

Volkanik Peyzaj: Kaldera Gölü Yakın Çevresi Değişimi Nemrut Gölü Örneği

Volcanic Landscape: Change in the Close Surroundings of Caldera Lake, Example of Nemrut Lake

Talha Aksoy^{1*} 

¹Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kırklareli/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Talha Aksoy
talha.aksoy@klu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1727475

Yayın süreci

Geliş tarihi: 25.06.2025

Kabul tarihi: 05.11.2025

Basım tarihi: 26.03.2026

Özet

Bu çalışma, Türkiye'deki Nemrut Kalderası'nda 1990-2018 arasındaki arazi örtüsü değişimini ve potansiyel etkenlerini, CORINE, ASTER ve CHIRPS verilerini kullanarak CBS tabanlı bir yaklaşımla analiz etmektedir. Sonuçlar, çalışma alanının %7,7'sine denk gelen 418 hektarlık bir alanda önemli bir ekolojik süksesyon (ardıllaşma) yaşandığını ortaya koymuştur. Baskın değişim, 314 hektar seyrek bitki örtülü alanın ve 50 hektar çıplak kayanın daha yoğun bitki formasyonlarına (Geçişli Orman-Çalılık Alanları) dönüşerek birincil ve ikincil süksesyon süreçlerini sergilemesidir. Su yüzeyinde ise 6 hektarlık net bir azalma ölçülmüştür. Yağışlarda belirgin bir uzun vadeli trendin olmaması, bu dönüşümün arkasındaki itici gücün doğrudan iklimsel bir değişimden çok, Kalderanın koruma statüsü ve elverişli mikro-topoğrafyası ile desteklenen doğal süksesyon olabileceğine işaret etmektedir. Ancak, bu net değişimin, analiz periyodu içindeki kurak ve yağışlı dönemlerden etkilenmiş olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu araştırma, ekosistemin direncini ve dinamik mozaik yapısını vurgulayarak, bu önemli volkanik peyzajın sürdürülebilir yönetimi için kritik bir temel sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Nemrut kalderası, Uzaktan algılama, CBS, Ekolojik süksesyon, Volkanik peyzaj, CORINE

Abstract

This study analyzes the land cover change and its potential drivers in the Nemrut Caldera, Turkey, between 1990 and 2018, using a GIS-based approach with CORINE, ASTER, and CHIRPS data. The results reveal a significant ecological succession in an area of 418 hectares, corresponding to 7.7% of the study area. The dominant change is the conversion of 314 hectares of sparsely vegetated areas and 50 hectares of bare rock into denser vegetation formations (Transitional Woodland-Shrub), exhibiting processes of both primary and secondary succession. A net decrease of 6 hectares was also measured in water surfaces. The absence of a significant long-term trend in precipitation suggests that the driving force behind this transformation may be natural succession supported by the caldera's conservation status and favorable micro-topography, rather than direct climatic change. However, it should also be considered that this net change might have been influenced by the dry and wet periods within the analysis period. By highlighting the ecosystem's resilience and dynamic mosaic structure, this research provides a critical baseline for the sustainable management of this important volcanic landscape.

Keywords: Nemrut caldera, Remote sensing, GIS, Ecological succession, Volcanic landscape, CORINE

1. Giriş

Volkanik peyzajlar, Dünya'nın jeomorfolojisinin özgün ve dinamik bir yönünü temsil eder ve volkanik faaliyetler sonucu oluşan volkan konileri, kalderalar gibi çeşitli yer şekilleriyle karakterize edilir. Bu süreçler, yerel havza morfolojisini önemli ölçüde etkileyebilir (Bachri vd., 2023). Bu oluşumların yaşı, arkeolojik ve yerleşim çalışmaları için büyük önem taşıırken, volkanik patlamaların oluşturduğu tortul katmanlar kültürel buluntuları örtterek arkeolojik alanların tespitini ve

tarihlendirilmesini zorlaştırabilir (MacInnes vd., 2014). Volkanik yer şekilleri yalnızca jeolojik süreçlerin değil, aynı zamanda insan-doğa etkileşiminin de kritik göstergeleridir. Bu peyzajlar, elverişli koşullar sağlayarak özgün ekosistemlerin gelişimine olanak tanır (Zhang vd., 2020) ve tarihsel olarak yerleşimler için elverişli alanlar sunabilir (Mutaqin vd., 2021). Karmaşık morfolojileri (Nolan & Graettinger, 2022) ve sosyo-ekonomik etkileri (Gabrielli vd., 2020) olan bu alanlar, jeolojik oluşumlar, ekolojik sistemler ve insan kültürleri arasındaki zengin etkileşimi yansıtır. Bu nedenle, volkanik arazilerin ve ilgili süreçlerin bütüncül bir biçimde anlaşılması, temel bir disiplinlerarası yaklaşımı zorunlu kılmaktadır.

1.1 Nemrut Kalderası: Jeomorfolojik ve Ekolojik Bir Değerlendirme

Türkiye, birçok volkanik alanı içeren ve bu alanlar içinde önemli coğrafi ve ekolojik özellikler barındıran bir ülkedir. Nemrut Dağı, bu volkanik alanların en dikkat çeken örneklerinden biridir. Nemrut'un büyüklüğü ve özellikleri hem jeolojik hem de biyoçeşitlilik açısından dikkat çekici bir potansiyele sahiptir. Nemrut Dağı, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alır ve volkanik kökenli bir kaldera yapısına sahiptir. Bu kaldera, büyük bir volkanik patlama sonucunda oluşmuş olup, içerisinde göl barındırmaktadır. Göl, 1725 metre yükseklikte olup, çevresinin volkanik yapısından beslenmektedir ve Türkiye'nin en büyük sodalı gölü olma özelliğini taşımaktadır (Özgüven vd., 2021). Bu nedenle, Nemrut'un kaldera yapısı, göl oluşumu ve biyoçeşitlilik yönünden özgünlüğü incelenmelidir.

Nemrut'un ekosistemine dair önemli unsurlardan biri de biyoçeşitlilik potansiyelidir. Nemrut Dağı çevresinde doğal olarak bulunan ve Türkiye'ye özgü bitki türleri, bu bölgenin ekosistem zenginliğini göstermektedir. Örneğin, Lübnan meşesi (*Quercus libani*), Nemrut çevresinde yayılış gösteren türlerden biridir ve Türkiye'nin farklı bölgelerinde de bulunabilir (Aydınöz vd., 2024). Bu durum, Nemrut'un hem bitki örtüsü hem de genel biyoçeşitlilik açısından önemli bir merkez olduğunu ortaya koyar.

Jeolojik açıdan bakıldığında, Nemrut ve çevresi hem tektonik hem de sedimentolojik yapılar açısından zengin bir ortam sunmaktadır. Van Gölü havzasının bir parçası olan bu alan, Nemrut'un güneyinde yer alan Muş rampasının doğu uzantısı gibi çeşitli morfolojik yapıları barındırmaktadır (Alkan vd., 2023). Bu karmaşık yapı, Nemrut'un yer altındaki jeolojik süreçlerinin ve volkanik geçişinin önemini ortaya koymaktadır.

Nemrut Dağı'nın volkanik geçmişi, çevresindeki jeolojik ve hidrojeolojik yapıları derinden etkilemiştir. Kaldera içinde oluşan göl ve çevresindeki ekosistemler, bu dinamik sürecin bir sonucu olarak ortaya çıkmış, kendine özgü bir biyoçeşitlilik barındıran ve çevresel değişimlere karşı dirençli türlere ev sahipliği yapan bir yapı oluşturmuştur. Bu özellikler, Nemrut Kalderası'nı hem bilimsel araştırmalar hem de doğal mirasın korunması açısından yüksek öneme sahip bir alan olarak konumlandırmaktadır.

1.2. Hassas Ekosistemlerde Peyzaj dinamiği ve değişim analizinin önemi

Peyzaj dinamiği ve değişim analizi, özellikle hassas ekosistemler ve volkanik peyzajlar gibi alanlarda büyük bir önem taşır. Nitekim, bu ekosistemler jeolojik süreçler, iklimsel değişimler ve artan antropojenik baskıların kesişim noktasında yer aldıkları için son derece dinamik ve kırılgandır (Szakács & Kovacs, 2022). Bu tür ekosistemler, kirlenme, iklim değişikliği ve insan müdahaleleri gibi birçok tehdit ile karşı karşıyadır. Dolayısıyla, volkanik peyzajların korunması ve yönetimi için bu dinamiklerin anlaşılması kritik bir gerekliliktir. Volkanik peyzajlar, hem biyolojik çeşitliliği artırmaları hem de ekosistem hizmetleri sunmaları açısından önemli özellikler taşımaktadır. Ancak bu hizmetler, özellikle iklim değişikliğinin neden olduğu sıcaklık ve yağış rejimlerindeki değişimler karşısında risk altındadır; bu değişimler vejetasyon tiplerinde kaymalara yol açarak ekolojik dengeyi bozabilmektedir (Mugari & Masundire, 2022; Wang vd., 2022). Bu bağlamda, peyzajın dinamiklerini ve değişimlerini izlemek, bu alanların sürdürülebilir yönetimi için hayati önem taşır.

Hassas ekosistemlerde, peyzaj değişimleri çoğu zaman doğal dengenin bozulması ile sonuçlanabilir. Örneğin, erozyon gibi fiziksel etkiler toprak kayıplarına neden olabilir ve bu durum, habitatların bozulmasına yol açar (Öztürk & Özcan, 2021). Bu tür bozulmalar, yalnızca biyoçeşitliliği tehdit etmekle kalmaz, aynı zamanda insan refahı için kritik olan ekosistem hizmetlerinde de kayıplara neden olur (Liu vd., 2022; Chen vd., 2024).

Hassas ekosistemlerde peyzaj dinamiğinin analizi, yerel biyoçeşitliliği koruma ve ekosistem hizmetlerini optimize etme fırsatları sunduğu için kritik bir yönetim aracıdır (Yiğit & Var, 2023). Bu bağlamda Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), peyzajdaki değişimleri geniş alanlarda periyodik olarak haritalama ve analiz etme kabiliyetleri sayesinde bu süreçler için vazgeçilmez teknolojiler olarak öne çıkmaktadır (Çilek, 2021; Tokgöz & Güngör, 2023). Özellikle Nemrut Kalderası gibi volkanik ekosistemler, jeolojik süreçler ve iklimsel değişimlere karşı gösterdikleri hassas tepkiler nedeniyle bu tür analizler için kritik öneme sahiptir (Miranda vd., 2022). Bu bağlamda, CORINE veri setleri, Avrupa genelinde, özellikle Natura 2000 gibi koruma statüsüne sahip alanlardaki tehditleri ve baskıları değerlendirmek için standart bir çerçeve sunmaktadır (Ursu vd., 2020; Kubacka & Smaga, 2019).

Sonuç olarak, peyzaj dinamiği ve değişim analizi, özellikle hassas ekosistemler ve volkanik peyzajlar gibi alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Bu süreç, sadece biyoçeşitliliğin korunması açısından değil, aynı zamanda insanların sosyal,

ekonomik ve çevresel ihtiyaçlarının karşılanmasında da kritik bir faktördür. Nitekim, geçmiş ve mevcut peyzaj yapılarının sistematik olarak analiz edilmesi, bu alanlar için sürdürülebilir yönetim stratejileri geliştirilmesinin temelini oluşturmaktadır (Pomatto vd., 2022).

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, Nemrut Kalderası'ndaki arazi örtüsü değişimlerini ve bu değişimlerle ilişkili potansiyel faktörleri analiz etmek amacıyla çeşitli coğrafi veri setleri kullanılmıştır. Kullanılan başlıca harita altlıkları ve veri setleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Bu verilerin çalışmadaki kullanım amaçları ve yöreye özgü katkıları aşağıda detaylandırılmıştır.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan mekânsal veri setlerinin özellikleri ve kaynakları

No	Veri Adı	Karakteri	Kaynak
1	ASTER GDEM	Stereo görüntüleme teknikleri ile üretilen 30 m uzamsal çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM).	USGS Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov/)
2	Türkiye Mülki İdare Sınırları ve Yerleşim Noktaları	Türkiye'nin il, ilçe gibi idari sınırlarını ve bu sınırlar içindeki başlıca yerleşim noktalarının (köy, kasaba vb.) coğrafi konumlarını içeren vektör veriler.	Harita Genel Müdürlüğü (HGM)
3	Yol Ağı	Vektör formatında bölgenin karayolları, köy yolları, patikalar vb. ulaşım ağını içeren veri seti.	OpenStreetMap (https://www.openstreetmap.org/)
4	CORINE Arazi Örtüsü (1990)	1990 yılına ait, Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından belirlenen standartlara göre sınıflandırılmış arazi örtüsü/kullanımı verisi.	Copernicus Land Monitoring Service – European Environment Agency (EEA) (https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover)
5	CORINE Arazi Örtüsü (2018)	2018 yılına ait, Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından belirlenen standartlara göre sınıflandırılmış arazi örtüsü/kullanımı verisi.	Copernicus Land Monitoring Service – European Environment Agency (EEA) (https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover)
6	CHIRPS Yağış Verisi	Günlük, 0.05 derece (~5 km) çözünürlüklü, küresel yağış verisi (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data).	Climate Hazards Center UCSB (https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps). Google Earth Engine (GEE) platformu aracılığıyla erişilmiştir. (GEE Veri Set ID: UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY)

2.1. Temel Harita Altlıkları ve Coğrafi Bağlam

Çalışmanın coğrafi altyapısı ve topografik çerçevesi üç temel veri seti ile oluşturulmuştur: Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), idari sınırlar ve ulaşım ağı.

- ASTER GDEM, yaklaşık 30 metre uzamsal çözünürlüğe sahip küresel bir SYM'dir ve USGS EarthExplorer platformu üzerinden temin edilmiştir. Bu veri seti, Nemrut Kalderası'nın ve çevresinin topografik yapısını (eğim, bakı, yükseklik farklılıkları, iç havzalar) detaylı bir şekilde anlamak, çalışma alanının sınırlarını (özellikle kaldera havzasını) belirlemek ve elde edilen diğer mekânsal verilerin analizinde temel altlık olarak kullanılmıştır. Nemrut Kalderası'nın karmaşık volkanik morfolojisi, dik yamaçları ve krater göllerini barındıran iç yapısı göz önüne alındığında, ASTER GDEM verisi, bu özgün topografyanın doğru bir şekilde temsil edilmesini sağlamıştır. Arazi örtüsü değişimlerinin topografik özelliklerle (örneğin, farklı yükseklik basamakları veya bakılardaki değişimler) ilişkisini incelemeye temel bir girdi oluşturmuştur. Aynı zamanda, bölgenin üç boyutlu morfolojik özelliklerinin görselleştirilmesine de katkı sağlamıştır.
- Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından üretilen Türkiye'nin güncel il, ilçe gibi idari sınırlarını ve bu sınırlar içindeki başlıca yerleşim noktalarının coğrafi konumlarını içeren vektör verilerdir. Bu veriler, çalışmanın coğrafi bağlamını oluşturmak ve Nemrut Kalderası'nın hangi idari birimlerin (Bitlis ili, Tatvan, Ahlat, Güroymak ilçeleri) sınırları içerisinde yer aldığını göstermek amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, çalışma alanı haritalarında çevredeki önemli yerleşim birimlerinin konumlarını belirtmek için de referans teşkil etmiştir. Nemrut Kalderası, birden fazla ilçe sınırına yakın veya içerisinde konumlanmaktadır. Mülki idare sınırları, kaldera ve çevresindeki insan faaliyetlerinin ve yönetsel kararların potansiyel etkilerini değerlendirmede bölgesel bir çerçeve sunmuştur.

Yerleşim noktaları verisi ise, kalderaya olan yakınlıkları ve olası erişim noktaları açısından antropojenik (insan kaynaklı) etki potansiyelini anlamada dolaylı bir gösterge sağlamıştır.

- OpenStreetMap (OSM), kullanıcılar tarafından ortaklaşa oluşturulan ve serbestçe kullanılabilen küresel bir coğrafi veri tabanıdır. Bu çalışmada, OSM üzerinden elde edilen güncel yol ağı (karayolları, köy yolları, patikalar vb.) vektör verisi kullanılmıştır. Yol ağı verileri, Nemrut Kalderası ve çevresindeki ulaşım altyapısını haritalarda göstermek ve alanın erişilebilirliği hakkında fikir edinmek amacıyla kullanılmıştır. Nemrut Kalderası, turistik ve bilimsel açıdan ilgi çeken bir bölge olup, kalderaya erişim sağlayan yollar ve krater içindeki potansiyel patikalar, insan hareketliliğinin ve dolayısıyla arazi üzerindeki etkinin önemli göstergeleridir. Yol ağı, özellikle turizm ve rekreasyonel kullanımların arazi örtüsü üzerindeki etkilerini yorumlarken dikkate alınan bir faktör olmuştur.

2.2. Arazi Örtüsü Değişimi Analizi Verileri (CORINE)

CORINE (Coordination of Information on the Environment) Arazi Örtüsü Verileri (1990 ve 2018): Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından Copernicus programı kapsamında üretilen, standart bir sınıflandırma sistemine (44 sınıf) sahip, Avrupa genelinde arazi örtüsü ve kullanımını haritalayan bir projedir. CORINE verileri, 100 metrelik bir piksel çözünürlüğüne ve 25 hektarlık bir minimum haritalama birimine (MMU - Minimum Mapping Unit) sahiptir. Bu çalışmada, 1990 ve 2018 yıllarına ait CORINE veri setleri kullanılmıştır. Landsat gibi daha yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden türetilmiş veri setleri yerine CORINE'in tercih edilmesinin temel nedenleri, çalışmanın zamansal kapsamı ve veri tutarlılığıdır. İlk olarak, 1990 yılına uzanan tarihsel bir analiz hedeflendiği için, bu dönemi kapsayan ve standart bir metodoloji ile üretilmiş ilk veri seti CORINE'dir. Landsat verileri bu dönem için mevcut olsa da, farklı sensörler ve atmosferik koşullar nedeniyle zaman serisi analizlerinde tutarlılık sağlamak ek ve karmaşık ön işleme adımları gerektirecektir. İkinci olarak, CORINE'in Avrupa genelinde standart bir sınıflandırma sistemi sunması, bu çalışmanın bulgularının kıta ölçeğindeki diğer benzer çalışmalarla doğrudan karşılaştırılabilirliğini artırmaktadır.

Arazi örtüsü değişim tespiti çalışmaları, özellikle peyzajların hızlı antropojenik dönüşümü bağlamında, çevre yönetimi için hayati öneme sahiptir. CORINE metodolojisi gibi teknikler ve uzaktan algılama teknikleri geniş coğrafi alanlardaki arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AK/AÖ) değişikliklerinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu standartlaştırılmış çerçeve, çeşitli uzaktan algılama platformlarından elde edilen verileri kullanarak (Kyzy vd., 2025; Chen & Lin, 2025), arazi örtüsü tiplerini sınıflandırmak ve zaman içindeki değişimleri izlemek için tutarlı bir yaklaşım sunar. UA araştırmacıların çevresel antropojenik etkileri izleme ve gözlemlene yöntemlerini kökten değiştirmiştir. Bu sayede, özellikle arazi kullanımı değişikliklerinin yoğun olduğu tarım ve kentsel planlama sahalarında, sürdürülebilir kalkınma hedefleri için gereken hassas analizlerin yapılması mümkün hale gelmiştir.

CORINE'in faydası, çok-zamanlı uydu görüntülerini kullanarak detaylı ve sistematik arazi örtüsü haritaları üretebilme yeteneğinde yatmaktadır. Bu yöntem, özellikle Avrupa bölgelerinde etkili olmuş, kentsel yayılma, tarımsal genişleme ve habitat parçalanması ile ilgili kapsamlı değerlendirmelere olanak tanımıştır. Tiengo vd. (2024) tarafından yapılan gibi çalışmalar, CORINE'in farklı koruma projelerindeki arazi örtüsü değişikliklerini tespit etmedeki etkinliğini göstermekte ve böylece politika girişimlerinin biyoçeşitlilik üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Ayrıca, yer gerçeği verilerinin uzaktan algılama girdileriyle entegrasyonu, haritalamaların güvenilirliğini artırmakta olup, bu da bilinçli çevre yönetimi kararları almada kritik öneme sahiptir (Mahto vd., 2022). Bu veri setleri, çalışmanın temel analiz eksenini oluşturmuştur. Nemrut Kalderası'ndaki arazi örtüsü tiplerini (örneğin, ormanlık alanlar, çayırlar, seyrek bitki örtülü alanlar, su yüzeyleri, çıplak kayalıklar vb.) 1990 ve 2018 yılları için belirlemek ve bu iki zaman dilimi arasındaki değişimleri (kazanç, kayıp, dönüşüm) tespit etmek amacıyla kullanılmıştır.

Nemrut Kalderası, hassas ekosistemleri ve özgün biyoçeşitliliği barındıran bir alandır. CORINE verileri, yaklaşık 30 yıllık bir periyotta kaldera içindeki arazi örtüsü dinamiklerini kantitatif olarak ortaya koyma imkanı sunmuştur. Özellikle, "Seyrek Bitki Alanları (SBA)"ndan "Bitki Değişim Alanları (BDA)" sınıfına doğru gözlemlenen geçiş gibi önemli ekolojik değişimlerin mekansal dağılımını ve miktarını belirlemede kritik rol oynamıştır. Bu değişimler, kalderanın ekolojik sağlığı ve gelecekteki yönetim stratejileri açısından önemli ipuçları sunmaktadır.

2.3. İklimsel Etken Analizi Verileri (CHIRPS)

CHIRPS, günlük, 5 km çözünürlüğe sahip, uydu ve yer istasyonu verilerini birleştiren küresel bir yağış veri setidir. Verilere GEE platformu aracılığıyla erişilmiştir. Bu veri seti, Nemrut Kalderası ve yakın çevresindeki yağış rejimini ve çalışmanın odak dönemi olan 1990-2018 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarındaki değişimleri analiz etmek amacıyla kullanılmıştır. Nemrut Kalderası gibi yarı kurak iklim özelliklerine sahip olabilecek yüksek rakımlı bölgelerde, bitki örtüsü gelişiminde ve arazi örtüsü değişimlerinde yağış önemli bir faktördür. CHIRPS verileri, gözlemlenen arazi örtüsü yoğunlaşmasının (örneğin, bitki örtüsünün artması) veya seyrekleşmesinin iklimsel bir arka planı olup olmadığını, özellikle yağış trendleri veya yıllar arası değişkenlikle ilişkili olup olmadığını değerlendirmek için kullanılmıştır.

CHIRPS gibi kaynaklardan alınan yağış verileri için GEE kullanımı, iklimsel faktörlerin arazi örtüsü dinamiklerini nasıl etkilediğine dair tamamlayıcı bilgiler sağlayabilir. GEE, büyük coğrafi veri setlerini işlemek için güçlü bir araç olarak hizmet vermekte, yağış desenlerinin ve eğilimlerinin gerçek zamanlı analizine olanak tanımaktadır. Bu özellik, özellikle yağış değişkenliğinin hem tarımsal verimi hem de su kaynakları yönetimini önemli ölçüde etkilediği bölgelerde, arazi kullanımı değişikliklerine hidrolojik tepkileri incelerken özellikle hayati önem taşımaktadır (Mashala vd., 2023).

Arazi örtüsü değişimi ve iklim verilerinin (örneğin yağış) birlikte analiz edilmesi, bu değişimlerin su kaynakları ve ekosistem sağlığı gibi daha geniş kapsamlı etkilerini anlama olanağı sunar. Nitekim Syed vd. (2023) tarafından da belirtildiği gibi, arazi örtüsündeki önemli değişiklikler havza dinamiklerini etkileyerek hem su kalitesini hem de biyoçeşitliliği değiştirebilmektedir. Bu tür karmaşık çevresel etkileşimlerin analizinde, CBS ile bütünleştirilmiş UA teknolojileri, arazi yönetimi için sağlam karar verme çerçeveleri sunarak kritik bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, CORINE ve gelişmiş uzaktan algılama tekniklerinin, GEE gibi modern analiz araçlarıyla birleştirilerek uygulanması, çeşitli iklimsel ve antropojenik etkilere yanıt olarak AK/AÖ değişikliklerini izlemek için güçlü bir metodolojik çerçeve sunmaktadır. Bu metodolojilerin bir araya gelmesi, etkili çevre yönetişimini desteklemekte, ekosistemleri sürdürmek ve değişen çevre koşullarına uyum sağlamak için kritik olan daha iyi planlama ve yönetim süreçlerini mümkün kılmaktadır.

CHIRPS v2.0 (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) veri seti, yaklaşık 5.5 km mekânsal çözünürlüğe sahip olup, uydu tabanlı kızılötesi bulut tepesi sıcaklığı verilerini, dünya genelindeki yer istasyonu verileriyle birleştirerek yüksek kaliteli ve kesintisiz bir yağış tahmini sunmaktadır.

Bu çalışmada, yerel meteoroloji istasyonları yerine uydu tabanlı CHIRPS veri setinin tercih edilmesinin temel nedenleri bulunmaktadır. Nemrut Kalderası, 2500 metrenin üzerindeki rakımıyla kendine özgü bir mikro-klimaya sahip yüksek irtifalı bir alandır. Bölgedeki mevcut meteoroloji istasyonları ise, kalderaya kıyasla önemli ölçüde daha düşük rakımlarda bulunmaktadır. Bu istasyonların nokta tabanlı verilerinin, kalderanın karmaşık topoğrafyası ve yükseltiyeye bağlı (orografik) yağış desenlerini doğru bir şekilde temsil etmesi beklenmemektedir. CHIRPS veri seti ise, mekânsal olarak dağılımlı yapısı sayesinde tüm çalışma alanını kapsayarak daha temsili bir yağış verisi sunma avantajına sahiptir. Ayrıca, analiz periyodu boyunca kesintisiz ve boşluksuz bir veri serisi sağlaması, bu veri setini uzun dönemli trend analizleri için daha güvenilir kılmaktadır.

2.4. Çalışma Alanı

Bu araştırma, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Bitlis il sınırları içerisinde konumlanan ve ülkenin önemli volkanik yapılarından biri olan Nemrut Dağı ve zirvesindeki Nemrut Kalderası üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Nemrut Dağı, Van Gölü'nün güneybatı kıyısında, Tatvan şehrinin hemen batısında yükselir ve dünyanın en büyük kalderalarından biri olarak kabul edilir (Gürbüz, 2014). Volkanik aktivitenin yaklaşık 1 milyon yıl önce başladığı (Kurttaş & Tezcan, 2017) ve Nemrut Volkan konisinin zirve kesiminin çökmesiyle oluşmuştur (Gürbüz, 2014).



Şekil 1. Nemrut Kalderası'nın, krater göllerini ve kaldera içindeki çeşitli bitki örtüsü tiplerini gösteren panoramik görünümü (Wikipedia, 2020)

Nemrut Kalderası, yaklaşık 10 km çapında eliptik bir çanak şeklindedir. Kalderanın üst kenarları arasında doğu-batı doğrultusundaki büyük çapı 8.4 km, kuzey-güney doğrultusundaki küçük çapı ise 7.2 km'dir. Kalderanın Nemrut Gölü yüzeyine kadar olan derinliği 450-500 metreyi bulur (Gürbüz, 2014). Kaldera içerisinde, biri nispeten büyük olan Nemrut Gölü ve diğeri küçük olan Iligöl olmak üzere iki ana göl bulunur (Gürbüz, 2014) (Şekil 2). Yaklaşık 12 km² genişliğinde ve en derin yeri 150 metre olan Nemrut Gölü'nün suları tatlıdır.

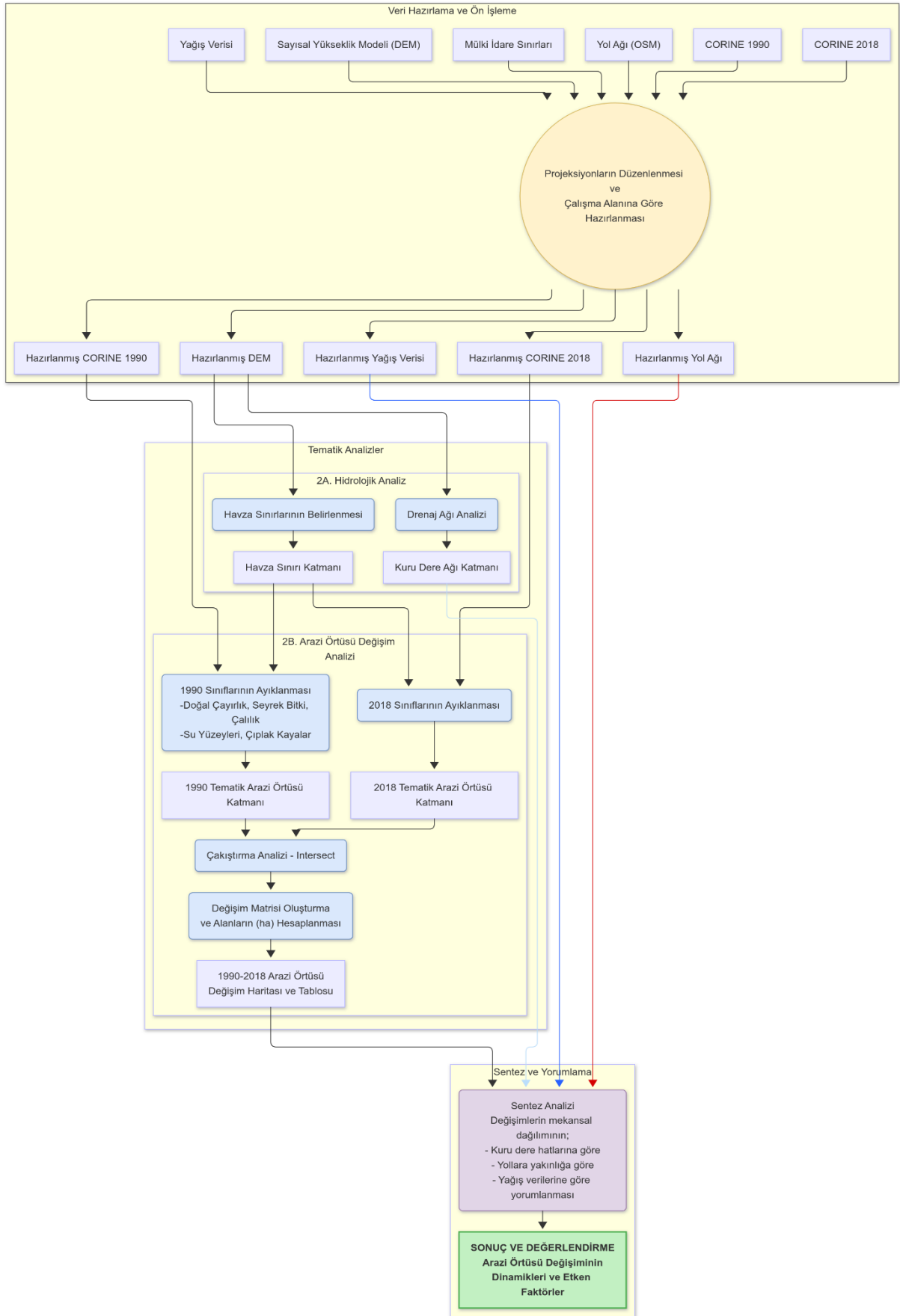
İlgöl ise çok daha küçük olup (600 m uzunluğunda, 500 m genişliğinde, 7-8 m derinliğinde) kenarında sıcak su kaynakları bulunur. Ayrıca kaldera içinde üç adet de mevsimlik göl bulunmaktadır. Kaldera'nın üst kenarlarında Sivri Tepe (2935 m), Nemrut Dağı Tepesi (2801 m), Turşuk Tepe (2828 m) ve Doğu Nemrut Tepesi (2625 m) gibi önemli yükseltiler yer alır (Gürbüz, 2014). Bu topografik çeşitlilik, kaldera içerisinde farklı mikroklima koşullarının oluşmasına ve dolayısıyla zengin bir biyoçeşitliliğin gelişimine olanak tanımıştır.



Şekil 2. Nemrut Kalderası çalışma alanının konumu ve çevresinin topoğrafik haritası

2.5. Yöntem

Bu çalışmada, Nemrut Kalderası'ndaki arazi örtüsü değişimlerini ve bu değişimleri etkileyen potansiyel faktörleri analiz etmek amacıyla bir dizi CBS ve uzaktan algılama tabanlı işlem adımları uygulanmıştır. İşlem süreci, veri toplama, ön işleme, arazi örtüsü sınıflarının çıkarımı, değişim analizi ve sonuçların yorumlanması aşamalarını kapsamaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Arazi örtüsü değişim analizinin metodolojik akış şeması

İlk olarak, çalışma için gerekli temel mekansal veriler temin edilmiştir. Bu çalışmada çeşitli mekansal veri setleri kullanılmıştır. Bunlar; bölgenin topografik yapısını modellemek için SYM, coğrafi bağlamı oluşturmak için Türkiye Mülki İdare Sınırları ve Yerleşim Noktaları ile alandaki ulaşım ağını belirlemek için OSM tabanlı yol ağı katmanlarıdır. Arazi örtüsü değişim analizlerinin temelini ise 1990 ve 2018 yıllarına ait CORINE arazi örtüsü katmanları oluşturmaktadır. Veri toplama aşamasının ardından, tüm bu veriler Şekil 3'te gösterilen 'Veri Hazırlama ve Ön İşleme' adımı kapsamında standart bir sürece tabi tutulmuştur. Bu doğrultuda, farklı kaynaklardan elde edilen tüm mekansal verilerin projeksiyonları, tutarlı bir analiz ortamı sağlamak amacıyla WGS84 olarak düzenlenmiş ve çalışma alanı sınırlarına göre kesilmiştir.

Bu ön hazırlıkların ardından, 'Tematik Analizler' aşamasına geçilmiştir. İlk olarak, şemada '2A. Hidrolojik Analiz' olarak belirtilen adım gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, SYM verileri kullanılarak öncelikle Nemrut Kalderası'nın hidrolojik havza sınırları belirlenmiş ve tüm sonraki analizler bu sınırlar referans alınarak yapılmıştır. Eş zamanlı olarak, aynı veri seti üzerinden çalışma alanı içerisindeki kuru dere ağları da modellenerek, bitki örtüsü değişimlerinin yorumlanmasında önemli bir girdi olarak kullanılacak olan 'Kuru Dere Ağı Katmanı' oluşturulmuştur.

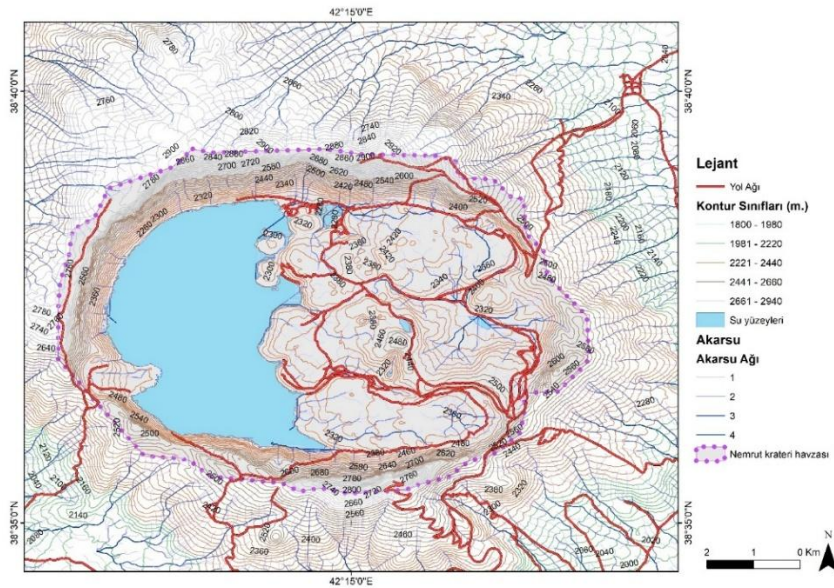
Hidrolojik analizle paralel olarak, metodolojinin '2B. Arazi Örtüsü Değişim Analizi' bölümü uygulanmıştır. Bu adımda, CORINE 1990 ve 2018 veri setlerinden, çalışmanın odağındaki temel arazi örtüsü tipleri (Doğal Çayırılık Alanları, Seyrek Bitki Alanları, Bitki Değişim Alanları, Su Yüzeyleri ve Çıplak Kayalık Alanlar) ayıklanmıştır. Bu 'Sınıfların Ayıklanması' işlemi sonucunda, her iki dönem için de 'Tematik Arazi Örtüsü Katmanları' elde edilerek analiz için hazır hale getirilmiştir.

Arazi örtüsü değişimlerini nicel olarak belirlemek amacıyla, Şekil 3'te belirtildiği gibi 1990 ve 2018 yıllarına ait tematik katmanlar arasında bir 'Çakıştırma Analizi (Intersect)' uygulanmıştır. Bu kapsamda, SYM verileri kullanılarak öncelikle Nemrut Kalderası'nın hidrolojik havza sınırları belirlenmiştir. Toplam 5462 hektarlık bir alanı kaplayan bu havza sınırı, çalışmanın mekansal çerçevesini oluşturmaktadır. Sonraki tüm analizler (arazi örtüsü değişimi, alan hesaplamaları vb.) bu sınıra göre kesilmiş (clip) veriler üzerinden yürütülmüş ve havza dışındaki alanlar değerlendirmeye alınmamıştır. Bu analiz, 1990'da belirli bir sınıfta yer alan alanların 2018'de hangi sınıfa dönüştüğünü (veya aynı kaldığını) ortaya koymuştur. Analizin son çıktısı olarak, her bir dönüşüm tipi için alanların hektar cinsinden hesaplandığı bir 'Değişim Matrisi' oluşturulmuştur.

Analiz sürecinin son aşaması olan 'Sentez ve Yorumlama' bölümünde ise, değişim matrisinden elde edilen nicel veriler ve değişim haritası, mevcut yağış verileri (1990-2024), daha önce çıkarılan kuru dere hatlarının konumu ve yol ağına yakınlık gibi faktörlerle birlikte değerlendirilmiştir. Bu bütüncül yaklaşım, Nemrut Kalderası'ndaki arazi örtüsü dinamiklerinin ardındaki olası doğal ve antropojenik etkenleri anlamaya yönelik değerlendirmeler yapılmasını sağlamıştır.

2.6. Bulgular

Şekil 4, çalışma alanı olan Nemrut Kalderası'nın detaylı bir topografik ve hidrolojik haritasını sunmaktadır. Harita üzerinde, kalderanın karmaşık morfolojisi, eşyükselti eğrileri (konturlar), mevcut su yüzeyleri, Strahler yöntemine göre derecelendirilmiş akarsu ağı ve yol ağı belirgin bir şekilde gösterilmiştir. Ayrıca, analizler için kullanılan Nemrut krateri havzasının sınırı da işaretlenmiştir.



Şekil 4. Nemrut Kalderası çalışma alanının topoğrafik yapısı ve hidrolojik ağının genel görünümü

Haritada farklı renklerle kodlanmış kontur sınıfları (m), Nemrut Kalderası'nın belirgin bir çanak yapısına sahip olduğunu ve çevresindeki yüksek zirvelerle çevrili olduğunu göstermektedir. Kaldera içindeki en düşük kotlar su yüzeylerinin bulunduğu alanlarda (örneğin, Nemrut Gölü tabanı yaklaşık 2240-2280 m civarı) gözlenirken, kalderayı çevreleyen sırtlar 2661-2940 metre ve hatta daha yüksek kotlara ulaşmaktadır. Bu dik yamaçlar ve önemli yükseklik farkları, kaldera içerisinde farklı iklim koşullarının oluşmasına ve çeşitli ekosistemlerin gelişimine olanak tanımaktadır. Eşyükselti eğrilerinin sıklaştığı alanlar dik yamaçları, seyrekleştiği alanlar ise daha az eğimli bölgeleri işaret etmektedir.

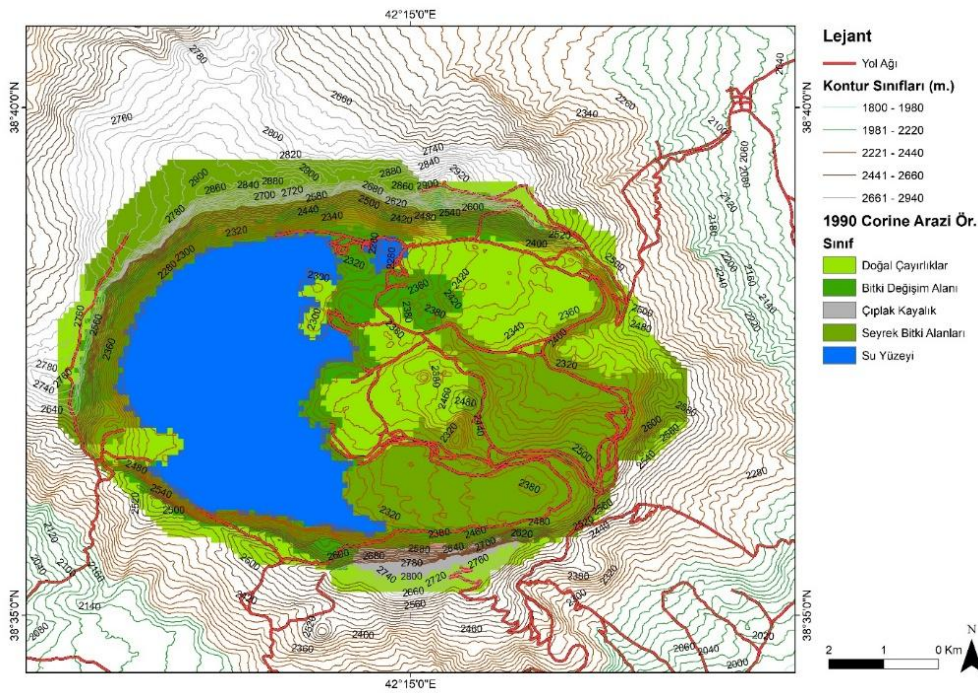
Haritada mavi renkle gösterilen "Su Yüzeyleri", Nemrut Kalderası içerisindeki ana göl (Nemrut Gölü) ve daha küçük su birikintilerini temsil etmektedir. Bu su yüzeyleri, kalderanın hidrolojik sisteminin merkezinde yer alır ve hem yerel ekosistem hem de potansiyel su kaynakları açısından büyük öneme sahiptir. Strahler akarsu derecelendirme yöntemine göre 1'den 4'e kadar sınıflandırılmış olan "Akarsu Ağı", kaldera yamaçlarından ve çevresinden süzülen suların toplandığı ve genellikle ana göle doğru veya kaldera dışına doğru drene olan mevsimsel veya sürekli akışlı dere yataklarını göstermektedir. Bu derecelendirme sistemi, en küçük, kaynaktan yeni ayrılan akarsu kollarının 1. derece olarak tanımlandığı ve aynı dereceden iki kolun birleşmesiyle bir üst dereceye (örneğin, iki 1. derece kol birleşince 2. derece kol oluşur) geçildiği bir hiyerarşi ifade eder. Bu sayede, drenaj ağının yapısı, akarsu kollarının önemi ve su toplama özellikleri daha detaylı bir şekilde anlaşılabilir. Özellikle kuru dere hatları, geçmişteki su akış yollarını veya potansiyel yüzey suyu birikim alanlarını gösterebilir.

Kırmızı renkle gösterilen "Yol Ağı", kalderaya erişimi sağlayan ve kaldera içinde var olabilecek stabilize veya toprak yolları işaret etmektedir. Bu yollar, insan erişiminin ve potansiyel antropojenik etkilerin mekansal dağılımı hakkında fikir verir. Mor noktalı çizgi ile belirtilen "Nemrut Krateri Havzası" ise, bu çalışmada analizlerin odaklandığı ve hidrolojik olarak Nemrut Kalderası'nın iç drenaj alanını tanımlayan sınırı göstermektedir. Arazi örtüsü değişim analizleri ve diğer mekansal değerlendirmeler bu havza sınırı dikkate alınarak yapılmıştır.

Genel olarak bu harita, Nemrut Kalderası'nın coğrafi özelliklerini, su kaynaklarını ve insan erişim noktalarını bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymakta ve makalede sunulan analizler için temel bir mekansal referans sağlamaktadır.

2.6.1. Nemrut Kalderası Havzası'nda 1990 ve 2018 Yıllarına Ait CORINE Arazi Örtüsü Dağılımı

Şekil 5 ve Şekil 6, Nemrut Kalderası havzası içerisinde sırasıyla 1990 ve 2018 yıllarına ait CORINE arazi örtüsü sınıflarının mekansal dağılımını göstermektedir. Her iki harita da aynı coğrafi alanı ve lejantı kullanarak, yaklaşık 28 yıllık bir periyotta meydana gelen arazi örtüsü değişimlerinin görsel olarak karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır. Haritalar üzerinde yol ağı, kontur sınıfları ve su yüzeyleri gibi temel coğrafi unsurlar da referans olarak sunulmuştur. Arazi örtüsü sınıfları; "Doğal Çayırlıklar", "Bitki Değişim Alanı" (Çalılık/Ormanlık Geçiş Alanları), "Çıplak Kayalık", "Seyrek Bitki Alanları" ve "Su Yüzeyi" olmak üzere beş ana kategoride gösterilmiştir.



Şekil 5. Nemrut kalderası havzası'nın 1990 yılı corine arazi örtüsü dağılımı

2018) kendine özgü bir tematik doğruluk oranı (%85-90 gibi) bulunur. İki harita karşılaştırıldığında, her iki haritanın da doğru olduğu piksellerdeki değişimler güvenilir kabul edilirken, haritalardan birindeki veya her ikisindeki sınıflandırma hatası, nihai haritada yanlış bir değişim ("false change") olarak görünür. Bu durum, özellikle küçük alan kaplayan değişimlerin güvenilirliğini azaltabilir.

Mekânsal Çözünürlük ve Genelleştirme Sorunu: Çalışmada kullanılan CORINE veri setinin minimum haritalama birimi (MMU) 25 hektardır. Bu, 25 hektardan daha küçük alana sahip arazi örtüsü lekelerinin haritalanmadığı veya komşu, daha büyük poligon içinde genelleştirildiği anlamına gelir. Dolayısıyla, Nemrut Kalderası gibi ekolojik olarak hassas bir alanda meydana gelen küçük ölçekli ormansızlaşma, yeni oluşan seyrek bitki alanları veya küçük tarımsal parseller gibi önemli değişimler bu analizle tespit edilemeyebilir. Sonuçlar, peyzajdaki geniş ölçekli eğilimleri yansıtırken, mikro düzeydeki dinamikleri gözden kaçırma riski taşımaktadır.

Geometrik Uyumsuzluk (Misregistration): Farklı zamanlarda üretilen iki haritanın coğrafi olarak tam olarak üst üste oturmaması (hafif kaymalar olması), özellikle poligon sınırlarında yapay değişimlerin ortaya çıkmasına neden olur. Bu durum, "şerit poligonlar" (sliver polygons) olarak bilinen ve gerçek bir arazi örtüsü değişimini temsil etmeyen çok sayıda küçük ve anlamsız değişim poligonu yaratır. Bu çalışmada verilerin aynı projeksiyon sistemine getirilmesi bu riski azaltsa da, kaynak verilerin üretim sürecinden kaynaklanan küçük geometrik hatalar tamamen ortadan kaldırılamaz.

Sınıflandırma Şeması ve Tanım Farklılıkları: CORINE programının metodolojisi yıllar içinde küçük güncellemeler görmüş olabilir. Farklı dönemlerde "seyrek bitki örtüsü" veya "doğal çayırılık" sınıflarının tanımlarında meydana gelebilecek küçük değişiklikler, gerçek bir ekolojik değişim olmaksızın, bir sınıftan diğerine geçiş olarak yorumlanabilecek yapay sonuçlar üretebilir.

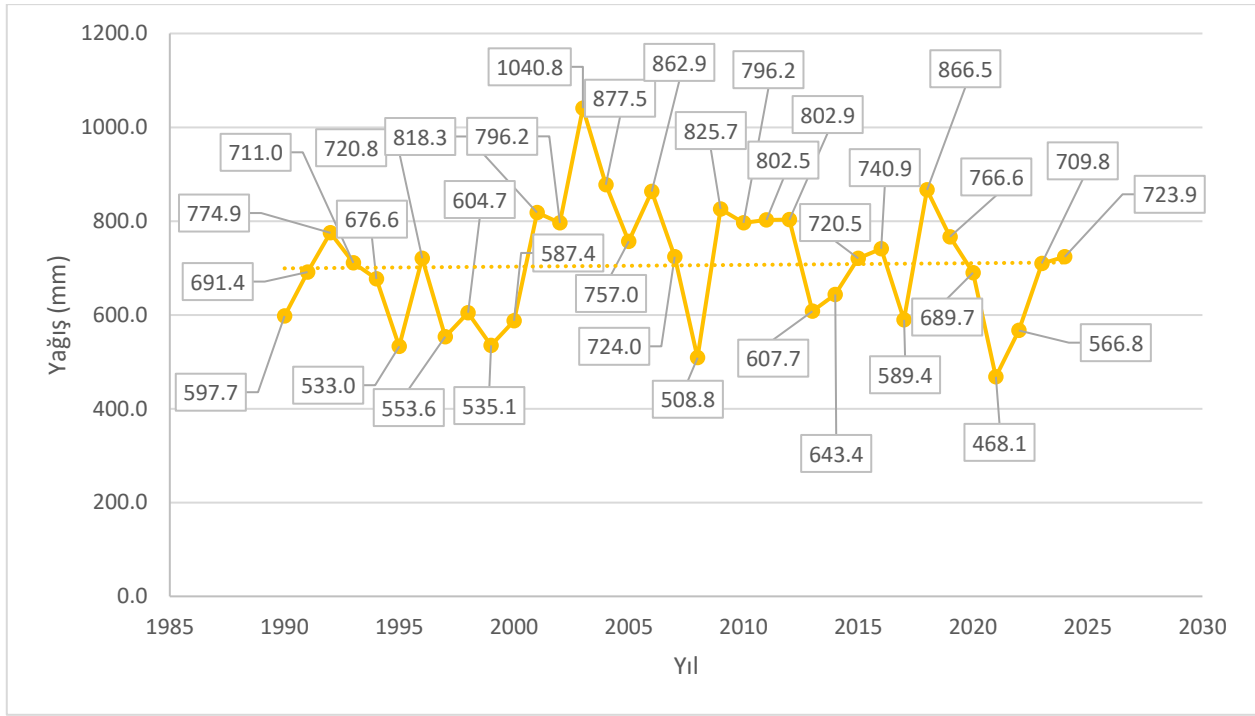
Bu sınırlamalar göz önünde bulundurulduğunda, elde edilen değişim analizi sonuçları, Nemrut Kalderası'ndaki arazi örtüsü dinamiklerinin mutlak ve hatasız bir kaydı olarak değil, belirtilen ölçek ve doğruluk seviyesinde genel eğilimleri ve ana değişim örüntülerini gösteren güçlü bir gösterge olarak yorumlanmalıdır.

2.6.2. Yıllık Ortalama Yağış Verilerinin Analizi ve Bulguları

Bu çalışmada, Nemrut Kalderası'nın 1990-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış verileri, bulut tabanlı bir coğrafi analiz platformu olan GEE kullanılarak hesaplanmıştır. Analiz süreci aşağıdaki adımları içermektedir:

Şekil 7, yukarıda açıklanan metodoloji ile elde edilen sonuçları görselleştirmektedir. Grafikten çıkan bulgular:

- **Değişkenlik:** Nemrut Kalderası'ndaki yıllık ortalama yağış, incelenen dönem boyunca önemli bir değişkenlik göstermektedir. Yağışlı (örneğin 2003'te ~1040 mm) ve kurak (örneğin 2021'de ~468 mm) yıllar arasında belirgin farklar bulunmaktadır.
- **Ekstrem Değerler:** 2003 yılı, ~1040.8 mm ile en yüksek yağışın kaydedildiği yıl olarak öne çıkmaktadır. Buna karşın 2021 yılı, ~468.1 mm ile dönemin en düşük yağış değerine sahiptir. Bu tür ekstrem yıllar, bölgenin hidrolojik ve ekolojik dengesi üzerinde önemli etkilere sahip olabilir.
- **Genel Eğilim:** Grafikteki noktalı sarı çizgi, muhtemelen tüm periyodun ortalama yağış değerini temsil etmektedir (yaklaşık 700-750 mm aralığında). Veriler bu ortalama çizgisinin etrafında dalgalanmaktadır. Ancak görsel olarak, son yıllarda (özellikle 2020 sonrası) ortalamanın altında kalan yılların dikkat çektiği söylenebilir.
- **Döngüsellik:** Yağış rejiminde birkaç yıllık periyotlarla tekrarlanan ıslak ve kurak dönemler gözlenmektedir. Veriler, grafikte gösterilen ortalama çizgisinin etrafında dalgalanmaktadır. Bu görsel gözlemi doğrulamak amacıyla, çalışmanın odak dönemi olan 1990-2018 periyodundaki yağış verilerine Mann-Kendall trend testi uygulanmıştır. Test sonuçları, bu dönemde istatistiksel olarak anlamlı bir artış veya azalış trendi olmadığını doğrulamıştır ($p = 0.487$; $z = 0.695$). Örneğin, 1990'ların sonundaki düşük yağışları, 2000'lerin başındaki daha ıslak bir dönem takip etmiştir.



Şekil 7. Nemrut kalderası çalışma alanında yıllık toplam yağış miktarlarındaki değişim (1990-2024)

Özellikle çalışmanın odak dönemi olan 1990 ile 2018 yılları arasındaki yağış verileri incelendiğinde, belirgin bir yıllar arası değişkenlik göze çarpmaktadır.

Bu 29 yıllık (1990-2018) periyotta, yıllık toplam yağış miktarında net bir artış veya azalış trendi gözlenmemektedir. Yağışlar, genel olarak (yaklaşık ortalama değer, örn. 700-720 mm civarı) mm seviyesindeki bir ortalama etrafında dalgalanmaktadır. Ancak bu dönemde oldukça kurak yıllar (örneğin 1993'te 533,0 mm, 2001'de 535,1 mm, 2008'de 508,8 mm) ve aşırı yağışlı yıllar (örneğin 1998'de 1040,8 mm, 2003'te 877,5 mm) yaşanmıştır.

Bu bulgular, 1990-2018 periyodunda Nemrut Kalderası'nda gözlemlenen (örneğin, seyrek bitki örtüsünden daha yoğun çalılık/ormanlık alanlara geçiş gibi) bitki örtüsü yoğunlaşmasının tek başına ve doğrudan sürekli artan yağışlarla açıklanamayacağını düşündürmektedir. Yağış rejimindeki yüksek değişkenlik, bitki örtüsü dinamikleri üzerinde karmaşık etkilere sahip olabilir. Örneğin, ortalama üstü yağış alan yıllar (örn. 2003, 2015), özellikle odunsu bitkilerin tutunması ve gelişmesi için uygun koşullar yaratmış olabilir. Ancak, kurak yılların varlığı (örn. 1993, 2001, 2008) da bitki örtüsü üzerinde stres yaratmış olabilir. Dolayısıyla, Nemrut Kalderası'ndaki bitki örtüsü değişiminde yağışın rolü olsa da gözlemlenen değişimlerin (özellikle bitki örtüsü yoğunlaşmasının) arkasında doğal süksesyon süreçleri (bitki topluluklarının (ve genel olarak ekosistemlerin) zaman içinde değişerek yerlerini başka türlere bırakması), arazi kullanımındaki olası değişimler (örn. otlatma baskısının azalması), sıcaklık değişimleri veya diğer çevresel faktörlerin de önemli etkenler olabileceği değerlendirilmektedir. Yağış verilerinin analizi değişim analizinin tartışma bölümünde diğer potansiyel faktörlerle birlikte ele alınacaktır.

3. Sonuç

Nemrut Kalderası'nda 1990 ve 2018 yılları arasında CORINE arazi örtüsü verileri kullanılarak gerçekleştirilen değişim analizi sonuçları, Tablo 2'de özetlenmiştir. Bu tablo, 1990 yılındaki orijinal arazi örtüsü sınıflarının 2018 yılına kadar hangi sınıflara dönüştüğünü hektar (ha) cinsinden gösteren bir değişim matrisidir.

Analiz edilen toplam 5462 hektarlık çalışma alanının genelinde (Kaldera havza sınırı), ana arazi örtüsü sınıflarının büyük oranda kararlılığını koruduğu gözlemlenmiştir. Özellikle Seyrek Bitki Alanları (1528 ha), Doğal Çayırliklar (1358 ha) ve Su Yüzeyleri (1299 ha) kalderanın baskın ve stabil karakterini oluşturan temel bileşenler olarak öne çıkmaktadır.

Bununla birlikte, tabloya göre toplam 418 hektarlık bir alanda (çalışma alanının yaklaşık %7.7'si) sınıf değişikliği meydana gelmiştir. Bu değişimler incelendiğinde, en dikkat çekici ve en geniş alana yayılan dönüşümün, 314 hektarlık Seyrek Bitki Alanı'nın (SBA) Bitki Değişim Alanları'na (BDA) dönüşmesi olduğu görülmektedir. Bunu, 50 hektarlık Çıplak Kayalık (ÇKA) alanının yine BDA sınıfına evrilmesi takip etmektedir. Bu iki büyük değişim, kalderada genel olarak bitki örtüsünde bir yoğunlaşma ve ekolojik iyileşme (süksesyon) eğilimi olduğuna işaret etmektedir.

Genel iyileşme eğilimine karşın, tabloda daha küçük ölçekli ve zıt yönlü değişimler de tespit edilmiştir. Örneğin, 13 hektarlık DÇA'nın SBA'na dönüşmesi lokal bir vejetasyon zayıflamasını gösterirken, su yüzeylerinde yaşanan değişimler de hidrolojik dinamikler açısından önem taşımaktadır. Su yüzeyleri, 12 hektarlık bir alanı karasal sınıflara bırakırken, karasal alanlardan 6 hektarlık bir alanı kazanmıştır; bu da göl yüzeyinde yaklaşık 6 hektarlık net bir azalma yaşandığını ortaya koymaktadır.

Özetle, Tablo 2'de sunulan nicel veriler, Nemrut Kalderası'nın son 28 yıllık süreçte genel olarak stabil bir yapı sergilemekle birlikte, özellikle vejetasyonun gelişimi ve su yüzeylerindeki çekilme yönünde dinamik bir değişim süreci yaşandığını göstermektedir. Bu değişimlerin mekansal dağılımı ve ekolojik anlamları, ilerleyen bölümlerde detaylı olarak ele alınacaktır.

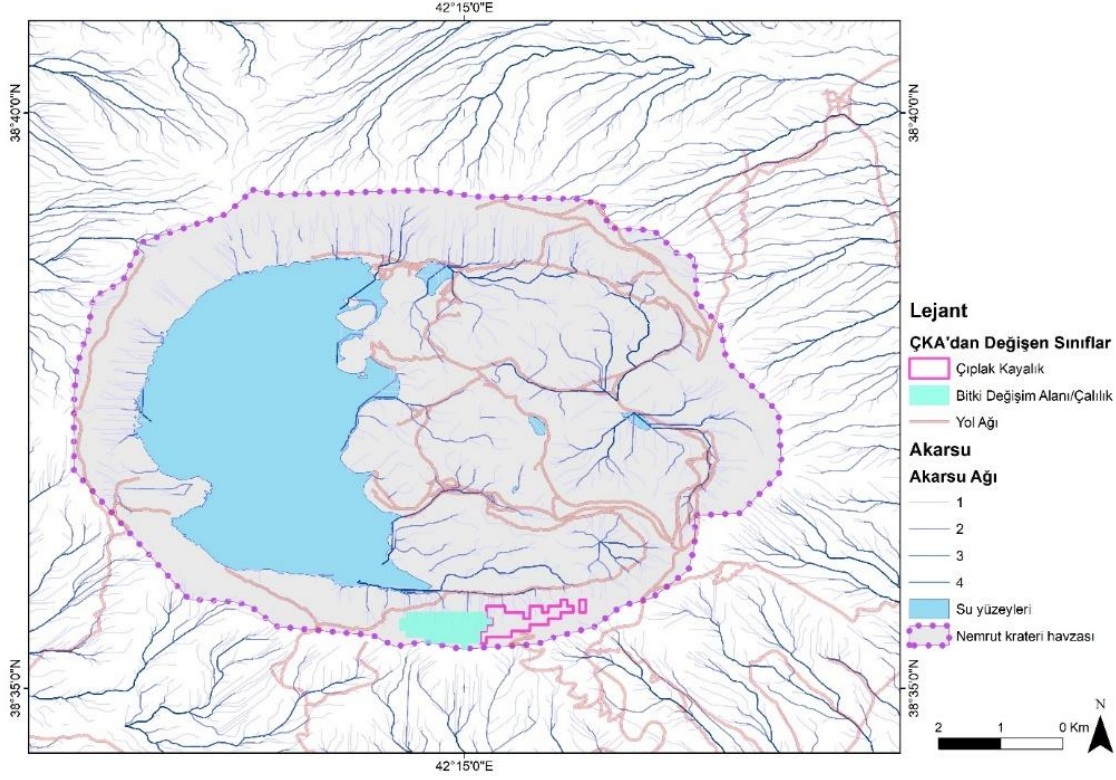
Tablo 2. Nemrut Kalderası'nda arazi örtüsü değişim matrisi (1990-2018)

Orijinal Sınıf (Corine 1990)	Değişim Sınıfı (Corine 2018)	Alan (Ha)	Mevcut Durum
Bitki Değişim Alanları	Doğal Çayırliklar	7	Değişti
	Seyrek Bitki Alanları	7	Değişti
	Su Yüzeyleri	6	Değişti
	Bitki Değişim Alanları	824	Değişmedi
Çıplak Kayalık	Bitki Değişim Alanları	50	Değişti
	Çıplak Kayalık	35	Değişmedi
Doğal Çayırliklar	Seyrek Bitki Alanları	13	Değişti
	Bitki Değişim Alanları	3	Değişti
	Doğal Çayırliklar	1358	Değişmedi
Seyrek Bitki Alanları	Doğal Çayırliklar	6	Değişti
	Bitki Değişim Alanları	314	Değişti
	Seyrek Bitki Alanları	1528	Değişmedi
Su Yüzeyleri	Doğal Çayırliklar	6	Değişti
	Seyrek Bitki Alanları	1	Değişti
	Bitki Değişim Alanları	5	Değişti
	Su Yüzeyleri	1299	Değişmedi

Şekil 8, Nemrut Kalderası'nda 1990 yılında ÇKA olarak sınıflandırılan alanların 2018 yılına kadar hangi arazi örtüsü sınıflarına dönüştüğünü göstermektedir. Analiz, en dikkat çekici değişimin Çıplak Kayalık alanlarının bitki örtüsüyle kaplanması olduğunu ortaya koymaktadır.

Değişim matrisi tablosuna göre, bu dönemde 50 hektarlık Çıplak Kayalık alanı, BDA sınıfına dönüşmüştür. Harita üzerinde bu dönüşümün konumsal dağılımı incelendiğinde:

- Değişim, kalderanın güney kenarında, Nemrut Krater Gölü'nün güneyinde, tek ve bütüncül bir leke halinde yoğunlaşmıştır. Bu alan, bir önceki analizde incelenen ve seyrek bitki örtüsünün sıklaştığı bölgeye komşu bir konumda yer almaktadır.



Şekil 8. Nemrut kalderası'nda 1990-2018 döneminde çıplak kayalık alanlardan bitki değişim alanlarına dönüşen bölgelerin mekânsal dağılımı

Çıplak kayalıkların bitki örtüsüyle kaplanması, ekolojik olarak birincil süksesyon olarak bilinen temel bir sürece işaret edebilir. Bu, daha önce üzerinde yaşam ve toprak bulunmayan bir yüzeyde (bu durumda volkanik kayalar) ekosistemin sıfırdan oluşmaya başlamasıdır.

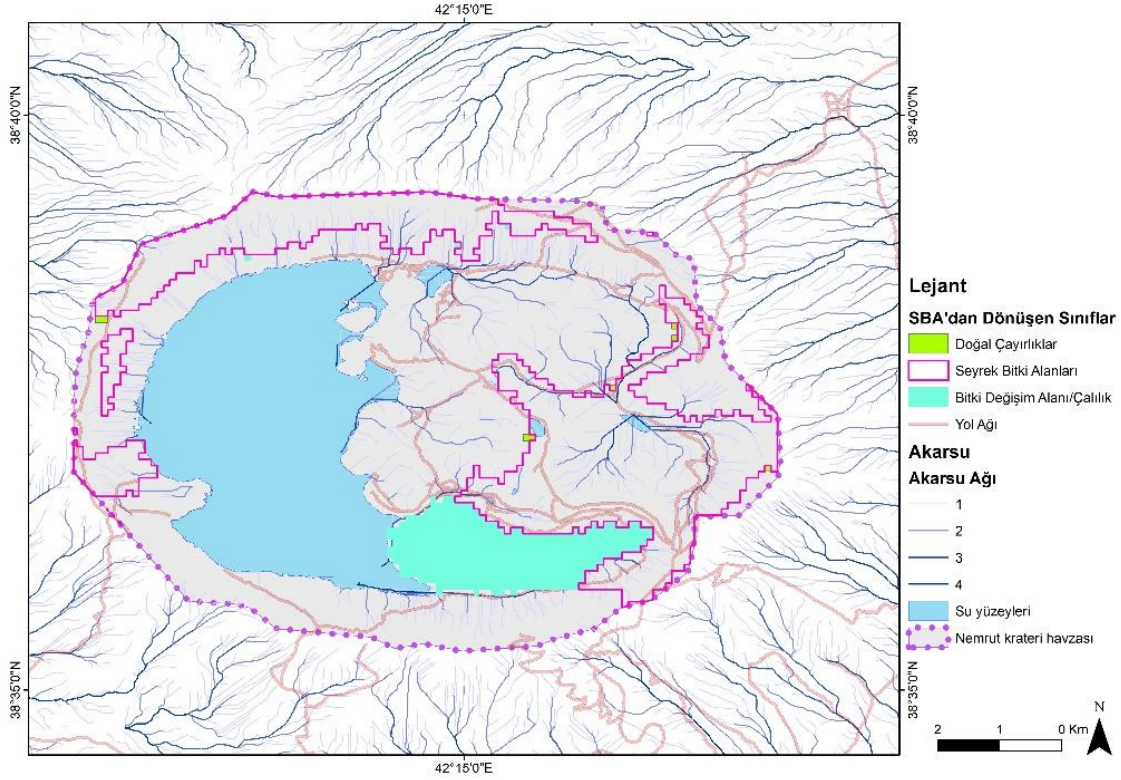
Başlangıç Noktası (1990 - ÇKA): Bu alanlar, toprak oluşumunun olmadığı veya çok zayıf olduğu, bitki yaşamı için elverişsiz, çıplak kaya yüzeylerinden oluşmaktaydı.

Sonuç (2018 - BDA): 28 yıllık süreçte, bu cansız yüzey üzerinde bitki örtüsü tutunmayı başarmış ve çalı formasyonlarının geliştiği bir alana dönüşmüştür. Bu, alanda toprak oluşumunun başladığını ve biyolojik aktivitenin arttığını gösteren en önemli kanıt olarak düşünülebilir.

Hızlandırıcı Faktörler:

- İklimin Rolü: Analiz edilen yağış verileri (Şekil 7), belirli dönemlerdeki bol yağışların kimyasal ayrışmayı hızlandığını ve öncü türlerin gelişimi için gerekli nemi sağladığını düşündürmektedir. Artan nem, tohumların çatlaklarda çimlenme şansını artırır.
- Topoğrafya ve Birikim: Haritadaki değişim alanının konumu, kalderanın daha yüksek yamaçlarından rüzgar ve su ile taşınan ince taneli volkanik materyalin (kül, lapilli) ve organik malzemenin biriktiği bir çanak olabileceğine işaret etmektedir. Bu birikim, tohumların tutunabileceği ve kök salabileceği bir ortam yaratarak süreci önemli ölçüde hızlandırmıştır.
- Koruma Statüsü: Alanın insan ve hayvan müdahalesinden (örneğin, toprak yüzeyini bozacak faaliyetler veya aşırı ezilme) korunuyor olması, bu yavaş ve hassas toprak oluşum sürecinin kesintiye uğramadan devam etmesine olanak tanımıştır.

Nemrut Kalderası'nda 50 hektarlık çıplak kayalık alanın çalılık alana dönüşmesi, bölgenin ekolojik olarak ne kadar dinamik olduğunun ve doğal restorasyon potansiyelinin yüksekliğinin güçlü bir kanıtıdır. Bu bulgu, volkanik bir arazide sıfırdan bir ekosistemin nasıl kurulduğunu gösteren klasik bir birincil süksesyon örneğidir. Topoğrafik olarak avantajlı bir konumda, iklimsel koşulların desteği ve koruma statüsünün sağladığı güvence ile Nemrut Kalderası'nın cansız yüzeyleri dahi yeniden yeşermektedir.



Şekil 9. Nemrut kalderası'nda 1990-2018 döneminde seyrek bitki alanlardan bitki değişim alanlarına dönüşen bölgelerin mekânsal dağılımı

Şekil 9 Nemrut Kalderası'nın 1990 ve 2018 yılları arasındaki arazi örtüsü/kullanımı değişimini, CORINE verilerine dayanarak görselleştirmektedir. Harita, kalderanın hidrolojik yapısını (göller ve akarsu ağı), ulaşım ağını ve en önemlisi, belirlenen zaman aralığında arazi örtüsünde meydana gelen temel dönüşümleri göstermektedir. Lejantta belirtilen "SBA'dan Dönüşen Sınıflar" ve diğer kategoriler, bu dinamik yapıyı ortaya koymaktadır.

- **En Yaygın Değişim: SBA'ndan BDA Dönüşümün Analizi**
Verilen değişim tablosu incelendiğinde, 1990-2018 dönemindeki en büyük alansal değişimin 314 hektarlık bir alanın SBA sınıfından BDA sınıfına dönüşmesi olduğu açıkça görülmektedir. Bu dönüşüm, harita üzerinde şu şekilde yorumlanabilir:
Harita turkuaz renk ile gösterilen ve "BDA" olarak tanımlanan bu büyük değişim alanı, kalderanın güneydoğu kesiminde yoğunlaşmıştır. Özellikle kaldera içindeki su yüzeyinin, güney ve doğu yamaçlarını kaplamaktadır. Bu alan, 1990 yılında bitki örtüsünün seyrek olduğu bir bölge iken, 2018 yılına gelindiğinde daha yoğun bir bitki örtüsü olan çalı formasyonlarına evrilmiştir.
- **Ekolojik Anlamı:** Bu dönüşüm, basit bir sınıf değişiminden öte, önemli bir ekolojik süksesyon (ardıllaşma) sürecine işaret etmektedir.
- **SBA:** Genellikle düşük bitki yoğunluğuna sahip, toprak veya kaya yüzeyinin geniş yer kapladığı, otsu veya cılız çalı türlerinin bulunduğu alanlardır.
- **BDA:** Bitki örtüsünün sıklaştığı, odunsu bitkilerin (çalıların) hâkim olmaya başladığı bir geçiş aşamasını temsil eder. Bu, biyokütlenin arttığı ve ekosistemin daha karmaşık bir yapıya büründüğü anlamına gelir.

Dolayısıyla, 314 hektarlık bu alanda bitki örtüsünde bir yoğunlaşma ve gelişim yaşanmıştır. Sonuç olarak bu çalışma, Nemrut Kalderası'nda 1990-2018 yılları arasında bitki örtüsünde genel bir iyileşme eğilimi olduğunu düşündürmektedir. Bu sürecin arkasındaki ana etkenin koruma statüsü olduğu tahmin edilse de, uzun vadeli bir yağış trendi olmamasına rağmen, ara dönemlerdeki kurak ve yağışlı periyotların bu süreci nasıl şekillendirdiği önemli bir soru işareti olarak kalmaktadır. Bu nedenle, kalderanın bir bütün olarak değil, farklı dinamiklere sahip alt birimlerden oluşan bir mozaik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın bulguları, daha detaylı zamansal analizler için bir başlangıç noktası sunmaktadır.

4. Tartışma

Bu bölümde, önceki bölümde sunulan nicel ve mekânsal bulguların ekolojik anlamları, bu değişimlerin arkasındaki potansiyel nedenler ve Nemrut Kalderası ekosisteminin genel dinamikleri, ilgili literatür ışığında ve çalışmanın metodolojik sınırlılıkları çerçevesinde ele alınacaktır.

4.1. Çalışmanın Sınırlılıkları

Bu çalışmada gözlemlenen vejetasyon yoğunlaşmasının arkasında doğal süksesyon ve koruma statüsü gibi faktörlerin öne çıktığı düşünülmektedir. Ancak, bu çalışmanın bir sınırlılığı, değişimin potansiyel sürücülerini analiz ederken büyük ölçüde yağış verilerine odaklanılmış olmasıdır. Vejetasyon dinamiğini doğrudan etkileyebilen sıcaklık trendleri veya bitki sağlığının bir göstergesi olan NDVI gibi vejetasyon indekslerindeki değişimlerin analize dahil edilmesi, bulguların daha bütüncül bir çerçevede yorumlanmasını sağlayacaktır. Bu nedenle, bu çalışmanın sonuçları bu sınırlılıklar göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir.

Arazi örtüsü değişimini 1990 ve 2018 yılları arasındaki net fark üzerinden incelemiştir. Bu yaklaşım, analiz periyodu içindeki iklimsel dalgalanmaların (örneğin 1990-2000 arası görece kurak dönem ve 2000-2006 arası yağışlı dönem) sürece olan etkisini detaylı bir şekilde ortaya koyamamaktadır. Yağış grafiği incelendiğinde, bu farklı rejimlerin, bitki örtüsündeki iyileşme hızını dönem dönem yavaşlatmış veya hızlandırmış olması muhtemeldir.

Bu durum, çalışmanın önemli bir sınırlılığıdır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, CORINE'nin 2000, 2006 ve 2012 gibi ara yıllarının da analize dahil edilmesi ve her bir alt dönemin değişim dinamiklerinin kendi iklimsel koşullarıyla ilişkilendirilmesi, Nemrut Kalderası'ndaki ekolojik süreçlerin çok daha kapsamlı anlaşılmasını sağlayacaktır.

Son olarak, zamansal dinamiklerin yanı sıra, değişimin mekânsal desenlerini etkileyen mikro-klimatik faktörler de bu çalışmanın kapsamında incelenememiştir. Nemrut Kalderası gibi karmaşık bir topoğrafyada, bakı (yamaç yönelimi) ve rüzgâra maruz kalma gibi faktörler, toprak nemini ve sıcaklığını yerel ölçekte belirleyerek bitki örtüsünün gelişimini önemli ölçüde etkiler. Değişimin özellikle kuzeye bakan, daha nemli yamaçlarda yoğunlaşması veya rüzgâra açık sırtlarda daha yavaş olması muhtemeldir. Bu mikro-klimatik değişkenlerin rolünün nicel olarak analiz edilmesi, "değişim neden ve nerede gerçekleşti?" sorusuna daha kesin yanıtlar verecek ve gelecekteki araştırmalar için önemli bir yol haritası sunacaktır.

4.2. Değişimin Olası Nedenleri

Nemrut Kalderası'nın bu özel bölgesinde bitki örtüsünün yoğunlaşmasının altında yatan birkaç olası neden olabilir.

- **Antropojenik Baskının Azalması:** Bu tür bir vejetasyon gelişiminin en yaygın nedenlerinden biri, bölgedeki otlatma baskısının azalmasıdır. Eğer geçmişte bu alanlar yoğun bir şekilde hayvan otlatması için kullanılıyorsa, otlatmanın yasaklanması veya azalması, bitkilerin baskı altından kurtularak doğal gelişimlerini sürdürmelerine ve çalı formasyonlarının oluşmasına olanak tanımış olabilir. Nemrut Kalderası'nın koruma statüsü (Milli Park, Jeopark vb.) bu durumu destekleyen bir faktör olabilir. Bulgular, Nemrut Kalderası'nın koruma statüsünün vejetasyonun iyileşmesinde önemli bir rol oynadığını düşündürmektedir. Bu sonuç, korunmuş alanların etkinliğini değerlendiren diğer çalışmalarla uyumludur. Cole vd. (2022) de İngiltere'deki korunan peyzajların dinamiklerini inceleyerek koruma statüsünün arazi örtüsü üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamıştır.
- **İklimsel Değişiklikler:** Daha önce analizini yaptığımız yağış grafiği ile bu durum ilişkilendirilebilir. Belirli periyotlarda (örneğin 1990'ların sonu) görülen ortalamanın üzerindeki yağışlar, toprak nemini artırarak çalı türlerinin tohumlarının çimlenmesi ve gelişmesi için uygun koşulları yaratmış olabilir. Artan sıcaklıklar vejetasyon büyüme sezonunu uzatmış olabilir.
- **Doğal Süksesyon:** Volkanik arazilerde toprak oluşumu yavaş olabilir. Bu alanlar, doğal sürecin bir parçası olarak, zamanla seyrek bitki örtüsünden daha gelişmiş çalı ve orman ekosistemlerine doğru evrilebilir. Gözlemlenen değişim, insan müdahalesi olmaksızın işleyen doğal bir ardılık süreci olabilir.
- **Toprak ve Topoğrafya Koşulları:** Haritadaki konumu (güneydoğu yamaçlar), bu bölgenin belki de daha fazla güneş alması, rüzgardan daha korunaklı olması veya suyun daha fazla biriktiği bir alanda yer alması gibi yerel topoğrafik avantajlara sahip olabileceğini düşündürmektedir. Bu faktörler, bitki gelişimini diğer alanlara göre hızlandırmış olabilir. Bu çalışmanın kapsamında detaylı bir bakı veya rüzgar analizi yapılmamış olsa da, gözlemlenen mekânsal desenler, bu tür mikro-klimatik avantajların araştırılması gereken önemli bir faktör olduğuna işaret etmektedir.

Nemrut Kalderası'nda 1990-2018 yılları arasında gözlemlenen en büyük arazi örtüsü değişikliği, 314 hektarlık bir alanın seyrek bitki örtüsünden çalı formasyonuna dönüşmesidir. Bu durum, kalderanın güneydoğu kesiminde belirgin bir ekolojik iyileşme ve vejetasyon yoğunlaşması olduğunu göstermektedir. Bu değişimin arkasındaki ana itici güç

elverişli iklimsel koşullarla desteklenen doğal süksesyon süreçleri olduğu düşünülmektedir. Bu bulgu, kalderanın koruma statüsünün ekosistem sağlığı üzerindeki olumlu etkilerinin bir göstergesi olarak da yorumlanabilir.

4.2.1. Mozaik Yapıdaki Küçük Ölçekli Değişimler

Tablo 2’de bahsi geçen mozaik yapıdaki küçük ölçekli değişimler Nemrut Kalderası’ndaki arazi örtüsü dinamikleri, baskın olarak gözlemlenen büyük ölçekli vejetasyon gelişimlerinin (Çıplak Kayalık ve Seyrek Bitki Alanlarından BDA’na geçiş) yanı sıra, daha küçük alanlarda gerçekleşen ve ekosistemin karmaşık yapısını ortaya koyan bir dizi mikro-değişimi de içermektedir. Toplamda birkaç on hektarı bulan bu değişimler, harita üzerinde dağınık ve küçük lekeler halinde bulunsalar da kalderanın ekolojik sağlığı, hassasiyeti ve dinamizmi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Bu değişimler üç ana başlık altında incelenebilir:

a. Lokal Bozulma ve Ekolojik Gerileme Alanları

Tablo verileri, genel iyileşme eğiliminin aksine, küçük de olsa bitki örtüsünde gerileme yaşanan alanların varlığını göstermektedir.

- Doğal Çayırliklar → Seyrek Bitki Alanları (13 ha)
- Bitki Değişim Alanları → Seyrek Bitki Alanları (7 ha)

Bu değişimler, bitki yoğunluğunun azaldığı lokal "stres noktalarına" işaret eder. Bu durumun olası nedenleri şunlar olabilir:

- Yerel Fiziksel Koşullar: Aşırı eğimli, rüzgâra açık veya toprak tabakasının çok ince olduğu yamaçlarda bitki örtüsü tutunamamış olabilir. Kurak geçen yıllarda bu tür hassas alanlarda bitki ölümleri yaşanması muhtemeldir.
- Antropojenik Etkiler: Patika güzergahları üzerindeki yoğun insan kullanımı, yasa dışı veya kontrolsüz küçük ölçekli otlatma veya belirli noktalarda yapılan küçük inşaat faaliyetleri gibi noktasal insan etkileri, bitki örtüsünün zayıflamasına neden olmuş olabilir.
- Doğal Bozulmalar: Küçük çaplı heyelanlar veya kaya düşmeleri gibi doğal olaylar, mevcut bitki örtüsünü ortadan kaldırarak seyrek bitki veya çıplak kaya alanları oluşturabilir.

Bu 20 hektarlık gerileme, kalderanın genel olarak iyileşme eğiliminde olmasına rağmen, ekosistemin her noktasının aynı derecede dirençli olmadığını ve lokal faktörlere karşı hassas olduğunu göstermektedir.

b. Çok Yönlü Ekolojik Süksesyon ve Gelişim

Büyük ölçekli iyileşmenin yanı sıra, farklı süksesyonel adımları temsil eden küçük değişimler de mevcuttur:

- Seyrek Bitki Alanları → Doğal Çayırliklar (6 ha)
- Doğal Çayırliklar → Bitki Değişim Alanları (3 ha)
- Bitki Değişim Alanları → Doğal Çayırliklar (7 ha)

Bu değişimler, kaldera ekosisteminin statik olmadığını, aksine farklı bitki kompozisyonları arasında sürekli bir rekabet ve geçiş olduğunu kanıtlar. Özellikle BDA sınıfından Doğal Çayırliklar'a olan 7 hektarlık geçiş, çalılarının yerini otların aldığı bir sürece işaret eder. Bu durum, lokal bir yangın, hastalık veya çalılarının gelişimini engelleyen başka bir faktör sonrası otların alanı hızla kaplamasıyla açıklanabilir. Bu küçük ölçekli değişimler, kalderanın bir "ekolojik mozaik" olduğunu ve her bir parçanın farklı bir gelişim aşamasında olabileceğini göstermektedir.

c. Su Yüzeyi Sınırlarındaki Değişimler ve Hidrolojik Hassasiyet

En dikkat çekici küçük ölçekli değişimlerden biri de su yüzeylerinin kara ekosistemleriyle olan etkileşimidir:

- Su Yüzeyleri → Doğal Çayırliklar (6 ha), Seyrek Bitki Alanları (1 ha), Bitki Değişim Alanları (5 ha)
- Bitki Değişim Alanları → Su Yüzeyleri (6 ha)

Toplamda 12 hektarlık bir su yüzeyi karaya dönüşmüş ve bu alanlar hızla bitkiler tarafından kolonize edilmiştir. Bu durum, incelenen periyotta Nemrut Krater Gölü'nün su seviyesinde bir çekilme yaşandığının güçlü bir göstergesidir. Göl kıyısının geri çekilmesiyle açığa çıkan verimli ve nemli alanlar, bitkiler için ideal bir yaşam ortamı oluşturmuştur. Bu bulgu, yağış analiz grafiğinde görülen kurak yıllarla doğrudan ilişkilendirilebilir.

Diğer yandan, 6 hektarlık bir alanın sudan karaya dönüşmesi, lokal olarak su seviyesinin yükseldiği küçük bir alanı veya yeni bir su birikintisinin oluşumunu gösterebilir. Ancak net değişim (-6 ha), genel eğilimin su yüzeyi kaybı yönünde olduğunu teyit etmektedir.

Nemrut Kalderası'nda 1990-2018 döneminde yaşanan arazi örtüsü değişimleri, büyük alanlarda görülen bir vejetasyon iyileşmesi trendi ile karakterize edilse de, küçük ölçekli değişimler bu resme önemli detaylar katmaktadır. Bu mikro-değişimler, kaldera ekosisteminin lokal bozulmalara karşı hassasiyetini, farklı süksesyonel yolların bir arada işlediğini ve özellikle su seviyesi değişimleri aracılığıyla iklimsel dalgalanmalara ne kadar duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, kalderanın bir bütün olarak değil, farklı dinamiklere sahip alt birimlerden oluşan bir mozaik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, bu çalışma ekosistemin 'mozaik' yapısını 1990 ve 2018 olmak üzere iki ana zaman kesiti üzerinden değerlendirmektedir.

Bu dinamik yapının evrimini daha detaylı anlayabilmek için, CORINE'in ara dönemlerine (örn. 2000, 2006, 2012) ait verilerin de analize dahil edildiği daha yüksek zamansal çözünürlüklü bir yaklaşım, farklı değişim süreçlerinin hızını ve yönünü daha sağlıklı bir şekilde ortaya koyacaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, bu analizin sıcaklık ve NDVI gibi farklı iklimsel ve ekolojik göstergelerle zenginleştirilmesi, değişimlerin arkasındaki karmaşık nedensellik ilişkilerinin daha derinlemesine anlaşılmasına olanak tanıyacaktır.

Kaynaklar

- Alkan, H., Toker, M., & Akkaya, İ. (2023). Van Gölü havzası ve civarının deprenselliğine genel bir bakış. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(1), 317–333. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1138320>
- Aydınöz, D., Ayan, S., & Tunç, H. (2024). Lübnan meşesi (*Quercus libani* Olivier)'nin İç Anadolu Bölgesi'ndeki yeni yayılış alanı: Kayseri-Pınarbaşı. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 103–109.
- Bachri, S., Fathoni, M., Sumarmi, S., Masruroh, H., Wibowo, N., Khusna, N., ... Yudha, L. (2023). Geomorphological mapping and landform characterization of Semeru Volcano after the eruption in 2021. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1180(1), Article 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1180/1/012004>
- Chen, S., & Lin, Z. (2025). Research on ecological environment monitoring and protection applications based on remote sensing technology. *Academic Journal of Science and Technology*, 14(1), 55–57. <https://doi.org/10.54097/k03eem97>
- Chen, Z., Liu, Y., Duan-lv, C., & Peng, B. (2024). Exploring the impacts of land use and land cover change on ecosystem services in Dongting Lake, China: A spatial and temporal analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 12, Article 1395557. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1395557>
- Çilek, A. (2021). Mapping soil erosion in regulating ecosystem services: The case of Göksu Basin. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(2), 409–419. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.982792>
- Cole, B., Smith, G., Barrera-Bautista, B., Hamer, A., Payne, M., Codd, T., ... Balzter, H. (2022). Dynamic landscapes in the UK driven by pressures from energy production and forestry—Results of the CORINE land cover map 2018. *Land*, 11(2), Article 192. <https://doi.org/10.3390/land11020192>
- Gabrielli, S., Spagnolo, M., & Siena, L. (2020). Geomorphology and surface geology of Mount St. Helens Volcano. *Journal of Maps*, 16(2), 585–594. <https://doi.org/10.1080/17445647.2020.1790048>
- Gürbüz, O. (2014). Turizm coğrafyası açısından Nemrut Kalderası. *Türk Coğrafya Dergisi*, 30, 255–265.
- Kubacka, M., & Smaga, Ł. (2019). Effectiveness of Natura 2000 areas for environmental protection in 21 European countries. *Regional Environmental Change*, 19(7), 2079–2088. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01543-2>
- Kurttaş, T., & Tezcan, L. (2017). Nemrut Kaldera göllerinin su kaynakları potansiyeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), Article 823. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.93985>
- Kyzy, K., Atyshov, K., & Lehnert, L. (2025, 27 April–2 May). *Analysis of changes in land cover in the Kyrgyz Republic using remote sensing data* [Conference Presentation]. EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-8744>
- Liu, M., Wei, H., Dong, X., Wang, X., Zhao, B., & Zhang, Y. (2022). Integrating land use, ecosystem service, and human well-being: A systematic review. *Sustainability*, 14(11), Article 6926. <https://doi.org/10.3390/su14116926>
- MacInnes, B., Fitzhugh, B., & Holman, D. (2014). Controlling for landform age when determining the settlement history of the Kuril Islands. *Geoarchaeology*, 29(3), 185–201. <https://doi.org/10.1002/gea.21473>
- Mahto, R., Sahu, M., & Soni, P. (2022). Change detection of vegetative covers in Kalara Nala watershed of Damoh District using remote sensing and GIS. *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(12), 1680–1689. <https://doi.org/10.9734/ijec/2022/v12i12121611>
- Mashala, M., Dube, T., Mudereri, B., Ayisi, K., & Ramudzuli, M. (2023). A systematic review on advancements in remote sensing for assessing and monitoring land use and land cover changes impacts on surface water resources in semi-arid tropical environments. *Remote Sensing*, 15(16), Article 3926. <https://doi.org/10.3390/rs15163926>
- Mirauda, D., Padula, M., Mirauda, E., Paternò, C., D'Onofrio, F., & Loguercio, D. (2022). A preliminary analysis of anthropogenic and natural impacts on a volcanic lake ecosystem in southern Italy by UAV-based monitoring. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), Article 5. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010005>
- Mugari, E., & Masundire, H. (2022). Consistent changes in land-use/land-cover in semi-arid areas: Implications on ecosystem service delivery and adaptation in the Limpopo Basin, Botswana. *Land*, 11(11), Article 2057. <https://doi.org/10.3390/land11112057>
- Mutaqin, B., Marfai, M., Hadmoko, D., Lavigne, F., Faral, A., Wijayanti, H., ... Riasasi, W. (2021). Geomorphology of the small island of Tidore and Hiri (North Maluku, Indonesia). *E3S Web of Conferences*, 325, Article 03012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132503012>

- Nolan, J., & Graettinger, A. (2022). Small-volume monogenetic igneous landforms and edifices statistics (SMILES): A catalog of representative mafic volcanic landforms to enable quantitative remote identification. *Frontiers in Earth Science*, 10, Article 910107. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.910107>
- Öztürk, A., & Özcan, A. (2021). Uzaktan algılama teknikleri kullanarak RUSLE-C faktör haritalarının oluşturulması: Kırıkkale/Sarıklı havzası. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 143–151. <https://doi.org/10.53516/ajfr.992673>
- Pomatto, E., Devecchi, M., & Larcher, F. (2022). Coevolution between terraced landscapes and rural communities: An integrated approach using expert-based assessment and evaluation of winegrowers' perceptions (Northwest Piedmont, Italy). *Sustainability*, 14(14), Article 8624. <https://doi.org/10.3390/su14148624>
- Syed, R., Khan, J., Kumar, R., Lone, F., Mir, S., & Khan, I. (2023). Analysis of changes in land use and land cover in Central Kashmir of the Great Himalayas using geospatial technologies. *Environment Conservation Journal*, 24(1), 183–188. <https://doi.org/10.36953/ecj.12542350>
- Szakács, A., & Kovacs, M. (2022). Volcanic landforms and landscapes of the East Carpathians (Romania) and their geoheritage values. *Land*, 11(7), Article 1064. <https://doi.org/10.3390/land11071064>
- Tiengo, R., Miguel, S., Uchôa, J., & Gil, A. (2024). A land cover change detection approach to assess the effectiveness of conservation projects: A study case on the EU-funded LIFE projects in São Miguel Island, Azores (2002–2021). *Land*, 13(5), Article 666. <https://doi.org/10.3390/land13050666>
- Tokgöz, G., & Güngör, O. (2023). Amanos Dağları'nın sağladığı ekosistem hizmetlerinin DPSIR çerçevesi ile incelenmesi. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 120–136. <https://doi.org/10.51552/peyad.1365621>
- Ursu, A., Stoleriu, C., Ion, C., Jitariu, V., & Enea, A. (2020). Romanian Natura 2000 network: Evaluation of the threats and pressures through the CORINE land cover dataset. *Remote Sensing*, 12(13), Article 2075. <https://doi.org/10.3390/rs12132075>
- Wang, J., Hu, A., Meng, F., Zhao, W., Yang, Y., Soininen, J., ... Zhou, J. (2022). Embracing mountain microbiome and ecosystem functions under global change. *New Phytologist*, 234(6), 1987–2002. <https://doi.org/10.1111/nph.18051>
- Wikipedia. (2020, 23 Haziran). *Nemrut Gölü*. 20 Haziran 2025'te https://tr.wikipedia.org/wiki/Nemrut_G%C3%B6l%C3%BC#/media/Dosya:Nemrut_Krater_G%C3%B6l%C3%BC.jpg adresinden alındı.
- Yiğit, E., & Var, M. (2023). Ekolojik koridorlarda peyzaj yapısının ve değişiminin tanımlanması: Sazlıdere-Küçükçekmece örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 24(1), 196–205.
- Zhang, M., Bu, Z., Liu, S., Chen, J., Cui, Y., & Chen, X. (2020). Lake–mire ecosystem transformation and its possible forcing mechanisms in volcanic landform regions: A case study in the Gushantun peatland of Northeast China. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(13), 3141–3154. <https://doi.org/10.1002/esp.4956>