

Antropojenik Jeomorfoloji Yaklaşımı İle Topografyadaki İnsan Etkisinin Modellenmesi: Muğla İlinin Kuzeybatı Sahası Örneği

Modelling Human Impact on Topography with Anthropogenic Geomorphology Approach: Example of the Northwest Field of Muğla Province

S. Murat UZUN¹ 

Marmara Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri
Fakültesi, Coğrafya bölümü, İstanbul, Türkiye

Kadir TATLIDİL² 

Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü,
Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Selin APATARKAN³ 

Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü,
Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye



Geliş Tarihi/Received	04.04.2025
Revizyon Talebi/ Revision Request	14.05.2025
Kabul Tarihi/Accepted	07.06.2025
Yayın Tarihi/Publication Date	25.06.2025

Sorumlu Yazar/Corresponding author: S. Murat
UZUN

E-mail: murat.uzun@marmara.edu.tr

Atf: Uzun, S. M., Tatlıdil, K. & Apatarkan, S. (2025). Antropojenik Jeomorfoloji Yaklaşımı İle Topografyadaki İnsan Etkisinin Modellenmesi: Muğla İlinin Kuzeybatı Sahası Örneği. *Dünya Coğrafyası ve Kalkınma Perspektifi Dergisi*, (7), 1-21.

Cite this article: Uzun, S. M., Tatlıdil, K. & Apatarkan, S. (2025). Modelling Human Impact on Topography with Anthropogenic Geomorphology Approach: Example of the Northwest Field of Muğla Province. *Journal of World Geography and Development Perspectives*, (7), 1-21.



Content of this journal is licensed under a Creative
Commons Attribution-NonCommercial 4.0
International License.

Öz

İnsan faaliyetlerinin doğal koşullardaki baskı ve etki boyutlarının artması, jeomorfolojik unsurlarda da değişimlere yol açmaktadır. Bu çalışmada Muğla ilinin kuzey ve batısındaki 6 ilçe kapsamında zamansal ve mekânsal açıdan farklı kriterler kullanılarak antropo-jeomorfolojik etki yoğunluğunun modellenmesi ve ilişkisel bağlantılarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Antropo-jeomorfolojik ayak izi modeli 5 temel etki alanı ve 10 ana parametreden oluşmaktadır. Bu parametreleri; eğim, topografik rölyef, yol ağı, arazi kullanımı, maden sahalarının dağılışı, antropojenik baskı yoğunluğu, 40 yıllık NDVI ve NDBI analizleri, rölyef değişim yoğunluğu ve M-SLLAAC verileri oluşturmaktadır. Veriler, antropo-jeomorfolojik yaklaşım kapsamında korelasyona tabi tutulmuş, elde edilen kantitatif bulgularla, jeomorfolojik unsurlardaki baskı, değişim ve stresi ifade eden ayak izi yoğunluğunun dağılışı ortaya konmuştur. Model bulgularına göre araştırma sahası toplam alanının %4,7'si (270,3 km²) yüksek düzeyde antropo-jeomorfolojik ayak izi yoğunluğuna sahiptir. Bu sahalarda, Batı Menteşe Dağları ve plato sahasındaki (Muğla-Yatağan arası ve Milas kuzeyi) maden alanları ile Bodrum yarımadası ve Güllük kıyılarında yoğunlaşmaktadır. Yüksek düzeyde antropo-jeomorfolojik ayak izinin olduğu sahalarda diğer alanlara göre rölyef değişimi ve arazi yüzey sıcaklığının (AYS) 4 kat artış gösterdiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Antropojenik Jeomorfoloji, İnsan Etkisi, Rölyef Değişimi, CBS, Muğla

ABSTRACT

The increasing pressure and impact of human activities on natural conditions leads to changes in geomorphological elements. This study aims to model the density of anthropo-geomorphological impact using different temporal and spatial criteria within the scope of six districts in the north and west of Muğla Province and to determine their relational connections. The anthropo-geomorphological footprint model comprises five main impact areas and ten main parameters. These parameters comprise slope, topographic relief, road network, land use, distribution of mining sites, anthropogenic pressure intensity, 40-year NDVI and NDBI analyses, relief change intensity, and M-SLLAAC data. The data were correlated within the scope of the anthropo-geomorphological approach, and the distribution of footprint density, which expresses the pressure, change, and stress on geomorphological elements, was revealed with the quantitative findings obtained. According to the model findings, 4.7% (270.3 km²) of the total area of the research area has a high level of anthropo-geomorphological footprint density. These areas are concentrated in the western Menteşe Mountains and mining areas in the plateau region (between Muğla and Yatağan, and north of Milas), as well as in the Bodrum peninsula and Güllük coast. Relief change and land surface temperature (LST) were found to increase four times in areas with a high anthropo-geomorphological footprint compared to other areas.

Keywords: Anthropogenic Geomorphology, Human Impact, Relief Change, GIS, Muğla

Giriş

Dünyanın varoluşundan itibaren doğal ortam koşulları iç ve dış etmenlerle daimi değişim ve gelişim süreci içerisinde. Bu süreç doğal ortamdaki döngüler arasında yoğun bir etkileşim sürecini de ortaya koymaktadır. Ancak insanlığın Neolitik dönem ve sonrasındaki faaliyetlerinin artması, doğal ortam koşulları ve dinamik süreçlerinde farklı boyutlarda etkiler oluşturmıştır (Castree, 2014). Doğal koşullar ve beşerî faaliyetler arasındaki bu etkileşim süreci sanayi devrimi sonrası hızlanmış, son asırdaki nüfus artışı, insan ihtiyaçlarının karşılanma baskısı ve teknolojik gelişmelerle pik noktaya ulaşmıştır. Doğal ortam koşullarında artan ve yoğunlaşan antropojenik baskı birçok unsur içerisinde inorganik maddenin çoğalmasına, döngülerde sapmalara, ekstrem doğa olaylarının artmasına ve küresel iklim değişikliği gibi global ve lokal birçok hadiseye yol açmıştır (Cendrero vd., 2020; Rick vd., 2020; Tarolli ve Sofia, 2016). Bu durum, bazı bilim insanları tarafından yeni bir jeolojik dönemde olduğumuzu ve bu dönemin isminin Antroposen olması gerektiğini belirtmeleriyle dikkat çekici bir noktaya gelmiştir. Antroposen kavramı kullanımının 1800'lü yılların sonuna gitmesine rağmen bilim dünyasındaki popülerliği 2000'li yıllardaki çalışmalarla olmuştur (Crutzen ve Stoermer, 2000). Son 25 yıllık dönemde ise Antroposen ile ilgili birçok bilim alanında, farklı bölgeler ve boyutlarda çalışmalar ortaya konmuştur (Aguilar vd., 2020; Ellis, 2017).

Antroposen kavramı, insanın doğal çevre üzerindeki etkisinin belirginleştiği bir dönemi ifade eder. Bu kavram, özellikle Sanayi Devrimi'nden itibaren insan faaliyetlerinin ekosistemler üzerindeki etkilerinin artmasıyla ilişkilendirilir. Antroposen, insanın doğayı şekillendirme çabası, süreçlere müdahalesi ve bunun sonucunda ortaya çıkan çevresel sorunları vurgulayan bir terimdir (Li vd., 2017). Marsh'ın insanın doğal çevre ve jeomorfolojik koşullardaki değişimleri incelediği araştırması (Marsh, 1864) antroposen ve antropojenik etki konusundaki ilk çalışma sayılmaktadır (Sümer vd., 2020). Ayrıca A. Stoppani ve A. Pavlov isimli bilim insanları da 19 yy. sonlarında antroposen kavramının ilk olarak ortaya çıkmasında büyük rol oynamıştır (Uzun, 2024). Ancak kavramın temel olarak doğal süreç ve unsurlardaki insan etkisi ile bir jeolojik döneme atfen kullanılması ilk kez 2000 yılında, Crutzen ve Stoermer tarafından olmuştur (Ertek, 2017; Crutzen ve Stoermer, 2000; Steffen vd., 2011; Sümer vd., 2020; Zalasiewicz vd., 2010). Bilim insanları temel olarak, insanın çevre üzerindeki etkisinin Holosen dönemiyle uyumlu olmadığını, jeolojik açıdan yeni bir çağın başlangıcını ifade ettiği ve bu dönemde insan etkilerinin iklim, biyosfer ve jeosfer üzerinde mevcut olduğunu belirtmektedir (Ertek, 2023; Szabó vd., 2010; Sümer vd., 2020; Syvitski vd., 2022). Bu dönemin başlangıcı konusunda farklı görüşler bulunmaktadır. Dönemin

başlangıç noktasının tarımın yaygınlaşması, Sanayi Devrimi veya 20. Yüzyıldaki teknolojik hızlanma, gelişme gibi olayların kabul edilebileceği düşünülmektedir (Head vd., 2022). Antroposen'in jeolojik zaman çizelgesinde yer edinebilmesi için insan etkisinin belirginleştiği jeolojik katmanların incelenmesi kritik bir öneme sahiptir (Verburg vd., 2016). Son yıllarda bilim camiasında tartışılan, bazı bilim insanlarının jeolojik dönem olarak önermesine rağmen Uluslararası Stratigrafi Komisyonu tarafından reddedilen antroposen kavramı bilimsel çalışmalarda ise en çok değinilen alan haline gelmiştir (Ellis, 2017).

Uluslararası Stratigrafi Komisyonu'nun Antroposen'i bir jeolojik dönem olarak reddetme kararı, kavramın tanımına ilişkin tartışmaları bilim dünyasında yeniden alevlendirmiştir (Witze, 2024). Bu kapsamda, bazı bilim insanları, Antroposen'i belirli bir başlangıç noktası olmayan bir olay olarak savunmaktadır (Bauer vd., 2021). Başka görüşler ise Antroposeni olay kavramına indirgemenin birtakım eksiklikleri barındırdığını belirtmektedir. Bakış açılarının ortak temasında antroposenin jeolojik ve tarihsel bir sınırlama ile ifade etmek yerine multidisipliner ve ekolojik yaklaşımların temel alınması gerekliliği vurgulanmaktadır (Gibbard vd., 2022). Belirtilen durumun kanıtı olarak biyosferde antropojenik değişim ve yeniden şekillendirme, inorganiklerin artması, yapay deformasyonlar, parçalanmalar ve degradasyonlar, metamorfizmaya uğratma süreçlerinin yaygın kanıtları olduğu ve insanın gelecekte olması muhtemel kitlesel yok oluştaki (bilim dünyasında altıncı yok oluş olarak belirtilir) sorunlara artış açısından en büyük katkısı sağlamasıdır (Chakraborty, 2024). Bu durumlar değerlendirildiğinde küresel iklim değişimi ile başlayan ve bütün doğal döngülerdeki ani sapmalara geçiş yapan devinimsel değişimler, antroposenin reddedilenin aksine kronostratigrafik bir dönem olarak sınıflandırmasını haklı çıkarmaktadır (Edgeworth vd., 2023). Ancak unutmamak gerekir ki meydana gelen değişimler sadece biyosfer ve litosferde etki göstermez. Bu durumun kentsel, endüstriyel, sosyo-ekonomik ve psikolojik olarak farklı boyutları vardır. Tüm bu hadiseler ile kavram üzerine olan bütün tartışmalara rağmen Antroposen, bir jeolojik döneme indirgenmekten daha geniş kapsamlı bir bakış açısı ortaya koymaktadır. Bu bakımdan kavram günümüzün doğal-beşerî etkileşim problemlerini ortaya koyması, yaşanan iklim değişikliği, afet etki ve frekansındaki artışın kapsamına alması, bütün döngülerdeki insan kaynaklı etki ve süreçleri modellemesi ve bütün değerlendirmelerde insanın yanlış kullanım ve yönetim etkilerini göze alması açısından disiplinler arası büyük önem taşıyan bir çalışma alanı haline gelmiştir (Kellner, 2024; Rosol vd., 2023; Waters vd., 2023; Zalasiewicz vd., 2024).

Antroposen döneminde, insan kaynaklı baskıların bütün

doğal ortam koşullarındaki etkisinin farklı tezahürlere yol açtığı alanların başında jeomorfolojik unsur ve süreçler gelmektedir (Erkal ve Taş, 2022; Gibbs ve Salmon, 2015). Bu bakımdan jeomorfolojinin bir alt dalı olarak antropojenik jeomorfoloji inceleme alanı ortaya çıkmıştır. Antropojenik jeomorfoloji, insan etkilerinin jeomorfolojik koşullar üzerinde yapılan araştırmaları inceleyen bir alt disiplindir. Bu alanda; insan kaynaklı değişimlerin doğal ortamdaki durumları, bu değişimlerin boyutları, etkileri, kantitatif özellikleri incelenmekte ve geleceğe dönük modellemeler yapılabilmektedir (Jefferson vd., 2013; Hooke, 2000; Nigam vd., 2024; Nir, 1983; Tarolli, 2016). Antropojenik Jeomorfoloji (Antropo-Jeomorfoloji), insan aktivitelerinin yer şekillerini hem doğrudan hem de dolaylı yoldan etkilemesiyle ortaya çıkan insan yapımı yapay yer şekillerini ve etkileri incelemektedir (Brown vd., 2017). İnsan, faaliyetleri gereği kısa ya da uzun zaman diliminde oluşturduğu ya da değiştirdiği morfolojiyi kasten veya farkında olmadan meydana getirmektedir (Goudie, 1993). Antropo-Jeomorfolojinin kapsamı sadece yapay yer şekillerini değil aynı zamanda doğal unsurların bozulmasını ve topoğrafya yüzeyindeki değişimleri de incelemektedir. Sistematiği açıdan bakıldığında insan kökenli ortaya çıkan, jeomorfolojik değişimleri oluşturan süreçler, farklı açıdan tasnif edilse de aşındırma-kazma, biriktirme-doldurma ve düzleştirme (tesviyeleme) olarak sınıflandırılabilir (Uzun, 2021). Antropojenik jeomorfoloji ayrıca, insan-mekân etkileşimini inceleyerek olumsuzlukları konu edinen ve ileriye dönük varsayımlarda bulunarak kriz ve risk durumlarına çözüm üreten uygulamalı bir disiplindir.

Antropojenik jeomorfoloji, insanın doğayı dönüştürme süreçlerini ve bu süreçlerin jeolojik, jeomorfolojik sistemler üzerindeki etkilerini, geçmiş ve günümüz verileri ile kıyaslar, geleceğe dönük projeksiyonlar sunar (Chirico vd., 2021; Özşahin, 2013; Rózsa ve Novák, 2011). Antropo-jeomorfolojik bakış açısı zamansal süreçte; insanların tarımsal uygulamaları, arazi kullanımı, mühendislik faaliyetleri, madencilik, turizm ve ulaşım gibi eylemleriyle başlayan ve çevresel etkilerini giderek daha fazla fark edildiği bir süreçten geçmiştir (Aylar vd., 2024; Ertek, 2017; Kumral ve Yazıcı, 2024; Szabó vd., 2010; Uzun, 2020b;). İnsanoğlunun ilkel faaliyetleri ve etkileri, doğal süreçlere kıyasla morfolojik görünümde minimal düzeyde etki bırakmıştır. Sanayi Devrimi ve sonrasında madencilik faaliyeti, ulaşım ağlarının geliştirilmesi ve kentleşmenin artması yeryüzü şekilleri üzerinde daha büyük ölçekli baskı, değişim ve etkiler yaratmaya başlamıştır. Bu dönemde ilk defa, insan etkisinin çevresel süreçleri nasıl şekillendirdiği bilimsel merak konusu olmuştur (Price vd., 2011; Roccati vd., 2019). 1950'lerden itibaren, Dünya genelinde hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve şehirleşme antropojenik etkilerin kapsamını genişletmiştir. Barajlar, otoyollar,

maden ocakları ve altyapı projeleri, jeomorfolojik süreçlere doğrudan müdahaleler olarak ortaya çıkmış ve araştırılmıştır (Bruno vd., 2024; Ertek, 2023; Kopar vd., 2018; Li vd., 2017; Uzun, 2020a; Uncu ve Karakoca, 2021). Son yıllarda ise Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojilerinin kullanımıyla insan etkilerinin mekânsal ve zamansal olarak incelenmesi kolaylaşmıştır (Cao vd., 2020; Cendrero vd., 2022). Son 20 yıllık dönemde antropojenik jeomorfoloji çalışmaları ile ilgili modellemelerin sayısı çoğalmış, sürdürülebilir arazi yönetimi, jeoçeşitlilik, jeomiras ve çevre koruma politikaları açısından da önemi artmıştır (Sipahi ve Bağcı, 2024). Günümüzde antropojenik etkiler neticesinde topoğrafya üzerindeki dinamikliği algılayabilmek ve tespitini boyutsal ve yüzeysel olarak saptamak gelişen teknolojik yöntemler ve teknikler ile hız kazanmıştır. CBS ve UA entegrasyonu, Lidar ve İHA kullanımı ile zamansal ve mekânsal veriler üretilerek insan kaynaklı jeomorfolojik değişimlerin tespiti kolaylaşmış, bu durum antropojenik jeomorfolojinin gelişmesinde önemli rol oynamıştır (Amanambu & Mossa, 2024; Luengo vd., 2025; Ursu vd., 2011).

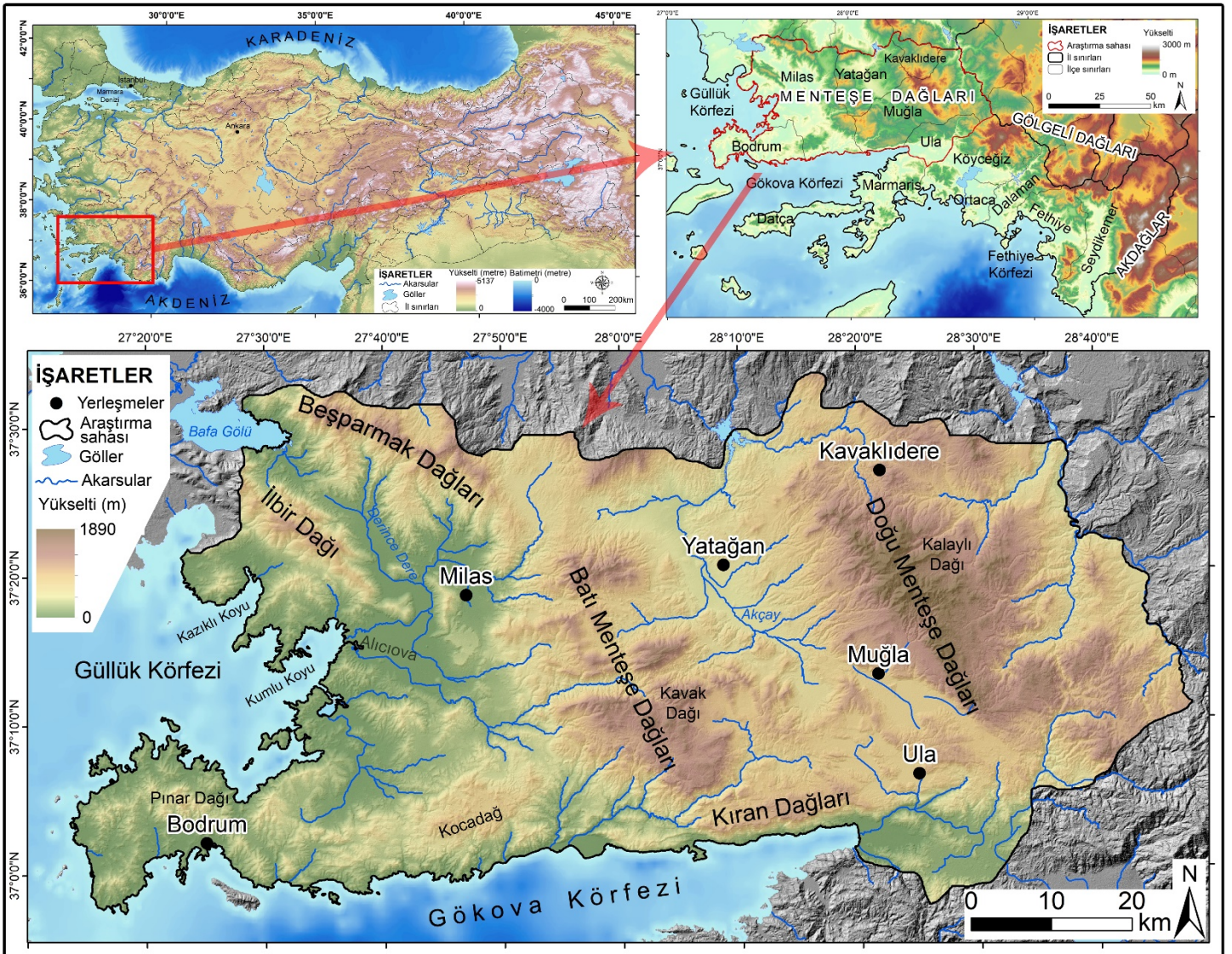
Antropo-jeomorfolojik değişimlerin yanında tüm doğal ortam koşullarında artan insan etkisi, baskı ve stres kavramı ile farklı terimlerin ortaya çıkmasını da sağlamıştır. Dünyadaki doğal ve insan etkisiyle gelişen, değişen döngüsel süreçlerden başta karbon ayak izi olmak üzere, ekolojik, antropojenik değişimler ve biyomlar üzerine dağılışı ve yoğunluk modellemeleri yapılmaktadır (Ellis ve Ramankutty, 2007). Elde edilen bulgular ülkelerin gelişmişlik seviyesi, nüfusu, doğal ortam koşullarındaki çeşitlilikler gibi unsurlarla korelasyona tabi tutulmakta ve geleceğe dönük tahminler yapılmaktadır (Ellis ve Ramankutty, 2007; Tarolli ve Sofia, 2016; Tarolli vd., 2019). Böylece dünyada antropojenik etkenlerle değişen koşulların en çok etkelediği alanlar saptanmakta ve sorunlara karşı çözüm önerileri sunulmaktadır. Bu bakımdan farklı indis ve modellemeler ortaya koyan antropojenik jeomorfoloji çalışmalarının yaklaşımı ile topografyadaki insan etkisi (antropo-jeomorfolojik ayak izi) yoğunluğu da gelişen teknolojik imkanlarla tespit edilebilmektedir. Belirtilen kapsamlar dahilinde bu çalışmanın amacını, Muğla ilinin kuzey ve batısını oluşturan (Muğla (Menteşe), Ula, Milas, Bodrum, Yatağan ve Kavaklıdere ilçeleri) araştırma sahasında, topografik, antropojenik, zamansal veriler kullanarak insan kaynaklı jeomorfolojik değişimin ortaya konması ve antropo-jeomorfolojik ayak izi yoğunluğu ile dağılışının modellenmesi oluşturur. Çalışma sahasının belirlenmesinde yoğun doğal-beşeri etkileşim potansiyeli, son yıllarda artan turizm baskı, madencilik faaliyetleri, yerleşme alanlarının genişlemesi ve belli alanlardaki orman yangınları etkili olmuştur.

Çalışma Sahasının Konumu ve Genel Coğrafi Özellikleri

Çalışma sahası Anadolu'nun güneybatısında yer alan Muğla ilinin kuzey ve batısındaki 6 ilçe sınırından oluşmaktadır. Sahanın kuzeyinde Beşparmak Dağları, Büyük Menderes grabeni, kuzeydoğusunda iç Menteşe Dağları, güneyinde Gökova Körfezi ve Köyceğiz Gölü, doğusunda Menteşe Dağları'nın doğu kanadı, batısında Güllük Körfezi'yle Ege Denizi'ne sınırı bulunmaktadır. Bu sınırlar içerisinde çalışma sahası 37°33'-36°57' kuzey enlemleri ile 27°12'-28°48' doğu boylamları arasında yer alır (Şekil 1). İncelenen saha toplam 5978 km² yüzölçüme sahiptir.

Çalışma sahası jeolojik açıdan çeşitlilikler arz etmektedir. Sahanın kuzey kesimini Menderes Masifi oluşturur. Bu masif kütle ve güney kesimi bünyesinde bol miktarda farklı dönemlere ait mermer yatakları barındırmaktadır (Yavuz

vd., 2002). Kuzey kesimdeki Beşparmak Dağları'nda Paleozoyik'e ait granitioritler gözlemlenir. Batı ve Doğu Menteşe Dağları kesiminde ise Jura-Kretase'ye ait mermerler yüzeylenmektedir. Sahanın güneyinde kalker, güneybatı kesiminde kireçtaşları yer alırken batı kesiminde ise gnays, şist, kireçtaşı, serpantin, mermer gibi birçok farklı litolojik birim bulunmaktadır (Akyüz vd., 2021; Kılıç ve Kalyoncuoğlu, 2017) (Şekil 2). Bodrum Yarımadası'nda Üst Miyosen'e ait piroklastik kayalar ve andezitler bulunmaktadır. Batı Anadolu sınırları içerisinde yer alan çalışma sahası neo-tektonik hadiselerden çokça etkilemiş ve sismik açıdan oldukça aktiftir. Muğla ve batı kesiminde KB-GD yönlü Muğla Fayı, güney kesiminde ise D-B yönlü Gökova Fay zone ve diğer faylar yer almaktadır (Akyüz vd., 2021; Dikbaş, 2023).



Şekil 1. Çalışma sahasının lokasyon ve fiziki haritası

Çalışma sahası, jeomorfolojik açıdan arızalı bir topoğrafyaya sahiptir. Araştırma sahasının kuzeyinde Beşparmak Dağları, kuzeybatısında İlbir Dağı, güneyde Kocadağ ve Kiran Dağları yer alır. Araştırma sahasının en

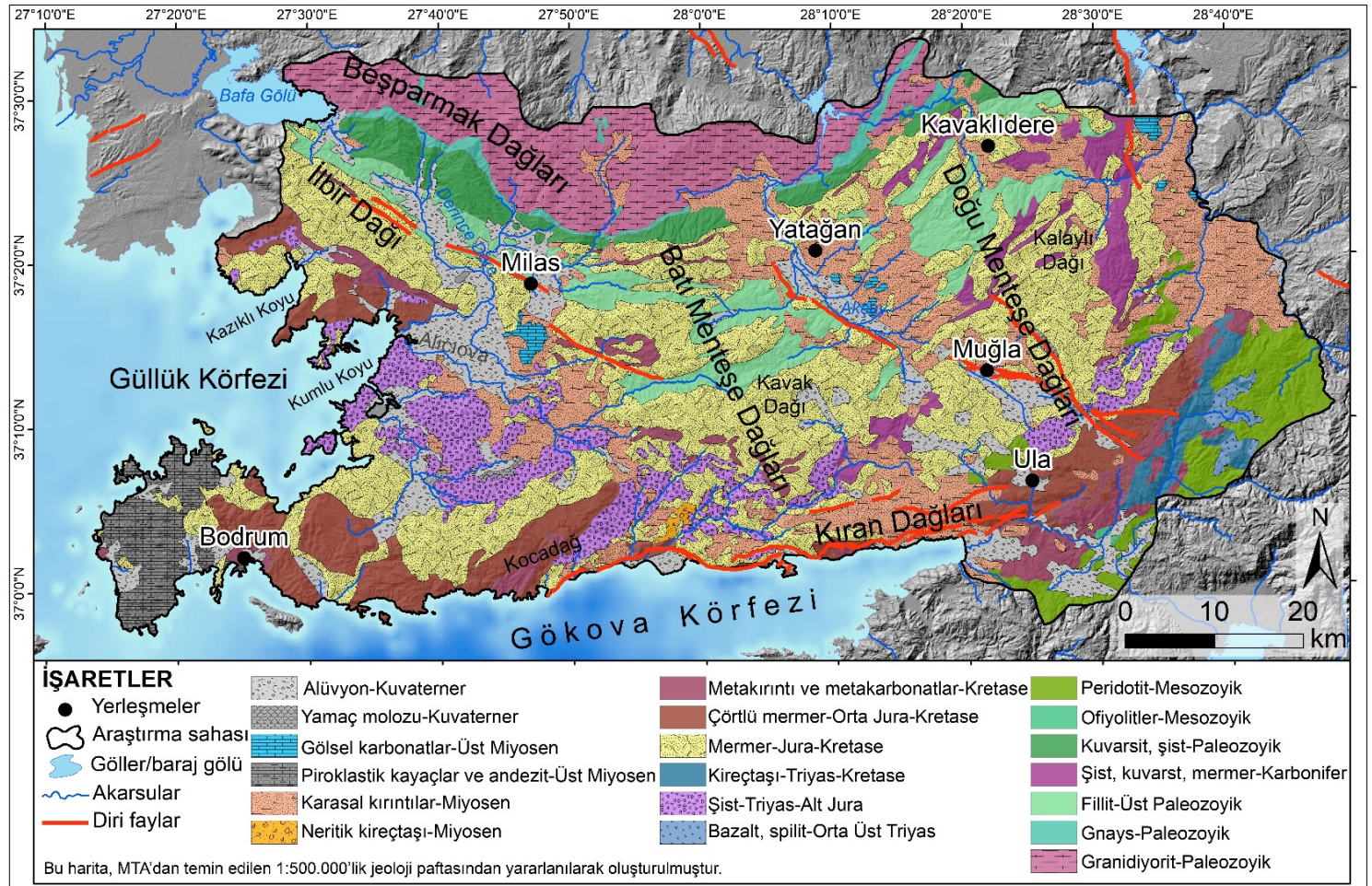
yüksek noktası barındıran Menteşe Dağları diğer dağlık alanların aksine doğu-batı değil kuzey-güney doğrultuda uzanış göstermektedir. Bu alan aynı zamanda konsektant özellik gösteren birçok akarsu tarafından parçalanmış plato

görünümündedir. Çalışma sahasının batı kesimindeki kıyı zonunda Sarıçay Ovası, Alıcıova ve birçok dar alanlı ova yer almaktadır. Çalışma alanında yükselti amplitüdü 1890 m ortalama yükseklik 550,8 m'dir. Sahanın en yüksek eğim değeri 78,3°, ortalama eğimi ise 13,5°'dir.

Araştırma sahası, Köppen-Geiger iklim sistemine göre yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılıman geçen Akdeniz iklimi (Csa) tipine sahip bir alan olarak tanımlanmaktadır (Taşoğlu vd, 2024). Muğla meteoroloji istasyonu verilerine göre (1985-2024) yıllık ortalama sıcaklıklar 15,1°C, yıllık ortalama yağış miktarı ise 1206 mm'dir. Hidrografik özellikler bakımından sahanın doğusunda ve kuzeyinde Akçay Nehri, batısında Derince Çayı, Kanlı Dere, Kemer Deresi ve Sarıçay Deresi bulunur. Çalışma sahasındaki ovalarda alüvyal, yamaçlarda kolüvyal ve diğer alanlarda çoğunlukla kırmızı

renkli Akdeniz toprakları yayılış gösterir. Araştırma sahası, kıyılardan itibaren maki formasyonu, 300 m'den 1000 m'ye kadar ise kızılçam (*Pinus brutia*) orman formasyonunun görüldüğü yoğun bir bitki örtüsüne sahiptir.

Muğla ilinin 6 adet ilçesi (Bodrum, Kavaklıdere, Menteşe, Milas, Ula, Yatağan) araştırma sahası içerisinde yer almaktadır. 2024 yılı TÜİK nüfus verilerine bakıldığında bu ilçelerin toplam nüfus miktarı 555.124'tür. Araştırma sahasındaki ekonomik faaliyet türlerini tarım, turizm ve madencilik oluşturur. Saha içerisinde açık maden sahaları, kum ve taş ocakları yer almaktadır. Başlıca madenleri arasında mermer, krom ve linyit yatakları bulunmaktadır. Bodrum Yarımadası ve Güllük Körfezi kıyılarında turizm faaliyetleri oldukça yoğundur.



Şekil 2. Araştırma sahasının jeoloji haritası

Veri ve Yöntem

Çalışmanın materyallerini, Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen eski ve yeni tarihli 1:25.000'li topografya paftaları, MTA'dan alınan 1:500.000 ölçekli jeoloji paftaları, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'ndan (USGS) 1984-2024 arası her yılın temmuz ayındaki Landsat uydu görüntüleri, Copernicus üzerinden temin edilen 16.08.2024 tarihli Sentinel 2 MSI

uydu görüntüsü, OpenStreetMap yol verileri, Google Earth Pro görüntüleri ve Tripinview hava fotoğrafları oluşturmaktadır.

Araştırmada için daha önce yapılmış modeller, indis analizi, CBS ve UA tabanlı analiz-model çalışmaları incelenmiş ve birçok kriter kullanılarak çalışma modelinin temeli oluşturulmuştur (Brandolini vd., 2020; Cendrero vd., 2022; Henselowsky vd., 2021; Natale vd., 2024; Nigam vd.,

2024; Nir, 1983; Pica vd., 2024; Remondo vd., 2024; Rózsa & Novák, 2011; Rózsa vd., 2020; Sofia vd., 2016; Tarolli vd., 2019; Uzun, 2020a, 2020b; Uzun, 2021; Uzun, 2024; Xiang vd., 2019). Modelin ana kriterlerini, topografik veriler (eğim, topografik rölyef), antropojenik etki verileri (arazi kullanımı/arazi örtüsü, yol ağı, maden sahaları, antropojenik baskı yoğunluğu dağılışı), zamansal değişim verileri (40 yıllık NDVI ve NDBI toplamaları), zamansal antropo-jeomorfolojik değişimin etkisi verisi (1984-2024 yılları arasındaki rölyef değişimi) ve antropo-jeomorfoloji etkileşim verisi (M-SLLAAC) oluşturmaktadır (Şekil 3).

Modelde kullanılmak üzere ilk olarak ArcGIS 10.5 kullanılarak altlık veriler hazırlanmıştır. Topografya paftalarından araştırma sahasının Sayısal Yükselti Modeli (SYM) oluşturulmuş, daha sonra SYM üzerinden eğim ve topografik rölyef verileri üretilmiştir (Mark, 1975). Çalışmadaki maden sahaları ve arazi kullanımı/arazi örtüsü (AKAÖ) verisi Sentinel uydu görüntüsü üzerinden 10 m çözünürlükte oluşturulmuştur. AKAÖ oluşturma aşamasında kontrollü sınıflandırma ve maksimum olabilirlik yöntemleri kullanılmıştır. Yol ağı verisi OpenStreetMap'den temin edilmiştir. Antropojenik baskı yoğunluğu dağılışı, sentinel uydu görüntüsü (2024) piksel değerlerinin gradyan sınıfları kapsamında elektromanyetik spektrum değerinin 8 farklı sınıfta derecelendirilmesi ile oluşturulmuştur (Su vd., 2022; Xiang vd., 2019). Normalleştirilmiş Bitki Farkı İndisi (NDVI) (Myneni vd., 1995) ve Normalleştirilmiş Yapay Alan Farkı İndisi (NDBI) (Zha vd., 2003) verileri ise 1984-2024 yılları arasındaki her yılın uydu verilerindeki bantlarından hesaplanmıştır. Daha sonra her yıla ait verilerin ortalaması alınarak toplanmış ve araştırma sahasının 40 yıllık NDVI, NDBI dağılışı üretilmiştir. Araştırmada zamansal açıdan antropo-jeomorfolojik değişim verisi topografyada meydana gelen değişimin m cinsinden değeri olarak ortaya konmuştur. Rölyef değişim dağılışı ve yoğunluğu, 1984 ve 2020 yıllarına ait paftlardan üretilen SYM değişim verisi ile bu veriye güncel değişimlerin hesaplandığı, Google Earth Pro ile detaylı uydu incelemeleri, arazi çalışması sonucu elde edilen noktasal tabanlı analiz verilerinin eklenmesi ile oluşturulmuştur. Araştırmada antropo-jeomorfolojik etkileşim verisi, Sofia vd., (2016) tarafından ortaya konan, daha sonra geliştirilen Yerel Eğim Uzunluğu Otokorelasyon

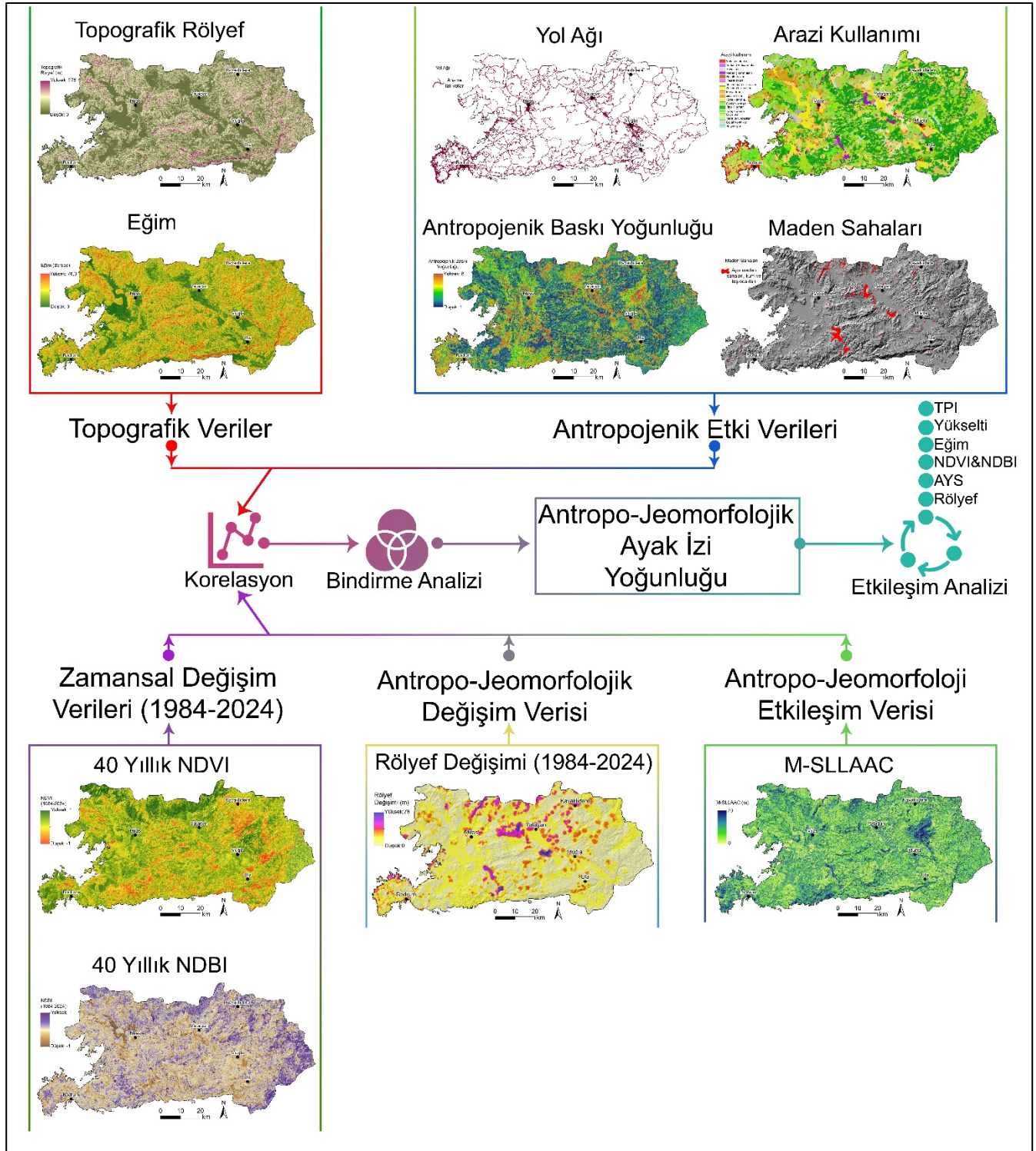
(SLLAC) verisinin modifiye edilmesi ve antropojenik etkinin veriye eklenmesi ile oluşturulmuştur (Modifiye Edilmiş Yerel Eğim Uzunluğu Antropojenik Etkisinin Otokorelasyonu M-SLLAAC) (Sofia vd., 2016; Xiang vd., 2019). Bu kapsamda eğim uzunluğu, antropojenik baskı yoğunluğu verileri bazı formüllerle otokorelasyona tabi tutulmuştur (Tablo 1).

Çalışmada, antropojenik kaynaklı jeomorfolojik değişim yoğunluğu modelindeki 10 farklı ana kriter arasında kantitatif değerleri ve ilişki boyutunu ortaya koymak amacıyla karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve korelasyon katsayıları üretilmiştir (Şekil 4). Korelasyon değerlendirilmesinde birçok çalışmadaki sayısal sonuçlardan ve kullanılan parametrelerin ilişkisel durum boyutlarından faydalanılmıştır (Brandolini vd., 2020; Cao vd., 2020; Chirico vd., 2021; Henselowsky vd., 2021; Natale vd., 2024; Nigam vd., 2024; Price vd., 2011; Rózsa vd., 2020; Sofia vd., 2016; Szabó vd., 2010; Tarolli vd., 2019; Tarolli ve Sofia, 2016; Uzun, 2020b; Uzun, 2021; Uzun, 2024; Xiang vd., 2019). Bu doğrultuda özellikle antropojenik kaynaklı olarak topografyada en büyük değişimleri maden alanlarının oluşturduğu, yol ve yerleşim alanlarının orta düzey ile mikro aşındırma-biriktirme ile tesviyelere yol açtığı belirlenmiştir (Szabó vd., 2010; Tarolli vd., 2019). Ayrıca eğim ve topografik değerlerin yüksek olduğu sahalardaki beşerî faaliyetlerin mutlak suretle topografya da büyük boyutlu aşındırma-kazma ve rölyefin yeniden tanzimi işlemlerine yol açtığı bilinmektedir. Bütün bu değişikliklerin yüzey örtüsü, topografik deformasyon ve güneş radyasyonu yansıma değerlerini değiştirdiği için indis analizlerinde de farklılıklar oluşturduğu görülmüştür (Zhang vd., 2006; Uzun, 2023). Ayrıca birçok analiz ile ortaya konan rölyef değişim verisinde makro (madencilik, kıyı dolgu alanı vb.) ve mikro değişimlerin (tarımsal faaliyet vb.) tamamında topografyanın kısa ve uzun vadede değişime uğradığını ve özellikle erozif etkendeki artışı tetiklediğini ortaya koymuştur (Tarolli vd., 2019). Bu kapsamda çalışma sahasında, belirtilen ana ve alt kriterler arasında korelasyon değerleri üretilmiş ve değerler çarpan faktör olarak kullanılarak araştırma sahası topografyasındaki insan etkisi (antropo-jeomorfolojik ayak izi) yoğunluğu ortaya konmuştur.

Tablo 1.

Araştırmada kullanılan indis ve analizlerin formülleri ile açıklamaları

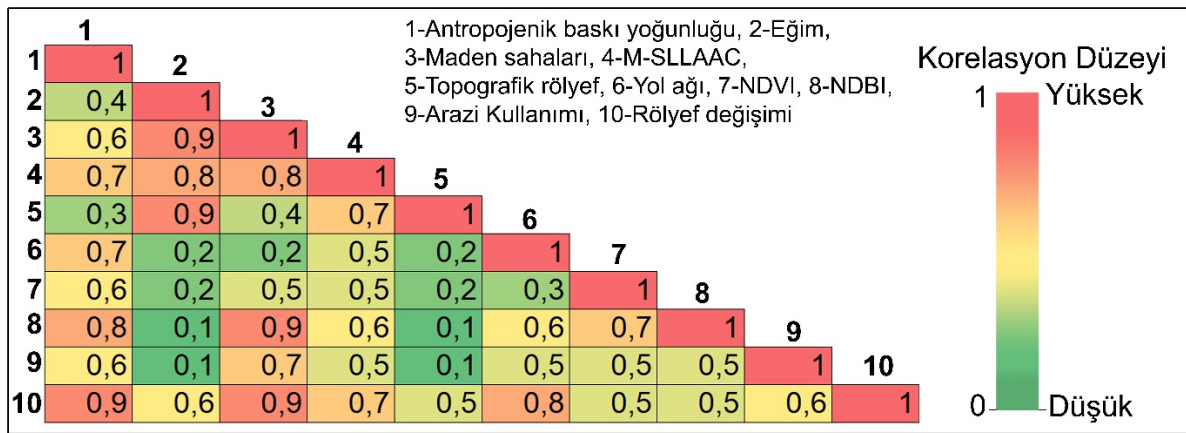
Analiz Adı	Formül	Kaynak
Topografik Rölyef	$E_c = (H_{max} - H_{min}) / A$ Formülde, H_{max} birim alandaki maksimum yükselti, H_{min} birim alandaki minimum yükselti, A ise toplam alanı ifade eder.	(Mark, 1975)
Topografik Pozisyon İndisi (TPI)	$TPI = Z_0 - Z$ Formülde, Z_0 ölçülen merkez noktadaki yükselti, Z belirlenmiş birim alan ya da yarıçap içerisindeki ortalama yükseltiyi ifade eder.	(Guisan vd., 1999; Jennes, 2006)
Normalleştirilmiş Bitki Farkı İndisi (NDVI)	$NDVI = \frac{(P_{NIR} - P_{red})}{(P_{NIR} + P_{red})}$ Formülde, P_{NIR} yakın kızılötesi, P_{red} kırmızı bantı ifade eder.	(Myneni vd., 1995)
Normalleştirilmiş Yapay Alan Farkı İndisi (NDBI)	$NDBI = \frac{(P_{SWIR1} - P_{NIR})}{(P_{SWIR1} + P_{NIR})}$ Formülde, P_{SWIR1} birinci kısa dalga kızılötesi, P_{NIR} yakın kızılötesi bantı ifade eder.	(Zha vd., 2003)
Modifiye Edilmiş Yerel Eğim Uzunluğu Antropojenik Etkisinin Otokorelasyonu M-SLLAAC	$S = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ Formülde, f_x ve f_y çıplak arazinin yüksekliğini ve ölçülen mesafeyi temsil eder. $Spc = -\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{a^2 z(x, y)}{a^2 z} \right) + \left(\frac{a^2 z(x, y)}{a^2 z} \right)$ Formülde, n , dikkate alınan tepe sayısını, i , parantez içindeki niceliğin her tepe için hesaplandığını ifade eder. F , analiz edilen harita değerine karşılık gelir ve c ve r , her yöndeki hücre aralığını temsil eder. Diğer ifadeler korelasyondan gelen değerlerdir. $Ant = j1Spc^3 + j2Spc^2 + j1Spc + j4$ Formülde, Spc , yüzey tepe eğriliği, j katsayı değerini ifade eder. $M - SLLAAC = SL + Spc + Ant + API$ Formülde, SL , eğim uzunluğu, Spc , yüzey tepe eğriliği, Ant , antropojenik yüzeyin yüzdesi ile Spc arasındaki belirli bir ilişkiyi tanımlayan bir polinom, API , antropojenik baskı yoğunluğunu ifade eder.	(Sofia vd., 2016; Xiang vd., 2019)
Arazi Yüzeyi Sıcaklığı (AYS)	$L\lambda = \frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{calmax} + Q_{calmin}} \times (Q_{cal} - Q_{min}) + L_{min}$ Formülde, $L\lambda$ hesaplanan radyans değerini, $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, Q_{cal} , uydu görüntüsünün piksel değerini, Q_{calmax} , maksimum piksel değerini, Q_{calmin} , minimum sayısal piksel değerini ifade eder. $Tb = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1 \right)} - 273.15$ Formüldeki, Tb sensör parlaklık sıcaklık değerini ($^{\circ}C$), $L\lambda$ spektral radyans değerini, $K1$ - $K2$ Landsat-5 ve Landsat-8 ait uydu ait spesifik termal dönüşüm sabitlerini ifade eder. $TS = \frac{Tb}{1 + \left(\lambda \times \frac{h \times c}{b} \right) \times \ln \epsilon \lambda}$ Formüldeki, Tb sensör parlaklık sıcaklık değerini ($^{\circ}C$), λ : termal bant dalga boyunu (Landsat 5 için $11.45 \mu m$ / Landsat-8 için $10.895 \mu m$), h Planck sabitini ($6.626 \cdot 10^{-34} Js$), b Boltzmann sabitini ($1.38 \cdot 10^{-23} J/K-1$), c ışık hızını ($2.998 \cdot 10^8 m/s$) ve $\epsilon \lambda$: piksele karşılık gelen yayınlılık değerini ifade eder.	(Zhang vd., 2006)



Şekil 3. Çalışma sahası topografyasındaki insan etkisi (antropo-jeomorfolojik ayak izi) yoğunluğu modeli

Araştırmada modellenen antropo-jeomorfolojik ayak izi modeli sonuç verileri daha sonra bazı verilerle etkileşim analizine tabi tutulmuştur. Etkileşim analizinde antropo-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu sahalara ile genel çalışma alanının tamamı, yükselti, eğim, NDVI, NDBI, röllyef değişimi, Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) (Zhang vd., 2006) değişimi (1984-2024) ve makro jeomorfolojik birimleri

sunan Topografik Pozisyon İndisi (TPI) (Iwahashi vd., 2018) verilerinin ortalama, maksimum ve minimum değerleri açısından karşılaştırılmıştır (Tablo 1). Araştırma sonunda elde edilen bütün bulgular üzerinden çalışma sahasında antropojenik jeomorfoloji koşulları, değişimleri, boyutları ve etkileşim durumu değerlendirilmiştir.



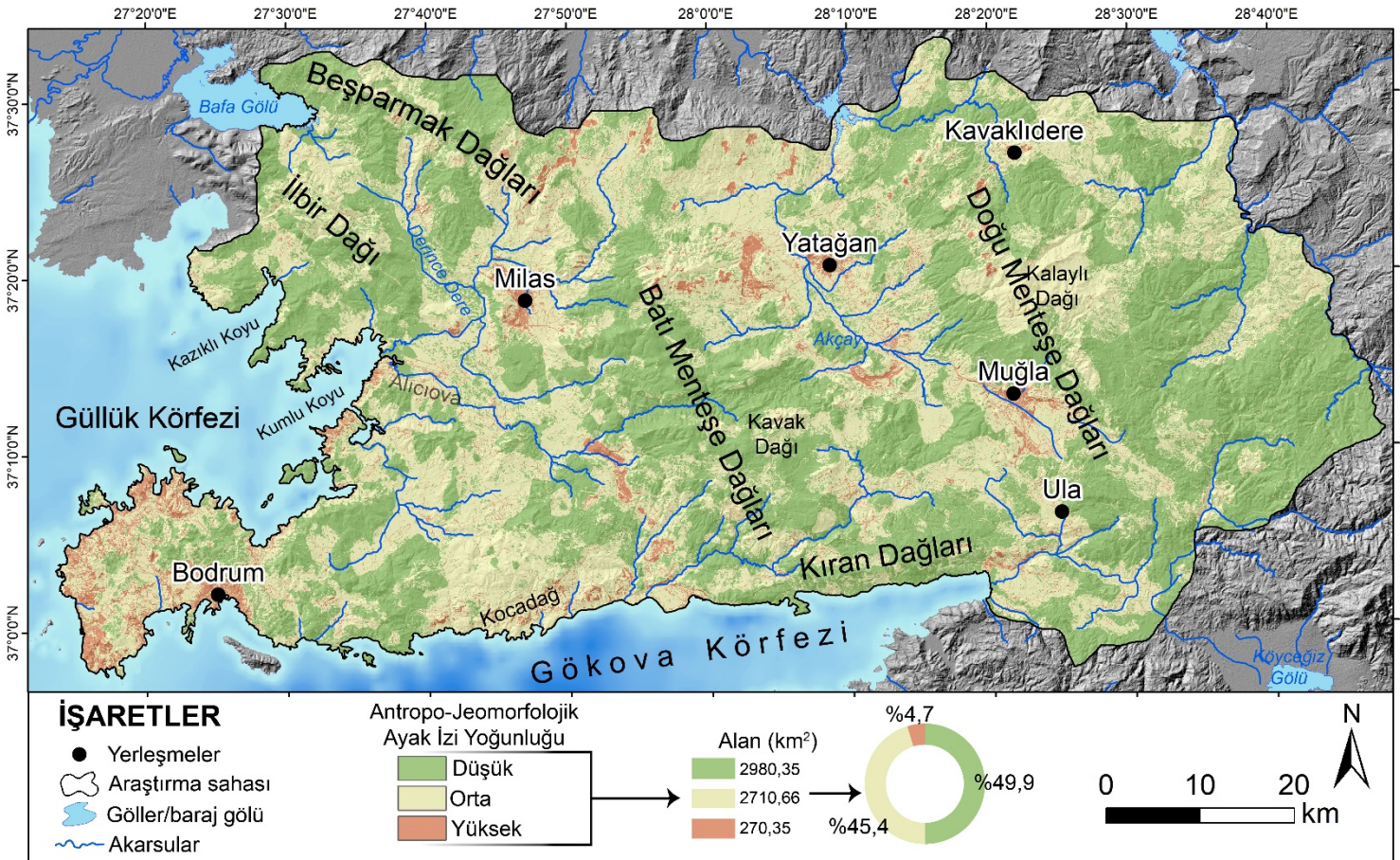
Şekil 4. Araştırma modeli ana kriterleri arasındaki korelasyon matrisi

Bulgular

Antropo-Jeomorfolojik Ayak İzi Yoğunluğu Modeli

Araştırmada sahasının antropo-jeomorfolojik ayak izi modelinde toplam 10 ana kriter ve 68 alt kriter kullanılmıştır. Ana faktörler 5 temel alana ayrılmaktadır. Bunlar; topografik veriler, antropojenik etki verileri, zamansal değişim verileri (1984-2024), zamansal antropo-jeomorfolojik değişim verisi ve antropo-jeomorfoloji etkileşim verileridir (Şekil 5). Topografik verilerden eğim, göreceli (topografik) rölyef değerlerinin dağılışı, çalışma sahasında kıyı ovaları ve polye sahaları (Muğla ve Yatağan polyesi) dışında arızalı bir morfolojik yapının olduğunu ortaya koyar. Bu bakımdan özellikle Doğu ve Batı Menteşe dağları ile sahanın kuzey-güney doğrultusundaki birçok uzanış hattında engebeli yapının olduğu ve insan faaliyetlerini etkilediği dikkat çekmektedir. İnsan faaliyeti ve baskının yoğun olduğu alanları özellikle yol ağı, arazi kullanımı ve antropojenik baskı yoğunluğu verileri ortaya koymuştur. Bu verilere göre Bodrum, Milas, Yağatan ve Muğla ilçe merkezleri ve çevresindeki doğal koşullar ve özellikle jeomorfolojik unsur ve süreçler antropojenik stres altındadır (Şekil 5).

Çalışma sahasının güncel uydu görüntüleri analizleri açık maden sahalarının belirli alanlarda yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Topografya paftalarından, farklı çözünürlükteki uydu görüntüleri ve arazi çalışmaları sonucu analizi yapılan rölyef değişim dağılışı verisi, madencilik faaliyetleri, afet kökenli etkiler, tarımsal desendeki değişimler, kentsel gelişim süreçleri (özellikle ikincil konut ve turizm baskıları) topografinin belli alanlarda değiştirildiğini göstermektedir. Çalışmada modifiye edilen SLLAAC analizi verileri ise araştırma sahasında antropojenik kökenli topografik değişim süreçlerinin belirli alanlarda yoğunlaştığı ön bulgusuna ulaşılmıştır. Ayrıca araştırmada 40 yıllık döneme ait (1984-2024) NDVI ve NDBI verileri zamansal ölçekte değişimlerin topografik (maden sahalarındaki deformasyon, şehirleşme ve ikincil konut nedeniyle tesviye işlemi), floristik (orman yangınları), hidrografik (Aliciova yakınlarındaki lagüner ortam değişimleri ve akarsu ıslah çalışmaları) ve edafik (yangın ve antropojenik kökenli siltasyon ile erozyon süreçlerindeki kantitatif değerlerinin değişimi) koşullarda farklı etki-sonuç bağlantısında meydana geldiği ortaya koymuştur.



Şekil 6. Çalışma sahasının topografyadaki insan kaynaklı değişim ve etki (antropo-jeomorfolojik ayak izi) yoğunluğu haritası

Çalışma sahasında antropo-jeomorfolojik ayak izi yoğunluk modeli sonucuna göre düşük yoğunluktaki alanlar sahanın toplam %49,9'luk kısmını, orta yoğunlukta olduğu alanlar %45,4'lük ve yüksek yoğunlukta olduğu sahalar ise %4,7'lik kısmını oluşturmaktadır (Şekil 6). Antropojenik kökenli jeomorfolojik baskıyı ortaya koyan, insan kaynaklı değişimleri kategorize eden modele göre Çalışma sahasının 270,35 km²'lik bölümünde yüksek düzeyde insan baskının olduğu saptanmıştır. Model analizi sonucunda, araştırma sahasının sadece %4,7'sini oluşturan yüksek düzey antropo-jeomorfolojik ayak izi verisi, alansal değer açısından ise aslında geniş bir alan kaplamaktadır. Ayrıca yüksek düzeydeki alanların etki ve topografik değişim açısından farklı boyutlar gösterdiği saptanmıştır (Fotoğraf 1A, 1B ve 2A, 2B).

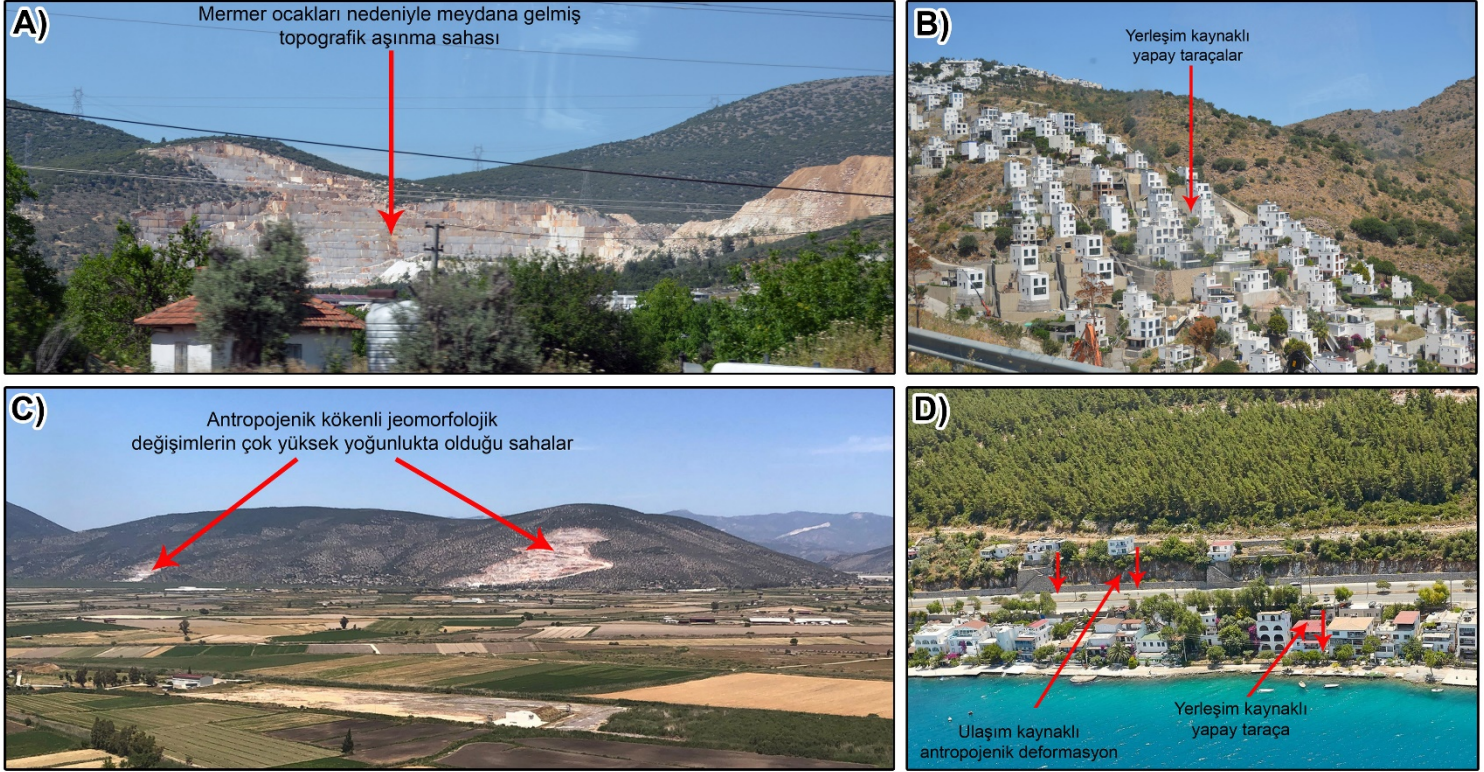
Yüksek düzeyde insan etkisinin topografyada etkili olduğu alanları, büyük topografik değişim gösteren maden sahaları, linyit işletme yatakları ve açık taş kum ocakları meydana getirmektedir (Şekil 6 ve Fotoğraf 1). Bu maden sahaları, Yatağan İlçesi'nin batısındaki, Batı Menteşe Dağları ve Akçay Vadisi arasında yoğunlaşmıştır. Maden sahaları; güney kesimde Milas ilçesine bağlı İkizköy Mahallesi'nde bulunan Akbelen Ormanlarının güneyinde, Türkevleri Mahallesi'nin kuzeyinde ve Hüsamlar Mahallesi civarında iken kuzeyde ise Aydın-Muğla il sınırı güneyinde ve Kavaklıdere ilçesinin güneybatısında gözlemlenmektedir.

Yüksek yoğunluğuna sahip diğer alanlar çalışma sahasının batısında yer alan Bodrum Yarımadası ve Güllük kıyılarındaki kıyı alanlarının neredeyse tamamı, bu kıyılardaki iskele yapıları, ulaşım güzergahları, ikincil konutlar ve turizm amaçları antropojenik müdahale alanlarında, kazma, tesviyeleme süreçleriyle oluşturulmuştur (Fotoğraf 1). Ayrıca Güllük yerleşim sahası batısında hava yolu ulaşımı sebebiyle oluşturulan Milas-Bodrum Havalimanı'nın bulunduğu alanda da jeomorfolojik ve topografik değişimler baskıyı arttırmaktadır. Muğla, Yatağan ve Milas ilçe merkezleri ile bu yerleşmeler arasındaki an yol hatlarında da antropo-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu saptanmıştır.

Orta düzeydeki sahalar, Milas-Kocadağ ile Yatağan-Muğla-Ula arasındaki kuzeybatı-güneydoğu hattında yoğunlaşmıştır. Bu sahalarda daha çok tarımsal faaliyet ve ulaşım insan etkisi yoğunluğunu arttırmıştır. Düşük yoğunluğa sahip alanlar neredeyse hiç olmadığı sahalar, Beşparmak Dağları, Batı Menteşe ve Doğu Menteşe Dağları'nda dağılışı göstermektedir. Buradaki değişimler topografya üzerinde küçük boyutlu faaliyetler (tarım, ulaşım, mera vb.) neticesinde gerçekleşmektedir. Topografyada düşük yoğunluklu insan etkisinin olduğu sahaların büyük bölümünde, rölyef değişiminin olmadığı ya da dolaylı etkiler ile çok düşük düzeyde değişimlerin yaşandığı saptanmıştır. Bu alanların büyük bölümünde

kızılçam ormanları kuşak halinde görülmekte, topografya, ekosistem ve diğer doğal döngüler insan baskısından çok az

etkilenmektedir. Bu nedenle belirtilen alanlarda antropo-jeomorfolojik ayak izi çok düşük seviyededir.



Fotoğraf 1. A) Merkez ilçe yakınlarındaki maden kaynaklı deformasyon sahası B) Bodrum'da antropojenik jeomorfoloji unsurları, C) Güllük yerleşmesi kuzeyindeki (Bodrum-Milas havalimanı yakınları) antropo-jeomorfolojik ayak izi yüksek sahalarda D) Bodrum yarımadası kuzeyinde ulaşım kaynaklı rölyef değişim sahalarda (hava foto tripinview'den alınmıştır)

Çalışma Sahasının Antropojenik Jeomorfoloji Unsurları, Değişim ve Etkileşim Boyutları

Antropo-jeomorfolojik ayak izi yoğunluğu aynı zamanda farklı jeomorfik süreçleri ve unsurları barındırmaktadır. Bu kapsamda araştırma sahasında meydana gelen antropo-jeomorfoloji koşulları yapay olarak aşındırma-kazma, biriktirme-doldurma, mikro ve karmaşık açıdan tesviye-düzleştirme işlemlerinden ileri gelmiştir. Ayrıca antropojenik jeomorfoloji süreçleri doğrudan ve dolaylı olarak farklı koşullar altında da gerçekleşmiştir. Araştırma sahasında, yüksek düzeyde antropo-jeomorfolojik değişim sahalarda özellikle Batı Menteşe Dağları'nın doğu ve batı yamaçlarında gözlemlenmektedir. Bu alanlarda antropo-jeomorfolojik süreçleri temel olarak aşındırma faaliyetleri meydana getirir. Rölyef değişim analizine göre de özellikle Yatağan ve Muğla yerleşim merkezlerine yakın sahalardaki açık maden alanlarında 30-78 m arasında topografik aşındırma faaliyeti yapıldığı saptanmıştır. Linyit, mermer ve diğer unsurların çıkarıldığı açık maden sahalarda, doldurma-birikim sahalarda da bulunur. Bu bakımdan hem yapay aşındırma hem de yapay doldurma ile antropojenik jeomorfoloji koşullarından yapay çukurlar, yapay tepeler, maden boşaltım alanları ve atık göleti gibi unsurların sahada olduğu gözlemlenmiştir. Mermer madeni işletim

alanlarında ise yoğun bir yapay taraçalamanın olduğu dikkat çekmektedir (Fotoğraf 1A). Ulaşım sahalardaki yapay biriktirme süreçleri özellikle kavşak alanlarında, aşındırma ve diğer tesviye işlemleri ile viyadük ve ovalarda meydana getirilmiştir. Bodrum Yarımadası ve Güllük Körfezi kıyılarında turizm ve ikincil konut faaliyetleri nedeniyle kıyılarda yapay dolgular, eğimli kıyı yamaçlarında yapay kıyı taraçalandırılmasının antropo-jeomorfolojik süreçleri oluşturduğu tespit edilmiştir (Fotoğraf 1B ve 1D).

Tektonik ve karstik jeomorfoloji unsurlarının görüldüğü Muğla (merkez ilçe) ve Yatağan yerleşim alanlarında, madencilik, kentsel yerleşim ve ulaşım kaynaklı olarak polye kenarları deformasyona uğramış ve fay dikliklerinde değişimler yaşanmıştır. Diğer bir durum Aliciova kesiminde Bodrum-Milas havalimanı yapımı için kıyı ve flüvyal jeomorfoloji koşullarının değiştirilmesi ile gözlemlenmiştir. Bu sahalarda aynı zamanda dere ıslahı, akarsu kanal düzenlemesi ve tarımsal faaliyetler nedeniyle hidrografik koşullarda da antropojenik kökenli değişimler ve süreçler yaşanmıştır. Bu nedenle belirtilen sahanın lagüner-gölsel ortamı değişmiş, özellikle Güllük yerleşim biriminden itibaren kıyıda antropojenik kökenli deformasyonlar yaşanmıştır.



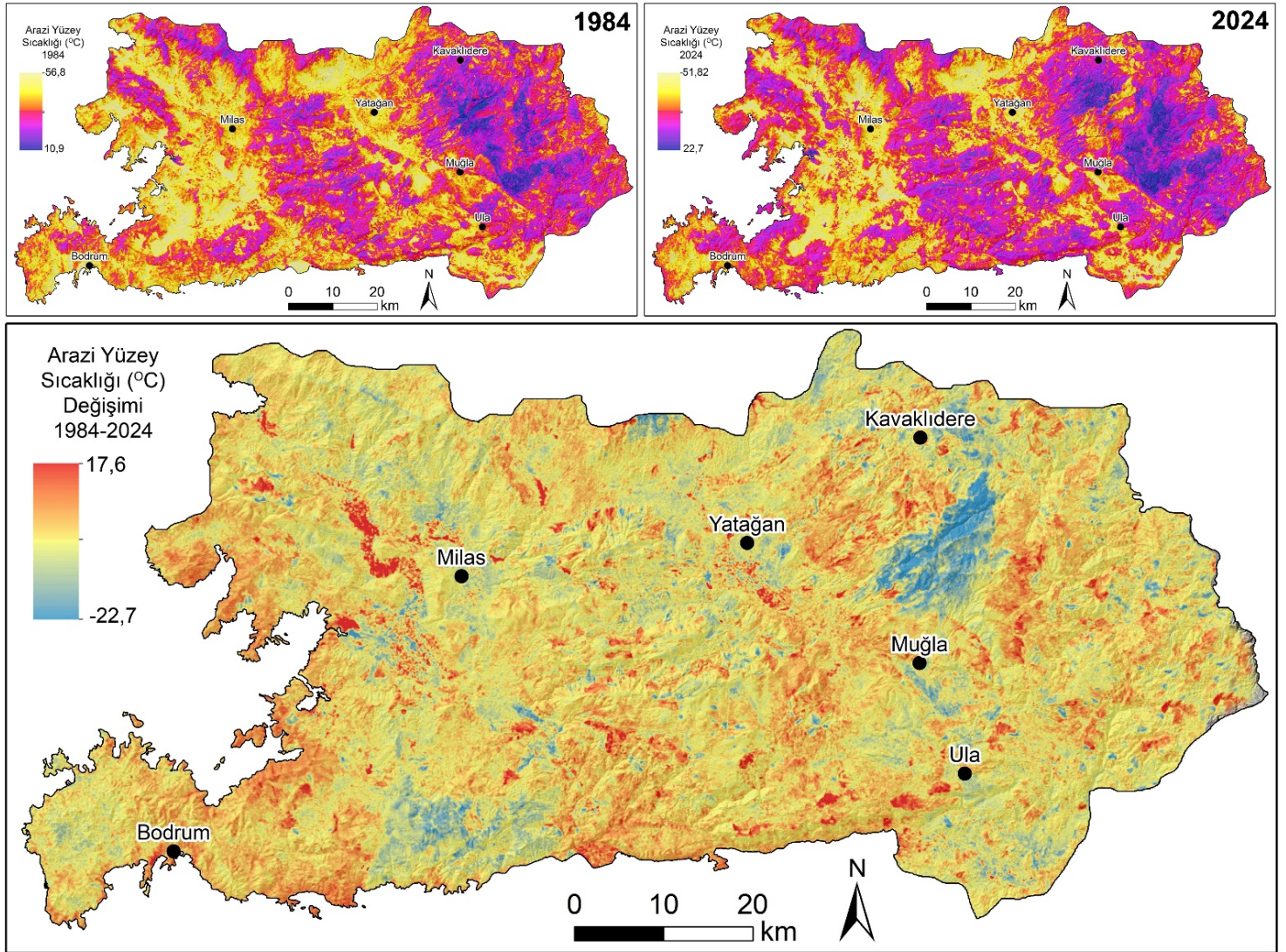
Şekil 7. Çalışma sahasının topografik pozisyon indisi (TPI) dayalı makro jeomorfoloji haritası

Çalışmada, antro-po-jeomorfolojik ayak izinin yüksek düzeyde olduğu sahalara ile araştırma sahasının Topografik Pozisyon İndisi (TPI) üzerinden üretilen makro jeomorfoloji birimleri arasındaki ilişki düzeyi de analiz edilmiştir. Oluşturan TPI odaklı jeomorfoloji haritasındaki birimleri; ova ve alçak düzlükler, vadi tabanları ve yüksek düzlükler, plato sahaları ve yamaçlar, sırtlar ve eğimli yamaçlar ve dağlık alanlar ile tepeler meydana getirir (Şekil 7). Topografyadaki insan kaynaklı değişim ve etkinin yüksek olduğu alanların %21'i ova ve alçak düzlüklerde, %34'ü vadiler ile yüksek düzlük alanlarında, %32'si plato sahalarında, %11'i sırt ve eğimli yamaçlarda ve %2'si dağlık alanlarda olduğu saptanmıştır. Plato sahaları ve yüksek eğimli alanların, topografik rölyef değerleri, insan faaliyeti için elverişsiz koşullar sunmasından dolayı, antropojenik faaliyetler için mutlak suretle topografya yüzeyinin değiştirilmesine sebebiyet vermektedir. Bu nedenle özellikle maden sahalarının plato ve yüksek eğimli yerlerde bulunması kantitatif açıdan antro-po-jeomorfolojik ayak izi yoğunluğunun yüksek olmasına neden olmuştur. Ova ve alçak düzlük alanlarda ise yerleşim, ulaşım, kıyı dolgu alanları ve turizm kaynaklı antropojenik değişimler topografik açıdan değişimlere neden olmuş ve sonucunda topografyada insan faaliyetlerinin etki değeri yükselmiştir.

Araştırma sahasının eğim, yükselti, Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS), NDVI ve rölyef değişimi değerleri tüm çalışma sahası ile antro-po-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu sahalara arasında karşılaştırmalı olarak etkileşim analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen bulgulara göre araştırma sahasının

ortalama yükseltisi 550,8 m iken antro-po-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu sahalarda bu değer 338,7 m'dir. Araştırma sahasında eğim değerleri ortalaması 13,5° iken antro-po-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu sahalarda ortalama eğim 14,1°'dir. Yükselti ve eğim verileri insan kaynaklı topografik değişim ve baskı yoğunluğunun daha alçak yükselti seviyelerinde ancak daha engebeli alanlarda yoğunlaştığını göstermektedir. Araştırma sahasının tamamında ortalama rölyef değişimi 3,1 m olarak saptanmıştır. Bu değer antro-po-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu alanlarda 4 kat artış göstererek 12,4 m olarak tespit edilmiştir. Özellikle maden sahalarındaki yapay aşındırma faaliyetleri rölyefin görünüm ve boyutunu değiştirirken doğal koşullara etki düzeyini de arttırmaktadır.

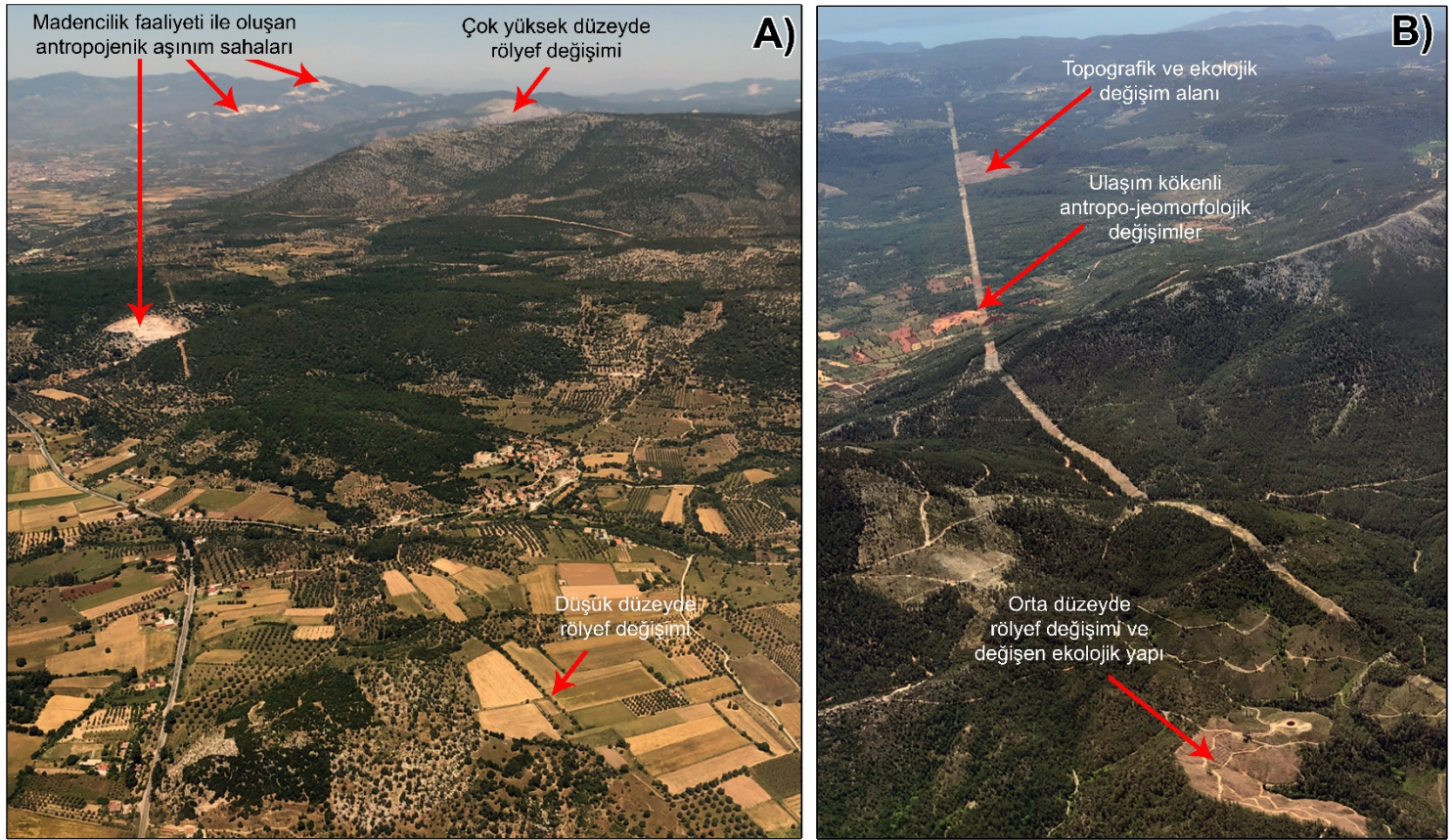
Çalışma sahasının NDVI değerleri ortalaması 0,26, maksimum 0,66 ve minimum -0,31'dir. Antro-po-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu alanlarda NDVI ortalaması 0,16, maksimum 0,56, minimum -0,29 değerindedir. Değerlerin +1'e yakın olması bitki yoğunluğunun, -1'e yakın olması bitkinin seyrek olduğu ya da tahrip edildiğini göstermektedir. Belirtilen sayısal değerlerden bu durumun oluşmasında özellikle orman tahribi ve yangını etkili olmaktadır. Çalışma sahasının Milas ilçesi güneyinde, 8.840 ha'lık alandaki bitki örtüsü orman yangını sebebiyle (29 Temmuz 2021) tahrip olmuştur. Bu durum orman yangını sonrası ortaya çıkan erozyon ile dolaylı antro-po-jeomorfolojik koşulların yaşandığını göstermektedir. Belirtilen saha orta ve yüksek düzeyde antro-po-jeomorfolojik ayak izi yoğunluğuna sahiptir.



Şekil 8. Araştırma sahasının 1984 ve 2024 yıllarına ait Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) dağılışı ve 40 yıllık AYS değişim verisi

Araştırma sahasının tamamı 1984 ve 2024 yılları kapsamında Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) açısından incelenmiş daha sonra 40 yıllık AYS değişim verisi oluşturulmuştur (Şekil 8). Çalışma sahasının tamamında 1984 yılında AYS ortalaması 31,2°, maksimum 56,8° ve minimum 10,9°'dir. 2024 yılında ise AYS değerleri ortalaması 35,8°, maksimum 51,8° ve minimum 22,7°'dir. Bu durum çalışma sahası arazi yüzey sıcaklığının 40 yıllık zaman diliminde artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Analiz edilen her iki tarihteki (1984-2024) AYS değerlerinin değişim analizine göre çalışma sahasının tamamında ortalama -4,6°, maksimum 17,6° ve minimum -27,7°'lik değişimlerin olduğu saptanmıştır. Bu durumun oluşmasında özellikle tarım desenin değişmesi, madencilik faaliyetleri nedeniyle oluşturulan yapay

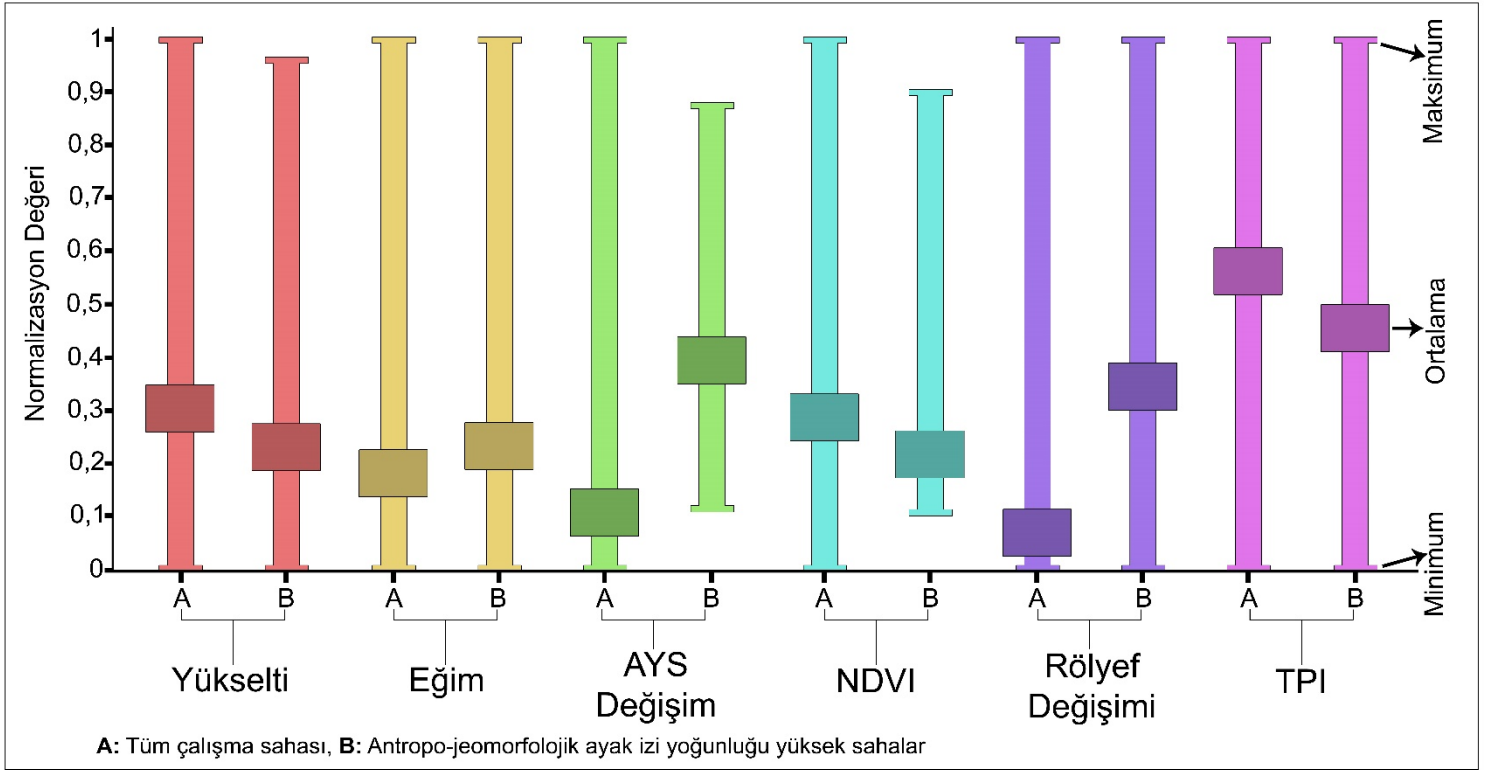
tarahaların yamaç yönelimi açısından kuzeyde kalması ve güneş radyasyonuna daha az maruz kalması ile yapılan gölet ve baraj gölleri etkili olmuştur. Antropo-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu sahalarda AYS değeri ortalaması 3,7°, maksimum 12,8° ve minimum -19,3°'dir. Bu durum genel olarak antropojenik jeomorfolojik koşullarının olduğu sahalarda 40 yıllık değişim sürecinde ortalama olarak +8,3°'lik arazi yüzey sıcaklığı değişimin olduğunu göstermektedir. Özellikle kentsel yerleşim alanı genişlemesi, turizm tesisi ve ikincil konutlardaki artış, sanayi ve enerji üretim alanlardaki genişleme AYS değişimin artmasının temel sebebidir. Bulgular AYS ile antropo-jeomorfolojik ayak izi değerlerinin birbiri ile bağlantılı olduğunu ortaya koymuştur.



Fotoğraf 2. Farklı antropojenik nedenlerle meydana gelmiş rölyef değişim alanları A) Milas ilçe merkezi kuzeyi (Beşparmak Dağları), B) Batı Menteşe Dağları'ndan güneye doğru olan saha

Araştırma sahasında antropo-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu sahalardaki yükselti, eğim, NDVI, arazi yüzey sıcaklığı (AYS) değişimi, rölyef değişimi ve topografik pozisyon indisi (TPI) verileri kantitatif açıdan karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada ortalama, maksimum ve minimum değerler kullanılmış ve normalizasyon formülü uygulanarak korelasyondaki hata durumu ortadan kaldırılmıştır. Karşılaştırma analizi sonucuna göre antropo-jeomorfolojik ayak izinin ortalama ve maksimum yükselti değerlerinin tüm çalışma alanına göre daha az seviyede bulunduğu saptanmıştır (Şekil 9). Bu durum özellikle yükselti seviyesinin fazla olduğu dağlık, bitki örtüsü ile kaplı alanlarda insan faaliyetleri sonucu rölyef değişiminin neredeyse çok az olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, Beşparmak Dağları, İlbir Dağı, Batı ve Doğu Menteşe Dağları ile Kiran Dağları'nda gözlemlenmektedir. Eğim değerlerinde ise özellikle engebeli ve dik yamaçların ulaşım nedeniyle tanzim edilmesi antropo-jeomorfolojik ayak izi değerinde etki seviyesini ortalama değerler açısından yükseltmiştir. Çalışma sahasının etkileşim analizine göre, arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) değişimi ile rölyef değişimi verileri etkileşim

açısından antropo-jeomorfolojik ayak izi ile doğrudan bağlantılıdır. Her iki parametre verisi ortalama değer açısından incelenecek olursa, çalışma sahasının tamamına göre topografyada insan etkisinin yüksek olduğu sahalarda değerlerin 2-3 kat daha yükseldiği saptanmıştır. NDVI ve TPI verilerinde ise tüm çalışma sahasına göre antropo-jeomorfolojik ayak izi yüksek sahalardaki ortalama değerlerin daha alt seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun oluşmasında özellikle, kentleşme, turizm tesisi, ikincil konut, madencilik ve sanayi nedeniyle bitki yoğunluğunun azalması ve +1 ile -1 arasında değerlerin 0'a yaklaşması etkili olmuştur. TPI verisinde ise alt değerlerin ova düzlük alanlara tekabül etmesi, verinin ayak izi dağılışı ile yükselti arasında paralellik olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. Tüm çalışma sahası ve antropo-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu sahalardaki belli etki kriterlerinin normalleştirilmiş karşılaştırma grafiği

Sonuç ve Öneriler

Çalışmada Muğla ilinin kuzeybatı kesiminin insan kaynaklı rölyef değişimi ve antropo-jeomorfolojik ayak izi modellenmiştir. Model, 5 temel alan, 10 ana kriter ve birçok alt parametrenin etkileşim korelasyonu ile ortaya konmuştur. Uygulanan model sonucunda araştırma sahasının %4,7'sinde (270,35 km²) yüksek düzeyde antropo-jeomorfolojik ayak izi yoğunluğunun olduğu saptanmıştır. Topografyadaki insan kaynaklı değişim ve etkinin en yüksek olduğu alanları, Muğla-Yatağan arasındaki maden sahaları, yerleşmeler ve ana yol ağı, Milas ilçe merkezi ile kuzeyindeli farklı lokasyonlarda bulunun madenler, Kocadağ'ın kuzeydoğusundaki maden sahası, Kumlu koyu doğu kıyıları, Bodrum Yarımadası'nın bütün kıyıları ile Bodrum ilçe merkezi oluşturur. Çalışma sahası yüzölçümünün yarısında ise antropo-jeomorfolojik ayak izinin düşük olduğu saptanmıştır. Bu alanları özellikle yoğun bitki örtüsüne sahip dağlık sahalardır. Ancak madencilik, sanayi ve gelişen yerleşim alanları ile birlikte birçok doğal alanının son 40 yılda (1984-2024) antropojenik stres altına girdiği saptanmıştır. Model verisinde kullanılan birçok kriter sayesinde sadece topografyaki insan etkisinin yüksek olduğu alanlar tespit edilmemiş, aynı zamanda orta düzey yoğunluğa sahip alanlardaki antropojenik baskı durumunda ortaya konmuştur. Sonuçta özellikle Yatağan ve Muğla polyesi, Alıcıova çevresi ve özellikle Beşparmak Dağları ile Kocadağ kuzey kesiminin antropo-jeomorfolojik değişim

stres yoğunluğunu yaşayacağı düşünülmektedir.

Antropo-jeomorfolojik ayak izi modelinin etkileşim analizine göre birçok parametresinin yüksek yoğunluklu alanlarla bağlantısal yapılarının olduğu saptanmıştır. Çalışmada sahasındaki yükselti ve eğim verileri antropojenik kökenli topografik değişim ve baskı yoğunluğunun daha alçak yükselti seviyelerinde ancak daha eğimli, engebeli alanlarda yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Çalışmadaki analizlere göre inceleme sahasının tamamında ortalama rölyef değişimi 3,1 m'dir. Bu değer antropo-jeomorfolojik ayak izinin yüksek düzeyde olduğu alanlarda 4 kat artış göstererek 12,4 m olarak tespit edilmiştir. Özellikle maden sahalarında 20-78 m arasında değişen yapay aşındırma faaliyetleri rölyefin görünüm ve boyutunu değiştirirken insan faaliyetlerinin doğal koşullara etki düzeyini de arttırmaktadır.

Araştırmadaki diğer etkileşim analizi sonucuna göre 1984-2024 yılları arasında çalışma sahasının birçok yerinde Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) değişim göstermiştir. AYS değişim analizine göre çalışma sahasının tamamında ortalama -4,6°, maksimum 17,6° ve minimum -27,7°'lik değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Antropo-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu sahalarda ise AYS değişim değeri ortalaması 3,7°, maksimum 12,8° ve minimum -19,3°'dir. Bu durum genel olarak antropojenik jeomorfoloji koşullarının olduğu sahalarda, 1984-2024 arasında ortalama olarak +8,3°'lik arazi yüzey sıcaklığı artışının olduğunu göstermektedir.

Özellikle madencilik kaynaklı deformasyon alanının artması, kentsel yerleşmelerin genişlemesi, turizm tesisi ve ikincil konutlardaki artış, sanayi ve enerji üretim alanlardaki genişleme boyutları AYS değişimin artmasının temel sebebidir. Çalışmadaki etkileşim analizi sonuçları AYS ile antropo-jeomorfolojik ayak izi değerlerinin birbiri ile oldukça yüksek korelasyona sahip olduğunu göstermektedir.

Antroposen olgusunun tartışıldığı günümüz dünya koşullarında, nüfus ve kentleşmenin artması arz ve talebin çoğalmasına dolayısıyla da doğal ortam koşullarının yoğun şekilde kullanılmasına neden olmaktadır. Bu durum özellikle belli insan faaliyetleri kapsamında rölyefi değiştirmekte antropo-jeomorfolojik koşullar ile bu alanlarda ayak izi yoğunluğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma genel olarak antropo-jeomorfolojik ayak izinin yüksek olduğu sahaların belli lokasyonlarda toplandığı ortaya koymuştur. Modellemenin yapıldığı çalışma farklı parametrelerin antropo-jeomorfolojik ayak izini etkilediğini ve sonucunda dağılışı verisinde birçok etki kriteri ile bağlantılı olduğunu göstermektedir. Özellikle sürdürülebilir doğal kaynak yönetimleri ile birçok alt ve üst planlamalar bu çalışmada elde edilen bulguların kullanılabileceği, aynı zamanda bazı bilimsel çalışmalara da öncülük edebileceği düşünülmektedir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma, insan ya da hayvan deneklere müdahale içermediği ve kişisel veri kullanılmadığı için etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Yazar Katkıları: Konsept-S.M.U.; Tasarım-S.M.U.; Denetleme-S.M.U.; K.D., S.A.; Kaynaklar-S.M.U., K.D., S.A.; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi-S.M.U., K.D., S.A.; Analiz ve/veya Yorum-S.M.U.; Literatür Taraması-S.M.U., K.D., S.A.; Yazıyı Yazan-S.M.U., K.D., S.A.; Eleştirel İnceleme-S.M.U.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazarlar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Ethics Committee Approval: This study does not require ethics committee approval as it involves no interventions on human or animal subjects or the use of personal data.

Author Contributions: Concept-S.M.U.; Design-S.M.U.; Supervision-S.M.U.; K.D., S.A.; Resources-S.M.U., K.D., S.A.; Data Collection and/or Processing-S.M.U., K.D., S.A.; Analysis and/or Interpretation-S.M.U.; Literature Review-S.M.U., K.D., S.A.; Writing-S.M.U., K.D., S.A.; Critical Review-S.M.U.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

Kaynaklar

- Aguilar, R. G., Owens, R., & Giardino, J. R. (2020). The expanding role of anthropogeomorphology in critical zone studies in the Anthropocene. *Geomorphology*, 366, 107165. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107165>
- Akyüz, H. S., Basmenji, M., Kırcan, E., Aksoy, M. E., Dikbaş, A., & Erturaç, M. K. (2021). Muğla Fayı, GB Türkiye: Morfometrik, jeomorfolojik ve Paleosismolojik Yeni Bulgular. *Yerbilimleri*, 42(2), Article 2. <https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.868411>
- Amanambu, A. C., & Mossa, J. (2024). Machine learning insights of anthropogenic and natural influences on riverbed deformation in a large lowland river. *Geomorphology*, 446, 108986. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108986>
- Aylar, F., Uygun, S., & Zeybek, H. İ. (2024). Antropojenik jeomorfoloji kapsamında topografik değişimin belirlenmesine bir örnek: Pazarsuyu Çayı Havzası (Giresun). *Kesit Akademi*, 10(40), Article 40. <https://doi.org/10.29228/kesit.78038>
- Bauer, A. M., Edgeworth, M., Edwards, L. E., Ellis, E. C., Gibbard, P., & Merriitts, D. J. (2021). Anthropocene: Event or epoch? *Nature*, 597(7876), 332-332. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02448-z>
- Brandolini, P., Cappadonia, C., Luberti, G. M., Donadio, C., Stamatopoulos, L., Di Maggio, C., Faccini, F., Stanislao, C., Vergari, F., Paliaga, G., Agnesi, V., Alevizos, G., & Del Monte, M. (2020). Geomorphology of the Anthropocene in Mediterranean urban areas. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 44(4), 461-494. <https://doi.org/10.1177/0309133319881108>
- Brown, A. G., Tooth, S., Bullard, J. E., Thomas, D. S. G., Chiverrell, R. C., Plater, A. J., Murton, J., Thorndycraft, V. R., Tarolli, P., Rose, J., Wainwright, J., Downs, P., & Aalto, R. (2017). The geomorphology of the Anthropocene: Emergence, status and implications. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(1), 71-90. <https://doi.org/10.1002/esp.3943>
- Bruno, L., Meli, M., & Garberi, M. L. (2024). Human-induced landscape modification in the in the last two centuries in the Po delta plain (Northern Italy). *Anthropocene*, 48, 100453. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2024.100453>
- Cao, W., Sofia, G., & Tarolli, P. (2020). Geomorphometric characterisation of natural and anthropogenic land covers. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0314-x>
- Castree, N. (2014). The Anthropocene and Geography I:

- The Back Story. *Geography Compass*, 8(7), 436-449. <https://doi.org/10.1111/gec3.12141>
- Cendrero, A., Forte, L. M., Remondo, J., & Cuesta-Albertos, J. A. (2020). Anthropocene geomorphic change. Climate or human activities? *Earth's Future*, 8(5), e2019EF001305. <https://doi.org/10.1029/2019EF001305>
- Cendrero, A., Remondo, J., Beylich, A. A., Cienciala, P., Forte, L. M., Golosov, V. N., Gusarov, A. V., Kijowska-Strugała, M., Laute, K., Li, D., Navas, A., Soldati, M., Vergari, F., Zwoliński, Z., Dixon, J. C., Knight, J., Nadal-Romero, E., & Płaczowska, E. (2022). Denudation and geomorphic change in the Anthropocene; a global overview. *Earth-Science Reviews*, 233, 104186. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104186>
- Chakraborty, A., (2024). Rethinking the Anthropocene: Not a time-transgressive event but a sudden rupture on the geologic time scale. *Anthropocene*, 48, 100454. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2024.100454>
- Chirico, P. G., Bergstresser, S. E., DeWitt, J. D., & Alessi, M. A. (2021). Geomorphological mapping and anthropogenic landform change in an urbanizing watershed using structure-from-motion photogrammetry and geospatial modeling techniques. *Journal of Maps*, 17(4), 241-252. <https://doi.org/10.1080/17445647.2020.1746419>
- Crutzen, P.J., Stoermer, E.F. (2000). The Anthropocene. *Global Change Newsletter*, 41(17). <http://www.igbp.net/publications/globalchangemagazine/globalchangemagazine/globalchangenewslettersno4159.5.5831d9ad13275d51c098000309.html>
- Dikbaş, A. (2023). Gökova Fay Zonu'nun morfometrik özellikleri ve aktif tektonik açısından önemi, Doğu Akdeniz. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.28979/jarnas.1087937>
- Edgeworth, M., Gibbard, P., Walker, M., Merritts, D., Finney, S., & Maslin, M. (2023). The stratigraphic basis of the Anthropocene Event. *Quaternary Science Advances*, 11, 100088. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100088>
- Ellis E.C, & Ramankutty N., (2007). Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in the Ecology and the Environment* 6: 439–447. <https://doi.org/10.1890/070062>
- Ellis, E. C. (2017). Physical geography in the Anthropocene. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 41(5), 525-532. <https://doi.org/10.1177/0309133317736424>
- Erkal T. & Taş B.,. (2022). *Değişen yeryüzü ve insanın etkisi (bir uygulamalı jeomorfoloji yaklaşımı)* (1. bs). Nobel Kitabevi.
- Ertek, A.,. (2023). *Antroposen, antroposfer, antropojenik jeomorfoloji*. Pegem Yayınevi.
- Ertek, T. A. (2017). Antropojenik Jeomorfoloji: Konusu, kökeni ve amacı. *Türk Coğrafya Dergisi*, 69, Article 69. <https://doi.org/10.17211/tcd.319409>
- Gibbard, P., Walker, M., Bauer, A., Edgeworth, M., Edwards, L., Ellis, E., Finney, S., Gill, J. L., Maslin, M., Merritts, D., & Ruddiman, W. (2022). The Anthropocene as an event, not an Epoch. *Journal of Quaternary Science*, 37(3), 395-399. <https://doi.org/10.1002/jqs.3416>
- Gibbs, H. K., & Salmon, J. M. (2015). Mapping the world's degraded lands. *Applied Geography*, 57, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.024>
- Goudie, A. (1993). Human influence in geomorphology. *Geomorphology*, 7(1), 37-59. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90011-P](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90011-P)
- Guisan, A., Weiss, S. B., & Weiss, A. D. (1999). GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*, 143(1), 107-122. <https://doi.org/10.1023/A:1009841519580>
- Head, M. J., Zalasiewicz, J. A., Waters, C. N., Turner, S. D., Williams, M., Barnosky, A. D., Steffen, W., Wagerich, M., Haff, P. K., Syvitski, J., Leinfelder, R., McCarthy, F. M. G., Rose, N. L., Wing, S. L., An, Z., Cearreta, A., Cundy, A. B., Fairchild, I. J., Han, Y., ... Summerhayes, C. P. (2022). The proposed Anthropocene Epoch/Series is underpinned by an extensive array of mid-20th century stratigraphic event signals. *Journal of Quaternary Science*, 37(7), 1181-1187. <https://doi.org/10.1002/jqs.3467>
- Henselowsky, F., Rölkens, J., Kelterbaum, D., & Bubenzer, O. (2021). Anthropogenic relief changes in a long-lasting lignite mining area ('Ville', Germany) derived from historic maps and digital elevation models. *Earth Surface Processes and Landforms*, 46(9), 1725-1738. <https://doi.org/10.1002/esp.5103>
- Hooke, R. LeB. (2000). On the history of humans as geomorphic agents. *Geology*, 28(9), 843-846. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)28<843:OTHOHA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<843:OTHOHA>2.0.CO;2)
- Iwahashi, J., Kamiya, I., Matsuoka, M., & Yamazaki, D. (2018). Global terrain classification using 280 m DEMs: Segmentation, clustering, and reclassification. *Progress in Earth and Planetary Science*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0157-2>
- Jefferson, A. J., Wegmann, K. W., & Chin, A. (2013). Geomorphology of the Anthropocene:

- Understanding the surficial legacy of past and present human activities. *Anthropocene*, 2, 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2013.10.005>
- Jennes. (2006). Jenness Enterprises—ArcView Extensions; Topographic Position Index. <https://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>
- Kellner, A. W. A. (2024). Anthropocene epoch proposal rejected—Does it really matter? *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 96, e2024962. <https://doi.org/10.1590/0001-376520242024962>
- Kılıç, N. C. A., & Kalyoncuoğlu, Ü. Y. (2017). Muğla İli ve Çevresi İçin Depremsellik Ve Sismik Tehlike Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), <https://doi.org/10.21923/jesd.348890>
- Kopar, İ., Çelik, M. A., & Bayram, H. (2018). Kapadokya Volkanik Provensi'ndeki volkan rölyefinin antropojenik degradasyonu üzerine bir analiz. *Türk Coğrafya Dergisi*, 71. <https://doi.org/10.17211/tcd.424377>
- Kumral, R., & Yazıcı, Ö. (2024). Ankara'nın Gölbaşı İlçesinde Yerçekilleri Üzerindeki Antropojenik Etkiler. *Coğrafya Dergisi*, 0(49), <https://doi.org/10.26650/JGEOG2024-1523354>
- Li, J., Yang, L., Pu, R., & Liu, Y. (2017). A review on anthropogenic geomorphology. *Journal of Geographical Sciences*, 27(1), 109-128. <https://doi.org/10.1007/s11442-017-1367-7>
- Luengo, M. S., D'Amico, G., Pommarés, N., & Fucks, E. (2025). Natural and anthropogenic processes and landforms in the eastern sector of the Buenos Aires Province, Argentina (from Pleistocene to Anthropocene). *Anthropocene*, 49, 100457. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2024.100457>
- Mark, D. M. (1975). Geomorphometric Parameters: A Review and Evaluation. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 57(3-4), 165-177. <https://doi.org/10.1080/04353676.1975.11879913>
- Marsh, G. P. (1864). *Man and nature, or physical geography as modified by human action*. University of Washington Press.
- Myneni, R. B., Hall, F. G., Sellers, P. J., & Marshak, A. L. (1995). The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), 481-486. <https://doi.org/10.1109/TGRS.1995.8746029>
- Natale, J., Vitale, S., Repola, L., Monti, L., & Isaia, R. (2024). Geomorphic analysis of digital elevation model generated from vintage aerial photographs: A glance at the pre-urbanization morphology of the active Campi Flegrei caldera. *Geomorphology*, 460, 109267. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109267>
- Nigam, R., Luis, A., & Kotha, M. (2024). Evaluation of efficiency of the index of potential anthropic geomorphology at meso level: A case study of Goa State, India. *The Geographical Journal*, 190(1), e12540. <https://doi.org/10.1111/geoj.12540>
- Nir, D.. (1983). *Man, a Geomorphological Agent* (1. bs). Reidel. <https://link.springer.com/book/9789027714015>
- Özşahin, E. (2013). *Asi Nehri Deltasının (Hatay) Antropojenik Jeomorfolojisi*. Öner, E. (Ed.) Profesör Doktor İlhan Kayan'a Armağan. (ss. 925-934). İzmir: Ege Üniversitesi Yayınları.
- Pica, A., Lämmle, L., Burnelli, M., Del Monte, M., Donadio, C., Faccini, F., Lazzari, M., Mandarino, A., Melelli, L., Perez Filho, A., Russo, F., Stamatopoulos, L., Stanislao, C., & Brandolini, P. (2024). Urban Geomorphology Methods and Applications as a Guideline for Understanding the City Environment. *Land*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/land13070907>
- Price, S. J., Ford, J. R., Cooper, A. H., & Neal, C. (2011). Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: The significance of artificial ground in Great Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1938), 1056-1084. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0296>
- Remondo, J., Forte, L. M., Cendrero, A., Cienciala, P., & Beylich, A. A. (2024). Human-driven global geomorphic change. *Geomorphology*, 457, 109233. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109233>
- Rick, T., Ontiveros, M. Á. C., Jerardino, A., Mariotti, A., Méndez, C., & Williams, A. N. (2020). Human-environmental interactions in Mediterranean climate regions from the Pleistocene to the Anthropocene. *Anthropocene*, 31, 100253. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2020.100253>
- Roccati, A., Faccini, F., Luino, F., De Graff, J. V., & Turconi, L. (2019). Morphological changes and human impact in the Entella River floodplain (Northern Italy) from the 17th century. *CATENA*, 182, 104122. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104122>
- Rosol, C., Schäfer, G. N., Turner, S. D., Waters, C. N., Head, M. J., Zalasiewicz, J., Rossée, C., Renn, J., Klingan, K., & Scherer, B. M. (2023). Evidence and experiment: Curating contexts of Anthropocene geology. *The Anthropocene Review*, 10(1), 330-339. <https://doi.org/10.1177/20530196231165621>
- Rózsa, P., & Novák, T. (2011). Mapping anthropic geomorphological sensitivity on a global scale. *Zeitschrift Für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 109-117. <https://doi.org/10.1127/0372->

- 8854/2011/0055S1-0041
- Rózsa, P., Incze, J., Balogh, S., & Novák, T. J. (2020). A Novel Approach to Quantifying the Degree of Anthropogenic Surface Transformation – the Concept of ‘Hemeromorphy’. *Erdkunde*, 74(1), 45-58.
- Sipahi, S. K., & Bağcı, H. R. (2024). Antropojenik Jeomorfoloji’nin Yükselişini Niceliklendirme: Bibliometrik Bir Analiz. *Mavi Atlas*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.18795/gumusmaviatlas.1453132>
- Sofia, G., Marinello, F., & Tarolli, P. (2016). Metrics for quantifying anthropogenic impacts on geomorphology: Road networks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(2), 240-255. <https://doi.org/10.1002/esp.3842>
- Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P., & McNeill, J. (2011). The Anthropocene: Conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1938), 842-867. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0327>
- Su, S., Tian, J., Dong, X., Tian, Q., Wang, N., & Xi, Y. (2022). An Impervious Surface Spectral Index on Multispectral Imagery Using Visible and Near-Infrared Bands. *Remote Sensing*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/rs14143391>
- Sümer, Ö., Alak, A., & Tekin, A. (2020). Antropojen ve Antroposen Kavramlarının Tarihsel Gelişimine Yerbilimsel Bir Bakış. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63(1), Article 1. <https://doi.org/10.25288/tjb.605167>
- Syvitski, J., Ángel, J. R., Saito, Y., Overeem, I., Vörösmarty, C. J., Wang, H., & Olago, D. (2022). Earth’s sediment cycle during the Anthropocene. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(3), 179-196. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00253-w>
- Szabó, J., Dávid, L., & Loczy, D. (2010). *Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-Made Landforms*. Springer Science & Business Media.
- Tarolli, P. (2016). Humans and the Earth’s surface. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(15), 2301-2304. <https://doi.org/10.1002/esp.4059>
- Tarolli, P., & Sofia, G. (2016). Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes. *Geomorphology*, 255, 140-161. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.12.007>
- Tarolli, P., Cao, W., Sofia, G., Evans, D., & Ellis, E. C. (2019). From features to fingerprints: A general diagnostic framework for anthropogenic geomorphology. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(1), 95-128. <https://doi.org/10.1177/0309133318825284>
- Taşoğlu, E., Öztürk, M. Z., Yazıcı, Ö. (2024). High Resolution Köppen-Geiger Climate Zones of Türkiye, *International Journal of Climatology*, 118, <https://doi.org/10.1002/joc.8635>
- Uncu, L., & Karakoca, E. (2021). Antropo-jeomorfolojik bir yaklaşımla Bilecik (Merkez ilçe) taş ocaklarının mekânsal ve zamansal değişimi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 77. <https://doi.org/10.17211/tcd.933685>
- Ursu, A., Chelaru, D.-A., Mihai, F.-C., & Iordache, I. (2011). Anthropogenic landform modeling using GIS techniques case study: Vrancea region. *Geographia Technica*, 6(1), 91-100.
- Uzun, M. (2020a). Antropojenik Jeomorfoloji Kapsamında Röliefin Değişim Analizi: Ataşehir (İstanbul) Örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 18(1), Article 1. <https://doi.org/10.33688/aucbd.684790>
- Uzun, M. (2020b). Dilderesi Havzası’nda (Gebze-Dilovası) Antropojenik Jeomorfoloji: Değişimler, Boyutları ve Etkileri. *International Journal of Geography and Geography Education*, 41. <https://doi.org/10.32003/igge.623378>
- Uzun, M. (2021). Antropojenik Kaynaklı Jeomorfolojik Değişimlerin Oluşmasındaki Faktörlerin Coğrafi Analizi: Maltepe İlçesi (İstanbul) Örneği. *Öneri Dergisi*, 16(56). <https://doi.org/10.14783/maruoneri.888364>
- Uzun, M. (2023). Antropojenik Jeomorfoloji Yaklaşımı ile Marmara Adası’nda Mermer Ocaklarından Kaynaklı Değişimlerin Analizi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 28(50). <https://doi.org/10.5152/EGJ.2023.23071>
- Uzun, S. M. (2024). The Change Model of the Relief within the Scope of Anthropogenic Geomorphology using Geographical Information Systems and Remote Sensing Techniques on the Coasts of Izmit Gulf and its Surroundings. *Gelecek Vizyonlar Dergisi*, 8(1), 1-17. <https://doi.org/10.29329/fvj.2024.1047.1>
- Verburg, P. H., Dearing, J. A., Dyke, J. G., Leeuw, S. van der, Seitzinger, S., Steffen, W., & Syvitski, J. (2016). Methods and approaches to modelling the Anthropocene. *Global Environmental Change*, 39, 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.08.007>
- Waters, C. N., Turner, S. D., Zalasiewicz, J., & Head, M. J. (2023). Candidate sites and other reference sections for the Global boundary Stratotype Section and Point of the Anthropocene series. *The Anthropocene Review*, 10(1), 3-24. <https://doi.org/10.1177/20530196221136422>
- Witze, A. (2024). Geologists reject the Anthropocene as Earth’s new epoch—After 15 years of debate. *Nature*, 627(8003), 249-250. <https://doi.org/10.1038/d41586-024-00675-8>
- Xiang, J., Li, S., Xiao, K., Chen, J., Sofia, G., & Tarolli, P.

- (2019). Quantitative Analysis of Anthropogenic Morphologies Based on Multi-Temporal High-Resolution Topography. *Remote Sensing*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/rs11121493>
- Yavuz, A. B., Türk, N., & Koca, M. y. (2002). Muğla Yöresi Mermerlerinin. Mineralojik, Kimyasal Fiziksel ve Mekanik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 26(1), Article 1.
- Zalasiewicz*, J., Williams, M., Steffen, W., & Crutzen, P. (2010). The New World of the Anthropocene. *Environmental Science & Technology*, 44(7), 2228-2231. <https://doi.org/10.1021/es903118j>
- Zalasiewicz, J., Head, M. J., Waters, C. N., Turner, S. D., Haff, P. K., Summerhayes, C., Williams, M., Cearreta, A., Waprich, M., Fairchild, I., Rose, N. L., Saito, Y., Leinfelder, R., Fiałkiewicz-Kozieł, B., An, Z., Syvitski, J., Gałuszka, A., McCarthy, F. M. G., Sul, J. I. do, ... Zinke, J. (2024). The Anthropocene within the Geological Time Scale: A response to fundamental questions. *Episodes Journal of International Geoscience*, 47(1), 65-83. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2023/023025>
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- Zhang, J., Wang, Y., & Li, Y. (2006). A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. *Computers & Geosciences*, 32(10), 1796-1805. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.05.001>