



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE YÜKSEK DAĞ SINIFLARINDAKİ ARAZİ KULLANIM
VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİKLİKLERİN İZLENMESİ VE
DEĞERLENDİRİLMESİ

SERDAR ERPAY

DANIŞMAN
PROF. DR. AYHAN ATEŞOĞLU

BARTIN-2022



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TÜRKİYE YÜKSEK DAĞ SINIFLARINDAKİ ARAZİ KULLANIM VE ARAZİ
ÖRTÜSÜ DEĞİŞİKLİKLERİN İZLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERDAR ERPAY

BARTIN-2022

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum “TÜRKİYE YÜKSEK DAĞ SINIFLARINDAKİ ARAZİ KULLANIM VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİKLİKLERİN İZLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

09.12.2022

Serdar ERPAY

ÖN SÖZ

Bu çalışmada ülkemizin yüksek dağ alanlarındaki arazi kullanım değişiminin tarihsel süreçteki eğilimleri incelenmiştir.

Öncelikle tez konusunda öneride bulunan ve bana yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. İş hayatımda bu tez sürecine destek olan Küre Dağları Milli Park Müdürü Ali BOZKURT'a, her zaman yanımda olan değerli arkadaşım, Sena Nur YILDIRIM'a, tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme, dostlarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

SERDAR ERPAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE YÜKSEK DAĞ SINIFLARINDAKİ ARAZİ KULLANIM VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİKLİKLERİN İZLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Serdar ERPAY

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU

Bartın-2022, sayfa: 63

Dünya yüzeyinin yaklaşık %27'si dağlarla kaplıdır ve dünya nüfusunun yaklaşık %15'ü dağlık alanlarda yaşarlar. Ayrıca, Dünya nüfusunun yaklaşık yarısı temel gereksinimleri bakımından dağlık alanlara bağlıdır. Gıda arzı, tatlı su ihtiyacı, biyoçeşitlilik, maden kaynakları vb. bakımından dağlık alanlar birçok ihtiyaca cevap vermektedir. Dağlık alanlar ekolojik, estetik ve sosyoekonomik ihtiyaçlar için de son derece önemli alanlardır. Dağlık alanlar iklim değişikliği ve iklim değişikliğinin etkilerinin değerlendirilmesi noktasında da önemli rol oynamaktadırlar. İnsan faaliyetleri sonucu dağlık alanlardaki arazi kullanım sorunları, iklim değişikliğini de tetiklemektedir. Bu nedenle dağlık alanlarda insan kaynaklı arazi değişimleri, iklim değişikliğine yönelik ekolojik parametrelerin izlenmesi ve değerlendirilmesi son derece önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Türkiye yüksek dağ ekosistemlerinin potansiyel durumu, ekolojik parametrelerdeki uzun yıllar eğilimlerinin tespiti ve sonuçların küresel iklim değişikliği çerçevesinde değerlendirmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamında, temel altlık olarak Küresel Dağ Araştırmalarının (K3) sınıflandırmasına göre, Türkiye'deki Yüksek ve Dağınık Yüksek Dağ Sınıfları temel çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada çok amaçlı arazi izleme ve değerlendirme yazılımı olan ve FAO tarafından geliştirilen Collect Earth yazılımı kullanılmıştır. Çalışma alanı için toplam 4018 parsel deneme alanı (0.5 ha) için veri üretilmiş ve veriler tüm alana enterpole edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, çalışma alanı içerisindeki en büyük arazi kullanım sınıfları Orman ve Mera alanlarıdır. Yüksek ve Dağınık Yüksek Dağ Sınıflarının arazi örtüsü/kullanım alanlarının 2000-2022 yılları arasındaki değişimi incelendiğinde Orman alanlarının 179376,40 ha azaldığı tespit edilmiştir. Yerleşim alanı ise alansal artış olarak en yüksek artışı gösteren sınıf olmuştur. Yüksek ve Dağınık Yüksek Dağ Sınıfları içerisindeki NDVI değişim

alanları incelendiğinde, toplam 2472831,6 ha vejetasyon artışı göstermiş alanlar statüsünde yer almıştır. Bu değişim arazi sınıfları içerisinde vejetasyona bağlı iyileşme alanları olarak yorumlanabilir. NDVI artışının en çok yaşandığı arazi kullanım sınıflarının da Orman ve Mera sınıfları olduğu tespit edilmiştir. Yüksek ve Dağınık Yüksek Dağ Sınıfları içerisindeki ekolojik etmenlerin değişimleri incelendiğinde, yağışların düşüş eğiliminde, gerçekleşen maksimum ve minimum sıcaklıkların artış eğiliminde, benzer olarak evapotranspirasyon değişimlerinin ve iklimsel su açığının artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küresel Dağ Hizmetleri, Arazi kullanımı, Arazi kullanım değişimi, Collect Earth, Earth Map

Bilim Alanı Kodu: 120512

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

MONITORING AND ASSESSMENT OF LAND-USE AND LAND-COVER CHANGES IN HIGH MOUNTAINS OF TURKEY

Serdar ERPAY

Bartın University

Graduate School

Department of Forest Engineering

Thesis Advisor: Prof. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU

Bartın-2022, pp: 63

Approximately 27% of Earth's surface is covered by mountainous areas in which about 15% of the total population of the world is settled. Moreover, almost half of the population in the world is dependent on the mountainous area regarding the essential needs. Mountainous areas supply the requirements including food supply, need for freshwater, biodiversity, and mineral resources. Mountainous fields play a crucial role in terms of ecology, aesthetics, and socioeconomic needs. They have a significant place in climate change and the evaluation of its consequences. The problems of land cover/use in mountainous areas caused by human interference lead to climate change. Thus, it is of high importance to monitor and evaluate the human-based alteration of the land and ecological parameters for climate change. The current study aims to assess the potential condition of high mountain ecosystems in Turkey, its long-term inclination in the ecological parameters, and to evaluate its results within the scope of global climate change. In this study, the High and Scattered High Mountains in Turkey was selected as a base map according to the K3 classification presented by Global Mountain Explorer. In addition, Collect Earth software, which is a multi-purpose observation and evaluation software developed by FAO, was used. For the study field, data were generated for the 4018 plot (0.5 ha) area and they were interpolated to these areas. The results of the analysis revealed that Forest and Grassland has the largest land use area. When the change in land use and land cover of High and Scattered High Mountain classes between 2000-2022 were analysed, it was determined that the Forest area decreased to 179376.40 ha.

On the other hand, the Settlement area was the one with the highest increase. A vegetation increase to 2472831.6 ha was observed when the NDVI change areas in High and Scattered High Mountain Classes were examined. This vegetation increase was possibly interpreted as an improvement depending on the vegetation within the land classes. The highest increase of NDVI was observed in the forest and grassland. Considering the changes in ecological elements in High and Scattered High Mountain Classes, it was observed that precipitations had a tendency to decrease while the maximum and minimum temperatures increase. Similarly, the evapotranspiration changes and climatic water deficit was detected to increase.

Keywords: Global Mountain System, Land use, Land use change, Collect Earth, Earth Map

Bilim Alanı Kodu: 120512

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| BEYANNAME..... | ii |
| ÖN SÖZ..... | iii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| İÇİNDEKİLER..... | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | ix |
| TABLOLAR DİZİNİ..... | xi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. İklim Değişikliğinin Dağ Ekosistemi Hizmetlerine Olan Etkileri..... | 2 |
| 1.2 Çalışmanın Amacı ve Önemi..... | 5 |
| 2. UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN BİRLİKTE KULLANIMI..... | 6 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 14 |
| 3.1. Kullanılan Veriler..... | 17 |
| 3.2. Open Foris/Collect Earth (CE)..... | 20 |
| 4. UYGULAMA..... | 27 |
| 4.1. Örnek Alanların Oluşturulması ve Collect Earth Aracı ile Veri Toplama..... | 27 |
| 4.2. Anket Penceresi..... | 29 |
| 4.3. Arazi Örtü/Kullanım Sınıfları ve Değişimleri (2000-2022)..... | 34 |
| 4.4. Eğilim Analizleri..... | 38 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 53 |
| KAYNAKLAR..... | 57 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| Şekil No | Sayfa No |
|---|-------------|
| 1. 1: Küresel su döngüsü modeli (URL-1) | 3 |
| 2. 1: Uzaktan algılamanın gösterimi; (1) güneş ışığı, (2) atmosfer, (3) Dünya özellikleri, (4) uydu, (5) anten alıcısı, (6) bilgisayar analizi, (7) uygulama (URL-2)..... | 6 |
| 2. 2: Coğrafi Bilgi Sistemleri Bileşenleri (URL-4) | 10 |
| 3. 1: K3 Sınıflandırmasına göre küresel dağ alanlarının haritası (Sayre, 2018) | 16 |
| 3. 2: K3 Dağ Sınıflarına göre Türkiye yüksek ve dağınık yüksek dağ sınıfları haritası | 17 |
| 3. 3: GEE kod düzenleyici arayüzü | 22 |
| 3. 4: Earth Map arayüzünde arazi değişimi analiz örneği | 23 |
| 3. 5: Collect Earth deneme alanı ve veri toplama kartı örneği | 24 |
| 3. 6: Yardımcı yazılımlarla Collect Earth arazi izleme sistemine genel bakış (Bey vd. 2016) | 26 |
| 4. 1: Yüksek ve Dağınık Yüksek Dağ Alanları için sistematik olarak dağıtılmış 4018 adet deneme parselleri..... | 27 |
| 4. 2: Her bir parsele ait anket veri girişi | 28 |
| 4. 3: 4018 parsellerin bölümlere ayrılmış hali..... | 28 |
| 4. 4: Parsellere ilişkin Google Earth Pro, Bing Maps, Google Earth Engine (GEE) ve Earth Map pencereleri | 29 |
| 4. 5: Arazi örtüsü veri girişi | 30 |
| 4. 6: Arazi örtüsü veri girişi | 30 |
| 4. 7: Arazi kullanım sınıfının belirlenmesi için karar ağacı (IPCC Sınıflandırma Sistemi) | 31 |
| 4. 8: Parselin bulunduğu konumun zamansal değişimi (üstte) ve alana ait veri girişi (altta) | 32 |
| 4. 9: Parsele ait Earth Map grafik verileri | 33 |
| 4. 10: Not sayfası veri girişi | 34 |
| 4. 11: Veri girişi tamamlanmış .csv formatındaki veri tabanı dosyası | 34 |
| 4. 12: Türkiye'nin Yüksek Dağ ve Dağınık Yüksek Dağ Sınıflarının IPCC sınıflarına göre güncel arazi örtüsü/kullanım haritası | 35 |
| 4. 13: Arazi örtü/kullanım değişimi tematik haritası..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 4. 14: NDVI eğiliminin pozitif (solda) ve negatif yönde (sağda) farkları..... | 38 |
| 4. 15: NDVI eğilimi farklarının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar..... | 39 |
| 4. 16: NDVI eğiliminin farklarının negatif yönde artış gösterdiği alanlar | 40 |
| 4. 17: Yağış indisi eğilim farklarının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar..... | 41 |
| 4. 18: Yağış indisi eğilim farklarının negatif yönde artış gösterdiği alanlar | 42 |
| 4. 19: Maksimum sıcaklık indisi eğilim farkının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar | 44 |
| 4. 20: Maksimum sıcaklık indisi eğilim farkının negatif yönde artış gösterdiği alanlar..... | 45 |
| 4. 21: Minimum sıcaklık indisi eğilim farkının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar..... | 46 |
| 4. 22: Minimum sıcaklık indisi eğilim farkının negatif yönde artış gösterdiği alanlar | 47 |
| 4. 23: PET indisi eğilim farkının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar | 48 |
| 4. 24: PET indis eğilim farklarının negatif yönde artış gösterdiği alanlar | 49 |
| 4. 25: Su açığı indisi eğilim farklarının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar | 50 |
| 4. 26: Su açığı indis eğilimi farklarının negatif yönde artış gösterdiği alanlar | 51 |
| 4. 27: Popülasyon yoğunluğunun artış ve azalış şiddeti..... | 52 |

TABLolar DİZİNİ

| Tablo | Sayfa |
|--|--------------|
| No | No |
| 2. 1: CBS'nin tarihsel gelişim süreci (Schiewe, 2003'e göre değiştirilerek güncellenmiştir.) | 9 |
| 2. 2: UA –CBS entegrasyonu üst seviye faktörleri (Weng, 2010) | 13 |
| 3. 1: Küresel dağlık alanların genel özellikleri ve karşılaştırılmaları (Sayre, 2018)..... | 15 |
| 3. 2: IPCC kılavuzunda belirtilen ana arazi kategorileri (IPCC, 2003)..... | 18 |
| 4. 1: Türkiye'nin Yüksek Dağ ve Dağınık Yüksek Dağ Sınıflarının IPCC sınıflarına göre güncel arazi örtüsü/kullanım alanlarının dağılımı | 35 |
| 4. 2: Arazi örtüsü/kullanım sınıfları değişim matrisi (2000-2022) | 36 |
| 4. 3: NDVI sınıflandırma aralıkları (Alex ve ark. 2017)..... | 38 |
| 4. 4: IPCC sınıflarına göre pozitif yöndeki NDVI farkı alansal dağılımı | 39 |
| 4. 5: IPCC sınıflarına göre negatif yöndeki NDVI farkı alansal dağılımı..... | 40 |
| 4. 6: IPCC sınıflarına göre pozitif yöndeki yağış farkının alansal dağılımı..... | 41 |
| 4. 7: IPCC sınıflarına göre negatif yöndeki yağış indis farkının alansal dağılımı | 42 |
| 4. 8: IPCC'e göre pozitif yöndeki maksimum sıcaklık farkının alansal dağılımı | 43 |
| 4. 9: IPCC'e göre negatif yöndeki maksimum sıcaklık farkının alansal dağılımı | 44 |
| 4. 10: IPCC'e göre pozitif yöndeki minimum sıcaklık farkının alansal dağılımı | 45 |
| 4. 11: IPCC'e göre negatif yöndeki minimum sıcaklık farkının alansal dağılımı..... | 47 |
| 4. 12: IPCC sınıflarına göre pozitif yöndeki PET indisi farkının alansal dağılımı | 48 |
| 4. 13: IPCC sınıflarına göre negatif yöndeki PET indisi farkının alansal dağılımı | 49 |
| 4. 14: IPCC sınıflarına göre pozitif yöndeki su açığı indis farkı alansal dağılımı | 50 |
| 4. 15: IPCC sınıflarına göre negatif yöndeki su açığı indis farkı alansal dağılımı | 51 |
| 4. 16: Popülasyon yoğunluğu artan ve azalan alanlar | 52 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|-------------------|----------------------|
| °C | : santigrat derece |
| ha | : hektar |
| km | : kilometre |
| kg/m ² | : kilogram/metrekare |
| m | : metre |
| mm | : milimetre |
| m ² | : metrekare |

KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|--------|--|
| AET | : Gerçek Evapotranspirasyon |
| CBS | : Coğrafi Bilgi Sistemleri |
| CE | : Collect Earth |
| EH | : Ekosistem Hizmetleri |
| ET | : Evapotranspirasyon |
| FAO | : Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü |
| GE | : Google Earth |
| GEE | : Google Earth Engine |
| IPCC | : Hükûmetler Arası İklim Değişikliği Paneli |
| K1 | : Kapos ve ark.2000 Dağ Sınıfları |
| K2 | : Körner ve ark 2011 Dağ Sınıfları |
| K3 | : Karagulle ve ark 2017 Dağ Sınıfları |
| NAW | : Neighborhood Analysis Window |
| NDVI | : Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndisi |
| PET | : Potansiyel Evapotranspirasyon |
| SYM | : Sayısal Yükseklik Modeli |
| UA | : Uzaktan Algılama |
| UNFCCC | : Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi |
| WD | : Su Açığı |

1. GİRİŞ

Dağlar, Dünya karasal alanın %27'sini kaplamaktadır. 2017 yılında dünya nüfusunun %15'ini oluşturan küresel dağ nüfusu, yaklaşık 1,1 milyara ulaşmıştır (Romeo ve ark. 2020). Dağlar özellikle dünyanın temiz su kaynaklarıdır (Viviroli ve ark. 2020). Bu bağlamda dağlar, küresel nüfusun önemli bir kısmına yaşamsal kaynak sağlamaktadır. Dağlar ile sağlanan mal ve hizmetlere duyulan bu küresel gereksinim, kaynakların sürdürülebilirliğini, nüfus ve iklim baskısından korumak için acil bir araştırma ve izleme ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır (Rogora ve ark. 2018, Hagedorn ve ark. 2019, Tito ve ark. 2020)

Dağların önemi giderek artmasına rağmen, yayınlanan literatürlerde ekosistem hizmetleri kavramına ve ekosistem hizmetlerine yönelik insan etkilerine odaklanılmıştır (Schmeller ve ark. 2018, Grêt-Regamey 2020). Dağ ekosistemlerinin insanlığa sağladığı gıda ürünleri, su arzı, turizm kültürel ve endüstriyel gelişmeleri karşılama ve bu bakış açıları üzerinden sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde hareket edilmesi bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dağ sistemlerinin sağladığı ekosistem hizmetlerinin önemi yeni anlaşılmaya başlanmıştır. Sadece dağ topluluklarının değil düz alanda yaşayan nüfusun da bu hizmetlere ne ölçüde bağımlı olduğu göz önüne alındığında, küresel değişim bu ekosistemlerde büyük tehditler meydana getirmektedir. Özellikle iklim değişikliği, dağ ekosistemlerini küresel olarak diğer karasal habitatlardan daha hızlı bir şekilde etkilemektedir (Gurung ve ark. 2021). Dünya çapında dağ kriosferindeki hızlı buzul çözülme oranı nedeniyle, dağ buzulları küresel iklimin ve ısınmanın temel göstergeleri haline gelmiştir. İklim değişikliğinin dağların hayati önem sağladığı ekosistem hizmetlerinin kapasitesini şimdiden etkilediği görülmektedir. Bu da dağ topluluklarında bu ekosistem hizmetlerine yönelik artan talepler arasında denge kurulmasını gerektirmektedir. Önemli noktalardan biri, dağ ekosisteminin yüksek hassasiyetleri nedeniyle küresel erken uyarı sistemleri olarak hizmet edebilir olmasıdır (Pörtner ve ark. 2022). Dağlık alanlardaki iklim değişikliğinin orta ve uzun vadeli potansiyel etkilerinin gelecekte insan faktörleri nedeniyle daha da şiddetli bir süreç içerisine gireceği tahmin edilmektedir. İklim değişikliğinin etkilerinin dağlık alanlarda hissedilmeye başlanarak çevreyi ve en nihayetinde insanları etkileyeceği öngörülmektedir. Bu bağlamda iklim değişikliğine bağlı etkenlerin dağlık ekosistemlerde aramak ve çözüm odaklı yaklaşımlarında dağlık ekosistemlerden başlayarak planlanması uygun olacaktır. Bunun için dağlara özgü planlama ve politikaların

gerçekleştirilecek olması, yerelden bölgesel düzeye uyum stratejilerinin formüle edilmesinde ilk adımı sağlayabilir.

1.1. İklim Değişikliğinin Dağ Ekosistemi Hizmetlerine Olan Etkileri

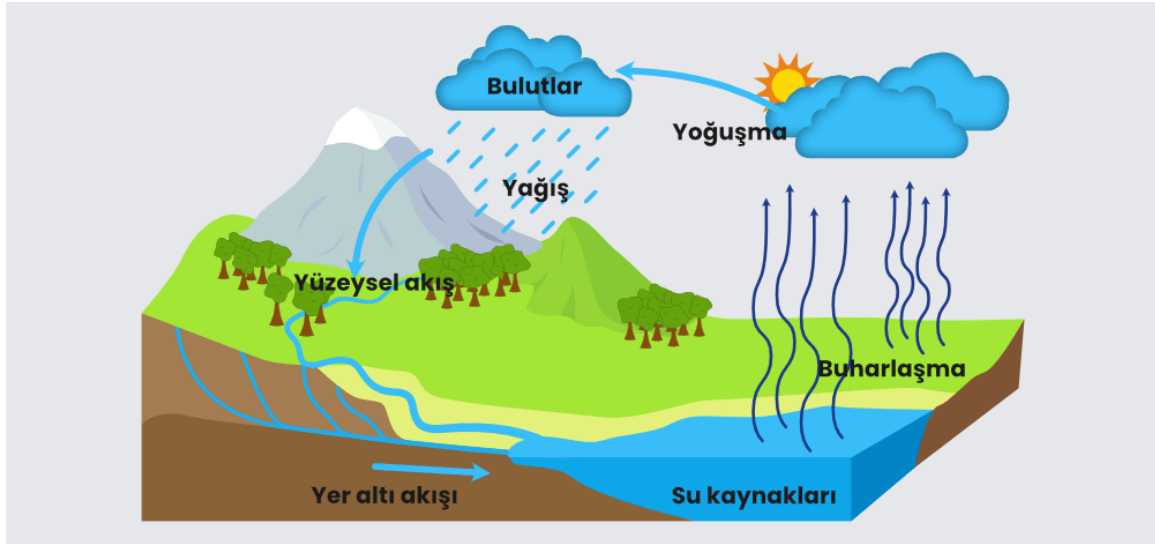
Dağlar, iklim değişikliğine karşı en hassas bölgeler arasındadır. Küresel ısınmanın en açık göstergelerinden bazılarını taşımakta olup, 20. yüzyılda dünya genelinde ortalamanın üstünde ısınma olduğu dağlık alanlardan faydalanılarak ortaya konmuştur (Rangwala ve Miiler, 2012; Palomo, 2017). İklim değişikliğinin dağ sistemlerinin öne çıkan hizmetlerini sağlama üzerindeki etkilerini tahmin etmek, küresel değişimin bir bütün olarak değerlendirilmesinde hayati önem taşımaktadır. Küresel değişimden dolayı ortaya çıkan olguların birçoğu küresel olarak dağ ortamlarını etkilemektedir. İklim değişikliğine ek olarak küreselleşme, arazi kullanımını değişikliği, ekonomi politikası ve nüfus baskısı da dağlık alanlarını etkilemektedir. Küresel değişimin ekosistem hizmetleri üzerindeki etkileri konusundaki bilgiler yeterli düzeyde değildir. Dağ ve diğer karasal alanlardaki bu belirsizlik ve sebepleri günümüzde de geçerliliğini korumaktadır (Pörtner ve ark. 2022).

Ekosistem çeşitliliği ile biyolojik çeşitlilik farklı iki olgudur. Ekosistem çeşitliliği, canlı varlıklar (bitkiler, hayvanlar, mikroorganizmalar vb.) ile bunların ilişkili yaşadıkları cansız çevresel varlıkların (hava, toprak, su, hava, mineraller vb.) etkileşimde oldukları hareketli bir sistem olarak ifade edilirken biyolojik çeşitlilik ise canlılar ile buldukları ekolojik çevreler arasındaki değişkenliği ve çeşitliliği anlatan bir terimdir (Çepel, 2007). Dünya’da canlıların ortaya çıkması ile başlayan süreçten bu yana var olan biyolojik çeşitlilik, tür, genetik ve dağ ekosistemi çeşitliliğini içerir. Ekosistemler, bu birikimde önemli bir yer tutar. Dünya’daki yaşam destek üniteleri, ekosistem ve biyolojik çeşitlilikten meydana gelir ve ekolojideki doğallığın sürekliliğine destek olurlar. Ekosistemler ve biyolojik çeşitlilik, doğadaki değişimleri ve dengeyi sağlayarak insanoğlunun hayatına sorunsuzca devam etmesini sağlar.

Biyolojik çeşitlilik ile ekosistemlerin tahrip olması, son yüzyıl içinde ciddi çevresel ve sosyal sorunlara sebep olmuştur. Dünya üzerindeki demografik yapı ekosistemler üzerindeki baskıyı sürekli arttırmaktadır. Doğal kaynakların gelişmiş kullanımı, kentleşme, yaygın sanayileşme, ormansızlaşma gibi istenmeyen olayların meydana getirdiği sonuçlar önlenemez bir hal almış durumdadır (Malhi ve ark. 2020, Verma 2021). Zengin bir biyoçeşitlilik ve sağlıklı ekosistemler yaşamın temelidir. Ekosistem çeşitliliği habitatların çeşitliliğidir. Biyoçeşitlilikteki kayıp ekolojinin bozulmasına neden olur. Dolayısıyla bir dengeden söz etmek

mümkün olmaz. Bu bozulmanın ana nedeni antropojenik etmenlerdir. Ekosistemlerin ekonomik, ekolojik, sosyal ve kültürel sürdürülebilirliği tehlikededir. Dağ ekosistemleri bu değişimin tam merkezinde yer almaktadır (AAS, 2021). Sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için çevre etiği bilincinin üst seviyelerde olması, insan etkisini azaltmak, temiz su, sürdürülebilir enerji ve sağlıklı yaşamın kapsayıcı olarak genişletilmesi, dünya ekolojik barışının sağlanması ve politik olarak dünya ülkelerinin birlikte hareket etmeleri elzemdir (UN, 2015).

Dağ ekosistemlerinin sürdürülebilirliği çerçevesinde iklim değişikliği öne çıkan ilk başlıktır. İklim değişikliği nedeniyle küresel su döngüsünde yer alan ortalama değerler ile sıcaklık ve yağışın dünyadaki dağılımında önemli değişiklikler olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 1.1) (IPCC, 2013). Bu durum dağ bölgelerinde de ortalama ve aşırı sıcaklıkların artacağı anlamına gelmektedir. Yağışlarda bölgesel değişimler öngörülmekte olup kurak alanların daha da kuraklaşması veya daha nemli alanlara dönüşmesi olasılık dahilindedir. Artan sıcaklıklar, kar yağış oranının azalacağı anlamına gelmektedir. Yüksek ve orta enlemlerde bulunan dağlık alanların ciddi değişikliklere uğrayacağı ihtimaller arasındadır. Dağ sistemlerinin şekillenmesinde hassasiyet, benzersizlik, ulaşım zorluğu gibi özellikler etkili olup iklim değişkenliği ile bu özellikler daha da fazla hissedilir hale gelebilecektir.



Şekil 1. 1: Küresel su döngüsü modeli (URL-1)

İlerleme ya da geri çekilme olarak iklim değişimine hassas tepki veren buzullar, dünyada geniş yayılış alanı gösterirler ve haber verici özellik taşıdıklarından güçlü bir bilgi kaynağı durumundadır (Çiner ve Sarıkaya, 2013). Buzulların su depolama şeklinde sağladığı dağ hizmeti, buzulların erime suyundan beslenen nehirlerin havzalarını da büyük oranda değiştirebilir. Bu da bu havzalarda yaşayan insanları ciddi oranda etkileyebilecektir. Dünyadaki

su döngüsü değişimi ve buzul erimesinden gelen su, dağların sunduğu su hizmeti aracılığıyla drenaj sistemlerinde, su taşımacılığında farklılaşmaya sebep olabilecektir. Hem büyüklük hem de gerçekleşme sıklığı olarak artması beklenen doğal tehlike ve aşırı olaylardan dolayı dağ geçim kaynakları ve altyapısı daha fazla risk altında olacaktır (Tol, 2018).

İklim değişikliği tehdidi altındaki dağ iklim kuşağının yükseklik değişimi ile biyolojik çeşitlilik üzerinde ciddi olumsuz etkileri olduğu tahmin edilmektedir. Dünya ısındıkça, yüksek rakımlarda yaşayan türler yaşam alanı için daha kolay hareket edebilir, çünkü ısı artışı ile yüksek rakımlarda iklim koşulları yaşamaya daha da elverişli olacaktır. Artan iklimsel değişkenliğin yanı sıra zararlı böcek salgınları, artan organizmalar ve salgınlardan dolayı dağ ekosistem hizmetleri olumsuz etkilenebilir. Dağ hizmetlerinin verimliliği ve devamlılığı için planlama yapılması, iklimsel ve diğer çevresel değişikliklerin oluşturduğu tehditlerin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Dünyadaki iklim değişikliği dağ ekosistem hizmetlerinin sürekliliği ve verimliliğini ciddi bir şekilde olumsuz etkilerken, birkaç dağ hizmeti ise bu iklim değişikliğinden olumlu bir şekilde etkilenebilecek ve şimdikinden daha fazla gelişmiş olabilecektir (Seastedt ve Oldfather, 2021). Örneğin, artan sıcaklık ile dağlarda üretilebilecek tarımsal ürünler (patates, mısır gibi) kendilerine daha fazla yetişme alanı bulabilecektir. Bu da dağ insanları için geçim kaynağının artması ve gıda tedarikinin gelişmesi anlamına gelmektedir. Ayrıca hayvan otlatma daha geniş alanlarda yüksek rakımlı yerlerde yapılabilecektir. Başka bir örnek olarak, orman sınırı yüksekliğinin artması, orman varlığının artması anlamına gelmekte olup, orman ürünleri üretiminde bir artışa sebep olabilecek, karbon tutulması, olası tehlikeleri azaltma ve rekreasyon potansiyellerini artırabilecektir.

Giderek daha fazla görülen iklim değişikliği tehdidine karşı, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi uyarınca ulusal uyum programları oluşturma yönünde bir çaba vardır. Bu programlar, iklim değişikliğinin hem çevresel hem de sosyo-ekonomik etkilerinin azaltılmasına yönelik politika odaklı koordineli bir yaklaşım ortaya koymaya çalışmaktadır. İklim değişikliğine uyum konusundaki geniş politik bağlılık övgüye değer olmakla birlikte, bu uyumu desteklemede ekosistem yönetiminin rolü pek bilinmemektedir (Reyers ve ark., 2015). Dağ ekosistemlerinde gözlenen iklim değişikliğinin orantısız etkileri göz önüne alındığında, ulusal uyum planları, endişeleri gidermek adına önemlidir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışma Küresel Dağ Araştırmalarının (Global Mountain Explorer) yüksek dağ sınıfları içinde yer alan ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirlik düzeyinin ortaya konulması, dağ ekosistemlerin stratejik planlamaya ve uygulamalar için altlık veri oluşturulması amacı ile gerçekleştirilmektedir. Ülkemiz ölçeğinde yapılan bu çalışma, yüksek dağ ekosistemlerinin potansiyel durumu, ekolojik parametredeki uzun yıllar eğilimlerinin tespiti ve sonuçların küresel iklim değişikliği çerçevesinde değerlendirilmesini amaçlanmaktadır. Ayrıca çalışmanın bölgesel ve ulusal ölçekli geniş alanlarda arazi kullanımı ve ekolojik parametrelere ilişkin yetkinliği kanıtlanmış, sağlıklı, ücretsiz ve hızlı veri elde edilebilen çok amaçlı arazi izleme ve değerlendirme aracı olan açık kaynak kodlu Collect Earth yönteminin/yazılımının yaygın kullanımına katkıda bulunacağı öngörülmektedir.

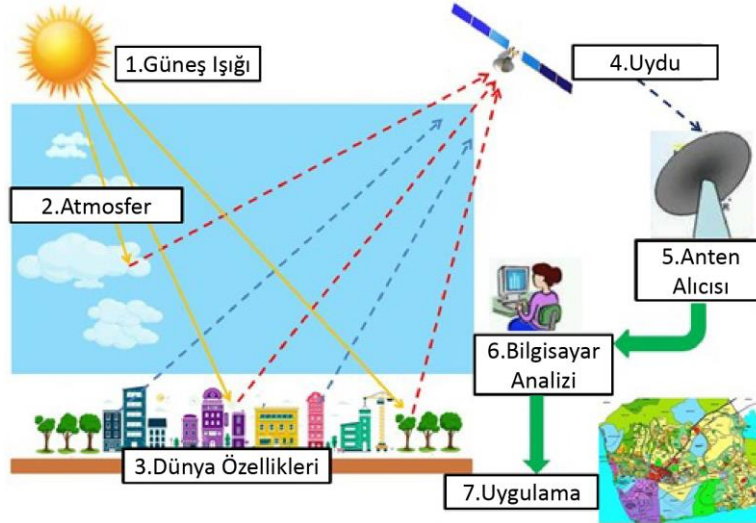
Dağ ekosistem hizmetlerinin önemine istinaden Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goal, SDG) kapsamında SDG15 (yaşam boyu arazi) ve SDG6 (temiz su ve tedarigi) alt başlıkları için devletler taahhütname imzalayarak ulusal ölçekte bu şartları yerine getirmekle mükelleftirler (UN 2015). Ayrıca Ives ve ark. (1997) dağ ekosistemlerinin korunması, konumlarının bilinmesi, ekolojik etkenlerinin ortaya konarak izlenmesi ve değerlendirme çalışmalarının yapılması gerekliliğini belirtmişlerdir. Bu çerçevede Dağ ekosistemlerinin ayrıntılı haritalamasının yapılması planlamalar için en önemli altlıkları oluşturmuş olacaktır. Literatürde kullanılan küresel üç dağ sınıflandırma metodları bulunmaktadır. Bunlar Kapos ve ark. (2000), Körner ve ark. (2011) ve Karagulle ve ark. (2017) tarafından yapılan sınıflandırmalardır.

Türkiye yüksek dağ ekosistemine ilişkin ekosistem sürecinin takibinin sağlanması ve konu ile ilgili olası planlama ve uygulama çalışmaların ülkesel ölçekteki çalışmalarına katkı sağlamak gerçekleştirilen tezin ana amacını oluşturmaktadır. 2000 yılından günümüze arazi kullanımı ve değişimi başta olmak üzere, ekolojik parametrelerin izlemesi, değerlendirilmesi ve çıkan sonuçların gelecek planlamalara bir altlık teşkil etmesi de ana hedefini oluşturmaktadır. Tez kapsamında, küresel dağ sınıfları (K3) (Karagulle ve ark.2017) sınıflandırmasına göre yüksek ve dağımık yüksek dağ sınıfları çalışma alanını olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışma bölgesel ve ülkesel ölçekli geniş alanlarda arazi kullanımı ve ekolojik parametrelere ilişkin yetkinliği kanıtlanmış, sağlıklı, maliyeti düşük ve hızlı veri elde edilebilen çok amaçlı arazi izleme ve değerlendirme sistemi olan Collect Earth yönteminin/yazılımının yaygın kullanımına katkıda bulunması hedeflenmiştir.

2. UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN BİRLİKTE KULLANIMI

Bu bölümde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) kavramları hakkında bilgi verilip birbirleri ile ilişkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen tez çalışmasında uzaktan algılama verileriyle CBS bütünleşik bir şekilde çalışılmış ve sonuçlara ulaşılmıştır.

Uzaktan algılama, bir alanın fiziksel özelliklerini fiziksel temas kurmadan tespit etmek ve izlemek için dünyanın karasal, atmosferik ve su ekosistemlerinden yayılan ve yansıyan elektromanyetik radyasyonu (EMR) örnekleyen bir teknoloji terimidir (Joseph, 2005). Bu veri toplama yöntemi tipik olarak pasif veya aktif algılayıcılar olarak sınıflandırılan uçak ve uydu tabanlı algılayıcı teknolojilerini içerir (Şekil 2.1). Pasif algılayıcılar, bir nesne veya onu çevreleyen alan tarafından yansıtılan veya yayılan radyasyonu toplama ilkesi ile çalışır. Güneş, uzaktan algılama ile ölçülen en yaygın radyasyon kaynağıdır. Buradaki yansıyan enerji uydudaki pasif algılayıcılar vasıtasıyla yer istasyonuna iletilir. Aktif algılayıcılar ise dışarıdan enerji kaynağı almaz; bunun yerine kendi ürettikleri enerjiyi yansıtıkları nesnelere üzerinden toplayarak görüntü elde edilir.



Şekil 2. 1: Uzaktan algılamanın gösterimi; (1) güneş ışığı, (2) atmosfer, (3) Dünya özellikleri, (4) uydu, (5) anten alıcısı, (6) bilgisayar analizi, (7) uygulama (URL-2)

Uzaktan algılama teknolojisi, meteoroloji, jeoloji, hidroloji, ekoloji, oşinografi, buzul bilimi, coğrafya ve arazi etütleri gibi yer bilimlerinin çoğu dahil olmak üzere çok çeşitli disiplinlerde kullanılmaktadır. Uzaktan algılama disiplini nerelerde kullanıldığına dair örnekler aşağıdaki gibidir:

- Tarım uygulamaları: Sulama yönetimi, toprak nemi izleme vb. diğer konular tarımda uzaktan algılamanın ana bileşenleridir.
- Doppler radarı, hava sistemleri içindeki rüzgâr hızı ve yönü ile yağış yoğunluğu ve konumu gibi meteorolojik olayları ölçer. Diğer bir uygulama ise havadan trafik kontrolüdür.
- Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre (AVHRR) ve MODIS uyduları, aktif volkanları izlemek için termal algılama ve orta kızılötesi algılama kullanır.
- İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (INSAR), potansiyel heyelanları önceden tahmin etmek ve erken uyarı sağlamak için interferometri uzaktan algılama tekniğini kullanır.
- Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini (LiDAR) uygulamaları; bitki örtüsü yönetimi ve izlemedir, ancak aynı zamanda silah menzili belirleme ve mermilerin lazerle aydınlatılması durumlarında da uygulanır. LiDAR, atmosferdeki çeşitli kimyasalların konsantrasyonunu tespit etmek ve ölçmek için de kullanılabilir.
- Stereografik hava fotoğrafı çiftleri karasal habitat özelliklerini modellemek ve potansiyel rotalar için yollar için görüntü ve arazi analizleri yapılarak topografik haritalar yapmak için kullanılır.
- Uzaktan algılama uyduları, kurtarma ekipleri için hayati veriler sağlayan deprem sonrası hasarı ölçmek için uzaktan algılama öncesi ve sonrası görüntüler sağlar.
- Uydulardaki lazer ve radar altimetrelerinden, sonardan ve ultrason ölçümlerinden elde edilen veriler, okyanus kaynaklarının nasıl yönetileceğini daha iyi anlamak, doğal bir afetin etkilerini değerlendirmek ve daha önce kullanılacak afet müdahale stratejileri oluşturmak için kıyı haritalaması ve erozyonun önlenmesi için kullanılabilir.
- Kentsel büyümenin çevreye verdiği zararı en aza indirmek ve doğal kaynakların en iyi nasıl korunacağına karar vermeye yardımcı olmak. Petrol ve gaz için uzaktan algılama, kuyu sahası planlaması için altyapının değerlendirilmesi yoluyla yukarı ve aşağı gaz ve petrol operasyonları için ayrılmaz bir araçtır. Spektral analiz, yüzey çıkıntılarının ve yüzey hidrokarbon sızıntısının değerlendirilmesi için hayati önem konularında uzaktan algılama veri ve teknikleri kullanılır (Liang ve Wang, 2019).

Uzaktan algılama, önemi giderek artan bir şekilde tehlikeli veya erişilemeyen alanlardan veri toplamayı mümkün kılmaktadır. Hava tahminlerinden doğal afetler veya iklim değişikliğine ilişkin raporlara kadar değişen günlük uygulamalar için son derece geniş alanların hızlı ve tekrarlanan kapsamını sağlayarak, yersel çalışmalarındaki yavaş, maliyetli veri toplamanın yerini almaktadır. Uzaktan algılama aynı zamanda engelleyici olmayan bir yöntemdir ve kullanıcıların hedef alanı veya nesneyi bozmadan veri toplamasına ve veri işleme ve CBS analizi

gerçekleştirmesine izin verir. Doğal kaynak yönetimi, ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesi, sürdürülebilir çevre ve yönetim için günümüzde en önemli veri kaynağı durumundadır. İklim değişikliği çalışmalarında uzaktan algılamanın uygulanması, atmosferin, okyanusların ve karaların konum-zamansal durumlarını ve süreçlerini ölçerek iklim sistemini ve değişikliklerini anlamada büyük ilerlemeler sağlamıştır Küresel iklim değişikliği araştırmalarının vazgeçilmez kaynağı olmuş ve küresel iklim değişikliği müdahale stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Frohn, 2018).

CBS için farklı bakış açısı veya disiplinler tarafından geliştirilmiş birçok tanımlar bulunmaktadır. Bazı otoriteler harita bağlantısına odaklanırken bazıları ise veri tabanı veya yazılım araç setlerine bir başka disiplin ise karar desteği gibi uygulamaları vurgular. Bir CBS'nin tanımlanması, ne yapabileceğini açıklayarak (fonksiyonlar) veya bileşenlere bakarak yapılabilir.

CBS, Dünya varlıklarını ve meydana gelen olayları haritalamak ve analiz etmek için bilgisayar tabanlı bir araçtır. CBS teknolojisi, sorgu ve istatistiksel analiz gibi yaygın veri tabanı işlemlerini haritaların sunduğu benzersiz görselleştirme ve coğrafi analiz olanaklarıyla bütünleştirir (Çevre Sistemleri Araştırma Enstitüsü- Environmental Systems Research Institute (ESRI) URL-3).

CBS'deki gelişmeler çeşitli teknolojilerin sonucu olmuştur. Veri tabanları, bilgisayar haritalama, uzaktan algılama, programlama, coğrafya, matematik, bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar bilimi, CBS'nin gelişiminde kilit rol oynamaktadır. CBS'nin tarihsel ilerleme süreci birkaç gelişim aşamasına ayrılabilir (Tablo 2.1).

Tablo 2. 1: CBS'nin tarihsel gelişim süreci (Schiewe, 2003'e göre değiştirilerek güncellenmiştir.)

| Gelişme Aşaması | Şekillenme Dönemi | Olgunlaşma Dönemi | Coğrafi Bilgi Altyapısının Oluşması | Küreselleşme evrimi |
|---------------------------|--|--|---|---|
| Zaman Aralığı | 1960-1980 | 1980-1990 arası | 1990'ların ortası- 2002 | 2002 - |
| Teknik Altyapısı | Ana bilgisayarlar ve mini bilgisayarlar. Tescilli yazılım. Özel veri yapısı. Esas olarak raster tabanlı. | Ana bilgisayarlar ve mini bilgisayar. Jeo-ilişkisel veri yapıları. Grafikselle kullanıcı arayüzü. GPS, uzaktan algılama gibi yeni veri toplama teknolojileri | İş istasyonları ve kişisel bilgisayarlar. Ağ/internet. Açık sistem tasarımı. Multimedya. Veri birleştirme. Kurumsal bilgi işlem. Nesnelere arası ilişkisel veri modeli. | Bulut CBS alt yapıları. Açık kaynak kodlu yazılımların kullanımı. OpenStreetMap ve diğer alt yapıların gelişimi |
| Ana Kullanıcılar | Devlet, üniversiteler, savunma | Devlet, üniversiteler, savunma, Kamu hizmetleri, iş | Devlet, üniversiteler ve okullar, savunma, Kamu hizmetleri, iş, Kamuoyu | Tüm kullanıcılar |
| Başlıca Uygulama Alanları | Arazi ve kaynak yönetimi, anket, etüt ve haritalama | Arazi ve kaynak yönetimi, anket, etüt ve haritalama, tesis yönetimi, pazar analizi | Arazi ve kaynak yönetimi, sayım, etüt ve haritalama, tesis yönetimi, pazar analizi, kamu hizmetleri, coğrafi veri tarama | Doğal kaynak yönetimi. Mekâna dayalı tüm uygulama alanları. Dijital platformlar. Gerçek zamanlı uygulamalar Web-CBS |

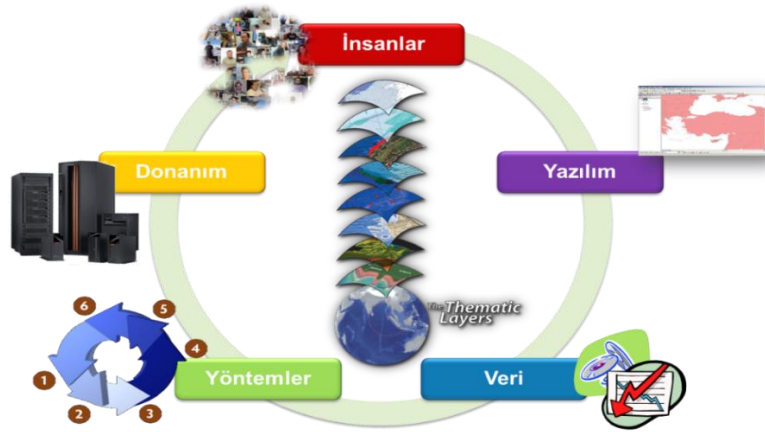
1990 – 2010 (Kullanıcıların Yaygınlaşması): Haritacılar, CBS teknolojisini farklı şekillerde kullanmaya başlamıştır. Dünyanın dört bir yanındaki okullar, işletmeler ve hükümetler dijital haritalama ve karar verme sürecinde mekânsal analizlerden yararlanmaya başlamıştır. Daha ucuz, hızlı ve güçlü donanımlar; çoklu yazılım seçenekleri ve verilerin kullanılabilirliği; yeni ve daha fazla uyduların fırlatılmasıyla UA teknolojilerin CBS ile bütünleşmesi bu dönemde yaygınlaşmıştır.

2010 ve sonrası (Açık Kaynak Yazılımların Yaygınlaşması ve Bulut Tabanlı CBS): Kullanıcılar CBS yazılımlarına alışmaya başlamasıyla birlikte herkesin erişebildiği haritaları paylaşması açık kaynak yazılımlarına olan önem artmıştır. Quantum GIS (QGIS) gibi yazılımlar bilgisayarı

olan her kullanıcıya CBS yazılımı imkânını sağlamaktadır. CBS verileri de daha yaygın ve ulaşılabilir hale gelmiştir. TIGER verileri, LANDSAT uydu görüntüleri ve LIDAR verileri ücretsiz olarak indirilebilir hale gelmiştir.

Günümüzde yüksek donanımlara gerek kalmadan internetin olduğu her yerde tarayıcı üzerinde CBS işlemleri yapılabilmektedir. Bulut hizmeti veren bilişim teknolojileri, güçlü donanımlarına internet tarayıcısı üzerinden kullanılmasını olanak sunmaktadır. Dolayısıyla yüksek işlem gücü ve analiz gerektiren CBS uygulamaları kolaylıkla yapılabilmektedir.

CBS bileşenleri 5 ana unsurda toplanmaktadır (Şekil 2.2). Donanım, bir CBS'nin üzerinde çalıştığı bilgisayar sistemidir. CBS yazılımı, coğrafi bilgileri saklamak, analiz etmek ve sunmak için gereken işlevleri ve araçları sağlar. Bir CBS'nin muhtemelen en önemli bileşeni verilerdir. Coğrafi veriler ve ilgili tablo verileri kurumda toplanabilir veya ticari bir veri sağlayıcısından satın alınabilir. Bir CBS, konumsal verileri diğer veri kaynaklarıyla bütünleştirir ve hatta çoğu kuruluş tarafından verilerini düzenlemek, sürdürmek ve yönetmek için kullanılabilir. CBS teknolojisi, sistemi yöneten ve onu gerçek dünya sorunlarına uygulamak için planlar geliştiren kişiler olmadan sınırlı bir değere sahiptir. Başarılı bir CBS, her kuruluşa özgü modeller ve işletim uygulamaları olan iyi tasarlanmış bir plan ve iş kurallarına göre çalışır.



Şekil 2. 2: Coğrafi Bilgi Sistemleri Bileşenleri (URL-4)

Laurini ve Thompson, 1992'de konumsal bilgi sistemleri için on ana görev belirlemiştir (Laurini ve Thomson, 1992).

- *Otomatik Haritalama*: Bilgisayarlarda kâğıt haritaların çoğaltılması.
- *Tematik Haritalama*: Öznitelik verileri kullanılması.
- *Harita Bindirme veya Kompozit Haritalama*: Birkaç veri katmanından bir harita üretilmesi.

- *Konumsal Sorgulama:* Belirli koşulların tanımlanması amacıyla bir veri tabanından bilgi alınması.
- *Konumsal Tarama:* Belirli koşulların tanımlanması amacıyla bir veri tabanının içeriğinin araştırılması.
- *Konumsal Problem Çözümleri:* Örneğin çokgenlerdeki noktaların kapanması.
- *Mekânsal Verilerin Analizi:* Satış bölgelerinin ortalama büyüklüğü veya ürün satışlarının hava koşullarıyla ne derece ilişkili olduğu gibi varlıkların nitelikleriyle ilgilenen görevler.
- *Mekânsal İstatistikler Oluşturma:* Örneğin bir yolda bir aracın kat ettiği toplam mesafe gibi olguların mekânsal özelliklerinin ölçülmesini gerektiren görevler.
- *Mekânsal İstatistiklerin Analizi:* Mekânsal özellikleri nitelik olarak ele alan görevler, örneğin otoyol ağı bağlantısı ile ekonomik kalkınma seviyeleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyan görevlerdir.
- *Mekânsal Analiz:* Simülasyon da dahil olmak üzere, çeşitli mekânsal istatistik araçlarını ve konuma dayalı problem çözmeyi kullanan görevleri kapsar.

UA ve CBS teknolojisi, jeodezi ve geleneksel haritacılığı da kapsayan kapsamlı bir çalışma alanı olan konumsal bilişimin iki ana bileşenini içerir (Hepner ve ark. 2005). UA ve CBS yarı bağımsız olarak gelişmesine rağmen, aralarındaki ilişki teknolojik süreçte artmıştır (Aronoff 2005). Bugün, CBS neredeyse her zaman uzaktan algılanmış verilerin görüntülenmesi, analiz edilmesi ve sorgulanması amaçlı araçları bünyesinde bulundurur ve analiz ve sorgulamalar için her geçen gün yeni seçenekleri de çoğaltıp geliştirmektedir. UA ve CBS'nin birleşiminin öneminden birçok çalışmada da bahsedilmektedir. Teknolojinin gelişimine paralel şekilde koşut olarak bu birlikteliğin önemi artarak devam etmektedir (Shawul ve Chakma, 2019, Ajikabe ve ark., 2020, Rather ve ar., 2022, Aslam ve ark., 2022)

Hava fotoğrafçılığı uzun zamandır sayısal bir biçimde, genellikle CBS veri tabanlarının önemli bileşenlerini oluşturan analog konumsal ürünleri oluşturmak için kullanılmaktadır. Sayısal UA sistemlerinin ve görüntü işleme yazılımlarının ortaya çıkmasıyla birlikte, CBS'de UA'nın önemini daha da artmıştır. UA uygulamaları, CBS katmanları olarak bir ortofoto kullanımından, arazi kullanımına kadar birçok tematik verilerin geliştirilmesi, binalar ve yollar gibi özelliklerin çıkarılmasına kadar benzersiz coğrafi veri kümelerini oluşturur. Bu sayılan parametreler UA, arazi kullanımı/örtüsü özellikleri topografik özellik verileri de dâhil olmak üzere CBS analizi için hayati önem taşıyan birçok konuda birincil veri kaynağı konumundadır.

Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü Haritalaması: Campbell (2007) ve Jensen (2005), arazi kullanımı ve arazi örtüsünün tiplerine uygun görüntü sınıflandırmaları ve haritalama çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Örnek olarak, LANDSAT ve Sentinel gibi ücretsiz uydu görüntülerinden özellikle arazi kullanım/örtüsü sınıflandırma çalışmaları başarılı örnekler arasında gösterilebilir (Homer ve ark. 2004). Arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritalamasındaki birçok ilerleme, uzaktan algılama ve yardımcı CBS verilerinin birleştirilmesine dayanan yeni analiz yöntemlerinden kaynaklanmaktadır.

Biyofiziksel Olaylar: UA ayrıca yüzey sıcaklığı, toprak nemi, su berraklığı, evapotranspirasyon, biyokütle, kapalılık yapısı ve ağaç yüksekliği, yaprak alan indisi (YAI), toplam yağış miktarı gibi çeşitli biyofiziksel özellikler hakkında da bir veri sağlayıcıdır. (Wulder 1998, Yang ve ark. 2003, Courault ve ark 2005, Jensen 2005). Bu tür veriler CBS tabanlı iklim, bitki örtüsü ve hidroloji gibi birçok modelleme işlemleri için kullanılmaktadır. (Keane ve ark. 2001, Nemani ve ark. 2002). Örneğin MODIS, NOAA vb. gibi algılayıcılardan elde edilen biyofiziksel veriler başta iklim değişikliği ve etkileri olmak üzere doğal kaynakların gözlenmelerinde kullanılmaktadır (Huete 2005).

Bilgi Çıkarımı: Özellik çıkarma prosedürleri, UA ile toplanan görüntülerden fiziksel nesnelere (binalar, yollar) tanımlanmasını ve haritalanmasını otomatikleştirmek için kullanılır.

Peyzaj Değişikliği: UA, coğrafi konumsal özelliklerdeki değişiklikleri belirlemek ve haritalamak için birçok fırsat sunar (Lu ve ark 2004, Jensen 2005). Uzun yıllardır havadan ve uydudan UA, arazi kullanımı, hidrografi ve ulaşım ağları ile ilgili CBS veri tabanlarını güncellemek için sıklıkla kullanılmaktadır (Jensen ve ark. 1993, Laliberte ve ark. 2001).

UA'nın uygulama alanı, CBS için bir temel katmandan tematik veri setlerinin geliştirilmesine, görüntülerden veri elde edilmesine ve çıkarılmasına kadar uzanır. Bu nedenle, değişimin işlenmesinin ve anlaşılmasının daha hızlı, güvenilir ve ekonomik olabileceği veri toplama, yöntem ve tekniklere ihtiyaç duyar. Değişiklik tespiti, bir nesnenin durumundaki değişimlerin farklı zaman aralıklarında gözlemlendiği bir olgudur. Değişikliği anlamak birçok problemin anlaşılması ve anlamlandırılmasına ışık tutacaktır. Dolayısıyla UA ve CBS entegrasyonu, çalışmalar, doğanın anlaşılması, insan etkisi sonucu meydana gelen olumsuz değişimlerin takibi ve geri çevirebilmek adına yapılacakları daha iyi kavramımıza neden olacaktır. Bu amaçla günümüzde UA ve CBS entegrasyon seviyelerinde olması gereken özellikler Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2. 2: UA –CBS entegrasyonu üst seviye faktörleri (Weng, 2010)

| Seviye II | Seviye III |
|---|---|
| Veri bütünlüğü (UA ve CBS verilerini bir araya getiren faktörler) | |
| Bilgi alışverişi | Entegrasyonun tanımı, ihtiyaç duyulan bilgi türü, bilgi uyumu (mekânsal birimler ve nitelikler) |
| Verinin kullanılabilirliği | Farkındalık, tanıtım, arama, veri türü, yaş, kalite (erişim veya oluşturma) |
| Veri erişilebilirliği | Maliyet, anlaşmalar, değişimler, paylaşım, mülkiyet, direnç, gizlilik, sorumluluk |
| Veri oluşturma | Sayısallaştırma, tarama, anket bilgileri kodlama, örnekleme, veri dönüşümü, GPS |
| Ölçüm uygunluğu (verileri UA ve CBS arasında bağlayan faktörler) | |
| Veri sunumu | Veri yapıları (vektör, raster, dörtlü ağaç vb.), veri türü, ölçüm düzeyi, alan tabanlı ve nesne tabanlı modelleme, enterpolasyon |
| Veri tabanı tasarımı | Veri türü (ilişkilendirme, karma), şema, veri sözlüğü, uygulama (sorgu, test) |
| Veri aktarımı | Biçim, standartlar, hassasiyet, doğruluk |
| Konumsal bütünlük (UA ve CBS arasındaki verileri mekânsal olarak koordine eden faktörler) | |
| Genelleme ve ölçeklendirme | Mekânsal çözünürlük, ölçek, veri azaltma ve birleştirme, fraktallar |
| Geometrik dönüşüm | Düzeltilme, kayıt, yeniden örnekleme, koordinat sistemi, projeksiyon, hata değerlendirme |
| İstatistiksel ilişkiler (UA ve CBS arasındaki bağlantıları ölçen faktörler) | |
| Doğrusal | Mantıksal bindirmeler, asimetrik haritalama, alansal enterpolasyon, doğrusal ve doğrusal olmayan denklemler, zaman serileri, değişim tespiti |
| Yanal | Mekânsal aramalar, yakınlık analizi, metinsel özellikler |
| Sınıflandırma uyumluluğu (UA ve CBS arasındaki bilgileri uyumlu hale getiren faktörler) | |
| Anlambilimi | Sınıflandırma şeması, seviyeler, açıklamalar, sınıf birleştirme, standartlaştırma |
| Sınıflandırma | Aşama (öncesi, sırası, sonrası), seviye (piksel, alt piksel) tip (piksel başına, metinsel, bağlamsal, sinir ağları, bulanık kümeler), değişiklik tespiti, doğruluk değerlendirme |
| Entegrasyon tasarımı | |
| Hedefler | Entegrasyon planı, maliyet/fayda değerlendirmesi, fizibilite, entegrasyon alternatifleri |
| Entegrasyon özellikleri | Kullanıcı gereksinimleri (kullanım amacı, kullanım düzeyi eğitim, öğretim), sistem gereksinimleri (donanım, yazılım, bilgi işlem verimliliği) |
| Karar alma süreci | Test etme, görselleştirme, entegrasyonu çoğaltma yeteneği, karar desteği, uygulama veya alternatifleri savunma, bireysel UA ve CBS projelerine çift yönlü güncelleme ve geri bildirim |

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Küresel olarak kapsamlı ve ayrıntılı dağ sistemleri haritaları, araştırmacılar, yöneticiler ve politikacılar için değerli bir kaynak olmaktadır. K1 (Kapos ve ark. 2000), K2 (Körner ve ark. 2011) ve K3 (Karagülle ve ark (2017) dağ sınıfları hangi kriterlere göre sınıflandırıldığı açık, farklı yaklaşımlarla oluşturulan sınıflar olarak tüm kullanıcıların dikkatine sunulmuştur. K1 küresel dağ sınıfları haritası: Kapos ve ark. (2000) tarafından oluşturulan bir sınıflama olup, bu sınıflama UN Environment World Conservation Monitoring Centre (UNEP–WCMC, 2000) küresel dağ sınıflarını Avrupa için temel bir tanımlama haline getirmek amacıyla, bazı bölgelerdeki daha alçak dağlık alanları da kapsayacak şekilde Nordic Centre for Spatial Development (Nordregio) tarafından Avrupa Birliğince gözden geçirilmiştir (Price ve ark. 2004, European Commission, 2004). Bu gözden geçirme ile birlikte, Avrupa’daki dağlık alanların benzer ölçütler altında toplanması mümkün olmuştur. Ülkelerin kendi politika ve planlamalarına göre bu kriterler tekrar değerlendirilebilir olsa da son haliyle harita altlığı olarak toplam yedi sınıf oluşturulmuştur (Price ve ark. 2004). K1 sınıflandırması için GTOPO30 (Küresel 1 km yükselti) kullanılmıştır. Bu şekli ile ekvatordaki geometrik çözünürlük 1 km olarak tanımlanmıştır. K1 sınıflandırması için UNEP–WCMC, 2000 toplam 7 sınıf esas alınmıştır. Sınıflandırma yönteminde yükseklik, eğim ve bağıl rölyef esasına göre yapılmış ve toplam 6 sınıf ile dağ sınıfları oluşturulmuştur (Tablo 3.1). Eğim raster veri tabanlı 3*3 piksel en yakın komşuluk analiz penceresi (Neighborhood Analysis Window: NAW) yardımı ile üretilmiştir. Bağıl rölyef ise yaklaşık dairesel NAW’ın içerisinde yer alan maksimum ve minimum piksel farklarının $\sim 80 \text{ km}^2$ (5 piksel) yarıçapı şeklinde hesaplanmıştır. 2500 metrenin üstünde ise sadece yükseklik ögesi uygulanmıştır.

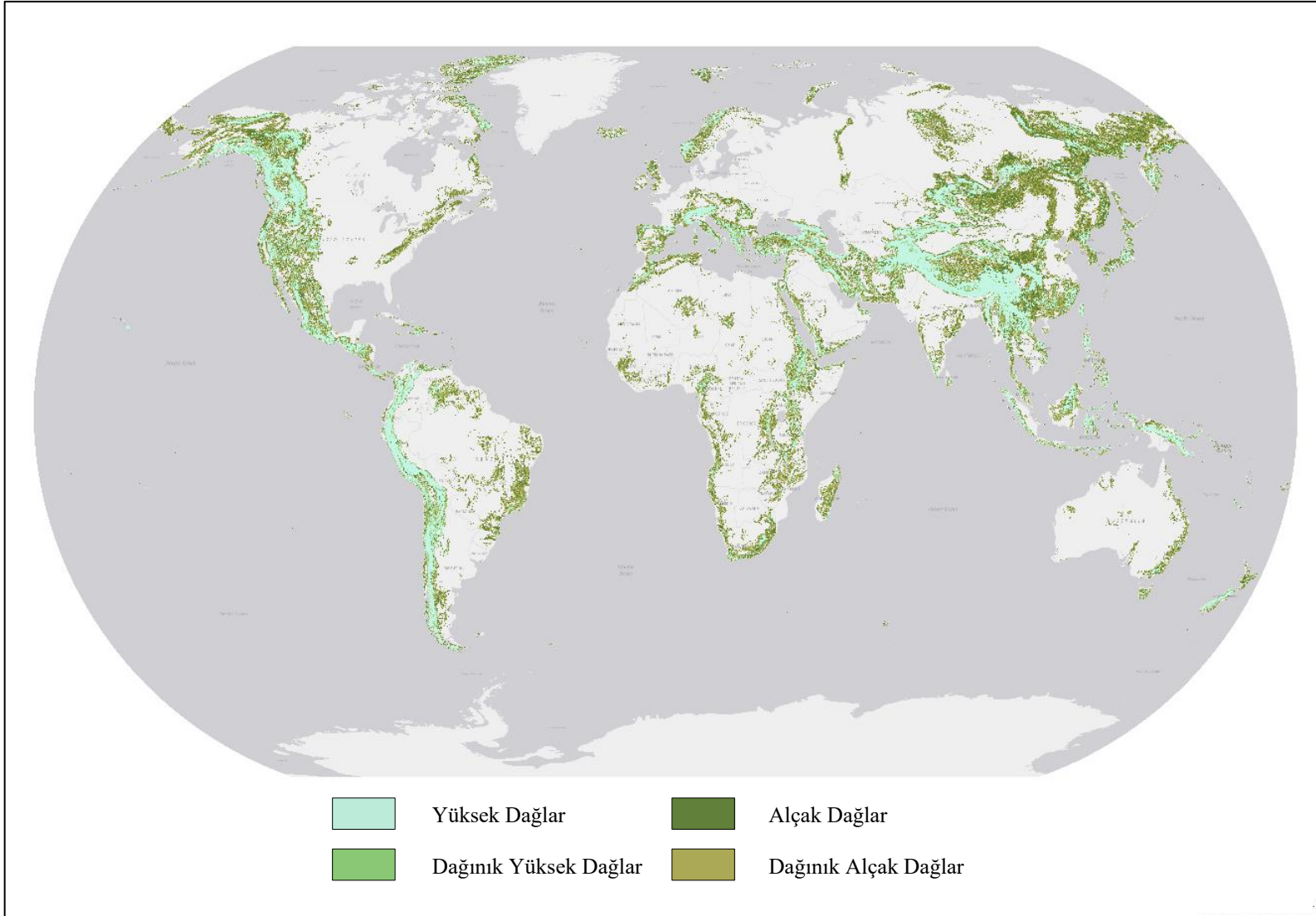
K2 küresel dağ sınıfları haritası: K2 sınıflaması küresel dağ biyoçeşitliliği ve yükseklik sınıfları dikkate alınarak hazırlanmıştır. Öncelikle dağlar, arazi özellikleri esas alınarak sınıflandırılmış ve sonrasında ilgili alanların biyoklimatik özelliklerine göre sınıflama son şeklini almıştır. Körner ve ark. (2011) 1 km çözünürlükte SYM verisi kullanarak ekvatorda kenar uzunluğu $\sim 4.6 \text{ km}^2$ ağ şeklinde dağ sınıfları oluşturmuştur. Yapılan sınıflandırma Nival (Alpin üstü bölge), Alpin, Montane (Alpin altı yükseklik kuşağı) alanların yüksek ve alçak olması ve dağlık alanların “don olan/olmayan” özelliğine göre toplam 7 sınıf içermektedir (Paulsen ve Körner 2014) (Tablo 3.1). K2 sınıflandırması etkin bir veri altlığı olarak küresel ölçekte kullanılmaktadır. K2 sınıflamasına göre dünya karasal yüzeyinin %12,4’ü dağlık alan olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3. 1: Küresel dağlık alanların genel özellikleri ve karşılaştırılmaları (Sayre, 2018)

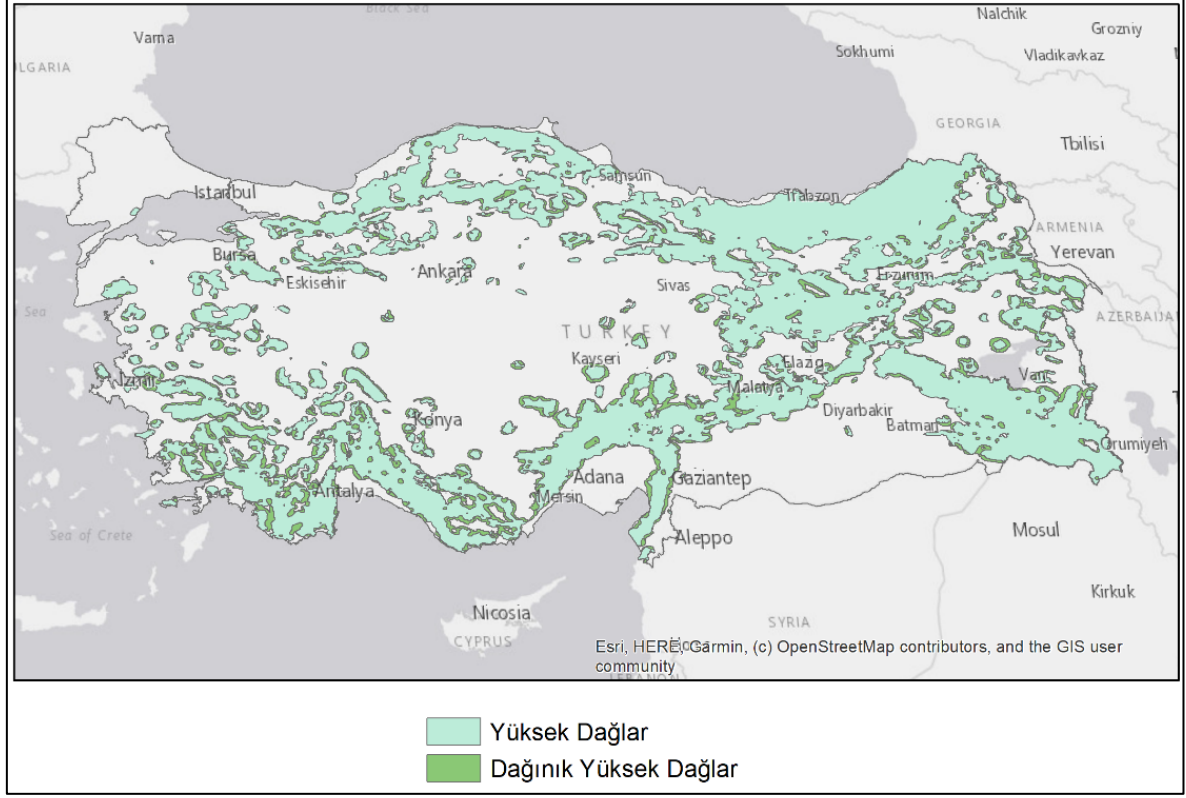
| Özellikler | K1 | K2 | K3 |
|---|--|---|---|
| Biçim | Raster | Raster ve Vektör | Raster |
| Üretilen SYM verisi yılı | 1996 | 2005 | 2010 |
| Yaklaşık geometrik çözünürlük (ekvatorda) | 1000 m | 1000 m | 250 m |
| Dağlık alanlar için piksel çözünürlüğü | 1000 × 1000 m | 4600 × 4600 m | 250 × 250 m |
| Sınıflandırma parametreleri | <ul style="list-style-type: none"> • Yükseklik • Eğim • Bağlı rölyef | <ul style="list-style-type: none"> • Bağlı rölyef | <ul style="list-style-type: none"> • Eğim • Bağlı rölyef • Profil |
| Dağ sınıfları ve sayısı | 6 sınıf (m) ; <ul style="list-style-type: none"> ➤ 4500< ➤ 3500-4499 ➤ 2500-3499 ➤ 1500-2499 ➤ 100-1499 ➤ 300-999 | 1 sınıf; Dağlık arazi; <ul style="list-style-type: none"> ➤ En Üst (Nival) ➤ Üst Alpin ➤ Alçak Alpin ➤ Üst Dağ ➤ Alt Dağ ➤ Dağlık alanlar (don görülen) ➤ Dağlık alanlar (don görülmeyen) | 4 sınıf; <ul style="list-style-type: none"> ➤ Yüksek dağlar ➤ Dağınık yüksek dağlar ➤ Alçak dağlar ➤ Dağınık alçak dağlar |
| Ayırt edici özellikler | <ul style="list-style-type: none"> • Orijinal SYM verisinden • Orman özellikleri içeren | <ul style="list-style-type: none"> • Basit kavramsal • Biyoçeşitlilik ve iklimle ilişkili değerlendirme yöntemi ile | <ul style="list-style-type: none"> • Yüksek mekânsal çözünürlük • Eğimli alanlar için karmaşık arazi özellikleri |
| Kaynak | Kapos ve ark. (2000) | Körner ve ark. (2011) | Karagülle ve ark. (2017) |

K3 küresel dağ sınıfları haritası: K3 sınıflaması, ekolojik bölgelerin küresel modellemesini esas almaktadır. ABD Jeolojik Araştırma Kurumunun GMTED2010-250m (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010) verisi üzerinden 250 m çözünürlükte üretilen dağ sınıfları verisidir. Karagülle ve ark (2017), E.H. Hammond (1964) tarafından arazi yüzey biçimlerine göre üretilen sınıflandırma ve haritalama kriterlerine ek olarak, (True, 2002) tarafından geliştirilen ve hesaplamayı kolaylaştıran MoRAP (Missouri Resources Assessment Partnership) yaklaşımını kullanarak, dağ sınıflarını dört kategoride toplamışlardır (Tablo 3.1).

Bu çalışma, ülkemiz sınırları içinde gerçekleştirilecektir. Temel altlık olarak küresel dağ sınıflarını (K3) (Karagülle ve ark., 2017) göre Yüksek ve Dağınık Yüksek Dağ Sınıfları kullanılmıştır. Türkiye'nin toplam yüz ölçümünün (783 562 km²) 609634,81 km²'si (%77,8) küresel dağ sınıfları içinde yer almaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3. 1: K3 Sınıflandırmasına göre küresel dağ alanlarının haritası (Sayre, 2018)



Şekil 3. 2: K3 Dağ Sınıflarına göre Türkiye yüksek ve dağınık yüksek dağ sınıfları haritası

3.1. Kullanılan Veriler

IPCC (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları: Çalışma alanı için arazi kullanım sınıfları IPCC sınıflandırma metodu temel alınarak gerçekleştirilmiştir. IPCC 1988 yılında Birleşmiş Milletlere bağlı olarak faaliyet gösteren iki uzman kuruluş olan Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından, iklim değişikliği konusunda mevcut bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgi ve çalışmaların değerlendirilmesi, bilimsel çıktılar ışığında iklim değişikliğiyle mücadele ve iklim değişikliğine uyum konularında karar vericilere yol göstermek amacıyla kurulmuştur (URL-5). IPCC tarafından arazi izlenme ve değerlendirme amacıyla altı tane arazi örtüsü kullanım sınıfı belirlenmiştir (IPCC, 2003). Bu sınıflar: orman alanı, tarım alanı, mera alanı, yerleşim alanı, sulak alan ve diğer alanlardan oluşmaktadır (Tablo 3.2).

Tablo 3. 2: IPCC kılavuzunda belirtilen ana arazi kategorileri (IPCC, 2003)

| Arazi Kategorileri | Açıklama |
|--------------------|---|
| Orman Alanı | Ülkelerin kendine ait ulusal orman tanımları bulunmaktadır. Ulusal raporlamalarda karşılaştırma yapılabilmesi için Kyoto Protokolünde orman tanımı belli sınırlar getirilmiştir. Taraf ülkeler bu sınırlar dâhilinde orman tanımı yapmaktadır. Bu sınırlar; 0.05-1 ha minimum alanda, tepe kapalılık oranı en az %10-30 ve büyüdüğünde 2-5 metre boylama yapabilen ağaçların bulunduğu araziler orman alanı olarak tanımlanmaktadır (Serengil, 2019). |
| Tarım Alanı | Tek yıllık tarım ürünlerinin yetiştirildiği araziler, tarımsal ormancılık, çeltik tarlaları, kapalılık ve ağaç boyu yönünden orman tanımına girmeyen meyve bahçelerini kapsamaktadır (Serengil, 2019). |
| Mera Alanı | Mera, çayır, çim vb. bitki örtüsüyle kaplı, tarım alanı kapsamı dışındaki arazileri içermektedir. Doğal veya yapay otsu ve odunsu bitki örtüsü ile kaplı araziler olup kapalılık veya odunsu türlerin özellikleri orman tanımına girmemelidir (Serengil, 2019). |
| Sulak Alanı | Orman, tarım, mera ve yerleşim kategorisine girmeyen arazileri kapsamaktadır. Yılın tamamı ya da bir kısmı için suyla kaplanmış alanları veya suya doymuş toprak (turbalık vb.) alanlardan oluşmaktadır. Yönetilen ve yönetilmeyen olarak iki alt kategoride toplanmaktadır. Yönetilmeyen sulak alanlar, doğal nehirler ve göller; yönetilen alanlar ise barajlar, yapay göller içermektedir. |
| Yerleşim Alanı | Diğer sınıflara girmeyen ulaşım, altyapı, kentleşme ve insana ait tüm yapay yüzeyler bu sınıfta değerlendirilmektedir. |
| Diğer Alanı | Çıplak toprak, kayalık alanlar, buzullar ve diğer kategorileri kapsamayan alanları içerir. |

Arazi kullanımı ve arazi kullanımındaki değişimleri IPCC sınıflandırma sistemi (UNFCCC'a uygun olarak geliştirilen uzaktan algılamaya dayalı metodolojiler) kullanarak değerlendirmek için temel arazi elementleri, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile tespit edilmiştir. Ardından, mevcut arazi kullanımlarını değerlendiren ve baskın olanı belirleyen mekânsal kurallar aracılığıyla elementler arasındaki dağılım ve işlevsel ilişkinin analizi yapılmıştır. Bu kuralların temelinde yatan kavram, arazi kullanımının temel arazi elementleri arasındaki hiyerarşik ilişkiler yoluyla ifade edilebileceği ve bu işlevsel ilişkilerin, söz konusu arazi elementlerin gözlemlenen alandaki uygunluğunu ve baskınlığını yansıtan eşiklere bağlı olduğunu gösterir (Martinez and Mollicone, 2012).

Bu çalışmada, tüm arazi kullanım kategorileri için (baskınlık sırasına göre) yerleşim > tarım > orman > mera > sulak alan > diğer alan sıralaması kullanılarak %20 sınırı ile hiyerarşik kural oluşturulmuştur.

Nüfus Yoğunluğu (Population-Gridded Population of the World (GPW), v4.11): 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yılları için küresel insan nüfusunun dağılımını 30" (arcsec) (yaklaşık 1 km-1 hücre 100 ha) grid hücreler üzerinde modellemektedir. Nüfus sayımı, idari birimlerden gelen nüfusun orantılı tahsisi kullanılarak hücrelere dağıtılır. Nüfus verileri, 2005 ve 2014 yılları arasında gerçekleşen nüfus sayımlarını 2010 turunun sonuçlarından elde edilebilen en ayrıntılı konumsal çözünürlükte toplanmıştır. Girdi verileri, modellenen her yıl için nüfus tahminleri üretmek üzere sonuca ulaşılır (URL-6; URL-7).

Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndisi (Vegetation-NDVI Landsat (30m)): NDVI, yakın kızılötesi (bitki örtüsünü güçlü bir şekilde yansıttığı) ile kırmızı ışık (bitki örtüsünün tuttuğu) arasındaki farkın ölçümünden meydana gelir. NDVI değeri -1 ile +1 arasında değişir. Ancak her arazi örtüsü türü için belirgin bir NDVI sınırı yoktur. Örneğin, negatif değerlerin su, kar veya bulut olma olasılığı yüksektir. Öte yandan, +1'e yakın bir NDVI değeri ölçüldüğünde ise, bunun yoğun yeşil yapraklar veya sulanan mahsuller olma olasılığı yüksektir (URL-6; URL-8).

Yağış İndisi (Precipitation - ECMWF ERA5): Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF), otomasyon, insanlı istasyonlar, uçak, gemi ve hava balonları gibi uydu ve yer gözlem istasyonları tarafından toplanan meteorolojik verilerin girişine dayalı hava durumunu tahmin etmek için küresel meteorolojik modeller geliştiren ve düzenli olarak çalışan hükümetler arası bağımsız bir kuruluştur. ERA5 ise küresel iklimin beşinci nesil ECMWF atmosferik verilerinin yeniden analizi sonrası üretilen ve son kullanıcıya sunulan verileri içerir. Yeniden analiz, model verilerini dünyanın dört bir yanından gelen gözlemlerle birleştirerek küresel olarak eksiksiz ve tutarlı bir veri kümesi haline getirir. Yağış değerleri aylık toplam olarak verilmiştir. Bu çalışmada yıllık toplamların verisi alınmıştır (URL-6; URL-9).

Maksimum ve Minimum Sıcaklık İndisi (Temperature Maximum – Minimum (ECMWF ERA5)): ECMWF-ERA5 modeli iklim verilerinden yararlanılmıştır. Earth Map'te üretilen veriler, topluluk öğrenmesi (ENSEMBLES) yöntemi kullanılmıştır (URL-6; URL-9).

Potansiyel Evapotranspirasyon (Potential Evapotranspiration): Buharlaştırma (evaporasyon) suyun sıvı halden gaz hale geçmesi durumu olup miktarı meteorolojik şartlara göre değişmektedir. Terleme (transpirasyon) bitkilerin suyu kullandıktan sonra yapraklardan buhar

halinde havaya vermesi durumu olup meteorolojik şartlara, bitki örtüsüne, arazi yüzeyine, arazi yüzeyi cinsine ve arazi yüzeyinde mevcut su miktarına bağlı olarak değişmektedir. Buharlaşma ve terleme olayının birlikte yaşanması olayına evapotranspirasyon denir. Potansiyel evapotranspirasyon (PET) gerçekleşebilecek maksimum evapotranspirasyon iken gerçek evapotranspirasyon (AET) ise o anda gerçekleşen evapotranspirasyondur. Eğer arazi yüzeyinde yeterli miktarda nem varsa PET AET'ye eşit olur. Evapotranspirasyon hesabı bitkilerin su ihtiyacının belirlenmesi ve buna bağlı olarak su kaynaklarının projelendirilmesi ve işletilmesi açısından önemlidir (Arslan, 2017).

MODIS-MOD16 uydusunun küresel evapotranspirasyon ürünü, bölgesel su ve enerji dengesini, toprak su durumunu hesaplamak için kullanılır. Dolayısıyla su kaynakları yönetimi için önemli bilgiler sağlar. Uzun vadeli evapotranspirasyon (ET) verileri ile iklim, arazi kullanımı ve ekosistem bozukluklarındaki (örneğin orman yangınları ve böcek salgınları) değişikliklerin bölgesel su kaynakları ve arazi yüzeyi enerji değişimi üzerindeki etkilerini ölçebilir (URL-6; URL-10).

İklimsel Su Açığı (Climatic Water Deficit): PET, su kaynağı üzerinde herhangi bir müdahale olmadığı varsayılarak, buharlaşma ve terleme süreçleri yoluyla atmosferin suyu yüzeyden uzaklaştırma yeteneğinin bir ölçüsüdür. AET, buharlaşma ve terleme süreçleri nedeniyle bir yüzeyden fiilen uzaklaştırılan su miktarıdır. İklimsel su açığı (PET-AET) arasındaki farktır (URL-6; URL-10).

3.2. Open Foris/Collect Earth (CE)

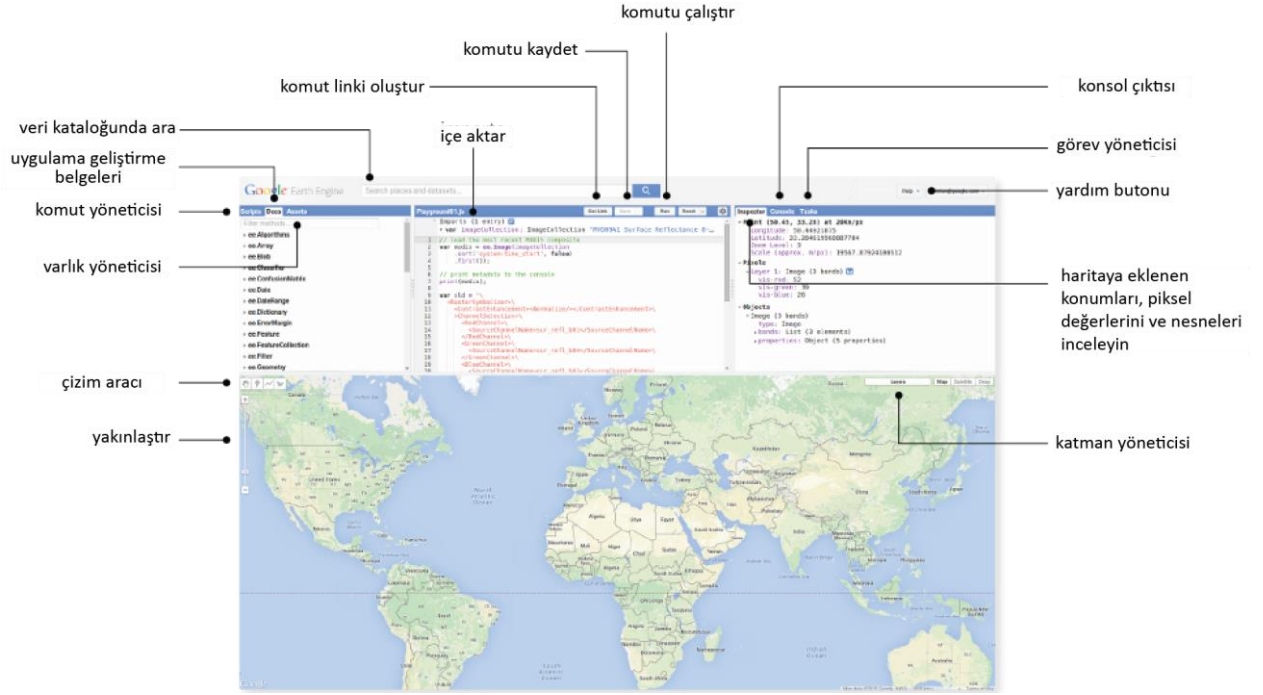
Collect Earth (CE), Google Earth'ün yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden faydalanarak kullanıcının, arazi izleme ve değerlendirmesi yaparak veri toplamayı sağlayan bir araçtır. Open Foris (OF), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) liderliğindeki, çok amaçlı orman envanterleri ve veri işleme/analitik için yazılım ve çevrimiçi araçların geliştirilmesini ve uygulanmasını destekleyen bir girişimdir. OF araçları, saha ve uydu verileri için esnek ve verimli veri toplama, analiz ve raporlamayı kolaylaştıran, halka açık, açık kaynaklı bir yazılım setidir. CE, OF paketinin parçası olan ve kullanıcıların arazi kullanımının/arazinin durumunu ve değişimini izlemek için yüksek ve çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerini mevcut diğer UA verileriyle birlikte analiz edebildiği bir veri toplama aracıdır (Bastin ve ark, 2017). Google Earth Pro ve Google Earth Engine bulut bilgi işlem teknolojileri üzerine inşa edilen CE, çok yüksek konumsal ve zamansal çözünürlüklü görüntülere sahip arşivlerin sağladığı uydu

görüntüleri (DigitalGlobe, Spot 5 ve 6, Landsat, Sentinel- 2, Modis vb.) ve Google Earth, Bing Maps ve Google Earth Engine, Earth Map platformları ile bütünleşik çalışmaktadır.

Google Earth: 2006 yılında piyasaya sürülen bir bilgisayar yazılımıdır. Tüm dünyanın uydu görüntülerini farklı çözünürlüklerde bir sistemde buluşturmaktadır. Google Earth'ün daha gelişmiş ve güçlendirilmiş sürümüne Google Earth Pro denilmektedir. Google Earth Pro ilk piyasaya sürüldüğünde ücret karşılığında hizmet vermekteyken 2015 yılında Google, fiyatlandırma politikasında değişikliğe giderek ücretsiz bir şekilde kullanıma sunmuştur. Google Earth Pro, dünya üzerindeki tüm yapıları ayrıntılı bir şekilde görüntüleyip detaylı bir keşif yapılmasına olanak sağlar. Birçok CBS dosya formatlarını destekleyerek uygulama içinde içe aktarılmakta ve görselleştirilmektedir (URL-11, URL-12). Günümüzde ise Google Earth'ün farklı platformlarda sürümleri mevcuttur.

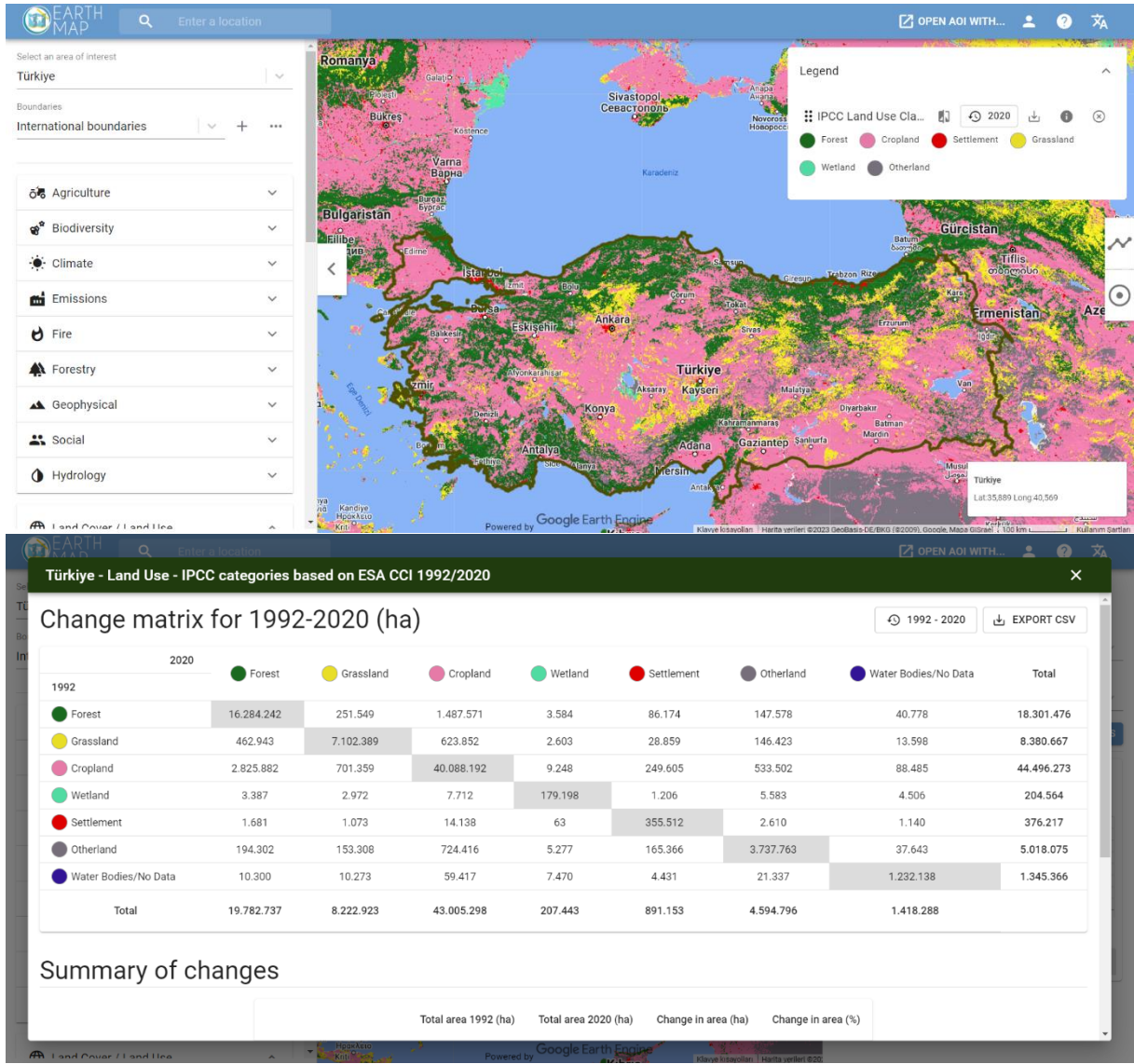
Bing Maps: Microsoft teknolojilerin bir parçası olan Bing Maps, 2005 yılında piyasaya çıkmıştır. Yüksek çözünürlüklü web harita hizmeti sunmaktadır (URL-13).

Google Earth Engine: Kullanıcıların Google'ın altyapısı üzerinden coğrafi verilerin analiz yapılmasına izin veren bulut tabanlı bir bilgi işlem platformudur. Platformunda veri kataloğu ile büyük ölçekli coğrafi veri arşivini bünyesinde barındırmakta ve tüm kullanıcılara açık bilimsel veri kümeleri içermektedir. Kod düzenleyicisi ile komut dosyaları yazmak ve çalıştırmak için web tabanlı geliştirme ortamı sağlamaktadır. Kod düzenleyici özellikleri, karmaşık mekânsal coğrafi analizlerini hızlı ve kolay bir şekilde geliştirmeyi sağlamak için tasarlanmıştır (Şekil 3.3; URL-14).



Şekil 3. 3: GEE kod düzenleyici arayüzü

Earth Map: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilen, FAO-Google ortaklığı çerçevesinde tasarlanan, arazi ve iklim verilerinin görselleştirilmesini, işlenmesini ve analiz edilmesini kolaylaştıran ücretsiz web tabanlı bir uygulamadır. Earth Map, Google Earth Engine'in gücünden yararlanarak çok zamanlı, büyük ölçekli, yarı gerçek zamanlı uydu görüntüsünü ve mekânsal analiz veri setlerini tüm kullanıcılarına sunmaktadır. Kullanıcıların kodlama bilgisinde uzmanlaşması gerektirmemektedir. Özellikle ülkelerin, araştırma enstitülerinin, çiftçilerin ve halkın bilime dayalı politika geliştirmek, yatırımları artırmak ve geçim kaynaklarını sürdürmek için kritik bilgilere erişimini kolaylaştırmaktadır. Earth Map ile yapılan uygulamalar, çevre ve iklim parametrelerinin hızlı tarihsel analizi yapılabilmesi, arazi kullanımı, arazi kullanımı değişikliği, iklim değişikliği etkileri ve doğal afetleri değerlendirmek için kullanılması ve arazi izleme, iklim değerlendirmesi için kapsamlı ve kullanıcı dostu bir araç olması geniş bir kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 3.4; Morales, 2023; URL-6).

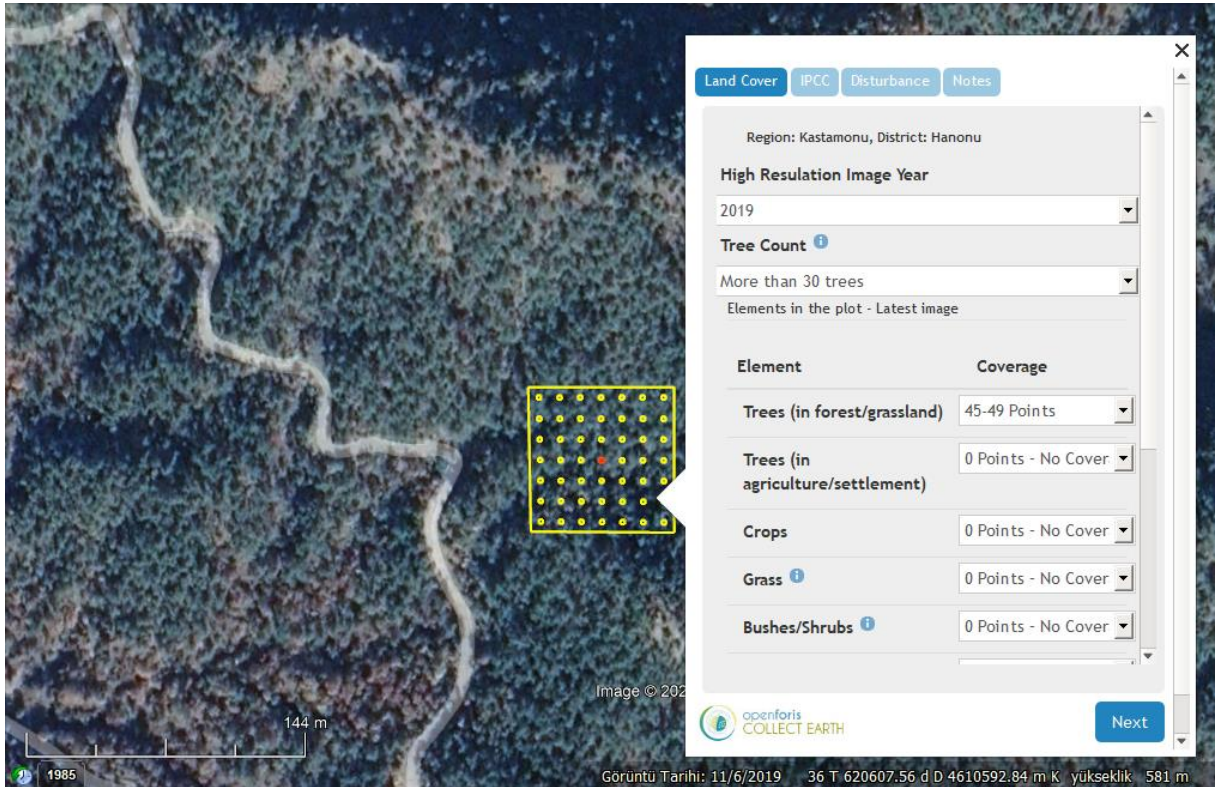


Şekil 3. 4: Earth Map arayüzünde arazi değişimi analiz örneği

Arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık (LULUCF) değerlendirmeleri, tarım arazileri ve kentsel alanların izlenmesi, mevcut haritaların doğrulanması, konumsal açık sosyo-ekonomik verilerin toplanması, ormansızlaşma, ağaçlandırma ve çölleşmeyi ölçmek için bir araç olarak kullanılmaktadır. Belirli veri toplama ihtiyaçları ve metodolojileri için özelleştirilebilir. CE aracılığıyla toplanan veriler, yaygın olarak kullanılan formatlara aktarılabilen kullanıcı dostu bir ara yüze sahiptir (URL-15).

FAO'nun bir yazılımı da olan CE (Bey ve ark., 2016), UA uzmanlarının ücretsiz ve açık kaynak araçları kullanarak herhangi bir alanın çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin (VHR) yorumlanması yoluyla arazi değerlendirmeleri yapmasını sağlamaktadır. CE, arazi örtüsü haritalaması için farklı bir işlevsellik sunarken, kullanıcıların yazılımı paylaşması, düzenli olarak güncellemesi ve verileri yedeklemesini gerektirmektedir.

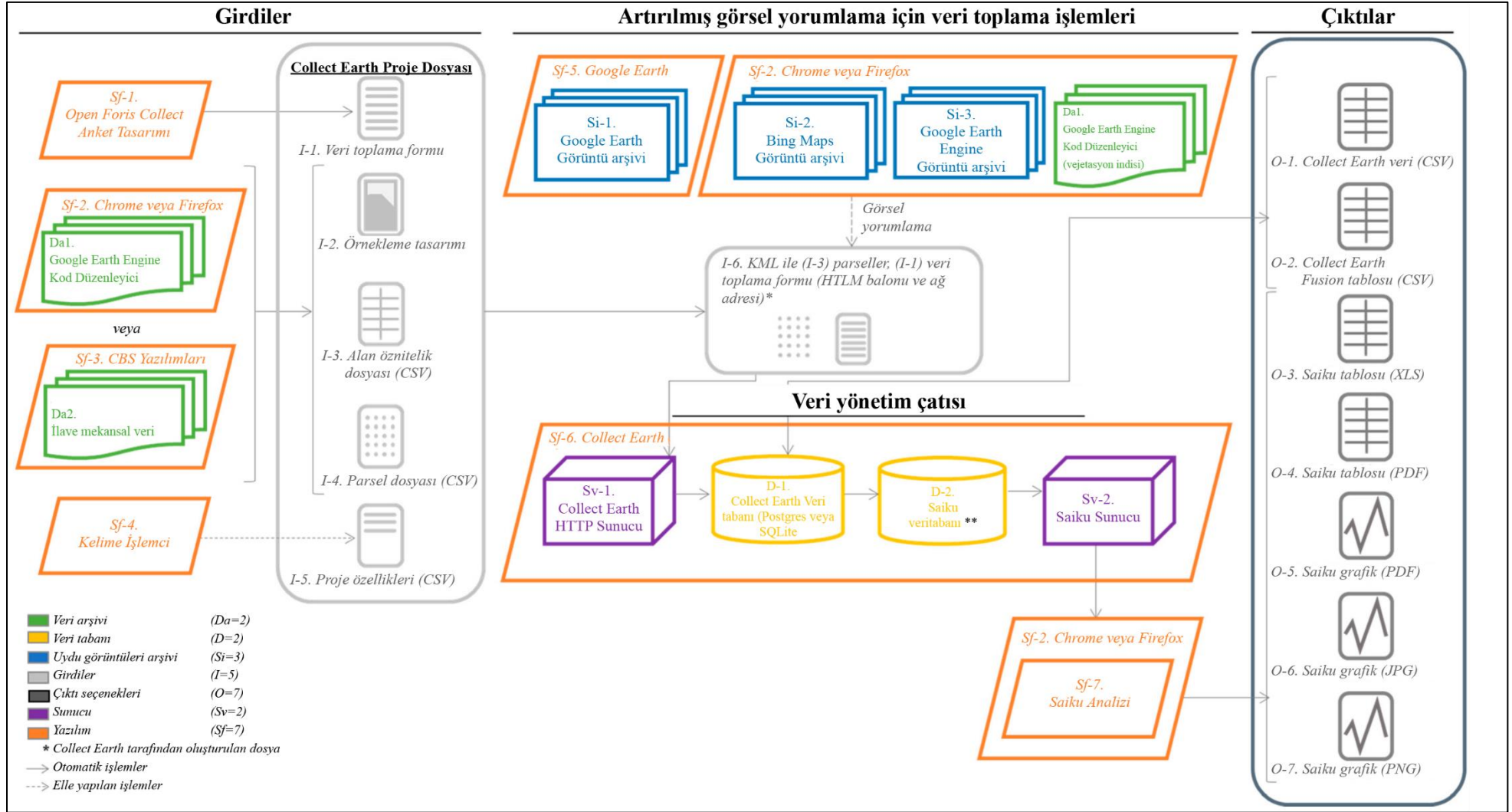
CE verileri toplandığı enterpole mantığı çerçevesinde değerlendirilmektedir. Çalışma alanına sistematik olarak atılan belirli büyüklükteki örnek deneme alanları üzerinden alınan veriler tüm alana enterpole edilir ve veri toplanılmasına dayalı bir yazılım aracı oluşturur. (Şekil 3.5). CE yazılımıyla yüksek çözünürlüklü görüntü verileri kullanılarak belirlenen büyüklükteki deneme alanları içinde arazi değişimi başta olmak üzere, örtü oranları, ağaç çalı vb. diğer unsurlar hakkında veri toplanabilmektedir. Şekil üzerinde gösterildiği gibi her deneme (örnek) alan içindeki (büyük sarı kutu) kontrol noktaları (küçük sarı kutucuklar) eşit aralıklarla yerleştirilmekte ve arazi kullanım sınıflarının alanı örtme yüzdesini hesaplamak için kullanılmaktadır. Aynı anket içinde belirlenen deneme alanı için farklı veriler de toplanmaktadır. Bu tasarım çalışmanın amacına göre şekillendirilmektedir. Örneğin bitki türü, alt yapı türleri, ağaç çalı sayısı, ağaç örtme yüzdesi vb. diğer özellikler olabilir. Yüksek çözünürlüklü görüntüler sayesinde tüm objeler hakkında detaylı bilgiler alınabildiği gibi deneme alanı için eşleşik açılan Google Earth Engine platformu üzerinden diğer uydu görüntüleri ve grafik veriler (NDVI, NDWI, yağış, sıcaklık vb.) alınarak veri kartına işlenebilmektedir.



Şekil 3. 5: Collect Earth deneme alanı ve veri toplama kartı örneği

CE, dört ana bölüme ayrılabilen bir arazi izleme sistemidir: (1) girdiler; (2) veri toplama; (3) veri yönetimi ve (4) sonuçları görselleştirmek ve çıktılar oluşturmak için analitik araçlar.

Girdiler, veri toplama parametrelerini belirler. Toplanan veriler, sunucular tarafından otomatik olarak yönetilir ve veri tabanları içinde yapılandırılır. Analiz ve veri kullanım araçları, arazi özelliklerinin yorumlanmasını kolaylaştırmak için bu veri tabanlarına erişir. Toplu olarak, bu dört bölüm yedi yazılım ürünü, üç görüntü arşivi, iki veri arşivi ve iki sunucudan yararlanır (Şekil 3.6). CE ve tüm bileşenlerinin Bey vd., (2016) tarafından yöntemsel süreci tanımlanmış ve örnek uygulama ile birlikte anlatılmıştır. İlgili çalışma, CE metodolojisinin tanıtımı ve çalışma prensiplerinin aktarıldığı ilk referans olma özelliğindedir. Bu tez kapsamında da kullanılan CE yöntemi, ilgili referans kullanılarak tez içeriğine aktarılmıştır.



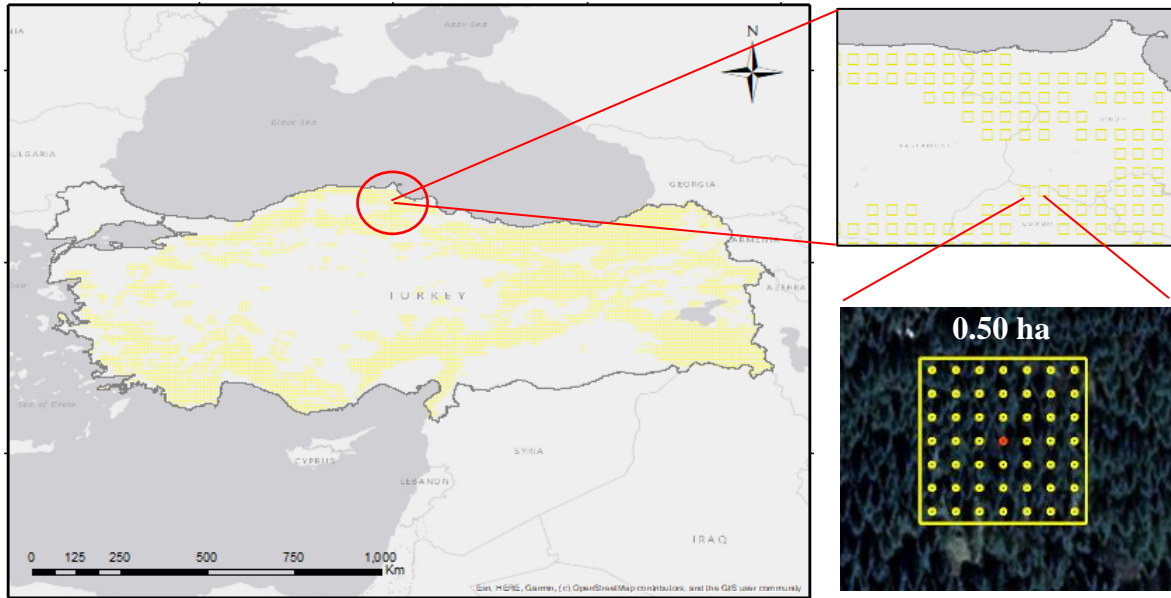
Şekil 3. 6: Yardımcı yazılımlarla Collect Earth arazi izleme sistemine genel bakış (Bey vd. 2016)

4. UYGULAMA

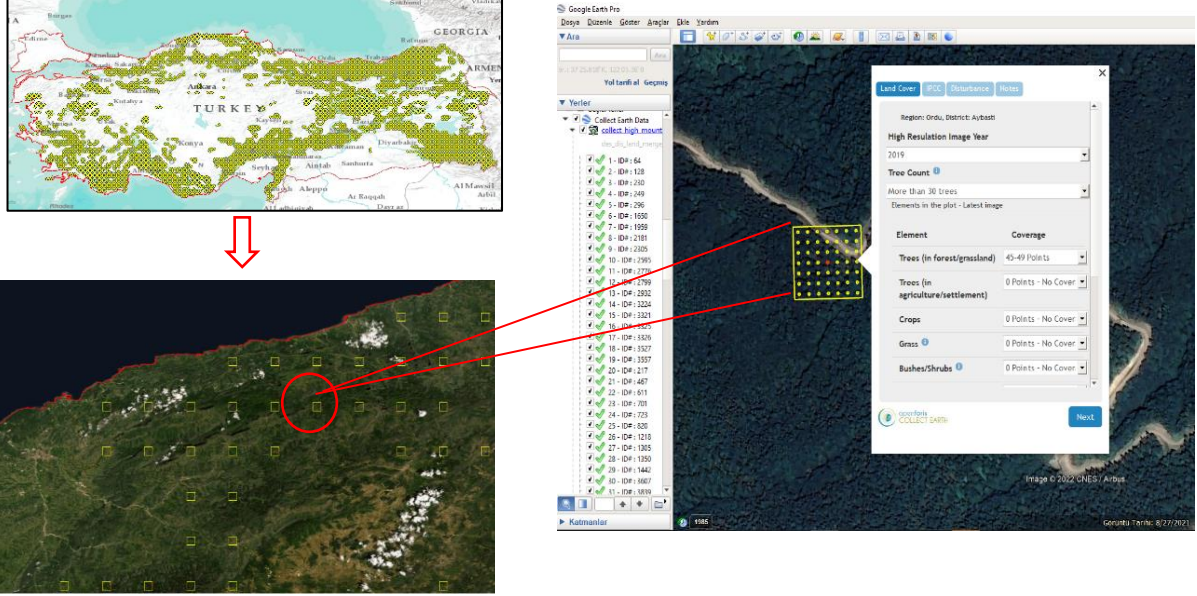
Çalışma alanına ilişkin değerlendirmeler, arazi örtü/kullanım sınıflarının belirlenmesi, arazi örtüsü/kullanım sınıflarının değişimi (2000-2022), normalize edilmiş bitki indisi (NDVI), yağış indisi (P), maksimum sıcaklık (MaxTemp), minimum sıcaklık (MinTemp), potansiyel evapotranspirasyon (PET), su açığı (WD) ve nüfus yoğunluğu (PD) değişimlerinin belirlenmesi, başlıkları altında gerçekleştirilmiştir.

4.1. Örnek Alanların Oluşturulması ve Collect Earth Aracı ile Veri Toplama

Çalışma alanı olarak seçilen Türkiye'deki Yüksek ve Dağınık Yüksek Dağ Alanları (51481026,80ha) için toplam 4018 parsel sistematik olarak seçilmiştir (Şekil 4.1). Parseller arasındaki mesafe 10000 metre (10km) olarak belirlenmiştir. Bu mesafenin kabul edilmesinin nedeni kullanılan veriler arasındaki çözünürlük farklılığından kaynaklanmaktadır (Ör. NDVI verisi 30m çözünürlüğünde, maksimum sıcaklık verisi 25 km çözünürlüğünde). 10 km aralıklarla deneme alanları alımı gerçekleştirildiğinde düşük çözünürlüklü görüntü verilerinden aynı alana ilişkin veri tekrarının önüne geçilmiştir. Her bir parsel alan 0,5 ha büyüklüğünde olup tüm anket veri girişi ve görsel değerlendirme bu parselde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2).

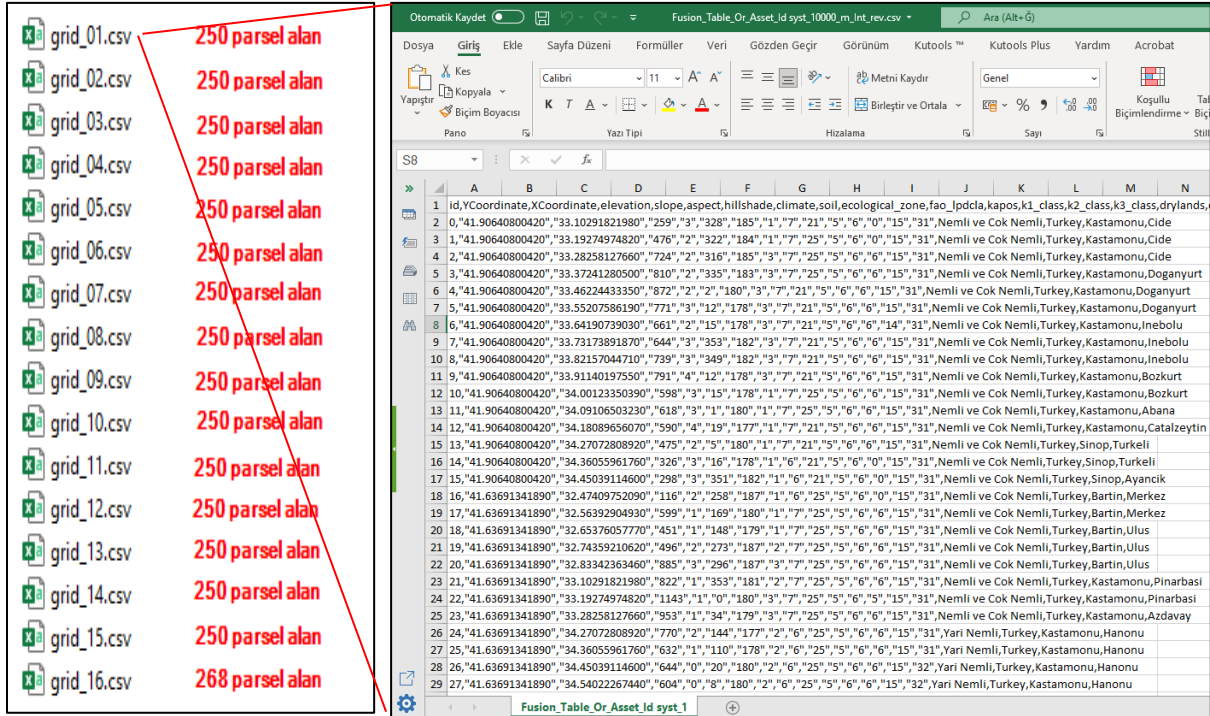


Şekil 4. 1: Yüksek ve Dağınık Yüksek Dağ Alanları için sistematik olarak dağıtılmış 4018 adet deneme parselleri



Şekil 4. 2: Her bir parsele ait anket veri girişi

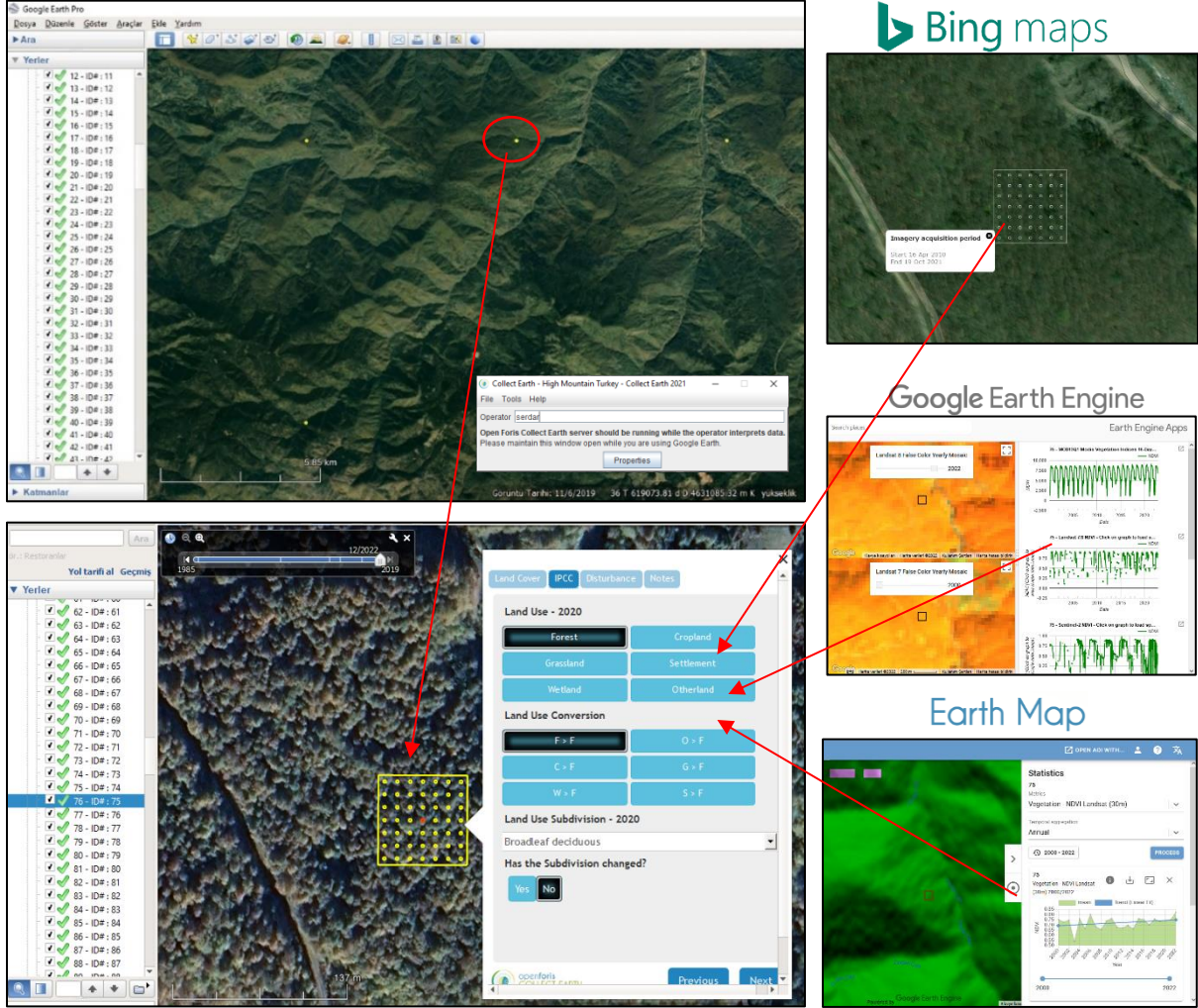
Tüm alan için toplam 16 grid dosyası, her birinde 250 parsel olacak (son grid dosyası 268 parsel oluşmaktadır) şekilde ayrı .csv dosyaları olarak organize edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4. 3: 4018 parsellerin bölümlere ayrılmış hali

CE yazılımı içinde toplam 4018 parselin bilgilerinin girilmesi amaçlı her bir grid dosyası CE aracına yüklenerek veri tabanı doldurulmaya başlanmıştır. CE aracı Google Earth Pro yazılımıyla tümleşik bir şekilde çalışmaktadır. Google Earth Pro'nun yüksek çözünürlüklü

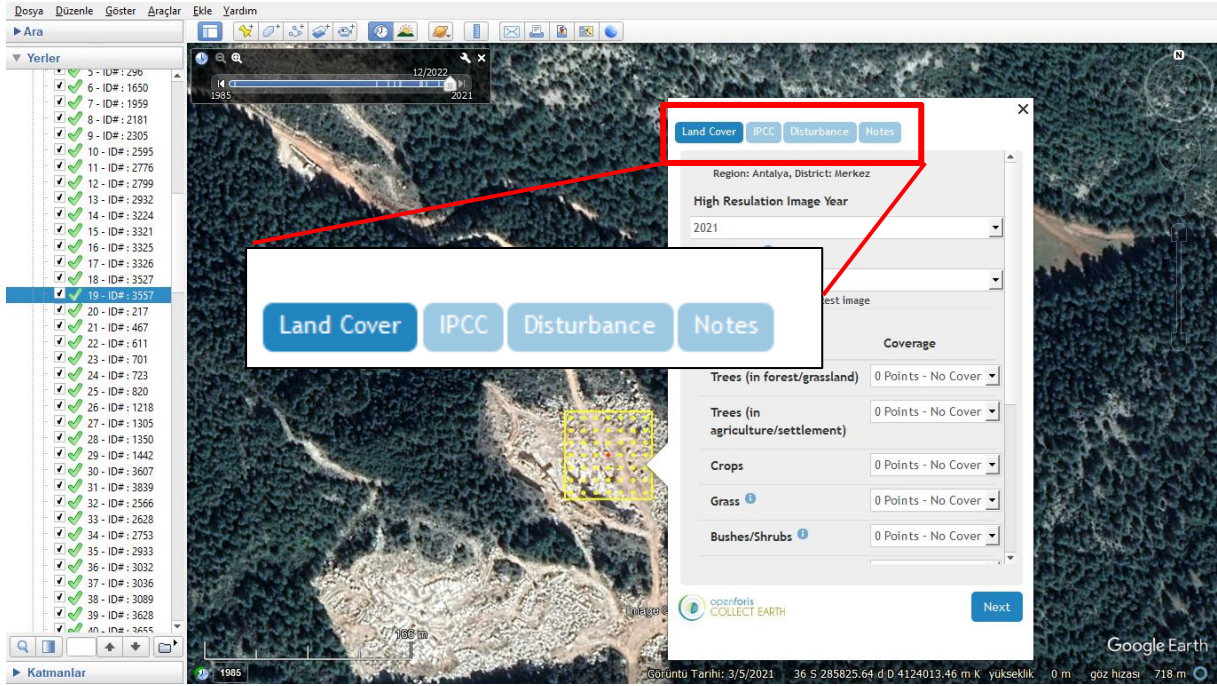
uydu görüntülerinden faydalanarak parsellere ait bilgileri anket sayfasına işlenmiştir. Bununla birlikte yine parsellerin bilgilerini anket penceresine doldurmak için yardımcı pencereler açılmaktadır. Bu pencereler, alana ilişkin bir başka yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü sağlayan Bing Maps, parselle ait zaman serisi grafik verilerini veren Earth Map ve Google Earth Engine gibi opsiyonel veriler sunmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4. 4: Parsellere ilişkin Google Earth Pro, Bing Maps, Google Earth Engine (GEE) ve Earth Map pencereleri

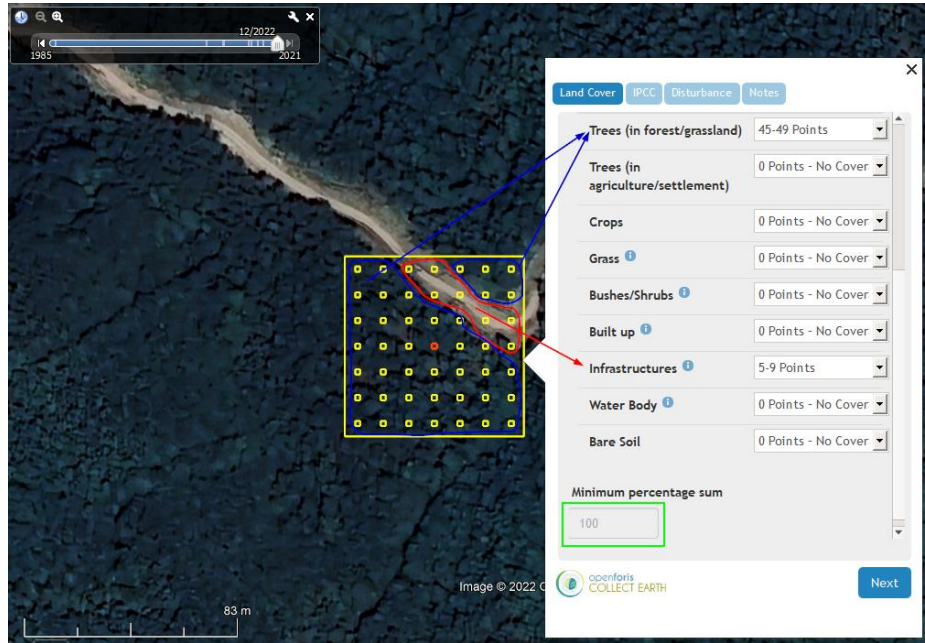
4.2. Anket Penceresi

Anket penceresi tasarlanırken veri tabanı sorgulamalarında ve analizlerde Türkçe karakterlerin desteklememesinden dolayı anket dili İngilizce olarak tasarlanmıştır. Çalışmada parsellere ait veri girişi için *Arazi Örtüsü*, *IPCC*, *Baskı/Etki* ve *Notlar* başlıklı sayfalar altında istenilen bilgiler doldurulmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4. 5: Arazi örtüsü veri girişi

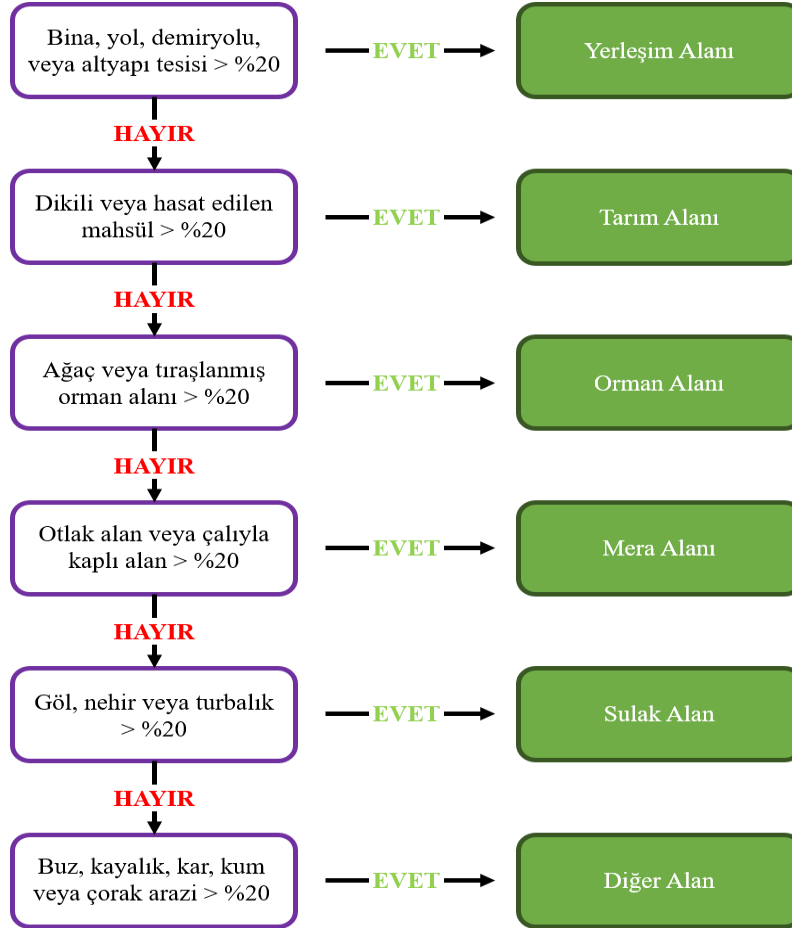
Arazi Örtüsü (Land Cover): Uydu görüntüsünün çekim tarihi bu başlık altında girilir. Arazi yüzeyinde görünen nesnelerin kapladığı alanlar ankete doldurulur. Parselin arazi örtüsü kaplama alanı %100 olacak şekilde girilmiştir (Şekil 4.6).



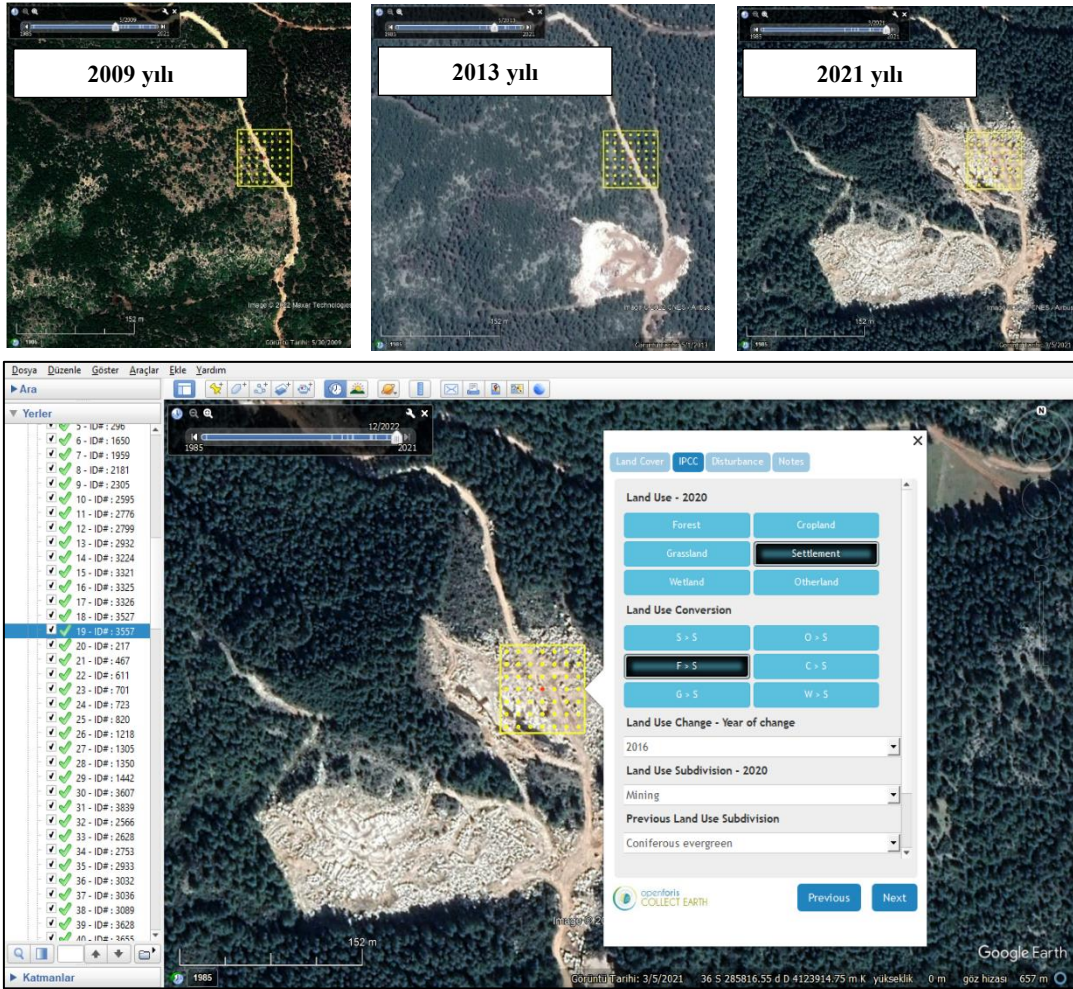
Şekil 4. 6: Arazi örtüsü veri girişi

IPCC: Bu sayfada parsel alanının arazi örtüsü/kullanım sınıfı belirlenir. Arazi örtüsünde girilen verilerin parseli örtme oranı %20'yi aştığında ve hiyerarşik baskın arazi örtüsü/kullanım sınıfı hangisi ise parsel o sınıfın niteliğini taşımaktadır. Örneğin bir parsel içinde %30 tarım, %45

diğer alan ve %25 mera alanı var ise o alan sınıflandırma hiyerarşisine göre tarım alanı olarak değerlendirilmiştir. Çünkü hiyerarşinin %20 kuralına göre tarım alanı % 30 örtme yüzdesi ile mera ve diğer alan sınıflarının önüne geçmektedir (Şekil 4.7; Martinez ve Mollicone, 2012).

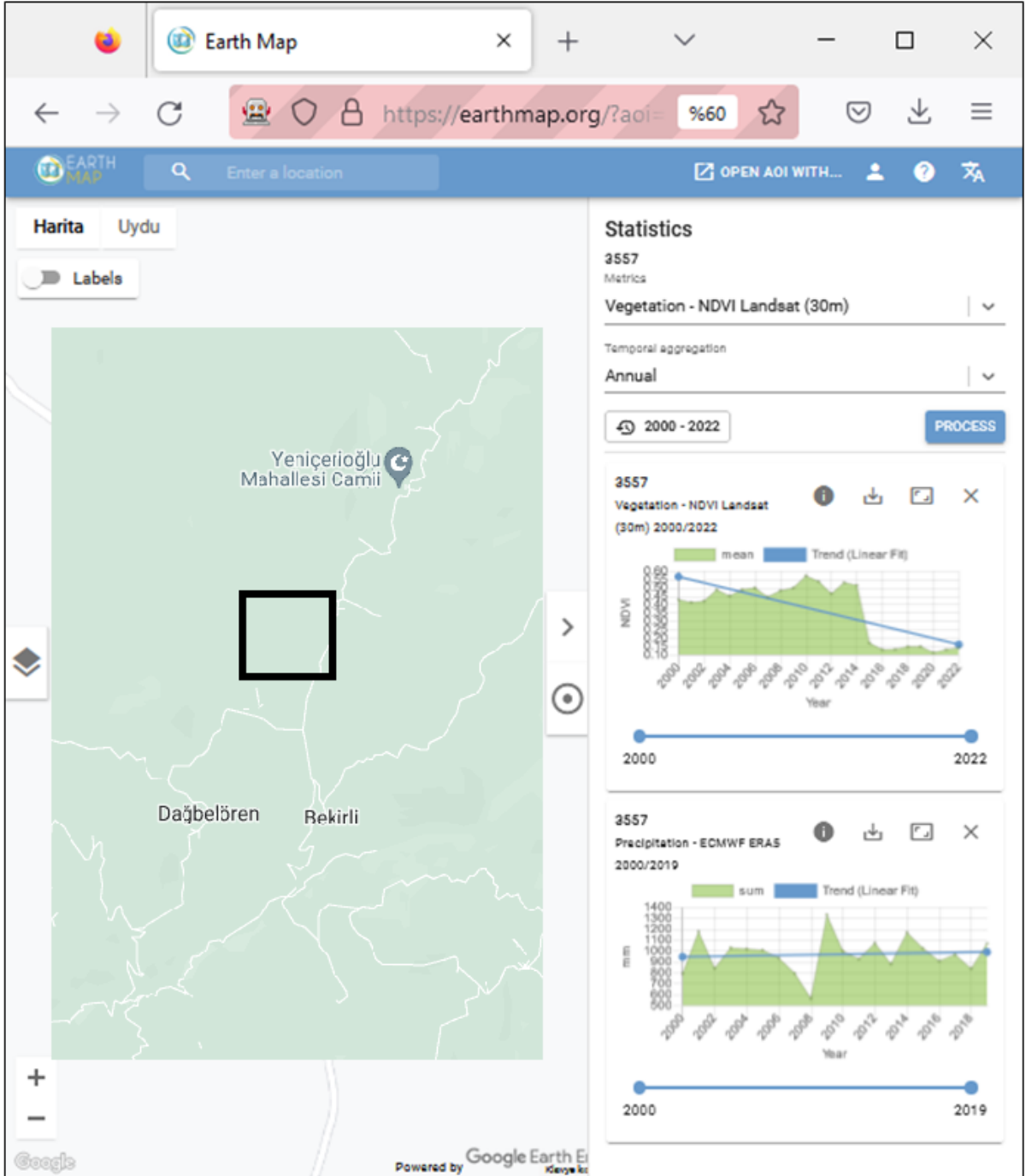


Şekil 4. 7: Arazi kullanım sınıfının belirlenmesi için karar ağacı (IPCC Sınıflandırma Sistemi)
Google Earth Pro'nun geçmiş görüntülerinden faydalanılarak arazi, geçmişten günümüze zamansal seyrinde bir değişikliğe uğramışsa, ilgili parselin hangi sınıftan hangi sınıfa geçtiği bilgisi de açılan anket sayfasına doldurulmuştur (Şekil 4.8).



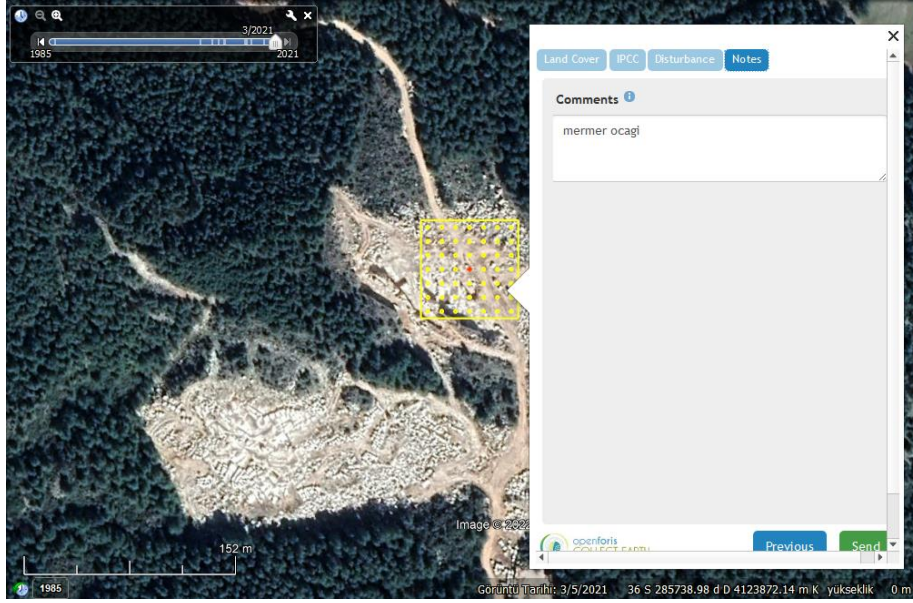
Şekil 4. 8: Parselin bulunduğu konumun zamansal değişimi (üstte) ve alana ait veri girişi (altta)

Baskı/Etki (Disturbance): Doğal olmayan ve insani müdahalenin olduğu olumlu ya da olumsuz her etki bu kart için ele alınmıştır. Örneğin parsel içinde veya herhangi bir bölgesinde mevcut olan yol-patika, maden ocağı, ağaçlandırma, yangın, otlatma vb. gibi etkiler bu sayfada doldurulur. Earth Map penceresindeki zaman serisi grafik verileri de yine bu pencerede doldurulur (Şekil 4.9).



Şekil 4. 9: Parsele ait Earth Map grafik verileri

Notlar (Notes): Bu pencerede analist, parsel hakkında ilave bilgi, yorum gibi notlar girmiştir (Şekil 4.10). Bu notların daha sonra kontrol aşaması için değişmesi gerekli noktalar için aydınlatıcı bilgiler içerecek şekilde yazılmaktadır.



Şekil 4. 10: Not sayfası veri girişi

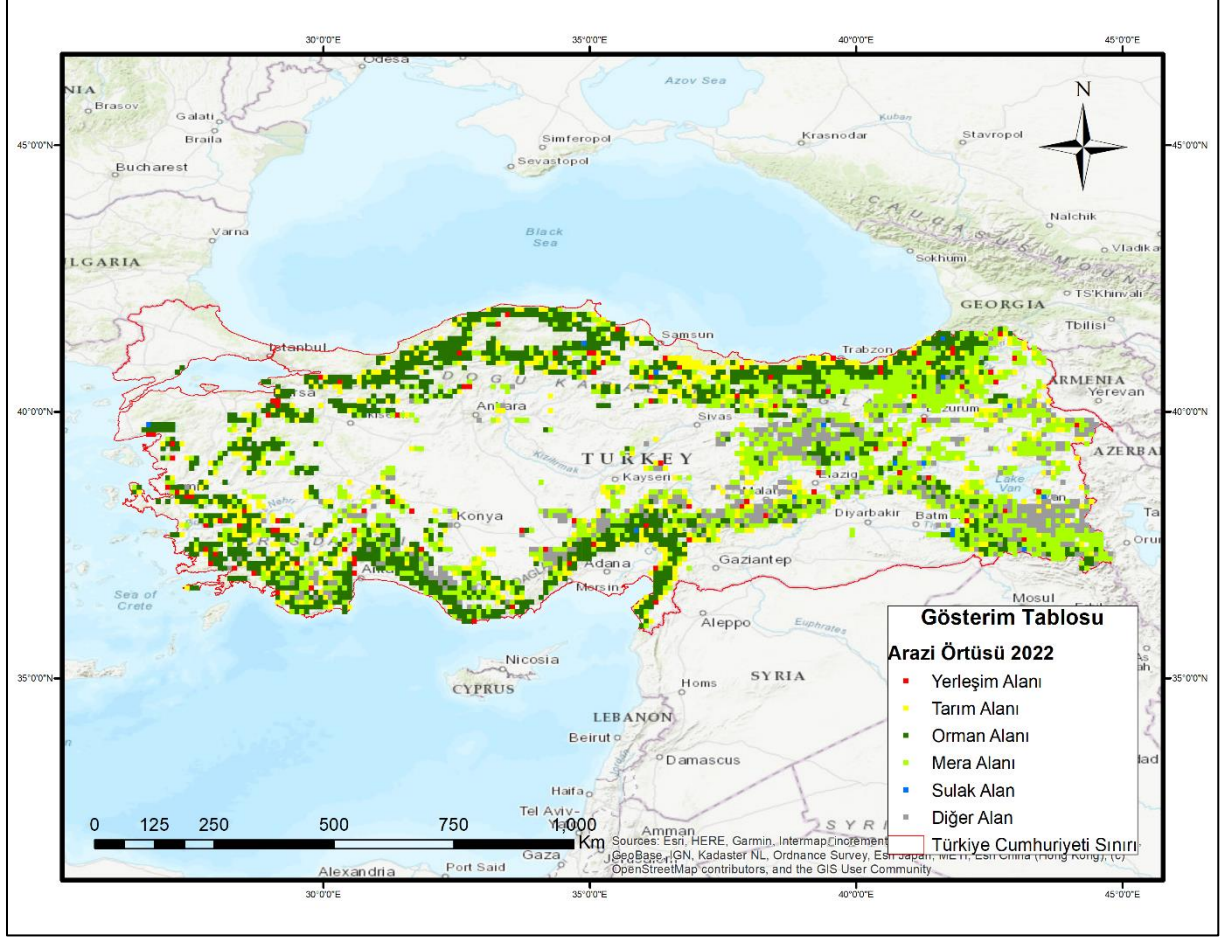
Toplam 4018 parselin veri girişi bu tez çalışması kapsamında yaklaşık 12 ay gibi bir sürede tamamlanmıştır. Tamamlanan tüm veri tabanı tekrar Collect Earth üzerinden SAIKU istatistik programı ya da herhangi bir CBS programında kullanılmak üzere .csv formatında hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.11).

| id | location_srs | location_x | location_y | operator | plot_file | actively_saved | actively_saved_on_year | actively_saved_on_month | actively_saved_on_day | fra_class | fra_class_label | land_use_category | land_use_category_label |
|----|--------------|-----------------|-----------------|----------|---------------|----------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------|------------------------------|-------------------|-------------------------|
| 1 | "EPSG-4326" | "37.9818931067" | "36.8365411194" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "false" | "2021" | "2" | "1" | "false" | "" | "" | "" |
| 2 | "EPSG-4326" | "37.9818931067" | "36.8477700605" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "OL" | "Diğer Alanlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 3 | "EPSG-4326" | "37.9931204777" | "36.8477700605" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "OL" | "Diğer Alanlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 4 | "EPSG-4326" | "38.0043509888" | "36.8477700605" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "OLTC" | "Ağaçla Kaplı Diğer Araçlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 5 | "EPSG-4326" | "38.0043509888" | "36.858990015" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "IWB" | "Sulak Alanlar" | "wetland" | "Sulak Arazi" |
| 6 | "EPSG-4326" | "38.0043509888" | "36.858990015" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "IWB" | "Sulak Alanlar" | "wetland" | "Sulak Arazi" |
| 7 | "EPSG-4326" | "38.0043509888" | "36.8702279426" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "OLTC" | "Ağaçla Kaplı Diğer Araçlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 8 | "EPSG-4326" | "37.9931204777" | "36.858990015" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "OLTC" | "Ağaçla Kaplı Diğer Araçlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 9 | "EPSG-4326" | "37.9818931067" | "36.858990015" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "OL" | "Diğer Alanlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 10 | "EPSG-4326" | "37.9931204777" | "36.8702279426" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "OLTC" | "Ağaçla Kaplı Diğer Araçlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 11 | "EPSG-4326" | "38.0043509888" | "36.858990015" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "OL" | "Diğer Alanlar" | "settlement" | "Yerleşim Arazisi" |
| 12 | "EPSG-4326" | "38.0155799298" | "36.858990015" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "F" | "Orman" | "forest" | "Orman" |
| 13 | "EPSG-4326" | "38.0268088709" | "36.8814568836" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "25" | "OLTC" | "Ağaçla Kaplı Diğer Araçlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 14 | "EPSG-4326" | "38.0155799298" | "36.8702279426" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "OL" | "Diğer Alanlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 15 | "EPSG-4326" | "38.0268088709" | "36.8702279426" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "24" | "OL" | "Diğer Alanlar" | "settlement" | "Yerleşim Arazisi" |
| 16 | "EPSG-4326" | "38.0380378119" | "36.8702279426" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "3" | "9" | "IWB" | "Sulak Alanlar" | "wetland" | "Sulak Arazi" |
| 17 | "EPSG-4326" | "38.049266753" | "36.8702279426" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "25" | "OL" | "Diğer Alanlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 18 | "EPSG-4326" | "38.060495694" | "36.8702279426" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "25" | "OL" | "Diğer Alanlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 19 | "EPSG-4326" | "37.9931204777" | "36.8814568836" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "25" | "OLTC" | "Ağaçla Kaplı Diğer Araçlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 20 | "EPSG-4326" | "38.0155799298" | "36.8814568836" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "25" | "OLTC" | "Ağaçla Kaplı Diğer Araçlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 21 | "EPSG-4326" | "38.0380378119" | "36.8814568836" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "3" | "9" | "IWB" | "Sulak Alanlar" | "wetland" | "Sulak Arazi" |
| 22 | "EPSG-4326" | "38.049266753" | "36.8814568836" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "3" | "9" | "IWB" | "Sulak Alanlar" | "wetland" | "Sulak Arazi" |
| 23 | "EPSG-4326" | "38.060495694" | "36.8814568836" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "25" | "OLTC" | "Ağaçla Kaplı Diğer Araçlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 24 | "EPSG-4326" | "38.071246351" | "36.8814568836" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "25" | "OLTC" | "Ağaçla Kaplı Diğer Araçlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 25 | "EPSG-4326" | "38.0829555761" | "36.8814568836" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "25" | "OL" | "Diğer Alanlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |
| 26 | "EPSG-4326" | "37.9931204777" | "36.8926858247" | "bbaysi" | "grid_01.csv" | "true" | "2020" | "2" | "25" | "OLTC" | "Ağaçla Kaplı Diğer Araçlar" | "cropland" | "Tarım Arazisi" |

Şekil 4. 11: Veri girişi tamamlanmış .csv formatındaki veri tabanı dosyası

4.3. Arazi Örtü/Kullanım Sınıfları ve Değişimleri (2000-2022)

Çalışma kapsamına konu olan yüksek dağ alanlarının IPCC sınıflarına göre dağılımları Şekil 4.12'da gösterilmiştir. Çalışma alanının yüzdelik dilimi yerleşim alanı %2,51, tarım alanı %14,56, orman alanı %33,95, mera alanı %35,76, sulak alan %0,40 ve diğer alanlar %12,82 şeklindedir (Tablo 4.1).



Şekil 4. 12: Türkiye'nin Yüksek Dağ ve Dağınık Yüksek Dağ Sınıflarının IPCC sınıflarına göre güncel arazi örtüsü/kullanım haritası

Tablo 4. 1: Türkiye'nin Yüksek Dağ ve Dağınık Yüksek Dağ Sınıflarının IPCC sınıflarına göre güncel arazi örtüsü/kullanım alanlarının dağılımı

| Arazi Örtüsü 2022 | Alan (ha) | Oran (%) |
|-------------------|--------------------|------------|
| Yerleşim Alanı | 1294072.6 | 2.51 |
| Tarım Alanı | 7495371 | 14.56 |
| Orman Alanı | 17476386.4 | 33.95 |
| Mera Alanı | 18411706.2 | 35.76 |
| Sulak Alan | 205001.6 | 0.40 |
| Diğer Alanlar | 6598489 | 12.82 |
| Toplam | 51481026,80 | 100 |

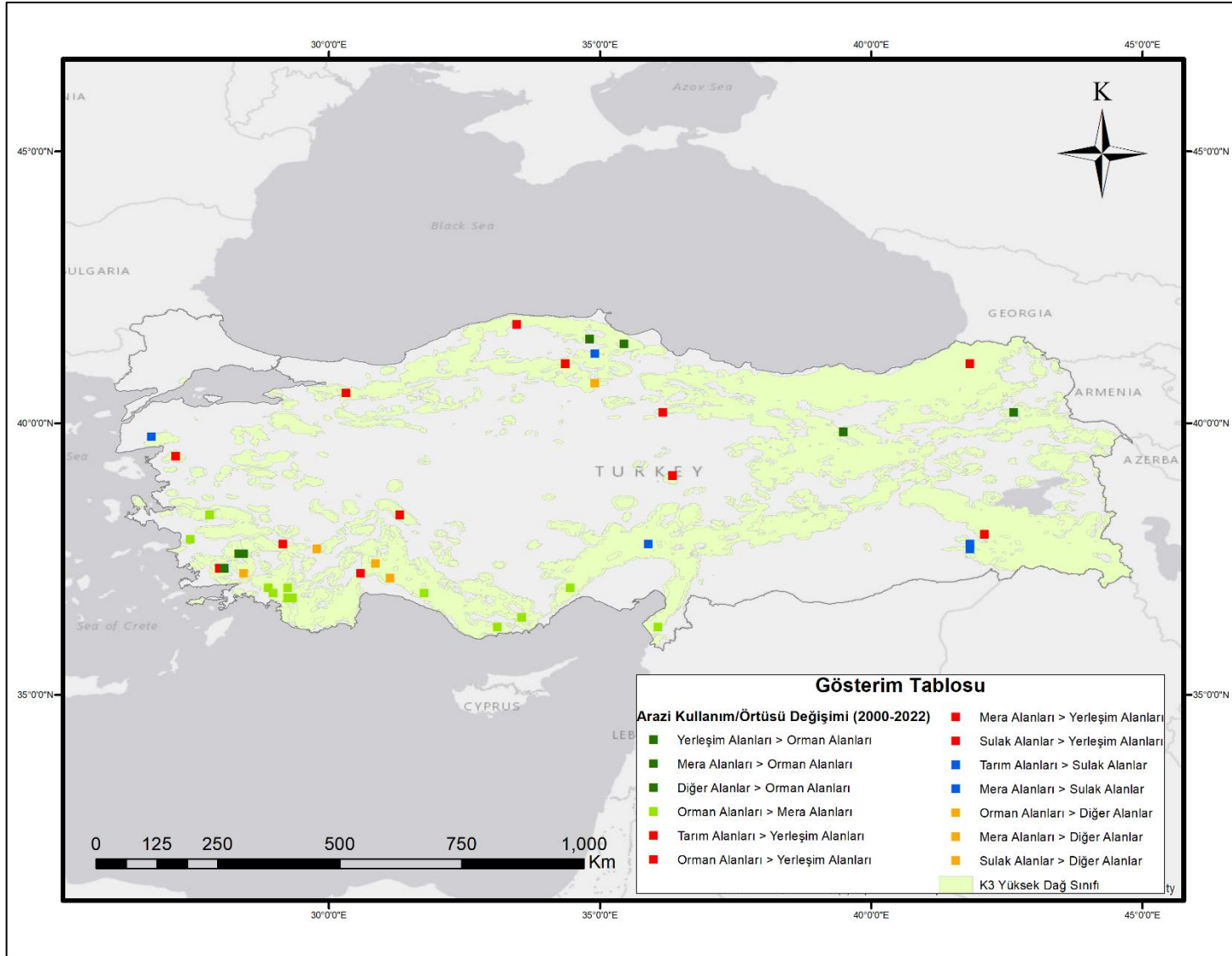
2000-2022 yılları arasında kapsayan çalışma periyoduna ilişkin arazi örtüsü/kullanım değişimleri Tablo 4.2 ve Şekil 4.13'te gösterilmiştir. 22 yıllık süreçte orman alanında 179376.4 ha, tarım alanında 38437.8 ha azalma olurken, yerleşim alanında 141.890,30 ha ve diğer alanlarda 50.822,06 ha artış olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan mera alanında 13.673,54 ha ve sulak

alanında 12.899,12 ha artış olduğu görülmüştür. 2000- 2022 yılları arasında orman alanının arazi örtüsü/kullanımında 17.377.365,22 ha, tarım alanında 38437.8 ha, mera alanında 12812.6 ha, sulak alanda 139.567,05 ha, yerleşim alanında 1.111.889,95 ha ve diğer alanlarda ise 6.526.664,46 ha değişim tespit edilmiştir.

Tablo 4. 2: Arazi örtüsü/kullanım sınıfları değişim matrisi (2000-2022)

| | | Şimdiki Arazi Kullanım Örtüsü | | | | | | Toplam (Ha) |
|-----------------------|----------|-------------------------------|---------|------------|-----------|----------|---------|-------------|
| | | Orman | Tarım | Mera | Yerleşim | Sulak | Diğer | |
| Önceki Arazi Kullanım | Orman | 17386698.2 | — | 153751.2 | 76875.6 | — | 38437.8 | 17655762.8 |
| | Tarım | — | 7495371 | — | 12812.6 | 25625.2 | — | 7533808.8 |
| | Mera | 64063 | — | 18257955 | 25625.2 | 38437.8 | 12812.6 | 18398893.6 |
| | Yerleşim | 12812.6 | — | — | 1140321.4 | — | — | 1153134 |
| | Sulak | — | — | — | 38437.8 | 140938.6 | 12812.6 | 192189 |
| | Diğer | 12812.6 | — | — | — | — | 6534426 | 6547238.6 |
| Toplam (Ha) | | 17476386.4 | 7495371 | 18411706.2 | 1294072.6 | 205001.6 | 6598489 | 51481026,80 |

**İlgili tabloda sütun olarak yer alan toplam alanlar 2022 yılı, satır olarak yer alan toplam alanlar 2000 yılı IPCC arazi örtü/kullanım sınıfları alanlar toplamını göstermektedir. Sütun olarak her bir IPCC arazi örtü/kullanım sınıfı, ilgili sütundaki arazi örtü/kullanım sınıfına diğer sınıflardan geçişleri göstermektedir. Satır olarak her bir IPCC arazi örtü/kullanım sınıfına ait, sütunda yer alan sınıflardan ne kadar alanın geçmişte bu sınıfta yer aldığını göstermektedir*



Şekil 4. 13: Arazi örtü/kullanım değişimi tematik haritası

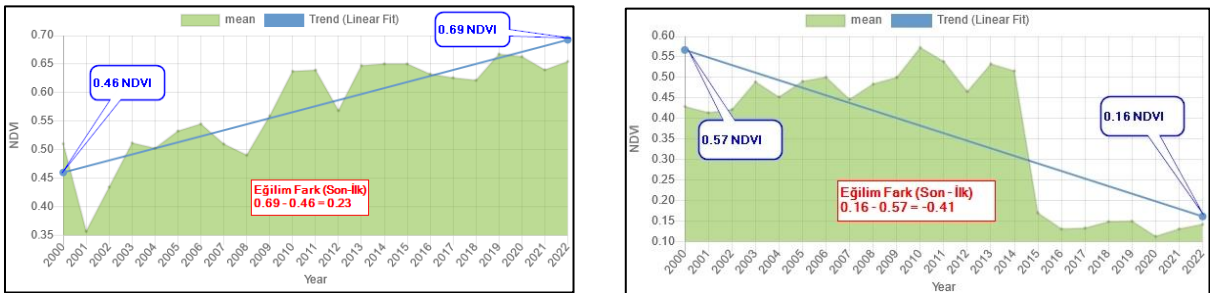
4.4. Eğilim Analizleri

NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndisi) Zamansal Eğilim Farkları: Gerçekleştirilen tez çalışmasında Tablo 4.13'deki NDVI veri aralıklarına uygun olarak değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Alex ve ark., 2017'ye göre, NDVI vejetasyon değerinin 0 ile 1 arasında değiştiği ve NDVI değerleri için 0.2'den sonrası vejetasyon olarak değerlendirilmektedir. Bu kabulden yola çıkarak vejetasyon artışı gözleminin belirgin bir farkla oluşabilmesi ve bu farkın gözleminin önem arz etmesi gerekçesi ile 0.2 NDVI değeri baz alınmıştır. NDVI grafiğindeki eğilim farkının 0.2 ve üzeri değerler, pozitif yönde artış gösteren alanlar olarak belirlenmiştir. NDVI pozitif olarak değerlendirilmeye alınmıştır. Vejetasyon içermeyen alanlardaki değişimler NDVI değerleri 0 – (-1) arasında olan tüm değerlerde ihmal edilmiştir. NDVI negatif alanlar için 0 – 1 değer aralığı için tüm noktalar vejetasyon kaybı olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4. 3: NDVI sınıflandırma aralıkları (Alex ve ark. 2017)

| NDVI Aralıklar | Özellikler |
|-----------------------|--|
| -1 — 0 | Su, kar, bulut |
| 0 — 0.2 | Çıplak alan, kumul, yapılaşmış yüzeyler, kayalık |
| 0.2 — 1 | Vejetasyon |

Şekil 4.14'teki grafikler 2000-2022 yılları arasında her bir deneme alanı için ölçülen yıllık değerlerin ortalamasına göre oluşan değişim grafikleridir. Eğilimin yönü ve büyüklüğünü tayin etmek için Earth Map üzerinden veriler alınmıştır.



Şekil 4. 14: NDVI eğiliminin pozitif (solda) ve negatif yönde (sağda) farkları

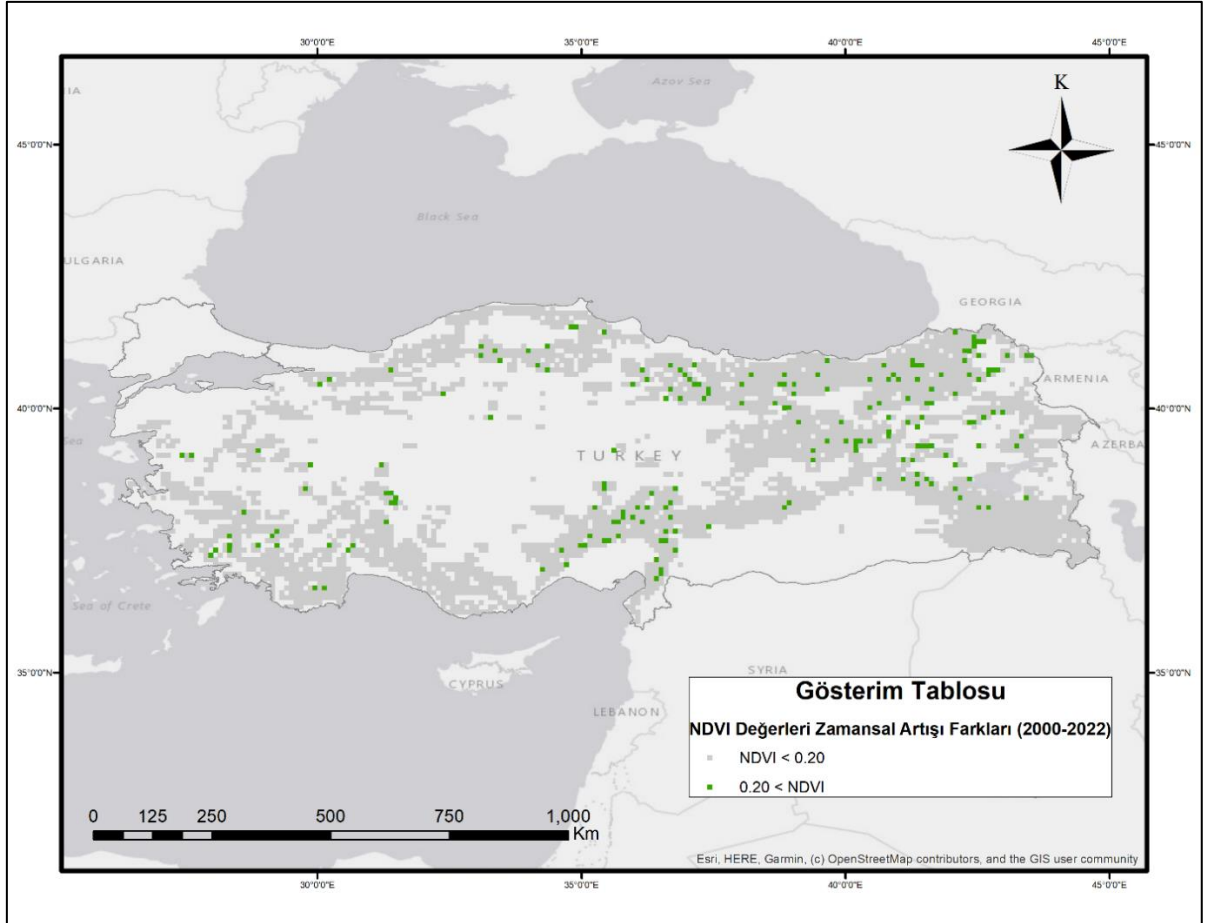
NDVI farkının pozitif yönde gerçekleştiği alanlar incelendiğinde, orman alanlarının 1.050.633 ha ile ilk sırada olduğu tespit edilmiştir. Benzer bir sonucu mera alanları için de söylemek

mümkündür. Mera alanlarındaki 960.945 ha NDVI değeriindeki artış mera alanlarındaki vejetasyon kalitesinin bir göstergesidir (Tablo 4.4).

Tablo 4. 4: IPCC sınıflarına göre pozitif yönde NDVI farkı alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | NDVI artan alanlar |
|------------------------------|--------------------|
| Yerleşim Alanı | 25625.2 |
| Tarım Alanı | 345940.2 |
| Orman Alanı | 1050633 |
| Mera Alanı | 960945 |
| Sulak Alan | 12812.6 |
| Diğer Alanlar | 76875.6 |
| <i>Toplam</i> | <i>2472831,6</i> |

Yerleşim ve tarım alanlarının NDVI değeriindeki artış genelde insan kaynaklı değişimler olduğu göz önüne alındığında, vejetasyon farklılığı açısından kazanım olarak değerlendirilebilir. Şekil 4.15 incelendiğinde özellikle Türkiye'nin doğu tarafında daha fazla vejetasyon artışı olduğu görülmektedir (Şekil 4.15).



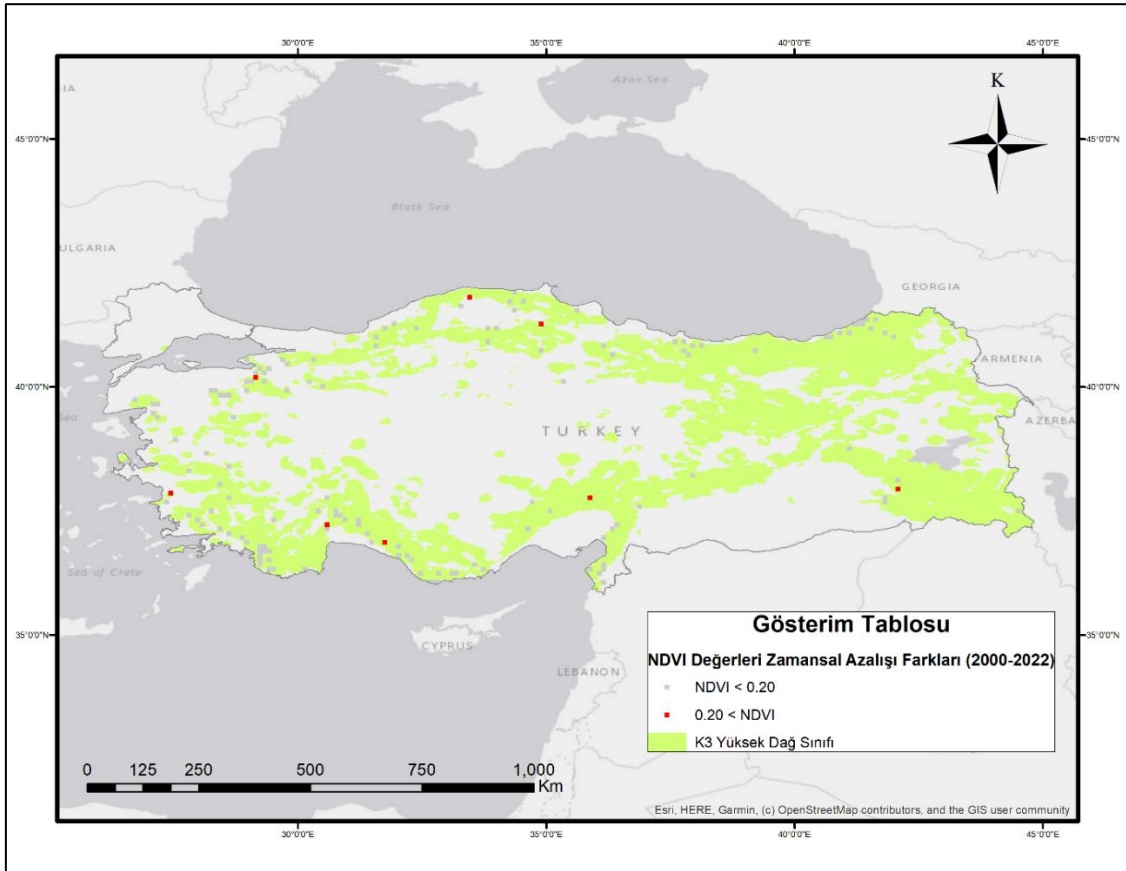
Şekil 4. 15: NDVI eğilimi farklarının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar

NDVI farkının negatif yönde gerçekleştiği alanlar incelendiğinde, tarım, orman ve diğer alanlar için negatif yönde bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Yerleşim alanı için gerçekleşen 51250.4 ha negatif yönde bir vejetasyon kaybı yaşanmıştır. Mera ve sulak alanlar için de 25625.2 ha bir sahada vejetasyon kaybı yaşandığı belirlenmiştir (Tablo 4.5).

Tablo 4. 5: IPCC sınıflarına göre negatif yöndeki NDVI farkı alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | NDVI azalan alanlar |
|------------------------------|---------------------|
| Yerleşim Alanı | 51250.4 |
| Tarım Alanı | — |
| Orman Alanı | — |
| Mera Alanı | 25625.2 |
| Sulak Alan | 25625.2 |
| Diğer Alanlar | — |
| <i>Toplam</i> | 102500,8 |

Şekil 4.16 incelendiğinde Türkiye'nin Marmara, Ege, Akdeniz ve Doğu Karadeniz bölgelerinde NDVI değerleri negatif yönde bir yoğunlaşma görülmektedir.



Şekil 4. 16: NDVI eğiliminin farklarının negatif yönde artış gösterdiği alanlar

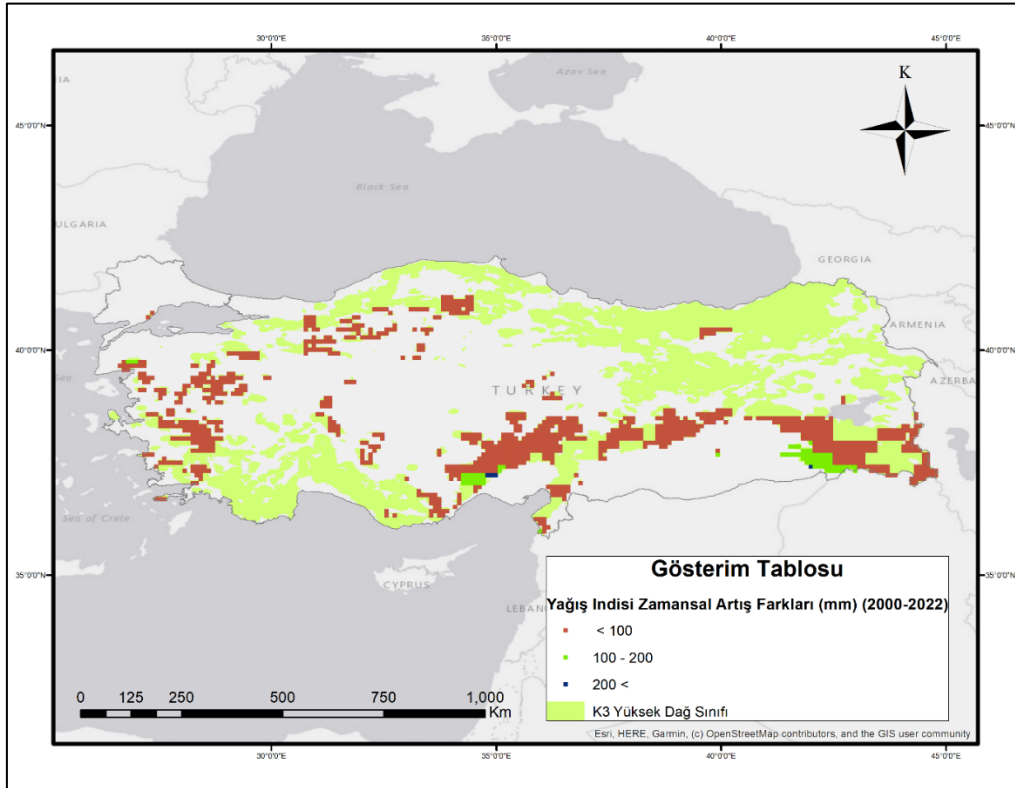
Yağış İndisinin Zamansal Eğilimindeki Farklar: Yağışlar yüksek dağlarda 2000 yılından 2022 yılına artış eğilimi göstermiştir. Bu eğilim incelendiğinde 38437,8 ha orman alanı ile

12812,6 ha mera alanı 200 mm'nin üstünde yağış artışı bulunmaktadır. 100-200 mm aralığında en fazla artış gösteren alan mera olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.6).

Tablo 4. 6: IPCC sınıflarına göre pozitif yöndeki yağış farkının alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | Yağış Miktarı Artan Alanlar (ha) | | |
|------------------------------|----------------------------------|-----------|---------|
| | <100mm | 100-200mm | >200mm |
| Yerleşim Alanı | 320315 | 12812.6 | — |
| Tarım Alanı | 2165329.4 | 89688.2 | — |
| Orman Alanı | 4625348.6 | 320315 | 38437.8 |
| Mera Alanı | 4548473 | 422815.8 | 12812.6 |
| Sulak Alan | 51250.4 | 25625.2 | — |
| Diğer Alanlar | 2306268 | 128126 | — |
| <i>Toplam</i> | 14016984,0 | 999382,8 | 51250,4 |

Özellikle ülkemizin Güneydoğu, Doğu Akdeniz ve Ege bölgesindeki dağlık alanlarda 100 mm'nin altında kalan yağış farkının artan eğilimde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.17). 100-200 mm arasında artış gösteren alanların Doğu Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgesi dağlık kesimlerinde gerçekleştiği belirlenmiştir.



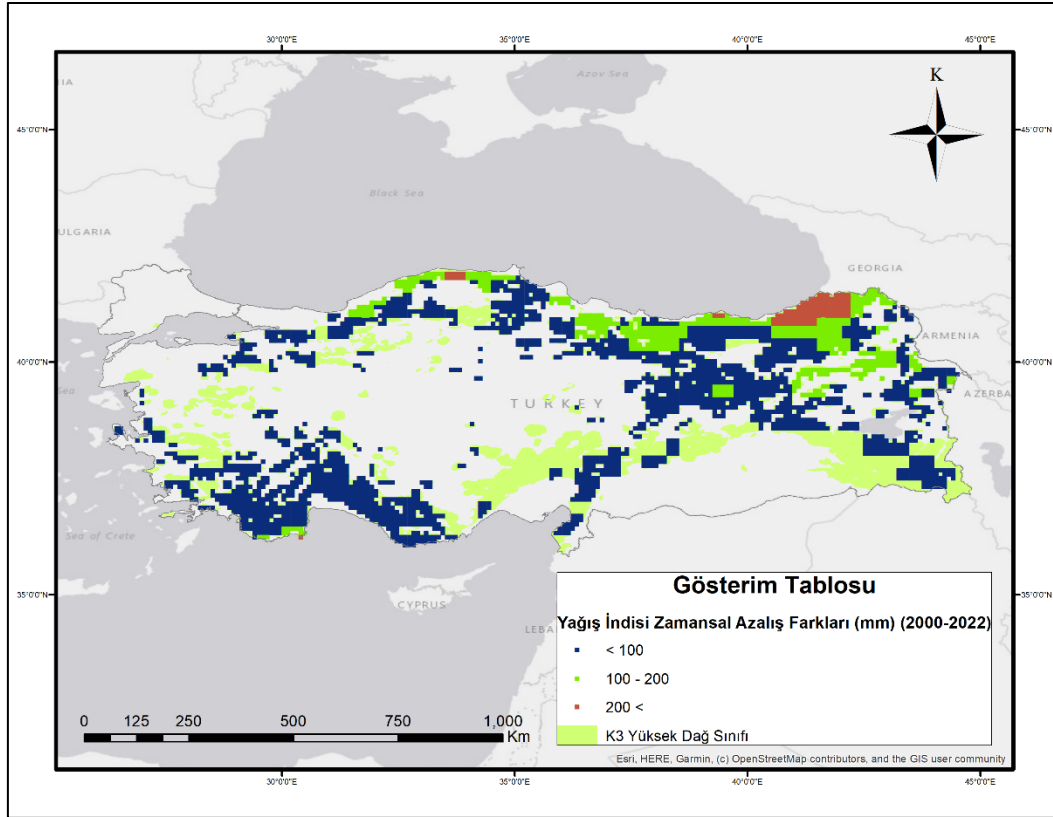
Şekil 4. 17: Yağış indisi eğilim farklarının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar

Yağış eğiliminin negatif yönde gerçekleştiği kesimler incelendiğinde, eğilim farkı 200 mm'nin üstünde olan arazi sınıfı en fazla orman ve mera alanlarında olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 4.7).

Tablo 4. 7: IPCC sınıflarına göre negatif yöndeki yağış indis farkının alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | Yağış Miktarı Azalan Alanları (ha) | | |
|------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|
| | <100mm | 100-200mm | >200mm |
| Yerleşim Alanı | 768756 | 140938.6 | 51250.4 |
| Tarım Alanı | 3818154.8 | 1255634.8 | 166563.8 |
| Orman Alanı | 9519761.8 | 2178142 | 794381.2 |
| Mera Alanı | 10608833 | 2421581.4 | 397190.6 |
| Sulak Alan | 89688.2 | 25625.2 | 12812.6 |
| Diğer Alanlar | 3677216.2 | 474066.2 | 12812.6 |
| <i>Toplam</i> | 28482410,0 | 6495988,2 | 1435011,2 |

Yağış miktarı 200 mm'den daha fazla azalan kesimlerin toplamı 1435011,2 ha olarak gerçekleşmiştir. 100 mm'nin üstünde düşüşlerin Karadeniz bölgesi kıyılarında gerçekleştiği gözlenmektedir (Şekil 4.17). Özellikle Doğu Karadeniz'in dağlık kesimlerinde yağış miktarının 200 mm'in üstünde azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.18)



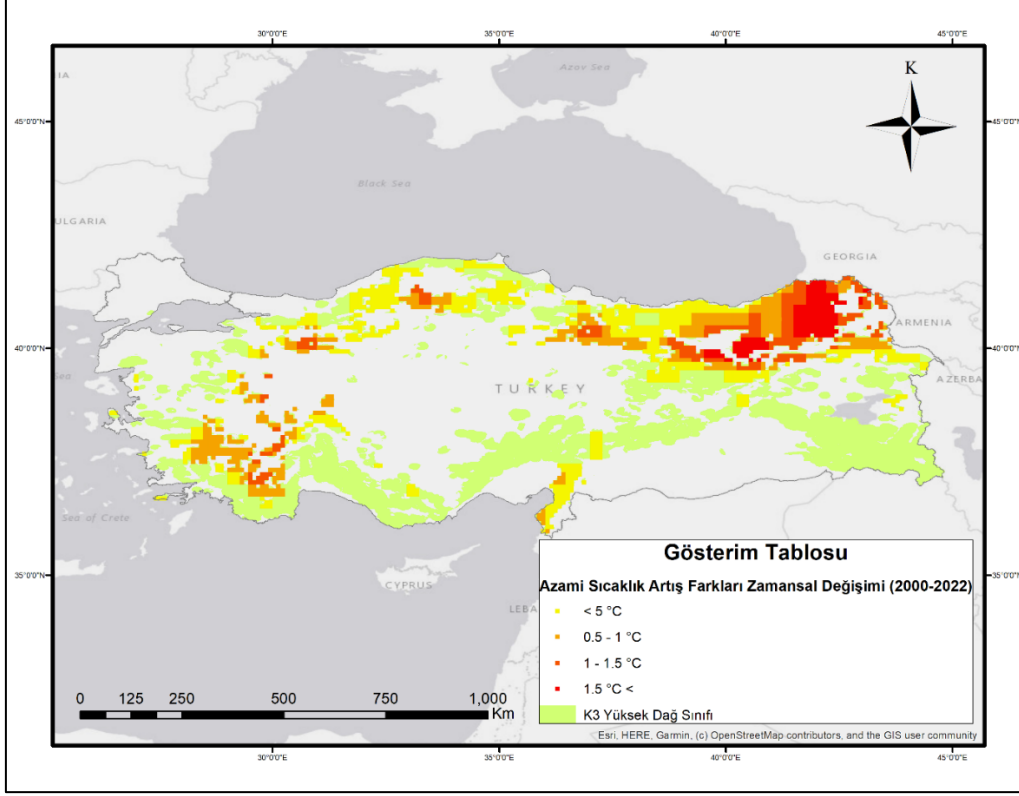
Şekil 4. 18: Yağış indis eğilim farklarının negatif yönde artış gösterdiği alanlar

Maksimum Sıcaklık İndisinin Zamansal Eğilimindeki Farklar: 20 yıllık çalışma sürecinde maksimum sıcaklıkların eğilimdeki IPCC'nin raporu doğrultusunda (IPCC, 2018) dört sınıf oluşturulmuştur. Bu sınıflar 0,5 °C aralıkla ve 1,5 °C maksimum sıcaklık şeklindedir (Tablo 4.8).

Tablo 4. 8: IPCC'e göre pozitif yöndeki maksimum sıcaklık farkının alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | Maksimum Sıcaklık Artışta Olduğu Alanlar (ha) | | | |
|------------------------------|---|------------|------------|-----------|
| | <0.5 °C | 0.5 - 1 °C | 1 - 1.5 °C | >1.5 °C |
| Yerleşim Alanı | 294689.8 | 153751.2 | 64063 | 51250.4 |
| Tarım Alanı | 2101266.4 | 1294072.6 | 410003.2 | 166564 |
| Orman Alanı | 4215345.4 | 2165329.4 | 1025008 | 474066 |
| Mera Alanı | 2524082.2 | 2460019.2 | 1947515.2 | 1268447 |
| Sulak Alan | 12812.6 | 12812.6 | 25625.2 | 12812.6 |
| Diğer Alanlar | 730318.2 | 550941.8 | 256252 | 217814 |
| <i>Toplam</i> | 9878514,6 | 6636926,8 | 3728466,6 | 2190954,0 |

En riskli bölge olan 1.5 °C artış yaşanan kesimlerin toplamı 2190954,0 ha olarak belirlenmiştir. Ayrıca 1-1.5 °C arasında artış gösteren kesimlerin toplamı 3728466,6 ha olmuştur. Bu alanların maksimum sıcaklık değerlerinde artış olduğu düşünülürse, bu artışlar oldukça önemlidir. Özellikle yüksek dağ alanlarının yoğun olduğu Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz dağlık bölgelerinde maksimum sıcaklık farkları arasındaki değişimin 1.5 °C'nin üstünde olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.19).

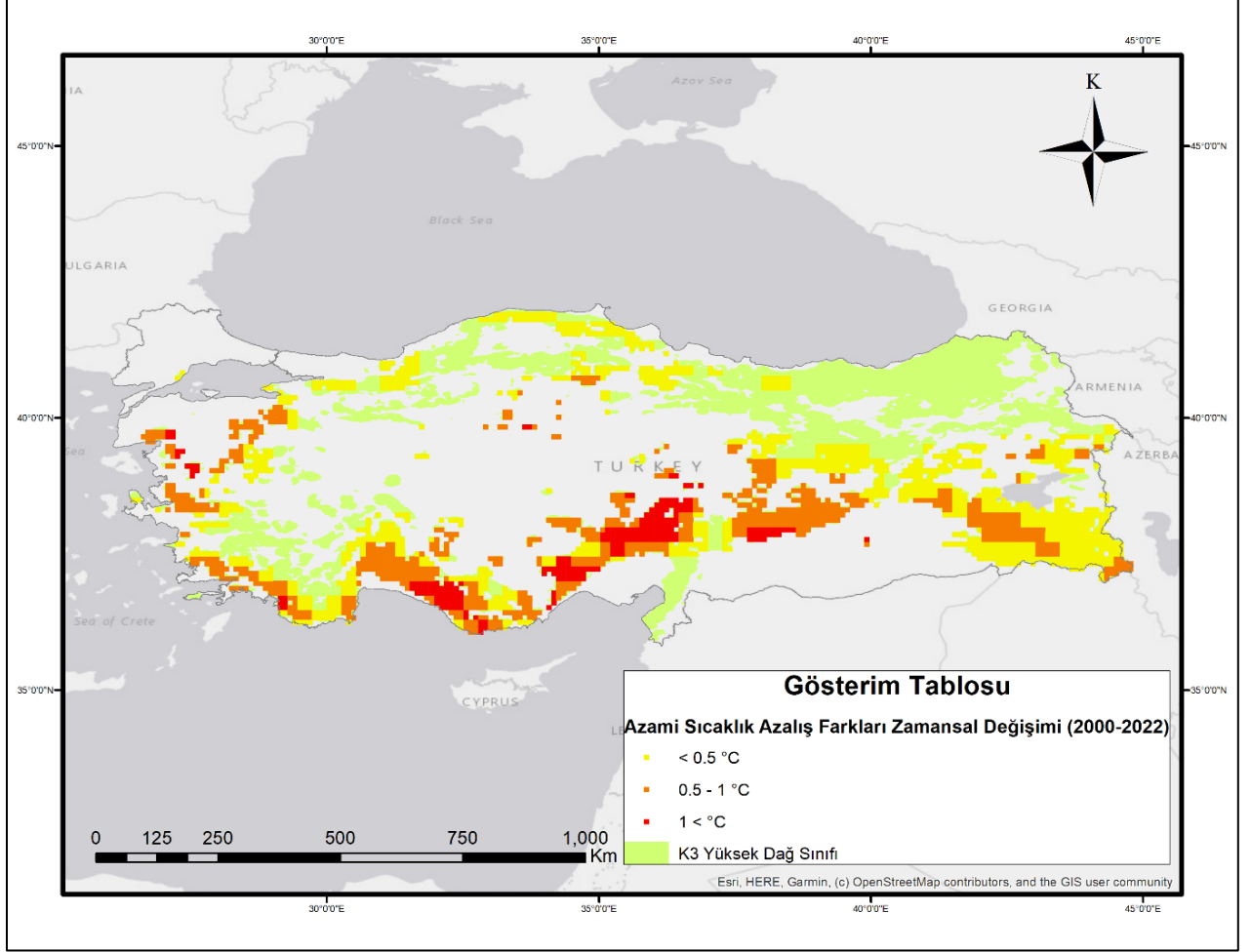


Şekil 4. 19: Maksimum sıcaklık indisi eğilim farkının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar. Maksimum sıcaklığın negatif yöndeki eğilim farkları sınıf bazında Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4. 9: IPCC’e göre negatif yöndeki maksimum sıcaklık farkının alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | Maksimum Sıcaklık Azalışta Olduğu Alanlar (ha) | | |
|------------------------------|--|------------|-----------|
| | <0.5°C | 0.5 - 1°C | >1°C |
| Yerleşim Alanı | 269064.6 | 410003.2 | 51250.4 |
| Tarım Alanı | 1652825.4 | 1511886.8 | 358752.8 |
| Orman Alanı | 4753474.6 | 3587528 | 1255634.8 |
| Mera Alanı | 5829733 | 3715654 | 666255.2 |
| Sulak Alan | 102500.8 | 25625.2 | 12812.6 |
| Diğer Alanlar | 2395956.2 | 1742513.6 | 704693 |
| <i>Toplam</i> | 15003555,0 | 10993210,8 | 3049398,8 |

Maksimum sıcaklık değişimlerinin negatif yönde ilerlemesi olumlu bir değişim olarak değerlendirilebilir. En yüksek maksimum sıcaklık değişim farkı 1.0 °C ve üzerinde gerçekleşmiştir. Bu alanların toplamı 3049398,8 ha olarak hesaplanmıştır. Ülkemizin Akdeniz ve Ege bölgesi dağlık alanları ve Güneydoğu bölgesinde maksimum artış yaşanan alanlarda sıcaklık düşüşleri gözlenmektedir (Şekil 4.20).



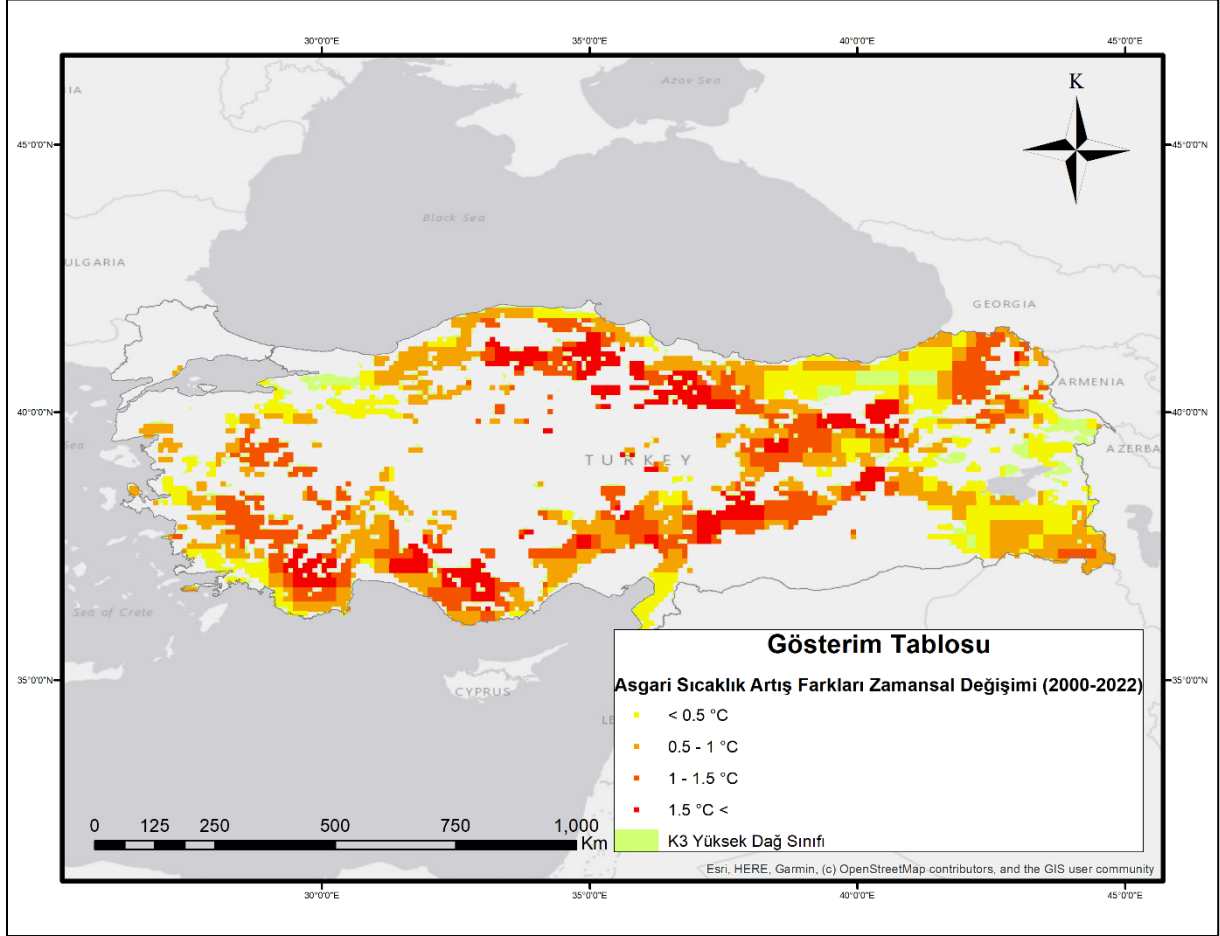
Şekil 4. 20: Maksimum sıcaklık indisi eğilim farkının negatif yönde artış gösterdiği alanlar

Minimum Sıcaklık İndisinin Zamansal Eğilimindeki Farklar: Eğilimdeki farkın pozitif yönde değişimlerin olduğu bölgeler minimum sıcaklıkların artış gösterdiği alanlardır. Minimum sıcaklık farklarında 1,5 °C'nin üstünde artış olan alanlar 6803490,6 ha olarak belirlenmiştir. 1-1.5 °C sıcaklık artışı yaşanan bölgeler ise toplamda 8572009,4 ha olmuştur (Tablo 4.10).

Tablo 4. 10: IPCC'e göre pozitif yöndeki minimum sıcaklık farkının alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | Minimum Sıcaklık Artışta Olduğu Alanlar (ha) | | | |
|------------------------------|--|------------|------------|-----------|
| | <0.5 °C | 0.5 - 1 °C | 1 - 1.5 °C | >1.5 °C |
| Yerleşim Alanı | 333127.6 | 474066.2 | 294689.8 | 128126 |
| Tarım Alanı | 1294072.6 | 2626583 | 2114079 | 1191571.8 |
| Orman Alanı | 3472214.6 | 6982867 | 4317846.2 | 2139704.2 |
| Mera Alanı | 4176907.6 | 5945046.4 | 4868788 | 2383143.6 |
| Sulak Alan | 76875.6 | 38437.8 | 51250.4 | 25625.2 |
| Diğer Alanlar | 1614387.6 | 2062828.6 | 1793764 | 935319.8 |
| <i>Toplam</i> | 10967585,6 | 18129829,0 | 13440417,4 | 6803490,6 |

Minimum sıcaklıkların 1.0 °C'nin üstünde artış gösterdiği kesimler İç Anadolu'yu kapsayacak şekilde karasal iklim yaşanan dağlık bölgelerin içe bakan kısımlarında yoğunlaşmaktadır (Şekil 4.21).

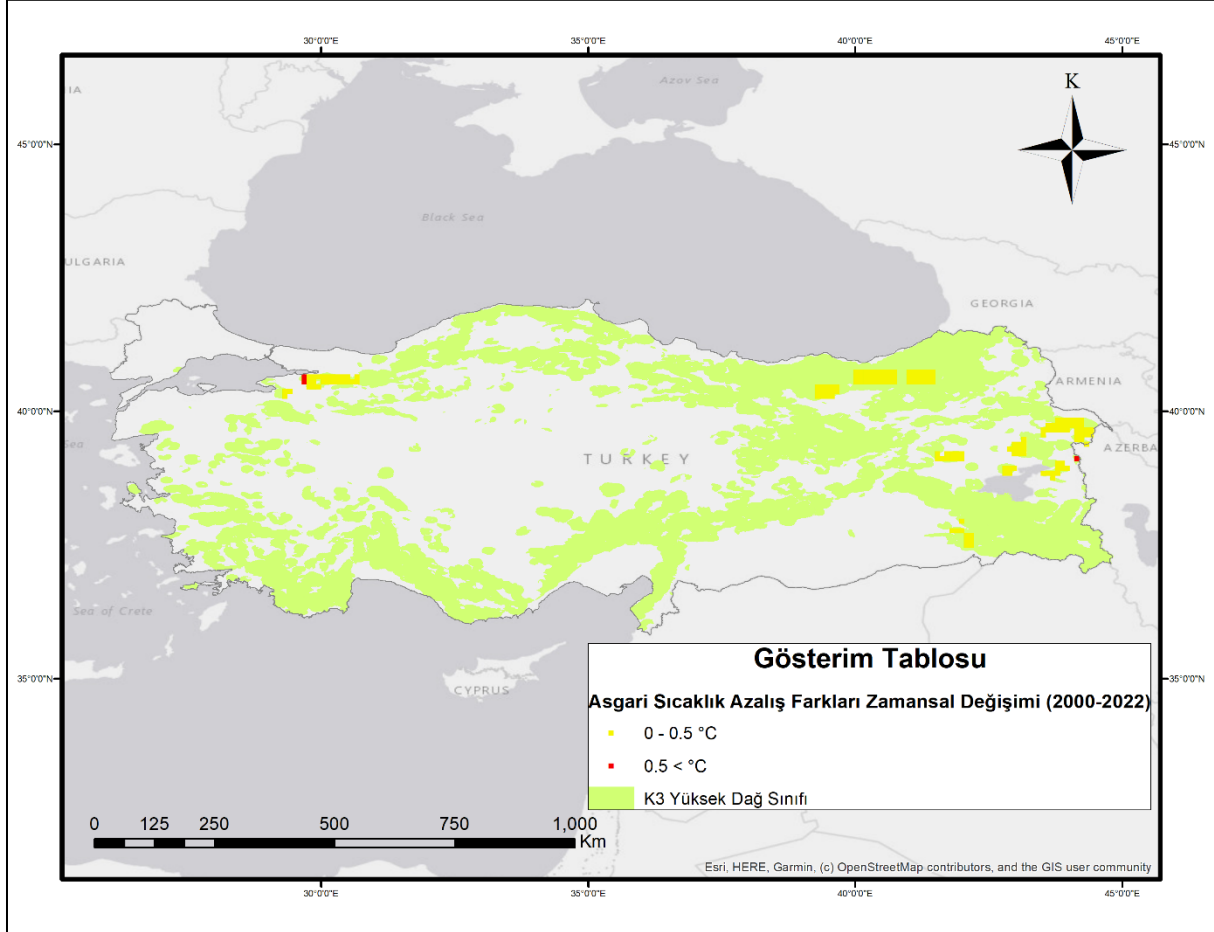


Şekil 4. 21: Minimum sıcaklık indisi eğilim farkının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar Minimum sıcaklık farklarının olduğu kesimlerde negatif yöndeki düşüşler minimum sıcaklıkların düşüş eğiliminde olduğu alanlardır. Minimum sıcaklıklar arasında düşüşün oldukça az olduğu ve ortalama 0,5 °C düşüşlerin görüldüğü alanlar (Tablo 4.11)'de tespit edilmiştir.

Tablo 4. 11: IPCC'e göre negatif yöndeki minimum sıcaklık farkının alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | Minimum Sıcaklık Azalışta Olduğu Alanlar (ha) | |
|------------------------------|---|---------|
| | <0.5 °C | >0.5 °C |
| Yerleşim Alanları | 64063 | |
| Tarım Alanları | 256252 | 12812.6 |
| Orman Alanlar | 538129.2 | 25625.2 |
| Mera Alanları | 1037820.6 | |
| Sulak Alanlar | 12812.6 | |
| Diğer Alanlar | 192189 | |
| <i>Toplam</i> | 2101266.4 | 38437.8 |

Minimum sıcaklık farklarının düşüş eğiliminde olduğu alanların büyüklüğü çok fazla olmamakla birlikte Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerindeki münferit kesimlerde minimum sıcaklıklarda bir düşüş yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 4.22).



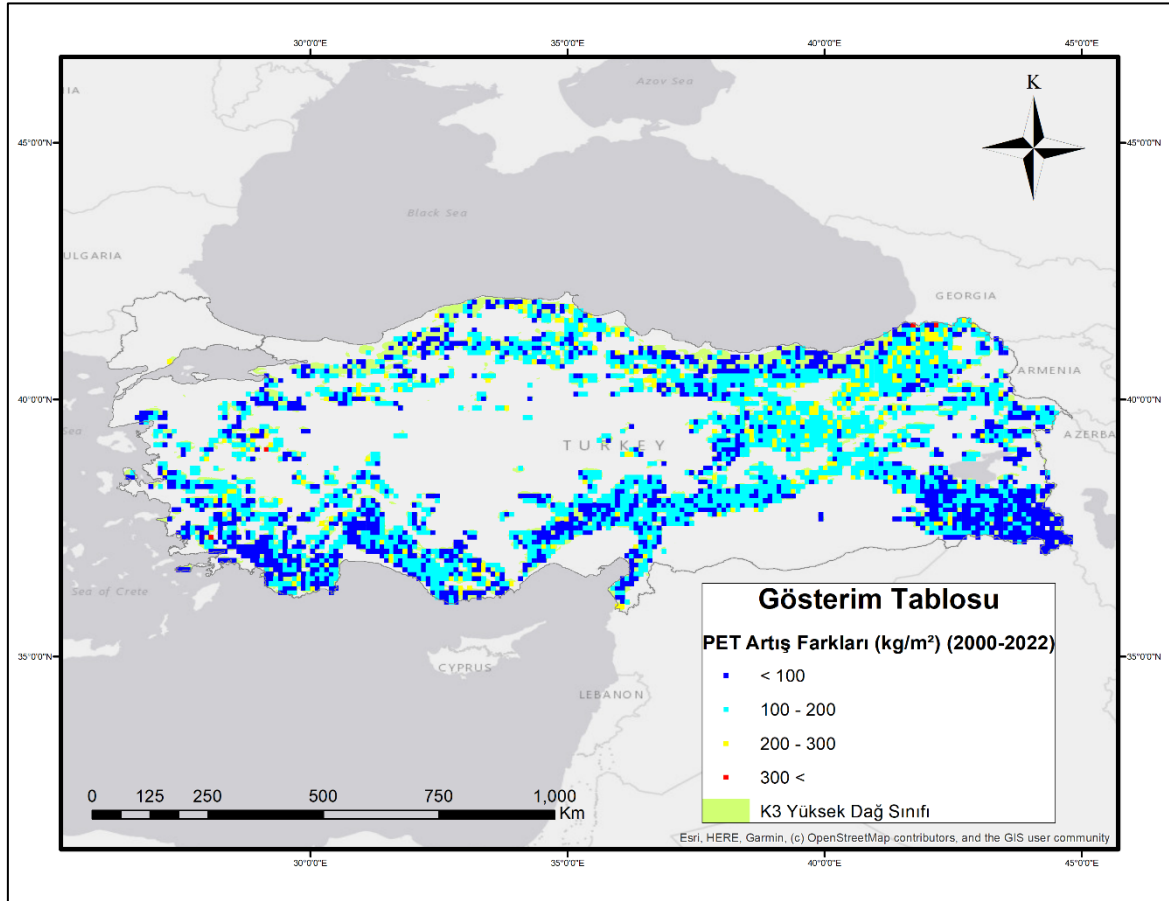
Şekil 4. 22: Minimum sıcaklık indisi eğilim farkının negatif yönde artış gösterdiği alanlar **Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) İndisinin Zamansal Eğilimindeki Farkları:** Pozitif anlamda 300 kg/m²'nin üzerinde değerlerin artış gösterdiği alanlar PET toplamda 51250,4 ha

olarak tespit edilmiştir. 200-300 kg/m² arasında PET artış olan alan toplamı ise 3318463,4 ha ile en yüksek oranı temsil etmektedir (Tablo 4.12).

Tablo 4. 12: IPCC sınıflarına göre pozitif yöndeki PET indisi farkının alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | PET Artan Alanları (ha) | | | |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| | <100 kg/m ² | 100-200 kg/m ² | 200-300 kg/m ² | >300 kg/m ² |
| Yerleşim Alanı | 538129.2 | 602192.2 | 25625.2 | — |
| Tarım Alanı | 2767521.6 | 3779717 | 512504 | — |
| Orman Alanı | 6649739.4 | 7392870.2 | 999382.8 | 38437.8 |
| Mera Alanı | 5855358.2 | 10698521 | 1358135.6 | 12812.6 |
| Sulak Alan | 51250.4 | 115313.4 | 25625.2 | — |
| Diğer Alanlar | 2229392.4 | 3792529.6 | 397190.6 | — |
| <i>Toplam</i> | 18091391 | 26381143,4 | 3318463,4 | 51250,4 |

Çalışma sahasında 100 kg/m² üstünde artış gösteren PET kesimleri Doğu Karadeniz ardı ve Doğu Anadolu bölgesi olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.23).



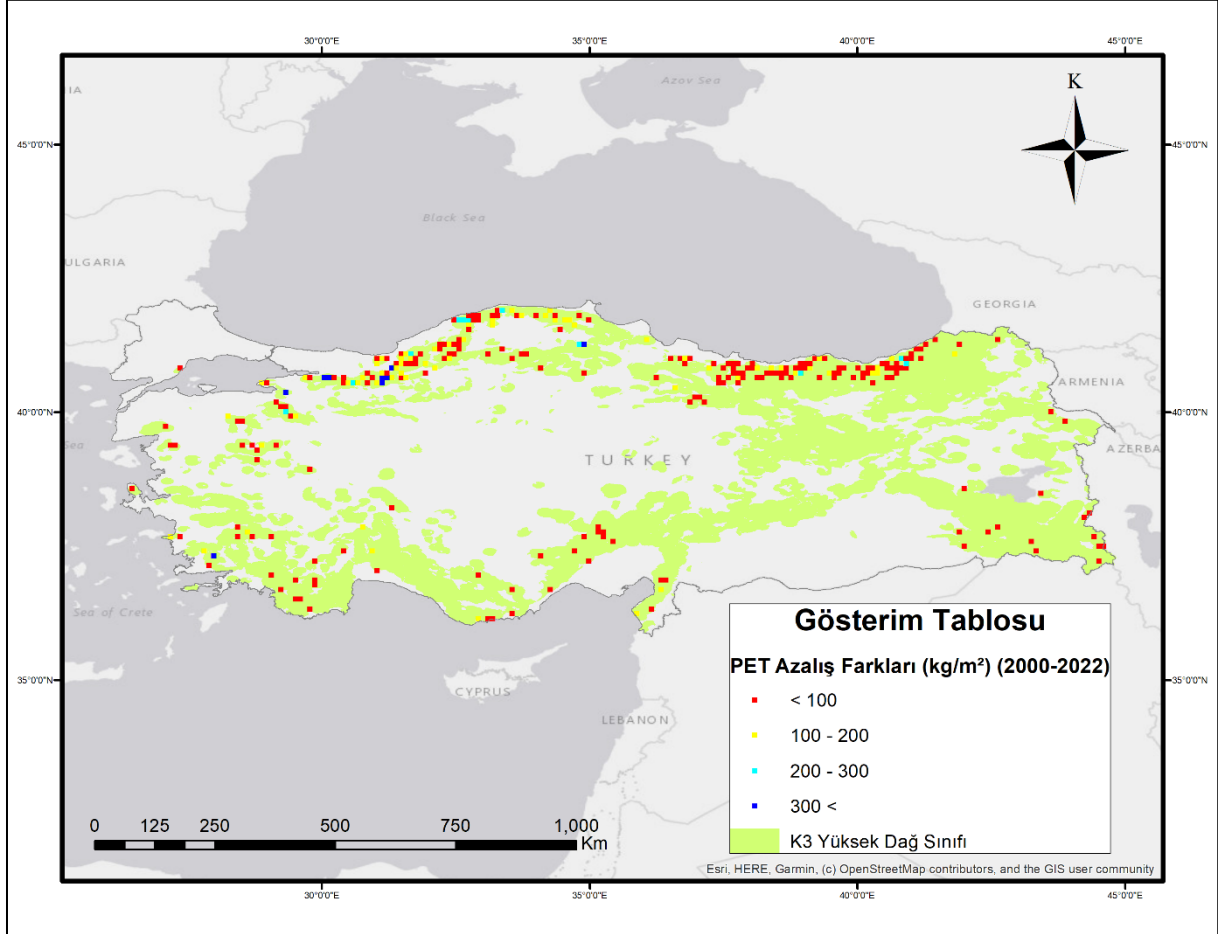
Şekil 4. 23: PET indisi eğilim farkının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar

Türkiye ölçeğinde PET'in negatif yönlü eğilimdeki farkın 300 kg/m² üstünde olduğu 102500,8 ha, 200-300 kg/m² arasında olan alan 140938,6 ha olarak belirlenmiştir (Tablo 4.13).

Tablo 4. 13: IPCC sınıflarına göre negatif yöndeki PET indisi farkının alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | PET Azalan Alanları (ha) | | | |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| | <100 kg/m ² | 100-200 kg/m ² | 200-300 kg/m ² | >300 kg/m ² |
| Yerleşim Alanları | 89688.2 | 25625.2 | — | 12812.6 |
| Tarım Alanları | 333127.6 | 64063 | 25625.2 | — |
| Orman Alanlar | 1537512 | 666255.2 | 115313.4 | 76875.6 |
| Mera Alanları | 448441 | 38437.8 | — | — |
| Sulak Alanlar | — | — | — | 12812.6 |
| Diğer Alanlar | 179376.4 | — | — | — |
| <i>Toplam</i> | 2588145,2 | 794381,2 | 140938,6 | 102500,8 |

Özellikle eğilimdeki farkın 100 kg/m²'nin üstünde düşüş gösteren kesimler oransal olarak çok fazla değildir. Karadeniz kıyılarında daha çok 100 kg/m²'nin altında olan sahalar gözlenmiştir (Şekil 4.25).



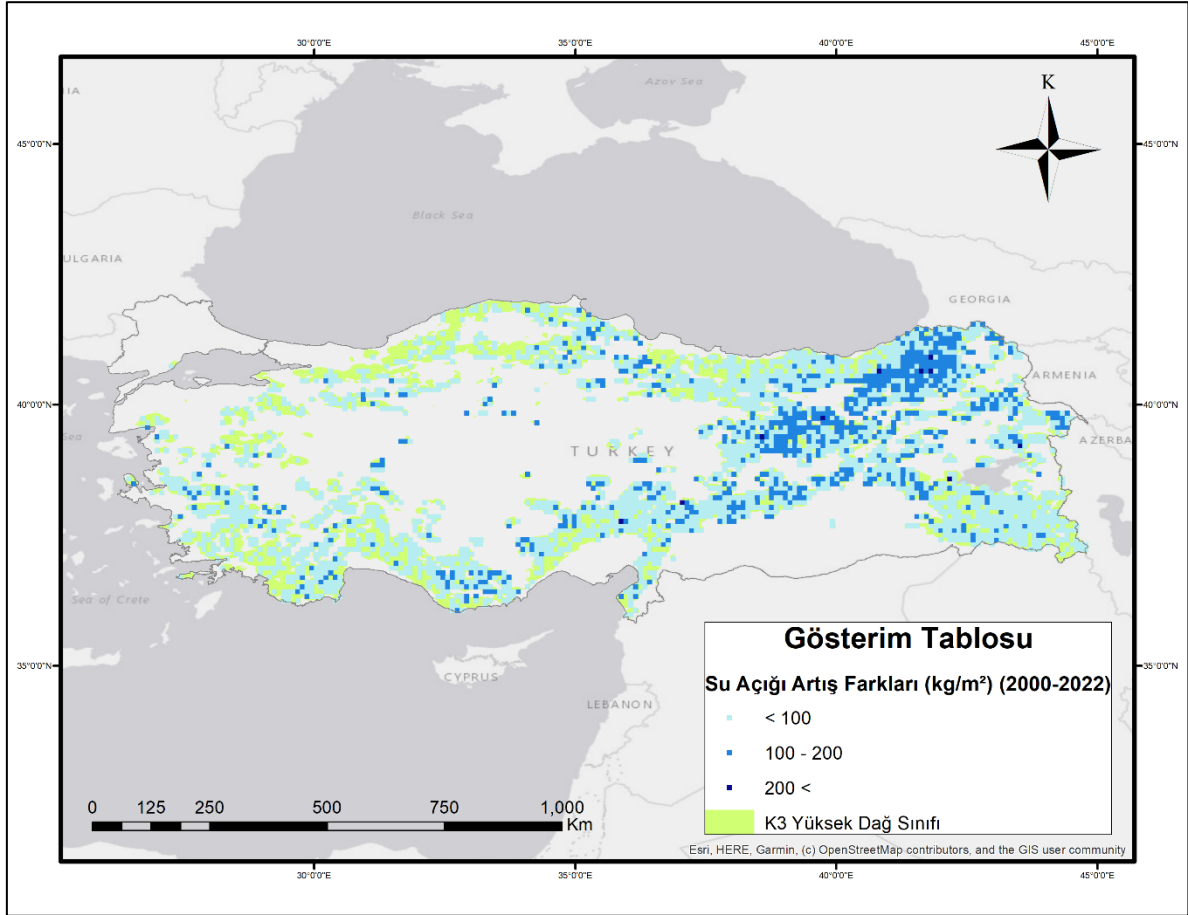
Şekil 4. 24: PET indisi eğilim farklarının negatif yönde artış gösterdiği alanlar

İklimsel Su Açığı İndisinin Zamansal Eğilimindeki Farkları: Eğilimdeki farkın 100 kg/m²'nin üstünde artış gösterdiği alanların miktarı 9660700,4 ha olarak tespit edilmiştir. 100 kg/m²'nin altında artış gerçekleşen alanlar ihmal edilebilir düzeydedir (Tablo 4.14).

Tablo 4. 14: IPCC sınıflarına göre pozitif yöndeki su açığı indisi farkı alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | Su Açığı Artan Alanlar (ha) | | |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| | <100 kg/m ² | 100-200 kg/m ² | >200 kg/m ² |
| Yerleşim Alanı | 935319.8 | 166563.8 | — |
| Tarım Alanı | 4740662 | 1191571.8 | 12812.6 |
| Orman Alanı | 9417261 | 1473449 | — |
| Mera Alanı | 11851655 | 4356284 | 64063 |
| Sulak Alan | 89688.2 | 76875.6 | 25625.2 |
| Diğer Alanlar | 3882217.8 | 2280642.8 | 12812.6 |
| <i>Toplam</i> | 30916803,8 | 9545387,0 | 115313,4 |

Türkiye ölçeğinde iklimsel su açığının artış eğiliminde olduğu bölgeler incelendiğinde Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesinin kuzey kesimlerinde yoğunlaşma olduğu görülmektedir (Şekil 4.25).

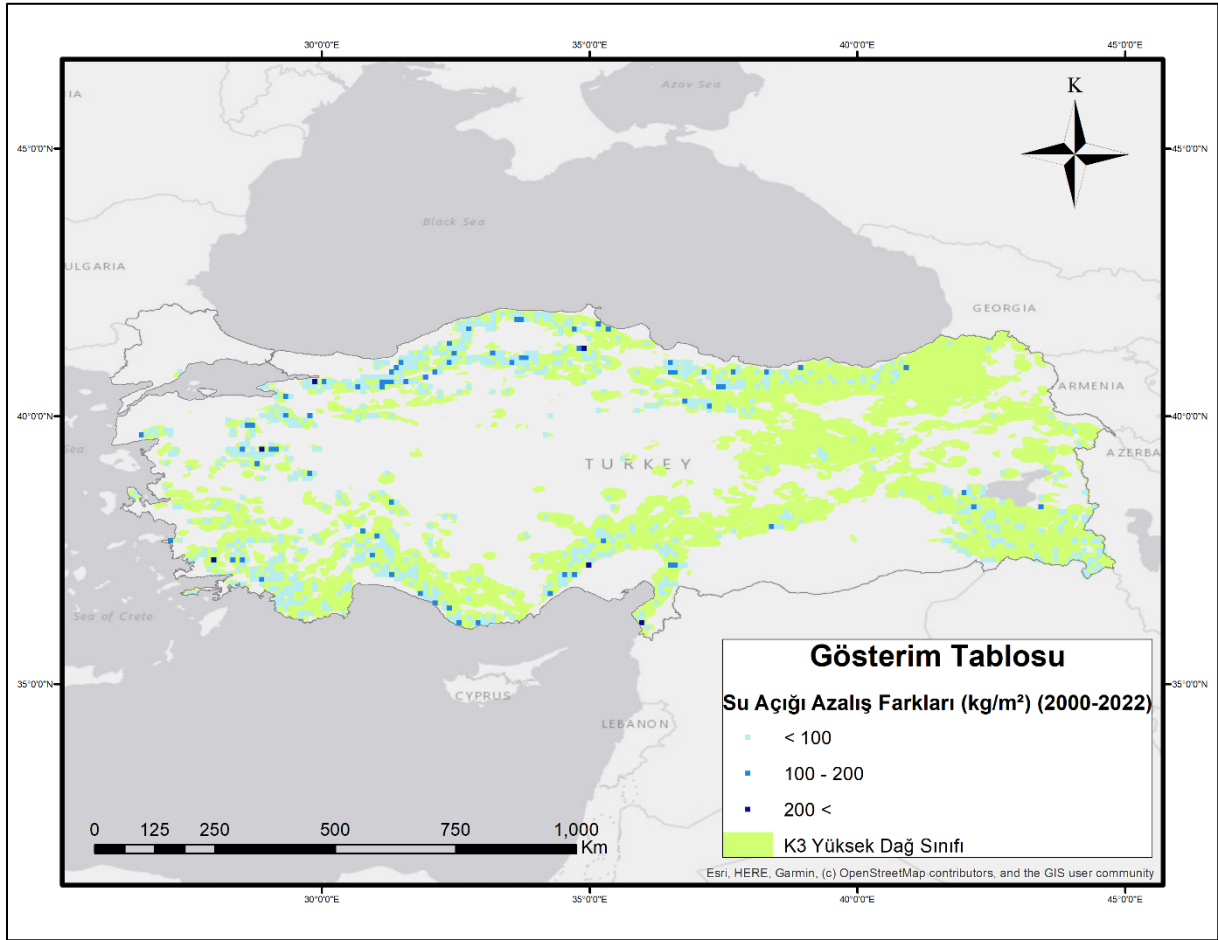


Şekil 4. 25: Su açığı indisi eğilim farklarının pozitif yönde artış gösterdiği alanlar

İklimsel su açığının düşme eğilimi gösterdiği kesimlerin 100 kg/m²'nin üstünde olduğu toplam alan miktarı 1012195,4 ha olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.15). Düşüş eğilimi kısmen Akdeniz ve Karadeniz kıyı ardı bölgelerinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 4.26).

Tablo 4. 15: IPCC sınıflarına göre negatif yöndeki su açığı indisi farkı alansal dağılımı

| Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfı | Su Açığı Azalan Alanları (ha) | | |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | <100kg/m ² | 100-200kg/m ² | >200kg/m ² |
| Yerleşim Alanları | 179376.4 | — | 12812.6 |
| Tarım Alanları | 1396573.4 | 153751.2 | — |
| Orman Alanlar | 5868170.8 | 653442.6 | 51250.4 |
| Mera Alanları | 2011578.2 | 128126 | — |
| Sulak Alanlar | — | — | 12812.6 |
| Diğer Alanlar | 422815.8 | — | — |
| <i>Toplam</i> | 9878514,6 | 935319,8 | 76875,6 |

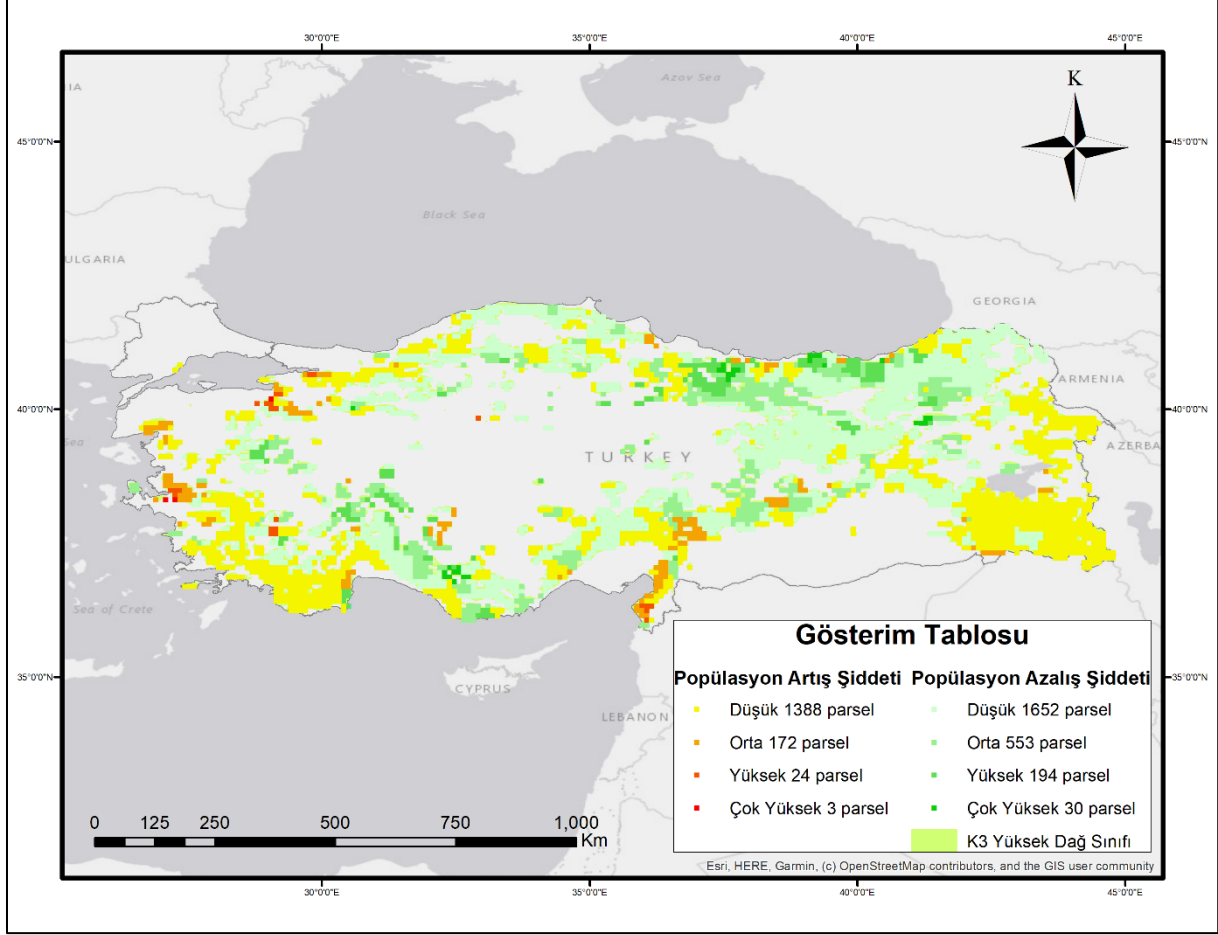


Şekil 4. 26: Su açığı indisi eğilimi farklarının negatif yönde artış gösterdiği alanlar

Popülasyon Yoğunluk İndisi: Yüksek dağ alanlarında artış ve azalış alanları Tablo 4.16'de sunulmuştur. Popülasyon verisi 2000 ile 2020 arasında her 5 yılda 1 km²'ye düşen toplam insan sayısını kapsamaktadır. Bu bağlamda 2000 yılından 2020 yılına kadar geçen süreçte popülasyondaki artış-azalış eğilim şiddeti Şekil 4.27'deki haritada gösterilmiştir. Harita ve tabloda görüldüğü üzere yüksek dağ alanlarında popülasyon azalışı gözlemlenmektedir.

Tablo 4. 16: Popülasyon yoğunluğu artan ve azalan alanlar

| Popülasyon | Artan | Azalan |
|------------|------------|------------|
| Alan (ha) | 20359221.4 | 31121805.4 |



Şekil 4. 27: Popülasyon yoğunluğunun artış ve azalış şiddeti

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel dağ sınıfları olarak K3 (Karagülle ve ark. 2017) seçilen yüksek ve dağınık yüksek dağları (51481026,80 ha) için toplam 4017 parsel alan (0,5 ha) 10 km aralıklarla sistematik olarak atılmış ve CE yöntemi üzerinden analiz ve sorgulamaları gerçekleştirilmiştir.

IPCC sınıflarına göre Türkiye yüksek ve dağınık yüksek dağ sınıfına ait en büyük arazi kullanımı mera alanlarına (%35.76) aittir. Mera alanlarını %33.95 kullanım oranı ile orman alanları takip etmektedir. Bu iki arazi sınıfı doğal alanlar içerisinde değerlendirilmektedir. Dağ ekosisteminin sunduğu yararlar ve iklim değişikliği uyum süreci çerçevesinde orman ve mera alanlarının Türkiye yüksek ve dağınık yüksek dağ sınıfları içerisindeki % 69.71 oranındaki kaplama oranı, olması muhtemel ve yararları açısından gelecek için olumlu bir sonuçtur. Arazi örtü sınıfları içindeki, % 12.82 kaplama oranı ile diğer alanlar sınıfı (buzul, kayalık, kar, kumu, kumul, çıplak arazi vb.) oransal olarak beklenen bir sınıftır. Gıda arzı ve temini noktasında önem arz eden tarım alanlarının Türkiye yüksek ve dağınık yüksek dağ sınıfları içerisindeki oranı %14.56 olarak gerçekleşmiştir. Bu oranın tarım alanları bazında sulanabilir olup olmadığı ürün çeşidi ve deseni bakımından incelenmesi gelecek planlamalar için oldukça önemlidir. Yerleşim sahalarının Türkiye yüksek ve dağınık yüksek dağ sınıfları içerisindeki kaplama oranı %2.51 olarak gerçekleşmiştir. Yerleşim sınıfları içerisinde yer alan bina, yol, demiryolu, alt yapı tesisleri gibi alanların dağ sınıfları içerisindeki yerleri düşünüldüğünde, maden alanlarına yönelik alan ve alt yapıların yoğun olarak gözlendiği, yaylalara ait bina ve yapıların yer aldığını söylemek mümkündür.

Arazi örtüsü/kullanım sınıfları değişim matrisi incelendiğinde, 2000-2022 yılları arasında orman alanlarının azalış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Orman alanlarına ait alanların günümüzde mera, yerleşim ve diğer alanlara geçtiği gözlenmektedir. Benzer olarak geçmişte mera, yerleşim ve diğer alanlara ait kullanımların günümüzde orman sınıfı içerisinde olduğu tespit edilmişse de, orman alanına ait kayıp alanları kazanç alanlarına göre 1793.8 km² daha fazla gerçekleşmiştir. Mera alanı ise süreç içerisinde çok az bir artış olduğu gözlenirse de, kayıp ve kazanç alanları incelendiğinde çok değişmediği tespit edilmiştir. 2000-2022 yılları arasında diğer alanlara ait yaklaşık 128 km² günümüzde orman alanı içerisinde değerlendirilmektedir. Bu duruma karşılık geçmişte yaklaşık 384 km² orman alanı olmak üzere mera ve sulak alan ile birlikte toplamda yaklaşık 641 km² diğer alanlara geçmiştir. Diğer sahaların vejetasyonca zayıf ve üretkenliklerinin düşük olduğu gerçeği ile orman, mera ve sulak alanlarına ait değişimler, kayıp alanlar olarak değerlendirilmelidir. Benzer bir durum yerleşim sınıfında yaşanmıştır.

Yerleşim sınıfına ait geçmişte orman, tarım, mera ve sulak olarak kullanılan toplam alan yaklaşık 1537 km² günümüzde yerleşim sınıfı olarak kullanılmaktadır. Kayıp alanlar olarak nitelendirilen bu alanların orman, mera ve sulak alan gibi önemi son derece büyük doğal alanlardan olması ayrıca bir sorun oluşturmaktadır. Gıda arzı ve temini noktasında tarım alanına ait yaklaşık 128 km² sahanın da yerleşime geçmiş olması ve vasfının tarım alanı sınıfına çıkmış olması da, sorunun farklı bir boyutu olarak değerlendirilmelidir. Tarım alanı incelendiğinde, dikkat çeken nokta, geçmişte farklı bir arazi kullanımında olup günümüzde tarım alanı olarak değerlendirilen hiçbir arazi kullanım değişimi yaşanmamış olmasıdır. Geçmişte tarım olan alanların ise, günümüzde yerleşim ve sulak alan sınıfı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir.

NDVI değerleri üzerinden iyileşme ve arazi bozulum alanları değerlendirilmiştir. 2000-2022 yılları arasında deneme alanı içerisindeki NDVI değerinin zamansal eğilimi ilk ve son değer farkları üzerinden ve eğilimin artış ve azalış yönüne göre iyileşme ve arazi bozulum tespit edilmiştir. İyileşme alanları olduğu gözlenen alanların %42,4'ü orman alanları içerisinde gerçekleşmiştir. Bu durum Türkiye yüksek ve dağınık yüksek dağ sınıfı içerisindeki orman alanı varlığının üretkenliğinin bir artışı olarak değerlendirilebilir. Orman alanı ile birlikte iyileşme oranının %38,8'i mera, %14'ü ise tarım alanı takip etmektedir. Orman ve mera sahalarının doğal alan olarak sınıflandırılmaları ve vejetasyona bağlı olarak iyileşenlerin artışı Türkiye yüksek ve dağınık yüksek dağ sınıfı alanların iklim değişikliği uyum süreci içerisindeki bir artışı olarak değerlendirilmektedir. Tarım alanlarındaki iyileşen bölgeler ise, vejetasyona bağlı ürün rekoltesi ya da farklı ürün desenlerinin oluşturulduğu yönde bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alanların gelecek planlamalar için daha hassas olarak çalışılması gerektiğinin bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. NDVI değerindeki zamansal eğilimi düşüşte olan ve arazi bozulum olarak değerlendirilen sahalar incelendiğinde toplam alan 1025 km² vejetasyon kaybı göstermiş, arazi bozulum olarak tespit edilmiştir. Arazi bozulum sahaları içerisinde su bentleri, baraj gibi su toplama amaçlı oluşturulmuş su varlığına ilişkin sulak alanlar haricinde, yerleşim ve mera sahalarında arazi bozulum gerçekleşmiştir.

Türkiye yüksek ve dağınık yüksek dağlarda 2000-2022 yılları arası yağış verileri incelendiğinde yağışın zamansal seyiri, artış yönünde eğilim gösteren bölgeler toplam alanın %29,3'nü oluştururken, azalış yönünde eğilim gösteren sahalar toplam alanın %70,7'sini oluşturmaktadır. Bu bağlamda 2000-2022 yılları arasında yağışın Türkiye yüksek ve dağınık yüksek dağ sınıfı için zamansal eğiliminde azalış olduğunu söylemek mümkündür. Yağışın her iki yönde dağılımları yağış miktarları bakımından incelendiğinde, yağışın 200 mm ve üzerinde azalış

gösteren bölgeler, toplam alanın %2.8'ni oluşturmaktadır. Yağışın azalış gösterdiği alanların Türkiye'nin kuzeydoğusu Artvin, Kars ve civarında gözlenmektedir.

Maksimum ve minimum sıcaklık verileri iklim değişikliği uyum stratejileri ve eylem planları için önemli veriler arasındadır. Türkiye yüksek ve dağlık yüksek dağ sınıfı içinde yaşanan maksimum sıcaklık verileri değişimi ise maksimum sıcaklıkların artış ya da düşüş eğiliminde olup olmadıkları yönünden önemli bilgiler sunmaktadır. Çalışma kapsamında maksimum sıcaklık verilerinin artış eğiliminde olan sahalar, toplam alanın %43,6'sını, maksimum sıcaklık verilerinin azalış eğiliminde olan sahalar ise toplam alanın %56,4'nü oluşturmaktadır. Maksimum sıcaklık yaşanan bölgelerin artış yönünde eğilim 1,5°C ve üstünde olan sahalar toplam alanın %4,3'nü oluşturmaktadır. Maksimum sıcaklık artışlarının Türkiye yüksek ve dağlık yüksek dağ alanı içinde 1°C ve üstünde artış gösteren bölgeler, özellikle Türkiye'nin kuzeydoğu bölgesi dikkat çekmektedir. Kısmen de olsa Tokat ve çevresi, Kastamonu, Azdavay, Daday çevresi, Bolu Mudurnu çevresi yerel bölgelerde maksimum sıcaklıkların artarak devam ettiği gözlenmektedir. Çalışılan sahalarda maksimum sıcaklıkların 1°C ve üstünde azalış gösteren sahalar incelediğinde, Akdeniz'in dağlık alanlarında olduğunu tespit edilmiştir.

Türkiye Yüksek ve Dağlık Yüksek Dağ sınıfı alanı içerisindeki yaşanan minimum sıcaklıklarda da, artış ya da düşüş eğiliminde olup olmadıkları araştırılmıştır. 22 yıllık süreç içerisinde yaşanan minimum sıcaklıklardaki sıcaklık verilerinin artış eğiliminde olan alanlar, toplam alanın %96'sı olarak hesaplanmıştır. 2000-2022 yılları arasında Türkiye Yüksek ve Dağlık Yüksek Dağ sınıfı alanı içerisindeki yaşanan minimum sıcaklık değerlerinin giderek artış gösterdiği tespit edilmiştir. 1,5 °C'nin üstünde minimum sıcaklıklarda yaşanan sıcaklık artışı toplam alanın %13'ü olarak gerçekleşmiştir. Minimum sıcaklıklarda yaşanan bu sıcaklık artışları Türkiye Yüksek ve Dağlık Yüksek Dağların ısındığının açık bir delilidir. Minimum sıcaklıklarda yaşanan sıcaklık değerleri artışlarının daha çok Türkiye'nin iç kısmına bakan dağlık kısımlarında gerçekleştiği gözlenmektedir.

Türkiye yüksek ve dağlık yüksek dağ sınıfı potansiyel evapotranspirasyon (PET) 2000-2022 yılları arasında artış eğilimi olan sahalar, toplam alanın %93'nü oluşturmaktadır. Özellikle bitkilerin ideal su ağlama noktasındaki taleplerinin yüksek eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu artış bitkilerin yeteri su sağlanmadığı noktada toprak neminin kullanılacağına bir göstergesidir. Bu bağlamda pozitif yöndeki potansiyel evapotranspirasyon artışı toprak nemine olan ihtiyacı ve bu durum yağışa olan gereksinimi arttırmaktadır. 200 kg/m² üzerindeki potansiyel evapotranspirasyon artış gösteren bölgeler, toplam alanın %6.5'ni

en fazla mera ve orman sahaları oluşturmaktadır. Bu durum orman ve mera bitkilerinin ideal suya ulaşmaları bakımından yağışın yetersiz kaldığı durumlarda toprak nemini kullanmaları, yetersiz olduğu durumlarda vejetasyonun tehdit altında olduğunun bir göstergesidir. 200 kg/m² üzerindeki potansiyel evapotranspirasyon artış gösteren alanlar incelendiğinde, Doğu Anadolu batısı ve kuzeyde, Karadeniz dağlık bölgesinde gözlemlendiği tespit edilmiştir.

2000-2022 yılları arasındaki iklimsel su açığı verilerinin artış eğiliminde olan sahalar, toplam alanın %78,8'ni, azalış eğiliminde olan sahalar ise toplam alanın %21,2'sini oluşturmaktadır. Türkiye ölçeğinde iklimsel su açığının artış eğiliminde olduğu bölgeler incelendiğinde Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesinin kuzey kesimlerinde yoğunlaşma olduğu tespit edilmiştir. İklimsel su açığının artış eğiliminde olan sahaların, Türkiye yüksek ve dağlık yüksek dağların arazi kullanım sınıfları dağılımına göre en fazla mera ve diğer alanlar olduğu gözlenmektedir.

Çalışma alanı kapsamında insan faktörü için, nüfus yoğunluğu incelenmiştir. 2000-2022 yılları arasında nüfus artışının azalma eğiliminde olduğu, insanların bu alanlardan ayrıldığı gözlenmektedir. Bu durum yüksek dağ alanlarındaki insan faaliyetlerini azaltarak olumlu bir sürece işaret edecekmiş gibi algılansa da, iklim değişikliği bünyesinde bu alanlara yönelik çalışmaların gerçekleştirilmesi noktasından insan kaynağı noktasında da eksiklik oluşturacağı düşünülmektedir.

Elde edilen çalışma sonuçları ışığında Türkiye yüksek dağ ekosistemine ilişkin ekosistem sürecinin takibinin sağlanması ve konu ile ilgili olası planlama ve uygulama çalışmalarının ülkesel ölçekteki çalışmalarına katkı sağlayacak nitelik ve nicelikte veri sağlamıştır. Türkiye yüksek ve dağlık yüksek dağ sınıfı kapsamında, 2000 yılından günümüze arazi kullanımını ve değişimi başta olmak üzere, ekolojik parametrelerin izleme ve değerlendirilmesi sonucunda çıkan sonuçların bölgesel ve ülkesel ölçekte gerçekleştirilmesi düşünülen planlamalara bir altlık oluşturması hedefine ulaşılmıştır. Bu bağlamda karar vericiler için, özellikle Türkiye'nin iklim değişikliği uyum stratejisi ve eylem planları kapsamında yapılacak çalışmalara katkı verecek nitelikte sonuçlara ulaşılmıştır. Collect Earth yöntemi ve içerik olarak GEE ve Earth Map platformlarının ekosistem hizmetleri noktasında kullanımının yaygınlaşmasına da katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- AAS (2021). Australian Academy of Science. <https://www.science.org.au/curious/earth-environment/climate-change-and-biodiversity>
- Ajibade, T. F., Nwogwu, N. A., Ajibade, F. O., Adelodun, B., Idowu, T. E., Ojo, A. O., ... & Akinmusere, O. K. (2020). Potential dam sites selection using integrated techniques of remote sensing and GIS in Imo State, Southeastern, Nigeria. *Sustainable Water Resources Management*, 6(4), 1-16.
- Alex, E. C., Ramesh, K. V., & Sridevi, H. (2017). Quantification and understanding the observed changes in land cover patterns in Bangalore. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 597-603.
- Aronoff, S., (2005). *Remote Sensing for GIS Managers*. ESRI Press, Redlands, CA.
- ARSLAN Ö., (2017). Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, 602-608
- Aslam, B., Maqsoom, A., Tahir, M. D., Ullah, F., Rehman, M. S. U., & Albattah, M. (2022). Identifying and Ranking Landfill Sites for Municipal Solid Waste Management: An Integrated Remote Sensing and GIS Approach. *Buildings*, 12(5), 605.
- Bastin, J.-F., N. Berrahmouni, A. Grainger, D. Maniatis, D. Mollicone, R. Moore, C. Patriarca, et al. (2017). "The Extent of Forest in Dryland Biomes." *Science* 356 (6338): 635–38. DOI: 10.1126/science.aam6527.
- Bey, A., Sanchez-Paus Diaz, A., Maniatis, D., Marchi, G., Mollicone, D., Ricci, S., Bastin, J.-F., Moore, R., Federici, S., Rezende, M., et al. (2016). Collect earth: land use and land cover assessment through augmented visual interpretation. *Rem. Sens.* 8: 807.
- Campbell, J. B., (2007). *Introduction to Remote Sensing* (4th edn). The Guilford Press, New York, NY.
- Çepel, N. (2007). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *Sivil Toplum: Düşünce ve Araştırma Dergisi*; 5(20).
- Çiner, A. ve Sarıkaya, M.A., (2013). *Buzullar ve İklim Değişikliği: Geçmiş, Günümüz ve Gelecek*. Eniva Yayınları, İstanbul.
- Courault, D., B. Seguin, and A. Olioso (2005). Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches. *Irrigation and Drainage Systems* vol. 19 pp. 223–249.
- Cukier, K (2014) Big data is better data. Berlin: TED Talks. [online]

http://www.ted.com/talks/kenneth_cukier_big_data_is_better_data?language=en 16 Ocak 2022.

- European Commission [EC] (2004): Mountain Areas in Europe: Analysis of Mountain Areas in EU Member States, Acceding and other European Countries, by NORDREGIO – Nordic Centre for Spatial Development, Directorate-General for Regional Policy, Brussels.
- Frohn, R. C. (2018). Remote sensing for landscape ecology: new metric indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystems. CRC Press.
- Grêt-Regamey, A., & Weibel, B. (2020). Global assessment of mountain ecosystem services using earth observation data. *Ecosystem Services*, 46, 101213.
- Gurung, L. J., Miller, K. K., Venn, S., & Bryan, B. A. (2021). Contributions of non-timber forest products to people in mountain ecosystems and impacts of recent climate change. *Ecosystems and People*, 17(1), 447-463.
- Hagedorn, F., Gavazov, K., & Alexander, J. M. (2019). Above-and belowground linkages shape responses of mountain vegetation to climate change. *Science*, 365(6458), 1119-1123.
- Hammond, H. E. (1964). Classes of land surface form in the forty-eight states, USA. *Annals of the Association of American Geographers*, 54(1), Map Supplement No. 4.
- Hepner, G. F., D. J. Wright, C. J. Merry, S. J. Anderson, and S. D. DeGloria, (2005). Remotely acquired data and information in GIScience. In: R. B. McMaster, ed., and E. L. Usery (eds), *A Research Agenda for Geographic Information Science*. CRC Press, Boca Raton, FL. Chapter 13: pp. 351–364.
- Homer, C., Huang, C., Yang, L., Wylie, B. and Coan, M. (2004). Development of a 2001 national land-cover database for the United States. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* vol. 70: 829–840.
- Huete, A. R., (2005). Global variability of terrestrial surface properties derived from MODIS visible to thermal-infrared measurements. *IEEE* 0-7803-9050-4-4/05. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1526782> 13 Temmuz 2022.
- IPCC, (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Technical Support Unit, The Intergovernmental Panel on Climate Change, Hayama, Kanagawa, Japan.
- IPCC, (2013). *Climate Change (2013): The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

- IPCC, (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>.
- Ives J, Messerli B, Spiess E. (1997). Mountains of the world: A global priority. In: Messerli B, Ives J, editors. *Mountains of the World: A Global Priority*. New York, NY: Parthenon Publishing Group, pp 1–15.
- Jensen, J. R. , D. J. Cowen , J. D. Althausen , S. Narumalani , and O. Weatherbee (1993). An evaluation of the Coast-Watch change detection protocol in South Carolina. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* vol. 59 no. (6) pp. 1039–1046.
- Jensen, J. R., (2005). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (3rd edn). Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Joseph, G. (2005). *Fundamentals of remote sensing*. Universities Press.
- Kapos V, Rhind J, Edwards M, Price M, Ravilious C. (2000). Developing a map of the world's mountain forests. In: Price M, Butt N, editors. *Forests in Sustainable Mountain Development: A State of Knowledge Report for 2000*. IUFRO [International Union of Forest Research Organizations] Research Series 5. Oxon, NY: CAB International Publishing, pp 4–9.
- Karagulle D, Frye C, Sayre R, Breyer S, Aniello P, Vaughan R, Wright D. (2017). Modeling global Hammond landform regions from 250-m elevation data *Transactions in GIS* 21(5):1040–1060.
- Keane, R. E., R. Burgan, and J. van Wagtenonk (2001). Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire* vol. 10 pp. 301–319.
- Körner C, Jetz W, Paulsen J, Payne D, Rudmann-Maurer K, Spehn E. (2017). A global inventory of mountains for bio-geographical applications. *Alpine Botany* 127:1–15.
- Laliberte, A. S. , D. E. Johnson , N. R. Harris , and G. M. Casady (2001). Stream change analysis using remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). *Journal of Range Management* vol. 54 pp. A22-A50.
- Laurini, R., Thompson, D., (1992). *Fundamentals of spatial information systems*. Academic Press, San Diego.

- Liang, S., & Wang, J. (Eds.). (2019). *Advanced remote sensing: terrestrial information extraction and applications*. Academic Press.
- Lu, D. , P. Mausel , E. Brondízio , and E. Moran (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing* vol. 25 no. (12) pp. 2365–2407.
- M. Rogora, L. Frate, M.L. Carranza, M. Freppaz, A. Stanisci, I. Bertani, R. Bottarin, A. Brambilla, R. Canullo, M. Carbognani, C. Cerrato, S. Chelli, E. Cremonese, M. Cutini, M. Di Musciano, B. Erschbamer, D. Godone, M. Iocchi, M. Isabellon, A. Magnani, L. Mazzola, U. Morra di Cella, H. Pauli, M. Petey, B. Petriccione, F. Porro, R. Psenner, G. Rossetti, A. Scotti, R. Sommaruga, U. Tappeiner, J.-P. Theurillat, M. Tomaselli, D. Viglietti, R. Viterbi, P. Vittoz, M. Winkler, G. Matteucci, (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines, *Science of The Total Environment*, Volume 624, 2018, Pages 1429-1442.
- Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M. G., Field, C. B., & Knowlton, N. (2020). Climate change and ecosystems: Threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190104.
- Martinez, Susana & Mollicone, Danilo. (2012). From Land Cover to Land Use: A Methodology to Assess Land Use from Remote Sensing Data. *Remote Sensing*. 4. 10.3390/rs4041024.
- Morales C, Díaz AS, Dionisio D, Guarnieri L, Marchi G, Maniatis D, Mollicone D. (2023). Earth Map: A Novel Tool for Fast Performance of Advanced Land Monitoring and Climate Assessment. *J. Remote Sens.* 2023;3:Article 0003. <https://doi.org/10.34133/remotesensing.0003>
- Nemani, R., P. Votava, J. Roads, M. White, S. Running, and J. Coughlan (2002). Terrestrial Observation and Prediction System: integration of satellite and surface weather observations with ecosystem models. *Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, IGARSS '02* vol. 4 pp. 2394–2396.
- Palomo, I. (2017). Climate Change Impacts on Ecosystem Services in High Mountain Areas: A Literature Review, *Mount. Res. Dev.*, 37, 179–187.
- Paulsen J, Körner C. (2014). A climate-based model to predict potential treeline position around the globe. *Alpine Botany* 124:1–12
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., ... & Birkmann, J. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. IPCC Sixth Assessment Report.
- Price M.F., Lysenko I., Gloersen E. (2004). Delineating Europe's Mountains, *Revue de Géographie Alpine*, Volume 92, No 2, pp. 75-86.

- Rangwala, I., ve Miller, J. R. (2012). Climate change in mountains: a review of elevation-dependent warming and its possible causes. *Climatic Change*, 114(3-4), 527-547.
- Rather, A. F., Ahmed, R., Wani, G. F., Ahmad, S. T., Dar, T., Javaid, S., & Ahmed, P. (2022). Mapping of groundwater potential zones in Pohru Watershed of Jhelum Basin-Western Himalaya, India using integrated approach of remote sensing, GIS and AHP. *Earth Science Informatics*, 15(4), 2091-2107.
- Reyers, B., Nel, J. L., O'Farrell, P. J., Sitas, N. ve Nel, D. C. (2015). Navigating complexity through knowledge coproduction: Mainstreaming ecosystem services into disaster risk reduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7362-7368.
- Romeo, R., Grita, F., Parisi, F. and Russo, L. (2020). Vulnerability of mountain peoples to food insecurity: updated data and analysis of drivers. Rome, FAO and UNCCD. <https://doi.org/10.4060/cb2409en>
- Sayre, R., Frye, C., Karagulle, D., Krauer, J., Breyer, S., Aniello, P., ... & Cress, J. (2018). A new high-resolution map of world mountains and an online tool for visualizing and comparing characterizations of global mountain distributions. *Mountain Research and Development*, 38(3), 240-249.
- Schiewe, Jochen. (2003). Concepts and Techniques of Geographic Information Systems. By C. P. Lo and Albert K. W. Yeung. (Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2002). *International Journal of Geographical Information Science*. 17. 819-820. 10.1080/1365881031000111173.
- Schmeller, D. S., Loyau, A., Bao, K., Brack, W., Chatzinotas, A., De Vleeschouwer, F., ... & Vredenburg, V. T. (2018). People, pollution and pathogens—Global change impacts in mountain freshwater ecosystems. *Science of the Total Environment*, 622, 756-763.
- Seastedt, T. R., & Oldfather, M. F. (2021). Climate Change, Ecosystem processes and biological diversity responses in high elevation communities. *Climate*, 9(5), 87.
- Serengil, Y., (2019). İklim Değişikliği ve Karbon Yönetimi . Ankara: UNDP.
- Shawul, A. A., & Chakma, S. (2019). Spatiotemporal detection of land use/land cover change in the large basin using integrated approaches of remote sensing and GIS in the Upper Awash basin, Ethiopia. *Environmental Earth Sciences*, 78(5), 1-13.
- Tito, R., Vasconcelos, H. L., & Feeley, K. J. (2020). Mountain ecosystems as natural laboratories for climate change experiments. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 38
- Tol, R. S. (2018). The economic impacts of climate change. *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(1), 4-25.

- True D. (2002). Landforms of the Lower-Midwest. Missouri Resource Assessment Partnership (MoRAP) Map Series MS-2003-001, scale 1:1,500,000. https://www.cerc.usgs.gov/morap/Assets/UploadedFiles/Maps/Landforms_of_the_Lower_Mid-West_MS-2002-01.pdf; accessed on 3 October 2017.
- UN (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- UNEP-WCMC. (2000). Mountains of the World. Cambridge (UK): UNEP-WCMC. <https://doi.org/10.34892/jh4m-0h26>
- Verma, A. K. (2021). Influence of climate change on balanced ecosystem, biodiversity and sustainable development: An overview. *International Journal of Biological Innovations*, 3(2).
- Viviroli, D., Kummu, M., Meybeck, M. et al. (2020) Increasing dependence of lowland populations on mountain water resources. *Nat Sustain* 3, 917–928.
- Weng, Q. (2010). Remote sensing and GIS integration theories methods and applications. McGrawHill press.
- Wulder, M. (1998). Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters. *Progress in Physical Geography* vol. 22 no. (4) pp. 449–476.
- Yang L., C. Huang, C. Homer, B. Wylie, and M. Coan (2003). An approach for mapping large-area impervious surfaces: synergistic use of Landsat 7 ETM+ and high spatial resolution imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing* vol. 29 pp. 230–240.
- URL-1. <https://bikifi.com/biki/ekosistem-ekolojisi-madde-donguleri/> (12.09.2022)
- URL-2. <https://www.gisoutlook.com/2019/05/remote-sensing-introduction-termremote.html> (18.01.2023)
- URL-3. <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview> (11.06.2022)
- URL-4. <https://kayseri.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Tar%C4%B1msal%20Altyap%C4%B1%20Faaliyetler/Tat%20CBS.pdf> (12.06.2022)
- URL-5. <https://www.ipcc.ch/about/> (15.08.2022)
- URL-6. <https://earthmap.org/> (15.03.2022)
- URL-7. <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4> (15.03.2022)

URL-8. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index> (15.03.2022)

URL-9. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_ERA5_MONTHLY (15.03.2022)

URL-10. <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/MOD16A2#overview> (15.03.2022)

URL-11. <https://yemlihatoker.com/google-earth-ve-google-earth-pro-nasil-kullanilir/> (20.01.2023)

URL-12. https://www.google.com/intl/tr_ALL/earth/ (20.01.2023)

URL-13. <https://www.bing.com/maps> (20.01.2023)

URL-14. <https://earthengine.google.com/> (20.01.2023)

URL-15. <https://openforis.org/tools/collect-earth/> (20.01.2023)