

Topografyanın İnsan Modifikasyonu Üzerindeki Etkisi: Doğu ve Orta Karadeniz Örneği

Büşra ERASLAN*^{ID}

İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.

Anahtar Kelimeler

İnsan Modifikasyonu
Topoğrafya
Yükselti
Eğim
Bakı

Araştırma Makalesi

Geliş: 29.04.2024
Kabul: 24.06.2024
Yayınlanma: 29.06.2024



Özet

Bu çalışma, Doğu ve Orta Karadeniz Bölgelerinde topoğrafyanın insan faaliyetleri üzerindeki etkilerini detaylı olarak inceler. Araştırmanın temel amacı, bölgedeki eğim, bakı ve yükselti gibi topoğrafik faktörlerin insan etkinlikleri üzerindeki etkilerini belirlemektir. Bu analizler, CSP gHM: Global Human Modification veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu veri seti, Google Earth Engine platformu üzerinden erişilebilir olup, küresel insan etkilerinin yoğunluğunu göstermek amacıyla tasarlanmıştır. Ayrıca, Copernicus'un 30 metre çözünürlüklü DEM (Dijital Yükseklik Modeli) görüntüleri kullanılmış ve bu görüntüler, araştırma sahasının yükselti, eğim ve bakı haritalarının üretilmesi için QGIS raster calculator ile işlenmiştir. Raster calculator, bu topoğrafik verilerin insan modifikasyonu değerleri ile nasıl etkileşime girdiğini analiz etmek için kullanılan bir araçtır. Çalışma sahası, Karadeniz'in Gürcistan'a sınırı olan kuzey sınırından, doğuda Çoruh Nehri ile batıda Yeşilirmak Nehri'ne kadar uzanmaktadır. Bu coğrafi çerçevede, araştırma, farklı yükseklik ve eğim seviyeleri ile insan faaliyetlerinin yoğunluğunun bölgesel planlama ve kaynak yönetimi uygulamalarında nasıl dikkate alınması gerektiğini vurgular. Sonuçlar, topoğrafya ile insan faaliyetleri arasındaki etkileşimin çevresel dinamikler üzerindeki kapsamlı etkilerini göstermekte ve bölge için sürdürülebilir yönetim stratejileri geliştirilmesine yönelik değerli bilgiler sunmaktadır. Bu bilgiler, bölgesel ekosistemlerin korunması ve sürdürülebilir kullanımı için stratejik planlamalar yapılmasında temel teşkil etmektedir.

The Impact of Topography on Human Modification: The Case of Eastern and Central Black Sea

Keywords

Human modification
Topography
Elevation
Slope
Aspect

Research Article

Received: 29.04.2024
Accepted: 24.06.2024
Published: 29.06.2024

Abstract

This study thoroughly investigates the impacts of topography on human activities in the Eastern and Central Black Sea Regions. The primary objective of this research is to determine the effects of topographic factors such as slope, aspect, and elevation on human activities in the area. These analyses were conducted using the CSP gHM: Global Human Modification data set, which is accessible through the Google Earth Engine platform and is designed to display the intensity of global human impacts. Additionally, 30-meter resolution DEM images from Copernicus were utilized, and these images were processed using the QGIS raster calculator to produce elevation, slope, and aspect maps of the research area. The raster calculator is a tool used to analyze how these topographic data interact with human modification values. The study area extends from the northern borders of the Black Sea to the Çoruh River in the east and the Yeşilirmak River in the west. Within this geographic framework, the research emphasizes the necessity of considering different elevation and slope levels along with the intensity of human activities in regional planning and resource management applications. The results demonstrate the extensive effects of the interaction between topography and human activities on environmental dynamics and provide valuable information for developing sustainable management strategies for the region. This information is fundamental for strategic planning aimed at the conservation and sustainable use of regional ecosystems.

1. Giriş

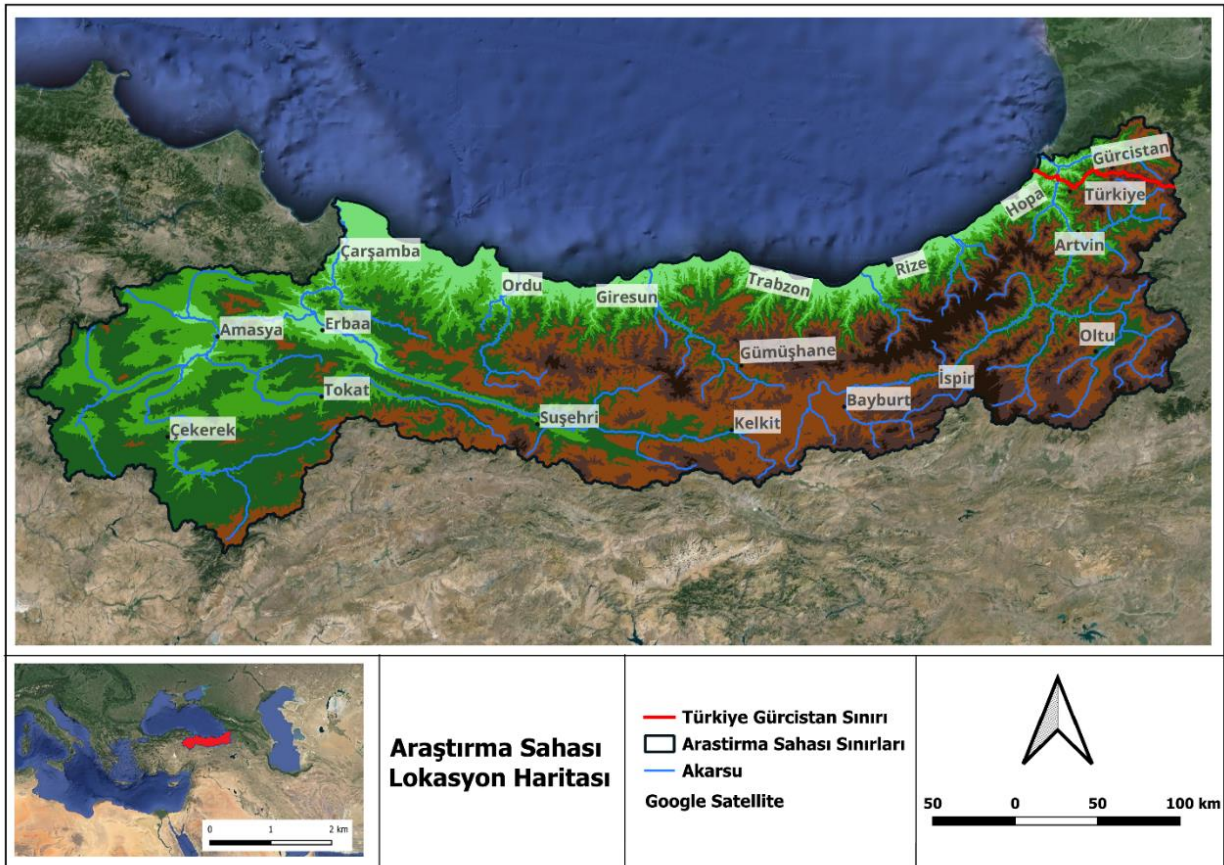
İnsan faaliyetleri küresel ölçekte biyoçeşitlilik, ekosistemin işlevselliği ve topoğrafya üzerinde dramatik etkilere sahiptir (Ellis vd., 2010; Newbold vd., 2015; Pawlus vd., 2020; Steffen vd., 2015). Ancak, bu etkileşim karşılıklıdır; özellikle topoğrafya, insan faaliyetlerinin şekillenmesinde sınırlayıcı bir rol oynamaktadır. Artan şehirleşme ve yoğunlaşan tarım faaliyetleri gibi unsurların, bölgesel topoğrafik koşullarla nasıl etkileşime girdiği ve bu etkileşimin biyoçeşitlilik ve ekosistem sürdürülebilirliği üzerindeki sonuçları büyük önem taşımaktadır.

Bu araştırmanın temel amacı, Doğu ve Orta Karadeniz bölümlerindeki topoğrafyanın insan faaliyetleri üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde analiz etmektir. Bu bölgedeki karmaşık ve dinamik topoğrafya, çeşitli insan faaliyetlerinin şekillendirilmesinde belirleyici bir rol oynamakta ve bu etkileşimler ekosistem sağlığı ve biyoçeşitlilik üzerinde önemli sonuçlar doğurmaktadır. Araştırmanın birincil hedefi, eğim, bakı ve yükselti gibi topoğrafya şartlarının, insan modifikasyonu üzerindeki etkilerini alansal olarak hesaplamaktır. Bu analiz, bölgenin ekolojik yapısını daha iyi anlamamıza ve insan faaliyetlerinin yönetimi için stratejiler geliştirmemize yardımcı olacaktır. İkincil hedef, insan modifikasyonunun yüksek, orta ve düşük seviyelerini belirlemek ve bu modifikasyon derecelerini harita üzerinde görselleştirmektir. Bu sayede, bölgedeki insan etkisinin yoğunluğunun ve dağılımının somut bir biçimde gözlemlenmesi sağlanacaktır.

Bu çalışmada, insan faaliyetlerinin topoğrafik koşullar üzerindeki etkileri, Theobald (2013) tarafından geliştirilmiş olan İnsan Modifikasyonu (HM) modeli kullanılarak incelenmiştir. Bu model, küresel ölçekte insan kaynaklı

stresörlerin yerleşim, tarım, ulaşım, madencilik ve enerji üretimi gibi unsurların etkilerini değerlendirmek üzere tasarlanmıştır. Araştırmamızda, bu model doğrultusunda, Google Earth Engine aracılığıyla Kennedy ve ark. (2019) tarafından geliştirilen CSP gHM: Global Human Modification veri setinden yararlanılmıştır. Ayrıca, arazi özelliklerini detaylı bir şekilde analiz edebilmek için Copernicus'un 30 metre çözünürlüğündeki DEM görüntülerinden elde edilen yükselti, eğim ve bakı haritaları sınıflandırılarak QGIS raster calculator kullanılarak alansal hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler, çalışma sahasındaki çevresel değişimleri kapsamlı bir biçimde değerlendirmemize olanak tanımaktadır.

Küresel ölçekte insan etkinliklerinin doğal habitatlar üzerindeki etkileri, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem hizmetlerinin korunması için yeni yöntemlerin geliştirilmesini gerektirmektedir (Theobald, 2013; Dinerstein vd., 2017; Kennedy vd., 2019). Bu çalışmada, Theobald (2013) tarafından geliştirilen İnsan Modifikasyonu (HM) modeli kullanılarak, arazi kullanımı yoğunluğunun ve çeşitliliğinin, doğal arazi yapısını nasıl dönüştürdüğü ele alınmaktadır. Özellikle, topoğrafik değişkenler olan bakı, yükselti basamakları ve eğim değerlerinin, insan faaliyetlerinin yoğunluğu ve doğal kaynakların kullanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu faktörlerin, arazi kullanım kararlarında ve biyoçeşitliliğin sürdürülmesinde oynadığı kritik roller, global çapta koruma ve sürdürülebilir kalkınma çabalarına rehberlik etmektedir (Fritz vd., 2017). Arazi kullanımının yoğunlaştırılmasının ve çeşitlenmesinin, farklı yükselti, eğim ve bakı şartlarına sahip bölgelerde nasıl farklılaştığını ve bu farklılıkların ekolojik işlevler ve biyoçeşitlilik üzerindeki sonuçları detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir (Verburg vd., 2013; Aik vd., 2021a).



Şekil 1. Araştırma sahası lokasyon haritası.

Bu araştırma, çalışma sahasının doğal ve beşeri özelliklerini şekillendiren dinamikler üzerine odaklanmaktadır. Coğrafi olarak, çalışma sahasımız; doğal sınırlarını kuzeyde Karadeniz'in oluşturduğu, doğuda Çoruh Nehri havzası ve batıda Yeşilirmak havzası arasında kalan geniş bir alana yayılmaktadır. Araştırma sahasımızın doğu sınırını, Gürcistan'ın Acara Özerk Cumhuriyeti'nden (Batum) Karadeniz'e dökülen Çoruh Nehri oluşturmaktadır. Batı sınırı ise Türkiye'nin Samsun şehrinde Karadeniz'e akış sağlayan Yeşilirmak Nehri ana kolu ile sınırlanmıştır. Sahanın Güney sınırını, bu iki nehrin havza sınırları oluşturmaktadır. Bölge hem biyoçeşitlilik açısından zengin habitatları hem de yoğun insan etkinliklerini barındıran karmaşık bir topoğrafyaya sahiptir. Araştırmamız, bu coğrafi alanın, bölgedeki insan faaliyetleri üzerindeki etkileşimleri ve çevresel sonuçları üzerine derinlemesine bir bakış sunmayı hedeflemektedir. Bu çerçevede, bölgenin doğal yapısının insan yaşamı ve faaliyetleri üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini analiz edilmektedir (Şekil 1).

İnsan faaliyetlerinin ekolojik ve sosyoekonomik sistemler üzerindeki etkileri, küresel ve bölgesel ölçekte geniş çapta incelenmiştir. Belote (2018) çalışmasında, biyoçeşitlilik açısından zengin ormanların, insan modifikasyonlarından yoğun bir şekilde etkilendiğini belirtmiş ve bu durumun nedenlerini araştırmıştır. Ekosistem işlevleri üzerinde biyoçeşitliliğin rolünün, yaban hayatı ve tarım ekosistemlerinin yönetimi politikalarını nasıl etkileyebileceğini tartışmıştır. Kennedy ve ark. (2019) yaptığı çalışma, küresel insan modifikasyon gradyanını ve bu modifikasyonların biyoçeşitlilik koruma stratejileri üzerindeki etkilerini değerlendirmiş, insan faaliyetlerinin doğal habitatlar üzerindeki baskılarını ve bu baskıların yönetilmesi gerekliliğini vurgulamıştır. Elsen ve ark. (2020), iklim değişikliğinin, türlerin beklentilerini nasıl değiştirdiğini ve insan baskısının dağlık alanlardaki türler üzerindeki etkilerini incelerken, bu tür değişikliklerin karmaşık topoğrafya ve artan insan etkileriyle nasıl şekillendiğini araştırmışlardır. Aik ve ark. (2021b) çalışması ise, Cameron Highlands bölgesindeki topoğrafyanın, arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin bölgesel iklim üzerindeki etkilerini incelerken, bu değişimlerin ekosistemler üzerindeki uzun vadeli etkilerini detaylandırmıştır. Bu çalışmalar, özellikle biyoçeşitlilik açısından zengin bölgelerde, insan faaliyetlerinin yol açtığı değişikliklerin detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Araştırma sahasının Doğu ve Orta Karadeniz bölümlerinin kompleks ve dinamik topografik yapısının, insan yerleşimi ve ekonomik faaliyetler üzerindeki etkilerini anlamak için kritik öneme sahiptir. Bu etkileşimler, topoğrafyanın korunması ve sürdürülebilir kullanımı konusunda yeni stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmanın temelinde, Doğu ve Orta Karadeniz bölümlerinde topoğrafyanın insan faaliyetlerine olan etkilerini anlamak yatmaktadır. Araştırmamızda yanıt aranmış temel sorular şunlardır: İlk olarak, bu topografik parametrelerle (eğim, baki ve yükselti) insan modifikasyonunun etkileri parametrelere göre alansal hesaplamalarla incelenmiştir. Sonrasında, bu etkileşimler çerçevesinde topoğrafyanın insan faaliyetleri üzerinde sınırlayıcı bir etkisi bulunup bulunmadığı değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde, çalışmanın uygulanış metodolojisi ve kullanılan materyaller hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. Araştırmanın yürütüldüğü alanın özellikleri, kullanılan veri setleri, yazılımlar ve analiz yöntemleri ele alınarak, çalışmanın nasıl gerçekleştirildiği açıklanmıştır. Bu bilgiler, araştırmanın şeffaflığına katkı sağlamak ve bulguların tekrarlanabilirliğini kolaylaştırmak amacıyla detaylandırılmıştır.

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan başlıca veri setleri şunlardır:

CSP gHM: Global Human Modification Veri Seti: Bu veri seti, küresel insan etkilerinin yoğunluğunu göstermek amacıyla geliştirilmiştir. Kennedy ve arkadaşları tarafından 2019 yılında Google Earth Engine platformu üzerinden erişime sunulmuştur. Veri seti, 1 km² çözünürlükte raster veriler içermekte olup, yerleşim, tarım, ulaşım, enerji üretimi ve madencilik gibi çeşitli insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini kapsamlı bir biçimde analiz etmek için kullanılmıştır.

Copernicus DEM Görüntüleri: Avrupa Uzay Ajansı tarafından sunulan ve 30 metre çözünürlüklü olan bu dijital yükseklik modeli (DEM), araştırma sahasının yükselti, eğim ve baki haritalarının üretilmesi için kullanılmıştır. Bu haritalar, raster veri tipinde olup her bir pixel, 30x30 metrelik bir alanı temsil etmektedir.

Hidrolojik Veriler: Araştırma sahasını sınırlarını oluşturan Yeşilirmak ve Çoruh nehirlerine ait havza sınırları ve akarsu verileri, mghydro.com adresinden shapefile formatında temin edilmiştir.

Bu veriler, araştırmanın çeşitli safhalarında farklı analizler için temel teşkil etmiş ve çalışmanın doğruluğunu artırmıştır. Raster veri analizleri, QGIS ve Google Earth Engine gibi coğrafi bilgi sistemleri (GIS) platformlarında gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, insan etkilerinin ve doğal topografik özelliklerin detaylı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamıştır.

2.2. Yöntem

Bu çalışma, Theobald (2013) tarafından geliştirilen ve insan kaynaklı stresörlerin etkilerini niceliksel olarak değerlendirmeyi mümkün kılan İnsan Modifikasyonu (HM) modelini temel alarak gerçekleştirilmiştir. Model, mekânsal genişlik ve etki şiddeti gibi kriterleri dikkate alarak, insan etkinliklerinin doğal alanlar üzerinde yarattığı değişiklikleri 0,00 (etkisiz) ile 1,00 (yüksek derecede modifiye olmuş) arasında bir ölçek üzerinden kategorize eder. Bu çalışmada kullanılan modifikasyon sınıfları, Kennedy ve ark. (2019) tarafından detaylandırılan ve doğal alanların insan faaliyetleri nedeniyle ne derecede değişime uğradığını anlamamıza olanak tanıyan bir kategorizasyon şemasına dayanmaktadır:

0,00 – 0,20: Düşük Modifikasyon

0,20 – 0,40: Orta Modifikasyon

0,40 – 0,70: Yüksek Modifikasyon

> 0,70: Çok Yüksek Modifikasyon

Bu sınıflandırmalar hem mekânsal yoğunluk hem de insan etkinliklerinin çevresel etkileri bağlamında, bölgedeki potansiyel kısıtlayıcı faktörleri anlamamıza yardımcı olmaktadır. Analiz sonuçları, insan faaliyetlerinin yoğunluğunu ve bu etkinliklerin doğal alanlar üzerindeki

etkilerini yansıtarak, bölge için sürdürülebilir yönetim stratejileri geliştirme sürecine önemli katkılarda bulunmaktadır.

Bu analiz yöntemi, uydu verileri ve yer bazlı envanterlerden elde edilen, çeşitli insani stresörlerin kapsamlı bir haritalamasını içermektedir. Toplanan veri setleri, arazi kullanımının şiddeti ve çevresel üzerindeki etkilerini yansıtan farklı parametrelerle ölçeklendirilmiş ve insan modifikasyonunun çeşitli düzeylerini temsil eden kategoriler içinde sınıflandırılmıştır.

Araştırma sahamız için eğim, bakı ve yükselti haritalarının hazırlanması süreci, Copernicus'un 30 metre çözünürlüklü DEM (Dijital Yükseklik Modeli) görüntülerinin kullanılmasıyla QGIS (Quantum GIS) platformunda gerçekleştirilmiştir. Eğim haritası, DEM verisinden doğrudan Slope Analiz aracını kullanarak elde edilmiştir. Bu işlem, her bir piksel için yüzeyin eğimini derece cinsinden hesaplar. Bakı haritası, yine DEM'den Aspect Analiz aracılığıyla, güneşin yönünü gösteren açı olarak üretilmiştir. Yükselti basamakları ise, DEM verisinin doğrudan kullanılmasıyla sağlanmıştır, burada her bir piksel yüksekliği metre cinsinden temsil eder. Bu haritalar, insan modifikasyonunun topografik özelliklerle olan ilişkisini anlamada temel teşkil etmiştir.

Araştırmamızda kullanılan eğim, bakı, yükselti ve insan modifikasyonu verilerinin analizi, veri setlerinin piksel boyutlarının ve koordinat sistemlerinin birbirleriyle uyumlu hale getirilmesini gerektirmiştir. Bu süreç, QGIS platformunda gerçekleştirilmiş olup, öncelikle tüm raster veri setleri aynı piksel boyutuna sahip olacak şekilde standardize edilmiştir. Bu işlem için Raster menüsündeki Align Rasters aracı kullanılarak, veriler 30x30 metrelik piksel boyutlarına sahip şekilde hizalanmıştır. Bu piksel boyutu, çalışmamızın detaylı analizi için yeterli çözünürlüğü sağlarken, geniş alanları kapsayacak şekilde genel bir bakış sunmaktadır.

Koordinat sistemlerinin uyumlaştırılması için, tüm veri setleri QGIS'te Coğrafi Koordinat Referans Sistemi (CRS) olan EPSG:4326- WGS 84 kullanılarak projelendirilmiştir. Bu CRS, enlem ve boylam kullanarak koordinatların tanımlandığı, jeodezik tabanlı bir sistemdir. Properties menüsü altında yer alan CRS seçeneği aracılığıyla veri katmanlarının koordinat sistemi uyumlu hale getirilmiştir.

Çalışmada kullanılan QGIS'in Raster Hesaplayıcı aracı, modifikasyon verisi ile eğim, bakı ve yükselti basamaklarının etkileşiminin mekânsal olarak hesaplanması için esas alınmıştır. Bu sayısal araç, çeşitli raster veri katmanlarının kombinasyonunu ve analizini matematiksel ve mantıksal işlemler aracılığıyla yapabilmektedir.

Bu veri katmanları, belirlenen sınıflandırmalara göre QGIS Raster Hesaplayıcı kullanılarak mekânsal olarak işlenmiştir. Örneğin, bir pikselin yükselti ve modifikasyon değerlerini eş zamanlı olarak hesaplayarak, bu pikselin hangi yükselti sınıfına ve modifikasyon düzeyine ait olduğunu tespit etmek mümkündür. Örnek teşkil etmesi

amacıyla yükselti basamakları ve modifikasyon işlemleri sırasında kullanılan formül aşağıdadır:

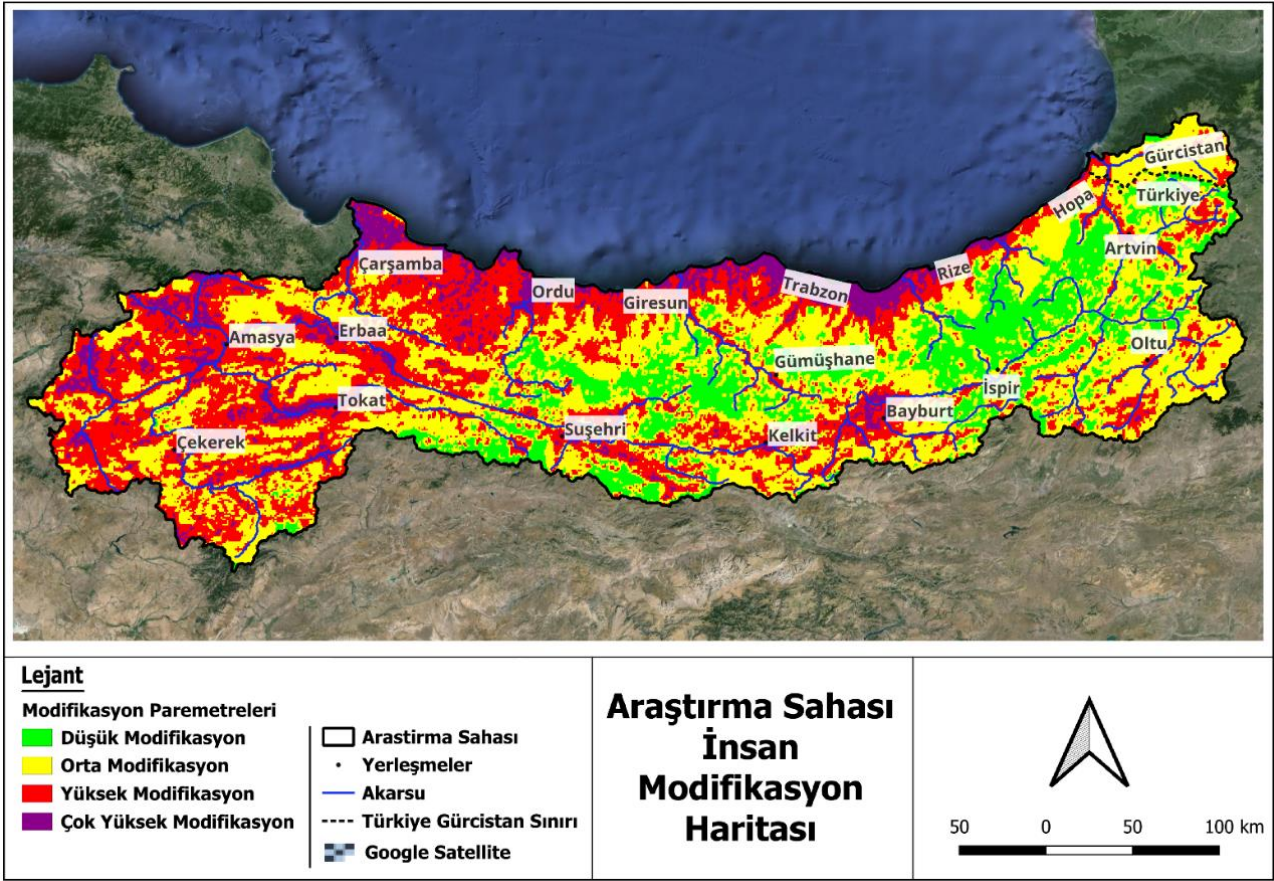
Formül: $(\text{"Elevation@1"} \leq 500) * 1 + (\text{"Elevation@1"} > 500 \text{ AND } \text{"Elevation@1"} \leq 1000) * 2 + (\text{"Elevation@1"} > 1000 \text{ AND } \text{"Elevation@1"} \leq 1500) * 3 + (\text{"Elevation@1"} > 1500 \text{ AND } \text{"Elevation@1"} \leq 2000) * 4 + (\text{"Elevation@1"} > 2000) * 5 + (\text{"gHM@1"} \leq 0,2) * 1 + (\text{"gHM@1"} > 0,2 \text{ AND } \text{"gHM@1"} \leq 0,4) * 2 + (\text{"gHM@1"} > 0,4 \text{ AND } \text{"gHM@1"} \leq 0,7) * 3 + (\text{"gHM@1"} > 0,7) * 4$

Bu formül, her bir yükselti ve modifikasyon kategorisine bir değer atayarak, alanın hangi kategoriye ait olduğunu belirler. Hesaplanan bu veriler, daha sonra yükselti ve modifikasyonun çakıştığı alanları tanımlamak için kullanılır. Bu yöntem, çevresel değişimlerin ve insan etkinliklerinin topografik özelliklerle nasıl etkileşime girdiğini anlamak için kritik bir araçtır ve bize, arazi kullanım kararlarımızı bilinçli bir şekilde yönlendirme fırsatı sunar.

3. Bulgular

Araştırma sahamızda gerçekleştirilen kapsamlı mekânsal analizlerin ve çeşitli veri setlerinden elde edilen bulguların detaylı bir değerlendirmesi, bu bölümde sunulmaktadır. Araştırmada kullanılan yükselti basamakları, eğim, bakı ve insan modifikasyonu haritaları, araştırma sahasının mevcut durumunu ve çeşitli insan etkinliklerinin bu alana olan etkilerini görsel ve kantitatif olarak göstermektedir. Elde edilen veriler, bu coğrafi özelliklerin insan modifikasyonu üzerindeki etkisinin anlaşılmasında ve bölgede sürdürülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde temel oluşturur. Bu veriler aynı zamanda, çalışmanın daha önce belirlenen hedefleri ve soruları ile uyum içinde değerlendirilerek, Araştırma sahasındaki topografik yapıların insan faaliyetleri üzerindeki etkilerini ortaya koymak için kullanılmıştır.

İnsan modifikasyonu haritası üzerindeki renk kodlaması, Doğu ve Orta Karadeniz bölümlerinde insan etkinliklerinin yoğunluğunun coğrafi dağılımını göstermektedir. Kırmızı ve mor renkler, yüksek ve çok yüksek insan modifikasyonunu temsil ederken, bu alanlar genellikle yoğun yerleşim bölgelerini, tarım alanlarını ve diğer insan yapımı yapı stoklarını işaret etmektedir. Bu bölgelerin çoğunun kıyı şeridi boyunca ve şehirlerin bulunduğu alanlarda çok yüksek modifikasyon ve yakın çevrelerinde yüksek modifikasyonun yoğunlaştığı görülmektedir. İç kesimlerde bulunan yerleşim yerlerinin çevresinde ise yüksek modifikasyonun etkileri harita üzerinde görülebilmektedir. Orta modifikasyonu belirten sarı alanlar şehir yerleşim alanlarından uzak kırsal bölgelere karşılık gelmektedir. Yeşil alanlar, düşük insan modifikasyonunun olduğu, daha çok doğal habitatların ve düşük yoğunluklu insan faaliyetlerinin bulunduğu alanlardır. Dağlık bölgelerde ve daha az erişilebilir yerlerde yeşil alanların hâkim olması, bu alanların insan etkisinden nispeten daha az etkilendiğini gösterir (Şekil 2).



Şekil 2. Araştırma sahası insan modifikasyon haritası.

Yükselti basamakları haritasında farklı renkler, bölgenin çeşitli yükseklik seviyelerini temsil etmektedir ve bu seviyelerin insan etkinlikleriyle nasıl ilişkilendirildiği hakkında derinlemesine bir anlayış sunmaktadır. Yeşil tonları, deniz seviyesinden 500 metreye kadar olan düşük yükseklik alanlarını gösterirken, kırmızı tonları 2500 metre ve üzeri yükseklikleri işaret eder. Bu renk kodlaması, yükseltinin değiştiği her basamakta insan etkinliklerinin alansal etkisinin nasıl değiştiğini görselleştirmemizi sağlar (Şekil 3).

Tablodaki verilere göre, 0-500 metre aralığındaki yükselti basamaklarında, insan modifikasyonunun yoğunluk derecelerine bakıldığında, düşük modifikasyon (0,0-0,2) kategorisinde sadece 0,20 km²'lik alan ile yok denecek kadar azdır. Yüksek modifikasyon (0,4-0,7) ve çok yüksek modifikasyon (>0,7) sırasıyla 2559,7 km² ve 2554,3 km² alanlarla baskındır. Bu veriler, bu yükselti aralığında yoğun yerleşim ve tarım alanlarının varlığını ve geniş çaplı insan etkinliklerinin olduğunu işaret ediyor (Tablo 1).

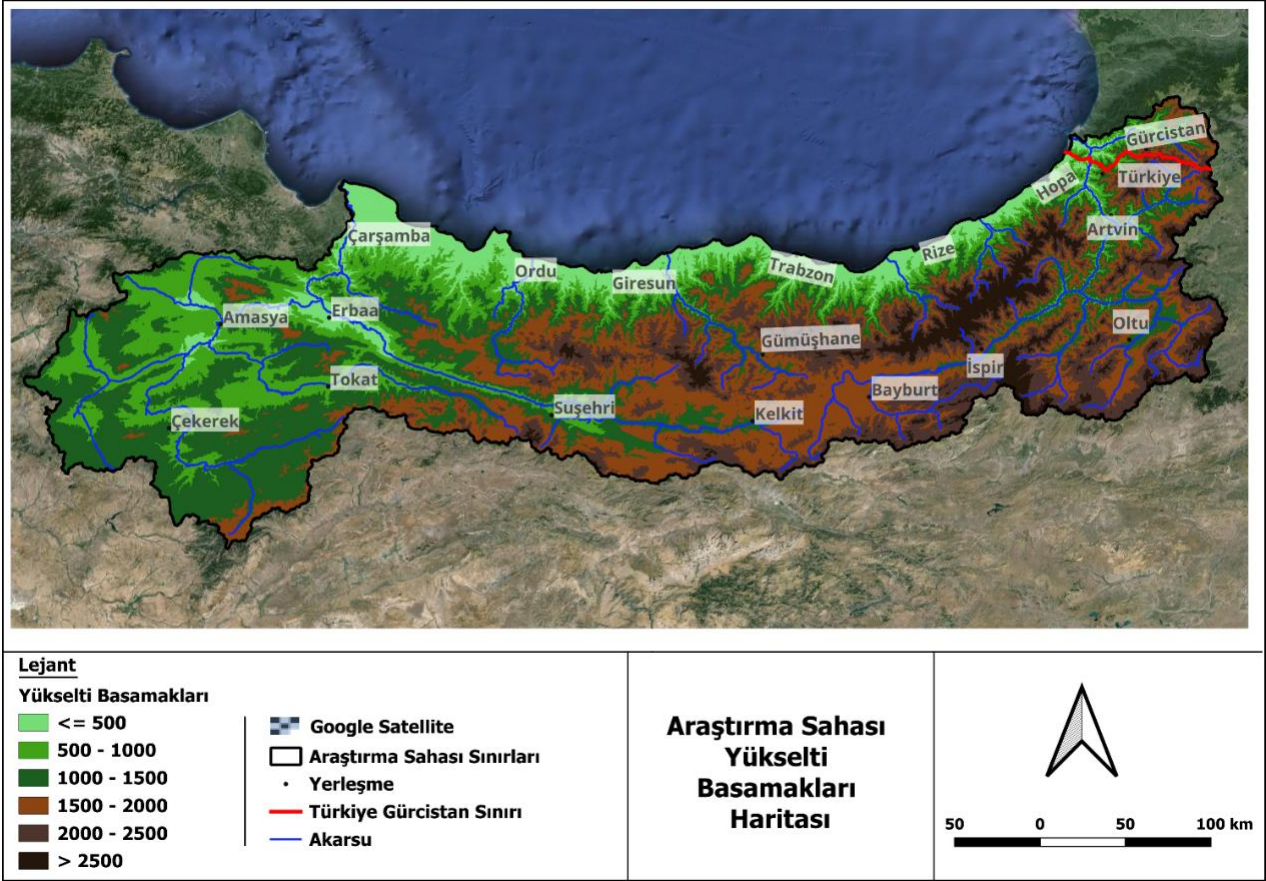
500-1000 metre aralığında ise, yüksek modifikasyon kategorisi 5054 km² ile belirginleşmekte, bu da bölgede tarım faaliyetlerinin ve yerleşim yerlerinin yoğun olduğunu göstermektedir. Orta modifikasyon (0,2- 0,4) değerlerine sahip alanların büyüklüğü 1311,4 km² olarak göze çarpmakta, bu da yine insan etkinliklerinin oldukça yaygın olduğunu belirtmektedir (Tablo 1).

Daha yüksek yükselti basamaklarında, 1000-1500 metre aralığındaki yüksek modifikasyon alanı 5249,1 km²'ye ulaşmaktadır. Bu, bu rakım seviyesindeki insan faaliyetlerinin hala önemli bir yaygınlık gösterdiğine işaret ederken, düşük modifikasyon sadece 205,3 km² alanla gözlemleniyor (Tablo 1).

Özellikle, 1500-2000 metre arasındaki yükselti basamaklarında düşük modifikasyon kategorisi, 620,7 km² ile belirgin bir genişliğe sahiptir, bu da yükseltinin arttığı yerlerde insan etkinliklerinin görece daha az olduğunu gösterir. Yüksek ve çok yüksek modifikasyon sırasıyla 2362,3 km² ve 264,7 km² alanları kaplamaktadır (Tablo 1).

En yüksek yükselti basamağı olan > 2500 metreden yüksek alanlar ise insan modifikasyonu neredeyse sıfıra inmektedir; düşük modifikasyon alanı 398,3 km² iken, orta modifikasyon 334,1 km²'dir ve çok yüksek modifikasyon hiç bulunmamaktadır (Tablo 1).

Bu bulgular, insan etkinliklerinin ve modifikasyonun bölge içinde nasıl değiştiğine ve topoğrafyanın insan yerleşim ve faaliyetlerini nasıl etkilediğine dair önemli içgörüler sunar. Düşük rakımların daha yüksek modifikasyona uğraması, bu alanların tarım, yerleşim ve diğer insan kaynaklı yapılar için tercih edilen bölgeler olabileceğini düşündürürken, yüksek rakımların daha az modifiye edilmesi, doğal habitatların korunması ve biyoçeşitliliğin sürdürülebilirliği için potansiyel fırsatlar sunabilir.



Şekil 3. Araştırma sahası yükselti basamakları haritası.

Tablo 1. Topografik yüksekliklere göre insan modifikasyonunun alansal dağılımı.

Yükselti	Modifikasyon	Alan (km ²)	Yükselti	Modifikasyon	Alan (km ²)
0-500	0-0,2	0,2	1500-2000	0-0,2	620,7
	0,2-0,4	160,0		0,2-0,4	3114,8
	0,4-0,7	2559,7		0,4-0,7	2362,3
	> 0,7	2554,3		> 0,7	264,7
500-1000	0-0,2	28,7	2000-2500	0-0,2	720,4
	0,2-0,4	1311,4		0,2-0,4	1677,5
	0,4-0,7	5054,0		0,4-0,7	476,4
	> 0,7	1786,3		> 0,7	3,8
1000-1500	0-0,2	205,3	> 2500	0-0,2	398,3
	0,2-0,4	3478,4		0,2-0,4	334,1
	0,4-0,7	5249,1		0,4-0,7	25,6
	> 0,7	487,4		> 0,7	0,0

Eğim haritasının renk kodlaması, Doğu ve Orta Karadeniz bölgesinin çeşitli eğim seviyelerini ve bu eğimlerin insan modifikasyonu ile ilişkisini göstermektedir. Yeşil tonları, neredeyse düz olan 0-3 derece arasındaki eğimli alanları işaret ederken, koyu turuncu ve sarı tonlar 45 dereceden daha fazla eğime sahip dik yamaçları temsil etmektedir. Bu, arazi eğimlerinin arttıkça insan etkinliklerinin azaldığını ve daha düz alanların yoğun bir şekilde kullanıldığını gösterir (Şekil 4).

Tabloda 2’de sunulan verilere göre, 0-3 derece eğimli alanlarda, düşük modifikasyon (0,0-0,2) kategorisindeki

alan sadece 19,9 km² iken, yüksek modifikasyon (0,4-0,7) 1958,4 km² ve çok yüksek modifikasyon (> 0,7) 1617,5 km²’lik alanlarla baskın durumdadır. Bu, düz arazilerin tarım ve yerleşim için tercih edilen alanlar olduğunu ve yüksek insan etkisine maruz kaldığını gösterir (Tablo 2).

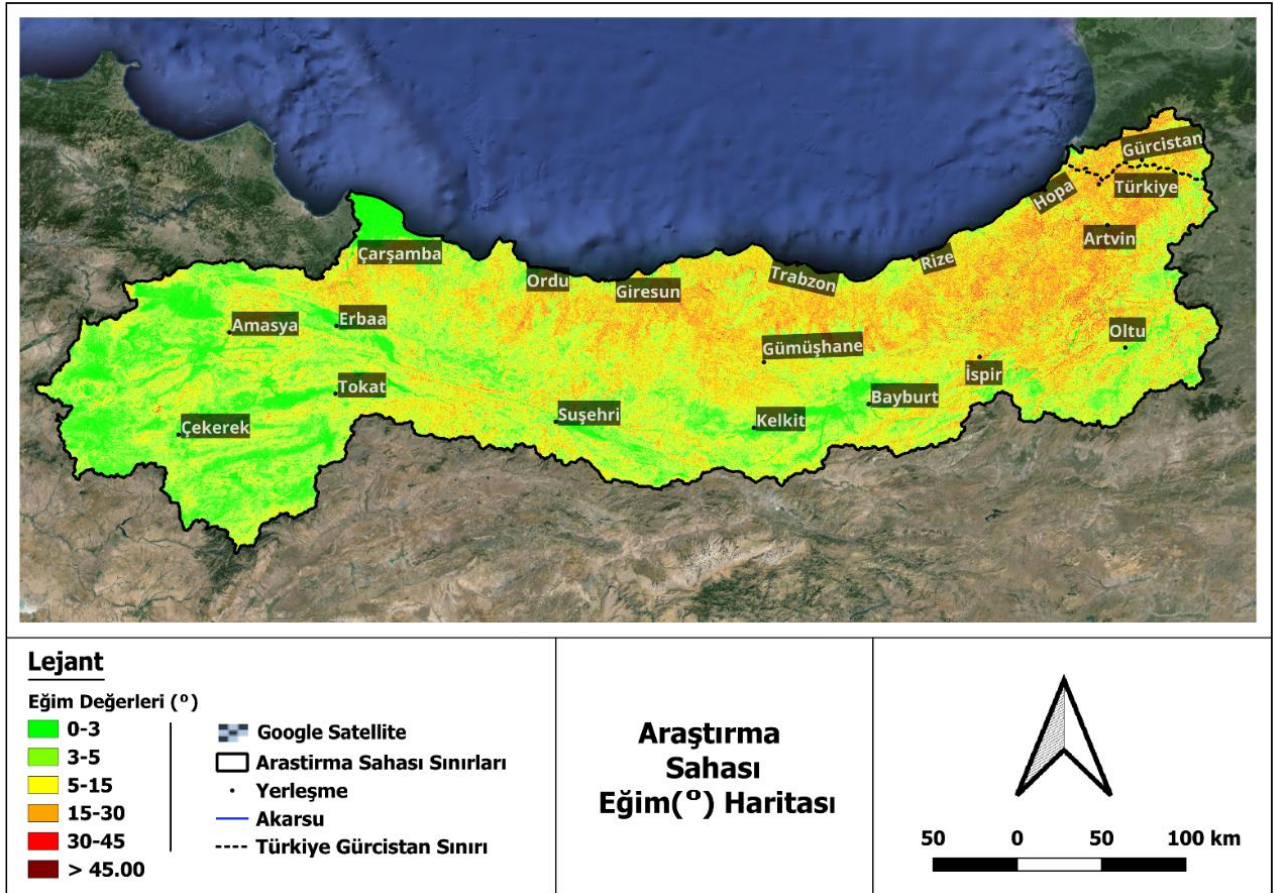
Tablo 2’de sunulan verilere göre, 3-5 derece arasında hafif eğimli alanlarda, düşük modifikasyon düzeyi (0,0 – 0,2) 36,3 km²’lik bir alanı kapsar. Orta modifikasyon (0,2 – 0,4) ise 374,6 km² ile daha yaygındır ve yüksek modifikasyon (0,4 – 0,7) 1677,8 km²’lik büyük bir alanı işgal ederken, çok yüksek modifikasyon (>0,7) 569,9

km²'lik bir alana yayılmıştır. Bu değerlendirmeler, hafif eğimli arazilerin de yoğun insan faaliyetlerine ev sahipliği yaptığını gösterir (Tablo 2).

5-15 derece arasındaki orta eğimli alanlarda, düşük modifikasyon (0,0 – 0,2) düzeyi 441,1 km²'lik bir alanı kapsarken, yüksek modifikasyon (0,4 – 0,7) düzeyi, 6267,1 km² ile belirgin bir yayılım göstermektedir. Bu eğim aralığında düşük modifikasyon düzeyinin nispeten küçük bir alanı kaplaması, daha eğimli bölgelerin belli ölçüde insan etkisinden kaçındığını göstermekle birlikte, yüksek modifikasyon düzeyinin geniş bir alana yayılması, bu arazilerin de yoğun insan kullanımına açık olduğunu belirtir (Tablo 2).

Araştırma sahasında, özellikle 15-30 derece eğim aralığındaki bölgelerde insan etkinliklerinin yoğun olduğu gözlenmektedir. Bu eğimli arazilerde orta ve yüksek

modifikasyon sınıfları, geniş alanlara yayılarak sırasıyla 4711,6 km² ve 4484,8 km²'yi kapsamaktadır. Düşük modifikasyon düzeyindeki araziler ise 1049,4 km² ile daha az bir yer kaplamakta, bu da insan etkinliklerinin yoğunlaştığı yerlerin daha düz araziler olduğuna işaret etmektedir. Diğer yandan, eğim oranı arttıkça insan etkinliklerinin azaldığı; özellikle 45 dereceden daha dik eğimli alanlarda, insan modifikasyonunun önemli ölçüde düştüğü; düşük modifikasyonun sadece 12,2 km² alanı kapladığı ve çok yüksek modifikasyonun neredeyse hiç görülmediği (0,7 km²) tespit edilmiştir. Bu veriler, insan etkinliklerinin ve arazi kullanımının eğimle ters orantılı bir dağılım gösterdiğini ve yüksek eğimli alanların, doğal habitatların korunması açısından potansiyel olarak daha az risk altında olduğunu göstermektedir (Tablo 2).



Şekil 4. Araştırma sahası eğim haritası.

Tablo 2. Eğim derecelerine göre insan modifikasyonunun alansal dağılımı.

Eğim (°)	Modifikasyon	Alan (km ²)	Eğim (°)	Modifikasyon	Alan (km ²)
0-3	0-0,2	19,9	15-30	0-0,2	1049,4
	0,2-0,4	231,6		0,2-0,4	4711,6
	0,4-0,7	1958,4		0,4-0,7	4484,8
	> 0,7	1617,5		> 0,7	1183,5
3-5	0-0,2	36,3	30-45	0-0,2	413,7
	0,2-0,4	374,6		0,2-0,4	1417,6
	0,4-0,7	1677,8		0,4-0,7	1018,6
	> 0,7	569,9		> 0,7	246,7
5-15	0-0,2	441,1	> 45	0-0,2	12,2
	0,2-0,4	3326,8		0,2-0,4	28,9
	0,4-0,7	6267,1		0,4-0,7	11,6
	> 0,7	1472,3		> 0,7	0,7

Araştırma sahası içerisinde farklı yönlerde insan modifikasyonunun dağılımı, çevre üzerindeki insan etkilerinin coğrafi yönle ilişkisini önemli ölçüde vurgulamaktadır (Şekil 5).

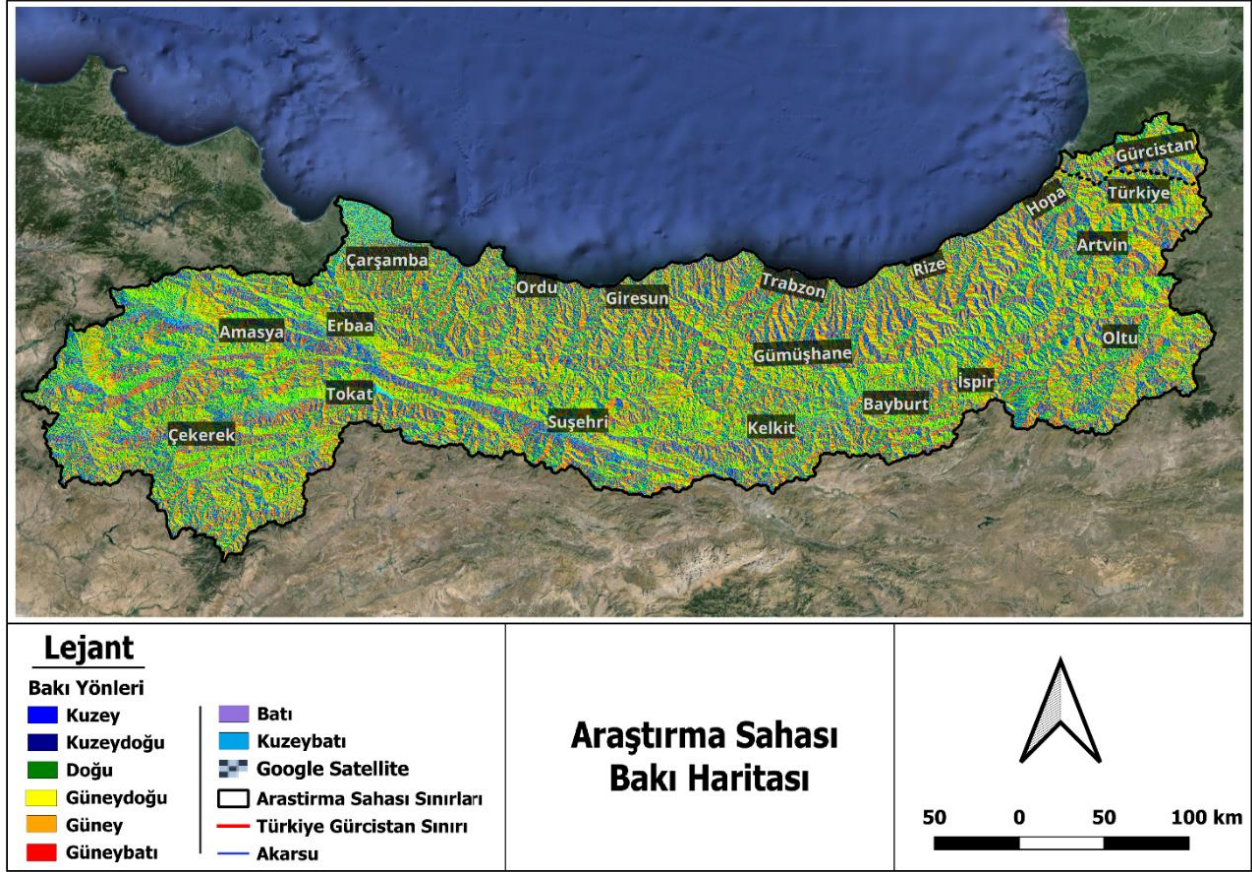
Kuzey yönler baktığımızda, yüksek (0,4-0,7) ve çok yüksek (> 0,7) modifikasyon değerlerine sahip alanların toplamda 3147,5 km²'yi bulduğu görülmektedir. Bu, kuzey yönlerin yoğun insan aktivitesine ev sahipliği yaptığını ve önemli ölçüde antropojenik baskı altında olduğunu gösterir. Kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlerinde ise benzer bir eğilim gözlenmektedir, özellikle kuzeydoğu yönünde yüksek ve çok yüksek modifikasyonun 2147,2 km²'lik bir alanı kaplaması, bölgedeki yoğun insan faaliyetlerinin göstergesi olarak ön plana çıkmaktadır. Kuzeybatı yönünde ise, özellikle yüksek (0,4-0,7) modifikasyon kategorisinde 1827,1 km² ve çok yüksek (> 0,7) aralığında ise 503,6 km² ile insan etkinliklerinin varlığı dikkat çekmektedir (Tablo 3).

Doğu yönünde, yüksek ve çok yüksek modifikasyon sınıfları, sırasıyla 2103,1 km² ve 785,7 km² ile dikkat çekicidir, bu da bölgede insan etkisinin önemli ölçüde var olduğunu gösterir. Batı yönünde ise bu değerler 2156,7 km² ve 740,4 km²'ye ulaşmakta, insan aktivitelerinin geniş çaplı etkilerini işaret etmektedir (Tablo 3).

Güneydoğu, güney ve güneybatı yönlerinin incelenmesi, bu bölgelerin yoğun insan etkisine tanıklık ettiğini göstermektedir. Özellikle güney yönünde 0,4 – 0,7 aralığında yüksek modifikasyonun 2054,1 km² gibi büyük bir alanı kapladığı görülmektedir. Güneydoğu yönünde aynı modifikasyon aralığında 1700,7 km²'lik bir alanın insan etkinliklerinden etkilendiği anlaşılmaktadır. Güneybatıda

da 1648,1 km² alanda yüksek modifikasyon saptanmıştır, bu durum söz konusu yönlerin gerek yerleşim gerekse tarım faaliyetleri açısından ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bu üç yönün tamamında çok yüksek modifikasyon değerleri de dikkat çekicidir: Güneydoğuda 448,7 km², güneyde 651,2 km² ve güneybatıda 511,2 km². Sonuç olarak, bu güney yönlü alanlar, bölgenin ekonomik ve sosyal gelişimi açısından kritik noktalar olarak ön plana çıkmaktadır (Tablo 3).

Araştırma sahasının bakı analizi, insan modifikasyonunun bölgesel düzeyde nasıl farklılık gösterdiğine dair çarpıcı bilgiler sunmaktadır. Tüm yönler arasında incelendiğinde, kuzey yönlerinin güneye kıyasla genel olarak daha yüksek insan modifikasyonuna sahip olduğu göze çarpmaktadır. Kuzeye bakan yamaçlar, özellikle tarım ve yerleşim alanları açısından daha yoğun kullanılmakta, bu da modifikasyon değerlerinin nispeten yüksek çıkmasına yol açmaktadır. Diğer yandan, güney yönlerindeki yüksek ve çok yüksek modifikasyon değerlerinin toplamı, bölgenin bu kısmında da insan etkinliklerinin göz ardı edilemeyecek düzeyde olduğunu işaret etmektedir. Ayrıca, doğu ve batı yönlerindeki yüksek modifikasyon değerleri, bu alanların stratejik konumu ve insan etkinliklerinin yoğunluğunu vurgulamaktadır. Özetle, bakı verileri, araştırma sahasının coğrafi konumunun, insan yerleşimi ve kullanımı üzerinde önemli etkiler yarattığını ve bu yönlenme farklılıklarının ekosistem yönetimi ve planlaması açısından stratejik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5. Araştırma sahası bakı haritası.

Tablo 3. Bakı yönlerine göre insan modifikasyonunun alansal dağılımı.

Bakı Yönü	Modifikasyon	Alan (Km ²)	Bakı yönü	Modifikasyon	Alan (Km ²)
Kuzey	0-0,2	277,2	Güney	0-0,2	248,9
	0,2-0,4	1410,3		0,2-0,4	1271,2
	0,4-0,7	2280,1		0,4-0,7	2054,1
	> 0,7	867,4		> 0,7	651,2
Kuzeydoğu	0-0,2	234,4	Güneybatı	0-0,2	233,5
	0,2-0,4	1136,8		0,2-0,4	1167,8
	0,4-0,7	1561,1		0,4-0,7	1648,1
	> 0,7	586,1		> 0,7	511,2
Doğu	0-0,2	249,5	Batı	0-0,2	253,5
	0,2-0,4	1278,1		0,2-0,4	1363,1
	0,4-0,7	2103,1		0,4-0,7	2156,7
	> 0,7	785,7		> 0,7	740,4
Güneydoğu	0-0,2	227,4	Kuzeybatı	0-0,2	248,2
	0,2-0,4	1169,7		0,2-0,4	1298,4
	0,4-0,7	1700,7		0,4-0,7	1827,1
	> 0,7	448,7		> 0,7	503,6

Araştırmamızın bulguları, Doğu ve Orta Karadeniz bölümlerinin çeşitlilik gösteren topoğrafyasının insan faaliyetleri üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymuştur. Topografik parametreler olan eğim, bakı ve yükseltinin, insan modifikasyonunun yayılışı üzerindeki etkileri detaylı alansal hesaplamalarla incelenmiş ve bu parametrelerin insan faaliyetlerinin yoğunluğunu sınırlayıcı bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, bölge

için sürdürülebilir yönetim stratejileri ve politikaları geliştirmede kritik önem taşıyan verileri sunmaktadır.

4. Sonuç ve Tartışma

Araştırma sahamızın kapsamlı incelemesi, insan modifikasyonunun ve topografik faktörlerin bölgesel ve küresel çapta nasıl bir mozaik oluşturduğunu gözler önüne sermiştir. Elde edilen bulgular, insan faaliyetlerinin

yoğunluğu ve doğal habitatlar üzerindeki etkileri açısından bölgenin karmaşık yapısını detaylı bir şekilde ortaya koymuştur. Kıyı şeritlerinden iç kesimlere ve dağlık alanlara kadar uzanan geniş bir coğrafyada, yükselti ve eğim gibi fiziki koşulların insan yerleşimleri ve etkinlikleri üzerindeki belirleyici rolü açıkça görülmektedir. İnsan modifikasyonunun dağılışı, özellikle kıyı bölgelerinde ve düşük rakımlı alanlarda yoğunlaşmış, bu durum da bu alanların ekonomik ve sosyal yapı içindeki merkezi önemini vurgulamıştır. Ayrıca, yüksek ve çok yüksek modifikasyon değerlerinin, bölgenin farklı yönlerindeki dağılımı, çevresel yönetim stratejilerinin geliştirilmesi için önemli veriler sağlamıştır. Bakı analizi ise, insan etkinliklerinin dağılışında yönlenmenin etkisini göstermiş, yamaçların kullanımı ve insan faaliyetlerinin yoğunluğunun yön bazında değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, bu çalışma, bölgenin coğrafi ve ekolojik karmaşıklığını göz önünde bulunduran bütüncül bir çevresel yönetim yaklaşımının önemini vurgulamaktadır. Bölgesel planlama ve kaynak yönetimi uygulamalarında, farklı yükseklik ve eğim seviyelerinin yanı sıra, insan faaliyetlerinin yoğunluğu göz önünde bulundurulmalıdır. Araştırmamızın sonuçları, sürdürülebilir kalkınma için bu tür detaylı çevresel verilerin stratejik kullanımının altını çizirken, gelecekteki politika kararlarına ve yönetim stratejilerine yön vermek için bir temel oluşturabilir.

Sonuçlar aynı zamanda, bölgeye özgü çevresel planlama ve koruma önlemlerinin geliştirilmesinde, yön ve bakı gibi faktörlerin göz önünde bulundurulmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Kuzey yamaçların, güney yamaçlarına kıyasla daha yoğun kullanıldığını ve farklı yönlerin, bölgesel ekosistem üzerinde farklı etkilere sahip olduğunu gözlemledik. Bu bulgular, çeşitli yönlerin ekosistem üzerindeki farklı baskılarını ve potansiyel kullanımını anlamak için ileriye dönük çalışmalara yön verebilir.

Ancak, bu çalışmanın sınırlılıkları da gözlemlenmiştir. Kullanılan veri setlerinin çözünürlüğü ve zaman dilimi, modifikasyon ölçümlerinin hassasiyetini etkileyebilir. Ayrıca, insan etkinliklerinin doğrudan gözlemlenmesine dayalı olmayan indirgemeci bir yaklaşım kullanılmıştır, bu da bazı lokal varyasyonları yansıtmada yetersiz olabilir. Gelecek çalışmalar, daha detaylı yerel veri setleri ve uzun vadeli zaman serileri kullanarak, insan etkinliklerinin ekolojik sistemler üzerindeki etkilerini daha iyi anlamayı hedeflemelidir.

Bu çalışma, Doğu ve Orta Karadeniz bölümlerinde topoğrafyanın insan faaliyetleri üzerindeki etkilerini derinlemesine inceleyerek, insan modifikasyonunun bölgesel biyoçeşitlilik ve ekosistem işlevselliği üzerindeki dramatik etkilerini vurgulamıştır. Elde edilen bulgular, Van Asselen ve Verburg (2013), tarafından geliştirilen global ölçekli arazi kullanımı modellemesiyle uyumlu olup, insan etkinliklerinin, özellikle yüksek yoğunlukta olduğu alanlarda, biyoçeşitlilik ve ekosistem sağlığı üzerindeki baskıların arttığını göstermiştir. Ayrıca, Hu ve ark. (2021) tarafından yürütülen araştırmada kullanılan üç boyutlu insan etkinlikleri indeksi, bu etkinliklerin coğrafi dağılımının doğal çevre özelliklerine, özellikle de topoğrafya ve iklim koşullarına nasıl bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Elsen ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada, iklim değişikliğinin tetiklediği yükselti değişimleri sırasında türlerin karşılaştığı zorlukları ele alarak, insan baskısının ve topoğrafyanın bir arada

değerlendirilmesinin, türlerin yaşam alanlarının korunması ve sürdürülebilir yönetim stratejilerinin belirlenmesinde hayati önem taşıdığını göstermiştir. Bu sonuçlar, insan yerleşimleri ile doğal habitatlar arasındaki etkileşim dinamiklerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamakta ve küresel çapta sürdürülebilir kalkınma ve doğal kaynak yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde, topoğrafyanın ve insan faaliyetlerinin karmaşık etkileşimlerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Bu çalışma, bölgesel planlama ve kaynak yönetimi uygulamalarında farklı yükseklik ve eğim seviyelerinin yanı sıra, insan faaliyetlerinin yoğunluğunun göz önünde bulundurulmasının gerekliliğini de göstermektedir.

Araştırmacıların katkı oranı

Büşra Eraslan: Literatür taraması, Makale yazımı, Düzenleme, Analiz.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Aik, D. H. J., Ismail, M. H., Muharam, F. M. & Alias, M. A. (2021a). Evaluating the impacts of land use/land cover changes across topography against land surface temperature in Cameron Highlands. *PLoS ONE*, 16(5), e0252111 . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252111>
- Aik, D. H. J., Ismail, M. H., Muharam, F. M., & Alias, M. A. (2021b). Evaluating the impacts of land use/land cover changes across topography against land surface temperature in Cameron Highlands. *PLoS ONE*, 16(5), e0252111 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252111>
- Belote, R. T. (2018). Species-rich national forests experience more intense human modification, but why? *Forests*, 9(12), 753. <https://doi.org/10.3390/f9120753>
- Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., Hahn, N., Palminteri, S., Hedao, P., Noss, R., Hansen, M., Locke, H., Ellis, E. C., Jones, B., Barber, C. V., Hayes, R., Kormos, C., Martin, V., Crist, E., ... & Saleem, M. (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience*, 67(6), 534-545. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix014>
- Ellis, E. C., Goldewijk, K. K., Siebert, S., Lightman, D. & Ramankutty, N. (2010). Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 589-606. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>
- Elsen, P. R., Monahan, W. B. & Merenlender, A. M. (2020). Topography and human pressure in mountain ranges alter expected species responses to climate change. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15881-x>
- Fritz, S., See, L., Perger, C., McCallum, I., Schill, C., Schepaschenko, D., Duerauer, M., Karner, M., Dresel, C., Laso-Bayas, J. C., Lesiv, M., Moorthy, I., Salk, C. F., Danylo, O., Sturn, T., Albrecht, F., You, L., Kraxner, F., & Obersteiner, M. (2017). A global dataset of crowdsourced land cover and land use reference data. *Scientific Data*, 4, 170075. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.75>

- Hu, S., Yu, B., Luo, S. & Zhuo, R. (2022). Spatial pattern of the effects of human activities on the land surface of China and their spatial relationship with the natural environment. *Environment, Development and Sustainability*, 24(8), 10379-10401. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01871-6>
- Kennedy, C. M., Oakleaf, J. R., Theobald, D. M., Baruch-Mordo, S. & Kiesecker, J. (2019). Managing the middle: A shift in conservation priorities based on the global human modification gradient. *Global Change Biology*, 25(3), 811-826. <https://doi.org/10.1111/gcb.14549>
- Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., Börger, L., Bennett, D. J., Choimes, A., Collen, B., Day, J., De Palma, A., Díaz, S., Echeverria-Londoño, S., Edgar, M. J., Feldman, A., Garon, M., Harrison, M. L. K., Alhousseini, T.,& Purvis, A. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520(7545), 45-50. <https://doi.org/10.1038/nature14324>
- Pawlus, P., Reizer, R., Wiczorowski, M. & Krolczyk, G. (2020). Material ratio curve as information on the state of surface topography—A review. *Precision Engineering*, 65, 240-258. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2020.05.008>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Theobald, D. M. (2013). A general model to quantify ecological integrity for landscape assessments and US application. *Landscape Ecology*, 28(10), 1859-1874. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9941-6>
- Van Asselen, S. & Verburg, P. H. (2013). Land cover change or land-use intensification: Simulating land system change with a global-scale land change model. *Global Change Biology*, 19(12), 3648-3667. <https://doi.org/10.1111/gcb.12331>
- Verburg, P. H., van Asselen, S., van der Zanden, E. H. & Stehfest, E. (2013). The representation of landscapes in global scale assessments of environmental change. *Landscape Ecology*, 28(6), 1067-1080. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9745-0>



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>