



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Landsat-8 OLI Özellikleri.	22
Çizelge 3.2 : Sentinel-2 Özellikleri.	22
Çizelge 3.3 : Pleiades Özellikleri.....	23
Çizelge 3.4 : Topografik düzeltme yöntemlerinde kullanılan parametrelere ve uydu görüntülerine ait bilgiler.	26
Çizelge 3.5 : Landsat 8 uydu görüntüsünde topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerde bantlar arasındaki SD ve CV değerleri farkı.	28
Çizelge 3.6 : Sentinel 2 görüntüsünde 5 m mekansal çözünürlüklü SYM kullanılarak yüzey yansıtım değerlerine topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerde bantlar arasındaki SD ve CV değerleri farkı	32
Çizelge 3.7 : Sentinel 2 uydu görüntüsünde 5 m mekansal çözünürlüklü SYM kullanılarak atmosfer üstü yansıtımlarına topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerde bantlar arasındaki SD ve CV değerleri farkı.....	36
Çizelge 3.8 : Sentinel 2 uydu görüntüsünde 30 m mekansal çözünürlüklü SYM kullanılarak topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerde bantlar arasındaki SD ve CV değerleri farkı.	38
Çizelge 3.9 : Pleiades uydu görüntüsünde topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerde bantlar arasındaki SD ve CV değerleri farkı.	42
Çizelge 3.10 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.	48
Çizelge 3.11 : Sınıflandırma alansal sonuçları.	48
Çizelge 3.12 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.	49
Çizelge 3.13 : Sınıflandırma alansal sonuçları.	50
Çizelge 3.14 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.	51
Çizelge 3.15 : Sınıflandırma alansal sonuçları.	52
Çizelge 3.16 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.	53
Çizelge 3.17 : Sınıflandırma alansal sonuçları.	54
Çizelge 3.18 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.	56
Çizelge 3.19 : Sınıflandırma alansal sonuçları.	56
Çizelge 3.20 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.	58
Çizelge 3.21 : Sınıflandırma alansal sonuçları.	59



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Pasif uzaktan algılama sistemi.	7
Şekil 2.2 : Elektromanyetik Spektrum.....	8
Şekil 2.3 : Bitkiye ait spektral yansıtım eğrisi.....	10
Şekil 2.4 : Sağlıklı ve yanmış bitki örtüsüne ait spektral yansıtım eğrileri.....	11
Şekil 2.5 : Maksimum Olabilirlik Yöntemi'nin temel prensibi: Olasılık yoğunluk eğrileri.....	17
Şekil 2.6 : Rastgele Orman Algoritması temel yapısı.....	18
Şekil 2.7 : Hata matrisi ve genel doğruluk.	19
Şekil 3.1 : Çalışma alanı.	21
Şekil 3.2 : Çalışma alanına ait HGM'den alınan SYM.	23
Şekil 3.3 : Çalışma alanında Naras Barajı ve çevresine ait ortofoto.	24
Şekil 3.4 : Naras Barajı ve çevresine ait yangın sonrası İHA görüntüsü.....	24
Şekil 3.5 : Çalışmaya dair iş akış diyagramı.	25
Şekil 3.6 : Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü.	29
Şekil 3.7 : (a): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (b): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): PLC Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (f): Cosine Yöntemi uygulanmış görüntü.	30
Şekil 3.8 : (a):Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b):Minnaert, (c): PBM, (d): Minnaert+SCS, (e): PLC, (f): SCS, (g): Cosine.....	31
Şekil 3.9 : Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü.	33
Şekil 3.10 : (a): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (b): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): PLC Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (f): Cosine Yöntemi uygulanmış görüntü.....	34
Şekil 3.11 : (a):Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b):Minnaert, (c): PBM, (d): Minnaert+SCS, (e): PLC, (f): SCS, (g): Cosine.....	35
Şekil 3.12 : (a): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (b): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): PLC Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (f): Cosine Yöntemi uygulanmış görüntü.....	37
Şekil 3.13 : Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü	39
Şekil 3.14 : (a): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (b): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): PLC Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (f): Cosine Yöntemi uygulanmış görüntü.....	40
Şekil 3.15 : (a):Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b):Minnaert, (c): PBM, (d): Minnaert+SCS, (e): PLC, (f): SCS, (g): Cosine.....	41
Şekil 3.16 : Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü.	43

- Şekil 3.17** : (a): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (b): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): PLC Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (f): Cosine Yöntemi uygulanmış görüntü. **44**
- Şekil 3.18** : (a):Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b):Minnaert, (c): PBM, (d): Minnaert+SCS, (e): PLC, (f): SCS, (g): Cosine. **45**
- Şekil 3.19** : Çalışma alanı içerisindeki sınıflandırma yapılan alanlar: (a): Landsat 8 ve Sentinel 2 sınıflandırma alanı, (b): Pleiades sınıflandırma alanı. **46**
- Şekil 3.20** : Maksimum Olabilirlik Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü. **47**
- Şekil 3.21** : Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü. **49**
- Şekil 3.22** : Maksimum Olabilirlik Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü. **51**
- Şekil 3.23** : Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü. **53**
- Şekil 3.24** : Maksimum Olabilirlik Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü. **55**
- Şekil 3.25** : Yangından etkilenme durumu örnek alan; (a): Örnek alana ait ortofoto, (b): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (c): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (d):PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü. **55**
- Şekil 3.26** : Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü **57**
- Şekil 3.27** : Yangından etkilenme durumu örnek alan; (a): Örnek alana ait ortofoto, (b): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (c): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (d):PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü. **58**

UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN TOPOGRAFİK DÜZELTİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Uzaktan algılamada uydu görüntülerinden elde edilen bilgiler birçok disiplinde sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle yersel çalışmaların güçlkle gerçekleştirildiği alanlarda uydu görüntülerinden faydalanılmaktadır. Bu görüntülerden elde edilen bilgilerin doğruluğu görüntünün ön işleme aşamasına bağlıdır. Ön işleme aşamasında uydu görüntülerinin maruz kaldığı bozucu etkiler giderilir. Bu etkilerden biri de engebeli alanlarda oluşan topografik etkilerdir.

Topografyanın değişken olduğu bölgelerde özellikle Güneş'in geliş açısına bağlı olarak oluşan aydınlanma farklılıklarının ve gölgenin bozucu etkisi yüksektir. Farklı eğim ve bakı değerleri, değişken aydınlanma koşullarında aynı objenin farklı yansıma değeri göstermesine sebep olur. Engebesi fazla alanlarda, bir arazi örtüsü topoğrafyadaki değişkenliğe bağlı olarak yansıma değerlerinde farklılık gösterir. Aydınlanma farklılıkları, aynı arazi örtüsünün gölgede ve güneşte farklı yansıtım değerleri göstermesi anlamına gelir. Örneğin engebeli arazi üzerindeki aynı obje gölgede ve güneşte kalan alanlarda farklı yansımalarla olduğu için farklı bir obje olarak algılanabilmektedir. Bu yüzden uydu görüntülerinden analizler yapılmadan önce topografik düzeltme görüntü ön işleme adımı önem taşır.

Topografyadan kaynaklanan, bu bozucu etkileri gidermek için literatürde birçok topografik düzeltme yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemlerin temel amacı uydu görüntülerinde engebeli topografik koşullardan dolayı oluşan gölgede ve güneşte kalan alanlar arasındaki aydınlanma farklılıklarını gidererek, yansıma değerlerini normalize etmektir. Topografik düzeltme yöntemleri genel olarak bölgenin topografik yapısı ve aydınlanma koşullarını esas alarak görüntülerdeki topografik etkiyi gidermektedir. Bu kapsamda uydu görüntülerinin elde edildiği zamana ait bilgiler ve bölgeye ait sayısal yükseklik modelleri (SYM) kullanılır.

Uydu görüntülerine uygulanan topografik düzeltme yöntemi sonuçların doğruluğunu etkileyecektir. Bu nedenle farklı mekansal çözünürlüklerdeki uydu görüntülerinde topografik düzeltme için uygulanan yöntemin uydu görüntüsünün mekansal çözünürlüğüne bağlı olarak değişiklik gösterip göstermediği de önemli bir araştırma konusudur. Çalışmanın temel amacı farklı mekansal çözünürlüklü uydu görüntülerinde, farklı topografik düzeltme yöntemlerinin performanslarını karşılaştırarak en uygun topografik düzeltme yöntemini belirlemektir. Bununla birlikte topografik düzeltme yöntemlerinin uydu görüntülerinden yapılan sınıflandırmaların ve alansal analizlerin doğruluğuna olan etkisi de araştırılmıştır. Bu kapsamda 2021 yılında orman yangınlarının meydana geldiği Manavgat ilçesindeki ormanlık ve engebeli alanlar çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu bölgeye ait farklı çözünürlük özelliklerine sahip Landsat 8, Sentinel 2 ve Pleiades uydu görüntülerine Minnaert, Cosine, Sun Canopy Sensor (SCS), Minnaert+SCS, Piksel Tabanlı Minnaert (PBM) ve Path Length Correction (PLC) topografik düzeltme yöntemleri uygulanmıştır.

Topografik düzeltme yöntemlerinde topografyanın eğim ve bakısına ihtiyaç duyulduğu için 5 m ve 30 m mekansal çözünürlüklü sayısal yükseklik modelleri, yöntemlerde girdi olarak kullanılmıştır. Yöntemlerin diğer girdileri olan açısız değerler uydu görüntülerine ait meta veri dosyasından elde edilmiştir.

Topografik düzeltme yöntemleri istatistiksel ve görsel olmak üzere iki farklı şekilde irdelenmiştir. İstatistiksel analizde yansıma değerlerine ait standart sapma (SD) ve varyasyon katsayısı (CV) değerlendirilmiştir. Topografik düzeltme sonrası benzer arazi örtülerinde SD ve CV değerlerinin azalması topografik düzeltme yönteminin uydu görüntüsünde başarılı olduğunu belirtir. Görsel analizde ise görüntüde gölgede ve güneşte kalan alanlar arasındaki aydınlanma farklılıklarının giderilip giderilmediğine bakılır. Başarılı bir topografik düzeltme sonrası görüntüler daha homojen ve düz bir görünüme kavuşur. Görsel ve istatistiksel analizlere ek olarak SYM' nin topografik düzeltme yöntemlerinin performanslarına etkisini araştırmak amacıyla iki farklı çözünürlüklü SYM, yöntemlerde girdi olarak kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre en yüksek performansı üç görüntüde de sırasıyla Minnaert, Minnaert+SCS ve PBM yöntemleri göstermiştir. Uydu görüntüsünün mekansal çözünürlüğünden daha düşük mekansal çözünürlükte SYM kullanıldığında görüntülerde bozulmalar olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda en yüksek performansı Minnaert, Minnaert+SCS ve PBM yöntemleri gösterdiği için sınıflandırmaya ve alansal sonuçlara olan etki de adı geçen yöntemler uygulanan görüntüler ile araştırılmıştır. Bu kapsamda her üç yöntemin uygulandığı görüntülere ve topografik düzeltme uygulanmamış görüntülere Maksimum Olabilirlik ve Rastgele Orman sınıflandırma yöntemleri uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yangından etkilenen alan ve diğer alan olmak üzere iki sınıftan oluşan görüntülerin analizi sonucunda topografik düzeltme yöntemlerinin sınıflandırmaya olan etkisi belirlenmiştir. Bu analizlere göre topografik düzeltme uygulanmamış görüntülerde topografik etkilerden dolayı yanlış sınıf olarak sınıflandırılan alanlar, topografik düzeltme uygulanmış görüntülerde doğru sınıfa atanmıştır. Tüm sınıflandırma sonuçları yangın sonrası bölgeye ait ortofotolardan kontrol edilmiştir. Yapılan doğruluk analizi sonuçlarında her iki sınıflandırma yönteminde topografik düzeltme sonrası görüntülerde sınıflandırma doğruluğu daha yüksek çıkmıştır. Topografik düzeltmeler sonrasında genel doğruluk; Maksimum Olabilirlik Yöntemi'nde Landsat 8 görüntüsünde %3.5, Sentinel 2 görüntüsünde %1.5 ve Pleiades görüntüsünde %3.75'lik artış göstermiştir. Rastgele Orman Yöntemi uygulandığında ise genel doğruluk Landsat 8'de %2, Sentinel 2'de %1.5 ve Pleiades görüntüsünde %7.5 artmıştır. Yangından etkilenen alanlar ve diğer alanlar sınıfı topografik düzeltme uygulanmamış görüntülerde bazı bölgelerde yanlış sınıflandırılmıştır. Maksimum Olabilirlik Yöntemi'nden elde edilen sonuçlara göre; yangından etkilenen alanlar topografik düzeltme uygulanmamış Landsat 8 görüntüsünde topografik düzeltme uygulanmış görüntülerdeki yangından etkilenen alanlardan her üç yöntemin ortalaması alındığında 114.5 hektar, Sentinel 2 görüntüsünde, 66.5 hektar daha fazla çıkmıştır. Rastgele Orman Yöntemi'nden elde edilen sonuçlara göre; topografik düzeltme yapılmamış görüntüdeki yangından etkilenen alanlar topografik düzeltme uygulanmış görüntülerdeki yangından etkilenen alanlardan her üç yöntemin ortalaması alındığında 41.8 hektar, Sentinel 2 görüntüsünde ise 45.5 hektar daha fazla çıkmıştır. Pleiades görüntüsünde ise topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde yangından etkilenen alanlar topografik düzeltilmiş görüntülerdeki yangından etkilenen alanlardan daha az çıkmıştır. Bu kapsamda Maksimum Olabilirlik Yöntemi ve Rastgele Orman yöntemlerinden elde

edilen sonuçlara göre, topografik düzeltme uygulanmamış görüntüdeki yangından etkilenen alanlar topografik düzeltilmiş görüntülerdeki yangından etkilenen alanlardan sırasıyla ortalama 2.7 hektar ve 6.5 hektar daha az olarak tespit edilmiştir. Engebeli topografyaya sahip bölgelerde sınıflandırma gibi uydu görüntülerinden bilgi çıkarılan analizlerde, topografik düzeltme yöntemleri görüntü ön işleme aşamasının önemli bir temel unsuru olmalıdır.





COMPARISON OF THE METHODS USED IN THE TOPOGRAPHIC CORRECTION OF SATELLITE IMAGES

SUMMARY

Information obtained from satellite images in remote sensing is frequently used in many disciplines. Especially in areas where terrestrial studies are difficult, satellite images are used. The accuracy of the information obtained from these images depends on the preprocessing stage of the image. In the preprocessing stage, the disturbing effects of the satellite images are removed. One of these effects is the topographical effects that occur in rough areas.

In regions where the topography is variable, the illuminance differences and shadows, especially due to the angle of incidence of the Sun, have a high disruptive effect. Different slope and aspect values cause the same object to show different reflectance values under variable lighting conditions. In rough areas, a land cover differs in reflectance due to variability in topography. Illumination differences mean that the same land cover shows different reflectance values in the shade and the sun. For example, the same object on rough terrain can be perceived as a different object because it has different reflections in shadow and sun areas. Therefore, the topographic correction image preprocessing step is important before making analyzes from satellite images.

Many topographic correction methods have been proposed in the literature to eliminate these disruptive effects caused by topography. The main purpose of these methods is to normalize the reflection values by eliminating the illuminance differences between the shadow and sunlit areas in satellite images due to rough topographic conditions. Topographic correction methods generally correct the topographical effect in the images based on the topographic structure of the region and the lighting conditions. In this context, the information at the time the satellite images were obtained and the digital elevation models (DEM) of the region are used.

The topographic correction method applied to satellite images will affect the accuracy of the results. For this reason, it is an important research topic whether the method applied for topographic correction in satellite images with different spatial resolutions varies depending on the spatial resolution of the satellite image. The main purpose of the study is to determine the most suitable topographic correction method by comparing the performances of different topographic correction methods on satellite images with different spatial resolutions. In addition, the effect of topographic correction methods on the accuracy of classifications and spatial analyzes made from satellite images was also investigated. In this context, forested and rough areas in the Manavgat district, where forest fires occurred in 2021, were selected as the study area. Minnaert, Cosine, Sun Canopy Sensor (SCS), Minnaert+SCS, Pixel Based Minnaert (PBM), and Path Length Correction (PLC) topographic correction methods were applied to Landsat 8, Sentinel 2, and Pleiades satellite images with different resolution properties of this region. Since topographic correction methods require the slope and

aspect of the topography, digital elevation models with spatial resolutions of 5 m and 30 m were used as inputs in the methods. Angular values, which are the other inputs of the methods, were obtained from the metadata file of the satellite images.

Topographic correction methods were analyzed in two different ways, statistically and visually. In the statistical analysis, the standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV) of the reflectance values were evaluated. The decrease in SD and CV values in similar land covers after topographical correction indicates that the topographic correction method is successful in satellite imagery. In visual analysis, it is checked whether the differences in illumination between the shaded and sunlit areas in the image are eliminated. After a successful topographic correction, images become more homogeneous and flatter. In addition to visual and statistical analysis, DEMs with two different resolutions were used as inputs in the methods to investigate the effect of DEM on the performance of topographic correction methods. According to the analysis results, Minnaert, Minnaert+SCS, and PBM methods showed the highest performance in all three images, respectively. It has been determined that when DEM is used with a spatial resolution lower than the spatial resolution of the satellite image, distortions occur in the images.

Since the Minnaert, Minnaert+SCS, and PBM methods showed the highest performance as a result of the examinations, the effect of topographic correction on classification and areal results was investigated with the images on which these methods were applied. In this context, Maximum Likelihood and Random Forest classification methods were applied to the images on which all three methods were applied and the images without topographic correction, and the results were compared. As a result of the analysis of the images consisting of two classes, the area affected by the fire and the other area, the effect of topographic correction methods on the classification was determined. According to these analyses, areas that were classified as the wrong class due to topographical effects in uncorrected images were assigned to the correct class in topographically corrected images. All classification results were checked from orthophotos of the area after the fire. In the results of the accuracy analysis, the classification accuracy was higher in the images after topographic correction in both classification methods. General accuracy after topographical corrections; In the Maximum Likelihood Method, it showed an increase of 3.5% in the Landsat 8 image, 1.5% in the Sentinel 2 image, and 3.75% in the Pleiades image. When the Random Forest Method was applied, the overall accuracy increased by 2% in Landsat 8, 1.5% in Sentinel 2, and 7.5% in Pleiades image. Fire-affected areas and other areas class were misclassified in some regions in images without topographic correction. According to the results obtained from the Maximum Likelihood Method; Areas affected by fire were 114.5 hectares more in the Landsat 8 image without topographic correction when the average of all three methods was taken from the fire-affected areas in the topographically corrected images, and 66.5 hectares in the Sentinel 2 image. According to the results obtained from the Random Forest Method; The areas affected by the fire in the uncorrected image were 41.8 hectares when the average of all three methods was taken from the fire-affected areas in the topographically corrected images, and 45.5 hectares in the Sentinel 2 image. In the Pleiades image, the areas affected by fire in the uncorrected image were less than the areas affected by the fire in the topographically corrected images. In this context, according to the results obtained from the Maximum Likelihood Method and Random Forest methods, the fire-affected areas in the uncorrected image were found to be 2.7 hectares and 6.5 hectares less on average than the fire-affected areas in the

topographically corrected images, respectively. Topographic correction methods should be an essential element of the image preprocessing stage in analyzes that extract information from satellite images, such as classification in regions with rugged topography.



1. GİRİŞ

Uzaktan algılama sistemlerinde topografyadaki değişkenliklerden kaynaklanan sinyal farklılıklarının normalize edilmesi işlemine topografik düzeltme denir. Özellikle engebeli arazilerde uydu görüntülerinin analizinde yüksek doğruluklu sonuçlar elde etmek için topografyadan kaynaklanan olumsuz etkiler giderilmelidir. Uydu görüntüsünde topografik etki; arazinin eğiminin, güneş geliş açısının ve algılayıcı algılama açısının değişimi gibi faktörler nedeniyle oluşur. Topografik koşullara bağlı olan güneş-hedef-algılayıcı geometrisi, topografyanın değişken olmasından dolayı farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar da uydu görüntüsünde aydınlanma farkına ve zeminden algılayıcıya yansıyan değerlerin değişiklik göstermesine sebep olur (Jimenez ve diğ, 2017). Bundan dolayı yeryüzü üzerindeki aynı objeler farklı yansıtım değerleri göstermektedir. Örneğin aynı obje topografya üzerinde güneşe bakan tarafta gelen ışını daha fazla yansıtırken, gölgelik alanlarda daha az yansıtım değeri göstermektedir (Koç ve diğ, 2006). Aydınlanma farklılıklarının olduğu gölgeli ve gölgesiz alanlarda aynı arazi örtüsü farklı spektral yansıtım değerleri gösterdiği için uydu görüntülerinden bilgi çıkarırken, aynı arazi örtüsü sınıfının farklı sınıf olarak değerlendirilmesine sebep olabilmektedir. Yeryüzü üzerindeki aynı objeler değişken topografyaya sahip bölgelerde; gölgede daha düşük güneşte daha yüksek yansıtım değerleri göstermektedir (Füreder, 2010). Bu yüzden eğimin değişken olduğu güneş ışığını daha fazla alan yüzeylerin, güneş ışığını doğrudan almayan yüzeylere göre daha parlak görüldüğü dağlık ve ormanlık alanlarda uydu görüntülerindeki gölge etkisi ve sinyal bozuklukları gibi topografik etkilerin giderilmesi oldukça önemlidir.

Topografik düzeltme yöntemleri engebeli topografik koşullardan dolayı meydana gelen aydınlanma farklılıklarını ortadan kaldırıp piksellerin yüzey yansıtım değerleri arasındaki farklılıkları azaltmakta böylece düz bir yüzeyde kaydedilen yansıtım değerlerine yakın değerler elde edilmektedir (Hurni ve diğ, 2019). Uydu görüntülerine topografik düzeltme yöntemleri uygulanmasıyla söz konusu olumsuz etkiler en aza indirilerek üretilecek bilgilerin doğruluğu arttırılacaktır. Literatürde birçok topografik düzeltme yöntemi önerilmiştir. Tez çalışması kapsamında Minnaert Yöntemi (Smith

ve diğ, 1980), Cosine Yöntemi (Teillet ve diğ, 1982), Sun Canopy Sensor (SCS) Yöntemi (Gu ve Gillespie, 1998), Minnaert+SCS Yöntemi (Reeder 2002), Piksel Tabanlı Minnaert (PBM) (Lu ve diğ, 2008) ve Path Length Correction (PLC) (María Luisa ve diğ, 2008) yöntemleri uydu görüntülerine uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Tezin amacı farklı topografik düzeltme yöntemlerinin uydu görüntüleri üzerindeki etkilerini engebeli ve ormanlık alanlarda karşılaştırmak, özellikle yanmış orman alanlarının belirlenmesinde topografik düzeltme yöntemlerinin etkilerini belirlemek, görsel ve istatistiksel analizlerle bu alanlarda en uygun topografik düzeltme yöntemini tespit etmektir. Bu kapsamda 2021 yılı temmuz ayında farklı noktalarda yangınların meydana geldiği Antalya'nın Manavgat ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Farklı çözünürlük özelliklerine sahip uydu görüntülerinde yöntemlerin performansını karşılaştırmak amacıyla Landsat 8, Sentinel 2 ve Pleiades uydu görüntülerine topografik düzeltme yöntemleri uygulanmıştır. Düzeltme öncesi ve sonrası görüntüler istatistiksel ve görsel olarak karşılaştırılıp, tüm görüntüler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yangın sonrası görüntülerde yangından etkilenen alanlar hesaplanmış ve topografik düzeltmenin bu hesaplara etkisi incelenmiştir. Topografik düzeltme öncesi ve sonrası görüntülere sınıflandırma işlemi uygulanarak yangından etkilenen alanlar belirlenmiştir. Bu alanlar Maksimum Olabilirlik ve Rastgele Orman sınıflandırma yöntemleri ile hesaplanmıştır. Görüntülere ait bantlar istatistiksel ve görsel açıdan ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İstatistiksel değerlendirmede; yüzey yansıtım değerlerine ait standart sapma (SD) ve varyasyon katsayısı (CV) ele alınarak, bu değerlerdeki değişim incelenmiştir. Görsel değerlendirmede topografik düzeltme sonrası görüntüdeki değişimler irdelenmiştir. Çalışmada kullanılan tüm yöntemler görsel ve istatistiki olarak karşılaştırılarak, uydu görüntüleri için en uygun topografik düzeltme yöntemlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerden yangından etkilenen alanlar belirlendikten sonra bölgeye ait ortofotolardan faydalanılarak, topografik düzeltmenin uydu görüntülerinden elde edilen bilgilerin doğruluğuna etkisi belirlenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Literatürde topografyanın değişken olduğu engebeli alanlarda uydu görüntülerinin topografik düzeltmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Mishra ve diğ. (2010) Himalaya'nın değişken topografyaya sahip bölgelerinde AWiFS ve MODIS görüntülerinde farklı topografik düzeltme yöntemlerini test etmişler ve Minnaert Yöntemi sonucunda iki görüntüde de yansıtım değerlerinin normalize edildiğini ve gölge etkisinin giderildiğini belirlemişlerdir. Vanonckelen ve diğ. (2013) Landsat 8 görüntüsüne topografik düzeltme yöntemleri uygulayıp sınıflandırma işlemi yaparak bu yöntemlerin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada, topografik düzeltme uygulanmış tüm görüntülerin, topografik düzeltme uygulanmamış görüntülere göre daha yüksek genel sınıflandırma doğruluğu gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ghasemi ve diğ. (2013) engebeli bir orman alanında ALOS AVNIR-2 görüntüsü üzerine farklı topografik düzeltme yöntemleri uygulamışlar ve düzeltme sonuçlarını farklı kriterler üzerinden değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında topografik düzeltme yöntemleri uygulanan görüntüleri sınıflandırmışlar en yüksek sınıflandırma doğruluğuna PBM Yöntemi ile ulaşmışlardır. Sola ve diğ. (2016) kuzey İspanya'nın dağlık bölgesinde farklı aydınlanma koşullarındaki ve farklı tarihlerdeki SPOT 5 uydu görüntülerine çeşitli topografik düzeltme yöntemleri uygulamışlar ve görüntülerde düzeltmeler sonrasında aydınlanma farklılıklarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Chen ve diğ. (2020) engebeli alanlarda uydu görüntülerine topografik düzeltme yöntemlerinin uygulanmasının engebeli arazilerdeki bitki örtülerinin izlenmesine katkıda bulunacağını belirtmişlerdir. Buchner ve diğ. (2020) topografyanın değişken olmasının, engebeli ve ormanlık alanlarda uydu görüntülerinden yapılan sınıflandırma ve arazi örtüsü değişimi gibi analizleri olumsuz yönde etkilediğini söyleyerek topografik düzeltme yöntemleri uygulanan görüntülerden elde edilen sonuçların daha yüksek doğruluklu olduğunu belirlemişlerdir. Yin ve diğ. (2020) eğimli arazilerde uydu görüntülerinde topografyadan kaynaklı sürekli ve ayırık kanopi belirsizliklerini PLC Yöntemi'ni uygulayarak azaltmışlardır. Fang ve diğ. (2020) Landsat 8 OLI görüntüsüne sekiz farklı topografik düzeltme yöntemi uygulamışlardır. Bu uygulanan yöntemler arasından Cosine Yöntemi'nin görüntüyü görsel olarak aşırı düzelttiğini, Minnaert ve Minnaert+SCS yöntemleri sonucunda ise daha düz ve homojen görüntüler oluştuğunu ve gölgeli ve güneşli eğimler arasındaki aydınlanma farklılıklarının

azaldığını tespit etmişlerdir. Ma ve diğ. (2021) Çin’de farklı arazi ve iklim koşullarına sahip 11 test alanında yaptıkları çalışmada, topografik etkilerin azaltılması için Minnaert ve Minnaert+SCS topografik düzeltme yöntemlerinin genel olarak yüksek performansı gösterdiğini belirtmişlerdir. Zylshal ve diğ. (2021) Endonezya’nın Güney Sulawesi Bölgesi’nde dağlık arazide bulunan orman, tarım alanı gibi farklı arazi örtülerini içinde barındıran iki farklı test alanına Minnaert Yöntemi uygulamışlar ve istatistiksel değerlendirmelerine göre güneşli ve gölgede kalan orman alanları üzerinde yansımalarındaki farklılıklarının normalize edilerek topografik etkinin Minnaert Yöntemi sonucunda azaldığını belirlemişlerdir. Jiang ve diğ. (2022) engebeli arazilerdeki ormanlık alanlarda bitki örtüsü ile ilgili analizlerde sıklıkla kullanılan görünür ve yakın kızılötesi dalga boyundaki bantlarda gölge etkisinin topografik düzeltme yöntemleri ile giderilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Chi ve diğ. (2022) hiperspektral görüntülerde farklı topografik düzeltme yöntemlerini test ettikleri çalışmada Cosine ve SCS topografik düzeltme yöntemlerinin görüntüdeki belli bantlarda aynı eğilim gösterdiğini, görünür ve kısa dalga kızılötesi bantlarında düzeltmelerin zayıf olduğunu tespit etmişler ve çalışmalarında Minnaert ve PBM yöntemlerinin arazinin eğimine göre performanslarının değiştiğini belirlemişlerdir.

Görüntü sınıflandırma yöntemlerinden Maksimum Olabilirlik ve Rastgele Orman yöntemleri literatürde sıklıkla kullanılan sınıflandırma yöntemleridir. Gitas ve Devereux (2006)’da Akdeniz Bölgesi’nde ormanlık alanlarda yangın sonrası yanan alanların sınıflandırılmasında topografik düzeltme uygulanmış ve topografik düzeltme uygulanmamış görüntülere Maksimum Olabilirlik Yöntemi’ni uygulamışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmada, doğruluk değerlendirmesi ve hata analizi sonucunda, topografik düzeltme uygulanmış uydu görüntülerinden sınıflandırma sonucunda yanan alanın daha doğru haritalandığı belirlenmiştir. Singh ve Talwar (2013) Maksimum Olabilirlik Sınıflandırma Yöntemi’ni topografik olarak düzeltilmiş ve topografik olarak düzeltilmemiş MODIS uydu görüntülerine uyguladıklarında topografik düzeltilmiş sınıflandırılmış görüntülerin, topografik düzeltme olmadan sınıflandırılmış görüntülere göre daha iyi sonuçlar gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu bağlamda topografik düzeltme uygulanmamış görüntünün sınıflandırma doğruluğunu %78, topografik düzeltme uygulanmış görüntünün sınıflandırma doğruluğunu %88 olarak tespit etmişlerdir. Phiri ve diğ. (2018) Landsat 8 görüntüsüne arazi örtüsü sınıflandırması için uyguladıkları Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi’nde

%66'lık bir sınıflandırma doğruluğuna ulaşırken, topografik düzeltilmiş görüntüde sınıflandırma doğruluğunun %86'ya yükseldiğini belirlemişlerdir. Dong ve diğ. (2020) Landsat 8 uydu görüntüsüne topografik düzeltme yöntemi uygulayıp, ağaç türlerini sınıflandırmak amacıyla Rastgele Orman Yöntemi'ni kullanmışlardır. Bu kapsamda genel doğruluğun tüm çalışma alanında %4 ve gölgesiz alanlarda %13 arttığını tespit ederek topografik düzeltmenin orman türlerinin sınıflandırılması için uygun bir ön işleme yöntemi olduğunu söylemişlerdir.



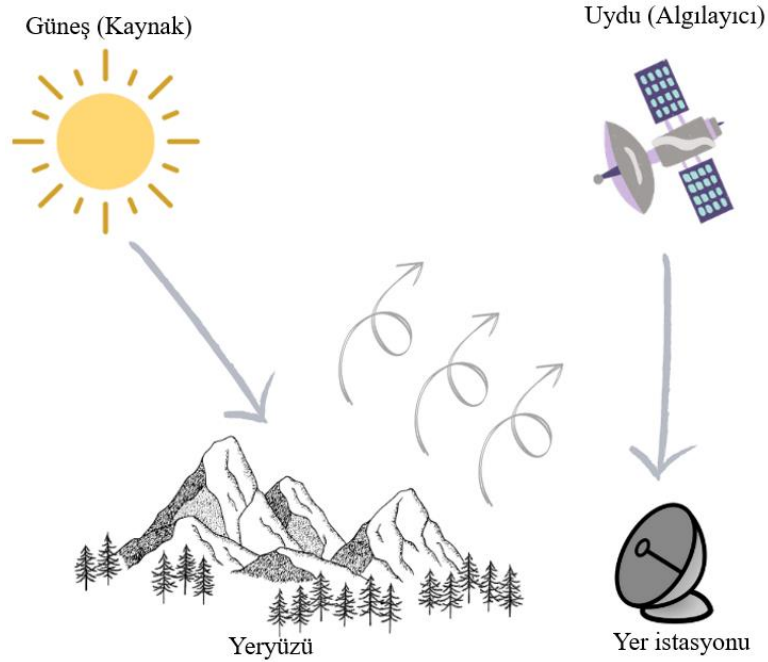


2. UZAKTAN ALGILAMA ve GÖRÜNTÜ İŞLEME

2.1 Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama arada fiziksel temas olmadan bir objeden yayılan veya yansıtılan elektromanyetik ışınımın değerlendirilerek objenin özelliklerinin uzaktan ölçülerek belirlenmesidir (Sunar ve diğ, 2011). Uzaktan algılama sistemlerinde temel bileşenler hedef, enerji kaynağı, iletim yolu ve algılayıcıdır. Hedeften (obje) gelen enerji kaydedilir, uydu yer istasyonuna iletilir ve görüntü formatına dönüştürülmek için işlenir. Görüntülerden çeşitli analizlerle bilgi çıkarılır.

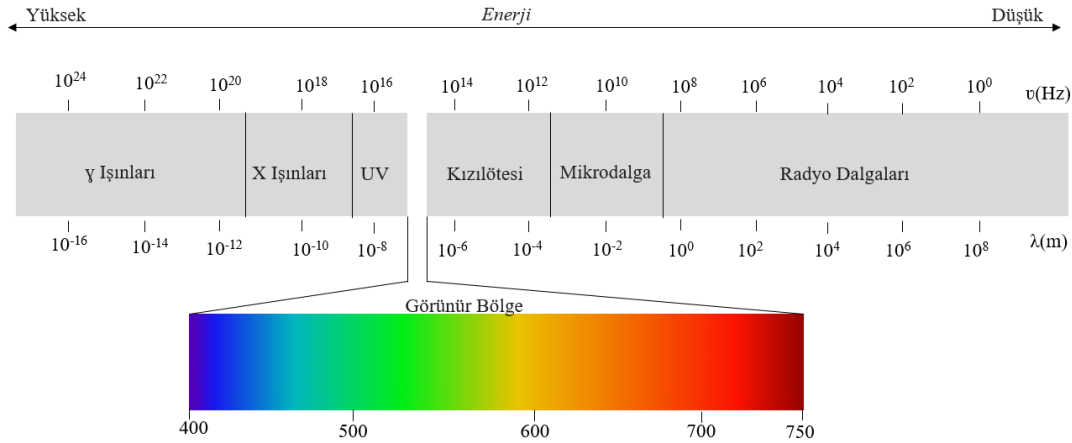
Uzaktan algılamada aktif algılama ve pasif algılama olmak üzere iki farklı algılama sistemi vardır. Aktif algılayıcı sistemler güneş enerjisine ihtiyaç duymadan, kendi enerjisini sağlar ve hedeften yansıyan veya yayılan enerjiyi ölçer. Pasif algılayıcı sistemler ise enerji kaynağı olarak Güneş'i kullanarak, hedeften yansıyan veya yayılan enerjiyi kaydeder (Şekil 2.1). Bu kaydetme işlemi elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde gerçekleşir.



Şekil 2.1 : Pasif uzaktan algılama sistemi.

2.2 Elektromanyetik Spektrum

Dünya Güneş'ten gelen elektromanyetik ışınım ile aydınlatılır. Elektromanyetik ışınım elektrik ve manyetik dalgalardan oluşmaktadır. Elektromanyetik spektrum (ES), kısa dalga boylarından (yüksek frekans, yüksek enerji) uzun dalga boylarına (düşük frekans, düşük enerji) kadar olan bölgeleri içeren sürekli bir enerji ortamıdır. Bu bölgelerin dalga boyu ve frekans aralıkları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Elektromanyetik Spektrum (Url-1'den revize edilmiştir).

Elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde yeryüzüne ait farklı özellikler kaydedilmektedir. Elektromanyetik spektrumun algılama aralıkları, algılayıcıların tasarımında ve bir çalışmada kullanılacak uydu görüntüsünün seçiminde çok önemlidir (Musaoğlu,1999). Spektrumda gama (γ) ışınları, x ışınları, ultraviyole ışınlar, görünür ışınlar, kızılötesi ışınlar, mikrodalga ışınları ve radyo ışınları bulunmaktadır. Uzaktan algılama sistemleri, spektrumun farklı bölgelerinden yeryüzündeki cisimlerden yayılan ve yansıtılan enerji aracılığıyla yeryüzü cisimlerinin özelliklerini belirlemektedir. İnsan gözü spektrumdaki görünür bölgeyi algılayabilirken, uzaktan algılama sistemleri diğer bölgeleri de algılayabilmektedir. Elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde hem aktif hem de pasif algılama yapılabilir. Pasif algılayıcı sistemler genellikle görünür ve kızılötesi (IR) bölgesinden gelen ışınım için, aktif algılayıcı sistemler ise mikrodalga bölgesindeki ışınım için kullanılır. Görünür bölge 0.4 - 0.7 μm, yakın kızılötesi bölge (NIR) 0.72 - 1.1 μm, kısa dalga kızılötesi (SWIR) 1.1 - 3.0 μm ve mikrodalga 0.1 - 100 cm dalga boyu aralığındadır.

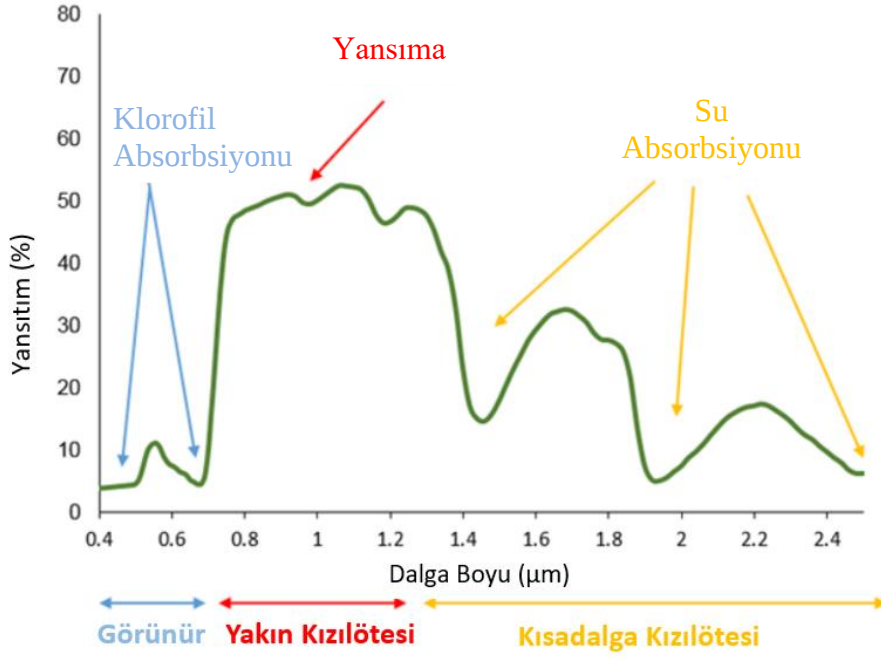
Uzaktan algılama sistemleri dünya yüzeyi ile etkileşime giren elektromanyetik ışınımı ölçer. Yer yüzeyi ile etkileşim elektromanyetik dalganın yönünü, yoğunluğunu, dalga boyu içeriğini ve polarizasyonunu değiştirebilir. Bu değişimler elektromanyetik

dalgaya maruz kalan objenin kimyasal ve fiziksel yapısına bağlıdır. Bu yüzden elektromanyetik dalganın yer yüzeyi ile etkileşimi sonucu meydana gelen elektromanyetik dalgadaki değişiklikler, yer yüzeyindeki objelerin özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlar (Smith, 2012).

2.3 Cisimlerin Spektral Yansıtım Özellikleri

Enerji kaynağından yeryüzüne ulaşan elektromanyetik enerji, yeryüzü üzerindeki cisme ulaştığında cisimle farklı şekillerde etkileşime girer. Bu etkileşimler elektromanyetik dalganın yutulması, geçirilmesi ve yansıtılması şeklindedir. Yutulan, geçirilen ve yansıtılan enerjilerin toplamı, cisme gelen toplam enerjidir. Cisme gelen elektromanyetik dalganın boyuna ve cismin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak; enerji yutulur, geçirilir ya da yansıtılır. Elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde, cisimler farklı yansıtım değerleri gösterirler (Musaoğlu, 1999). Görünür, yakın kızılötesi ve orta kızılötesi bölgelerine duyarlı optik algılayıcılar cisimlerden yansıyan enerjiyi kaydetmektedir. Spektral yansıtım eğrisi cisimlerin dalga boylarına göre cisimlerin yansıtım davranışları hakkında bilgi verir. Her cismin karakteristiklerine göre spektral yansıtım eğrisi farklılık gösterir. Spektral eğriler sayesinde cisimler birbirinden ayırt edilebilmektedir. Ayırt edilmek istenen farklı cisimler için spektral yansıtım eğrisi çizdirildiğinde elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde cisimlerin birbirinden ayırt edilip edilemeyeceği belirlenebilir. Örneğin su ve kara ayrımı yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bölgelerde daha belirgindir. Çünkü temiz su, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bölgelerde güçlü yutulmaya mavi dalga boylarında ise yüksek yansıtıma sahiptir. Zeminlerde ise zeminin su muhtevası, organik madde miktarı ve zeminin pürüzlülüğüne bağlıdır. Örneğin zemindeki su miktarı arttıkça yansıtım azalmakta, yutulma artmaktadır.

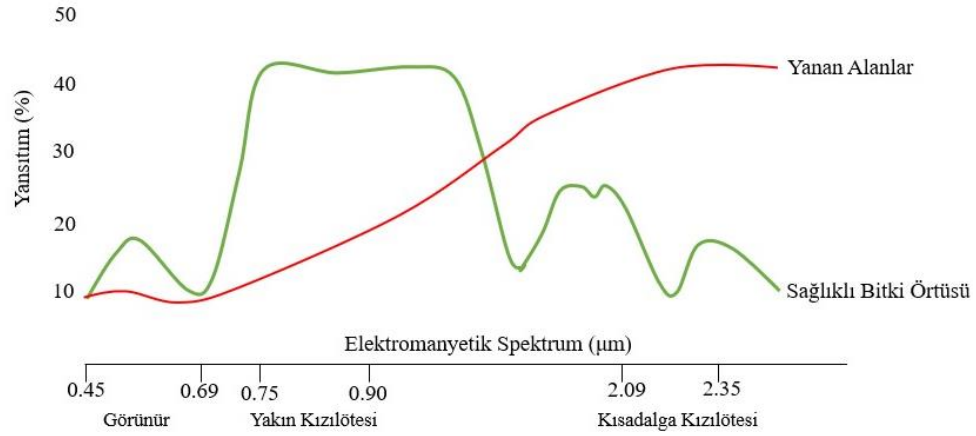
Bitkilerin spektral yansıtımının değerlendirilmesinde ise görünür ve kızılötesi bantlar önem taşır. Görünür, yakın kızıl ötesi ve kısa dalga kızıl ötesi bölgede bitkiler farklı yansıtım özellikleri gösterirler. Görünür bölgede bitkilerin içerdiği pigmentler gelen enerjiyi yuttukları için, bu bölgede bitki düşük yansıtıma sahiptir. Yakın kızılötesi dalgalar ise yüksek oranda yansıtılır, çok az kısmı yutulur. Kısa dalga kızılötesi yansıtım bitkideki su miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bitkideki su miktarı arttıkça uzun dalga boylarında yansıtım azalmakta ve yutulma artmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Bitkiye ait spektral yansıtım eğrisi (Url-2).

Görünür bölgede klorofil yeşil ışınımı geçirdiğinden, bu bölgede yaprak tarafından yansıtılan ışınım, yeşil olarak algılanır ve yaprak yeşil olarak görünür (Örmeci, 1987). Bazı bitkilerde sonbaharda yapraklarda klorofilin azalması karoten ve ksantofillerin artmasına neden olur ve yapraklar sararır. Bitkide klorofilin azalmasıyla antosyanins pigmenti artarsa yaprak açık kırmızı görünür. Yakın kızılötesi bölgede (0.40 – 1.30 µm) yaprak pigmentleri tamamen geçirgen olduğundan, sadece yapraktaki su içeriği nedeniyle 0.98 µm ve 1.20 µm dalga boylarında çok az yutulma meydana gelir. Bu bölgedeki spektral yansıma yaprak yapısı ile yakından ilgili olduğu için bitkilerin sağlık durumu yansıma farklılıklarından ayırt edilebilir (Musaoğlu, 1999).

Sağlıklı bitkiler yakın kızılötesi bölgede yüksek yansıma sahip iken görünür bölgede düşük yansıma sahiptir. Ormanlarda meydana gelen yangınlar bitki örtüsünde farklı derecelerde etkilere neden olur. Yanma şiddetine bağlı olarak ağaçların tamamı ya da bir bölümü yangından etkilenmiş olabilir. Bu durum da spektral yansıma eğrisinde değişikliklere neden olur. Şekil 2.4’de gösterildiği gibi yanan orman alanlarında yakın kızılötesi bölgede yansıtım değerleri yanmamış orman alanlarının yansımasına göre daha düşüktür.



Şekil 2.4 : Sağlıklı ve yanmış bitki örtüsüne ait spektral yansıtım eğrileri(Url-3'den revize edilmiştir.)

Sağlıklı bitki örtüsü yeşil dalga boyunda yaklaşık %20 oranında yansıtım gösterirken elektromanyetik spektrumun yaklaşık olarak 0.7 ile 1 µm arasında yansıtım oranı %45'lere ulaşmaktadır. Yanmış orman alanları ise özellikle elektromanyetik spektrumun 1 µm 'ye kadar olan bölgesinde düşük yansıtım değeri göstermekte, 1 µm 'den sonra ise toprağın yansıtma eğrisine benzer karakteristik göstermektedir. Görünür bölgede bitkideki yaprak pigmentleri ve yakın kızılötesi bölgede yaprağın fizyolojik yapısı spektral yansıtımı etkilemektedir. Yaprak pigmentleri ve fizyolojik yapı sağlıklı bitki örtüsünde yeşil yaprakların karakteristik yansıtımını oluşturur (Sunar ve diğ, 2011).

2.4 Görüntü Ön İşleme

Algılayıcılar tarafından elde edilen görüntüler algılayıcı, Güneş, atmosferik ve topografik etkilerden dolayı bozulmaya maruz kalır. Uydu görüntülerinden bilgi çıkarılması ve uydu görüntülerinin analizi öncesinde bu etkilerin en aza indirilmesinde ön işleme önemli bir süreçtir. Ön işleme, görüntü bileşenlerini niteliksel ve niceliksel olarak yorumlamak için geometrik düzeltme ve radyometrik düzeltme işlemlerini içerir (Young ve diğ, 2017). Geometrik düzeltmede uydu görüntüsünün geometrisi düzeltilerek, belli bir koordinat sisteminde tanımlanır. Uydu görüntüleri elde edilirken sistematik ve sistematik olmayan hatalar içerir. Bu görüntülerin çeşitli analizlerde ve harita olarak kullanılabilmesi için geometrik düzeltme ile düzeltilip bu hataların giderilmesi sağlanır. Radyometrik düzeltmede ise algılayıcı ve algılayıcı geometrisinden, Güneş'in geliş açısındaki farklılıklardan, atmosferik ve topografik etkilerden kaynaklanan hatalar giderilir. Uyduların kaydettiği elektromanyetik ışınım

dünya yüzeyinden algılayıcıya ulaşana kadar saçılma ve yutulma gibi atmosferik etkilerden etkilenecek bozulmaya maruz kalır (Sertel ve Örmeci, 2009). Görüntü üzerindeki bu atmosferik etkiler radyometrik düzeltmenin bir aşaması olan atmosferik düzeltme ile giderilir.

Geometrik ve radyometrik düzeltmeler yapıldıktan sonra uydu görüntüleri, çeşitli analizler yapılmasına hazır hale gelir. Radyometrik düzeltmenin içerisinde yer alan düzeltmelerden biri de topografik düzeltme işlemidir.

Görüntü ön işlemedeki önemli adımlardan biri, görüntünün topografik etkilerden arındırılıp, aydınlanma farklılıklarının giderildiği topografik düzeltme aşamasıdır. Bu çalışma kapsamında topografik düzeltme yöntemlerinin performanslarını karşılaştırmak amaçlandığından bu bölümde sadece topografik düzeltme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Topografik düzeltmede kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Topografik düzeltme yöntemleri ile uydu görüntülerindeki topografik etkilerin giderilmesi amaçlanır.

2.5 Topografik Düzeltme Yöntemleri

Ülkemizde geniş alanlara yayılan ormanlar genel olarak engebeli arazilerde bulunmaktadır. Bu yüzden ormanlık alanlarda uydu görüntülerinden bilgi çıkarılmasında topografya etkin bir faktördür. Değişken topografyaya sahip alanlarda gölge etkisi ve aydınlanma farklılıkları gibi topografik etkiler topografik düzeltme yöntemleri ile giderilebilmektedir. Çalışma kapsamında literatürde sıklıkla kullanılan Cosine, Minnaert, Piksel Tabanlı Minnaert (PBM), Sun Canopy Sensor (SCS), Minnaert+SCS ve Path Length Correction (PLC) yöntemleri kullanılmıştır.

Topografik düzeltme yöntemlerinin bazılarının uygulanma aşamasında aydınlanma modelinden faydalanılmaktadır (Illumination Model-IL) (Umarhadi ve Danoedoro, 2019). Aydınlanma modelinde gölge etkisi, aydınlanmadaki farklılıklar gibi topografik etkiler giderilmektedir. Bu modelin temeli; Güneş'in konumu ve görüntüdeki her bir pikselin SYM'den elde edilen eğimi ve yönü baz alınarak Güneş geliş (aydınlanma) açısının kosinüsünün belirlenmesidir. Denklem 2.1'deki formül ile hesaplanarak görüntünün elde edilme zamanında, görüntüdeki her pikselin aydınlanma koşulları modellenir (Smith ve diğ., 1980). Topografik düzeltmenin ilk aşaması olan

bu hesaplama sonucundan elde edilen güneş geliş açısının kosinüsü topografik düzeltme yöntemlerine ait denklemlerde girdi olarak kullanılmaktadır.

$$IL = \cos i = \cos \theta_z * \cos \alpha + \sin \theta_z * \sin \alpha * \cos (\varphi_s - \beta) \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte (i) Güneş geliş açısı, (θ_z) Güneş zenit açısı, (φ_s) Güneş azimut açısı, (α) eğim değeri, (β) bakı değeridir. Uydu görüntüsünün alındığı zamana ait olan Güneş zenit ve azimut açılarına, uydu görüntüsünün meta veri dosyasından ulaşılmaktadır. Denklemden yer alan eğim ve bakı değerleri ise SYM'den elde edilmektedir. Tüm bu değerler kullanılarak güneş geliş açısı hesaplanıp aydınlanma farklılıkları modellenmektedir.

2.5.1 Minnaert yöntemi

Minnaert Yöntemi, Minnaert (1941) tarafından ay yüzeyinde analizler yapmak amacıyla geliştirilmiştir. Smith ve diğ. (1980) ilk defa Minnaert katsayısını kullanarak topografik düzeltme yapmak amacıyla bu yöntemi uygulamışlardır. Yüzeyin Lambert yüzeyi olmadığı varsayımına dayanmaktadır. Düzeltmede topografyanın değişkenliği dikkate alınır. Güneş'in azimut ve yükselme açısı değişmediğinde, Güneş geliş açısını arazinin eğimi ve bakısı belirlemektedir. Bu yüzden bu yöntem topografyadaki eğimi esas alarak görüntülerdeki topografik etkileri giderir. Minnaert Yöntemi'nde yüzeyin Lambert yüzeyi olmadığını ifade eden 0 ve 1 arasında olan Minnaert katsayısı (k) vardır. Bu katsayı yansıtım değerleri, topografyanın eğimi ve aydınlanma modeli kullanılarak elde edilmektedir (Denklemler 2.2). Engebesiz ve düz zeminlerde 1'e yaklaşırken, engebeli zeminlerde 0'a yaklaşır.

$$\ln (\rho * \cos \alpha) = \ln \rho_h + k * \ln (\cos i * \cos \alpha) \quad (2.2)$$

k Minnaert katsayısı görüntüye ait her bant için regresyon analizinden hesaplanmaktadır. Burada $\ln (\rho * \cos \alpha)$ değeri bağımlı değişken (y); $\ln (\cos i * \cos \alpha)$ değeri ise bağımsız değişken (x) olarak belirlenmiştir. Denklem 2.3'te Minnaert Yöntemi'nin denklemi verilmiştir.

$$\rho_h = \rho * (\cos \theta_z / \cos i)^k \quad (2.3)$$

(ρ_h) topografik düzeltme sonrası yansıtım değeri, (ρ) topografik düzeltme öncesi yansıtım değeri, (θ_z) güneş zenit açısı ve (i) güneş geliş açısıdır.

2.5.2 Cosine yöntemi

Minnaert Yöntemi'yle benzer olan Cosine Yöntemi'nde, Minnaert Yöntemi'nden farklı olarak yüzey Lambert yüzeyi olarak kabul edilmektedir. Teillet ve diğ. (1982) tarafından önerilen Cosine Yöntemi' ne ait formül denklem 2.4'te verilmiştir.

$$\rho h = \rho * (\cos \theta_z / \cos i) \quad (2.4)$$

Bu yöntem ek parametre gerektirmez bu yüzden görüntülere kolayca uygulanır. Ancak bu düzeltme yönteminin kullanıldığı bazı çalışmalarda; aydınlanma koşulları düşük ve yetersiz, topografya çok fazla değişken olduğunda bazı alanların aşırı düzeltildiği tespit edilmiştir. Bu yüzden bu yöntemin devamı niteliğinde birçok yöntem geliştirilmiştir.

2.5.3 Sun Canopy Sensor (SCS) yöntemi

Gu ve Gillespie (1998) topografya ne olursa olsun ağaçların dikey olarak büyüdüğüne ve ağaçların gölgesinin arazinin yönü ile tutarlı olmadığını belirtmişlerdir. Bu yüzden, bitki örtüsünün spektral yansıtım özelliklerini düzeltmek için eğim ile arazinin bakışı arasındaki geometrik ilişkiyi kullanmak yerine; bitki örtüsünün kanopisinden başlayarak, SCS Yöntemi'ni önermişlerdir. Bu yöntem dağlık ve ormanlarla kaplı alanlarda kanopi yansıtım değerlerini normalize etmektedir. Denklem 2.5'te bu yönteme ait formül gösterilmektedir.

$$\rho h = \rho * (\cos \alpha * \cos \theta_z) / \cos i \quad (2.5)$$

2.5.4 Minnaert+SCS yöntemi

Minnaert ve SCS yöntemlerinin birbiriyle entegre edilmesi sonucu Reeder (2002) yeni bir algoritma oluşturmuştur. Yönteme ait eşitliğin gösterildiği denklem 2.6, Minnaert Yöntemi denkleminin, eğim değeri ($\cos \alpha$) ile çarpımı sonucunda elde edilir.

$$\rho h = \cos \alpha * \rho * (\cos \theta_z / \cos i)^k \quad (2.6)$$

2.5.5 Piksel Tabanlı Minnaert (PBM) yöntemi

Piksel Tabanlı Minnaert Yöntemi, Minnaert katsayıları ile topografyadaki eğimler arasında ilişki kurarak uydu görüntüsü üzerindeki topografik etkileri azaltmaktadır. Lu ve diğ. (2008) tarafından geliştirilen PBM Yöntemi'nde denklem 2.7'de görüldüğü üzere eğim değeri eklenerek yeni bir denklem oluşturulmuştur. PBM Yöntemi'nde kullanılan k katsayısı Minnaert Yöntemi'nde kullanılan katsayı ile aynıdır.

$$\rho h = \rho * \cos\alpha / ((\cos\alpha * \cos i))^k \quad (2.7)$$

2.5.6 Path Length Correction (PLC) yöntemi

PLC Yöntemi, kanopiler içindeki ışık ve yapraklar arasındaki etkileşimi belirten klasik ışımsal aktarım denklemine dayalı olarak María Luisa (2008) tarafından önerilmiştir. PLC Yöntemi'nin anahtarı olan yapraklardan tek sıralı saçılma modellenmektedir. Bu yöntemde ormanlık ve dağlık alanlarda topografya kaynaklı kanopi bozulmasını düzelterek bitki örtüsünün yansıma değerleri yeniden üretilmektedir (Denklem 2.8).

$$\rho h = \rho * \frac{(1/\cos\theta_z) + (1/\cos\theta_z) * (1 - \tan\alpha * \cos(\varphi_s - \beta) * \tan\theta_z)}{(1/\cos\theta_v) + (1/\cos\theta_v) * (1 - \tan\alpha * \cos(\varphi_v - \beta) * \tan\theta_v)} \quad (2.8)$$

Bu formüllerde diğer formüllerden farklı olarak (θ_v) algılayıcı zenit açısı ve (φ_v) algılayıcı azimut açısıdır.

2.6 Sınıflandırma

Sınıflandırma işlemi, uydu görüntülerinden bilgi çıkarımında sıklıkla kullanılan bir görüntü işleme yöntemidir. Sınıflandırmanın amacı benzer özelliklere sahip objelerin gruplandırılmasıdır. Görüntülerin sınıflandırılmasında özellik çıkarımı, parametrik veya parametrik olmayan bir sınıflandırma yönteminin seçimi, sınıflandırma sonrası doğruluk analizi gibi işlemler temel aşamaları oluşturmaktadır (Lu ve Weng, 2007). Literatürde birçok sınıflandırma yöntemi mevcuttur. Sınıflandırma yöntemleri kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kontrollü sınıflandırma yaklaşımında objelere ait sınıfları temsil eden tematik bilgilerden eğitim alanları oluşturularak, her bir objenin atanacağı sınıf belirlenir. Eğitim verileri her sınıfı temsil edecek pikseller seçilerek oluşturulur. Kontrolsüz sınıflandırma yaklaşımında ise eğitim verisine gerek olmadan kümeleme yapılarak farklı algoritmalar aracılığıyla görüntü üzerinde doğal gruplar oluşturulur (Domadia ve Zaveri, 2011). Ayrıca sınıflandırmalar piksel tabanlı ve obje tabanlı olmak üzere iki farklı yolla yapılabilmektedir. Piksel tabanlı yöntemler arazi örtüsü özelliklerini tekil piksellerden veya tekil piksellerin komşuluk ilişkisinden çıkararak gerçekleştirirken; nesne tabanlı yöntemler piksel gruplarını yani nesneleri ele alarak sınıflandırmayı gerçekleştirir (Liu ve diğ, 2021). Nesneler segmentasyon işlemi sonucunda çeşitli algoritmalar kullanılarak oluşturulur. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemleri daha çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinde tercih edilen bir yöntemdir. Uydu

görüntülerinin sınıflandırılmasında görüntü işlemedeki gelişmelere paralel olarak kısa sürede yüksek doğrulukta çözüm üreten yöntemler geliştirilmektedir. Yapay sinir ağları ile başlayan daha sonra makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri ile devam eden görüntü sınıflandırma günümüzde uydu görüntülerinden bilgilerin yüksek doğrulukla üretilmesine olanak sağlamaktadır. Uzaktan algılama çalışmalarında gerçekleştirilen birçok görüntü sınıflandırma işleminde, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerinin, klasik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Zhag ve diğ., 2016). Görüntülerin sınıflandırılmasında zamandan ve maliyetten tasarruf edilmesi, insan etkisinin mümkün olduğunca azaltılarak çeşitli analiz ve işlemlerin otomatik olarak gerçekleştirilmesi ve doğruluğu yüksek bilgilerin elde edilmesi makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri ile mümkün olabilmektedir. Örneğin makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olan karar ağaçları literatürde sıklıkla kullanılmaktadır ve bu yöntem ile yapılan çalışmalardan yüksek doğrulukta sonuçlar alınmaktadır. Karar ağaçlarına dayanan birçok sınıflandırma yöntemi mevcuttur, bunlardan biri de Rastgele Orman algoritmasıdır.

Tez çalışması kapsamında kontrollü sınıflandırma yöntemlerinden Maksimum Olabilirlik ve Rastgele Orman algoritmaları kullanılmıştır. Sınıflandırılmış görüntüler tematik doğruluk analizi ile değerlendirilmiştir.

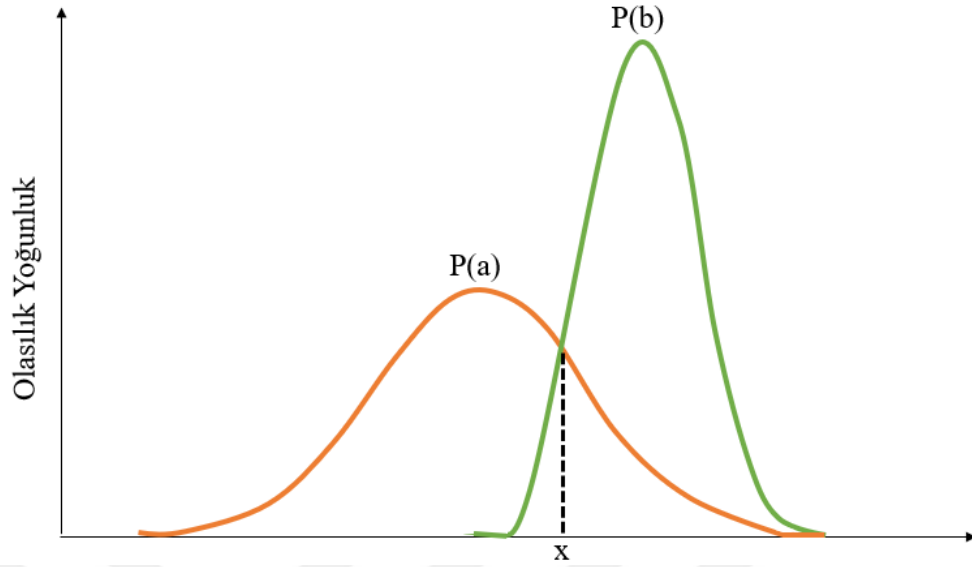
2.6.1 Maksimum olabilirlik sınıflandırma yöntemi

Uzaktan algılama uygulamalarında en çok kullanılan yöntemlerden biri olan Maksimum Olabilirlik Sınıflandırma Yöntemi'nde görüntüye ait her bir piksel, olasılık değerlerine göre atanma olasılığının en yüksek olduğu sınıfa atanır (Lillesand ve diğ., 2018). Bu yöntemde ortalama, varyans ve kovaryans gibi istatistiki değerler dikkate alınır. Her bir pikselin tüm sınıflara ait olma olasılıkları hesaplanır ve piksellerin ait olduğu sınıflar belirlenir. Maksimum Olabilirlik Yöntemi'nde kullanılan formül denklem 2.9'da gösterilmiştir.

$$D = \ln(a_c) - [0.5 \times \ln(|Kov_c|)] - [0.5 \times (X - M_c)^T \times (Kov_c^{-1}) \times (X - M_c)] \quad (2.9)$$

Bu formülde; 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 ifade etmektedir (Çölkesen, 2009).

Maksimum Olabilirlik Yöntemi'nde belli bir sınıf içindeki verilerin Gauss dağılımına uyduğu varsayılır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Maksimum Olabilirlik Yöntemi 'nin temel prensibi: Olasılık yoğunluk eğrileri (Sisodia ve diğ, 2014'den revize edilmiştir).

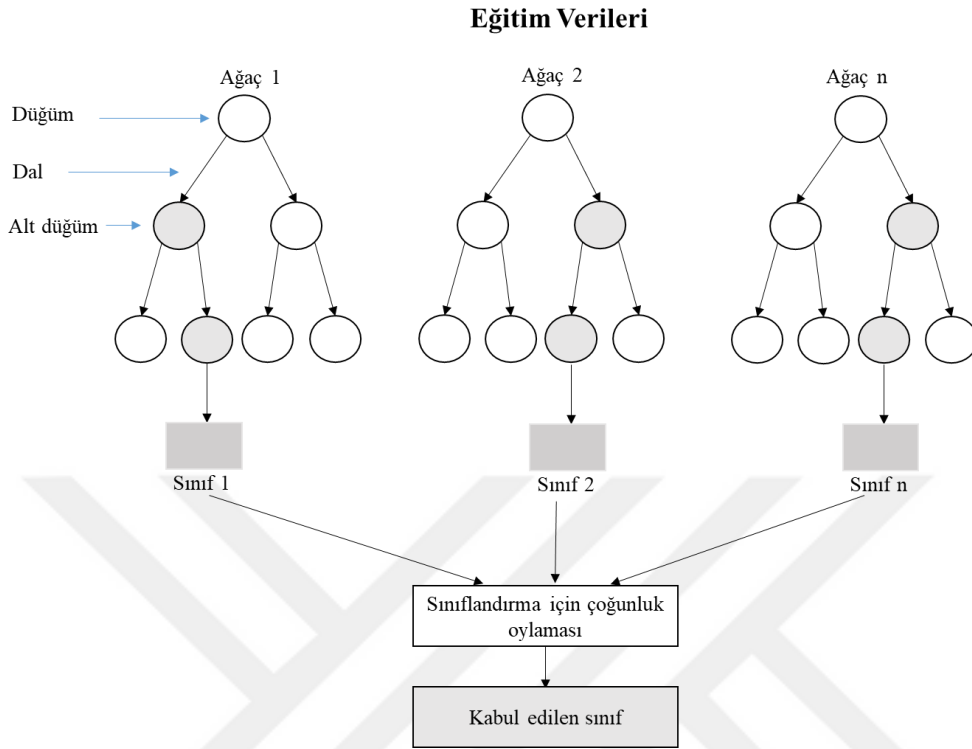
Şekil 2.5'de görüleceği üzere olasılık fonksiyonlarının kesişimi olan x noktasının solundaki örüntüler (a) sınıfına, sağındaki örüntüler (b) sınıfına atanır. Maksimum Olabilirlik Yöntemi'nde çalışma alanında öncelikle farklı arazi türleri belirlenip eğitim verileri oluşturulur. Daha sonra her bir sınıfın ortalama vektörü ve kovaryans matrisi tahmin edilir ve denklem 2.9'a göre ait olma olasılıkları belirlenir. Daha sonra, piksellerin belirli bir sınıfa ait olmasını belirleyen bir olasılık eşiği seçilir. Seçilen piksel olasılık eşiğine eşitse, bir sınıfa atanır, aksi takdirde pikseller sınıflandırılmamış olarak kalır (John ve Varghese, 2022).

2.6.2 Rastgele orman sınıflandırma yöntemi

Rastgele Orman Sınıflandırması (RO) en yüksek performans gösteren sınıflandırma yöntemlerinden biridir. Bu yöntemin temeli karar ağaçlarına dayanır (Breiman, 2001). Karar ağaçlarında eğitim verileri analiz edilerek piksel değerlerinin hangi sınıfa ait olduğu belirlenir. Bu belirleme eğitim verilerinden çıkarılmış kurallara göre yapılır (Erdem ve diğ, 2018).

Rastgele Orman Yöntemi sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir toplu öğrenme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda aynı sorunu çözmek için birden çok model entegre edilerek doğruluğu artıran bir şema oluşturulur (Sheykhmousa ve diğ, 2020). RO algoritmasındaki her ağaç, kontrollü öğrenme

yoluyla tahmine dayalı olarak oluşturulmaktadır. Bu algoritma temel olarak düğüm, dal ve yapraklardan oluşmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Rastgele Orman Algoritması temel yapısı.

Düğümler, bir olayla ilişkili olası öznitelikleri; kök olarak adlandırılan ilk düğüm en önemli bilgi kazanımını, dallar öznitelik değerlerini ve yapraklar sınıfları temsil etmektedir (Louppe,2014). RO algoritmasında iki temel parametre kullanılır. Bu parametreler her düğüm için kullanılan değişken sayısını ifade eden m ve oluşturulacak ağaç sayısını ifade eden N ' dir. Bu parametrelerden hareketle eğitim verilerinden karar ağaçları oluşturulur.

2.7 Tematik Doğruluk Analizi

Sınıflandırılmış görüntüden elde edilecek bilgilerin güvenilirliğinin belirlenmesi, sınıflandırma sonrası önemli bir aşamadır. Bu kapsamda sınıflandırmada doğruluk kavramı ortaya çıkar. Sınıflandırmada doğruluk; sınıflandırmadaki hataların tespit edilip giderilmesi, sınıflandırma sonucu yapılan analizlerin güvenilirliğinin belirlenmesi ve hangi sınıflandırma yönteminin kullanılacağına karar vermek amacıyla kullanılabilir. Hata matrisi sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesinde en yaygın kullanılan yaklaşımdır. Hata matrisinde hangi sınıfa ait

olduğu kesin olarak bilinen referans (test) verisi kullanılmaktadır. Görüntüler sınıflandırıldıktan sonra referans verilere karşılık gelen piksellerin hangi sınıfa atandığı belirlenip, referans veri ve sınıflandırılmış veriler satır ve sütun halinde birleştirilerek bir matris oluşturulur. Bu matrise göre toplam n tane sınıf için hata matrisi n satır ve n sütundan oluşmaktadır. Genel doğruluk ise matrisin köşegen elemanlarının n satır ve sütun sayısı toplamına bölünmesi ile bulunmaktadır (Şekil 2.7). Genel doğrulukla birlikte her bir sınıf için üretici ve kullanıcı doğruluğu hesaplanmaktadır. Üretici doğruluğu doğru sınıflandırılmış örnek sayısının sütun sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Kullanıcı doğruluğu ise doğru sınıflandırılmış örnek sayısının satır sayısına oranıdır. Örneğin Şekil 2.7’deki tabloya göre 1 sınıfı için üretici doğruluğu x_{11}/n_{+1} oranından hesaplanırken, kullanıcı doğruluğu x_{11}/x_{1+} oranından hesaplanmaktadır.

		Referans Veri				
	Sınıflar	1	2	k	n	Satır Toplamı
Sınıflandırma Verisi	1	x_{11}	x_{12}	x_{1k}	x_{1n}	x_{1+}
	2	x_{21}	x_{22}	x_{2k}	x_{2n}	x_{2+}
	k	x_{k1}	x_{k2}	x_{kk}	x_{kn}	x_{k+}
	n	x_{n1}	x_{n2}	x_{nk}	x_{nn}	x_{n+}
	Sütun Toplamı	n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n_{+n}	n

$$\text{Genel Doğruluk} = \frac{x_{11} + x_{22} + x_{kk} + x_{nn}}{n}$$

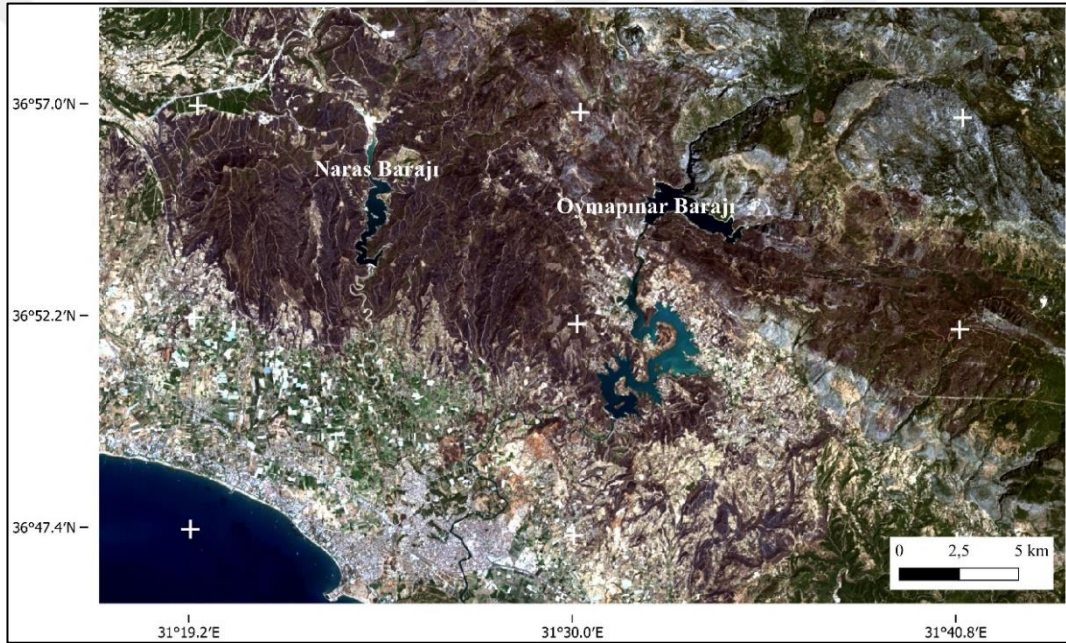
Şekil 2.7 : Hata matrisi ve genel doğruluk.



3. UYGULAMA

3.1 Çalışma Alanı ve Veri

Çalışma alanı Antalya'nın Manavgat ilçesindeki dağlık ve ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Naras Barajı ve Oymapınar Barajı olmak üzere iki adet baraj barındıran, maksimum yüksekliğin 1308 m ve ortalama yüksekliğin 359 m olduğu bu bölgenin büyük bir kesimini ormanlar oluşturmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Çalışma alanı.

Çalışma kapsamında Landsat-8, Sentinel 2 ve Pleiades uydu görüntüleri kullanılmıştır. 11 Şubat 2013 tarihinde uzaya fırlatılan LANDSAT 8 uydusu OLI ve TIRS olmak üzere iki algılayıcı taşımaktadır. U.S. Geological Survey (USGS) tarafından açık erişime sunulan 3 Ekim 2019'da algılanmış Landsat 8 OLI uydu görüntüsünün genel özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. Sentinel 2 uydusu ise, Copernicus programı kapsamında Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilmiştir. 2015 yılında Sentinel 2A uydusu, 2017 yılında ise Sentinel 2B uydusu uzaya fırlatılmıştır. Çalışmada kullanılan Sentinel 2A uydusundan elde edilen uydu görüntüsüne ait özellikler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. 2011 ve 2012 yıllarında uzaya fırlatılan

Pleiades 1A ve 1B uyduları Fransa ve İtalya'ya ait ORFEO (Optical and Radar Federated Earth Observation) Programı'nın yüksek çözünürlüklü görüntüleme sistemidir (Url-4). Pleiades uydu görüntüsünün özellikleri Çizelge 3.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 : Landsat-8 OLI Özellikleri (Url-5).

Bant No	Bant	Dalga Boyu (µm)	Mekânsal Çözünürlük (m)
1	Kıyı/Aerosol	0.433 - 0.453	30
2	Mavi	0.450 - 0.515	30
3	Yeşil	0.525 - 0.600	30
4	Kırmızı	0.630 - 0.680	30
5	Yakın Kızılötesi	0.845 - 0.885	30
6	Kısa Dalga Kızılötesi	1.560 - 1.660	30
7	Kısa Dalga Kızılötesi	2.100 - 2.300	30
8	Pankromatik	0.500 - 0.680	15
9	Sirrus	1.360 - 1.390	30
Radyometrik Çözünürlük = 16 bit			
Zamansal Çözünürlük = 16 gün			

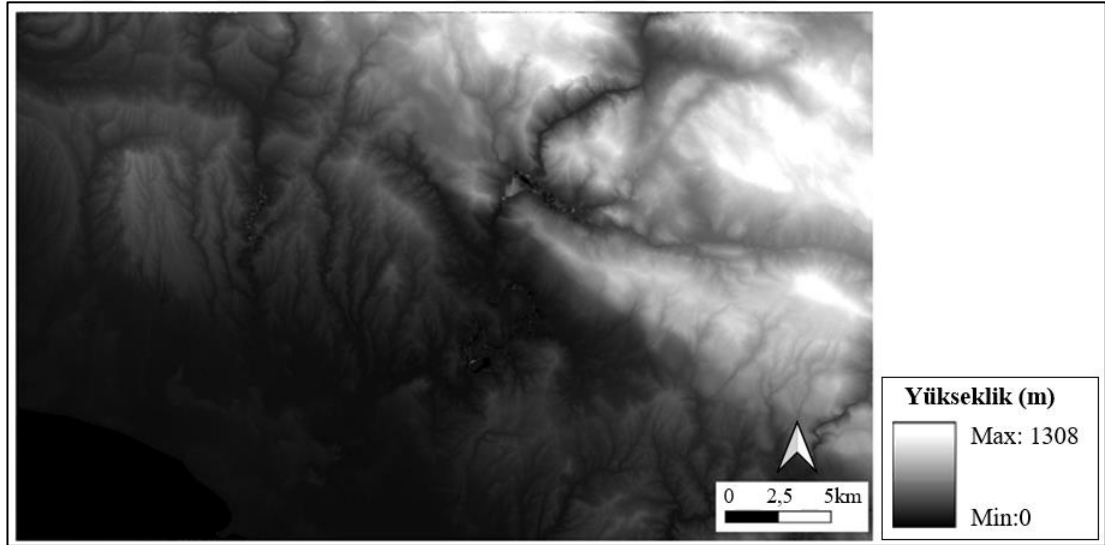
Çizelge 3.2 : Sentinel-2 Özellikleri (Url-6).

Bant No	Bant	Dalga Boyu (µm)	Mekânsal Çözünürlük (m)
1	Kıyı/Aerosol	0.433 – 0.453	60
2	Mavi	0.458 – 0.523	10
3	Yeşil	0.543 – 0.578	10
4	Kırmızı	0.650 – 0.680	10
5	Vejetasyon Red Edge	0.698 – 0.713	20
6	Vejetasyon Red Edge	0.733 – 0.748	20
7	Vejetasyon Red Edge	0.773 – 0.793	20
8	Yakın Kızılötesi	0.785 – 0.900	10
8A	Daraltılmış Yakın Kızılötesi	0.855 – 0.875	20
9	Su Buharı	0.935 – 0.955	60
10	Kısa Dalga Kızılötesi- Sirrus	1.365 – 1.385	60
11	Kısa Dalga Kızılötesi	1.565 – 1.655	20
12	Kısa Dalga Kızılötesi	2.100 – 2.280	20
Radyometrik Çözünürlük = 12 bit			
Zamansal Çözünürlük = 5 gün			

Çizelge 3.3 : Pleaides Özellikleri (Url-7).

Bant No	Bant	Dalga Boyu (µm)	Mekânsal Çözünürlük (m)
1	Mavi	0.450 – 0.530	2
2	Yeşil	0.510 – 0.590	2
3	Kırmızı	0.620 – 0.700	2
4	Yakın Kızılötesi	0.775 – 0.915	2
5	Pankromatik	0.480 – 0.820	0.5
Radyometrik Çözünürlük = 12 bit			
Zamansal Çözünürlük = 26 gün			

Topografik düzeltme yöntemlerinde gerekli olan verilerden olan SYM' ler, USGS açık erişiminden ve Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) temin edilmiştir. USGS' den temin edilen SYM; Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 30 m mekansal çözünürlüğünde, HGM'den temin edilen SYM 5 m mekansal çözünürlüğündedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Çalışma alanına ait HGM'den alınan SYM.

Yanmış alanların kontrolünde HGM'den temin edilen yangın sonrasına ait 1 Ağustos 2021 tarihli ortofotolar ve arazi çalışmasında kaydedilen 9 Ekim 2021 tarihli hava fotoğraflarından yararlanılmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4).



Şekil 3.3 : Çalışma alanında Naras Barajı ve çevresine ait ortofoto.

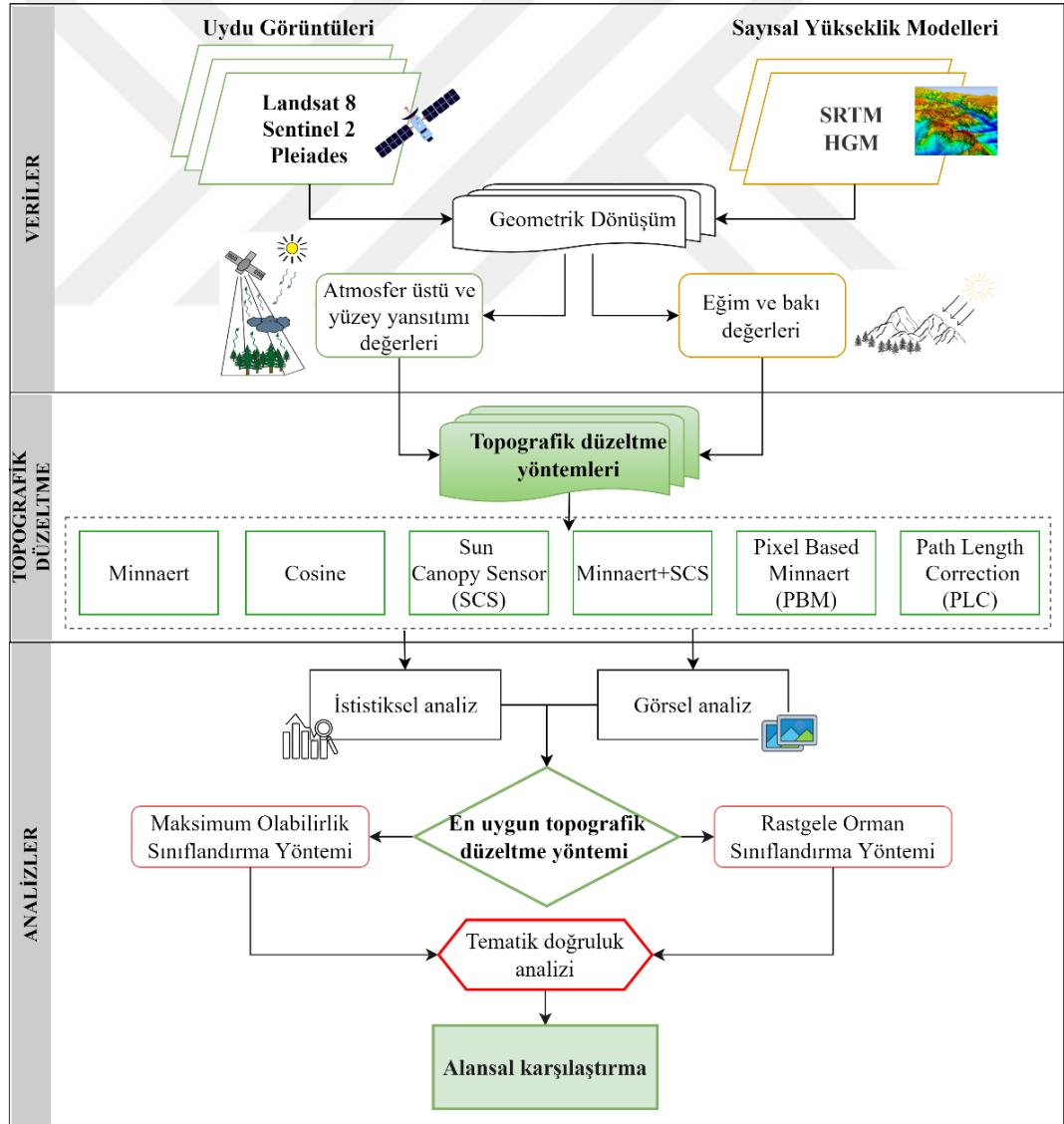


Şekil 3.4 : Naras Barajı ve çevresine ait yangın sonrası İHA görüntüsü (Özcan, 2021).

3.2 Yöntem

Topografik düzeltme yöntemlerinde uydu görüntüsü ve SYM birlikte kullanılmaktadır. Bu kapsamda uydu görüntüsünden yansıtım değerleri, güneş ve algılayıcı açıları gibi parametreler alınırken; SYM'den eğim ve bakı değerleri alınarak topografik düzeltme yöntemleri görüntülere uygulanmaktadır. Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait meta veri dosyaları incelenmiş ve topografik düzeltme için

gerekli olan açı değerleri buradan alınmıştır. Uydu görüntüleri ve SYM aynı koordinat sisteminde tanımlanmıştır. SYM'den eğim ve bakı parametreleri hesaplanmıştır. Topografik düzeltme yöntemleri ampirik karakterli oldukları için atmosfer üstü ışınımına, atmosfer üstü yansımaya veya yüzey yansımaya dönüştürülmüş görüntülere uygulanabilir (Vogtli ve diğ., 2021). Bu çalışmada atmosfer üstü yansımaları (TOA) ve yüzey yansımaları değerleri kullanılmıştır. Tüm bu parametrelere dayanarak görüntülere topografik düzeltme yöntemleri uygulanmıştır. Görsel ve istatistiksel analizler sonucu en yüksek performans gösteren topografik düzeltme yöntemleri belirlenmiştir. Topografik düzeltilmiş görüntülere Maksimum Olabilirlik ve Rastgele Orman sınıflandırma yöntemleri uygulanarak doğruluk analizi ve alansal karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 3.5’de çalışmaya ait iş akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Çalışmaya dair iş akış diyagramı.

3.3 Topografik Düzeltme Yöntemlerinin Uydu Görüntülerine Uygulanması

Tez kapsamında Landsat 8, Sentinel 2 ve Pleiades uydu görüntülerine topografik düzeltme yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerde Landsat 8 uydu görüntüsünde SRTM sayısal yükseklik modeli, Sentinel 2 uydu görüntüsünde SRTM ve HGM'den temin edilen sayısal yükseklik modeli ve Pleiades uydu görüntüsünde HGM'den temin edilen sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Topografik düzeltme yöntemleri tüm görüntülerdeki ortak bantlar olan mavi, yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi bantlara uygulanmıştır. Çizelge 3.4'te uydu görüntülerinin alındığı tarihler, topografik düzeltme yöntemlerinde kullanılan açılar, yansıtımlar ve SYM' ler hakkında bilgiler mevcuttur.

Çizelge 3.4 : Topografik düzeltme yöntemlerinde kullanılan parametrelere ve uydu görüntülerine ait bilgiler.

Uydu Görüntüsü	Tarih	GAA	GZA	BOA	TOA	Kullanılan SYM
Landsat 8	26.08.2021	133.1337°	29.8298°	x	✓	SRTM
Sentinel 2	24.08.2021	145.3397°	29.6672°	✓	✓	SRTM,HGM
Pleiades	14.07.2022	129.6788°	21.3780°	x	✓	HGM

Çizelgede GAA Güneş azimut açısı, GZA Güneş zenit açısı, BOA atmosfer altı yansıtım ve TOA atmosfer üstü yansıtımdır.

3.3.1 İstatistiksel ve görsel analiz

Topografik düzeltme yöntemlerinden beklenen performans görüntülere ait bant yansıtım değerlerinin standart sapma değerlerinin (SD), benzer arazi örtüsü sınıflarında azalmasıdır. Bu sayede aynı arazi örtüsünde aydınlanma farklılıkları ve gölge etkisi giderilir. Standart sapma değerine ek olarak yeryüzü üzerinde bir arazi örtüsü boyunca yansımaların varyasyon katsayısı (CV) değeri de düşmelidir (Vanonckelen ve diğ, 2014). Bu açıdan değerlendirildiğinde başarılı bir topografik düzeltme yöntemi sonucunda görüntülerde benzer arazi örtüsü/kullanımı sınıfları için CV değerleri, topografik düzeltme yapılmamış görüntüye kıyasla daha düşük olmalıdır. Çalışmada her düzeltme yöntemi öncesi ve sonrası SD ve CV değerleri sırasıyla denklem 3.1 ve denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmış; bu değerlerdeki artma ve azalmalar her bant için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

$$SD = \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} * \sum_{p=1}^N (\rho_p - \mu)^2} \quad (3.1)$$

$$CV = 100 * \sigma / \mu \quad (3.2)$$

Denklemlerde ρ_p görüntüdeki her bir pikselin yansıtım değeri, N toplam piksel sayısı, σ bantlara ait standart sapma değeri ve μ bantlara ait ortalama yansıtım değeridir. İstatistiksel değerlendirmeler için tamamı yanmış, topografik değişkenliğin fazla olduğu bir orman alanı seçilerek bu alandaki SD ve CV değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Topografik düzeltme uygulanmamış görüntünün her bir bandına ait SD ve CV değerlerinin, topografik düzeltme uygulanmış görüntülere ait SD ve CV değerlerinden çıkarılması ile her bir banttaki değişim ve bu değerlerin toplanmasıyla da toplam değişim belirlenmiştir.

Topografik düzeltmeler sonucunda görüntülerde, gölgeli alanlardaki her arazi örtüsünün ortalama yansıtım değerleri artmalı, Güneş'in aydınlattığı arazi örtüsünün ortalama değerleri ise azalmalıdır. İyi performans gösteren topografik düzeltme yöntemleri sonucunda, topografyadaki değişkenliklerden kaynaklanan aydınlanma farklılıklarının giderilerek uydu görüntülerinin benzer arazi örtüsü/kullanımlarında daha homojen bir görünüme sahip olması beklenmektedir.

3.3.2 Landsat 8 görüntüsü topografik düzeltme sonuçları

Yangın sonrası elde edilmiş 26 Ağustos 2021 tarihli Landsat 8 uydu görüntüsüne, 30 m mekansal çözünürlüklü SYM kullanılarak topografik düzeltme yöntemleri uygulanmıştır. Tüm yöntemlerde atmosfer üstü yansıtım değerleri kullanılmıştır. Atmosfer üstü yansıtım değerleri denklem 3.3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\rho_\lambda = \rho_\lambda' / \sin(se) \rightarrow \rho_\lambda' = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (3.3)$$

Denklemden (ρ_λ') güneş açısı düzeltmesi yapılmamış yansıtım değerini, (M_p) ve (A_p) yeniden ölçeklendirme faktörlerini, (Q_{cal}) kalibre edilmiş piksel değerlerini, (se) güneş yükseklik açısını ve (ρ_λ) atmosfer üstü yansıtım değerini ifade etmektedir.

Topografik düzeltme yöntemlerinde kullanılan Güneş azimut açısı 133.1337° ve Güneş zenit açısı 29.8298° 'dir. Topografyanın değişken olduğu çalışma alanında topografik düzeltmeler sonucu görsel ve istatistiksel analizler yapılmıştır.

İstatistiksel analizde; Landsat 8 uydu görüntüsüne topografik düzeltme yöntemlerinin uygulanması sonucunda elde edilen görüntülere ait standart sapma ve varyasyon

katsayısı değerleri, topografik düzeltme uygulanmamış görüntüye ait standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 : Landsat 8 uydu görüntüsünde topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerde bantlar arasındaki SD ve CV değerleri farkı.

Yöntemler		B1	B2	B3	B4	Σ Değişim
Minnaert	SD	0.001	-0.001	-0.001	-0.005	-0.006
	CV	-0.374	-0.961	-1.426	-1.790	-4.551
Cosine	SD	0.003	0.001	-0.001	0.002	0.005
	CV	2.657	1.025	-1.419	0.502	2.765
SCS	SD	0.003	0.003	0.003	0.005	0.013
	CV	1.548	1.651	1.802	0.867	5.868
Minnaert+SCS	SD	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005	-0.013
	CV	-0.854	-1.681	-2.719	-1.148	-6.403
PBM	SD	-0.001	-0.001	-0.001	-0.005	-0.009
	CV	-1.289	-1.913	-2.435	-2.192	-7.828
PLC	SD	0.012	0.012	0.019	0.025	0.068
	CV	-1.162	-1.931	-2.663	-2.032	-7.787

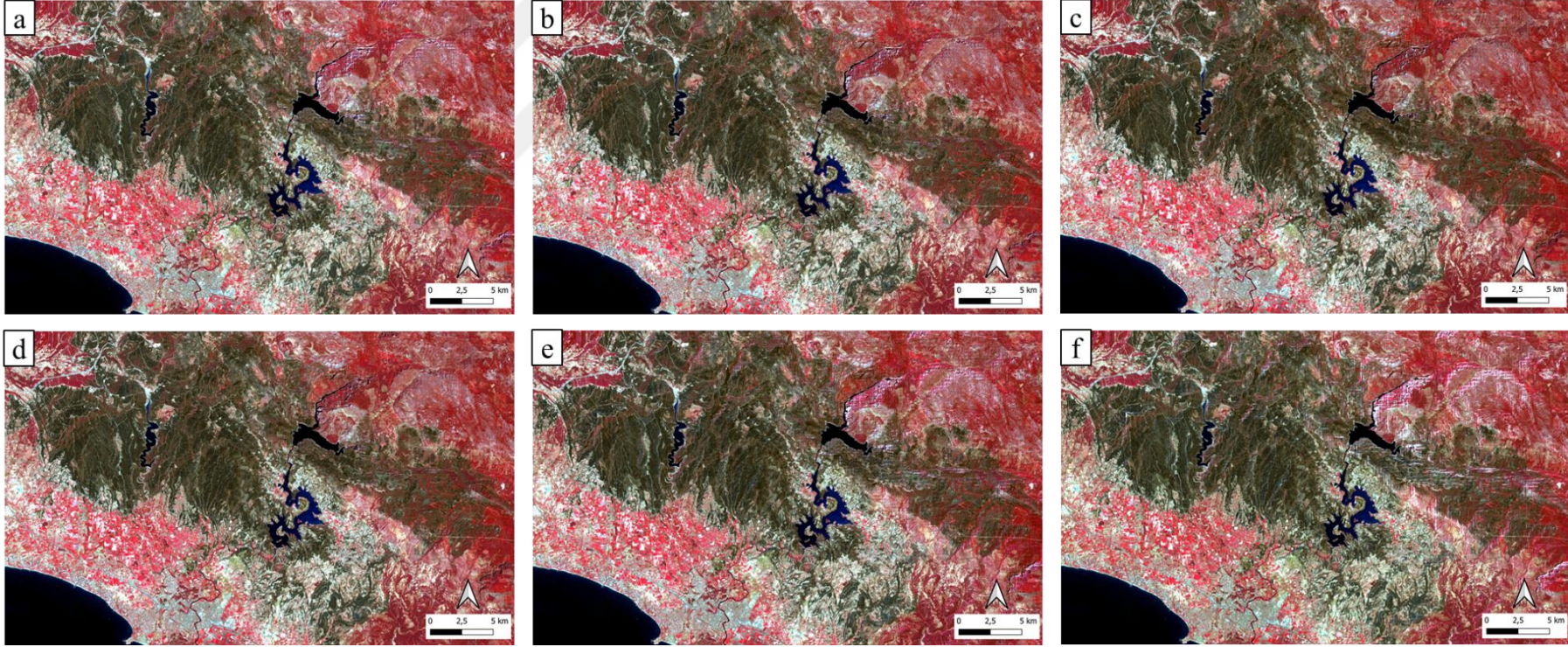
Çizelge 3.5’ de B1 mavi bandı, B2 yeşil bandı, B3 kırmızı bandı ve B4 yakın kızılötesi bandı ifade etmektedir. Başarılı bir topografik düzeltme yöntemi sonrasında uydu görüntüsündeki her bir banttaki yansıtıma ait SD ve CV değerlerinin azalması bekleneceği için değişimin (-) işaretli olması gerekmektedir. Görüntülerdeki her bir bant için SD ve CV değerlerindeki değişimler incelendiğinde Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinde tüm bantlardaki değişim ve toplam değişim (-) işaretlidir. Bu yöntemlerden elde edilen görüntülerde SD ve CV değerleri azalmıştır. Cosine Yöntemi’nde sadece kırmızı bantta SD ve CV değerleri azalırken, diğer bantlarda artış söz konusudur. SCS Yöntemi’nde tüm bantlardaki SD ve CV değerleri artış göstermiştir. PLC Yöntemi’nde ise SD değerleri tüm bantlarda artarken, CV değerleri tüm bantlarda azalmıştır. CV değerinin artışı PLC Yöntemi’nin görüntüdeki ortalama yansıtım değerlerini aşırı azalttığını göstermektedir.

Topografik düzeltme uygulanmamış Landsat 8 uydu görüntüsünde topografyanın engebeli olduğu alanlarda aydınlanma farklılıklarının ve gölge etkisinin olduğu görülmektedir. Özellikle Naras Barajı ve Oymapınar Barajı çevresinde ve çalışma alanının kuzeydoğu bölgesinde topografik etkiler fazladır (Şekil 3.6).



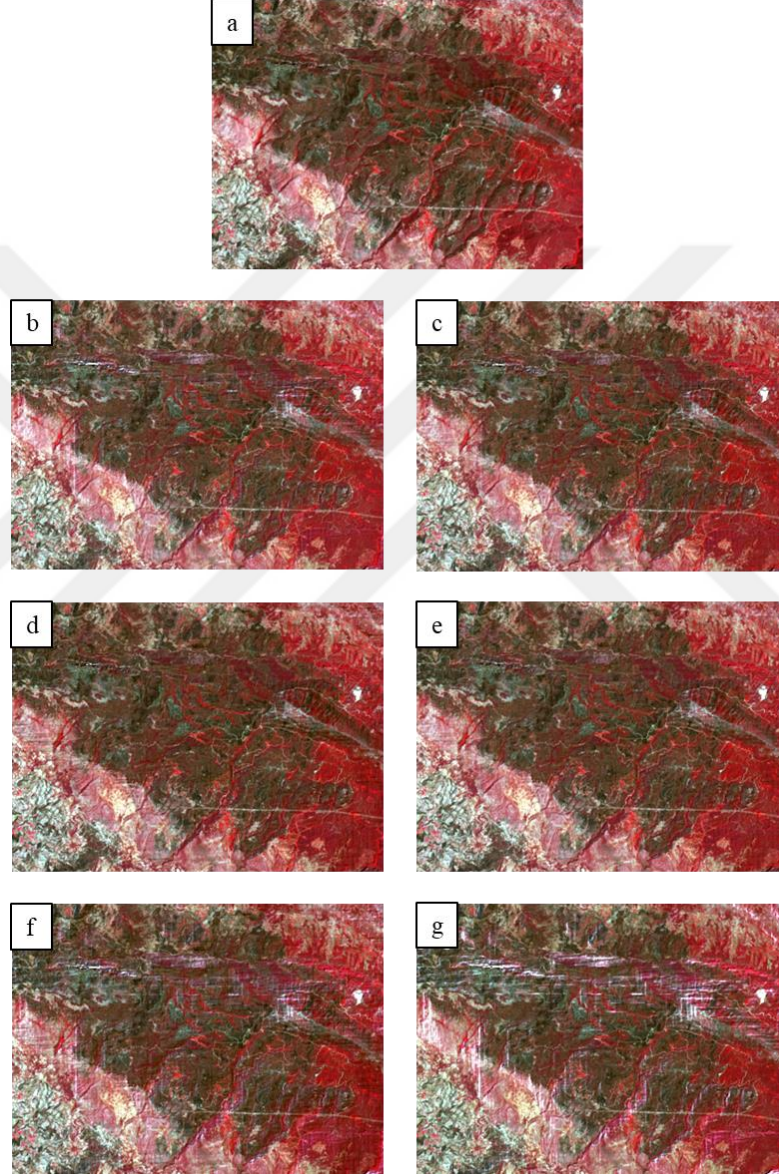
Şekil 3.6 : Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü.

Tüm topografik düzeltme yöntemlerinin sonuçları incelendiğinde görüntüde Oymapınar Barajının kuzey kesimindeki fazla engebeli alanlarda aşırı düzeltme olduğu görülmektedir. Minnaert, PBM, Minnaert+SCS ve PLC yöntemleri görüntünün büyük bir kısmını daha homojen bir hale getirmiş ve aydınlanma farklılıkları giderilmiştir. SCS ve Cosine yöntemlerinde ise topografyanın engebeli olduğu yerlerde aşırı düzeltme söz konusudur ve çok parlak pikseller ortaya çıkmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : (a): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (b): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): PLC Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (f): Cosine Yöntemi uygulanmış görüntü.

Tüm yöntemler yakından incelenip topografik düzeltme uygulanmamış görüntü ile karşılaştırıldığında topografik düzeltme yöntemlerinin görüntülere etkisi daha iyi anlaşılmaktadır (Şekil 3.8). Çalışma alanındaki dağlık ve ormanlık bir alan yaklaştırılıp değerlendirildiğinde Minnaert, Minnaert+SCS, PBM ve PLC topografik düzeltme yöntemleri sonucu oluşan görüntülerin daha homojen, SCS ve Cosine yöntemleri sonucu oluşan görüntülerin ise aşırı düzeltilmiş olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8 : (a):Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b):Minnaert, (c): PBM, (d): Minnaert+SCS, (e): PLC, (f): SCS, (g): Cosine.

3.3.3 Sentinel 2 görüntüsü topografik düzeltme sonuçları

Yangın sonrası elde edilmiş 24 Ağustos 2021 tarihli Sentinel 2 uydu görüntüsünde 5 m mekansal çözünürlüklü SYM (HGM) ve 30 m mekansal çözünürlüklü SYM

(SRTM) kullanılarak; topografik düzeltme yöntemleri yüzey yansıtım değerlerine ve atmosfer üstü yansıtım değerlerine uygulanmıştır. Topografik düzeltme için gerekli açısal değerlerden Güneş azimut açısı 145.3397° ve Güneş zenit açısı 29.6672° dir.

3.3.3.1 5 m çözünürlüklü SYM ile elde edilen sonuçlar

5 m çözünürlüklü SYM kullanılan topografik düzeltme yöntemleri, hem atmosfer üstü yansıtım değerlerine hem de yüzey yansıma değerlerine uygulanmıştır. İstatistiksel analizde Landsat 8 uydu görüntüsünde olduğu gibi SD ve CV değerleri karşılaştırılmıştır. İlk olarak 5 m mekansal çözünürlüklü SYM ile yüzey yansıtımına uygulanan topografik düzeltme yöntemlerinin istatistiksel analizi yapılmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6 : Sentinel 2 görüntüsünde 5 m mekansal çözünürlüklü SYM kullanılarak yüzey yansıtım değerlerine topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerde bantlar arasındaki SD ve CV değerleri farkı

Yöntemler		B1	B2	B3	B4	Σ Değişim
Minnaert	SD	-0.001	-0.001	-0.001	-0.008	-0.010
	CV	0.691	-0.341	-0.602	-2.270	-2.522
Cosine	SD	0.002	0.027	0.003	0.045	0.077
	CV	3.615	3.121	1.130	13.679	21.545
SCS	SD	-0.003	-0.003	-0.004	0.020	0.011
	CV	-1.563	-2.322	-3.265	8.418	1.268
Minnaert+SCS	SD	-0.004	-0.004	0.000	0.005	-0.003
	CV	-2.557	-3.298	-3.265	1.939	-7.181
PBM	SD	-0.001	-0.001	-0.001	-0.005	-0.008
	CV	1.664	-2.501	-2.511	-5.960	-9.308
PLC	SD	0.029	0.027	0.036	0.058	0.150
	CV	-1.905	-2.540	-2.579	1.629	-5.395

Çizelge 3.6'daki istatistiksel sonuçlar incelendiğinde Landsat 8 atmosfer üstü yansıtım değerlerine uygulanan topografik düzeltme yöntemleri sonuçları ile yüzey yansıtım değerlerine uygulanan topografik düzeltme yöntemleri sonuçlarının benzer olduğu görülmektedir. Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri sonucunda SD ve CV değerleri azalmıştır. Cosine Yöntemi'nde tüm bantlarda SD ve CV değerleri artış göstermiştir. SCS Yöntemi'nde yakın kızılötesi bant hariç SD ve CV değerleri azalmasına rağmen yakın kızılötesi banttaki artış toplam değişim (+) işaretli olmuştur.

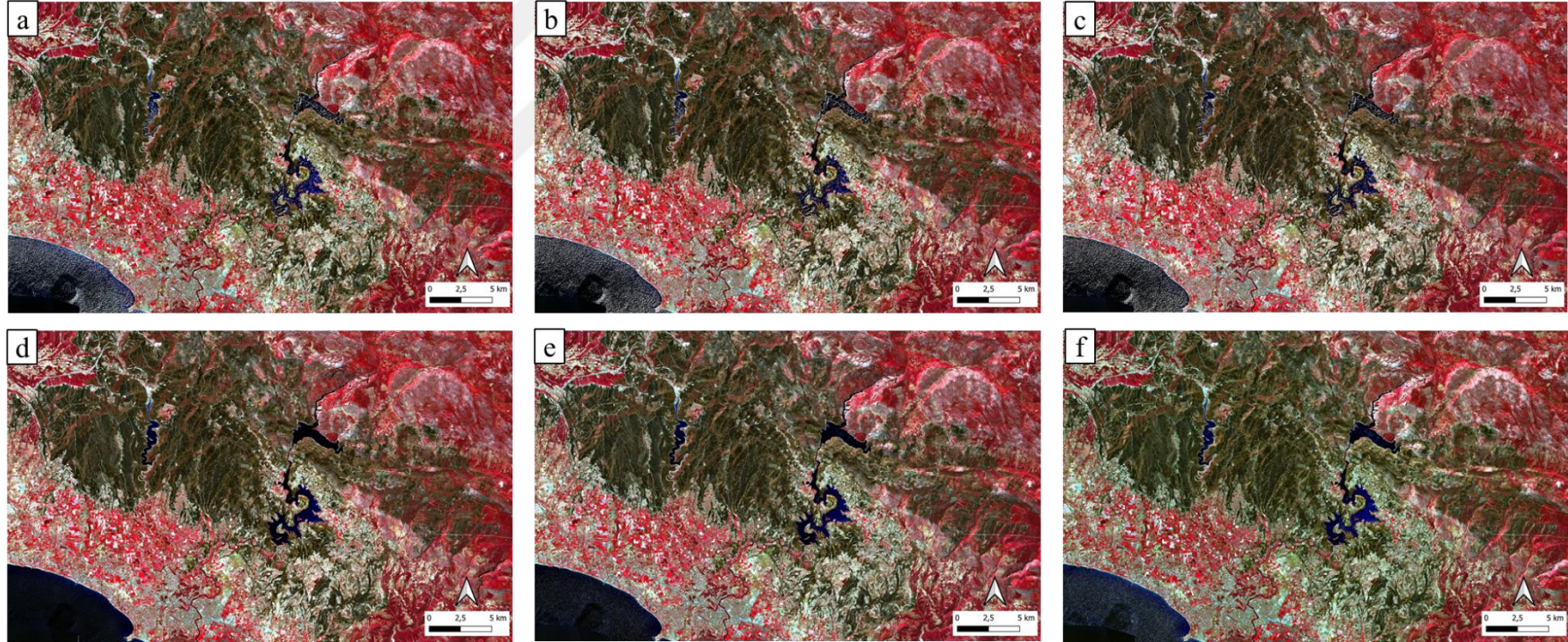
PLC Yöntemi'nde ise Landsat 8 uydu görüntüsünde olduğu gibi SD değerleri artmış, CV değerleri ise azalmıştır.

Topografik düzeltme uygulanmamış Sentinel 2 görüntüsünde Landsat 8 görüntüsünde olduğu gibi aydınlanma farklılıkları vardır (Şekil 3.9).



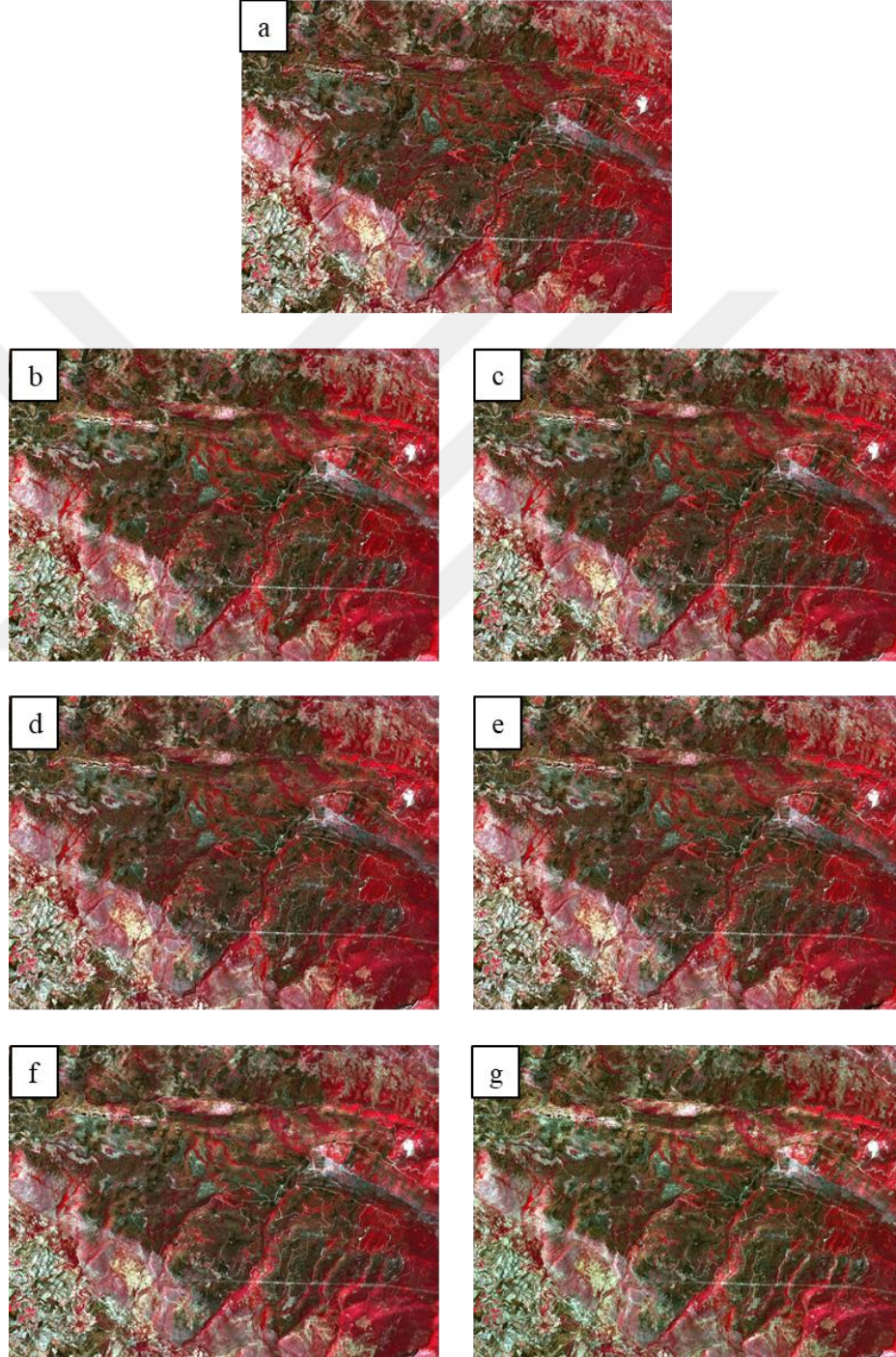
Şekil 3.9 : Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü.

Sentinel 2 görüntüsünde topografik düzeltme yöntemleri sonuçları incelendiğinde Landsat 8'e ait topografik düzeltme sonuçlarına göre daha başarılı sonuçlar oluşmuştur. Aşırı düzeltilmiş pikseller azalmıştır. Gölge etkisinin ve aydınlanma farklılıklarının azaldığı görüntüler; Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinden elde edilmiştir. Daha homojen ve düz görüntüler bu yöntemlerden sağlanmıştır. PLC Yöntemi görüntüde gözle görülebilir derecede bir fark oluşturmamıştır. SCS ve Cosine yöntemleri sonucunda ise engebeli alanlarda çok parlak piksellerin ortaya çıktığı görülmektedir. Deniz ve barajlarda ise bozulmalar oluşmuştur (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : (a): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (b): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): PLC Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (f): Cosine Yöntemi uygulanmış görüntü.

Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntüler detaylı incelendiğinde topografyanın engebeli olduğu alanların Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri sonucunda daha homojen ve düz alanların olduğu görülmektedir. Şekil 3.11’ de yöntemlerin çalışma alanında engebeli topografyaya sahip bir alandaki etkileri görülmektedir.



Şekil 3.11 : (a):Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b):Minnaert, (c): PBM, (d): Minnaert+SCS, (e): PLC, (f): SCS, (g): Cosine.

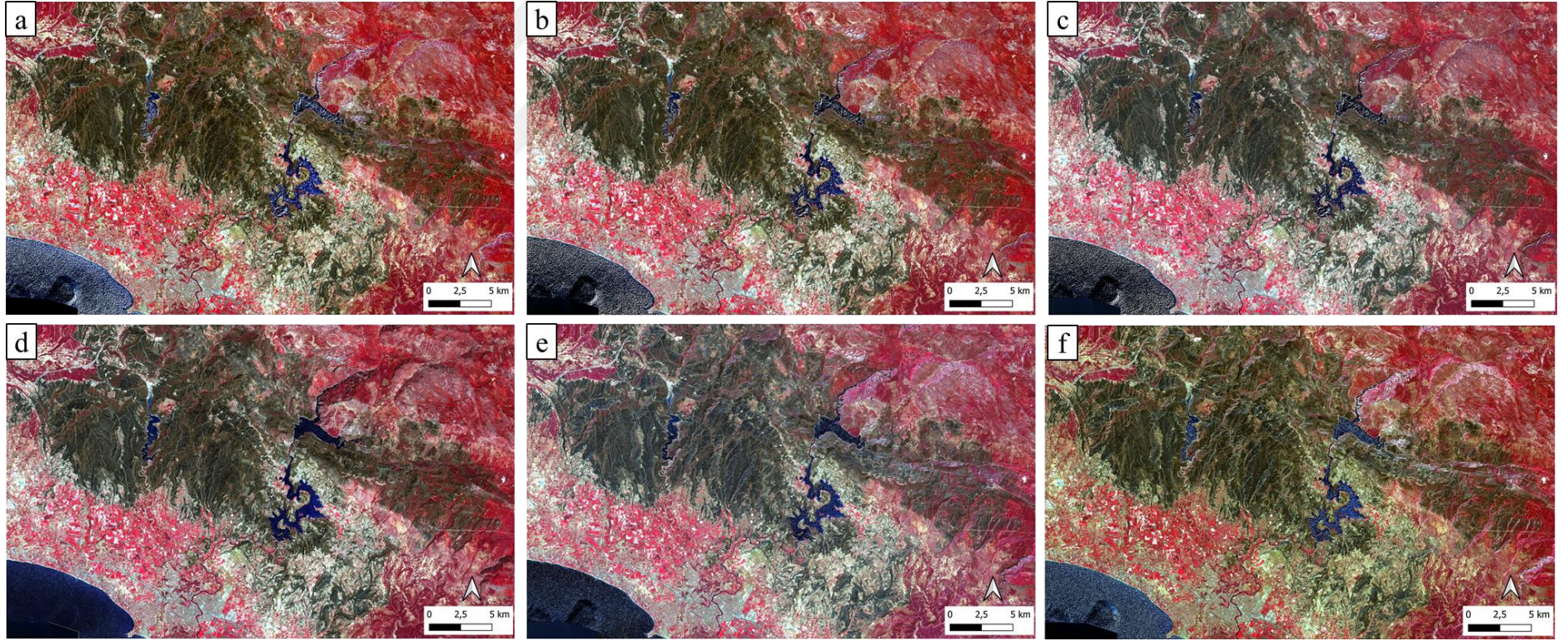
Atmosfer üstü yansıtımından elde edilen sonuçların istatistiksel analizi Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 : Sentinel 2 uydu görüntüsünde 5 m mekansal çözünürlüklü SYM kullanılarak atmosfer üstü yansıtımlarına topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerde bantlar arasındaki SD ve CV değerleri farkı.

Yöntemler		B1	B2	B3	B4	$\sum$ Değişim
Minnaert	SD	-0.009	-0.007	-0.001	-0.017	-0.035
	CV	-1.411	-1.341	-1.284	-1.188	-5.223
Cosine	SD	0.208	0.174	0.073	0.322	0.777
	CV	18.719	15.326	6.364	11.053	51.462
SCS	SD	0.096	0.062	-0.009	0.108	0.257
	CV	10.346	7.378	0.137	5.265	23.125
Minnaert+SCS	SD	-0.003	-0.016	-0.037	-0.025	-0.080
	CV	0.802	-0.485	-2.593	0.056	-2.220
PBM	SD	0.014	0.000	-0.011	-0.030	-0.027
	CV	0.778	-0.656	-2.515	-1.781	-4.174
PLC	SD	0.273	0.273	0.327	0.646	1.520
	CV	12.157	4.557	2.930	4.306	23.950

Yüzey yansıtım değerlerine uygulanan topografik düzeltmelerde olduğu gibi atmosfer üstü yansıtımlarına topografik düzeltme yöntemleri uygulandığında en yüksek performansı istatistiki olarak Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS göstermiştir.

Görsel açıdan değerlendirildiğinde engebeli topografik yapı topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde belirgin olarak gözükürken; Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri görüntüleri topografik etkilerden arındırmayı başarak aydınlanma farklılıklarını azaltıp görüntüleri daha homojen bir görünüme kavuşturmuştur. PLC Yöntemi sonucunda topografik etkilerin tam olarak giderilemediği görülmüştür. SCS ve Cosine yöntemlerinden elde edilen görüntülerde ise bozulmalar olduğu görülmektedir. (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 : (a): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (b): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): PLC Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (f): Cosine Yöntemi uygulanmış görüntü.

3.3.3.2 30 m çözünürlüklü SYM ile elde edilen sonuçlar

Sentinel 2 uydu görüntüsüne topografik düzeltme yöntemleri 30 m mekansal çözünürlüğe sahip SYM ile de uygulanmıştır. Topografik düzeltme yöntemlerinin istatistiksel analizi Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 : Sentinel 2 uydu görüntüsünde 30 m mekansal çözünürlüklü SYM kullanılarak topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerde bantlar arasındaki SD ve CV değerleri farkı.

Yöntemler		B1	B2	B3	B4	Σ Değişim
Minnaert	SD	0.001	0.002	0.002	0.027	0.032
	CV	0.396	1.765	0.376	8.872	11.410
Cosine	SD	0.003	0.012	0.007	0.107	0.130
	CV	4.146	13.510	6.157	33.188	57.001
SCS	SD	-0.002	0.002	-0.001	0.049	0.049
	CV	1.014	4.650	1.096	18.904	25.663
Minnaert+SCS	SD	-0.003	-0.002	-0.003	0.011	0.002
	CV	-0.210	-0.109	-0.731	5.456	4.406
PBM	SD	0.001	0.001	0.001	0.018	0.021
	CV	-0.652	-0.115	-0.928	5.566	3.871
PLC	SD	0.030	0.030	0.039	0.077	0.176
	CV	-0.531	-0.224	-0.835	4.756	3.166

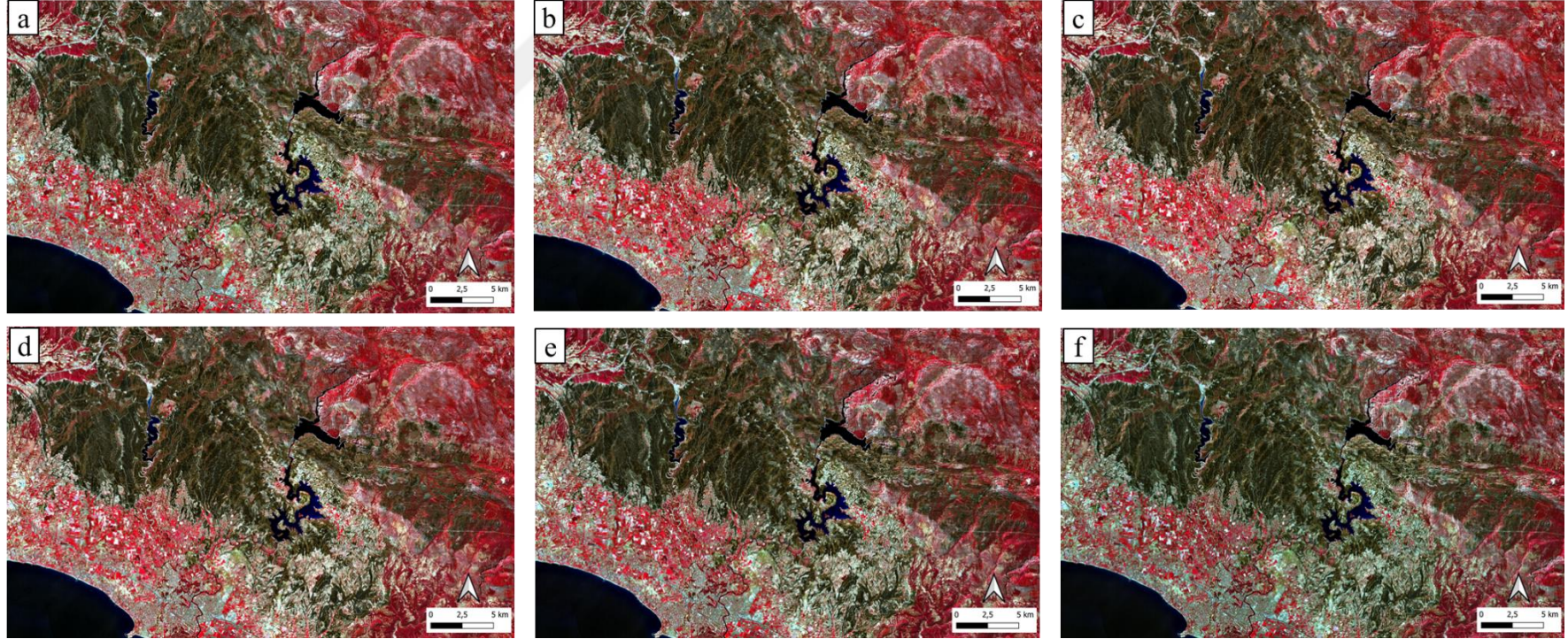
30 m mekansal çözünürlüklü SYM ile yapılan topografik düzeltme yöntemlerinin istatistiksel sonuçları 5 m mekansal çözünürlüklü SYM ile yapılan topografik düzeltme yöntemlerinin sonuçlarından oldukça farklıdır. Çizelge 3.8’ de görüldüğü üzere tüm yöntemlerde SD ve CV değerleri artış göstermiştir. Yakın kızılötesi banda ait SD ve CV değerleri hiçbir yöntemde azalma göstermemiştir. SCS, Minnaert+SCS, PBM ve PLC yöntemlerinde RGB bantlarda SD ve CV değerlerinde azalma olsa da toplam değişim (+) işaretlidir. 30 m mekansal çözünürlüklü SYM kullanılarak görüntüye uygulanan topografik düzeltme yöntemleri istatistiksel olarak beklenen performansı göstermemiştir.

30 m mekansal çözünürlüklü SYM ile yapılan topografik düzeltme yöntemleri sonuçlarının; 5 m mekansal çözünürlüklü SYM ile yapılan topografik düzeltme sonuçlarından farklı olduğu belirlenmiştir. Şekil 3.13’de topografik düzeltme uygulanmamış Sentinel 2 görüntüsü gösterilmiştir. Topografik düzeltme

uygulanmamış ve uygulanmış görüntüler kıyaslandığında düzeltmeler sonucunda görüntüler üzerinde bozulmalar olduğu görülmektedir. Görüntülerdeki bozulmalar ve çok parlak pikseller, Oymapınar Barajının doğu kesiminde yoğunluktadır. En çok bozulma Cosine ve SCS yöntemlerinden elde edilen görüntülerde oluşmuştur. En az bozulma PLC Yöntemi sonucu elde edilen görüntüdedir ve bu görüntü topografik düzeltme yapılmamış görüntü ile benzer görünüme sahiptir. Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinde ise Cosine, SCS ve PLC yöntemlerine göre daha az bozulma vardır (Şekil 3.14). Bozulmalardan dolayı görüntüde topografik etkiler tam olarak giderilememiştir.

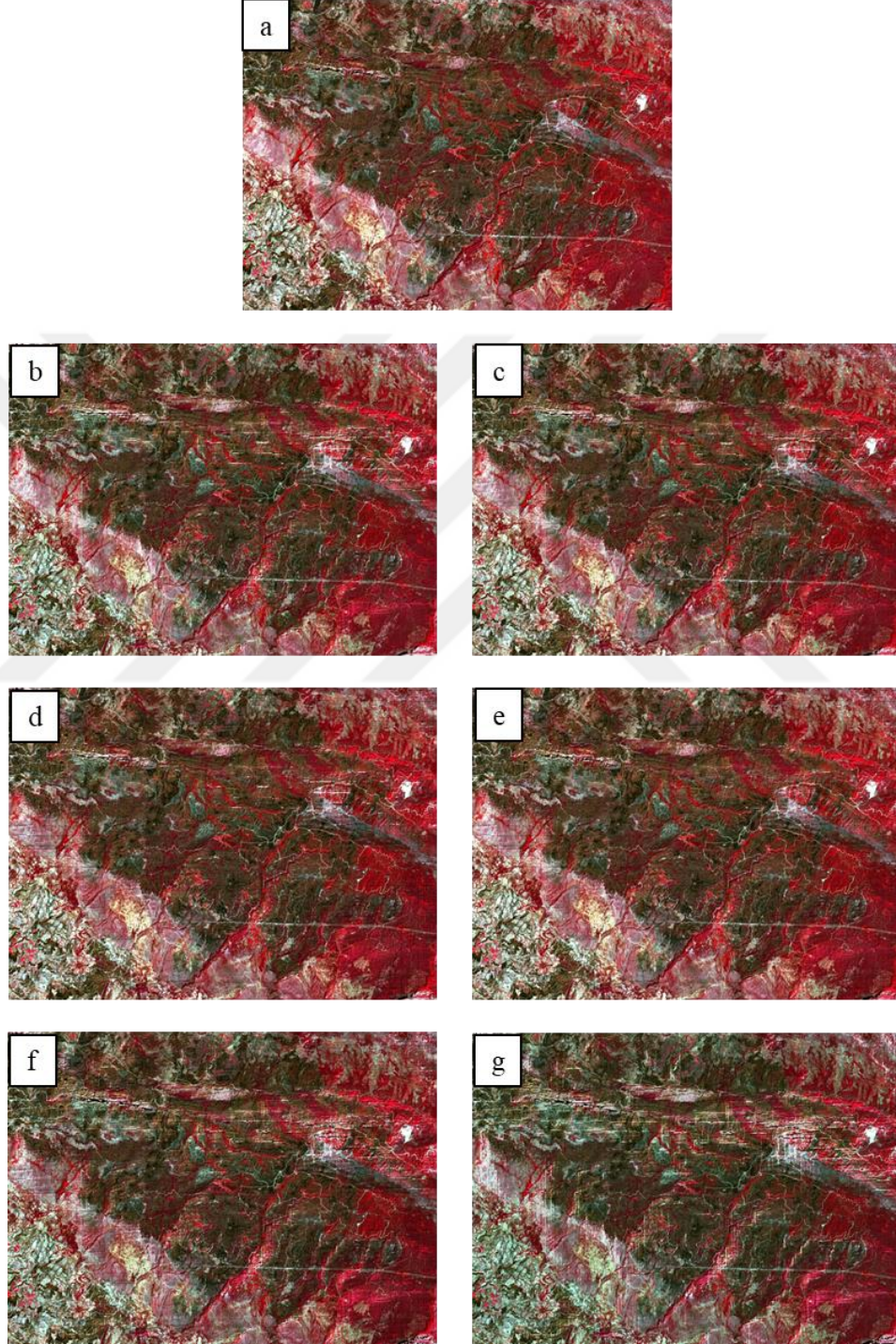


Şekil 3.13 : Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü.



Şekil 3.14 : (a): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (b): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): PLC Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (f): Cosine Yöntemi uygulanmış görüntü.

Topografik düzeltme yöntemlerinin görüntüler üzerindeki etkisi görüntüye yakınlştırıldığında daha iyi anlaşılmaktadır. Şekil 3.15’de engebeli topografyaya sahip bir alanda topografik düzeltme yöntemlerinin yansıtım değęerlerini değıştirmesi sonucu oluşan görüntüler görölmektedir.



Şekil 3.15 : (a):Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b):Minnaert, (c): PBM, (d): Minnaert+SCS, (e): PLC, (f): SCS, (g): Cosine.

3.3.4 Pleiades görüntüsü topografik düzeltme sonuçları

Yangın sonrası elde edilmiş 14 Temmuz 2022 tarihli uydu görüntüsünde topografik düzeltme yöntemleri 5 m mekansal çözünürlüklü SYM ile yapılmıştır. Atmosfer üstü yansıtım değerlerine topografik düzeltme yöntemleri uygulanmıştır. Pleiades uydu görüntüsünde atmosfer üstü yansıtım değerleri denklem 3.4 ve denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Lb(p) = \frac{X(p)}{KAZANÇ(b)} + SAPMA(b) \quad (3.4)$$

$$\rho b(p) = \frac{\pi * Lb(p)}{Eo(b) * d * \cos(\theta z)} \quad (3.5)$$

Denklem 3.4, X(p) piksel değerlerini atmosfer üstü radyans (ışınım-radiance) değerlerine (Lb(p)) dönüştürmeyi sağlar. Formülde KAZANÇ (gain) ve SAPMA (bias) katsayıları görüntünün meta verisinden alınmıştır. Her bant için atmosfer üstü radyans değerleri (Lb(p)) hesaplandıktan sonra atmosfer üstü yansıtım değerleri hesaplanır. Denklem 3.5 atmosfer üstü radyans değerlerini (Lb(p)), atmosfer üstü spektral yansıma (reflektans) değerlerine (pb(p)) dönüştürür. E0(b), her bir bant için Güneş spektral ışınmasıdır. θz Güneş zenit açısı ve d, ortalama Dünya-Güneş mesafesine göre bir düzeltme katsayısıdır.

Yansıtım değerlerine ait SD ve CV değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.9’ da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 : Pleiades uydu görüntüsünde topografik düzeltme uygulanmış ve uygulanmamış görüntülerde bantlar arasındaki SD ve CV değerleri farkı.

Yöntemler		B1	B2	B3	B4	Σ Değişim
Minnaert	SD	-0.001	-0.001	0.000	-0.001	-0.003
	CV	-0.899	-0.684	-0.356	-0.785	-2.724
Cosine	SD	0.000	0.001	0.003	0.002	0.006
	CV	-0.691	0.194	1.550	0.120	1.173
SCS	SD	0.007	0.004	0.000	0.005	0.017
	CV	3.799	2.631	0.157	2.391	8.978
Minnaert+SCS	SD	-0.007	-0.006	-0.003	-0.008	-0.024
	CV	-3.615	-3.331	-1.993	-3.417	-12.356
PBM	SD	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.005
	CV	-0.646	-0.568	-0.390	-0.772	-2.376
PLC	SD	0.038	0.027	0.018	0.037	0.120
	CV	-0.595	-0.528	-0.362	-0.740	-2.224

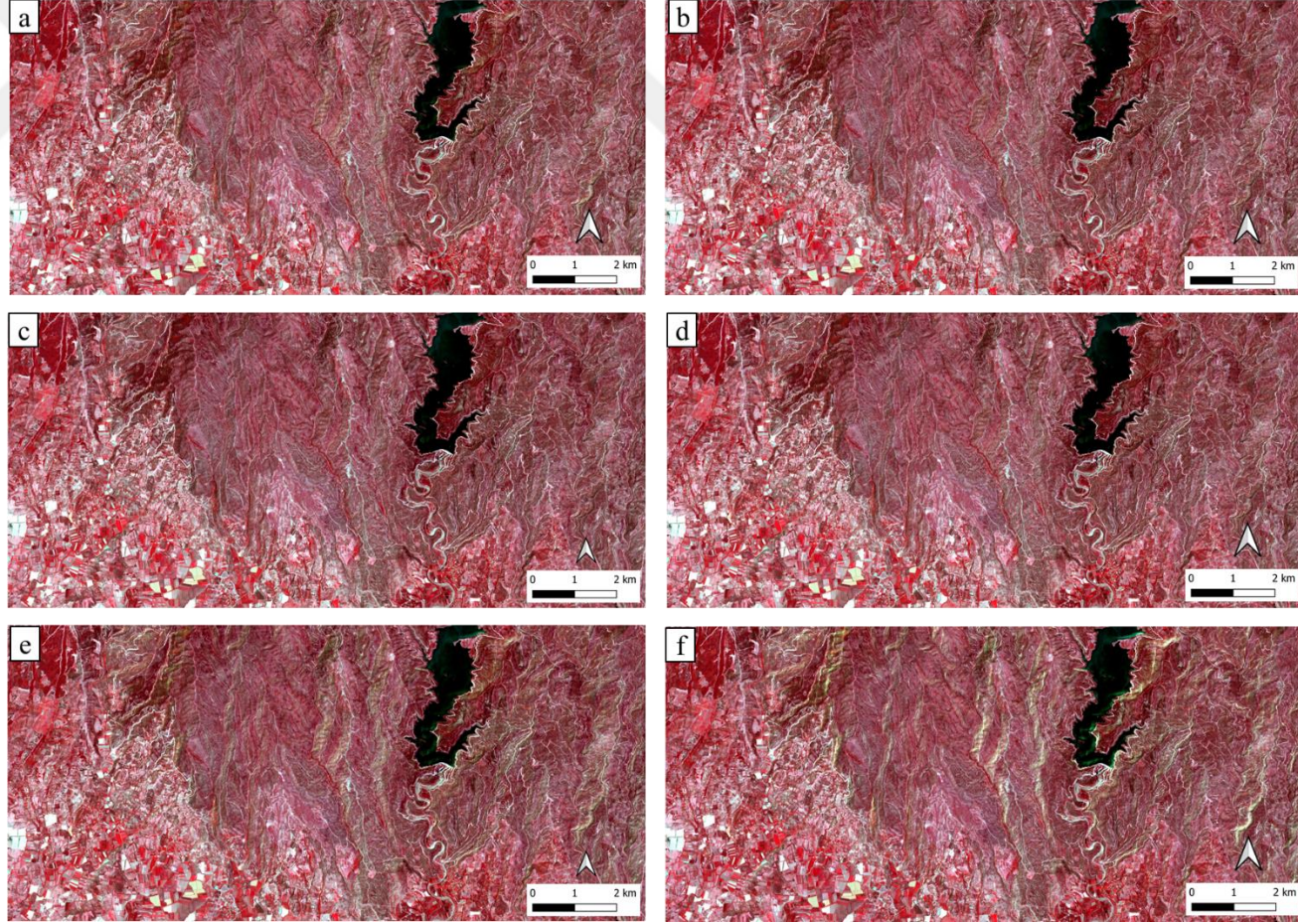
Pleiades uydu görüntüsüne uygulanan topografik düzeltme yöntemlerinin sonuçları istatistiksel olarak analiz edildiğinde Landsat 8 ve Sentinel 2 görüntülerine ait istatistiksel sonuçlara benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. En iyi sonuçları Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri verirken, en kötü sonuçları SCS ve Cosine yöntemleri vermiştir. PLC Yöntemi'nde diğer görüntülerde olduğu gibi CV değerleri azalma gösterirken, SD değerleri artış göstermiştir.

Pleiades görüntüsüne topografik düzeltme yöntemleri uygulanıp değerlendirildiğinde, istatistiksel sonuçların görsel sonuçları doğrular nitelikte olduğu görülmüştür. Topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde gölge etkisinin olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 3.16).



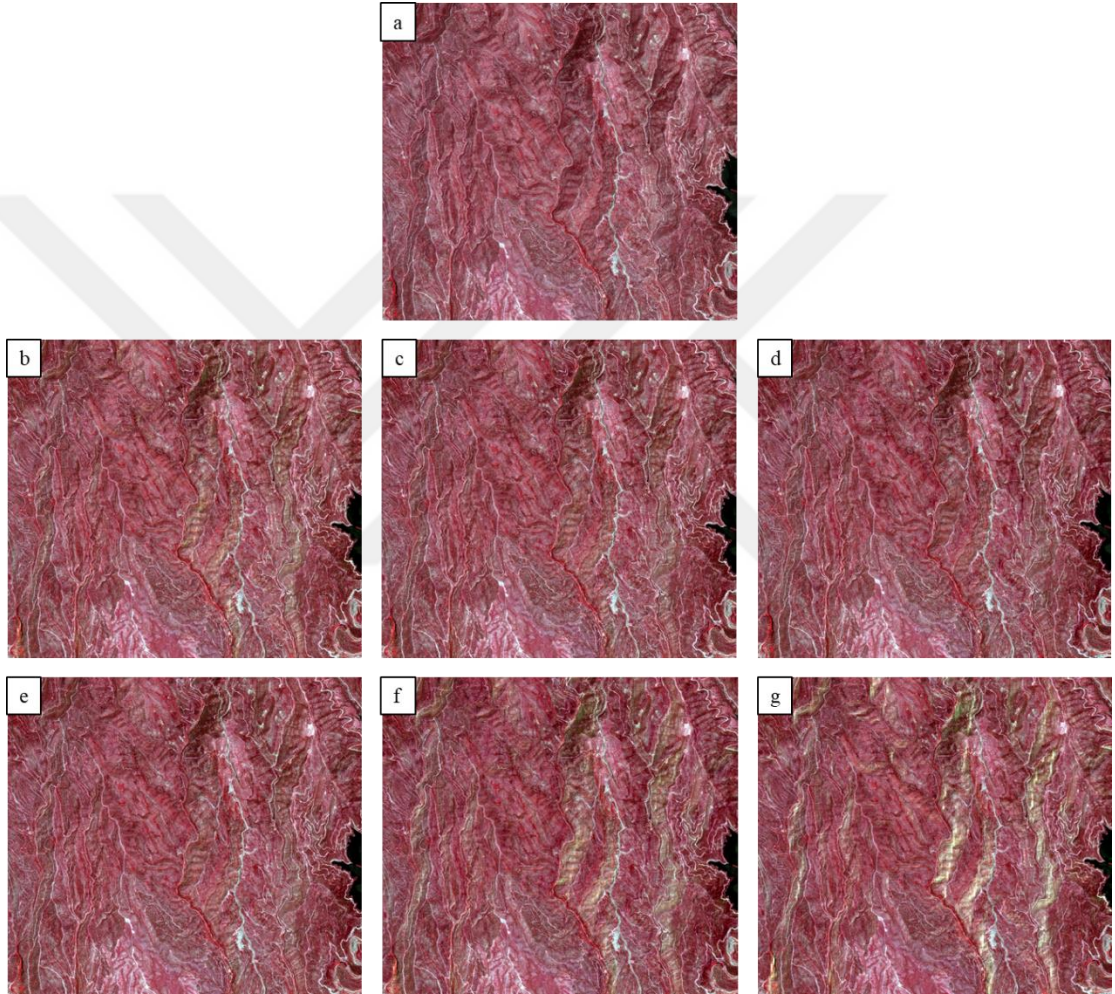
Şekil 3.16 : Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü.

Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri sonucunda oluşan görüntülerde topografyanın engebeli olmasından kaynaklanan aydınlanma farklılıklarının giderilerek görüntülerin daha homojen bir görünümde olduğu görülmüştür. Görüntüler detaylı incelendiğinde topografik değişkenliğin fazla olduğu dağlık ve ormanlık alanlarda topografik düzeltme yöntemlerinin görüntüler üzerindeki etkisi daha iyi görülmektedir. Bu bölgelerde ortalama yansıtım değerleri değişmiş, topografik düzeltme uygulanmamış görüntüye kıyasla daha düz görüntüler oluşmuştur. SCS ve Cosine yöntemleri sonucu elde edilen görüntülerde aşırı düzeltilen çok parlak pikseller görülmektedir. Aşırı düzeltilen alanların topografyanın değişken olduğu yerlerde olduğu görülmüştür. PLC Yöntemi sonucunda ise Minnaert ve PBM yöntemlerine benzer şekilde homojen bir görüntü oluşmuştur (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 : (a): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (b): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): PLC Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): SCS Yöntemi uygulanmış görüntü, (f): Cosine Yöntemi uygulanmış görüntü.

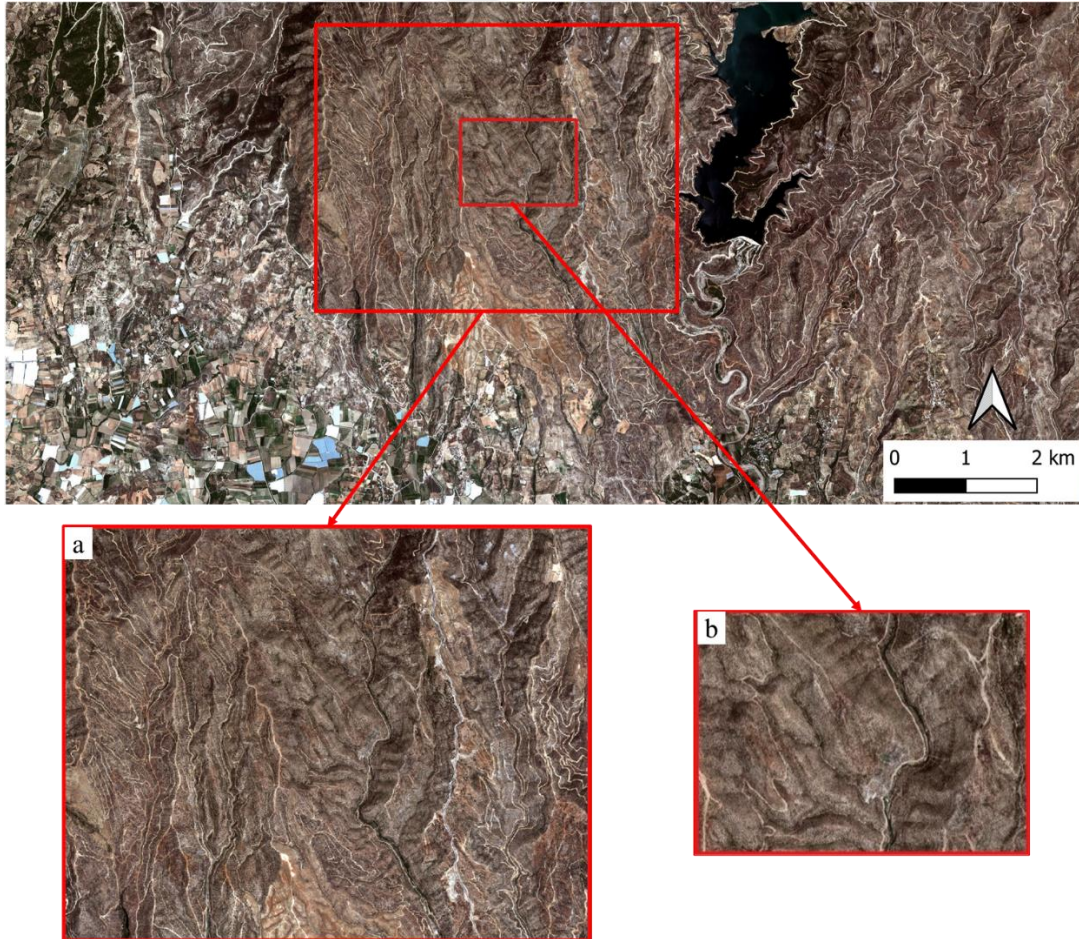
Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü ve Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinden elde edilen görüntüler yakından incelendiğinde topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde gölge etkisinin olduğu ve aydınlanma düzeyinde farklılıkların olduğu, bu yöntemler sonucunda gölge etkisinin giderildiği görülmektedir. Fakat SCS ve Cosine yöntemleri sonucunda topografik etkiler tam olarak giderilememiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 : (a):Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b):Minnaert, (c): PBM, (d): Minnaert+SCS, (e): PLC, (f): SCS, (g): Cosine.

3.4 Sınıflandırma Yöntemlerinin Uydu Görüntülerine Uygulanması

Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS topografik düzeltme yöntemleri görüntülerde en yüksek performansı gösterdiği için bu yöntemlerin uygulandığı görüntülere Maksimum Olabilirlik ve Rastgele Orman sınıflandırma yöntemleri uygulanarak yangından etkilenen alanlar belirlenmiştir. Topografik düzeltme uygulanmamış görüntülerden elde edilen alansal sonuçlarla, topografik düzeltme yöntemlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma işlemleri çalışma alanı içerisinde Landsat 8 ve Sentinel 2 görüntüsünde engebeli ve ormanlık, Şekil 3.19 (a)'da gösterilen alana, Pleiades görüntüsünde ise Şekil 3.19 (b)'de gösterilen alana uygulanmıştır. (a) alanı 2031 hektar iken, (b) alanı 194.4 hektardır. Tüm sınıflandırmalarda yangından etkilenen alanlar ve diğer alanlar olmak üzere iki sınıf oluşturulmuştur.

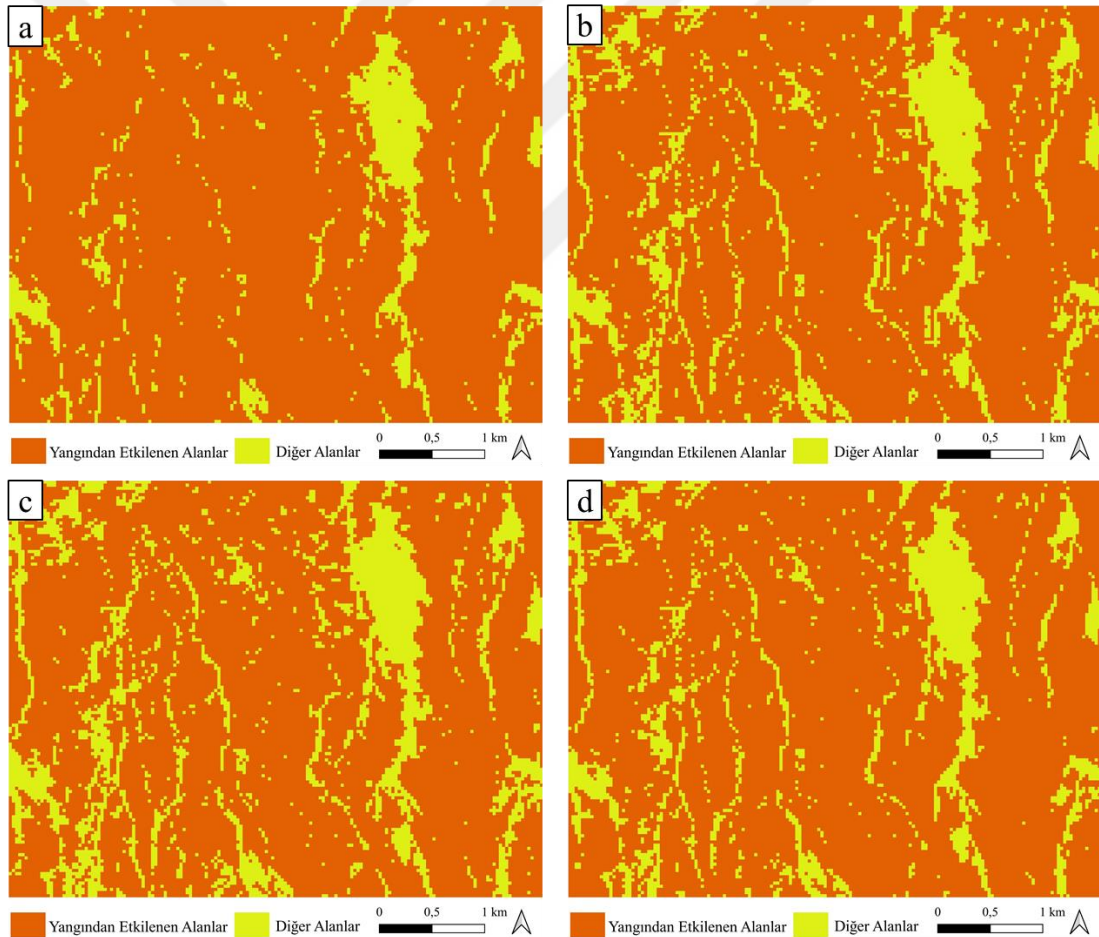


Şekil 3.19 : Çalışma alanı içerisindeki sınıflandırma yapılan alanlar: (a): Landsat 8 ve Sentinel 2 sınıflandırma alanı, (b): Pleiades sınıflandırma alanı.

3.4.1 Landsat 8 görüntüsü sınıflandırma sonuçları

3.4.1.1 Maksimum olabilirlik sınıflandırma yöntemi

Topografik düzeltme uygulanmamış Landsat 8 görüntüsüne uygulanan Maksimum Olabilirlik Sınıflandırma Yöntemi'nin sonuçları, Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Şekil 3.20'de sınıflandırma sonucu elde edilen görüntüler görülmektedir. Topografik düzeltmesiz görüntü ile topografik düzeltme uygulanmış görüntülerin sınıflandırma sonuçları birbirlerinden farklıdır. Topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde bazı alanlarda yollar, orman toprağı, yangından etkilenmemiş ağaçların dahil olduğu diğer alanlar sınıfı yangından etkilenen alan sınıfı olarak gözükmektedir. Fakat bu problem topografik düzeltme uygulanmış görüntülerde yoktur.



Şekil 3.20 : Maksimum Olabilirlik Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü.

Sınıflandırmaya ait tematik doğruluk analizi yapabilmek için, çalışma alanına ait ortofotolardan faydalanılmıştır. 200 yer kontrol noktasını içeren test verisi ortofoto üzerinde işaretlenmiştir. Bu test verisinin yarısını yangından etkilenen alanlar sınıfı, diğer yarısını diğer alanlar sınıfı oluşturmaktadır. Sınıflandırmaya ait genel doğruluklar, Çizelge 3.10'da gösterilmiştir. Sınıflandırma genel doğruluğunu Minnaert ve Minnaert+SCS Yöntemi %3.5, PBM yöntemi %2.5 artırmıştır.

Çizelge 3.10 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.

Yöntemler	Genel Doğruluk (%)
Topografik Düzeltmesiz	82.0
Minnaert	85.5
PBM	84.5
Minnaert+SCS	85.5

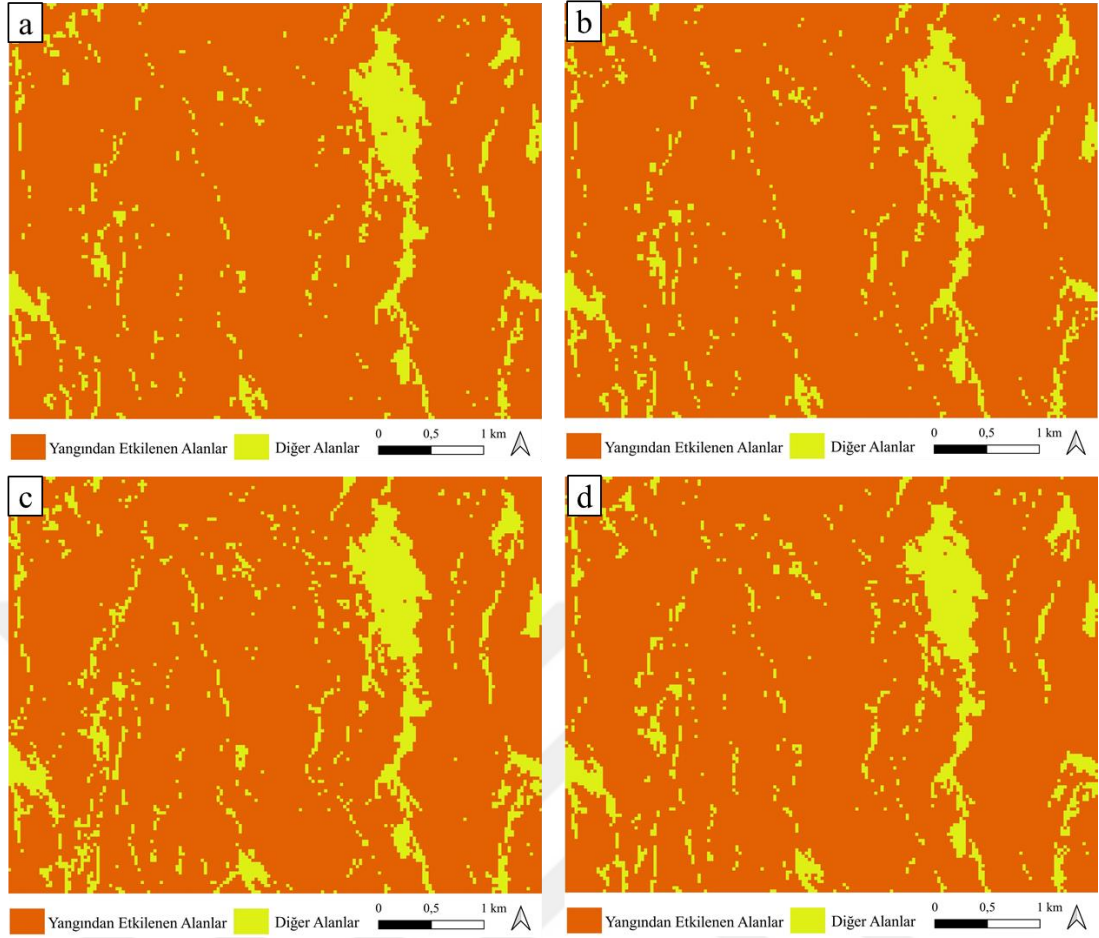
Sınıflandırmadan elde edilen alansal sonuçlar görsel sonuçları doğrulamaktadır. Yangından etkilenen alanlar; Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre birbirine yakın değerler çıkmıştır (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11 : Sınıflandırma alansal sonuçları.

Görüntüler	Yangından Etkilenen Alanlar (ha)	Diğer Alanlar (ha)
Topografik Düzeltmesiz	1790.8	240.2
Minnaert Yöntemi	1675.9	355.1
PBM Yöntemi	1670.2	360.8
Minnaert+SCS Yöntemi	1682.7	348.3

3.4.1.2 Rastgele orman sınıflandırma yöntemi

Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi tüm görüntülere uygulandığında yangından etkilenen alanlar Maksimum Olabilirlik Yöntemi' ne kıyasla daha fazla çıkmıştır. Bu yöntemde de topografik düzeltmesiz görüntünün alansal sonuçları topografik düzeltme uygulanmış görüntülere kıyasla oldukça farklıdır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 : Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü.

Sınıflandırmaya ait genel doğruluklar Maksimum Olabilirlik yönteminde olduğu gibi 200 test noktası kullanılarak yapılmıştır. Sınıflandırma genel doğruluğunu Minnaert ve Minnaert+SCS Yöntemi %2, PBM Yöntemi %1.5 artırmıştır (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.

Yöntemler	Genel Doğruluk (%)
Topografik Düzeltmesiz	80.0
Minnaert	82.0
PBM	81.5
Minnaert+SCS	82.0

Bu yöntemden elde edilen alansal sonuçlar Çizelge 3.13’de verilmiştir. Sınıflandırma doğrulukları daha düşük çıkan bu yöntemden elde edilen alansal sonuçlara göre Minnaert ve Minnaert+SCS yöntemlerinden elde edilen alanlar birbirine yakın

çıkmiştir. Topografik düzeltmesiz görüntüde ise yangından etkilenen alanların topografik düzeltme uygulanmış görüntülerden elde edilen yangından etkilenen alanlara göre daha fazla çıktığı belirlenmiştir.

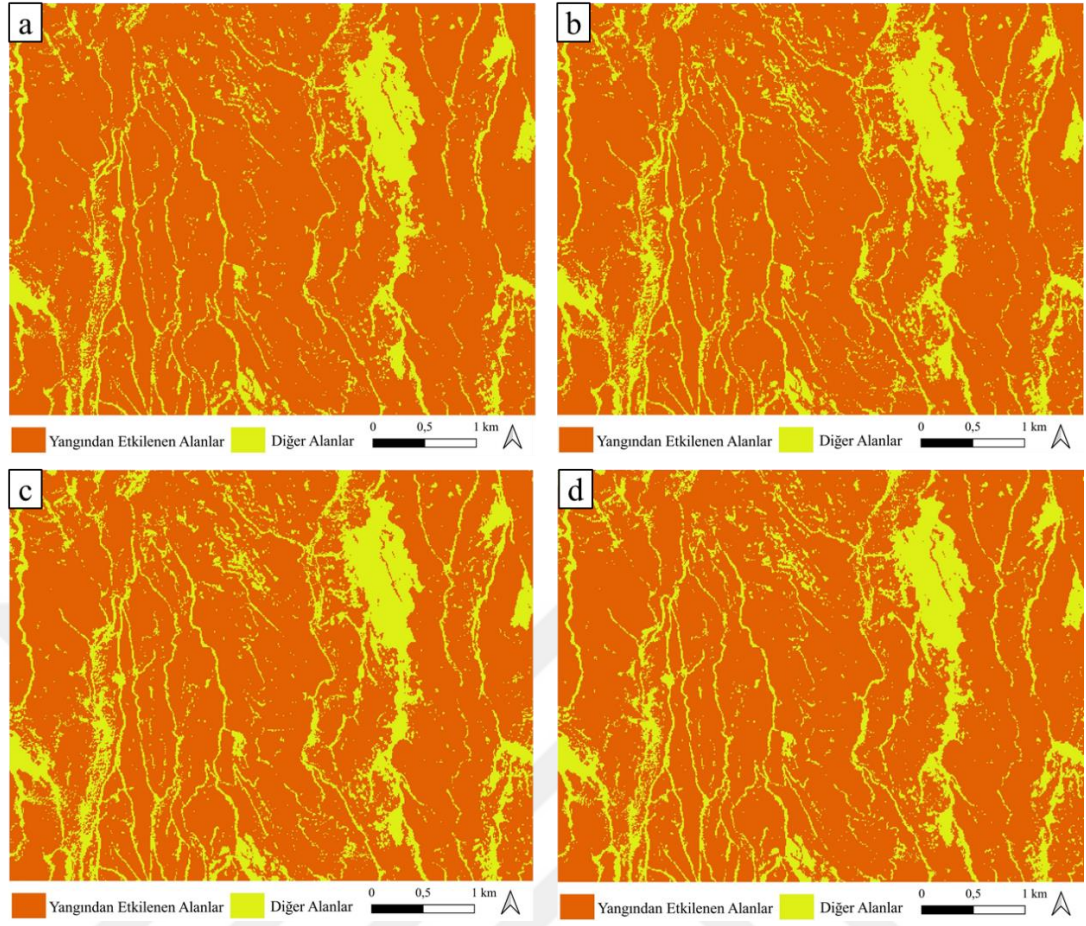
Çizelge 3.13 : Sınıflandırma alansal sonuçları.

Görüntüler	Yangından Etkilenen Alanlar (ha)	Diğer Alanlar (ha)
Topografik Düzeltmesiz	1818.7	212.3
Minnaert Yöntemi	1791.9	239.1
PBM Yöntemi	1752.7	278.3
Minnaert+SCS Yöntemi	1786.0	245.0

3.4.2 Sentinel 2 görüntüsü sınıflandırma sonuçları

3.4.2.1 Maksimum olabilirlik sınıflandırma yöntemi

Landsat 8 görüntüsünde olduğu gibi Sentinel 2 görüntüsünde de yangından etkilenen alanlar ve diğer alanlar sınıfı olmak üzere iki sınıf oluşturulmuş ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Tüm görüntüler değerlendirildiğinde alansal sonuçlar topografik düzeltme yöntemleri uygulanmış görüntülerde birbirine yakın değerler göstermiştir. Landsat 8 görüntüsünde olduğu gibi Sentinel 2 görüntüsünde de yangından etkilenen alanlar sınıfı en fazla topografik düzeltme uygulanmamış görüntüdedir. Topografik düzeltme uygulanmış görüntülerde yangından etkilenen alanlar sınıfı daha az olup; diğer alanlar sınıfı içerisindeki yollar, orman toprağı ve yangından etkilenmemiş ağaçlar gibi özellikler bu görüntüde bazı alanlarda yangından etkilenen alanlar sınıfına dahil olmuştur. Topografik düzeltme uygulanmış görüntülerde diğer alanlar sınıfı daha net belli olmaktadır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 : Maksimum Olabilirlik Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü.

Sınıflandırma genel doğruluklarına göre topografik düzeltme uygulanmamış görüntünün sınıflandırma sonuçlarının en az doğruluğa sahip olduğu belirlenmiştir. Topografik düzeltme yöntemlerinden elde edilen sınıflandırma genel doğrulukları topografik düzeltme uygulanmamış görüntünün genel doğruluğundan daha yüksek çıkmıştır (Çizelge 3.14).

Çizelge 3.14 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.

Yöntemler	Genel Doğruluk (%)
Topografik Düzeltmesiz	86.5
Minnaert	88.0
PBM	88.0
Minnaert+SCS	88.0

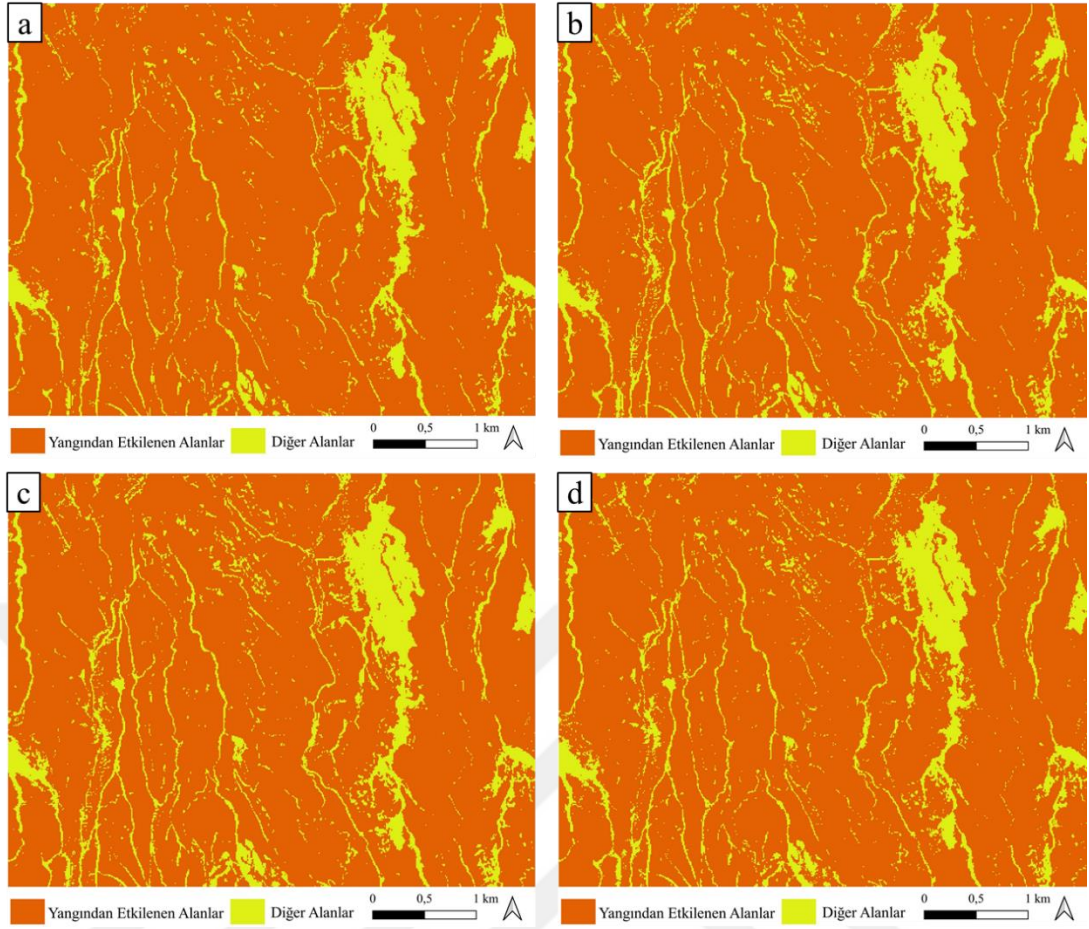
Sınıflandırmadan elde edilen yangından etkilenen alanlar ve diğer alanlar sınıfının alanları Çizelge 3.15'te gösterilmiştir. Landsat 8 görüntüsünden elde edilen sonuçlarda olduğu gibi Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinde alansal değerler birbirine yakın iken, topografik düzeltme uygulanmamış görüntüden elde edilen alansal değerler daha farklı bulunmuştur.

Çizelge 3.15 : Sınıflandırma alansal sonuçları.

Görüntüler	Yangından Etkilenen Alanlar (ha)	Diğer Alanlar (ha)
Topografik Düzeltmesiz	1718.8	312.2
Minnaert Yöntemi	1651.7	379.3
PBM Yöntemi	1642.2	388.8
Minnaert+SCS Yöntemi	1663.1	367.9

3.4.2.2 Rastgele orman sınıflandırma yöntemi

Bu yöntemde de Landsat 8 görüntüsünde olduğu gibi yangından etkilenen alan sınıfı Maksimum Olabilirlik sınıflandırma yönteminden elde edilen yangından etkilenen alanlara göre fazla çıkmıştır. Topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde yangından etkilenen alanlar sınıfı en fazla çıkmıştır. Sınıflandırılmış görüntülerden anlaşılacağı üzere topografik düzeltme yöntemleri uygulanmış görüntülerde diğer alanlar sınıfı daha net bir şekilde görünürken, topografik düzeltme yapılmamış görüntüde diğer alanlar sınıfına ait bazı alanlar yangından etkilenen sınıfında görünmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 : Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü.

Sınıflandırmaya ait genel doğruluklar topografik düzeltme uygulanmış görüntülerde daha fazladır. Topografik düzeltme yapılmamış görüntüye kıyasla genel doğruluk Minnaert ve Minnaert+SCS yöntemlerinde %1 ve PBM Yöntemi'nde %1.5 daha fazladır (Çizelge 3.16).

Çizelge 3.16 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.

Yöntemler	Genel Doğruluk (%)
Topografik Düzeltmesiz	85.0
Minnaert	86.0
PBM	86.5
Minnaert+SCS	86.0

Yangından etkilenen alanlar ve diğer alanlar sınıfına ait sonuçlar Çizelge 3.17'de verilmiştir. Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinden elde edilen görüntülerin

sınıflandırılması sonucunda belirlenen alanlar birbirine yakın iken, topografik düzeltme uygulanmamış görüntünün sınıflandırılması sonucu elde edilen alanlar daha farklıdır.

Çizelge 3.17 : Sınıflandırma alansal sonuçları.

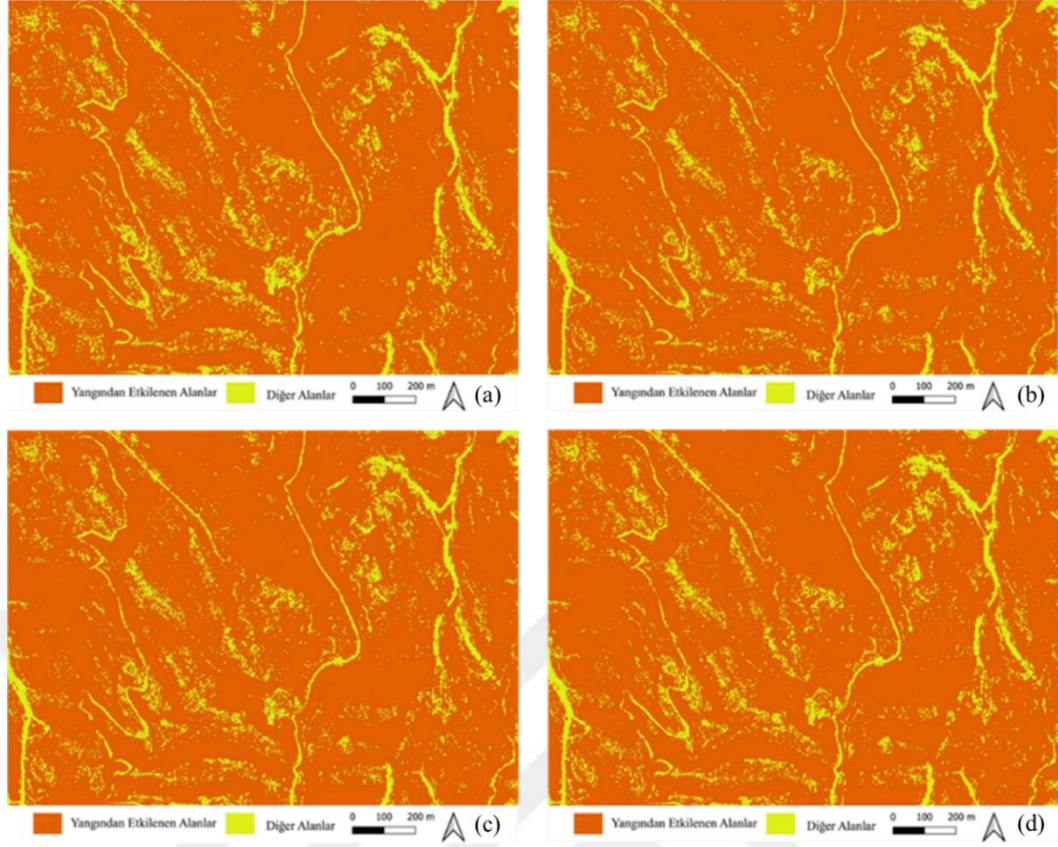
Görüntüler	Yangından Etkilenen Alanlar (ha)	Diğer Alanlar (ha)
Topografik Düzeltmesiz	1811.8	219.2
Minnaert Yöntemi	1769.6	261.4
PBM Yöntemi	1750.7	280.3
Minnaert+SCS Yöntemi	1778.5	252.5

3.4.3 Pleiades görüntüsü sınıflandırma sonuçları

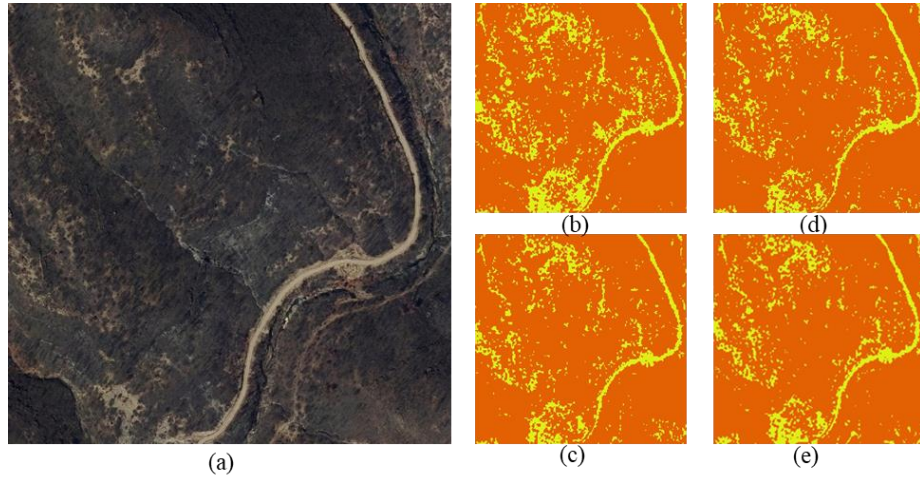
3.4.3.1 Maksimum olabilirlik sınıflandırma yöntemi

Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde yangından etkilenen alanların, Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS görüntüsündeki yangından etkilenen alanlara göre daha az olduğu görülmektedir. Topografyanın engebeli olduğu çalışma alanında, topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde yanan bazı alanlar, yangından etkilenmeyen diğer sınıfa dahil olmuştur. Sınıflandırma yapılmış örnek bir alanda yangından etkilenebilirlik durumu tüm görüntülerde karşılaştırılmıştır. Yangından etkilenen alanların bir kısmı topografik düzeltme uygulanmamış görüntülerde diğer alanlara dahil olurken, topografik düzeltme uygulanmış görüntülerde yangından etkilenen sınıfta kalmıştır (Şekil 3.24).

Topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde yangından etkilenmemiş diğer alanlar sınıfına dahil olan alan, bölgeye ait ortofotodan kontrol edildiğinde yangından etkilenmiş olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.24 : Maksimum Olabilirlik Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü.



Şekil 3.25 : Yangından etkilenme durumu örnek alan; (a): Örnek alana ait ortofoto, (b): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (c): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (d):PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü.

Sınıflandırmaya ait doğruluk analizi, çalışma alanına ait ortofotolar yardımıyla yapılmıştır. 80 yer kontrol noktasını içeren test verisi ortofoto üzerinde işaretlenmiştir. Bu test verisinin %50'sini yangından etkilenen alanlar, diğer %50'sini diğer alanlar oluşturmaktadır. Sınıflandırmaya ait genel doğruluklar Çizelge 3.18'de gösterilmiştir. Sınıflandırma genel doğruluğunu Minnaert Yöntemi %2.5, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri %3.75 artırmıştır.

Çizelge 3.18 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.

Yöntemler	Genel Doğruluk (%)
Topografik Düzeltmesiz	92.5
Minnaert	95.0
PBM	96.25
Minnaert+SCS	96.25

Sınıflandırma sonucunda elde edilen yangından etkilenen alan sınıfı topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde bazı bölgelerde diğer alanlar sınıfı ile karıştığı için bu durum alansal sonuçları da etkilemiştir. Bu bağlamda topografik düzeltme uygulanmamış görüntünün sınıflandırılması sonucu yangından etkilenen alan sınıfının alanı, topografik düzeltme yapılmış görüntülerin sınıflandırılması sonucu elde edilen alanlardan daha az çıkmıştır (Çizelge 3.19).

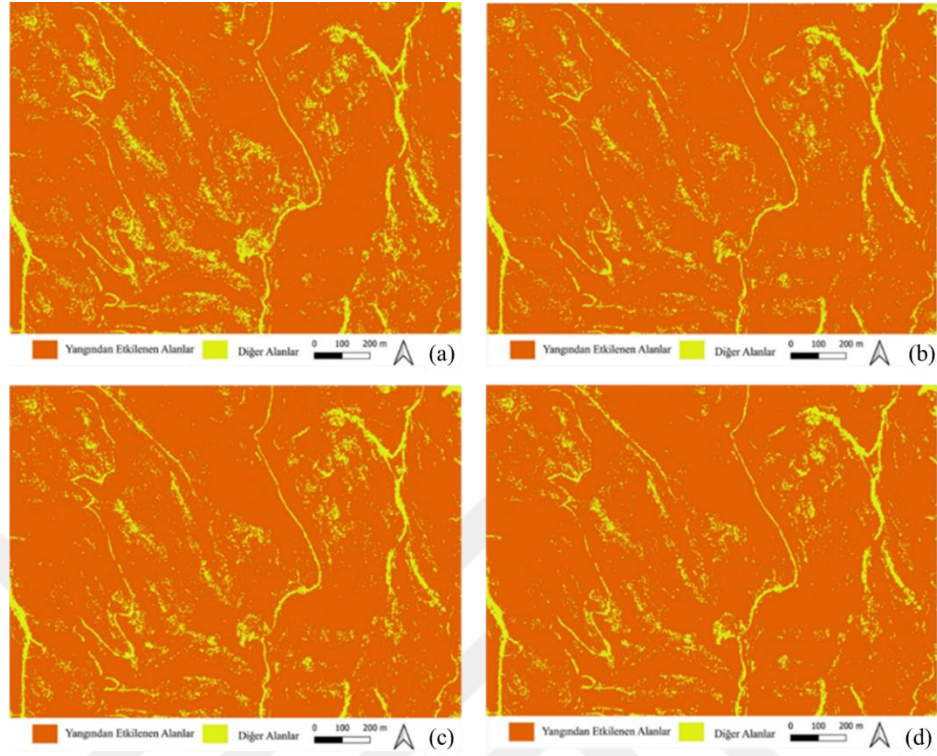
Çizelge 3.19 : Sınıflandırma alansal sonuçları.

Görüntüler	Yangından Etkilenen Alanlar (ha)	Diğer Alanlar (ha)
Topografik Düzeltmesiz	170.7	23.7
Minnaert Yöntemi	174.7	19.7
PBM Yöntemi	172.8	21.6
Minnaert+SCS Yöntemi	172.6	21.8

3.4.3.2 Rastgele orman sınıflandırma yöntemi

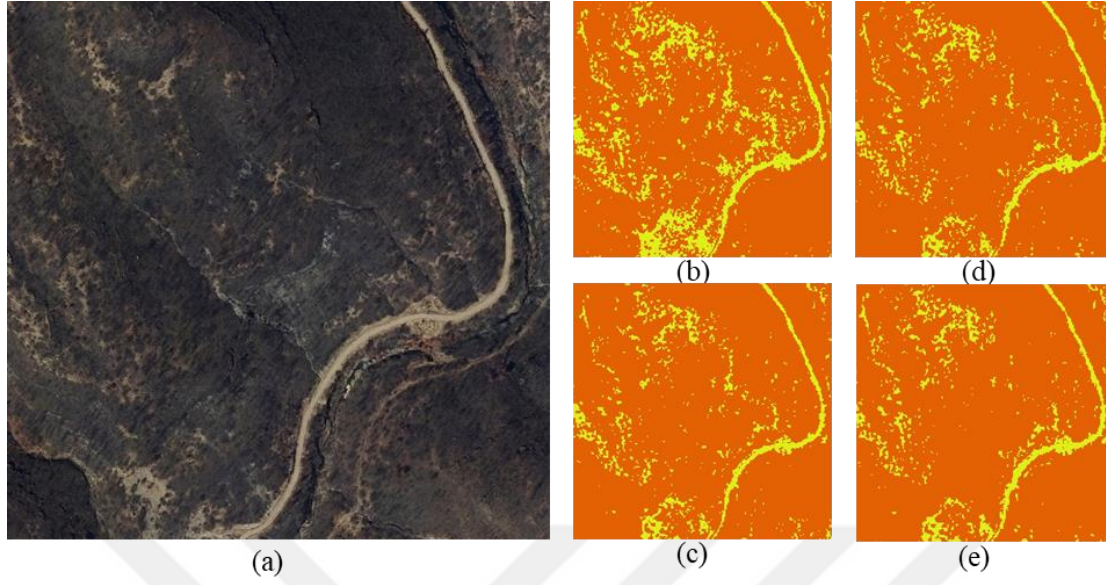
Topografik düzeltme uygulanmamış ve Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri uygulanmış görüntüler üzerinde Rastgele Orman Sınıflandırması yapılmıştır. Bu

sınıflandırmada da yangından etkilenen alan ve diğer alan olmak üzere iki sınıf oluşturulmuştur. Sınıflandırmadan elde edilen sonuçlar Şekil 3.26’da gösterilmiştir.



Şekil 3.26 : Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi sonuçları; (a): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (b): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (c): PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (d): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü.

Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi sonuçları incelendiğinde; Maksimum Olabilirlik Sınıflandırma Yöntemi sonuçlarına benzer şekilde topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde yangından etkilenen alanlar, Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS görüntüsündeki yangından etkilenen alanlara göre daha azdır. Maksimum Olabilirlik Yöntemi’nde olduğu gibi örnek alanda sınıflandırma sonuçları detaylı incelenmiştir. Ortofoto ile yangından etkilenen alanlar ve diğer alanlar kontrol edilmiştir. Bu sınıflandırma yöntemi sonucunda da topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde yangından etkilenen alanlar, diğer alanlar sınıfına girmiştir. Ortofotolar ile karşılaştırıldığında gerçeğe en yakın sonuçlar topografik düzeltme yapılmış görüntülerden elde edilmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27 : Yangından etkilenme durumu örnek alan; (a): Örnek alana ait ortofoto, (b): Topografik düzeltme uygulanmamış görüntü, (c): Minnaert Yöntemi uygulanmış görüntü, (d):PBM Yöntemi uygulanmış görüntü, (e): Minnaert+SCS Yöntemi uygulanmış görüntü.

Sınıflandırmaya ait genel doğruluklar incelendiğinde topografik düzeltme yöntemlerinin doğruluğu artırdığı görülmektedir. Minnaert Yöntemi %3.75, PBM Yöntemi %7.5 ve Minnaert+SCS Yöntemi ise %5 oranında genel doğruluğu artırmıştır (Çizelge 3.20).

Çizelge 3.20 : Topografik düzeltme uygulanmamış ve uygulanmış görüntülere ait sınıflandırma doğrulukları.

Yöntemler	Genel Doğruluk (%)
Topografik Düzeltmesiz	%87.5
Minnaert	%91.25
PBM	%95.0
Minnaert+SCS	%92.5

Sınıflandırma sonuçları alansal olarak incelendiğinde yangından etkilenen alanlar en az topografik düzeltme yapılmamış görüntüde çıkmıştır. Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinden alansal olarak yakın sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 3.21’de sınıflandırma sonucu elde edilen alansal sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 3.21 : Sınıflandırma alansal sonuçları.

Görüntüler	Yangından Etkilenen Alanlar (ha)	Diğer Alanlar (ha)
Topografik Düzeltilmesiz	171.1	23.3
Minnaert Yöntemi	178.3	16.1
PBM Yöntemi	176.6	17.8
Minnaert+SCS Yöntemi	177.8	16.6



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uzaktan algılamada, uydu görüntülerinden üretilen sayısal sonuçlar veya tematik haritalar, özellikle engebeli alanlarda yanıltıcı değerlendirmelere yol açabilmektedir. Değişken topografyaya sahip arazilerde, uydu görüntülerinden bilgi edinilmesinde; topografyadan kaynaklanan aydınlanma farklılıkları ve gölge etkisi gibi topografik etkilerin topografik düzeltme yöntemleriyle giderilmesi önemli bir ön işleme adımıdır. Literatürde birçok topografik düzeltme yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerin uydu görüntülerindeki performansı birbirlerinden farklılık gösterir. Topografik düzeltme yöntemleri sonucunda oluşan görüntüler görsel ve istatistiksel olarak değerlendirilerek performansları karşılaştırılabilmektedir. Tez çalışması kapsamında Landsat 8, Sentinel 2 ve Pleiades uydu görüntülerine Minnaert, Cosine, SCS, Minnaert+SCS, PBM ve PLC topografik düzeltme yöntemleri uygulanmıştır. Yöntemlerin sonuçları görsel ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Görsel analizde başarılı bir topografik düzeltme sonrasında görüntülerde aydınlanma farklılıklarının ve gölge etkisinin giderildiği, daha düz ve homojen bir görünümün oluşması beklenmektedir. Görüntüler görsel açıdan değerlendirildiğinde, topografik düzeltme sonrası bazı yöntemlerde görüntüler daha homojen, aydınlanma farklılıklarının giderildiği ve gölgelik alanların azaldığı bir hale dönüşürken bazı yöntemlerde ise görüntülerde aşırı düzeltmeler oluşmuştur. Landsat 8, Sentinel 2 ve Pleiades uydu görüntülerine uygulanan topografik düzeltme yöntemlerinin görsel analiz sonuçları şu şekildedir:

- Landsat 8 uydu görüntüsünde atmosfer üstü yansıtım değerlerine 30 m mekansal çözünürlüklü SYM kullanılarak topografik düzeltme yöntemlerinin uygulanması sonucunda görsel olarak en yüksek performansı Minnaert, PBM, Minnaert+SCS ve PLC yöntemleri göstermiştir. Fakat görüntülerin bazı bölgelerinde aşırı düzeltilmiş parlak alanlar oluşmuştur.
- Sentinel 2 uydu görüntüsünde yeryüzü yansıtım değerlerine ve atmosfer üstü yansıtım değerlerine topografik düzeltme yöntemleri hem 5 m hem de 30 m mekansal çözünürlüklü SYM kullanılarak uygulanmıştır. 5 m mekansal

özünürlüklü SYM'den elde edilen sonuçlara göre en iyi performansı Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri göstermiştir. 30 m mekansal özünürlüklü SYM'den elde edilen sonuçlar incelendiğinde görüntülerde bozulmalar olduğu görülmüştür.

- Pleiades uydu görüntüsünde atmosfer üstü yansıtım değerlerine 5 m mekansal özünürlüklü SYM kullanılarak topografik düzeltme yöntemleri uygulandığında en başarılı topografik düzeltme yöntemlerinin Minnaert, PBM, Minnaert+SCS ve PLC yöntemleri olduğu görülmüştür.
- Her üç görüntüde de görsel olarak en kötü performansı SCS ve Cosine yöntemleri göstermiştir. Bu yöntemler sonucu oluşan görüntülerde, aşırı düzeltme söz konusu olmuştur. Özellikle topografyanın engebeli olduğu kesimlerde aşırı düzeltilmiş çok parlak pikseller ortaya çıkmıştır.

İstatistiksel analizde görüntüleri ait standart sapma (SD) ve varyasyon katsayısı (CV) değerleri karşılaştırılmıştır. Bu analize göre başarılı bir performans gösteren topografik düzeltme yöntemi sonucunda görüntüleri ait bant yansıtımlarının SD ve CV değerleri benzer arazi örtüsü sınıflarında azalma göstermelidir. Bu sayede görüntülerde topografyanın değışken olduğu bölgelerde yansıtım değerlerinin normalize edilerek aydınlanma farklılıklarının giderilmesi sağlanır. Landsat 8, Sentinel 2 ve Pleiades uydu görüntülerine uygulanan topografik düzeltme yöntemlerinin istatistiksel analiz sonuçları şu şekildedir:

- Landsat 8 görüntüsünde topografik düzeltme yöntemleri sonucunda en iyi performansı istatistiksel açıdan Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri göstermiştir. Yansıtımlara ait SD ve CV değerleri bu yöntemler sonucunda topografik düzeltme uygulanmamış görüntüye kıyasla daha küçük bir değere sahiptir.
- Sentinel 2 görüntüsünde görsel analizde olduğu gibi iki farklı sonuç söz konusudur. 5 m mekansal özünürlüklü SYM ile yapılan topografik düzeltmeler sonucunda en yüksek performansı Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri gösterirken, 30 m mekansal özünürlüklü SYM ile yapılan topografik düzeltmeler sonucunda tüm bantlardaki yansıtımlarda SD ve CV değerleri artış göstermiştir.

- Pleiades uydu görüntüsünde Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinde yansıtımların SD ve CV değerleri azalmıştır.
- En kötü performansı görsel analizde olduğu gibi Cosine ve SCS yöntemleri göstermiştir. Bu yöntemler sonucunda yansıtımlardaki SD ve CV değerleri artış göstermiştir.
- PLC Yöntemi sonucunda ise tüm görüntülerde CV değerlerinde azalma varken, SD değerinde artış söz konusudur.

Tüm görüntülerdeki topografik düzeltme yöntemlerinin sonuçları incelendiğinde görsel ve istatistiksel analizler birbirini doğrulamaktadır. En yüksek performans Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinden elde edilmiştir. En düşük performansa sahip yöntemler ise Cosine ve SCS' dir. PLC Yöntemi Landsat 8 ve Pleiades görüntülerinde görsel olarak homojen bir görüntü oluştursa da istatistiksel olarak beklenen performansı göstermemiştir.

Analizler değerlendirildiğinde yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve SYM ile yapılan topografik düzeltmeler daha yüksek performans göstermektedir. Landsat 8 görüntüsünde topografik etkiler görüntünün bazı bölgelerinde giderilememiştir. Benzer şekilde Sentinel 2 görüntüsüne 30 m mekansal çözünürlüklü SYM ile topografik düzeltme yöntemleri uygulandığında görüntülerde bozulmaların olduğu görülmüştür. Tüm bu sonuçlar, topografik düzeltme yöntemlerinde uydu görüntüsü ve SYM' nin kalitesinin topografik düzeltmenin performansına etki ettiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre topografik düzeltme yöntemlerinde kullanılan SYM' nin çözünürlüğü ve uydu görüntüsünün çözünürlüğü birbirine yakın değerlerde olmalıdır. Uydu görüntüsünün çözünürlüğünden daha düşük çözünürlükte SYM kullanıldığında topografik düzeltme yöntemlerinin beklenen performansı göstermediği tespit edilmiştir. Topografik düzeltme yöntemlerinde uydu görüntüsünden daha yüksek mekansal çözünürlüklü SYM kullanıldığında, bu yöntemler daha yüksek performans göstermiştir.

Atmosfer üstü yansıtım ve yeryüzü yansıtım değerlerine uygulanan topografik düzeltme yöntemleri benzer sonuçlar vermiştir. Bu durum topografik düzeltme yöntemlerinin iki yansıtım değerine de uygulanabileceğini doğrulamıştır.

Topografik düzeltme yöntemlerinin ormanlık ve engebeli alanlardaki etkisini daha iyi belirlemek için alansal karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu kapsamda en iyi performansı

gösteren Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemleri uygulanmış görüntülere ve topografik düzeltme uygulanmamış görüntülere Maksimum Olabilirlik ve Rastgele Orman olmak üzere iki farklı sınıflandırma yöntemi uygulanarak alansal karşılaştırma yapılmıştır.

Maksimum Olabilirlik ve Rastgele Orman Sınıflandırma yöntemlerinin sonuçlarına göre:

- Her iki yöntemde de topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde yangından etkilenen alanlar, diğer alanlar sınıfında karışıklıklar söz konusudur. Yani topografik etkiler aynı objelerin farklı yansıtım değerleri göstererek farklı sınıf olarak algılanmasına sebep olmuştur. Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinden elde edilen sonuçlar bu sorunu gidermiştir.
- Topografik düzeltme uygulanmamış görüntüde yangından etkilenen bazı alanlar diğer alanlar sınıfına ve diğer alanlar sınıfı yangından etkilenen alanlar sınıfına dahil olduğu için alansal olarak doğru sonuçlar elde edilememiştir.
- Alansal olarak farklı sınıflandırma yöntemlerinden farklı sonuçlar elde edilse de, tüm görüntülerde sınıflandırma genel doğruluğu Minnaert, PBM ve Minnaert+SCS yöntemlerinde artış göstermiştir.
- Maksimum Olabilirlik Yöntemi'nde genel doğruluk en fazla; Landsat 8 görüntüsünde Minnaert ve Minnaert+SCS (%3.5), Pleiades görüntüsünde PBM ve Minnaert+SCS (%3.75) yöntemlerinde artış göstermiştir. Sentinel 2 görüntüsünde ise genel doğruluğun artış yüzdesi (%1.5) üç yöntemde de aynı kalmıştır.
- Rastgele Orman Yöntemi'nde Landsat 8 görüntüsünün genel doğruluğu en fazla Minnaert ve Minnaert+SCS (%2) yöntemlerinde artmıştır. Sentinel 2 (%1.5) ve Pleiades (%7.5) görüntülerinde genel doğruluk PBM Yöntemi'nde daha fazla artış göstermiştir.
- Maksimum Olabilirlik ve Rastgele Orman yöntemlerinin sınıflandırma sonuçlarında tüm görüntüler için genel doğrulukta bir miktar değişiklikler tespit edilmiştir. Maksimum Olabilirlik Yöntemi uygulanan sınıflandırma sonuçları için bu oranlar %1 ile %3.75 arasında değişirken, Rastgele Orman Yöntemi'nde bu değişim %1.5 ile %7.5 arasında belirlenmiştir. Her iki yöntem

sonucunda da, bu çalışmada da olduğu gibi, az sayıda sınıfın belirlendiği durumlarda orta mekansal çözünürlüklü görüntülerde genel doğruluk çok büyük değişiklik göstermese de yüksek mekansal çözünürlüklü görüntülerde bu değişimin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

- Yapılan değerlendirmeler sonucunda engebeli topografyada yapılan sınıflandırmalarda topografik etkinin göz önünde bulundurulması gerektiği anlaşılmıştır.

Bu yüzden; topografik düzeltme yöntemlerinin sınıflandırma genel doğruluğuna etkisi hakkında daha fazla araştırmaya gerek vardır. Topografik düzeltmenin sınıflandırmaya olan etkisini anlamak için; daha fazla sınıftan oluşan görüntülere bu yöntemler uygulanmalıdır. Görüntülerdeki her bir arazi örtüsü sınıfları için düzeltmenin ayrı ayrı yapılarak sınıflandırma sonuçları analiz edilmelidir. Ayrıca çeşitli sınıflandırma yöntemleri kullanılarak topografik düzeltmenin sınıflandırma doğruluğuna etkisi daha detaylı irdelenmelidir.

Topografik düzeltme yöntemlerinin performanslarını artırmak için görüntülerdeki gölgeler tespit edilip topografik düzeltme yöntemleri bu alanlara uygulanmalıdır. Görüntülerde gölgeli ve güneşli alanlar ayrılarak topografik düzeltmenin görüntü üzerindeki etkisi test edilmelidir. Topografik düzeltme yöntemlerinin engebeli orman alanları üzerindeki etkisini daha iyi görmek için, orman içerisindeki ağaç türlerine göre orman alanı ayrılarak bu alanlarda topografik düzeltmeler yapılmalıdır. Topografik etkiler topografyanın durumuna ve Güneş'in konumuna bağlı olduğu için görüntülerdeki coğrafi dağılım, mevsimsel değişimler ve iklim koşulları da değerlendirilmelidir. Bu kapsamda aynı bölgede farklı mevsimlerde algılanmış dolayısıyla da farklı aydınlanma koşullarına sahip görüntülerde topografik düzeltme yöntemlerinin etkisi değerlendirilmelidir.

Topografik düzeltme yöntemleri engebeli arazilerdeki ormanlık alanların, yangın sonrası yönetimi için kullanılacak herhangi bir sınıflandırma metodolojisinin temel bir unsuru olarak görülmelidir.



KAYNAKLAR

- Buchner, J., Yin, H., Frantz, D., Kuemmerle, T., Askerov, E., Bakuradze, T., Bleyhl, B., Elizbarashvili, N., Komarova, A., Lewińska, K. E., Rizayeva, A., Sayadyan, H., Tan, B., Tepanosyan, G., Zazanashvili, N. & Radeloff, V. C. (2020).** Land-cover change in the caucasus mountains since 1987 based on the topographic correction of multi-temporal landsat composites. *Remote Sensing of Environment*, 248, 111967.
- Chen, R., Yin, G., Liu, G., Li, J. & Verger, A. (2020).** Evaluation and normalization of topographic effects on vegetation indices. *Remote Sensing*, 12(14), 2290.
- Chi, H., Yan, K., Yang, K., Du, S., Li, H., Qi, J., & Zhou, W. (2022).** Evaluation of topographic correction models based on 3-D radiative transfer simulation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19, 1–5.
- Çölkesen, İ. (2009).** *Uzaktan Algılamada İleri Sınıflandırma Tekniklerinin Analizi*, (Yüksek Lisans Tezi), GYTE Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Domadia, S.G., & Zaveri, T. (2011).** Comparative Analysis of Unsupervised and Supervised Image Classification Techniques. *National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology*, B.V.M. Engineering College, Hindistan, 13-14 Mayıs.
- Dong, C., Zhao, G., Meng, Y., Li, B., & Peng, B. (2020).** The effect of topographic correction on forest tree species classification accuracy. *Remote Sensing*, 12(5), 787.
- Erdem, F., Derinpınar, M. A., Nasirzadehdizaji, R., Oy, S., Şeker, D. Z., & Bayram, B. (2018).** Rastgele Orman yöntemi kullanılarak kıyı çizgisi çıkarımı İstanbul örneği. *Geomatik*, 74–81.
- Fang, Y., Zhao, J., Liu, L., & Wang, J. (2020).** Comparision of eight topographic correction algorithms applied to landsat 8 oli imagery based on the dem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 428(1), 012051.
- Füreder, P. (2010).** Topographic correction of satellite images for improved LULC classification in Alpine Areas. *10th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography*, Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung, 45, 187-194.
- Ghasemi, N., Mohammadzadeh, A., & Sahebi, M. R. (2013).** Assessment of different topographic correction methods in Alos AVNIR-2 data over a forest area. *International Journal of Digital Earth*, 6(5), 504–520.

- Gitas, I. Z., & Devereux, B. J.** (2006). The role of topographic correction in mapping recently burned Mediterranean forest areas from Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 27(1), 41–54.
- Gu D., & Gillespie A.** (1998). Topographic normalization of Landsat TM images of forest based on subpixel sub-canopy sensor geometry. *Remote Sensing of Environment*, 64 (2) ,166–175
- Hurni, K., Van Den Hoek, J., & Fox, J.** (2019). Assessing the spatial, spectral, and temporal consistency of topographically corrected landsat time series composites across the mountainous forests of Nepal. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111225.
- Jiang, H., Chen, A., Wu, Y., Zhang, C., Chi, Z., Li, M., & Wang, X.** (2022). Vegetation monitoring for mountainous regions using a new integrated topographic correction (ITC) of the SCS + C Correction and the shadow-eliminated vegetation index. *Remote Sensing*, 14(13), 3073.
- Jimenez R.V, Calcerrada R.R., Bernal R.N., Funes P.A, & Novillo C.J.** (2017). Topographic correction to Landsat imagery through slope classification by applying the SCS + C method in mountainous forest areas. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(9), 287.
- John, S., & Varghese, A. O.** (2022). Analysis of support vector machine and maximum likelihood classifiers in land cover classification using Sentinel-2 images. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 88(2), 213–227.
- Koç A., Yener H., & Çoban H.O.** (2006). Landsat Etm+ verilerinde topografik normalizasyonun sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkisi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 56(2), 58-73.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. & Chipman, J.W.** (2018). *Uzaktan Algılama ve Görüntü Yorumlama*, (7. Baskıdan Çeviri), Palme Yayınevi, Ankara.
- Liu, T., Yang, L., & Lunga, D.** (2021). Change detection using deep learning approach with object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 256, 112308.
- Louppe, G.** (2014). *Understanding random forests from theory to practice*. (Doktora tezi). University of Liège, Faculty of Applied Sciences, Department of Electrical Engineering & Computer Science, Liège.
- Lu, D., & Weng, Q.** (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823–870.
- Lu, D., Ge, H., He, S., Xu, A., Zhou, G. & Du, H.** (2008). Pixel-based Minnaert Correction Method for reducing topographic effects on a Landsat 7 ETM+ Image. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(11), 1343–1350.

- Ma Y., He T., Li A., & Li S.** (2021). Evaluation and intercomparison of topographic correction methods based on Landsat images and simulated data. *Remote Sensing*, 13(20), 4120.
- María Luisa, E., Frédéric, B. & Marie, W.** (2008). Slope correction for LAI estimation from gap fraction measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(10), 1553–1562.
- Minnaert, M.** (1941). The reciprocity principle in lunar photometry. *The Astrophysical Journal*, 93, 403.
- Mishra V.D., Sharma J.K. & Khanna R.** (2010). Review of topographic analysis methods for the western Himalaya using AWiFS and MODIS satellite imagery. *Annals of Glaciology*, 51(54), 153-160
- Musaoğlu, N.** (1999). *Elektro-optik ve mikrodalga algılayıcılardan elde edilen uydu verilerinden orman alanlarında meşcere tiplerinin ve yetiştirme ortamı birimlerinin belirlenme olanakları.* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Örmeci, C.** (1987). *Uzaktan Algılama: Temel Esaslar ve Algılama Sistemleri.* İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Özcan, O.** (2021). Bölgede Kaydedilen İHA Görüntüleri, 3 Boyutlu Yer Modelleme Laboratuvarı-Earth3Bee Lab., İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.
- Phiri, D., Morgenroth, J., Xu, C., & Hermosilla, T.** (2018). Effects of pre-processing methods on Landsat oli-8 land cover classification using Obia and random forests classifier. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 170–178.
- Reeder, D.H.** (2002). *Topographic correction of satellite images: Theory and application.* (Doktora tezi), Dartmouth College, New Hampshire.
- Sertel, E., & Örmeci, C.** (2009). Bölgesel iklim modellemede kullanılan arazi örtüsü verilerinin doğruluğunun araştırılması. *İtü Dergisi*, 8(3), 29-38
- Sheykhmousa, M., Mahdianpari, M., Ghanbari, H., Mohammadimanesh, F., Ghamisi, P., & Homayouni, S.** (2020). Support Vector Machine versus random forest for remote sensing image classification: A Meta-analysis and systematic review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 6308–6325.
- Singh, S., & Talwar, R.** (2013). Effects of topographic corrections on MODIS sensor satellite imagery of mountainous region. *2013 International Conference On Signal Processing And Communication (ICSC).*
- Sisodia, P. S., Tiwari, V., & Kumar, A.** (2014). Analysis of supervised maximum likelihood classification for Remote Sensing Image. *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014).*

- Smith, J., Tzeu, L., & Ranson, K.** (1980). The lambertian assumption and landsat data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 46(10), 1183–1189.
- Smith, R.B.** (2012). *Introduction to Remote Sensing of Environment (RSE)*, MicroImages Inc.
- Sola, I., González-Audicana, M., & Álvarez-Mozos, J.** (2016). Multi-criteria evaluation of topographic correction methods. *Remote Sensing of Environment*, 184, 247–262.
- Sunar, F., Özkan, C., & Osmanoğlu, B.** (2011). *Uzaktan Algılama*. Anadolu Üniversitesi Eskişehir, birinci basım.
- Teillet, P. M., Guindon, B., & Goodenough, D. G.** (1982). On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 8(2), 84–106.
- Umarhadi, D. A., & Danoedoro, P.** (2019). Correcting topographic effect on Landsat-8 images: an evaluation of using different dems in Indonesia. *Sixth Geoinformation Science Symposium*, Yogyakarta, Indonesia.
- Vanonckelen S., Lhermitte S., & Rompaey A.V.** (2013). The effect of atmospheric and topographic correction methods on land cover classification accuracy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 24, 9–21
- Vanonckelen S., Lhermitte S., Balthazar V., & Rompaey A.V.** (2014). Performance of atmospheric and topographic correction methods on Landsat imagery in mountain areas. *International Journal of Remote Sensing*, 35(13), 4952–4972.
- Vogtli, M., Schlapfer, D., Richter, R., Hueni, A., Schaepman, M. E., & Kneubuhler, M.** (2021). About the transferability of topographic correction methods from spaceborne to airborne optical data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 1348–1362.
- Yin G., Cao B., Li J., Fan W., Zeng Y., Xu B., & Zhao W.** (2020). Path Length Correction for improving leaf area index measurements over sloping terrains: A deep analysis through computer simulation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(7), 4573–4588.
- Young, N. E., Anderson, R. S., Chignell, S. M., Vorster, A. G., Lawrence, R., & Evangelista, P. H.** (2017). A survival guide to landsat preprocessing. *Ecology*, 98(4), 920–932.
- Zylshal Z., Bayanuddin A.A., Nugroho F.S., & Munawar S.T.** (2021). Correcting the topographic effect on Spot-6/7 multispectral imageries: A comparison of different digital elevation models. *Geomatics Application for Geography, (Special Issue)*, 163–179.
- Url-1** <https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation>, erişim tarihi 21.10.2022.

Url-2 <<https://grindgis.com/remote-sensing/vegetation-spectral-signature-cheat-sheet>>, erişim tarihi 21.10.2022.

Url-3 <<https://live-eo.com/remote-sensing-and-vegetation-management/>>, erişim tarihi 21.10.2022.

Url-4 <[https://en.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A9iades_\(satellite\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A9iades_(satellite))>, erişim tarihi 21.10.2022.

Url-5 <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>>, erişim tarihi 21.10.2022.

Url-6 <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>>, erişim tarihi 21.10.2022.

Url-7 <<https://earth.esa.int/eogateway/documents/20142/37627/Pleiades-Imagery-User-Guide>>, erişim tarihi 21.10.2022.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Gül Nur KARAL NESİL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği

YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Karal Nesil, G. & Musaoğlu, N. (2022).** Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinden Yanmış Orman Alanlarının Belirlenmesinde Topografik Düzeltmenin Etkisi. *UZAL-CBS Kongresi*, Kasım 17-18, 2022 Ankara, Türkiye.
- **Karal Nesil, G. & Musaoğlu, N. (2023).** Landsat-8 uydu görüntüsüne uygulanan farklı topografik düzeltme yöntemlerinin performanslarının orman alanlarında karşılaştırılması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* (Yayınlanmak üzere kabul edildi).