

To Cite This Article: Uzun, M. (2024). Yenişehir (Bursa) Havzası'nın coğrafi karakterizasyonuna dayalı jeoekolojik risk duyarlılığı analizi. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 51, 85-114. <http://dx.doi.org/10.32003/igge.1326841>

YENİŞEHİR (BURSA) HAVZASI'NIN COĞRAFİ KARAKTERİZASYONUNA DAYALI JEOKOLOJİK RİSK DUYARLILIĞI ANALİZİ

Geocological Risk Sensitivity Analysis Based on Geographical Characterization of Yenişehir (Bursa) Basin

Murat UZUN 

Öz

Doğal ortam koşulları üzerindeki antropojenik baskı ve yoğunlaşan etkileşim birçok alanda farklı düzeylerde sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada Yenişehir (Bursa) Havzası'nın farklı alt değişkenler ve kantitatif veriler kullanarak jeoekolojik risk duyarlılığı analizi yapılmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak 24 ana kriter ve 142 alt kriterin analizi ile antropojenik kökenli deformasyon riski, ortamsal kirlilik riski, erozyon, kütle hareketleri, kuraklık ve yangın duyarlılık verilerinden oluşan alt değişkenler üretilmiştir. Belirtilen değişkenlerin etken çarpanları üzerinden Yenişehir Havzası'nın jeoekolojik risk duyarlılığı beş kategorik sınıfa ayrılarak oluşturulmuştur. Elde edilen bulgulara göre havzanın % 9'u çok az, % 29'u az, % 32'si orta, % 20'si yüksek ve % 10'u çok yüksek jeoekolojik risk duyarlılığına sahiptir. Özellikle Yenişehir ilçe merkezi ve Organize Sanayi Bölgesi (OSB), doğudaki mermer ve taş ocakları sahası, Boğazköy Barajının geniş çevresindeki bitki örtüsünden yoksun saha ile ulaşım ve sanayi alanları duyarlılığın en yüksek olduğu alanlardır. Jeoekolojik risk duyarlılık verisi etki analizi kapsamında 6 farklı şekilde birim alandaki değerler analizine tabi tutulmuş, arazi kullanımı verisi ile kantitatif ilişkisi hesaplanmış ve havzanın jeoekolojik koruma bölgeleri 3 zon olarak belirlenmiştir. Analizler sonucu belirlenen, havzanın %35'ini oluşturan jeoekolojik risk altındaki sahalara, öncelikli önlem alınacak alan kapsamında değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeoekolojik Risk, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Yenişehir Havzası, Havza Yönetimi

Abstract

Anthropogenic pressure and intensifying interaction on natural environmental conditions cause problems at different levels in many areas. In this study, geocological risk sensitivity analysis of Yenişehir Basin was conducted using different sub-variables and quantitative data. Analytical Hierarchy Process (AHS) was used to analyze 24 main criteria and 142 sub-criteria to produce sub-variables consisting of anthropogenic deformation risk, ambient pollution risk, erosion, mass movements, drought and fire susceptibility data. The geocological risk sensitivity of the Yenişehir Basin was created by dividing into five categorical classes, based on the factor factors of the specified variables. According to the findings, 9% of the basin has very low, 29% low, 32% medium, 20% high and 10% very high geocological risk sensitivity. In particular, Yenişehir district center and Organized Industrial Zone (OIZ), the marble and stone quarries in the east, the area devoid of vegetation in the wide vicinity of Boğazköy Dam, transportation and industrial areas are the areas with the highest sensitivity. Geocological risk sensitivity data was analyzed in 6 different ways within the scope of impact analysis, quantitative relationship with land use data was calculated and geocological protection zones of the basin were determined as 3 zones. The areas under geocological risk, which constitute 35% of the basin, determined as a result of the analyzes, were evaluated within the scope of the area to be taken priority measures.

Keywords: Geocological Risk, Analytical Hierarchy Process (AHP), Yenişehir Basin, Watershed Management

* **Sorumlu Yazar:** Doktor Öğretim Üyesi, Marmara Üniversitesi, ✉ murat.uzun@marmara.edu.tr

GİRİŞ

İnsan ve doğa arasında süregelen karşılıklı etkileşim, birçok koşul etkisinde değişimlere uğramış ve uğramaya devam etmektedir. Bu karşılıklı etkileşim farklı dönemlerde çeşitli yaklaşımlarla (determinizm, posibilizm, post-modernizm, pozitivizm vd.) ele alınarak doğal ortamların yapısı, işleyişi ile insan faaliyetlerinin bütünü kapsamında geleceğe dönük çıkarımlar ve planlama odakları oluşturulmaya çalışılmıştır (Larsen & Harrington, 2019). Multidisipliner bakış açısı özelinde insan-doğa etkileşimini ele alan birçok yaklaşım aynı zamanda yönetsel ve alansal olarak çeşitli argümanları kullanmıştır (Hu et al., 2023). Bu argümanlar ekoloji, coğrafya, biyoloji, ekosistem temelinde odaklanmış ve kapsam olarak geçmişten günümüze artan antropojenik etkilerin doğal koşullar üzerindeki değişimleri ve oluşturabileceği riskleri açıklamaya çalışmıştır (Reagan, 2007; Maulana vd., 2017). Dünya nüfusunun artmasına paralel istek ve taleplerin çoğalarak teknolojik gelişmelerle birlikte bütün doğal ortamlarda antropojenik etkilerin gözlemlenmesi, geleceğe dönük risk potansiyelinin artmasına neden olmuştur (Yurova & Shirokova, 2020; Wang vd., 2023). Meydana gelebilecek risklerin ise çok farklı etkenlerde oluşabileceği ayrıca doğal ortamların işleyiş sistematüğini etkileyerek insan ve diğer canlı çeşitliliğine karşı sorunları daha da fazla arttıracığı düşünülmektedir. Bu nedenle özellikle insan ve doğa etkileşimini ele alan birçok duyarlılık ve risk analizleri yapılmaktadır (Cheng et al., 2023; Pektezel, 2015; Satir et al., 2023; Zhang et al., 2023).

Biyotik ve abiyotik bileşenlerin zamansal ve mekânsal olarak karşılıklı etkileşiminden oluşan dinamik ekolojik sistemlere ekosistem denir (Ayre & Landis, 2012). Ekosistemler dinamik ve bütün olma özelliğinin yanı sıra doğal ve beşerî koşullarının ortak etkileşimine de sahne olur (Erinç, 1984). Bu kapsamda jeoekoloji ise biyotik unsurları etkileyen abiyotik bileşenlerin karşılıklı etkileşim hadisesinin mekânsal dağılışını ve kapsamını ortaya koyar (John vd., 2002). Bu bakımdan doğal ve beşerî koşulları inceleyen ve karşılıklı etkileşimini ele alan coğrafya, jeoekoloji analizlerinin temel noktasında yer almaktadır (Erinç, 1980). Coğrafi karakterizasyon ise sınırları belli bir alanın (havza, bölge ülke vb.) ayırt edici özelliklerini ifade eder. Bu özellikler doğal ve beşerî coğrafya koşulları ile bunların çok farklı kombinasyonlarında oluşabilen alt alanlarından meydana gelir ve incelenen alanların temel karakterini ortaya koyar. Bu veriler multidisipliner çalışmalarda ve özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) temelli yapılan analizlerde kullanılmakta ve incelenen alana ait temel bileşenlerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda incelenen alanların coğrafi karakterizasyonu, kantitatif ve kalitatif veriler sağlayarak risk ve duyarlılık analizlerinde temel girdileri oluşturmaktadır. Bir mekânın coğrafi karakterizasyonu ya da peyzajı çok çeşitli alt alanlara ve karşılıklı etkileşimlere sahne olur. Dolayısıyla incelenebilecek farklı mekân ya da havzalar, çevresindeki diğer alanlardan mutlaka farklı bir karakterizasyona sahiptir (Serveiss, 2002). Açıklanan durum Dünya Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF) tarafından ele alınmış ve küresel 238 ekolojik bölge oluşturulmuştur (Kocalar, 2017). Belirtilen durumlardan hareketle, özellikle ekoloji, risk, jeoekoloji ve duyarlılık çalışmalarında bölgeye ya da mekâna özel verilerin üretilmesini ve analizlerin yapılmasını gerekli kılar. Varsayılan koşullar ise coğrafi bakış açısı ve yöntemlerin temel yapısını oluşturarak jeoekoloji çalışmalarının asıl yöneliminde olması gerektiğini ortaya koyar.

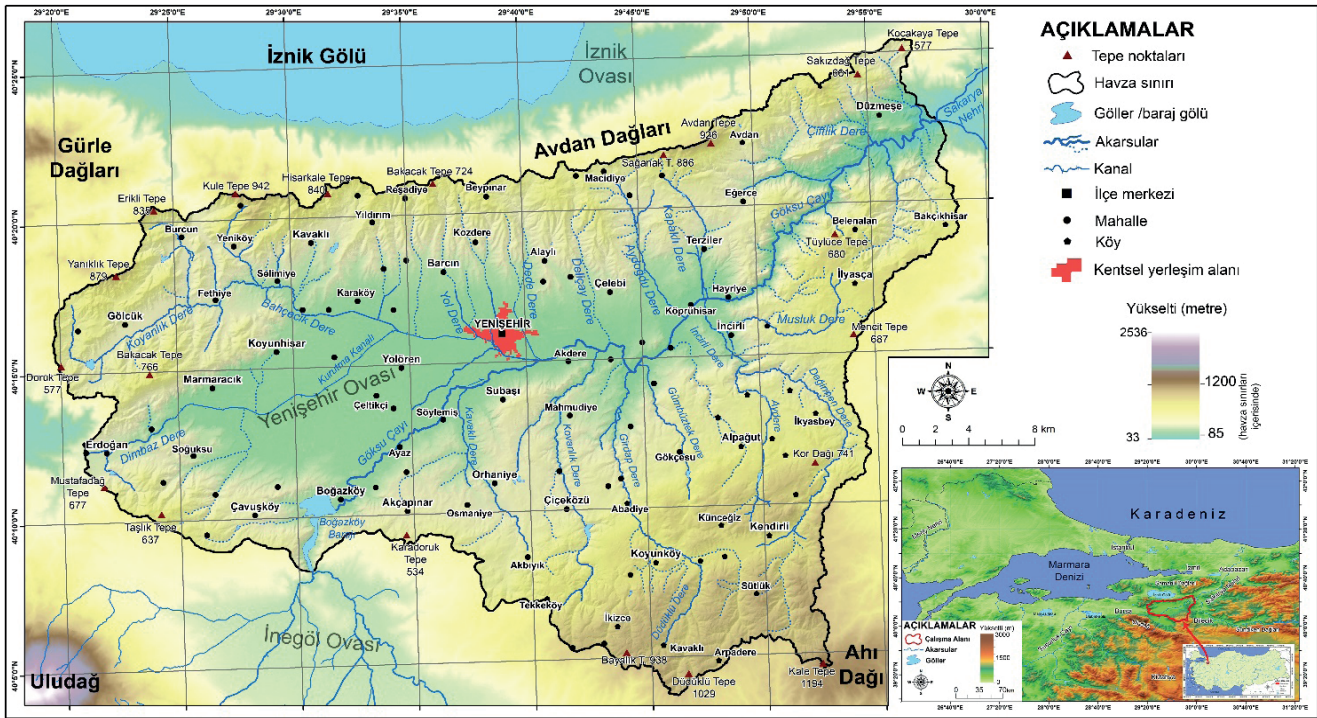
Günümüzde hızla artan nüfus ve göç olgusu, kentleşme, sanayileşme, maden ocaklarının deformasyon etkisi, ulaşım ağları ve yoğunluğu, tarım faaliyetlerindeki çeşitlilik gibi birçok antropojenik faktör doğal ortamın bütün koşullarını etkileyebilmekte hatta farklı zaman ve boyut ölçeğinde değiştirebilmektedir (Broothaerts vd., 2013). Bu durum doğal koşulların dinamik yapısında değişimlere, yapısal formlarında inorganik bileşenlerin artmasına, iklim değişimi ve dolaylı yollarla birçok afetin frekans dağılımındaki artışa, su, hava, toprak gibi unsurlarda kirlilik yükünün çoğalmasına neden olmaktadır (Yılmaz vd., 2020). Belirtilen nedenlerden dolayı mekânsal ekolojik bölgeleme çalışmalarının dışında jeoekolojik risk duyarlılığın ortaya konması ve oluşturabileceği etkinin modellenmeside günümüzde çok önemli bir hale gelmiştir. Belirtilen kapsamlar ele alınarak bu çalışmada farklı coğrafi özellikleri, çeşitliliği, sorunları ve önlem alınması gereken ekolojik alanları barındıran Yenişehir Havzası'nın jeoekolojik risk duyarlılığı incelenmiştir.

Çalışmanın temel amacını, Yenişehir Havzası'nın farklı alt değişkenler kullanarak jeoekolojik risk duyarlılığının ortaya konması oluşturmaktadır. Bu kapsamda havzanın coğrafi karakterizasyonunu oluşturan doğal ve beşerî bileşenlerin dağılış verisinin üretilmesi, jeoekolojik risk duyarlılık modeli alt duyarlılık verilerinin analiz edilmesi, jeoekolojik duyarlılığının etki

boyutunun mekânsal ve arazi kullanımı açısından incelenmesi, jeoekolojik risk bölgelerinin oluşturulması ve jeoekolojik sorunlara karşı çözüm önerilerinin sunulması çalışmanın amaçlarının tamamını oluşturur.

Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Genel Özellikleri

Çalışma sahasını oluşturan Yenişehir Havzası, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Marmara Bölgesi'nin güneydoğusunda bulunmaktadır. Havzanın sınırlarını ana akarsu ağını oluşturan Göksu Çayı ve kollarının meydana getirdiği hidrografik su toplama havzası oluşturur. Havzanın kuzeyini Avdan Dağları ve Gürle Dağları'nın uzantısı, doğusunu Kop Dağı, güneydoğusunu Ahı Dağı, güneyini İnegöl Havzası eşik ve plato alanı, batısını Bursa Ovası eşiği oluşturmaktadır (Şekil 1). Havza bu sınırlar dahilinde 1272,1 km²'lik alan kaplar ve coğrafi koordinat sistemine göre 40°3'-40°26' kuzey enlemleri ile 29°20'-29°58' doğu boylamları arasında yer alır. İdari bölünüşü açısından havzanın büyük çoğunluğu Bursa ili Yenişehir ilçesi sınırları içerisinde yer alırken güneyde İnegöl, batıda Kestel, doğuda Osmaneli ve Bilecik'e bağlı mahalle ve köy yerleşmeleri de havzada yer alır.



Şekil 1. Yenişehir Havzası'nın lokasyon haritası ve Sayısal Yükselti Modeli (SYM)

Havzanın jeolojik yapısı kompleks bir durumdan meydana gelir. Yenişehir Ovası'nda Kuvaternere ait alüvyonlar yer alırken, havzanın çerçevesini oluşturan alanlarda Paleozoik'e ait Sazak ve Torasan formasyonu yer alır. Bunun dışında havzanın doğu kesiminde faylarla dokanak oluşturan birçok litolojik birim bulunur (Altınlı, 1965). Havzanın temel jeomorfolojik görünümünü, Yenişehir Ovası, kuzeyde Avdan Dağları ve hafif eğimli plato sahası ile güneydoğuda Ahı Dağı meydana getirir (Şekil 1). Havzanın yüksek çevresinden kaynaklarını alan akarsular flüvyal aşındırma ile birlikte birçok alanda vadiler meydana getirmiştir (Ardel, 1951; Ertek 2005). Havzanın en yüksek alanı güneydoğuda 1194 m. ile Kale tepedir. En alçak yerler Göksu Çayı'nın Sakarya Nehri ile birleştiği havzanın kuzeydoğu kesiminde 85 m. olup havza geneli ortalama yükselti değeri 461 m. olarak hesaplanmıştır. Yenişehir Ovası ve çevresinde eğim değerleri oldukça düşük iken Göksu Çayı vadisinin Köprühisar-Düzmeşe arası oldukça sarpdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Yenişehir istasyonu (1985-2022) verilerine göre, havzanın yıllık ortalama sıcaklığı 11.9 °C iken yıllık toplam yağış miktarı (havza ortalamasında) 668,4 mm'dir. Havzanın

ana akarsuyunu GB-KD doğrultusunda akış gösteren Göksu Çayı oluşturur. Akarsuya kuzeyden ve güneyden gelen birçok konsekant akarsu dahil olarak havzanın dandritik drenaj ağını meydana getirir. Yenişehir Ovası'nda alüvyal topraklar, Ahı Dağı, Avdan Dağları ve Gürle Dağları'nın uzantısındaki tepelerde kireçsiz kahverengi orman toprağı, havzanın geri kalan büyük çoğunluğunda ise kahverengi orman toprağı dağılışı gösterir (Güngördü, 1985). Havzanın kuzeyinde iğne yapraklı ve karışık ormanlar, meşe türleri (*Quercus sp.*) ile kızılçam (*Pinus brutia*) ve karaçam (*Pinus nigra*) bitki örtüsünü oluştururken, Ahı Dağı ve çevresinde geniş yapraklı ormanlar (mazı meşesi, sapsız meşe, saçlı meşe) yaygındır (Güngördü, 1985). Havzanın şehir merkezini Yenişehir oluşturmaktadır. Havzada temel ekonomik faaliyet, geniş bir tarım alanı imkânı sunan Yenişehir Ovası'ndan kaynaklı olarak tarım faaliyetidir. Yenişehir kent çevresinde farklı sektörlere ait sanayi tesisleri bulunmakta, havzanın doğu kesiminde mermer ocakları yer almaktadır. Havzanın ana ulaşım ağını D-B yönlü olarak D160 karayolu, K-G istikametinde D595 karayolu oluşturur.

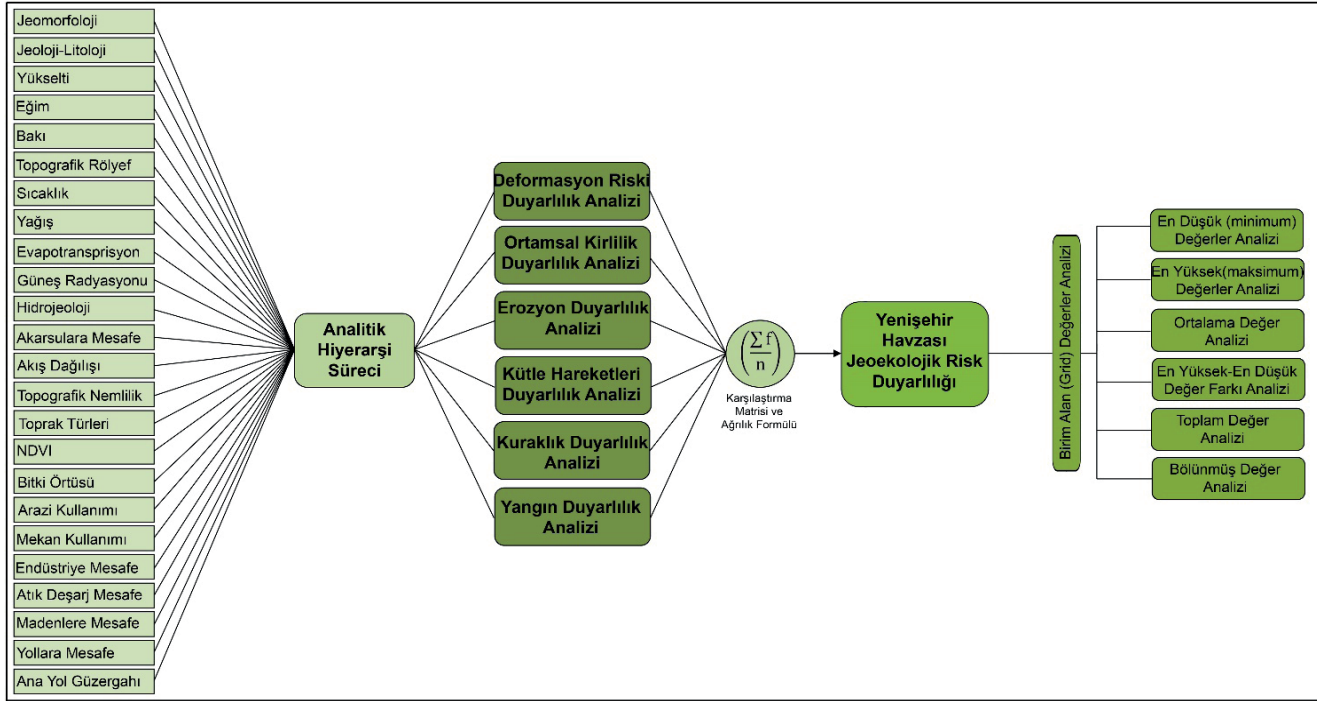
MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmada materyal olarak Harita Genel Müdürlüğü'nden alınan 1:25.000 ölçekli topografya paftaları, Maden Tetkik Aramadan (MTA) alınan 1:100.000 ölçekli jeoloji haritaları, Bursa ili Hidrojeoloji haritası, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Yenişehir istasyonuna ait rasat verileri (1985-2022 yılları arası), Devlet Su İşleri'nden (DSİ) havzadaki Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) verileri, Tarım-Toprak Reformu Genel Müdürlüğü'nden toprak türleri dağılışı, Yenişehir orman işletmelerine ait amenajman haritaları, United States Geological Survey (USGS)'den 23.05.2023 tarihli Landsat OLI verisi ve CORİNE 2018 verileri kullanılmıştır. Ayrıca arazi çalışmaları sonucu sağlanan bulgulardan materyal olarak istifade edilmiştir.

Çalışmada ilk olarak 1:25.000'lik topografya paftalarından ArcGIS yazılımı kullanılarak havzanın Sayısal Yükselti Modeli (SYM) oluşturulmuştur. SYM üzerinden havzanın yükselti, eğim, bakı, drenaj ağı, topografik rölyef, topografik nemlilik indisi haritaları üretilmiştir. Daha sonra MTA verilerinden havzanın jeoloji ve hidrojeoloji (geçirimsizlik) haritaları, Tarım-Toprak Reformu Genel Müdürlüğü'nden alınan verinin sayısallaştırılması ile toprak türleri dağılışı, Yenişehir Orman İşletmeleri Amenajman verisinden havzanın doğal bitki örtüsü dağılışı haritaları üretilmiştir. İklim haritalarında Yenişehir meteoroloji istasyonu verileri temel alınmış ve cokriging yöntemi ile havzanın, sıcaklık, yağış, basınç, evapotranspirasyon haritaları oluşturulmuştur (Adhikary et al., 2017). Klimatolojik verilerin oluşturulmasında Lapse Rate ve Schreiber formülü kullanılmıştır (Erol, 2011). Güneş radyasyonu verisi, havzanın merkezindeki enlem temel alınarak, SYM üzerinden 1 Haziran-1 Eylül arasındaki tarihlerini kapsayan zamanda, günlük 6'şar saat aralıkla güneşin farklı açılarına göre ışıma değerleri m² başına Wh birimiyle ortaya konmuştur. Ortalama akış verisi havzadaki AGİ değerlerinin analizi ve Thonrthwaite değerlerinin ortak ilişkisi üzerinden çeşitli etkenlerin (yağış, PE, hidrojeoloji, toprak, jeoloji, eğim ve arazi kullanımı) farklı katsayı değerlerinin ağırlıklı bindirmesi ile oluşturulmuştur. Arazi kullanım verisi Landsat uydu görüntüsünün kontrollü sınıflandırılmasıyla üretilmiştir. Landsat uydu görüntüsünden Normalleştirilmiş Bitki Farkı İndisi – Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) verisi elde edilmiştir. Yol ağı verileri uydu görüntülerinden sayısallaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan mesafe verilerinde (akarsuya mesafe, yollara mesafe) ArcGIS-Buffer özelliği kullanılmıştır. Belediyelerden alınan bilgiler ve 2023 yılı landsat uydu görüntüsü üzerinden endüstri, atık deşarj ve maden-taş ocakları tespit edilmiş ve buffer tekniği ile mesafe haritaları üretilmiştir. Çalışmada kullanılacak altlık verilerin sınıflandırması daha önce yapılmış çalışmalar temel alınarak havza özgü olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda coğrafi sınıflama (jeomorfoloji, jeoloji gibi), eşik aralık-equal interval (sıcaklık dağılışı), doğal kırınım-natural breaks (NDVI, akış dağılışı gibi) ve manuel sınıflandırma yöntemleri (tampon-buffer yönteminin kullanıldığı mesafe verilerinde) kullanılmıştır.

Havzanın jeoekolojik risk duyarlılık dağılışını ortaya koymak ve farklı etken analizleriyle mekânsal boyutu saptamak amacıyla çalışmada birden çok yöntem ve teknik kullanılmıştır (Şekil 2). Analizlerde kullanılacak veriler elde edildikten sonra havzanın jeoekolojik risk dağılışı için 6 farklı duyarlılık parametresi belirlenmiştir. Bunlar; antropojenik kökenli yüzeysel deformasyon duyarlılığı, antropojenik kökenli ortamsal kirlilik duyarlılığı, erozyon duyarlılığı, kütle hareketleri duyarlılığı, kuraklık duyarlılığı ve yangın duyarlılığı verileridir. Jeoekolojik risk dağılışını ortaya koyacak olan 6 alt duyarlılık verileri, antropojenik unsurların doğal dinamik koşullara etki düzeyi (deformasyon ve kirlilik duyarlılığı), beşeri koşulların

biyotanın ayrışma ve pedojenez de dahil olmak üzere bir dizi jeoedafik süreçte oynadığı rol (erozyon, kuraklık, kütle hareketleri), topografik yüzey ve yüzey örtüsünün kimyasal ve fiziksel olarak değişimindeki tetikleyiciler (kirlilik, erozyon, kütle hareketleri, kuraklık ve yangın duyarlılıkları) ve biyolojik çeşitlilik değişimine (yangın ve erozyon duyarlılığı) etkiler temel alınarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Araştırmanın iş-akış şeması (jeoekolojik risk duyarlılığı modeli)

Araştırmadaki duyarlılık haritalarının oluşturulmasında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımında yer alan, Saaty (1977) tarafından geliştirilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır (Saaty, 1980; Saaty, 1986). AHS, mekânsal karar almayı, nitel ve nicel kriterler ile bunların alt kriterlerinin analizlerine dayalı olarak destekler, çeşitli istatistiksel algoritmalar ve sezgisel olarak yorumlanan bütün kriterler arasındaki ilişkilerin boyutunu, derecesini, mesafesini ve niteliğini ortaya koyar (Saaty, 2004; Şahin & Toroğlu, 2020).

AHS'de ilk adım karşılaştırma matrisi oluşturulmasıdır. Matris, analiz için belirlenen ana ve alt (alternatif) kriterlerin ilişkisini ortaya koymaktadır. Karşılaştırmalarda, a1 kriterinin diğer a2 kriteriyle ilişkisine, amaç doğrultusunda önem derecesi açısından kantitatif değerler verilir (Saaty, 1990). Matriste n sayıdaki eleman n (n-1)/2 formülüne göre hesaplanır (Byun, 2001). Matris verileri tamamlandıktan sonra her bir sütun verisi toplanarak n kriter satırına işlenir. N kriter verisi Bi ile formüle edilerek gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad B_i = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & b_{n3} \end{bmatrix} \quad B_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & \dots & C_{2n} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & \dots & C_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n1} & C_{n2} & C_{n3} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix} \quad W_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n}$$

B_i verisi, aynı satırdaki tüm değerlerin toplanarak her bir elemanın n elemanına bölünmesi ile bulunmaktadır. Bu işlem ile kriter ağırlıklarının belirlendiği C matrisi elde edilir. Elde edilen C matrisi normalleştirilmiş değerleri ikili karşılaştırma matrisi ile her bir kriter için kriter ağırlığı W_i formülüne göre hesaplanır. Sürecin sonraki aşamasında C matrisinde bulunan değerlerin ilk aşamadaki toplam değerler sütunu ile çarpımı sonucu ağırlıklı toplam değeri (D_i) ortaya konmaktadır. Yapılan işlemler ile ana ve alt kriterlerin ağırlık değerleri, toplam ağırlık değerleri hesaplanmış ve etki sıralaması ortaya konmuştur. AHS ile elde edilen etki değerlerinin amaca uygun olup olmadığı, kullanılabilirlik durumu, tutarlık indeksi (CI), tutarlık oranı (CR) ve rastgele indeksi (RI) ile açıklanmaktadır (Saaty, 2004). Tutarlık indeksinin (CI) hesaplanması için E_i değerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. E_i değeri, her bir ağırlıklı toplam değerlerin (D_i) aynı verideki kriter ağırlığına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Ortaya çıkan değerlerin ortalaması λ_{max} değerini vermektedir. Ortaya konan değer tutarlılık indeksinde (CI) n değerleri ile hesaplanarak sonuç elde edilmektedir. Rastgele indeksi ise Saaty (1980) tarafından ortaya konan kriter sayısına göre belirlenmektedir (Tablo 1).

$$E_i = \frac{D_i}{W_i} \quad (i, 1, 2, \dots, n) \quad \lambda = \sum_{i=1}^n E_i / n \quad CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad CR = CI/RI$$

Tutarlık oranı (CR), tutarlılık indeksi (CI) sonuç değerinin rastgele indeksi (RI) değerine bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Ortaya çıkan değer 0,10'dan büyük ise karşılaştırmanın (kriterler arasındaki etki-önem derecesi ilişkisinde) hatalı, tutarsız olduğunu ve verinin kullanılamayacağını ifade eder. Eğer hesaplanan sonuç değeri 0.10'dan küçük ise kriterler arasındaki karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu ve değerlerin amaca uygun şekilde kullanılabileceğini gösterir.

Tablo 1. AHS'de kullanılan rastgele indeks değerleri (Saaty, 1980)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

N= kriter (eleman) sayısı, RI=rastgele indeksi değeri

Araştırmada 6 farklı duyarlılık analizinde, etki ve amacın yapısına göre literatür taraması yapılmış, uzman görüşlerinden yararlanılarak (Tağıl, 2007; Chen vd., 2010; Fernández & Nunez, 2011; Zorlu vd., 2011; Türkeş, 2012; Erkal & Taş, 2013; Karabulut vd., 2013; Özşahin, 2014; Garipağaoğlu, 2015; Tseng vd., 2015 Cao vd., 2020; Demirağ Turan vd., 2020; Görüm & Fidan, 2021; Öztürk vd., 2022) havzanın coğrafi karakterizasyonuna dayalı olarak (fiziki ve beşeri coğrafya özelliklerinden) ana ve alt kriterler arasındaki karşılaştırma değerleri belirlenmiştir. Havzanın jeokolojik risk duyarlılığı için 6 farklı duyarlılık analizleri, amaca uygun belirlenen kriterlerin AHS istatistiksel uygulamasına göre önem ve etki dereceleri hesaplanmış ve sayısal değerler elde edilmiştir. Yenişehir Havzası'nın jeokolojik risk duyarlılığını ortaya koymak amacıyla 6 farklı duyarlılık verisi AHS ile ortaya konmuştur. Daha sonra duyarlılık verileri arasında jeokolojik risk duyarlılığına etki derecesi için karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Tablo 2). Bu veriler üzerinden her bir duyarlılık verisinin çarpan değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen veriler jeokolojik riske etki derecesi kapsamında formüle edilmiştir (Cheng et al., 2023).

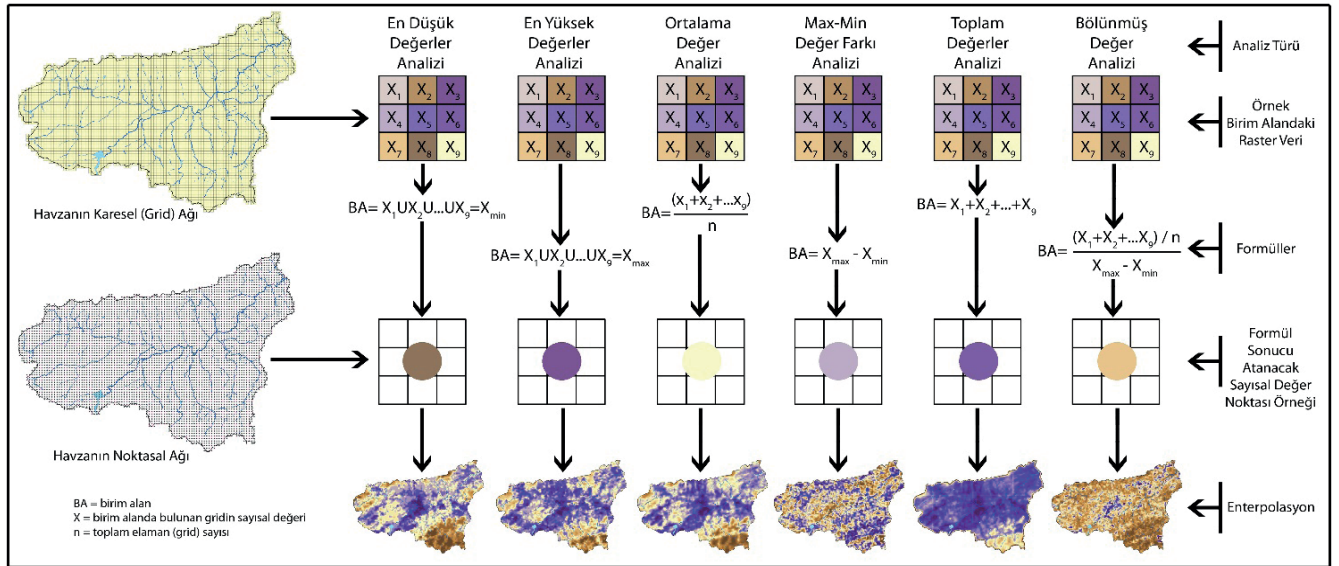
Tablo 2. Jeokolojik risk duyarlılığı için 6 farklı değişkenin karşılaştırma matrisi

Deformasyon	Deformasyon					
Kirlilik	5	Kirlilik				
Erozyon	4	4	Erozyon			
Kütle Hareketleri	3	3	3	Kütle Hareketleri		
Kuraklık	3	3	4	2	Kuraklık	
Yangın	2	3	2	1	3	Yangın

$$Je = D \left(\frac{\sum f}{n} \right) \cdot P \left(\frac{\sum f}{n} \right) \cdot E \left(\frac{\sum f}{n} \right) \cdot L \left(\frac{\sum f}{n} \right) \cdot A \left(\frac{\sum f}{n} \right) \cdot F \left(\frac{\sum f}{n} \right).$$

Formüllerde f etki değeri, n faktör değeri eleman sayısı, Je jeoekolojik risk duyarlılığı, D deformasyon duyarlılığı, P kirlilik duyarlılığı, E erozyon duyarlılığı, L kütle hareketleri duyarlılığı, A kuraklık duyarlılığı, F yangın duyarlılığını ifade eder. Daha sonra elde edilen değerler ArcGIS yazılımında ağırlıklı toplam yöntemi üzerinden değerlendirilmiştir. Ağırlıklı toplam yaklaşımında, hedeflerin her biri araştırmacı tarafından sağlanan (sezgisel ve istatistiksel değerlerle) bir ağırlıkla çarpanla hedef kümesi ya da verisi oluşturmayı amaçlar (Cürebal & Özşahin 2022). Belirtilen uygulamalar ve yazılım içerisinde üretilen ile her bir duyarlılık verisi 5 farklı sınıf olarak tekrar kategorize edilmiş ve belirtilen formül uygulanarak havzanın jeoekolojik risk duyarlılık dağılışı, çok az, az, orta, yüksek ve çok yüksek riskli şekilde sınıflandırılarak oluşturulmuştur.

Havzanın jeoekolojik risk dağılısının mekansal olarak detaylıca açıklanabilmesi amacıyla birim alandaki değerler analizi (elek ya da grid analizi) yapılmıştır (Hu et al., 2023). Bu kapsamda ilk olarak havza 500x500 metrelik kareler ağına (grid) bölünmüştür. Daha sonra her bir karedeki (birim alandaki) en düşük, en yüksek, ortalama değer, max-min değer farkı, toplam değer ve bölünmüş değerleri farklı formüllerle hesaplanmıştır (Şekil 3). Daha sonra her bir grid verisinin merkezine nokta atanmıştır. Bu noktasal verilere her bir grid analizi verisi sayısal değer olarak girilmiştir. Farklı sayısal değerleri içeren nokta bulutu verisi natural neighbour yöntemi ile enterpole edilerek birim alandaki değerler analizi haritaları üretilmiştir. Bu analizler ile havzanın jeoekolojik risk dağılısının etki derecesi mekansal ve boyutsal olarak detaylıca açıklanmıştır.



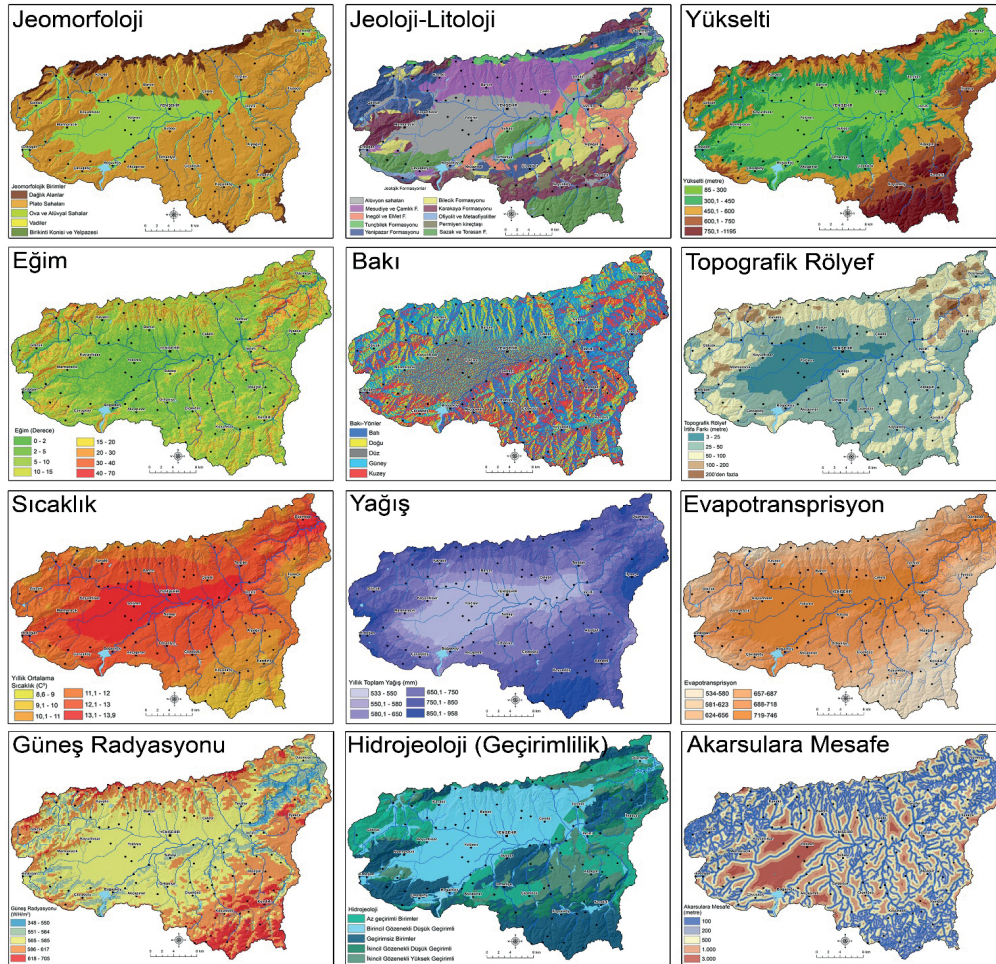
Şekil 3. Birim alandaki (grid analiz) değer analizlerinin işleyişi ve formülleri

Çalışmanın sonunda havzadaki jeoekolojik riskin arazi kullanımı/arazi örtüsü ile etki derecesi de analiz edilmiş ve mevcut kullanımların durumları sorgulanmıştır. Daha sonra havzanın jeoekolojik olarak risk bölgelendirilmesi ortaya konmuştur. Elde edilen bütün bulgulardan sonra jeoekolojik risk duyarlılığın sorun teşkil ettiği alanlar için çözüm önerileri sunulmuştur.

BULGULAR

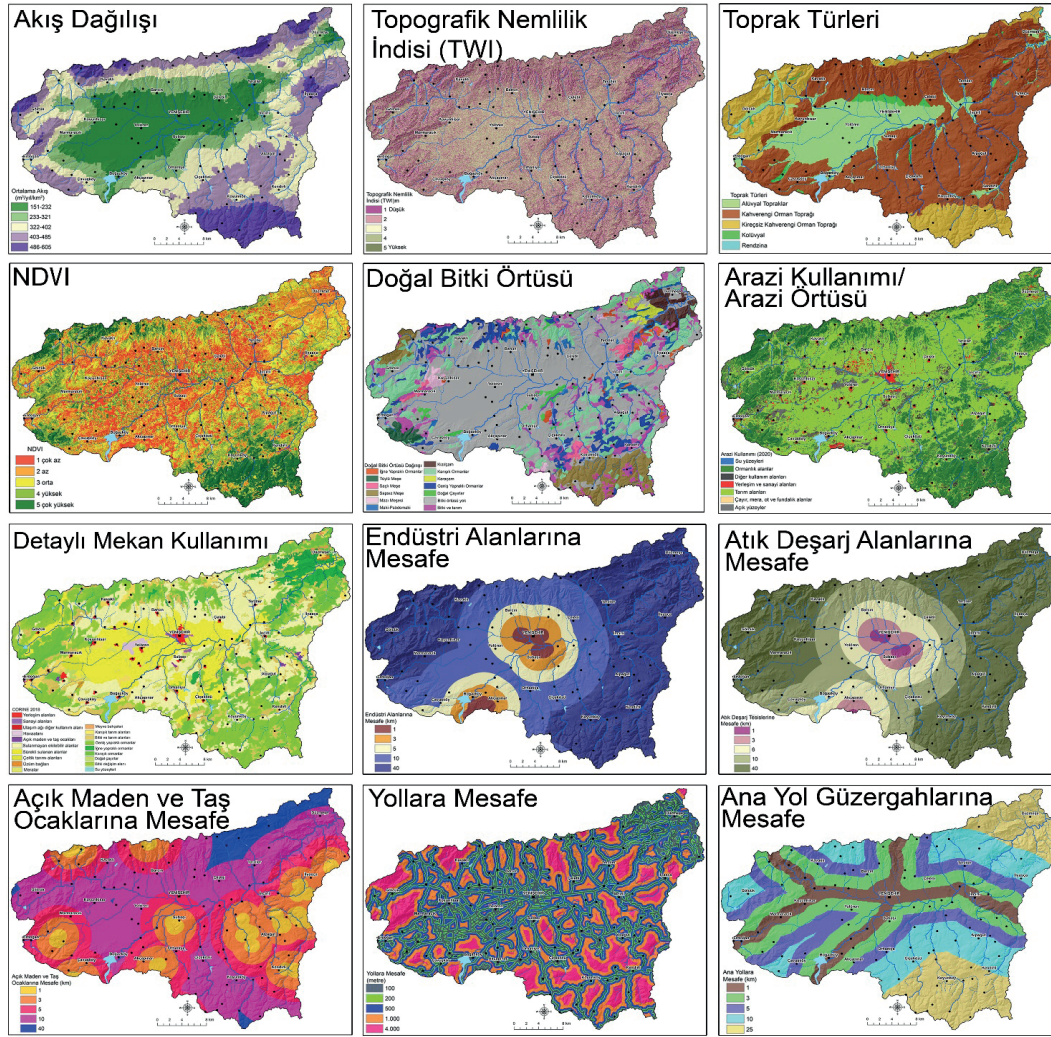
Analitik Hiyerarşi Süreci ile Yenişehir Havzası'nın Jeokolojik Risk Analiz Modeli Alt Duyarlılık Analizleri

Yenişehir Havzası'nın jeokolojik risk duyarlılığını ortaya koymak amacıyla 6 farklı alt duyarlılık verisi oluşturulmuştur. Bunlar; antropojenik kökenli yüzeyel deformasyon duyarlılığı, antropojenik kökenli ortamsal kirlilik duyarlılığı, erozyon duyarlılığı, kütle hareketleri duyarlılığı, kuraklık duyarlılığı ve yangın duyarlılığı verileridir. Analitik Hiyerarşi Süreci'nde (AHS) 24 ana kriter ve 142 alt kriterin (Şekil 4 ve 5) farklı duyarlılık analizleri için oluşturulan matris üzerinden sayısal değerleri bulunmuş ve daha sonra haritaları üretilmiştir (Şekil 6).



Şekil 4. AHS ile üretilen 6 farklı duyarlılık değişkenlerin analizinde kullanılan ana ve alt kriterlerin dağılışı

Antropojenik kökenli deformasyon riskinin dağılımında maden ocakları, mermer ve taş ocakları ile sanayi ve ana ulaşım güzergâhlarının dağılışı en önemli faktör olmuştur (Tablo 5). Bu nedenle havzanın doğusunda, Yenişehir ilçe merkezinin güneyi, Akçapınar-Orhaniye arası ve Erdoğan doğusunda duyarlılığın oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6). Özellikle havzanın doğusundaki mermer ocakları alansal ve boyutsal olarak en fazla yüzeyel deformasyonun meydana geldiği alandır (Fotoğraf 1). Bu sahada yüzey örtüsü, topografik yüzeyin değişmesi ekolojik olarak büyük değişimlerin meydana gelmesine neden olurken bu alandaki habitat antropojenik kökenli etkenlerle değişmek zorunda kalmıştır. Deformasyon riski duyarlılığının en az olduğu alanları Ahı Dağı çevresindeki floristik kuşak ile Yenişehir Ovası, Avdan Dağları ve Koyanlı Dere çevresi oluşturmaktadır.



Şekil 5. AHS ile üretilen 6 farklı duyarlılık değişkenlerinin analizinde kullanılan ana ve alt kriterlerin dağılışı

Tablo 3. AHS antropojenik kökenli deformasyon riski duyarlılığında kullanılan ana ve alt kriterler ile sayısal değerleri

Antropojenik Kökenli Deformasyon Riski Duyarlılığı					
Tutarlılık İndeksi (CI): 0,006 Tutarlılık Oranı (CR): 0,05 Rastgele İndeksi (RI): 1,32					
Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri	Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri
Maden-Taş Ocaklarına Mesafe	0,368	2,73	Ana Yol Güzergâhına Yakınlık	0,104	0,735
1 km	0,415	2,108	1 km	0,415	2,108
3 km	0,26	1,322	3 km	0,26	1,322
5 km	0,16	0,803	5 km	0,16	0,803
10 km	0,097	0,487	10 km	0,097	0,487
40 km	0,061	0,309	25 km	0,061	0,309
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü	0,156	1,12	Yollara Mesafe (m)	0,068	0,448
Yerleşim ve sanayi Alanları	0,156	1,12	100	0,415	2,108

Diğer kullanım alanları	0,368	2,73	200	0,26	1,322
Tarım alanı	0,104	0,735	500	0,16	0,803
Orman alanı	0,044	0,284	1000	0,097	0,487
Çayır mera alanı	0,068	0,448	4000	0,061	0,309
Açık yüzeyler	0,223	1,64	CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
Su yüzeyleri	0,03	0,218	Eğim (derece)	0,044	0,284
CI: 0,006 CR: 0,05 RI: 1,32			0-2	0,023	0,19
Detaylı Mekan Kullanımı	0,223	1,64	2-5	0,032	0,266
Yerleşim alanı	0,121	1,318	5-10	0,049	0,39
Sanayi alanı	0,205	2,25	10-15	0,073	0,585
Ulaşım ağı diğer kullanım	0,205	2,25	15-20	0,107	0,876
Havaalanı	0,112	1,191	20-30	0,155	1,3
Açık maden ve taş ocakları	0,307	3,344	30-40	0,227	1,91
Sulanmayan ekilebilir alan	0,058	0,592	40-70	0,326	2,74
Sürekli sulanan tarım alanı	0,058	0,592	CI: 0,032 CR: 0,022 RI: 1,41		
Meralar	0,029	0,293	Topografik Rölyef (m)	0,03	0,218
Karışık tarım alanları	0,082	0,858	3-25	0,415	2,108
Bitki ve tarım ortak alanları	0,041	0,42	25-50	0,26	1,322
Ormanlar	0,0205	0,209	50-100	0,16	0,803
Çayırlar	0,0205	0,209	100-200	0,097	0,487
Su yüzeyleri	0,015	0,158	200'den fazla	0,061	0,309
CI: 0,056 CR: 0,038 RI: 1,49			CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		

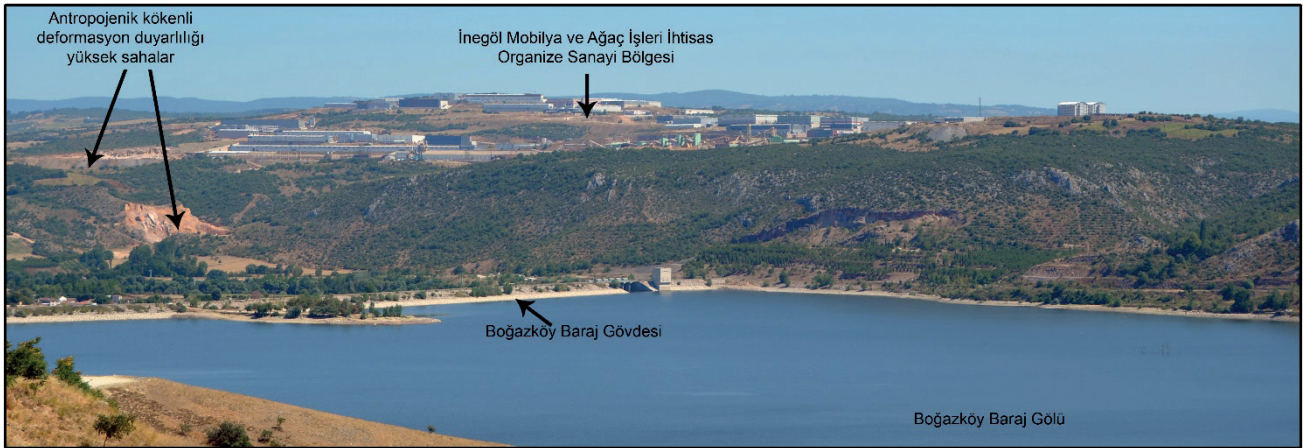


Fotoğraf 1. Kınık Gölü'ü güneyinde yer alan antropojenik kökenli deformasyon duyarlılığının yüksek olduğu mermer ve taş ocakları

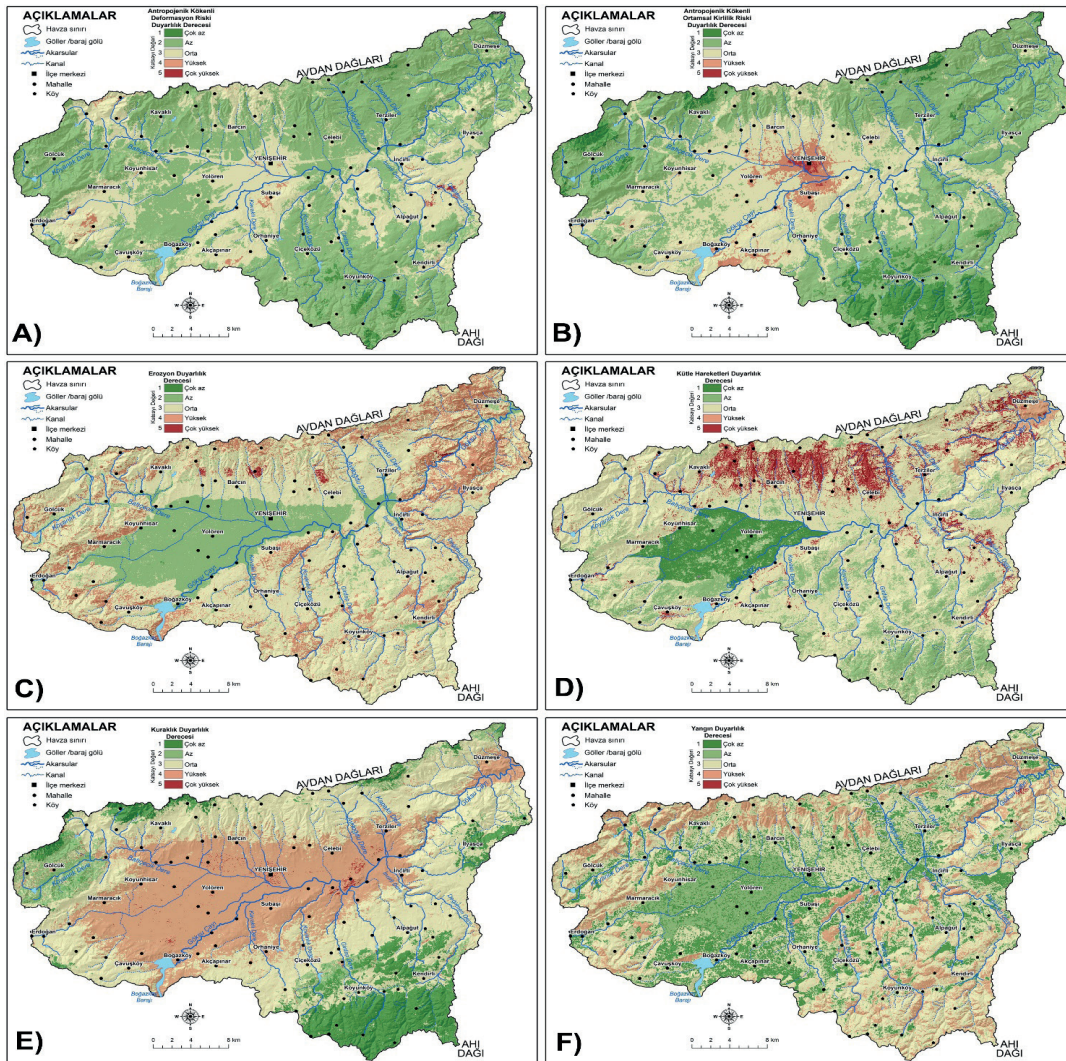
Yenişehir Havzası'nda antropojenik kökenli ortamsal kirlilik riski duyarlılığının dağılımını temel olarak arazi kullanım türü, endüstri, atık deşarj, maden ocaklarına ve yollara mesafe verileri etkilemiştir (Tablo 4). Elde edilen duyarlılık haritasında çok yüksek risk duyarlılığının olduğu alanlar Yenişehir ilçe merkezi ve yakın çevresindeki sanayi alanları ile ulaşım hattında yoğunlaşmıştır (Şekil 6). Diğer yüksek duyarlılığın olduğu alan ise havzanın güneyinde yer alan Boğazköy barajının doğusundaki İnegöl Mobilya ve Ağaç İşleri Organize Sanayi Bölgesi sahasıdır (Fotoğraf 2). Belirtilen alanda atık deşarj noktalarının varlığı atmosfer kirlleticilerin yoğun oluşu ve kentsel-sanayi kökenli deşarjlarının hidrografik unsurlara karışım boyutu ekolojik olarak risk duyarlılığının yüksek olması dolayısıyla ekosistemsel işleyişin de değişmesine neden olmaktadır. Havzada antropojenik kökenli ortamsal kirlilik risk duyarlılığının en az olduğu alanları, havzanın çerçevesini oluşturan yüksek dağlık alanlar ve Yenişehir Ovası'nın batı kesimi oluşturmaktadır.

Tablo 4. AHS antropojenik kökenli ortamsal kirlilik riski duyarlılığında kullanılan ana ve alt kriterler ile sayısal değerleri

Antropojenik Kökenli Ortamsal Kirlilik Riski Duyarlılığı					
Tutarlılık İndeksi (CI): 0,032 Tutarlılık Oranı (CR): 0,022 Rastgele İndeksi (RI): 1,41					
Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri	Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri
Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü	0,326	2,74	Yollara Mesafe (m)	0,049	0,39
Yerleşim ve sanayi Alanları	0,368	2,73	100	0,415	2,108
Diğer kullanım alanları	0,223	1,64	200	0,26	1,322
Tarım alanı	0,104	0,735	500	0,16	0,803
Orman alanı	0,044	0,284	1000	0,097	0,487
Çayır mera alanı	0,068	0,448	4000	0,061	0,309
Açık yüzeyler	0,156	1,12	CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
Su yüzeyleri	0,03	0,218	Detaylı Mekân Kullanımı	0,107	0,876
CI: 0,006 CR: 0,05 RI: 1,32			Yerleşim alanı	0,205	2,25
Endüstri Alanlarına Mesafe	0,227	1,91	Sanayi alanı	0,307	3,344
1 km	0,415	2,108	Ulaşım ağı diğer kullanım	0,205	2,25
3 km	0,26	1,322	Havaalanı	0,121	1,318
5 km	0,16	0,803	Açık maden ve taş ocakları	0,307	3,344
10 km	0,097	0,487	Sulanmayan ekilebilir alan	0,112	1,191
40 km	0,061	0,309	Sürekli sulanan tarım alanı	0,058	0,592
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			Meralar	0,112	1,191
Atık Deşarj Alanlarına Mesafe	0,155	1,3	Karışık tarım alanları	0,058	0,592
1 km	0,415	2,108	Bitki ve tarım ortak alanları	0,082	0,858
3 km	0,26	1,322	Geniş yapraklı ormanlar	0,058	0,592
6 km	0,16	0,803	İğne yapraklı ormanlar	0,058	0,592
10 km	0,097	0,487	Karışık ormanlar	0,058	0,592
40 km	0,061	0,309	Çeltik tarım alanı	0,029	0,293
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			Meyve ve üzüm bahçeleri	0,029	0,293
NDVI	0,073	0,585	Çayırlar	0,02	0,209
1 çok az	0,415	2,108	Su yüzeyleri	0,015	0,158
2 az	0,26	1,322	CI: 0,056 CR: 0,038 RI: 1,49		
3 orta	0,16	0,803	Ana Yol Güzergâhına Yakınlık	0,032	0,266
4 yüksek	0,097	0,487	1 km	0,415	2,108
5 çok yüksek	0,061	0,309	3 km	0,26	1,322
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			5 km	0,16	0,803
Maden-Taş Ocaklarına Mesafe	0,023	0,19	10 km	0,097	0,487
1 km	0,415	2,108	25 km	0,061	0,309
3 km	0,26	1,322	CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
5 km	0,16	0,803			
10 km	0,097	0,487			
40 km	0,061	0,309			
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12					



Fotoğraf 2. Antropojenik kökenli ortamsal kirlilik ve deformasyon yükünü arttıran alanlar ve Boğazköy Barajına göre konumları

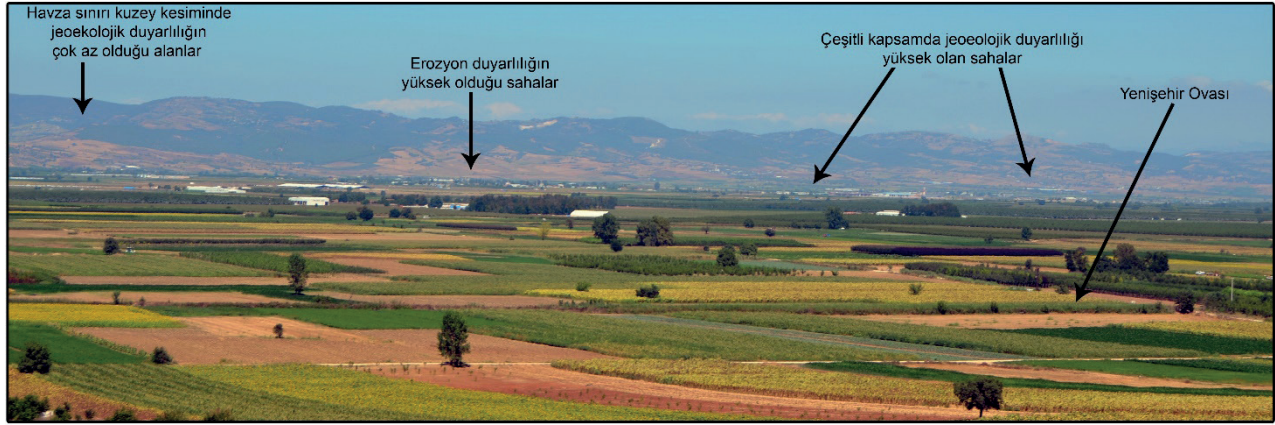


Şekil 6. Yenişehir Havzası'nın A) Antropojenik kökenli deformasyon riski duyarlılığı B) Antropojenik kökenli ortamsal kirlilik riski duyarlılığı C) Erozyon duyarlılığı D) Kütle hareketleri duyarlılığı E) Kuraklık duyarlılığı F) Yangın duyarlılığı

Havzanın erozyon duyarlılık dağılımında eğim, toprak, hidrojeoloji, arazi kullanımı/arazi örtüsü durumu ve özellikle bitki örtüsü dağılımı-yoksunluk durumu etkili olmuştur (Tablo 5). Erozyon duyarlılık dağılımında en yüksek riskin bulunduğu alanlar havzanın kuzeyinde ve kuzeydoğusunda yoğunlaşmıştır (Fotoğraf 4 ve 5). Özellikle bitki örtüsünden yoksun ve eğim oranının yüksek olduğu İlyasça-Terziler-Düzmeşe arasındaki üçgen görünümlü alanda çok yüksek duyarlılık tespit edilmiştir (Şekil 6). Erozyon duyarlılığının yüksek olduğu diğer bir alan ise havzanın kuzeyindeki plato sahasıdır. Bu sahadaki hafif eğimli yüzeyler ile bitki örtüsü yoksunluğu verilerinin birleşmesi erozif faaliyetleri artırıcı etki yapmakta ve duyarlılık değerinin yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Havzadaki eğim oranının oldukça düşük olduğu (0-2 derece arası) alüvyal sahalarda erozyon duyarlılığının çok az olduğu alanları meydana getirmektedir.

Tablo 5. AHS erozyon duyarlılığında kullanılan ana ve alt kriterler ile sayısal değerleri

Erozyon Duyarlılığı					
Tutarlılık İndeksi (CI): 0,038 Tutarlılık Oranı (CR): 0,026 Rastgele İndeksi (RI): 1,49					
Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri	Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri
Eğim (derece)	0,257	2,717	Yağış (mm)	0,108	1,167
0-2	0,023	0,19	533 – 550	0,042	0,258
2-5	0,032	0,266	550,1 – 580	0,065	0,39
5-10	0,049	0,39	580,1 – 650	0,102	0,614
10-15	0,073	0,585	650,1 – 750	0,159	0,975
15-20	0,107	0,876	750,1 – 850	0,248	1,53
20-30	0,155	1,3	850,1 – 958	0,379	2,33
30-40	0,227	1,91	CI: 0,019 CR: 0,015 RI: 1,24		
40-70	0,326	2,74	Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü	0,192	2,052
CI: 0,032 CR: 0,022 RI: 1,41			Yerleşim ve sanayi Alanları	0,068	0,448
Hidrojeoloji (Geçirimlilik)	0,147	1,55	Diğer kullanım alanları	0,104	0,735
Birincil gözenekli geçirimli	0,061	0,309	Tarım alanı	0,223	1,64
İkincil gözenekli çok geçirimli	0,097	0,487	Orman alanı	0,044	0,284
İkincil gözenekli az geçirimli	0,16	0,803	Çayır mera alanı	0,156	1,12
Az geçirimli birimler	0,26	1,322	Açık yüzeyler	0,368	2,73
Geçirimsiz birimler	0,415	2,108	Su yüzeyleri	0,03	0,218
CI: 0,015 CR: 0,013 RI: 1,12			CI: 0,006 CR: 0,05 RI: 1,32		
Toprak Türleri	0,094	0,915	Topografik Nemlilik İndisi (TWI)	0,024	0,243
Alüvyal topraklar	0,061	0,309	1 düşük	0,415	2,108
Kahverengi orman toprağı	0,26	1,322	2 az	0,26	1,322
Kireçsiz kahverengi orman t.	0,16	0,803	3 orta	0,16	0,803
Kolüvyal topraklar	0,415	2,108	4 orta-yüksek	0,097	0,487
Rendzina	0,097	0,487	5 yüksek	0,061	0,309
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
NDVI	0,071	0,692	Jeomorfoloji	0,048	0,481
1 çok az	0,415	2,108	Dağlık alanlar	0,16	0,803
2 az	0,26	1,322	Plato sahaları	0,26	1,322
3 orta	0,16	0,803	Ova ve alüvyal düzlükler	0,061	0,309
4 yüksek	0,097	0,487	Vadiler	0,097	0,487
5 çok yüksek	0,061	0,309	Birikinti konileri	0,415	2,108
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
Topografik Rölyef (m)	0,033	0,337	Bakı	0,017	0,183
3-25	0,061	0,309	Düz alanlar	0,052	0,279
25-50	0,097	0,487	Kuzey	0,129	0,693
50-100	0,16	0,803	Güney	0,408	2,189
100-200	0,26	1,322	Doğu	0,21	1,127
200'den fazla	0,415	2,108	Batı	0,195	1,057
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			CI: 0,092 CR: 0,082 RI: 1,12		



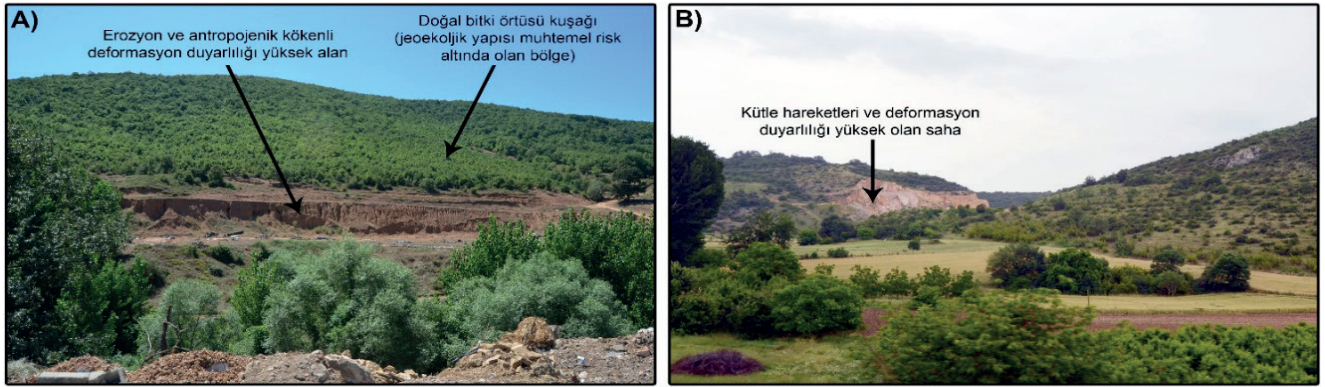
Fotoğraf 3. Yenişehir Ovası'nın güneybatıdan-kuzeydoğuya doğru görünümü ve Avdan Dağları ile plato sahasındaki çeşitli duyarlılık alanları ve jeoekolojik açıdan korunmuş sahalalar

Havzanın kütle hareketleri (heyelan, kaya düşmesi vd..) duyarlılık dağılışı analizinde litolojik yapı, hidrojeoloji, eğim ve yollara mesafe verileri etken rol oynamıştır (Tablo 6). Yenişehir Havzası'nın kütle hareketleri duyarlılık analizinde çok yüksek duyarlılığın olduğu sahaları, havzanın kuzey kesimindeki eğimli alanlar, Göksu Çayı vadisi, Düzmeşe yakın çevresi ve Değirmen Dere vadisi oluşturmaktadır (Şekil 6). Özellikle konglomera, kumtaşı, kiltası, silttaşı litolojik birimlerinden oluşan Mesudiye, Çamlık ve İnegöl formasyonları kütle hareketlerini tetikleyici temel rolü oynamaktadır. Bu formasyonlar ile eğimin yüksek olduğu ve ulaşım şevlerinin kesiştiği sahalalar kütle hareketleri duyarlılığının en yüksek olduğu alanlardır. Bu nedenle havzanın kuzeyindeki alanlar ile Değirmen Dere vadisi çok yüksek duyarlılığa sahiptir. Bu alanlarda yüzey, toprak, arazi örtüsü ve floristik yapının eğim yönünde hareketi ekolojik değişimlere neden olabilmektedir. Kütle hareketleri duyarlılığın çok az olduğu sahaları Yenişehir Ovası ve diğer alüvyal düzlükler oluşturur.

Tablo 6. AHS kütle hareketleri duyarlılığında kullanılan ana ve alt kriterler ile sayısal değerleri

Kütle Hareketleri Duyarlılığı					
Tutarlılık İndeksi (CI): 0,056 Tutarlılık Oranı (CR): 0,038 Rastgele İndeksi (RI): 1,49					
Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri	Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri
Jeoloji (Formasyon-Litoloji)	0,307	3,344	Eğim (derece)	0,205	2,251
Alüvyon sahaları	0,048	0,481	0-2	0,023	0,19
Mesudiye ve Çamlık formasyonu	0,192	2,052	2-5	0,032	0,266
İnegöl ve Emet formasyonu	0,257	2,717	5-10	0,049	0,39
Tunçbilek formasyonu	0,147	1,55	10-15	0,073	0,585
Yenipazar formasyonu	0,108	1,167	15-20	0,107	0,876
Bilecik formasyonu	0,094	0,915	20-30	0,155	1,3
Karakaya formasyonu	0,071	0,692	30-40	0,227	1,91
Ofiyolitler	0,024	0,243	40-70	0,326	2,74
Permiyen Kireçtaşı	0,033	0,337	CI: 0,032 CR: 0,022 RI: 1,41		
Sazak ve Torasan formasyonu	0,017	0,183	Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü	0,041	0,420
CI: 0,038 CR: 0,026 RI: 1,49			Yerleşim ve sanayi Alanları	0,068	0,448
Hidrojeoloji (Geçirimlilik)	0,058	0,592	Diğer kullanım alanları	0,223	1,64
Birincil gözenekli geçirimli	0,415	2,108	Tarım alanı	0,104	0,735
İkincil gözenekli çok geçirimli	0,26	1,322	Orman alanı	0,044	0,284
İkincil gözenekli az geçirimli	0,16	0,803	Çayır mera alanı	0,156	1,12

Az geçirimli birimler	0,097	0,487	Açık yüzeyler	0,368	2,73
Geçirimsiz birimler	0,061	0,309	Su yüzeyleri	0,03	0,218
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			CI: 0,006 CR: 0,05 RI: 1,32		
Topografik Rölyef (m)	0,121	1,318	Toprak Türleri	0,029	0,293
3-25	0,061	0,309	Alüvyal topraklar	0,097	0,487
25-50	0,097	0,487	Kahverengi orman toprağı	0,26	1,322
50-100	0,16	0,803	Kireçsiz kahverengi orman t.	0,16	0,803
100-200	0,26	1,322	Kolüvyal topraklar	0,415	2,108
200'den fazla	0,415	2,108	Rendzina	0,061	0,309
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
Yollara Mesafe (m)	0,112	1,191	Topografik Nemlilik İndisi (TWI)	0,020	0,209
100	0,415	2,108	1 düşük	0,415	2,108
200	0,26	1,322	2 az	0,26	1,322
500	0,16	0,803	3 orta	0,16	0,803
1000	0,097	0,487	4 orta-yüksek	0,097	0,487
4000	0,061	0,309	5 yüksek	0,061	0,309
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
Akarsulara Mesafe (metre)	0,082	0,858	NDVI	0,015	0,158
100	0,415	2,108	1 çok az	0,415	2,108
200	0,26	1,322	2 az	0,26	1,322
500	0,16	0,803	3 orta	0,16	0,803
1000	0,097	0,487	4 yüksek	0,097	0,487
3000	0,061	0,309	5 çok yüksek	0,061	0,309
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		



Fotoğraf 4. A) Burcun yakınları erozyon duyarlılığı ve floristik sahaya etkisi B) Beypınar-Alaylı arası antropojenik kökenli deformasyon ve kütle hareketleri duyarlılığı yüksek olan saha

Yenişehir Havzası'nda kuraklık duyarlılık analizinde klimatolojik veriler, akış dağılışı, bitki örtüsü ve güneş radyasyonu ana etken verileri oluşturmaktadır (Tablo 7). Havzanın ova kesimini oluşturan geniş sahası kuraklık duyarlılığın yüksek olduğu alanı oluşturur. Bu alandaki Yenişehir ilçe merkezi, Yenişehir OSB ve güneye bakan bitkiden yoksun bazı yamaçlarda kuraklık duyarlılığı oldukça yüksektir (Şekil 6). Özellikle sıcaklığın yüksek, yağışın çerçeveye göre daha az, hidrografik birimler ile akış dağılışının az olduğu Yenişehir Ovası ve yakın çevresi kuraklık duyarlılığının en yüksek boyutta olacağı alanı meydana getirmektedir. Ahı Dağı çevresindeki yoğun bitki kuşağı, Avdan Dağları yüksek kesimlerindeki sahalarda ve Koyanlı Dere çevresi kuraklık duyarlılığının çok az olduğu alanları meydana getirir.

Tablo 7. AHS kuraklık duyarlılığında kullanılan ana ve alt kriterler ile sayısal değerleri

Kuraklık Duyarlılığı					
Tutarlılık İndeksi (CI): 0,056 Tutarlılık Oranı (CR): 0,038 Rastgele İndeksi (RI): 1,49					
Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri	Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri
Sıcaklık (C°)	0,307	3,344	Güneş Radyasyonu (WH/m²)	0,058	0,592
8,6 – 9	0,042	0,258	348-550	0,061	0,309
9,1 – 10	0,065	0,39	551-564	0,097	0,487
10,1 – 11	0,102	0,614	565-585	0,160	0,803
11,1 – 12	0,159	0,975	586-617	0,260	1,322
12,1 – 13	0,248	1,53	618-705	0,415	2,108
13,1 – 13,9	0,379	2,33	CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
CI: 0,019 CR: 0,015 RI: 1,24			Hidrojeoloji (Geçirimlilik)	0,041	0,420
Yağış (mm)	0,205	2,251	Birincil gözenekli geçirimli	0,061	0,309
533 – 550	0,379	2,33	İkincil gözenekli çok geçirimli	0,097	0,487
550,1 – 580	0,248	1,53	İkincil gözenekli az geçirimli	0,160	0,803
580,1 – 650	0,159	0,975	Az geçirimli birimler	0,260	1,322
650,1 – 750	0,102	0,614	Geçirimsiz birimler	0,415	2,108
750,1 – 850	0,065	0,39	CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
850,1 – 958	0,042	0,258	Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü	0,029	0,293
CI: 0,019 CR: 0,015 RI: 1,24			Yerleşim ve sanayi Alanları	0,068	0,448
Evapotranspirasyon	0,112	1,191	Diğer kullanım alanları	0,104	0,735
534-580	0,042	0,258	Tarım alanı	0,156	1,12
581-623	0,065	0,39	Orman alanı	0,031	0,218
624-656	0,102	0,614	Çayır mera alanı	0,223	1,64
657-687	0,159	0,975	Açık yüzeyler	0,368	2,73
688-718	0,248	1,53	Su yüzeyleri	0,044	0,284
719-746	0,379	2,33	CI: 0,006 CR: 0,06 RI: 1,32		
CI: 0,019 CR: 0,015 RI: 1,24			Yükselti (metre)	0,015	0,158
Ortalama Akış (m³/yıl/km²)	0,082	0,858	85 – 300	0,415	2,108
151-232	0,415	2,108	300,1 – 450	0,26	1,322
233-321	0,26	1,322	450,1 – 600	0,16	0,803
322-402	0,16	0,803	600,1 – 750	0,097	0,487
403-485	0,097	0,487	750,1 – 1195	0,061	0,309
486-605	0,061	0,309	CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			Bakı	0,020	0,209
NDVI	0,121	1,318	Düz alanlar	0,052	0,279
1 çok az	0,415	2,108	Kuzey	0,129	0,693
2 az	0,26	1,322	Güney	0,408	2,189
3 orta	0,16	0,803	Doğu	0,21	1,127
4 yüksek	0,097	0,487	Batı	0,195	1,057
5 çok yüksek	0,061	0,309	CI: 0,092 CR: 0,082 RI: 1,12		
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12					

Havzanın yangın duyarlılık analizinde doğal bitki örtüsü türü (yanabilme derecesi), bitki yoğunluğu, güneş radyasyonu ve yollara mesafe verileri etkili olan temel verilerdir (Tablo 8). Ortamsal kirlilik ve deformasyon duyarlılıkları havzadaki antropojenik etkiyi ve riskleri ortaya koyduğu için yangın riskinde orman yangını verileri daha çok ele alınmıştır. Yenişehir Havzası'nda yangın duyarlılığının en yüksek olduğu alanları, kuzeydoğudaki kurak ve iğne yapraklı ormanların (kızılçam ve karaçam) olduğu alanlar ve havzanın kuzeyindeki güneye bakan yamaçlar (güneş radyasyonu yüksek sahalara) oluşturmaktadır.

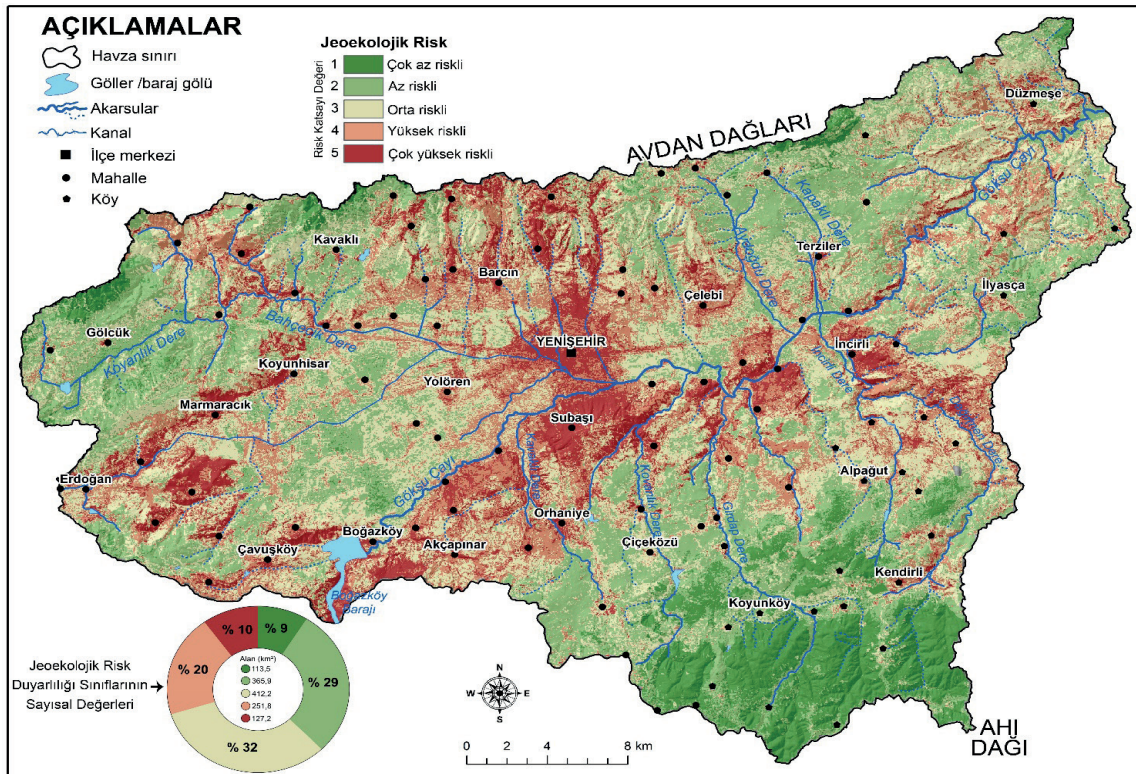
(Şekil 6). Özellikle havzanın kuzeydoğusundaki kurakçıl bitki türleri doğal ve antropojenik kökenli etkenlerle yangın duyarlılığı yüksek alanların esas sahasını oluşturmaktadır. Bu alanlarda oluşabilecek yangın biyotik unsurlarının tamamının zarar görebilmesine neden olabilmektedir.

Tablo 8. AHS yangın duyarlılığında kullanılan ana ve alt kriterler ile sayısal değerleri

Yangın Duyarlılığı					
Tutarlılık İndeksi (CI): 0,056 Tutarlılık Oranı (CR): 0,038 Rastgele İndeksi (RI): 1,49					
Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri	Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Değeri
Doğal Bitki Örtüsü Türleri	0,307	3,344	Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü	0,058	0,592
Meşe (tüylü, saçlı, mazi, sapsız)	0,048	0,481	Yerleşim ve sanayi Alanları	0,156	1,12
Karaçam	0,108	1,167	Diğer kullanım alanları	0,104	0,735
Kızılcım	0,147	1,55	Tarım alanı	0,068	0,448
Maki-psödomaki	0,192	2,052	Orman alanı	0,368	2,73
Çayırlar, mera ve ot toplulukları	0,257	2,717	Çayır mera alanı	0,223	1,64
Geniş yapraklı orman	0,024	0,243	Açık yüzeyler	0,044	0,284
İğne yapraklı orman	0,094	0,915	Su yüzeyleri	0,031	0,218
Karışık orman	0,033	0,337	CI: 0,006 CR: 0,06 RI: 1,32		
Bitki ve tarım ürünü birlikte	0,071	0,692	Sıcaklık (C°)	0,082	0,858
Bitkiden yoksun alanlar	0,017	0,183	8,6 – 9	0,042	0,258
CI: 0,038 CR: 0,026 RI: 1,49			9,1 – 10	0,065	0,39
NDVI	0,121	1,318	10,1 – 11	0,102	0,614
1 çok az	0,415	2,108	11,1 – 12	0,159	0,975
2 az	0,26	1,322	12,1 – 13	0,248	1,53
3 orta	0,16	0,803	13,1 – 13,9	0,379	2,33
4 yüksek	0,097	0,487	CI: 0,019 CR: 0,015 RI: 1,24		
5 çok yüksek	0,061	0,309	Yağış (mm)	0,041	0,420
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			533 – 550	0,379	2,33
Güneş Radyasyonu (WH/m²)	0,112	1,191	550,1 – 580	0,248	1,53
348-550	0,061	0,309	580,1 – 650	0,159	0,975
551-564	0,097	0,487	650,1 – 750	0,102	0,614
565-585	0,160	0,803	750,1 – 850	0,065	0,39
586-617	0,260	1,322	850,1 – 958	0,042	0,258
618-705	0,415	2,108	CI: 0,019 CR: 0,015 RI: 1,24		
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			Bakı	0,029	0,293
Yollara Mesafe (m)	0,020	0,209	Düz alanlar	0,052	0,279
100	0,415	2,108	Kuzey	0,129	0,693
200	0,26	1,322	Güney	0,408	2,189
500	0,16	0,803	Doğu	0,21	1,127
1000	0,097	0,487	Batı	0,195	1,057
4000	0,061	0,309	CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12			Akarsulara Mesafe (metre)	0,015	0,158
Bitki Genel Yanma Potansiyeli	0,205	2,251	100	0,061	0,309
Geniş yapraklı ormanlar	0,061	0,309	200	0,097	0,487
İğne yapraklı ormanlar	0,16	0,803	500	0,160	0,803
Karışık alanlar	0,097	0,487	1000	0,260	1,322
Çalı toplulukları	0,26	1,322	3000	0,415	2,108
Ot toplulukları	0,415	2,108	CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12		
CI: 0,012 CR: 0,01 RI: 1,12					

Yenişehir Havzası'nın Jeoekolojik Risk Duyarlılık Analizi

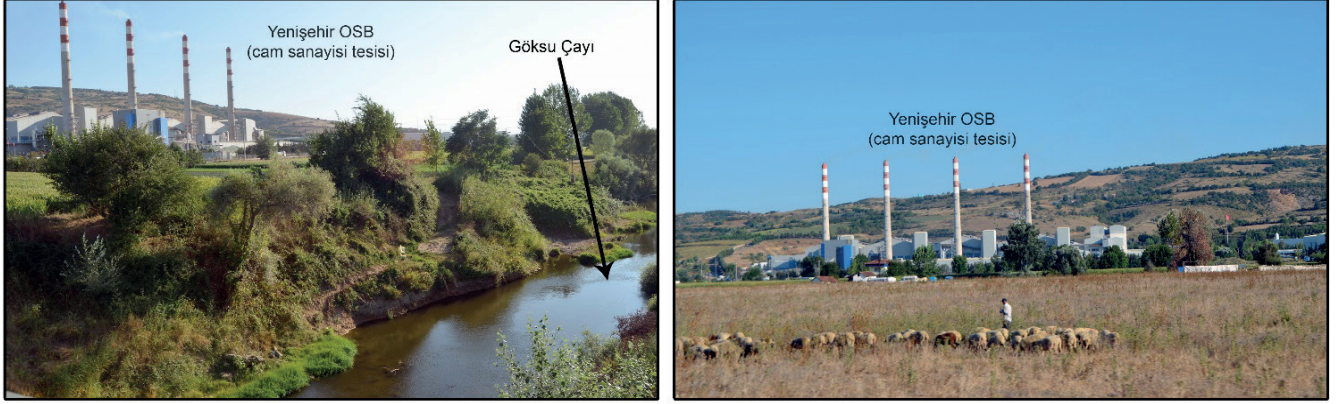
Yenişehir Havzası'nın antropojenik kökenli yüzey deformasyon, antropojenik kökenli ortamsal kirlilik, erozyon, kütle hareketleri, kuraklık ve yangın duyarlılık verileri üzerinden oluşturulan jeoekolojik risk dağılımında belli yoğunlaşmaların olduğu gözlemlenmiştir. Havza toplam alanının % 9'u çok az, % 29'u az, % 32'si orta, % 20'si yüksek ve % 10'u çok yüksek jeoekolojik risk duyarlılığına sahiptir (Şekil 7). Veriler havza toplam alanının % 30'unda yüksek düzeyde jeoekolojik riskin bulunduğu göstermektedir. Kantitatif verilerin mekânsal dağılımı incelendiğinde, Yenişehir ilçe merkezi, Yenişehir OSB çevresi, Subaşı-Boğazköy-Orhaniye arasındaki bitki örtüsünün zayıf olduğu saha, havzanın kuzeyindeki Yıldırım platosu, havzanın doğusundaki mermer-taş ocakları sahası, havzanın güneyindeki İnegöl Mobilya ve Ağaç İşleri OSB şeklinde düzeltilebilir OSB çevresi ve havzanın batısındaki muhtelif alanlar jeoekolojik risk duyarlılığının yüksek ve çok yüksek derecede olduğu sahalardır (Şekil 6). Jeoekolojik risk duyarlılığın çok az ve az olduğu sahaları, havzanın güneydoğusundaki Ahı Dağı ve plato sahasında bulunan ormanlık alanlar, Avdan Dağları'nın yüksek kesimlerindeki sahalarda, Yenişehir Ovası, Koyanlı Dere ve kuzeybatısı, Kapaklı Dere yakın çevresi oluşturmaktadır. Özellikle Yenişehir ilçe merkezini temel alan, Yenişehir Ovası'nın çevresini saran, Gökusu Çayı vadisinin Boğazköy-Tahtaköprü arasında yoğunlaşan jeoekolojik risk kuşağının olduğu anlaşılmaktadır. Bu alandaki floristik ve faunistik çeşitlilik, hidrografik kaynaklar ve bütün ekosistemsel yapı jeoekolojik duyarlılık açısından risk altındadır. Ayrıca noktasal olarak meydana gelebilecek jeoekolojik risk alanlarının özellikle tarım sahalarna yakın olması riskin etkileşim boyutunun daha yükseklere çıkabilme potansiyelini de ortaya koymaktadır.



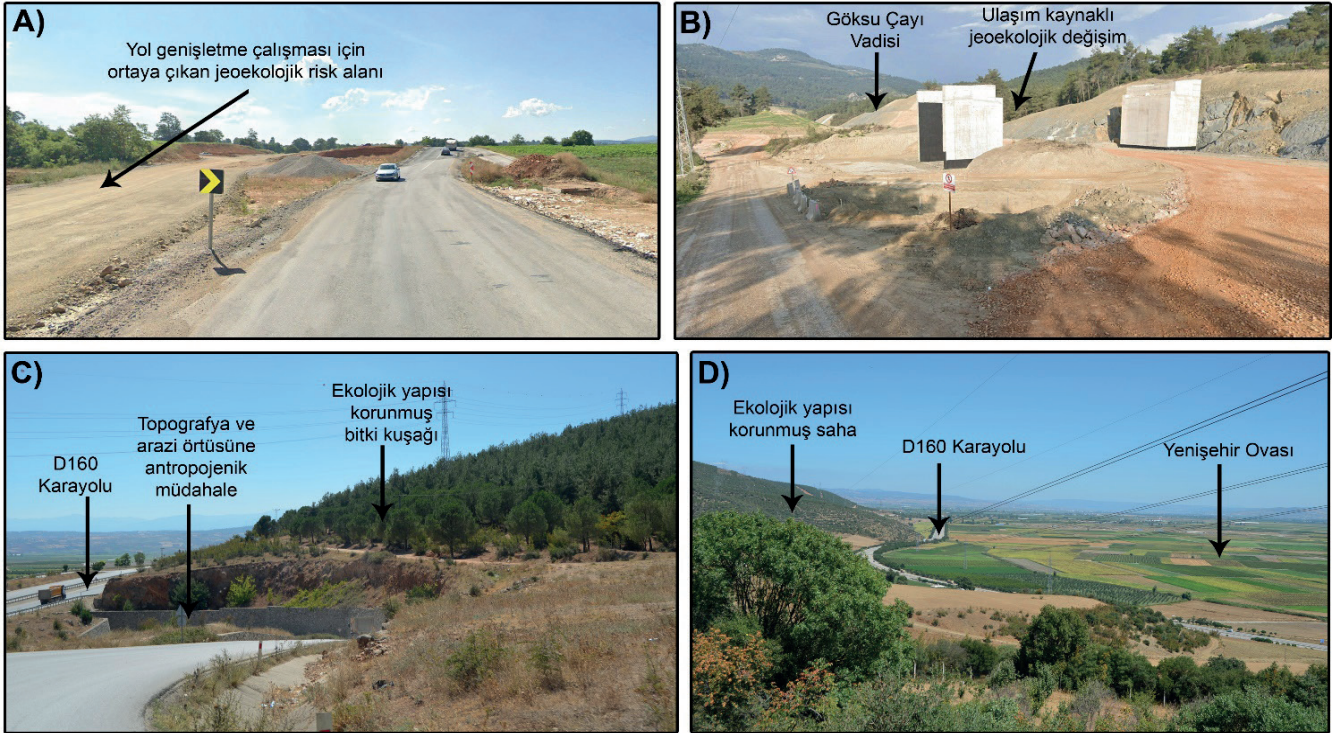
Şekil 7. Yenişehir Havzası'nın jeoekolojik risk duyarlılığı

Yenişehir Havzası'nda jeoekolojik risk duyarlılığı dağılımının oluşmasında bazı fiziki ve beşerî coğrafya faktörleri oldukça etken rol oynamıştır. Özellikle Yenişehir ilçe merkezindeki kentsel alanlar ve nüfus varlığı, havza sınırları içerisinde yer alan OSB sahaları, mermer ve taş ocakları, ana ulaşım güzergahları ve bitki örtüsünün zayıf olduğu alanlar dağılım

biçimlenmesinde etkili olmuştur (Fotoğraf 5 ve 6). Belirtilen unsurların dışında erozyon duyarlılığın yüksek olduğu kuzey kesimdeki plato sahası, kütle hareketleri açısından yüksek duyarlılığa sahip kuzeydoğudaki alanlar, kuraklık duyarlılığının Yenişehir Ovası'nı çevreleyen alandaki yüksek yoğunluğu ve yangın potansiyeli yüksek kurakçıl bitkileri barındıran alanlar diğer etkili faktörlerdir. Bütün bu alanların kesişiminde Yenişehir ilçe merkezini temel alan ve belli sahalarda kuşak olarak yoğunlaşan jeoekolojik risk duyarlılığının yüksek olduğu kümelenmeler meydana gelmiştir.



Fotoğraf 5. Jeoekolojik duyarlılığın yüksek olduğu Yenişehir güneyinde yer alan Yenişehir OSB ve Göksu Çayı ile diğer alanlara etkisi



Fotoğraf 6. Havzanın farklı alanlarında jeoekolojik duyarlılığın yüksek olduğu sahalar A) Bursa-Bilecik yol yapım çalışmaları (İncirli yakınları) B) Bursa-Bilecik arası demiryolu yapım çalışmaları kaynaklı değişim alanı (Orhaniye doğusu Göksu Çayı vadisi) C) D160 bağlantı yolu kapsamında meydana gelen topografik ve floristik değişim (Koyunhisar) D) Marmaracık yakınlarından Yenişehir Ovası'na bakış ve duyarlılığın yüksek ve düşük olduğu sahalara

Yenişehir kentsel yayılım alanının inorganik madde çıkışı, her türlü atık deşarj noktaları doğal ortam üzerinde baskı kurmakta ve bu durum havzanın jeoekolojik risk durumunu etkilemektedir. Yenişehir OSB ve havza güneyinde yer alan İnegöl Mobilya ve Ağaç İşleri OSB sahaları ise kirletici, deşarj ve diğer etkenlerle ekolojik bozulmanın temel tetikleyicisi konumundadır (Fotoğraf 5). Aynı zamanda bu sahalar atmosferik, hidrografik ve edafik kirleticiler olarak taşınabilen yükleri barındırmakta bu durum ise başta Yenişehir Ovası'nın ekolojik yapısı olmak üzere Göksu Çayı, diğer hidrografik birimler ve floristik-faunistik unsurlar açısından jeoekolojik tehditin ana unsurunu oluşturmaktadır. Bunun dışında havzanın muhtelif yerlerinde olmakla birlikte özellikle doğu kesimde bulunan mermer ve taş ocakları hem yüzeysel deformasyon ile arazi örtüsünü ve morfolojik yapısını değiştirmekte hem de atmosferik kirletici miktarını arttırmaktadır. Bu sahalara eklenen ana ulaşım güzergâhları (karayolu genişletme, viyadük, alt geçit ve demiryolu yapım çalışmaları) ise jeoekolojik riskin yüksek boyutlara ulaşmasına daha da fazla etki etmektedir (Fotoğraf 6). Belirtilen antropojenik faktörlere oluşum kökeninde doğal ve beşerî faktörlerin rol oynadığı hadiselerin eklenmesi jeoekolojik duyarlılık derecesini arttırmaktadır. Erozyon dağılışı havzanın bitki örtüsünden yoksun ve eğimin yüksek olduğu alanlarda aşındırma sürecini hızlandırmakta ve bu alanlara karışan inorganik madde miktarının taşınması ve toprağa karışmasına yol açması diğer bir risk boyutunu göstermektedir. Kütle hareketleri doğal ortam koşulları ve antropojenik tetikleyiciler ile meydana gelmekte ve havzada topografya, edafik koşullar, flora ve faunistik dağılışı ile yapısını mikro ve makro ölçekte değiştirerek jeoekolojik duyarlılığı etkilemektedir. Havzada kuraklık duyarlılığı özellikle hidrografik ve meteorolojik olarak etkili olmakta ve buna bağlı beşerî faaliyetlerde önemli rol oynamaktadır. Yenişehir Ovası ve çevresindeki alüvyal sahalarla meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın artmasına bağlı olarak toprakta tuzlanma sorununun artması muhtemeldir. Tuzlanma sorunu diğer deşarj kirleticilerle birlikte toprakta inorganik madde miktarının olumsuz boyutlara yükselmesine neden olacaktır. Havzanın orman yangını duyarlılığı jeoekolojik risk üzerinde etkili olmaktadır. Özellikle havzanın biyolojik çeşitliliğin fazla olduğu alanlarda (havza kuzeydoğusu) flora ve faunistik koşulların risk altında olduğu görülmektedir.

Yenişehir Havzası'nda Jeoekolojik Riskin Mekânsal ve Analitik Durumu ile Etkileri

Farklı veriler üzerinden yapılan analizlerle oluşturulan Yenişehir Havzası jeoekolojik risk duyarlılığı dağılışı özellikle havzanın % 30'luk bölümünde risk boyutunun etki ve boyutsal açıdan yüksek değerde olduğunu gösterir. Duyarlılığın yüksek olduğu sahaların dağılışı önlem alınacak alanlarında ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Ancak bütünlüklü bakış açısında yapılan yönetim ve planlama çalışmalarında her bir noktada meydana gelen sorunun bütün alanları ya da havzaları etkileyeceği bilinmektedir (Uzun & Garipağaoğlu, 2022). Bu nedenle elde edilen jeoekolojik risk dağılışının farklı analizler ve karşılaştırmalarla etki boyutu da irdelenmelidir. Bu kapsamda jeoekolojik risk duyarlılığı verileri mekânsal olarak birim alandaki değer analizine (grid analizi) tabi tutulmuştur. Ayrıca jeoekolojik riskin mevcut arazi kullanımındaki etkisi de arazi kullanımı/arazi örtüsü (AKAÖ) dağılışı verisi üzerinden karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

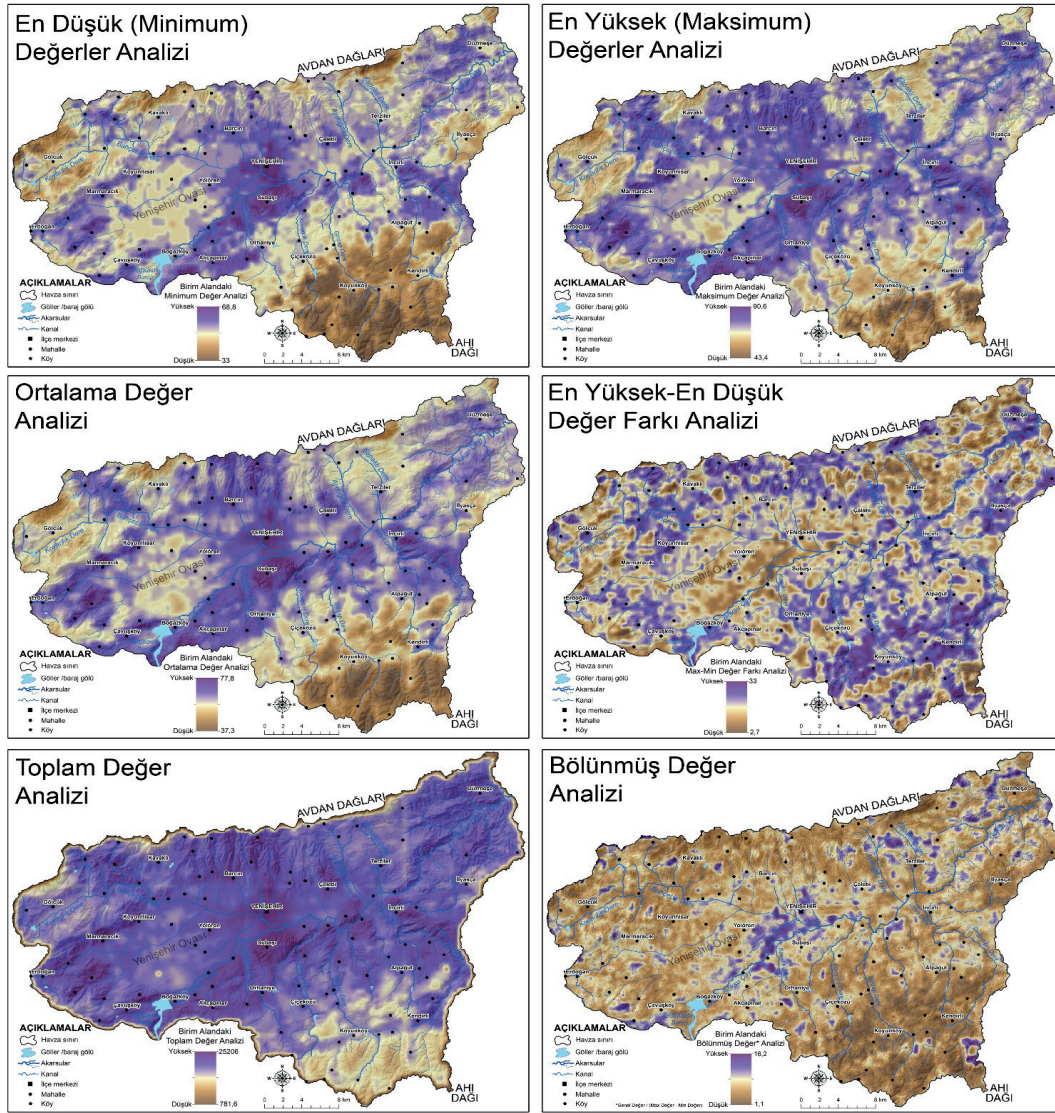
Birim alandaki analizlerde jeoekolojik risk duyarlılığının 500 metre çapındaki etki durumu temel alınarak incelemeler yapılmıştır (Şekil 8). Bu kapsamda ortalama değer analizi jeoekolojik risk duyarlılığının sınıflandırılmadan ortaya konan dağılışı verisini sunmaktadır. Bu veri diğer birim alandaki analiz verileri ile karşılaştırma imkânı ortaya koyar ve etki-yayılım parametresi hakkında yorum yapılabilmesini sağlar.

En düşük değerler analizi, jeoekolojik risk duyarlılığının en düşük yayılım ve etki dağılışını ortaya koymaktadır. En düşük değerler analizinde duyarlılık düzeyinin Yenişehir ilçe merkezi çevresinde, havzanın doğusundaki mermer ocaklarında ve havzanın güneyinde yoğunlaştığı gözlemlenmektedir (Şekil 8). En düşük değerler analizi jeoekolojik risk açısından Yenişehir Ovası, Avdan Dağları'nın yüksek kesimleri, Koyanlık Dere vadisi çevresi, İlyasça ve yakınları ile Ahı Dağı'nın kuzey kesimindeki plato sahasında etki düzeyinin en az olacağını ortaya koyar.

Yenişehir Havzası jeoekolojik risk duyarlılığının en yüksek değerler analizi incelendiğinde, Yenişehir ilçe merkezinin kuzey ve güneyi ile Göksu Çayı vadisi çevresinde geniş bir alan jeoekolojik risk duyarlılığının yüksek olduğu sahaları oluşturur (Şekil 8). En yüksek değerler analiz verileri Yenişehir Havzası'nda jeoekolojik risk duyarlılığını oluşturabilecek faktörlerin maksimum potansiyele ulaştığında geniş bir alanı etkileyebileceğini göstermektedir. Bu durumdan dolayı Yenişehir Ovası'nın

büyük kesimi, havzanın kuzeyindeki plato sahası ve Boğazköy Barajı çevresi bu etkinin maruz kalabileceği temel alanları oluşturmaktadır. Sanayi, maden, atık deşarj, yerleşim, ulaşım gibi antropojenik etmelerin yakın çevresinde jeoekolojik risk potansiyeli etki alanının geniş bir sahaya yayılacağını göstermektedir.

En yüksek (maksimum) ve en düşük (minimum) değer farkı analizi, birim alandaki max-min farkına dayanmaktadır. Bu veri birden fazla varsayımı ortaya çıkarmaktadır. Birim alanda jeoekolojik riskin çok yüksek ve çok düşük değerlerinin bir arada olduğu sahalarda değerlerin yüksek çıktığı, birbirine yakın verilerin olduğu sahalarda ise düşük çıktığı görülmektedir. Ancak sayısal değer olarak en düşük değerlerin yaklaşık olarak yine düşük, en yüksek değerlerin ise yine yüksek değerler dağılımını ortaya koyması muhtemeldir. Bu nedenle değer farkı analizinde spesifik alanlar dikkatle incelenmelidir. Yenişehir Havzası'nda Göksu Çayı vadisinin farklı alanları, havzanın güneydoğudaki plato sahasında bitki örtüsüne geçiş alanları, İlyasça, Erdoğan, Çelebi-Barçın arası jeoekolojik riskin yakın çevresini yüksek oranda etkileyebileceği alanları ortaya koymaktadır. Bu sahalardan batıda Koyulhisar-Marmaracık-Erdoğan arasındaki yol ve diğer ulaşım güzergahı çalışmaları, Çavuşköy çevresi, Subaşı-Yolören arasındaki Göksu Çayı vadisi ve Yenişehir Ovası kesimi jeoekolojik riskin yakın alanlardan itibaren çevreye etki edebileceği sahaları oluşturmaktadır (Şekil 8).



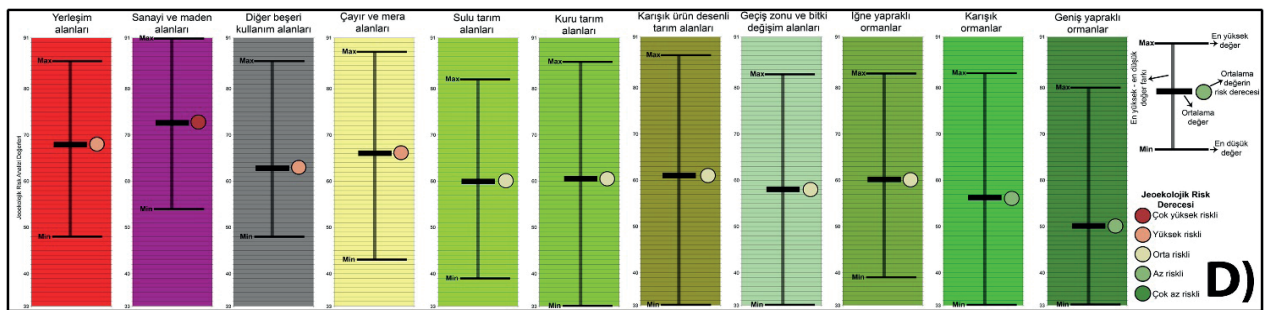
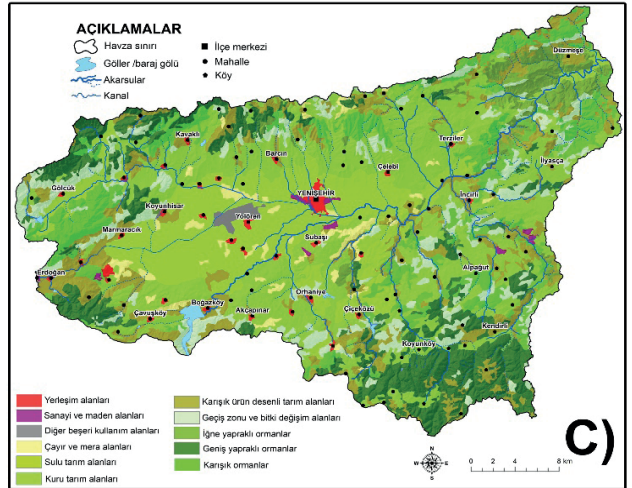
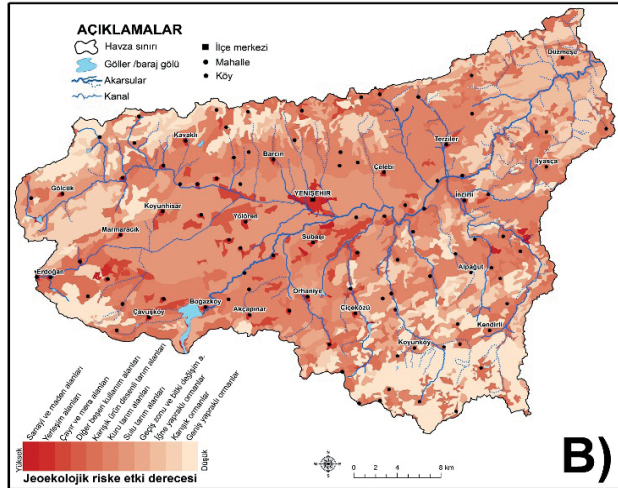
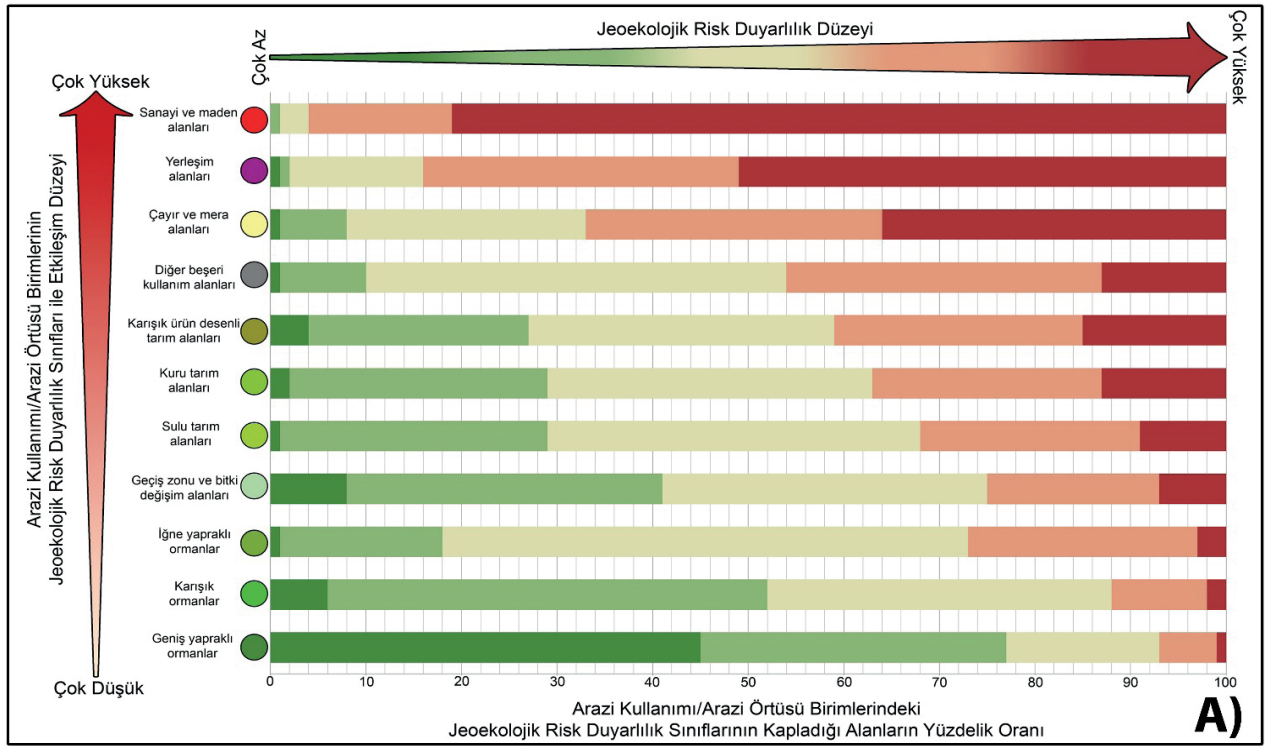
Şekil 8. Yenişehir Havzası jeoekolojik risk duyarlılığının birim alandaki analizleri (grid analiz)

Toplam değerler analizi havzadaki jeoekolojik riskin etki alanının en son sınırını ortaya koymakta ve mutlaka doğal koşullar açısından dinamik yapısını koruyacak alanları da göstermektedir. Yenişehir Havzası'nda toplam değerler analizi, havzanın sınırlarını oluşturan yüksek kesimler ve bu alanlardaki doğal bitki örtüsü kuşağında jeoekolojik riskin en düşük alanları içerdiğini göstermektedir (Şekil 8). Özellikle havzanın güneydoğusunda Ahı Dağı kuzeyindeki plato sahasında bulunan doğal bitki örtüsü alanı antropojenik ve doğal faktörlerin değişimine en uzak sahayı oluşturmaktadır. Belirtilen alanların dışındaki havza toplam alanının % 80'ni toplam değerler analizine göre jeoekolojik duyarlılık açısından risk içermektedir.

Bölünmüş değer havza jeoekolojik duyarlılığının çevresindeki etki faktörleri dışında spesifik olarak meydana gelecek ekolojik risk boyutunu ortaya koyar. Bu analize göre Yenişehir ilçe merkezi, Subaşı-Boğazköy arası Göksu Çayı vadisi, Çavuşköy, kuzeydeki plato sahasındaki muhtelif alanlar, Düzemeşe çevresindeki lokal alanlar, Marmaracık güneybatısı jeoekolojik riskin yüksek olduğu alanları ortaya koymaktadır.

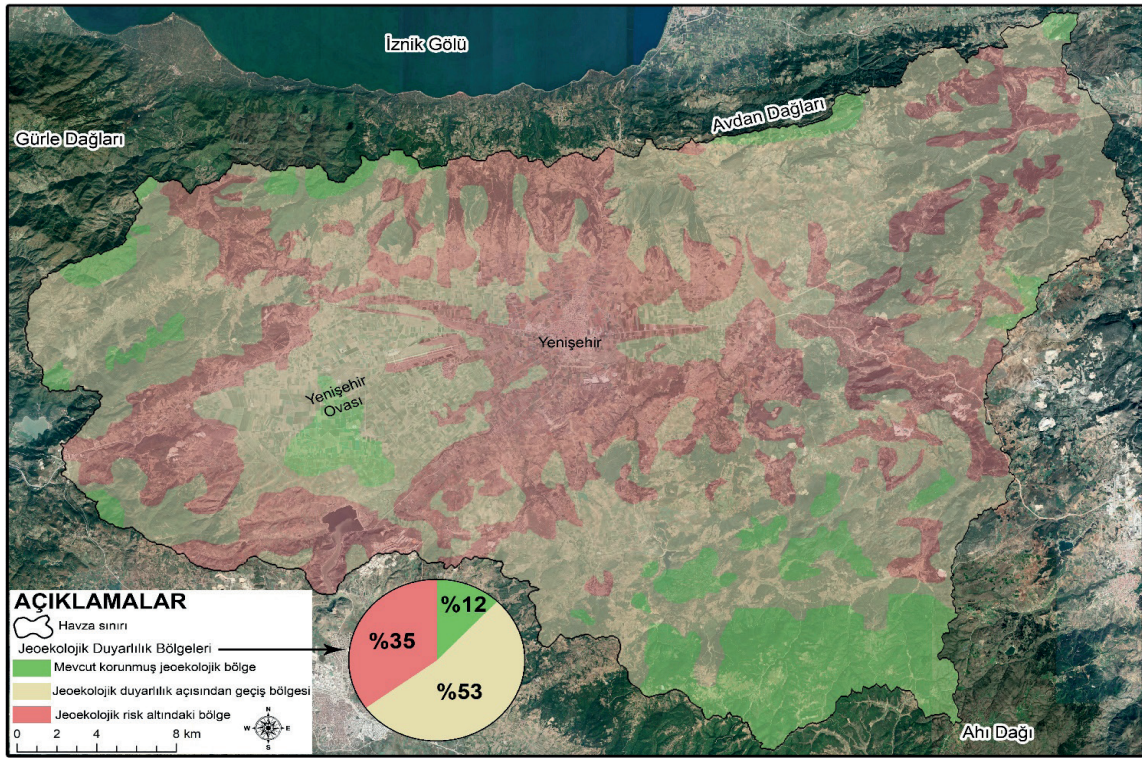
Yenişehir Havzası'nın jeoekolojik risk duyarlılığı dağılışı ile arazi kullanımı/arazi örtüsü (AKAÖ) verileri arasında yoğun ilişki düzeyi ve etkileşim boyutu bulunmaktadır. Bu veriler kartografik ve kantitatif olarak analiz edilmiştir (Şekil 9). Havzada antropojenik faaliyetlerden sanayi ve maden alanları jeoekolojik risk düzeyinin yoğun olduğu sahaların % 80'inden fazlasına tekabül eder (Şekil 9A). Bu durum havzadaki jeoekolojik risk duyarlılığının ana nedeninin sanayi atıkları ve deşarjları ile maden ocaklarında meydana gelen deformasyon ve kirlilik yükünün olduğunu gösterir. Diğer temel faktörleri özellikle yerleşim alanları ile erozyon sahalarına tekabül eden çayır mera alanları ve kütle hareketlerinde antropojenik tetikleyici olan diğer beşeri kullanım alanları (ulaşım ağları) oluşturur. Jeoekolojik riskin yüksek olduğu alanların arazi kullanımı ile negatif yönlü bir ilişki gösterdiği AKAÖ verisi ise orman alanlarından meydana gelir (Şekil 9-B ve C). Özellikle nemcil türleri barındıran geniş yapraklı orman sahaları (Ahı Dağı çevresinde kuşak halinde görülür) jeoekolojik risk düzeyinin en az olduğu alanlardır.

Arazi kullanımı/arazi örtüsü türlerinin her biri ayrı ayrı kendi alanları içerisinde jeoekolojik risk duyarlılığı açısından ortalama, maksimum ve minimum değer olarak analiz edilmiştir (Şekil 9D). Arazi kullanımı/arazi örtüsü türlerinin jeoekolojik risk verilerinin alansal dağılışı keşiminde ortalama değer açısından sadece karışık orman ve geniş yapraklı orman sahalarında jeoekolojik risk duyarlılığının az olduğu görülmektedir. Sanayi ve maden alanları çok yüksek, yerleşim, diğer beşeri kullanım alanları ile çayır ve mera alanlarında ise ortalama değerler jeoekolojik duyarlılık açısından yüksek boyuttadır. Ayrıca belirtilen AKAÖ sınıflandırma verilerinde maksimum değerlerin tavan değere çok yakın ulaştığı ve minimum değerleri taban değere çok yaklaşmadığı tespit edilmiştir. Bu veriler özellikle antropojenik unsurların yoğun olduğu sahalarla büyük ölçüde jeoekolojik risk duyarlılığının artacağını ve ekosistemsel işleyiş yapısında sorunlar meydana gelebileceğini göstermektedir. Diğer dikkat çeken analiz ise karışık tarım alanları ile kuru tarım alanlarında maksimum ve minimum jeoekolojik risk değerlerinin en yüksek ve en düşük değer açısından birbirine yaklaşmasıdır. Bu durum belirtilen AKAÖ türlerin jeoekolojik duyarlılığın düşük olduğu mekânsal alanlar olsa bile noktasal açıdan yüksek risklerin diğer alanları etkileyebileceğini ya da diğer beşeri unsurlardan etkilenebileceğini göstermektedir.



Şekil 9. A) Yenişehir Havzası jeoekolojik risk duyarlılığının arazi kullanımı/razi örtüsü (AKAÖ) dağılışı ile etkileşim ve ilişki düzeyi B) AKAÖ unsurlarının jeoekolojik risk duyarlılığına etki derecesi C) 2022 yılı AKAÖ dağılışı D) AKAÖ türlerinin jeoekolojik risk duyarlılığı sınıfları kapsamındaki ortalama, maksimum ve minimum değerleri

Yenişehir Havzası'nın çeşitli veriler üzerinden yapılan analizlerle ortaya konan jeoekolojik risk duyarlılığı dağılışı temel alınarak koruma ve önlem kapsamlı jeoekolojik bölgeler oluşturulmuştur. Bu kapsamda havzanın % 12'sini mevcut ekolojik yapısı korunmuş jeoekolojik bölge oluşturur. Havzanın % 35'i ise jeoekolojik risk duyarlılığının yüksek olduğu ve mutlak suretle çeşitli önlemlerin alınması gereken sahayı meydana getirmektedir. Havzanın % 53'ü ise jeoekolojik duyarlılık açısından korunmuş ve riskli bölgeler arasındaki geçiş zonlarından oluşmaktadır (Şekil 10). Jeoekolojik risk açısından yüksek riskin olduğu sahalarda doğal ortam koşullarının dinamik özelliklerinin dikkate alındığı ekolojik planlamalar yapılmalıdır. Bu kapsamda öncelikle kirlenici yüklerinin noktasal merkezden çevreye doğru etkisi tespit edilmeli, depolama, deşarj ve arıtma tesislerinde, kapasite artırma, teknoloji geliştirme ve denetleme işlemleri yapılmalıdır. Hidrografik unsurlara yakın sahalardaki antropojenik faaliyetleri kanunlar çerçevesinde belirlenen sınırları aşmamalı ve bu kapsamda gerekli tedbirlerin alınmalıdır. Özellikle karar vericilerin havzanın yönetim ve planlamasında fiziki ve beşerî coğrafya faktörleri ile etkileşimlerini ön plana alması jeoekolojik riskin azaltılmasında önemli bir etken olacaktır.



Şekil 10. Yenişehir Havzası'nın jeoekolojik risk duyarlılığı açısından koruma ve önlem bölgeleri

SONUÇ

Çalışmada, Yenişehir Havzası'nın jeoekolojik risk duyarlılığı modeli 24 ana kriter ve 142 alt kriterin analitik hiyerarşi süreci ile oluşturulan 6 farklı duyarlılık verisinin etken çarpanları sonucu ortaya konmuştur. Antropojenik kökenli deformasyon, antropojenik kökenli ortamsal kirlilik, erozyon, kütle hareketleri, kuraklık ve yangın duyarlılığı dağılışı verileri havzanın jeoekolojik risk modelinin temelini oluşturmuştur. Jeoekolojik risk modeline göre Yenişehir Havzası'nın % 9'u çok az, % 29'u az, % 32'si orta, % 20'si yüksek ve % 10'u çok yüksek jeoekolojik risk duyarlılığına sahiptir. Yenişehir ilçe merkezi, Yenişehir OSB çevresi, Subaşı-Boğazköy-Orhaniye arasındaki bitki örtüsünün zayıf olduğu saha, havzanın kuzeyindeki plato alanı, havzanın doğusundaki mermer-taş ocakları sahası, havzanın güneyindeki İnegöl Mobilya ve Ağaç İşleri OSB çevresi ve havzanın batısındaki muhtelif alanlar jeoekolojik risk duyarlılığının yüksek ve çok yüksek derecede olduğu alanlardır. Ahı Dağı ve plato

sahasında bulunan bitki kuşağı, Avdan Dağları'nın yüksek kesimleri, Yenişehir Ovası, Koyanlık Dere ve kuzeybatısı, Kapaklı Dere yakın çevresi jeoekolojik risk duyarlılığının çok az ve az olduğu sahalardır. Özellikle Yenişehir ilçe merkezi ve Göksu Çayı vadisinin çevresinde yoğunlaşan antropojenik etkenler ile çeşitli doğal faktörlerin kesişimi bu alanlarda jeoekolojik risk duyarlılığını arttırmaktadır. Ayrıca ulaşım güzergahları ve havzanın güneyinde ve doğusundaki mermer taş ocakları sahası da aynı durumu sunmaktadır. Jeoekolojik duyarlılık analizine uygulanan birim alandaki (grid) değer analizi, yüksek duyarlılığın olduğu sahaların yakın çevrelerine etki edeceğini hatta maksimum değerlerde havzanın büyük kısmının belli koşullar açısından risk altında olduğunu göstermektedir. Floristik ve faunistik dağılışı ile ekosistemsel işleyişin farklı etmenler kökeninde değiştirilmesi sadece doğal ortam koşullarının değişimine değil tarımsal üretim alanlarındaki kuraklaşma, çölleşme, tuzlanma sorunlarına, erozyon, heyelan, kuraklık ve orman yangını afetlerin frekanslarının artmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle jeoekolojik duyarlılık ile arazi kullanımı/arazi örtüsü ilişkisindeki veriler göstermektedir ki sanayi ve maden alanları başta olmak üzere antropojenik etkenlerin oluşturabileceği bütün tehditler jeoekolojik ve ekosistemsel riski arttırmaktadır. Bu kapsamda çalışmada jeoekolojik risk altındaki bölgeler (havzanın % 35'i) tespit edilmiş ve önlem alınacak ilk sahalara saptanmıştır. Karar vericilerin bütün üst ve alt düzey planlamalarda havzanın jeoekolojik yapısı ve duyarlılık dağılışı dikkate almaları geleceğe dönük sürdürülebilir gelişimlerde oldukça önemli rol oynayacaktır.

EXTENDED ABSTRACT**Geocological Risk Sensitivity Analysis Based on Geographical Characterization of Yenişehir Basin**Murat UZUN **INTRODUCTION**

Ecosystems are dynamic ecological systems consisting of the temporal and spatial interaction of biotic and abiotic components (Ayre & Landis, 2012). In addition to being dynamic and whole, ecosystems also witness the joint interaction of natural and human conditions (Erinç, 1984). In this context, geocology reveals the spatial distribution and scope of the interaction of abiotic components affecting biotic elements (John et al., 2002). In this respect, geography, which examines natural and human conditions and deals with their mutual interaction, is at the basic point of geocology analysis (Erinç, 1980). Geographical characterization refers to the distinctive features of a certain area (basin, region, country, etc.). These features consist of natural and human geography conditions and their sub-areas that can occur in many different combinations and reveal the basic character of the areas under study. These data are used in multidisciplinary studies and especially in Geographical Information Systems-based analyzes and provide the basic components of the area under study. At the same time, the geographical characterization of the studied areas provides quantitative and qualitative data and constitutes the basic inputs for risk and sensitivity analysis.

Today, many anthropogenic factors such as increasing population pressure, urbanization, industrialization, deformation effect of mines, transportation networks and density, diversity in agricultural activities can affect all conditions of the natural environment and even change them in different time and dimensional scales (Broothaerts et al., 2013). This situation causes changes in the dynamic structure of natural conditions, an increase in inorganic components in their structural forms, climate change and indirectly an increase in the frequency distribution of many disasters, and an increase in pollution load in elements such as water, air and soil (Yılmaz et al., 2020). For the reasons mentioned above, apart from spatial ecological zoning studies, geocological risk has become very important today in revealing the sensitivity and modeling the impact it may cause. In this study, the geocological risk sensitivity analysis of the Yenişehir Basin, which contains different geographical features, diversity, problems and ecological areas where measures should be taken, was examined.

METHODS

In order to reveal the geocological risk sensitivity distribution of the basin and to determine the spatial dimension with different factor analyzes, multiple methods and techniques were used in the study. After obtaining the data to be used in the analyses, 6 different sensitivity parameters were determined for the geocological risk distribution of the basin. These are;

anthropogenic surface deformation susceptibility, anthropogenic ambient pollution susceptibility, erosion susceptibility, mass movement susceptibility, drought susceptibility and fire susceptibility. Analytic Hierarchy Process (AHP) developed by Saaty (1977), which is a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) approach, was used to create the sensitivity maps in the study (Saaty, 1980; Saaty, 1986).

In the research, in 6 different sensitivity analyses, a literature review was made according to the structure of the impact and purpose, and the comparison values between the main and sub-criteria were determined based on the geographical characterization of the basin (physical and human geography features) by making use of expert opinions. For the geoecological risk sensitivity of the basin, 6 different sensitivity analyses were performed and the importance and impact degrees were calculated according to the AHP statistical application of the criteria determined in accordance with the purpose and numerical values were obtained. Then, a comparison matrix was created between the sensitivity data for the degree of impact on geoecological risk sensitivity. The multiplier values of each sensitivity data were determined based on these data. Then, the obtained data were formulated within the scope of the degree of impact on geoecological risk (Chaves et al., 2022; Cheng et al., 2023). The obtained numerical values were evaluated through the weighted sum method in ArcGIS software. Each sensitivity data was re-categorized as 5 different classes and the geoecological risk sensitivity distribution of the basin was formed by classifying the basin as very low, low, medium, high and very high risk by applying the specified formula.

In order to explain the geoecological risk distribution of the basin spatially in detail, values per unit area analysis (grid analysis) was performed (Hu et al., 2023). In this context, the basin was first divided into a network of 500x500 meter squares. Then, the lowest, highest, average, max-min value difference, total value and divided values in each grid were calculated with different formulas. Then a point was assigned to the center of each grid data.

Each value analysis data was entered as a numerical value to these point data. The point cloud data containing different numerical values were interpolated with the natural neighbor method and the value analysis maps in the unit area were produced. At the end of the study, the degree of impact of geoecological risk in the basin with land use/land cover was also analyzed and the status of existing uses was questioned. Afterwards, geoecological risk zoning of the basin was put forward.

FINDINGS

It is observed that there are certain concentrations in the geoecological risk distribution of Yenişehir Basin based on anthropogenic surface deformation, anthropogenic ambient pollution, erosion, mass movements, drought and fire sensitivity data. Of the total area of the basin, 9% has very low, 29% has low, 32% has medium, 20% has high and 10% has very high geoecological risk sensitivity. When the spatial distribution of quantitative data is examined, Yenişehir district center, Yenişehir OIZ surroundings, the area with poor vegetation cover between Subaşı-Boğazköy-Orhaniye, Yıldırım plateau in the north of the basin, marble-stone quarries in the east of the basin, İnegöl Forest Products OIZ surroundings in the south of the basin and various areas in the west of the basin are the areas with high and very high geoecological risk sensitivity. The areas where geoecological risk sensitivity is very low and low are the forested areas in the Ahı Mountain and plateau area, the areas in the high parts of Avdan Mountains, Yenişehir Plain, Koyanlık Stream and its northwest, and the vicinity of Kapaklı Stream. Floristic and faunistic diversity, hydrographic resources and the whole ecosystem structure in areas with high geoecological sensitivity are at risk in terms of geoecological sensitivity. In addition, the fact that the geoecological risk areas that may occur pointwise are especially close to agricultural areas reveals the potential for the interaction dimension of the risk to be higher.

Some physical and human geography factors have played a significant role in the distribution of geoecological risk sensitivity in Yenişehir Basin. Especially urban areas and population in Yenişehir district center, OIZ sites, marble and stone quarries, main transportation routes and areas with weak vegetation cover within the basin boundaries have been effective in shaping the distribution. Apart from the mentioned factors, the plateau area in the northern part where erosion susceptibility is high, the areas in the northeast with high susceptibility in terms of mass movements, the high density of drought susceptibility in the area surrounding the Yenişehir Plain and the areas harboring arid plants with high fire potential are other effective factors.

At the intersection of all these areas, clusters with high sensitivity to geoeological risk, based on Yenişehir district center and concentrated as a belt in certain areas, have emerged.

The inorganic substance output of Yenişehir urban sprawl area and all kinds of waste discharge points put pressure on the natural environment and this situation affects the geoeological risk status of the basin. Yenişehir OIZ and İnegöl Forest Products OIZ located in the south of the basin are the main triggers of ecological degradation with pollutants, discharges and other factors. At the same time, these sites harbor loads that can be transported as atmospheric, hydrographic and edaphic pollutants, which constitute the main element of geoeological sensitivity in terms of the ecological structure of Yenişehir Plain, Göksu River, other hydrographic units and floristic-faunistic elements. In addition, marble and stone quarries located in various parts of the basin, especially in the eastern part, change the land cover and morphological structure with surface deformation and increase the amount of atmospheric pollutants. The main transportation routes added to these sites have an even greater impact on the geoeological risk reaching high dimensions. The addition of natural and human factors to the anthropogenic factors increases the degree of geoeological sensitivity.

Based on the distribution of geoeological risk sensitivity of Yenişehir Basin, which was revealed by analyzing various data, protection and precautionary geoeological zones were created. In this context, 12% of the basin constitutes the geoeological zone with preserved ecological structure. 35% of the basin constitutes the area where geoeological risk sensitivity is high and various measures must be taken. 53% of the basin consists of transition zones between protected and risky zones in terms of geoeological sensitivity. In areas with high risk in terms of geoeological risk, ecological planning should be made taking into account the dynamic characteristics of natural environment conditions.

CONCLUSION

According to the geoeological risk model, 9% of the Yenişehir Basin has very low, 29% has low, 32% has medium, 20% has high and 10% has very high geoeological risk sensitivity. Yenişehir district center, Yenişehir OIZ surroundings, the area with poor vegetation cover between Subaşı-Boğazköy-Orhaniye, the plateau area in the north of the basin, the marble-stone quarries area in the east of the basin, Inegol Furniture and Woodworking OIZ surroundings in the south of the basin and various areas in the west of the basin are areas with high and very high geoeological risk sensitivity. Ahı Mountain and the plant belt in the plateau area, the high parts of Avdan Mountains, Yenişehir Plain, Koyanlık Stream and its northwest, and the vicinity of Kapaklı Stream are the areas where geoeological risk sensitivity is very low and low. The intersection of anthropogenic factors and various natural factors, which are especially concentrated around Yenişehir district center and Göksu River valley, increases the geoeological risk sensitivity in these areas. Transportation routes and marble quarries in the south and east of the basin also present the same situation. The value per unit area analysis applied to the geoeological sensitivity analysis shows that the sites with high sensitivity will affect their immediate surroundings, and even at maximum values, most of the basin is at risk for certain conditions. In this context, the regions under geoeological risk (35% of the basin) were identified in the study and determined as the first sites to take measures.

KAYNAKÇA/REFERENCES

- Adhikary, S. K., Muttill, N., & Yilmaz, A. G. (2017). Cokriging for enhanced spatial interpolation of rainfall in two Australian catchments. *Hydrological Processes*, 31(12), 2143–2161. <https://doi.org/10.1002/hyp.11163>
- Altınlı, İ. E. (1965). Yenişehir havzasının jeolojisi ve hidrolojisi. *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası*, 28(3-4), 31-51.
- Ardel, A. (1951). Yenişehir ovası ve çerçevesi, *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 87-124.
- Ayre, K. K., & Landis, W. G. (2012). A Bayesian approach to landscape ecological risk assessment applied to the upper grande ronde watershed, Oregon, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 18:5, 946-970. <https://doi.org/10.1080/10807.039.2012.707925>
- Broothaerts, N., Verstraeten, G., Notebaert, B., Assendelft, R., Kasse, C., Bohncke, S., & Vandenberghe, J. (2013). Sensitivity of floodplain geoeology to human impact: A Holocene perspective for the headwaters of the Dijle catchment, central Belgium. *The Holocene*, 23(10), 1403–1414. <https://doi.org/10.1177/095.968.3613489583>

- Byun, D.-H. (2001). The AHP approach for selecting an automobile purchase model. *Information & Management*, 38(5), 289–297.
- Chaves A. M. S., Silva Filho C. R., Guedes, J. C. F., Costa D. F. S., Melo & Souza, R. (2022). Spatial analysis of the geoecological adequability index in semi-arid watersheds, Northeast of Brazil. *Environmental Science Ecology*, 3(1070), 1-8. <https://doi.org/10.54026/ESECR/1070>
- 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>
- Cheng, X., Zhang, Y., Yang, G., Nie, W., Wang, Y., Wang, J., & Xu, B. (2023). Landscape ecological risk assessment and influencing factor analysis of basins in suburban areas of large cities—A case study of the Fuchunjiang River Basin, China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1184273.
- Chen, T., Niu, R. Q., Li, P., X., Zhang, L. P., & Du, B. (2010). Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS And Remote Sensing: A case study in Miyun Watershed, North China. *Environmetal Earth Science*, 63, 533–541 <https://doi.org/10.1007/s12665.010.0715-z>
- Cürebil, İ., & Özşahin. (2022). *Harita Bilgisi, bilgisayar uygulamalı tasarım ve analiz*. Bursa: Ekin Yayınevi.
- Demirağ Turan, İ., Özkan, B., & Dengiz, O. (2020). Bulanık mantık analitik hiyerarşik süreç (BAHS) ile Sinop ili erozyon duyarlılığının mekânsal dağılımının belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (75), 57-70 <https://doi.org/10.17211/tcd.716914>
- Erinç, S. (1980). *Jeoekoloji açısından İstanbul yöresi*. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi, 23, 279-290.
- Erinç, S. (1984). *Ortam ekolojisi ve deşredasyonel ekosistem değışiklikleri*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Rektörlüğü Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Yayınları.
- Erkal, T. & Taş, B. (2013). *Jeomorfoloji ve insan, uygulamalı jeomorfoloji*. İstanbul: Yeditepe Yayınevi.
- Erol, O. (2011). *Genel klimatoloji*. İstanbul: Çantay Kitabevi (9. Baskı).
- Ertek, A. (2005). Morfotektonik kökenli havzalara bir örnek: Yenişehir havzası (Bursa), Ulusal Coğrafya Kongresi-2005 (Prof. Dr. İsmail Yalçınlar Anısına) Bildiri Özetleri, s.209-212, İstanbul.
- Fernández M. L., & Nunez, M. M. (2011). An Empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain, *Science of the Total Environment*, 409, 3114–3123. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.010>
- Garipağaoğlu, N. (2015). *Türkiye ortam sorunları coğrafyası*. İstanbul: Yeditepe Yayınevi.
- Görüm, T., & Fidan, S. (2021). Spatiotemporal variations of fatal landslides in Turkey. *Landslides*, 18(5), 1691–1705. <https://doi.org/10.1007/s10346.020.01580-7>
- Güngördü, M. (1985). Güney Marmara Bölümü (Doğu Kesimi) bitki örtüsünün coğrafi şartları. *İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 1, 77-95.
- Hu, J., Qiu, S., Luo, N., Qing, G., & Huang, C. (2023). Multi-Dimensional spatial and temporal variations of ecosystem service values in the Li River Basin, 1990–2020. *Remote Sensing*, 15(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/rs15122996>
- John E. Gordon, Igor J. Dvorák, Jonasson, C. Josefsson, M. Kociánová, M., & Thompson, D. (2002). Geo–ecology and management of sensitive montane landscapes, *Geografiska Annaler: Series A. Physical Geography*, 84, 3-4, 193-203, <https://doi.org/10.1111/j.0435-3676.2002.00174.x>
- Karabulut, M., Karakoç, A., Gürbüz, M., & Kızılelma, Y. (2013). Coğrafi bilgi sistemleri kullanarak Başkonuş Dağında (Kahramanmaraş) orman yangını risk alanlarının belirlenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(24), 171-179.
- Kocalar, A. O. (2017). Coğrafya öğretiminde ekolojik bölge kavramının kullanımı. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 35, 68-73. <https://doi.org/10.14781/mcd.291150>
- Larsen, T. B., & Harrington, J., Jr. (2019). Learning progressions, paradigms, and geographic thinking in the anthropocene. *Review of International Geographical Education Online (RIGEO)*, 9(3), 542-556. <https://doi.org/10.33403/rigeo.561562>
- Maulana, E., Wulan, T. R., Wahyuningsih, D. S., Ibrahim, F., Putra, A. S., & Putra, M. D. (2017). Geoecology identification using Landsat 8 for spatial planning in North Sulawesi Coastal. *Indonesian Journal of Geography*, 49(2), Article 2. <https://doi.org/10.22146/ijg.13189>
- Özşahin, E. (2014). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılarak Antakya (Hatay) şehri'nde kütle hareketleri duyarlılığının değerlendirilmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(2), Article 2.
- Öztürk, M. Z., Utlu, M., & Şimşek, M. (2022). Kaya düşmesi tehlikesinin belirlenmesi ve önlenmesinde İHA tabanlı 3B modelleme çalışmaları: Murtaza Köyü örneği (Niğde). *Yerbilimleri*, 43(2), Article 2. <https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1021032>
- Pektezel, H. (2015). Süleymanpaşa'nın (Tekirdağ) cbs tabanlı jeoekolojik planlama analizi. *The Journal of Academic Social Science Studies*, 5(35), 163–163. <https://doi.org/10.9761/JASSS2878>
- Reagan D. P. (2007). An ecological basis for integrated environmental management, human and ecological risk assessment. *An International Journal*, 12 (5), 819-833.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill International Book Company.
- Saaty, T. L. (1986). Aximotic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32, 841-845.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

- Saaty, T. L. (2004). Decision making—The analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1–35. <https://doi.org/10.1007/s11518.006.0151-5>
- Saaty, T. L. & Vargas, L.G. (2012). *Model, methods concepts & applications of the analytic hierarchy process*. Springer.
- Satir, O., Yeler, S. T., Donmez, C., & Paul, C. (2023). Evaluating ecosystem service changes in a frame of transportation development in Istanbul. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(7), 801. <https://doi.org/10.1007/s10661.023.11404-5>
- Scholl, A., Manthey, L., Helm, R., & Steiner, M. (2005). Solving multiattribute design problems with analytic hierarchy process and conjoint analysis: an empirical comparison. *European Journal of Operational Research*, 164, 760-777. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.01.026>
- Serveiss, V. B. (2002). Applying ecological risk principles to watershed assessment and management. *Environmental Management*, 29(2), 145–154. <https://doi.org/10.1007/s00267.001.0025-z>
- Şahin, M., & Toroğlu, E. (2020). Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak Pınarbaşı ilçesi (Kayseri) arazilerinin tarımsal uygunluk derecelerinin belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 75, Article 75. <https://doi.org/10.17211/tcd.798755>
- Tağlı, Ş. (2007). Tuzla Çayı Havzası'nda (Biga Yarımadası) CBS-Tabanlı RUSLE Modeli kullanarak arazi degradasyonu risk değerlendirmesi. *Ekoloji Dergisi*, 17 (65), 11-20.
- Tseng, C. M., Lin, C. W., & Hsieh, W. D. (2015). Landslide susceptibility analysis by means of event-based multi-temporal landslide inventories. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 3(2), 1137–1173. <https://doi.org/10.5194/nhessd-3-1137-2015>
- Türkeş, M. (2012) Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.
- Uzun, M., & Garipağaoğlu, N. (2022). Mekânsal otokorelasyon ve kümeleme analizi yaklaşımı ile Göksu Çayı Havzası'nın (Sakarya Nehri Havzası) bütünlük ve sürdürülebilir havza yönetim modeli. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 23-38. <https://doi.org/10.17211/tcd.1173420>
- Wang, Y., Gu, X., & Yu, H. (2023). Spatiotemporal variation in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration from 1980 to 2020 and future trends in ecosystem services. *Landside*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/land12040929>
- Yılmaz, F. C., Zengin, M., & Tekin Cure, C. (2020). Determination of ecologically sensitive areas in Denizli province using geographic information systems (GIS) and analytical hierarchy process (AHP). *Environ Monit Assess* 192, 589. <https://doi.org/10.1007/s10661.020.08514-9>
- Yurova, Y., & Shirokova, V. (2020). Geoecological assessment of anthropogenic impacts on the Osetr River Basin. *Geosciences*, 10(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/geosciences10040121>
- Zhang, K., Feng, R., Han, J., Zhang, Z., Zhang, H., & Liu, K. (2023). Temporal and spatial differentiation characteristics of ecosystem service values based on the ecogeographical division of China: A case study in the Yellow River Basin, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 8317–8337. <https://doi.org/10.1007/s11356.022.22748-9>
- Zorlu, K., Celal Tunusluoglu, M., Gorum, T. Nefeslioglu, H., Yalcin, A., Turer, D., & Gokceoglu, C. (2011). Landform effect on rockfall and hazard mapping in Cappadocia (Turkey). *Environmental Earth Science* 62, 1685–1693.