



GÖKSU ÇAYI HAVZASI'NIN (SAKARYA NEHRİ HAVZASI) TEHLİKE DUYARLILIK ANALİZLERİ KAPSAMINDA HAVZA YÖNETİMİ¹

Watershed Management in the Scope of Hazard Sensitivity Analysis of Göksu River Basin (Sakarya River Basin)

Murat UZUN²

Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul Türkiye
murat_uzun53@hotmail.com
ORCID: 0000-0003-2191-3936

Nuriye GARİPAĞAOĞLU

Marmara Üniversitesi İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi
Coğrafya Bölümü, İstanbul Türkiye
nuriyeg@marmara.edu.tr
ORCID: 0000-0003-4967-8536

(Teslim: 10 Ağustos 2022; Düzeltme: 30 Kasım 2022; Kabul: 13 Aralık 2022)
(Received: August 10, 2022; Revised: November 30, 2022; Accepted: December 13, 2022)

Abstract

The increase in the interaction of natural conditions and human activity in the world causes various hazards and risks that differ in their origins, dimensions, and effects. In addition, events that occur for different reasons due to interference with the dynamic process of natural conditions, wrong planning, and over-intensive use also affect the distribution of risks in many areas. Basins, on the other hand, constitute the ideal areas of management studies to be carried out in order to eliminate or reduce the effects of possible risks. This study examined the watershed management of the Göksu River Basin, which includes the İnegöl and Yenişehir sub-basins, in terms of hazard sensitivity analysis. In the study, hazard susceptibility maps of erosion, landslide, overflow, flood, drought, rockfall, forest fire, storm, and anthropogenic origin were produced as a result of quantitative analysis of many variables of the basin with the Analytical Hierarchy Process. The analysis data showed that plateau areas with high altitude difference and slope ratio, valleys, streams draining through a single channel in the plains, and industry and quarry areas constitute risky areas. A multi-risk analysis was carried out using the fuzzy logic method to reveal the most risky areas of the basin, which may be exposed to multiple hazards through 10 different risk analyses. According to the multi-risk data, the basin area contains 46% very low, 25% low, 18% moderate, 8% high, and 3% very high hazard-risk areas. The most risky areas in terms of multi-risk are the plateau area in the south of the İnegöl Plain and the north of the Yenişehir Plain, the Bahçecik-Koyanlık Stream sub-basin, and the Göksu River downstream area. Altitude difference and slope value, lack of vegetation, the effect of lithological units, and intense human use are the main factors in forming possible risk areas. In this study, by examining the basin's ten different hazard Sensitivity analyses, multi-risk distribution data under the joint influence of physical and human geography conditions, suggestions were made for watershed management within the scope of hazard sensitivity.

Keywords: Basin (Watershed) Management, Hazard Sensitivity Analysis, Analytical Hierarchy Process (AHP), Fuzzy Logic Method, Geographic Information Systems (GIS).

Öz

Dünyada, doğal koşullar ve beşeri faaliyet etkileşiminin artması oluşum kökenleri, boyutları, etkileri farklılıklar gösteren çeşitli tehlike ve risklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ayrıca doğal koşulların dinamik sürecine müdahale, yanlış planlama ve aşırı-yoğun kullanım sonucu farklı nedenlerle meydana gelen olaylar birçok alanda tehlikelerin dağılımını da etkiler. Havzalar ise meydana gelmesi muhtemel tehlikelerin ortadan kaldırılması ya da etkisinin azaltılması için yapılacak yönetim çalışmalarının ideal alanlarını oluşturmaktadır. Bu çalışmada belirtilen kapsamda İnegöl ve Yenişehir alt havzalarını içeren Göksu Çayı Havzası'nın tehlike duyarlılık analizleri açısından havza yönetimi incelenmiştir. Çalışmada, Analitik Hiyerarşi Süreci ile havzanın birçok değişkeninin kantitatif analizleri sonucu erozyon, heyelan, sel, taşkın, kuraklık, kaya düşmesi, orman yangını, fırtına ve antropojenik kaynaklı tehlike duyarlılık haritaları üretilmiştir. Analiz verileri, irtifa farkı ve eğim oranı fazla olan plato sahaları, vadiler, ova tabalarında tek kanal üzerinden drene olan akarsular ile sanayi, taş ocağı sahalarında tehlike duyarlılığının yüksek olduğunu göstermiştir. Elde edilen 10 farklı tehlike duyarlılık analiz verileri üzerinden havzanın birden çok tehlikeye maruz kalabilecek alanlarını ortaya koymak amacıyla bulanık mantık yöntemi kullanılarak çoklu tehlike duyarlılık (multirisk) analizi yapılmıştır. Havzanın multirisk verisine göre, % 46'sı çok az, % 25'i az, % 18'i orta, % 8'i yüksek ve % 3'ü çok yüksek düzeyde tehlike duyarlılığına sahip alanları ihtiva eder. Multirisk açısından en tehlikeli alanları,

¹ Bu makale "Sakarya Nehri Göksu Çayı Havzası'nın Doğal Ortam Koşulları Kapsamında Sürdürülebilir Havza Yönetimi" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

² Sorumlu Yazar/ Corresponding author

İnegöl Ovası'nın güneyindeki plato sahası ile Yenişehir Ovası'nın kuzeyi, Bahçecik-Koyanlık Dere alt havzası, Göksu Çayı mansab alanı oluşturur. Yüksek irtifa farkı ve eğim değeri, bitki örtüsünün zayıflığı, litolojik birimlerin etkisi ve yoğun beşeri kullanım tehlikesinin yüksek düzeyde olduğu alanlarının oluşmasındaki temel faktörlerdir. Çalışmada, havzanın 10 farklı tehlike duyarlılık analizi, multirisk verisi, fiziki ve beşeri coğrafya koşullarının ortak etkisinde incelenmesi ile tehlike duyarlılık kapsamında havza yönetimi için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Havza Yönetimi, Tehlike Duyarlılık Analizleri, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Bulanık Mantık Yöntemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

1. GİRİŞ

Birçok dinamik etken ve süreçle şekillenen doğal ortam koşulları, hızla artan nüfusun tetiklediği yüksek talepler ve teknolojik gelişmeler ile yoğun şekilde kullanılmakta, doğal koşullarda süreç ve dağılım farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Bu durum doğal koşullarda antropojenik etkenli değişimlere, tarih boyunca en çok ihtiyaç duyulan suyun aşırı kullanımına, bitki örtüsünün tahrip olmasına, küresel iklim değişikliğine ve doğal afet etkilerinin artmasına neden olmaktadır (Marzocchi vd., 2012). Meydana gelen bütün değişimler farklı bölgelerde, farklı boyutlarda çeşitli sorunlara yol açabilmektedir. Sorunların azaltılması, çözümlenmesi ise sınırları belirlenen alanlarda çeşitli yönetim ve planlama çalışmalarının yürütülmesiyle olabilmektedir (Hooper, 2003; Daeghouth vd., 2008). Bunlardan biri de sınırlarını doğal ortam koşullarının belirlediği, kendi içerisinde birçok benzer özelliği barındıran ve yönetim ile planlama faaliyetlerine olumlu etki yapan havzalardır. Havza yönetimi kavramı, geçmişte su ve toprak odaklı planlanan, günümüzde entegre olarak havzanın bütün özelliklerini ele alan, riskleri, sorunları belirleyip çözüm yolları sunan ve geleceğe dönük gelişmeyi hedefleyen planlamaların işleyiş sürecidir (Omernik & Bailey, 1997; Barrow, 1998; Koontz & Newig, 2014). Bu süreç birçok basamaktan oluşmakta, disiplinler arası çalışmayı gerektirmekte, doğal-beşeri koşulların etkileşimini ele almakta, farklı alt modelleri barındırabilmekte, kalkınmayı hedeflemekte ve daima sürdürülebilir özellikte olmaktadır (Montgomery vd., 1995; Cobourn, 1999; Grigg, 1999; DeBarry, 2004; Heathcote, 2009; Garipağaoğlu, 2012; Garipağaoğlu & Uzun, 2019; Arefin vd., 2020).

Havza yönetimi ve planlama çalışmalarının modellenmesinde, havzaların doğal ve beşeri koşullar açısından oluşturacağı potansiyel tehlike ve riskler oldukça önemli yer tutmaktadır. Belirtilen kapsamda, duyarlılık; meydana gelebilecek hadiselerin mekânsal olasılığını, tehlike; zamansal olarak hadiselerin meydana gelebilme olasılığını, risk ise tehlike kaynaklarından oluşabilecek zararı ifade etmektedir (Kappes vd., 2012; Taştan ve Aydınoglu, 2015). Bu bakımdan havzalarda jeolojik, jeomorfolojik, iklimatik ve hidrografik etken-süreçlerle meydana gelebilen, tetiklenen ve antropojenik etkenlerle farklı düzeyde ve

çeşitlilikte oluşabilen tehlike kaynakları bulunabilmektedir (Swain vd., 2020). Meydana gelebilecek bu hadiseler doğal afetler özelinde yoğunlaşırken, son yıllarda insanoğlunun doğal ortama müdahalesi, antropojenik kökenli değişimler ve beşeri faaliyetlerin ortaya koyduğu yanlış uygulamalarla farklı kökenli tehlikeleri oluşturabilmektedir. Muhtemel tehlikelerin mekânsal dağılımı ve duyarlılık haritaları ile analizlerinin havza yönetim modelleri içerisinde yer alması, havzaların bütünsel yapısı ele alınarak yapılacak planlama, sorun çözümleme ve sürdürülebilir gelişime büyük katkılar sağlamaktadır (Daeghouth vd., 2008).

Bu çalışmada, Göksu Çayı Havzası'nın yönetimi, tehlike duyarlılık analizleri kapsamında incelenmiştir. Göksu Çayı Havzası, doğal ortam özelliklerinin ortaya koyduğu çeşitlilik ve antropojenik faaliyetlerin etkisiyle farklı tehlike kaynaklarını ihtiva etmektedir. Çalışmanın amacını, havzanın doğal ve beşeri ortam koşullarının değerlendirilmesi sonucu ortaya konan duyarlılık kriterlerinin uzman görüşüne dayalı olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile havzanın deprem, erozyon, heyelan, sel, taşkın, kuraklık, kaya düşmesi, orman yangını, fırtına ve antropojenik (beşeri) kaynaklı tehlike duyarlılık dağılımının, kantitatif durumun belirlenmesi, multirisk (çoklu tehlike) boyutunun ele alınması ve bulguların havza yönetimi açısından analiz edilerek, çözüm önerilerinin sunulması oluşturmaktadır.

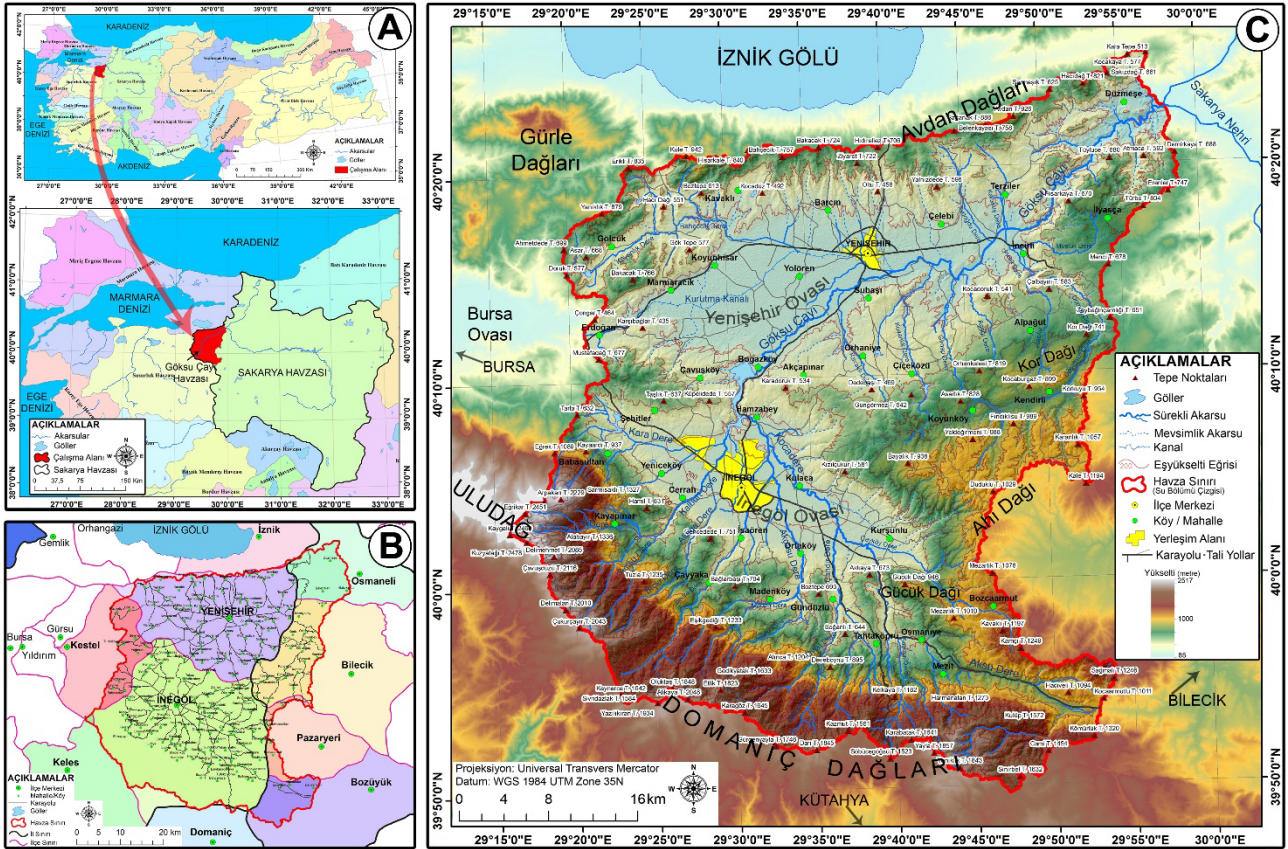
1.1. Çalışma Alanı ve Genel Özellikleri

Göksu Çayı Havzası, Sakarya Nehri Havzası'nın batısında yer almakta ve İnegöl ile Yenişehir alt havzalarından oluşmaktadır. Havzanın kuzeyini Avdan Dağları, güneyini Domaniç Dağları, güneybatısını Uludağ, doğusunu Ahı Dağı, batısını ise İnegöl-Bursa ovaları eşik sahası oluşturur (Şekil 1). Havza, bu sınırlar içerisinde 2439,04 km²'lik saha kaplamaktadır. Göksu Çayı Havzası coğrafi koordinat sistemine göre 40°26'10"-39°48'2" Kuzey enlemleri ile 29°59'0"-29°16'30" Doğu boylamları arasında yer alır.

Havza, çeşitli jeolojik-litolojik birimleri ve neotektonik hareketlerin etkisiyle farklı doğrultuda fayları barındırmaktadır. Havza, jeomorfolojik olarak iki verimli ova tabanına (İnegöl ve Yenişehir ovaları),

güney kesiminde yüksek ve arızalı topografik yapıya, kuzeyde daha alçak dağlık sahaya, doğu ve batısında hafif eğimli plato sahasına sahiptir. Havzanın en alçak yeri kuzeydoğuda 85 m iken en yüksek yeri Uludağ zirve düzlüğünde 2517 m'dir. Havzanın ortalama yükselti seviyesi 648,7 m'dir. Ova düzlüklerinde eğim değeri 0° olup havzanın güneyindeki derin vadi yamaçlarında eğim değerleri 70°'ye kadar çıkmaktadır. Göksu Çayı Havzası'nın yıllık ortalama sıcaklığı 13°C, havza ortalamasında yıllık yağış miktarı 752 mm'dir. Havzada en çok yağış kış aylarında görülür. Havzanın ana akarsu ağını Göksu Çayı ve kolları oluşturur. Bu akarsuya İnegöl ve Yenişehir havzalarından birçok konsekant akarsu drene olmaktadır. Havzanın genel drenaj tipini dandritik ağ oluşturur. Havzanın mansaba en yakın ölçüm noktası olan Göksu-Rüstemköy AĞI verisi ortalama 17,39 m³/sn debiye sahipken, havzanın yıllık toplam akım 543.380.000 m³'dür. Havzadaki akarsuların rejimi düzensizdir. Ovalarda alüvyal

topraklar, kuzey, güney ve doğu kesimde 800 m seviyesine kadar kahverengi orman toprakları, bu seviyeden sonra kireçsiz kahverengi orman toprakları görülmektedir. Avrupa-Sibirya floristik sınırları içerisinde Öksin alt flora kapsamına giren havzanın bitki topluluklarının % 92'sini orman, % 3'ünü maki ve % 5'ini ot formasyonları oluşturur. Havzanın güneyinde Uludağ ve Domaniç Dağları'nda kuşak halinde geniş yapraklı ormanlar bulunur. Havzanın şehir yerleşmesini İnegöl ve Yenişehir oluşturmaktadır. Havza kırsal yerleşmelerinin büyük bir bölümü, İnegöl ve Yenişehir İlçelerine bağlıdır. Ayrıca Kestel, Osmaneli, Bilecik, Bozüyük ve Pazaryeri'ne bağlı kırsal alanların bir kısmı da havzada yer alır. 2020 yılı havza toplam nüfusu 342.631 kişidir. Nüfusun % 78 şehirlerde, % 22'si kırsal alanlarda yaşamaktadır. İnegöl ve Yenişehir'deki organize sanayi bölgeleri (OSB), tarımsal faaliyetler, taş ve maden ocakları ile hayvancılık faaliyetleri havzanın ekonomik yapısını oluşturur.



Şekil 1- Göksu Çayı Havzası'nın A) lokasyon haritası, B) idari bölünüş haritası, C) sınırları ve SYM
Figure 1- A) Location map B) administrative division map C) borders, DEM of Göksu River Basin

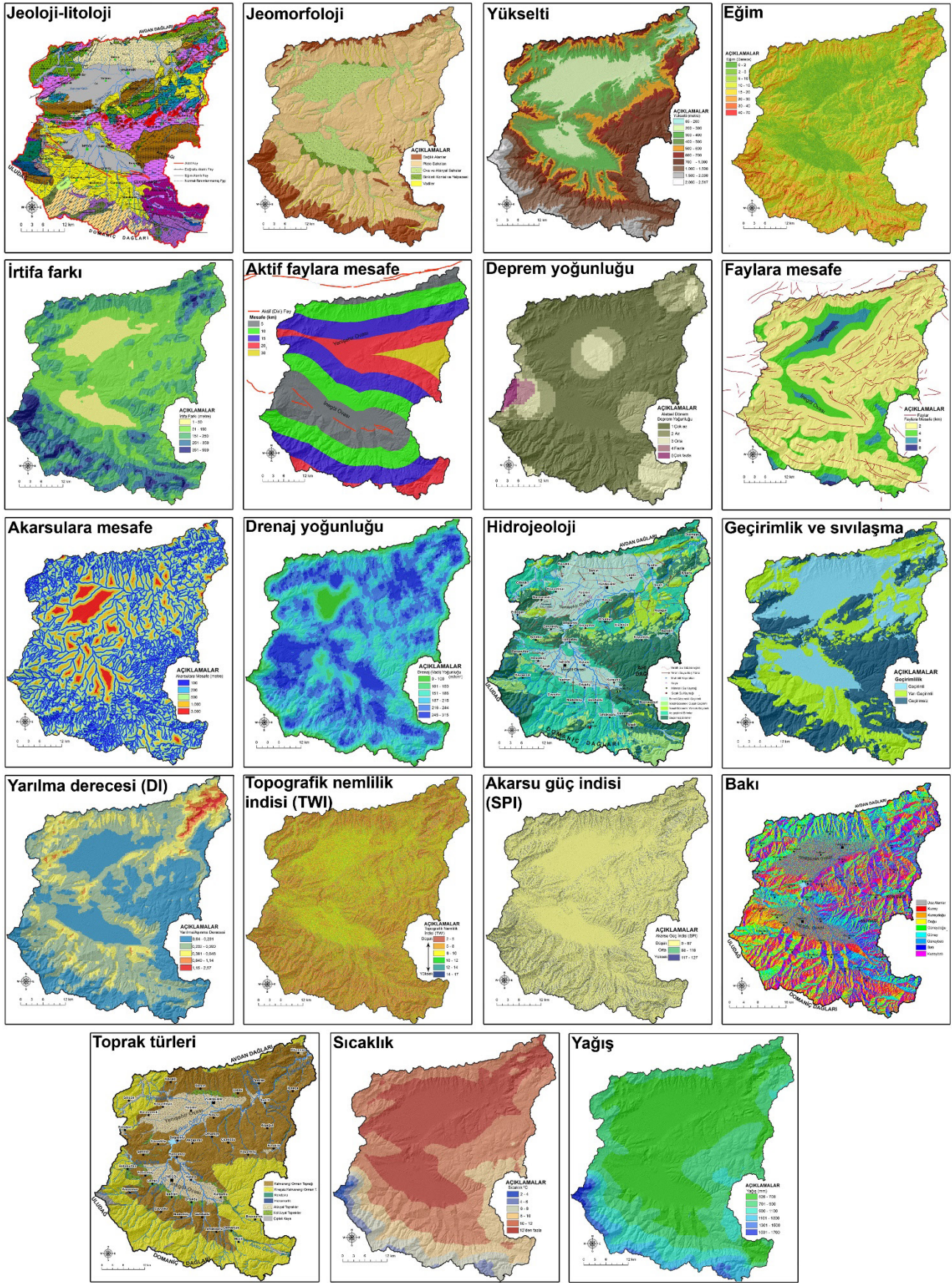
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada materyal olarak Harita Genel Müdürlüğü'nden alınan 29 adet 1:25.000 ölçekli topografya paftaları, MTA'dan alınan 1:100.000 ölçekli H22, H23, I22 ve I23 jeoloji haritaları, Bursa ili Hidrojeoloji haritası, heyelan envanteri, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden 1900-2020 yılları arası deprem verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden İnegöl ve Yenişehir istasyonlarına ait uzun süreli rasat verileri, Devlet Su İşleri'nden (DSİ) havzadaki 11 adet Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) verileri, Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım-Toprak Reformu Genel Müdürlüğü'nden toprak türleri dağılışı, İnegöl ve Yenişehir orman işletmelerine ait amenajman haritaları, United States Geological Survey (USGS)'den 10.07.2020 tarihli Landsat OLI verisi, Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) 2020 yılı nüfus sayım verileri, CORİNE 2018 verileri, openstreetmap ulaşım ağı verileri, İnegöl ve Yenişehir belediyelerinden imar planı verileri kullanılmıştır. Bu verilerin dışında yazılı-basılı kaynaklar ve arazi çalışmalarından elde edilen bulgular da çalışmada kullanılmıştır.

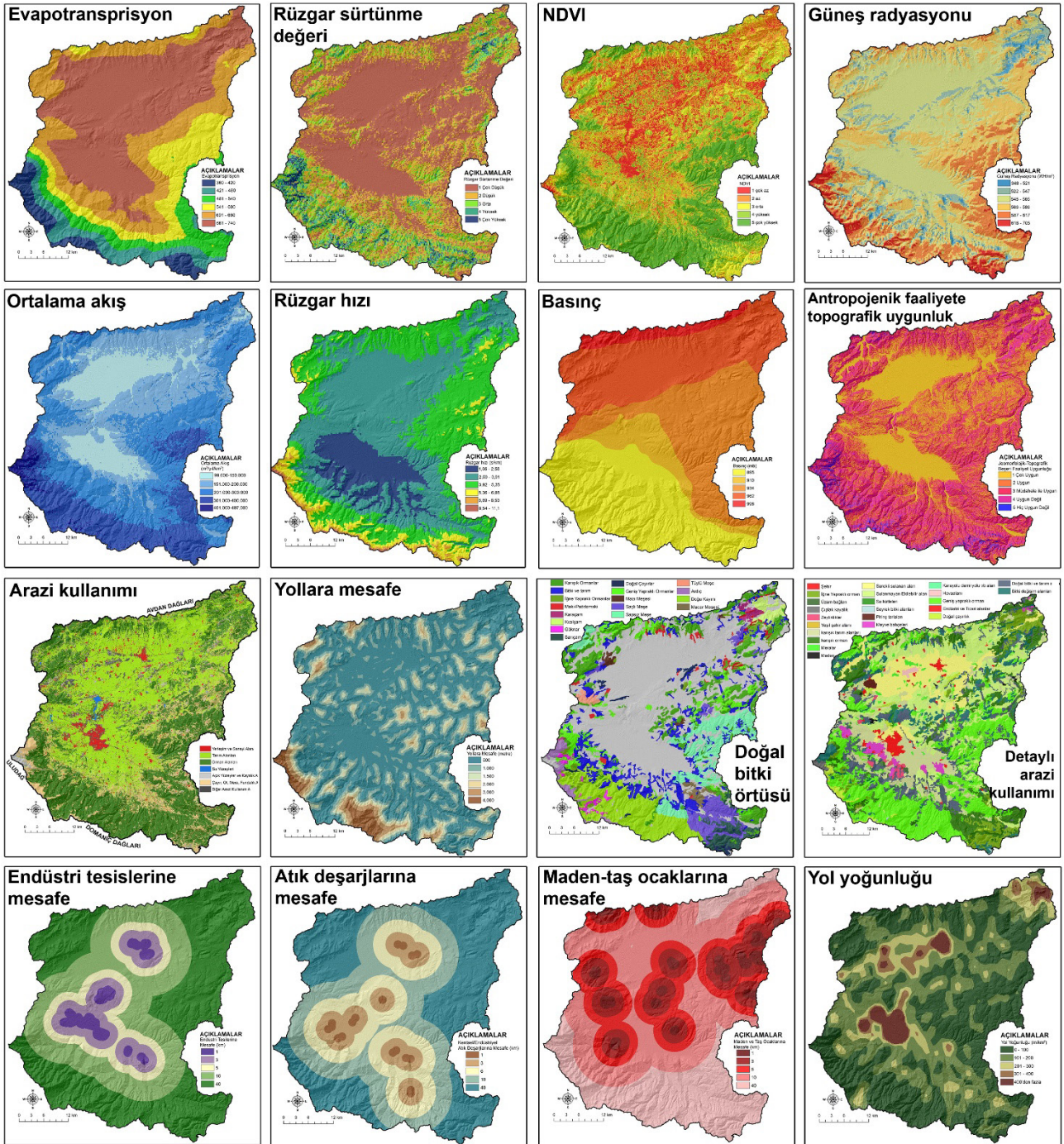
Araştırmada ilk olarak topografya paftalarından ArcGIS yazılımı kullanılarak havzanın Sayısal Yükselti Modeli (SYM) üretilmiştir. Elde edilen SYM üzerinden yükselti, eğim, bakı ve drenaj ağı haritaları oluşturulmuştur. Daha sonra MTA verilerinden havzanın jeoloji, hidrojeoloji, zemin geçirimsizlik ve sıvılaşma potansiyeli, faylara mesafe, diğer verilerden deprem yoğunluğu, toprak türleri, doğal bitki örtüsü dağılışı haritaları oluşturulmuştur (Şekil 2 ve 3). İklim haritalarının üretilmesinde İnegöl ve Yenişehir verileri temel alınmış ve cokriging yöntemi ile havzanın, sıcaklık, yağış, basınç, evapotranspirasyon haritaları oluşturulmuştur (Şekil 2 ve 3). Klimatolojik verilerin oluşturulmasında Lapse Rate ve Schreiber formülü ($Ph = Po + 54h$) kullanılmıştır (Erol, 2011; Türkeş, 2018). Güneş radyasyonu verisi, havzanın orta noktasındaki enlem temel alınarak, SYM üzerinden 1 Haziran-1 Eylül arasındaki tarihlerini kapsayan 3 aylık süreçte, gün içinde 6'şar saat aralıkla güneşin farklı açılara göre ışıma değerleri m^2 başına Wh birimiyle haritalandırılarak oluşturulmuştur. Rüzgar verileri ise globalwind üzerinden raster olarak temin edilmiş daha sonra tekrar sınıflandırılarak çalışmada kullanılmıştır. Havzanın ortalama akış verisi AGİ değerlerinin analizi ve Thonrthwaite değerlerinin ortak ilişkisi üzerinden farklı katsayı değerlerinin ağırlıklı bindirmesi ile oluşturulmuştur (Karataş, 2017). Arazi kullanım verisi Landsat uydu görüntüsünün kontrollü sınıflandırılmasıyla üretilmiştir. 2020 yılı landsat uydu görüntüsü ayrıca NDVI [$NDVI = (NIR - Red) /$

(NIR+Red)] analizine de tabi tuulmuştur (Myneni vd., 1995). Günümüz yol ağı openstreetmap'den indirilen veriler üzerinden üretilmiştir. Çalışmada kullanılan mesafe verilerinin tamamında ArcGIS-Buffer özelliği kullanılmıştır. 2020 yılı landsat uydu görüntüsü ve belediyelerden alınan imar planları üzerinden endüstri, atık deşarj ve maden-taş ocaklarına mesafe haritaları buffer tekniği ile üretilmiştir. Havzanın SYM verisi üzerinden topografik rölyef (irtifa farkı) dağılışı [$E_c = (H_{max} - H_{min}) / A$], topografik nemlilik indisi dağılışı [$TWI = (([FA] + 1) / ([E] + 1)).Log$], akarsu güç indisi dağılışı [$SPI = (\alpha * tan\beta)$], yarıma derecesi indisi dağılışı [$DI = RR / AR$], rüzgar sürtünme katsayı değeri ve antropojenik faaliyet jeomorfolojik uygunluk verileri üretilmiştir (Nir, 1957; Mark, 1975; Parker, 1982; Moore vd., 1991). Bitki türlerinin nemlilik ve yanma potansiyeli haritası Uluslararası Jeosfer-Biyosfer Programı (IGBP) kriterlerine göre belirlenmiştir (Şekil 3). Elde edilen bulguların kartografik verileri raster veriye dönüştürülerek Analitik Hiyerarşi Süreci'nden (AHS) elde edilecek kantitatif değerlere uygun hale getirilmiştir.

Havzanın tehlike duyarlılık analizlerinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) sistematiğinde yer alan, 1970'lerde temelini Myers ve Alpert'in ortaya koyduğu daha sonra Saaty (1977) tarafından geliştirilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır (Saaty, 1980; Saaty, 1986). Yaklaşım, nitel ve nicel kriterler ve bunların alt kriterlerini birleştirerek mekânsal karar almayı sentezleme yoluyla destekler, farklı algoritmalar ile sezgisel ve istatistiksel olarak yorumlanan kriterler arasındaki ilişkiler derecesini ve niteliğini ortaya koyar (Saaty, 2004; Scholl vd., 2005; Elaalem vd., 2011; Huang vd., 2011; Saaty & Vargas, 2012; Ishizaka & Nemery, 2013; Şahin & Toroğlu, 2020). Yöntem; amacın, kriterlerin ve her kritere ait alt kriterlerin (alternatiflerin) belirlenmesiyle başlar, daha sonra ana kriterler ve alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır. Karşılaştırmalarda, a_1 kriterinin diğer a_2 kriteriyle ilişkisine, amacın-problemin durumuna göre önem derecesi açısından değerler verilir (Saaty, 1990). Bu değerler AHS'deki matris yerleştirilir ve kriterler ile alt kriterler önem derecesine göre karşılaştırılır. Matris n sayıdaki eleman $n(n-1)/2$ formülüne göre hesaplanır (Byun, 2001). AHS ikili karşılaştırma da terslik kuralı uygulanır ve aynı değerlerin birbirileri ile oranı 1 olarak sabit olmak zorundadır (Saaty & Vargas, 2012). Değerlerin bir tarafı tam sayı iken diğer tarafı ondalık değer olarak devam etmektedir. AHS karşılaştırma matrisi tamamlandıktan sonra her bir sütun verileri toplanarak n kriter satırına işlenir. N kriter aşağıdaki formülde B_i ile formüle edilerek gösterilmiştir.



Şekil 2- Havzanın AHS ile tehlike duyarlılık analizlerinde kullanılan ana ve alt kriterleri
Figure 2- Main and sub-criteria used in hazard susceptibility analysis with AHP of the basin



Şekil 3- Havzanın AHS ile tehlike duyarlılık analizlerinde kullanılan ana ve alt kriterleri
 Figure 3- Main and sub-criteria used in hazard susceptibility analysis with AHP of the basin

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

B_i verileri, aynı satırdaki tüm elemanların toplanarak n elemanı hesaplanması ve her bir elemanın n elemanına bölünmesi ile ortaya konmaktadır. Bu işlem ile C matrisi elde edilir. C matrisi ile normalizasyon işlemi ve kriter ağırlıkları belirlenmektedir. AHS karşılaştırma matrisindeki her bir sütun elemanları, o sütunun toplam değerine bölünerek elde edilir. Elde edilen normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi ile her bir kriter için kriter ağırlığı W_i formülüne göre tespit edilir. Diğer aşamada C matrisinde elde edilen değerlerin ilk aşamadaki toplam değerler sütunu ile çarpımı sonucu ağırlıklı toplam değer yani D_i verisi ortaya konmaktadır. Yapılan işlemler ile kriterler ve alternatiflerin ağırlık değeri ve toplam ağırlık değerleri hesaplanmış ve

önem dereceleri ortaya konmuştur. Bütün elde edilen verilerin problem durumu ya da amaca göre uygun olup olmadığı, kullanılabilirlik durumu, tutarlık indeksi (CI), tutarlık oranı (CR) ve rastgele indeksi (RI) ile ortaya konmaktadır (Saaty, 2004). Tutarlık indeksinin (CI) hesaplanması için E_i değerinin bulunması gerekmektedir. E_i değeri, her bir ağırlıklı toplam değerlerin (D_i) aynı verideki kriter ağırlığına bölünmesi sonucu elde edilir. Ortaya çıkan değerlerin ortalamasının alınması sonucu λ_{max} değeri bulunur. Ortaya konan değer tutarlılık indeksinde (CI) n değerleri ile hesaplanarak sonuç değeri bulunmaktadır. Rastgele indeksi, Saaty (1980) tarafından ortaya konan kriter sayısına göre ikili karşılaştırma matrisinden türetilmektedir (Tablo 1) (Saaty, 1980).

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

Çalışmadaki kriterlerin tutarlı olup olmadığını ortaya koyan tutarlık oranı (CR) ise tutarlılık indeksi (CI) sonucunun rastgele indeksi (RI) sonucuna bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Ortaya çıkan değer 0,10 dan büyük ise karşılaştırma da ve kriterler arasındaki ilişkide hatanın olduğunu, tutarlı

olmadığını ve verinin kullanılamayacağını ifade eder. Eğer hesaplanan sonuç değer 0.10'dan küçük ise kriterler arasındaki karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu ve değerlerin amaca uygun olduğunu gösterir.

Tablo 1 AHS'de kullanılan rastgele indeks değerleri (Saaty, 1980)
 Table 1- Random index values used in AHS (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

Çalışmada her bir tehlike duyarlılık analizinde, amacın ve sorun teşkil edecek durumun yapısına göre geniş literatür taraması yapılmış, uzman görüşlerinden yararlanılarak (Barka, 1997; Guzzetti, 2000; Turoğlu & Özdemir, 2005; Tağil, 2007; Blanco & Lal, 2008; Özdemir, 2008; Chen vd., 2010; Fernández & Nunez, 2011; Zorlu vd., 2011; Marzocchi vd., 2012; Özşahin, 2012; Türkeş, 2012; Erkal & Taş, 2013; Ertek, 2013; Karabulut vd., 2013; Morgan vd., 2014; Özşahin, 2014; Petras, 2014; Tseng vd., 2015; Haque vd., 2016; Pourghasemi vd., 2018; Reichenbach vd., 2018; Türkeş & Şahin, 2018; Cao vd., 2020; Demirağ Turan vd., 2020; Fidan & Görüm, 2020; Utlu vd., 2020; Görüm & Fidan, 2021; Öztürk vd., 2022) havzanın fiziki ve beşeri coğrafya özelliklerinden ana, alt kriterler ve karşılaştırma değerleri belirlenmiştir. Havzanın tehlike duyarlılık analizleri için amaca uygun belirlenen kriterlerin AHS istatistiksel uygulamasına göre önem ve etki dereceleri hesaplanmış, ağırlık kriterlerinin sayısal değerleri bulunmuştur. Elde edilen sayısal değerler raster verilere değer olarak girilmiş ve havzanın 10 farklı

tehlike duyarlılık dağılım haritaları oluşturulmuştur. Tehlike duyarlılık dereceleri 1-5 değerleri arasında sınıflandırılmış; 1-çok az, 2-az, 3-orta, 4-yüksek ve 5-çok yüksek şeklinde ortaya konmuştur.

AHS ile elde edilen 10 farklı tehlike duyarlılık dağılımının ortak etki alanını ortaya koymak ve havzada birçok tehlikenin etkisinde kalan sahaları tespit etmek amacıyla bütün risk verileri bulanık mantık yöntemi ile analiz edilmiştir. Bulanık mantık yöntemi; araştırma yapılan alana ait her bir elemana matematiksel olarak kümedeki üyelik derecesini temsil eden bir değer atayarak uygulanır (Zadeh, 1988; Zhang & Liu, 2006). Parametre üyelik dereceleri 0 ile 1 arasındaki gerçel sayılarla temsil edilirler (Elaalem vd., 2011). Çalışmada 10 farklı tehlike duyarlılık kartografik verisi bulanık mantık yönteminde kullanılmak üzere kendi içerisinde korele edilmiş, 5 kategorik sınıf 0-1 arasındaki değerler üzerinden analiz edilerek çoklu tehlike duyarlılık (multirisik) dağılım verisi üretilmiştir (Schmidt vd., 2011). Bütüncül ya da çoklu tehlike duyarlılık (multirisik) dağılımı havzanın en yüksek tehlike barından alanları

ile birden çok tehlikeye maruz kalabilecek sahalari göstermektedir (Kappes vd., 2012). Havzanın 10 farklı tehlike duyarlılık analiz verisi, çoklu tehlike duyarlılık (multirisk ya da çoklu risk) analizi verileri, havzanın doğal ve beşeri coğrafya özellikleri ile ilişkilendirilerek havza yönetimi açısından değerlendirilmiş ve havza planlaması için öneriler sunulmuştur.

3. BULGULAR

3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci ile Göksu Çayı Havzası'nın Tehlike Duyarlılık Analizleri

Göksu Çayı Havzası'nın 10 farklı tehlike duyarlılık analizinin her birinde AHS yöntemi açısından çeşitli ana ve alt kriterler kullanılmıştır. AHS ile ortaya konan tehlike duyarlılık analizlerinin tutarlık indeksi (CI), tutarlılık oranı (CR) ve rastgele indeksi (RI) verileri elde edilerek kantitatif ve kartografik bulgular ortaya konmuştur (Tablo 2 ve Şekil 4).

Göksu Çayı Havzası'nın **deprem** tehlike duyarlılık analizine göre, % 15'3'ü yüksek, % 51'i orta ve % 34 az-çok düzeyde tehlike barındırmaktadır (Şekil 4). Sahanın aktif faylara yakınlığı depremlerin havzanın

her kesiminde hissedilebileceği ve etki yaratacağını göstermektedir. Havzada 6 ve daha büyük depremlerin tarihsel ve aletsel dönemde olmayışı, yakın çevredeki daha aktif faylara mesafe gibi durumlardan dolayı çok yüksek tehlike duyarlılığının olduğu alanlar sadece İnegöl Fayı'nın kuzeybatısında, Bursa Fayı'na yakın alanlarda görülmektedir. Deprem duyarlılık haritası incelendiğinde İnegöl Ovası ve güneybatıda Uludağ yamaçlarında moloz sahası deprem tehlike duyarlılığın en yüksek olduğu ilk alanı teşkil eder. Bu sahada alüvyal ve geçirimli zeminin varlığı, ovanın güneyini sınırlayan aktif İnegöl Fay hattı, tehlike duyarlılığın yüksek düzeylerde olmasına neden olmaktadır. Sahanın aynı zamanda havzanın en yoğun nüfuslu alanı olması ve birçok sanayi tesisini de barındırması risk ve zarar görülebilirlik boyutlarını daha da arttırmaktadır. Diğer yüksek tehlike duyarlılığı içeren alanı, havzanın kuzeyinde Düzmeşe-Kavaklı arasındaki konglomera, kumtaşı vb. örtü birimlerinden oluşan ve İznik-Mekece Fay'ına yakın olan kesim oluşturmaktadır. Yenişehir Ovası, alüvyal ve geçirimli zemine sahip olmasına rağmen aktif fay hatlarına ve deprem yoğunluk merkezlerine uzak olduğu için orta derecede deprem tehlikesine sahiptir. Havzanın güney ve doğu çerçevesi tehlikenin az olduğu sahalardır.

Tablo 2- Göksu Çayı Havzası'nın AHS analizinde kullanılan ana kriterleri ve CI, CR, RI değerleri
Table 2- CI, CR, RI values and ain criteria used in AHP analysis of Göksu River Basin

Tehlike Analiz Türü	Tehlike Duyarlılık Analizinde Kullanılan Ana Kriterler	AA	AK	CI	CR	RI
Deprem	Aktif faylara mesafe, jeoloji-litoloji, sıvılaşma potansiyeli, deprem yoğunluğu (1900-2020), diğer faylara mesafe, hidrojeoloji, eğim	7	42	0,098	0,074	1,32
Erozyon	Eğim, arazi kullanımı, toprak türleri, yağış, hidrojeoloji, NDVI, irtifa farkı, bakı, TWI	9	54	0,09	0,068	1,45
Heyelan	Jeoloji, eğim, kayaç geçirimsizliği, irtifa farkı, arazi kullanımı, akarsulara mesafe, yollara mesafe, TWI, NDVI, toprak türleri	10	66	0,038	0,026	1,49
Sel	Akarsulara mesafe, hidrojeoloji, drenaj yoğunluğu, eğim, yağış, jeoloji-litoloji, TWI, SPI, NDVI, arazi kullanımı	10	66	0,056	0,038	1,49
Taşkın	Akarsuya mesafe, eğim, jeomorfoloji, hidrojeoloji, jeoloji-litoloji, arazi kullanımı, yağış, NDVI, toprak türleri, TWI	10	70	0,056	0,038	1,49
Kuraklık	Sıcaklık, yağış, evapotranspirasyon, akış dağılışı, NDVI, yükselti, geçirimsizlik, arazi kullanımı, güneş radyasyonu, bakı	10	59	0,056	0,038	1,49
Kaya düşmesi	Eğim, irtifa farkı, jeomorfoloji, yarıлма derecesi, yollara mesafe, jeoloji, arazi kullanımı, akarsulara mesafe	8	58	0,032	0,023	1,41
Orman Yangını	Doğal bitki örtüsü, bitki türü yanma potansiyeli, NDVI, eğim, arazi kullanımı, sıcaklık, güneş radyasyonu, yağış, bakı, yollara mesafe	10	65	0,056	0,038	1,49
Fırtına	Rüzgar hızı, zemin sürtünme katsayısı, jeomorfoloji, arazi kullanımı, yükselti, NDVI, basınç, bakı	8	51	0,032	0,022	1,41
Antropojenik (Beşeri) kökenli	Arazi kullanımı, detaylı mekan kullanımı, endüstri tesislerine mesafe, atık deşarj mesafe, maden-taş ocaklarına mesafe, yollara mesafe, yol yoğunluğu, NDVI, akarsuya mesafe, jeomorfolojik uygunluk	10	57	0,055	0,039	1,49

AA: Ana kriter sayısı, AK: alt kriter sayısı, CI: tutarlılık indeksi, CR: tutarlılık oranı, RI: rastgele indeksi

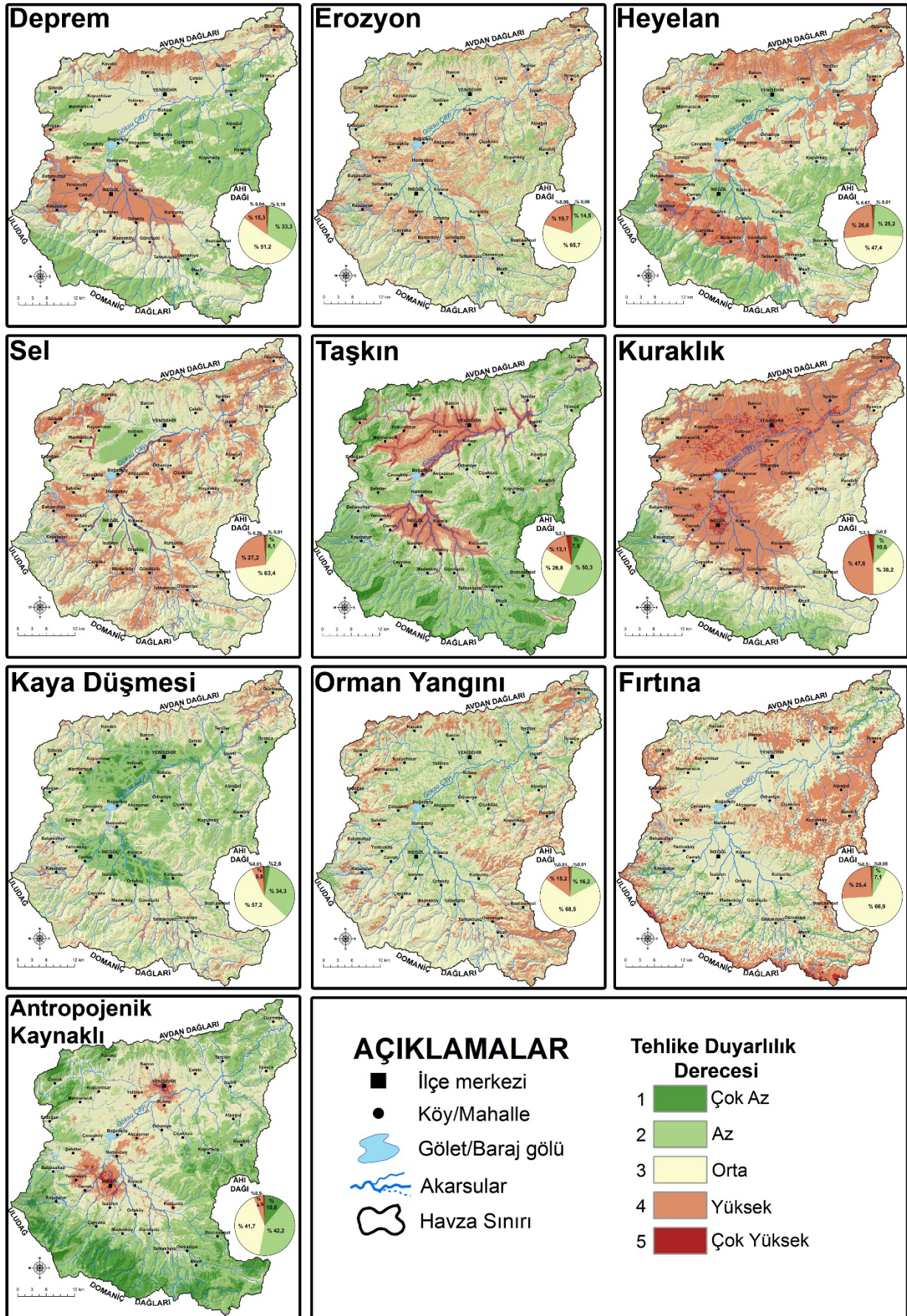
Göksu Çayı Havzası'nın **erozyon** tehlike duyarlılığına göre, havzanın % 0,06'sında çok az, % 14,5'inde az derecede tehlike duyarlılığı mevcuttur. Bu durum havzanın % 85'inde belli şiddetlerde erozyonun yaşanacağını göstermektedir. Havzanın % 65,7'si orta derecede erozyon duyarlılığına sahipken % 19,7'sinde yüksek ve % 0,06'sında çok yüksek tehlike duyarlılığının olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4). Erozyon tehlike duyarlılık dağılışı incelendiğinde çok yüksek derecede duyarlı alanların Uludağ yamaçlarında çıplak arazilerde olduğu ancak alansal açıdan çok dar bir saha kapladığı görülmektedir. Yüksek duyarlılıklı sahalar havzanın farklı alanlarına dağılmış durumdadır. Uludağ'ın yüksek kesimleri, havzanın güneydoğusu, havzanın güneyindeki plato alanlarında, ova tabanına geçiş sahasında Tahtaköprü-Kayapınar arası, havzanın orta kesimindeki eşik sahası, Göksu Çayı'nın doğusunda kalan plato alanı, eski Marmaracık Gölü sahasının kuzeybatısı, Avdan Dağları'nın yamaçları, Düzmeşe-Çelebi arasında yüksek erozyon tehlike duyarlılığı mevcuttur. Bu sahaların büyük kısmının ormanlardan yoksun, açık yüzey ya da tarım, mera alanı olması, eğim değerinin belli seviyelerde görülmesi, erozyonda rol oynayan temel etmenlerdir. Havzanın birçok noktasında ani irtifa farkları değişiminin olması, yağışın belli bir seviyenin üstünde olması bu alanlarda yüzeysel aşındırmanın artmasına neden olmakta ve orta düzeydeki erozyon duyarlılığının geniş alanlarda görülmesine sebebiyet vermektedir. Avdan Dağları, Domaniç Dağları, Uludağ ve Ahı Dağı'nda bitki örtüsünün gür olduğu sahalar ile havzanın doğusundaki plato sahası erozyon duyarlılığın az olduğu alanlardır.

Heyelan tehlike duyarlılık analizine göre havzanın % 0,67'si çok yüksek, % 26,6'sı yüksek derecede heyelan tehlike duyarlılığına sahiptir. Heyelan tehlike duyarlılığı açısından havza alanının % 47,4'ü orta derecede, % 25,2'si az ve % 0,01'i çok az duyarlılığı barındırır (Şekil 4). Havzanın heyelan tehlikesi duyarlılığı çok yüksek düzeyde olan sahaların büyük bir bölümünü İnegöl Ovası'nın güneyinde yer alan eğimli, akarsular tarafından derince yarılmış plato sahası oluşturur. Belirtilen sahada heyelanların geçmişten günümüze etkili olduğu ve halen aktif heyelanların görüldüğü bilinmektedir (Fotoğraf 1). Sahada heyelan tehlikesinin çok yüksek olmasında en önemli neden; konglomera, kumtaşı, kıltaşı, çamurtaşı, marn gibi örtü birimlerinden oluşan İnegöl formasyonunun litolojik ve hidrojeolojik özellikleridir (Hoşgören, 1975). Formasyonu oluşturan litolojik birimlerin aşırı yağışlarla birlikte yüzeyden sızan suyu absorbe etmesi ve gravite etkisiyle yamaç doğrultusunda kaymaların, akmaların yaşanması bu kesimin büyük bir risk altında olduğunu

göstermektedir. Belirtilen alanlardaki yolların oluşturduğu antropojenik tetikleyici etkende günümüzde aktif heyelanların halen arazide tespit edilmesini sağlamaktadır. Bunun dışında havza kuzeyindeki plato sahası, Göksu Çayı vadisinin güney-güneydoğu kesimi, Çelebi-Terziler-İncirli üçgenindeki saha, İnegöl Ovası'nın kuzeyindeki örtü birimlerinden müteşekkil eğimli saha, Ahı Dağı kuzeyindeki plato alanında da heyelan açısından yüksek tehlike duyarlılığı bulunmaktadır. Heyelan duyarlılık düzeyinin az olduğu alanlar İnegöl ve Yenişehir ovaları ile Uludağ, Domaniç Dağları ve Ahı Dağı'nın yüksek kesimlerindeki granit, mermer, gibi geçirimsizlik düzeyi düşük, daha dirençli litolojik birimlerin olduğu sahalardan oluşmaktadır.

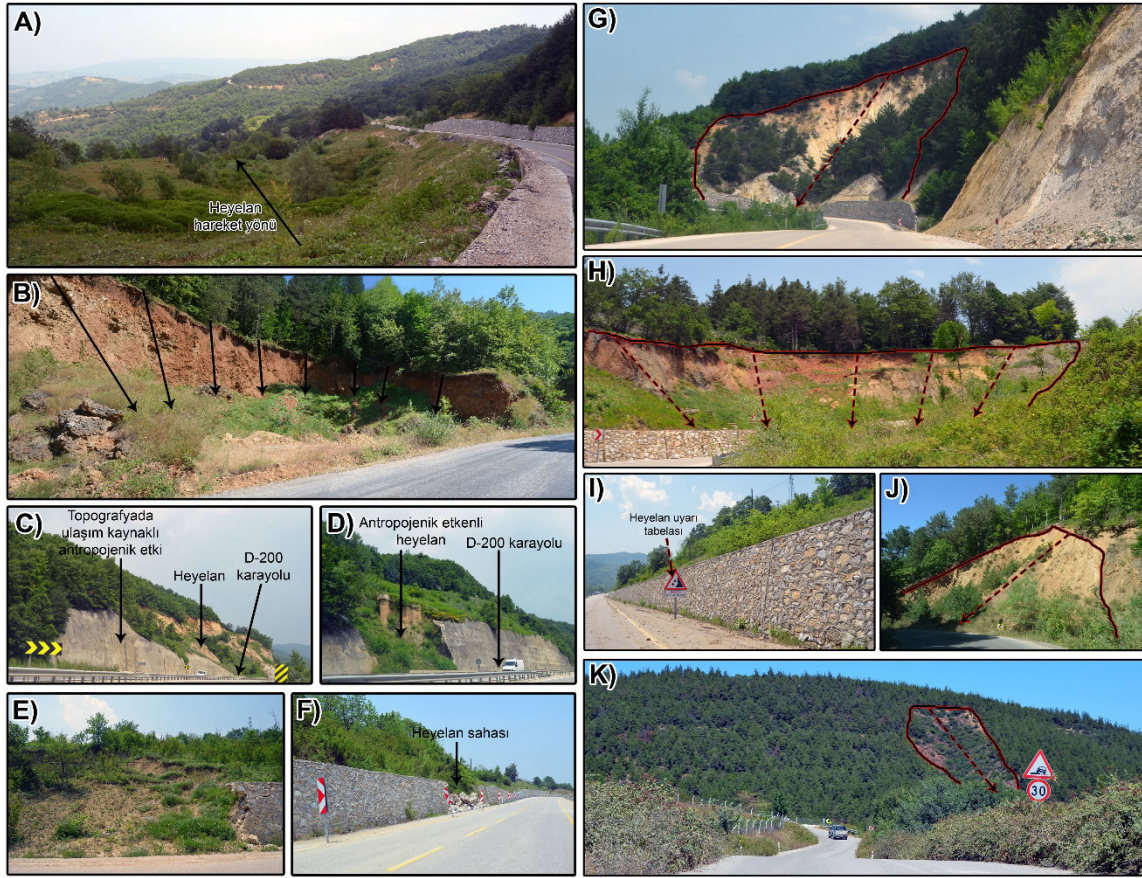
Sel tehlike duyarlılık analizine göre Göksu Çayı Havzası'nın % 0,25'inde çok yüksek, % 27,2'sinde yüksek duyarlılığın olduğu tespit edilmiştir. Havzanın % 63,4'ü orta derecede sel tehlikesini ihtiva etmektedir. Havzanın % 8,1 az, % 0,01'inin çok az tehlike duyarlılığına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sel tehlike duyarlılığı dağılışı açısından incelendiğinde, çok yüksek duyarlılığın olduğu alanlar havzanın kuzeybatısında Gölcük mahallesi çevresinde, Bahçecik-Koyanlık derelerinin birincil dizindeki kollarında, havzanın kuzeydoğusunda ve Göksu Çayı vadisinde yoğunlaşmaktadır. Belirtilen alanlarda, ana akarsuyu karışan birçok mevsimlik konsekant akarsuların bulunması, zeminin yarı geçirimli ya da geçirimsiz yapıda olması, drenaj yoğunluğunun fazla olması, eğimin belli bir düzeyde bulunması sel tehlike duyarlılığın çok yüksek olmasına neden olmaktadır. Havzada yüksek derecede duyarlı sahalar, İnegöl Ovası'nı çevreleyen konsekant akarsuların fazla olduğu, Domaniç Dağları'nın yüksek kesimlerinde, Bedresu ve Oylat Dere çevrelerinde, Uludağ'ın kuzey yamaçlarında ova tabanı sahasına doğru olan alanda, havzanın kuzeybatı ve kuzeydoğusunda, Ahı Dağı çevresinden kaynaklarını alan ve kuzeye akış gösteren akarsuların Göksu Çayı'na karıştığı alanlarda bulunmaktadır. Belirtilen alanlarda geçmişten günümüze birçok sel afetinin yaşandığı ve zararlılara yol açtığı bilinmektedir (Fotoğraf 2).

Taşkın tehlike duyarlılık analizi verilerine göre Göksu Çayı Havzası'nın % 2,3'ü çok yüksek, % 13,1 ise yüksek derecede taşkın tehlike duyarlılığına sahip sahalar olarak tespit edilmiştir. İnceleme sahasının % 26,8'i orta derecede, % 50,3'ü az ve % 7,5'i çok az taşkın tehlike duyarlılığına sahip durumdadır. Göksu Çayı Havzası'nda taşkın duyarlılığının dağılışına bakıldığında çok yüksek düzeyde tehlikeli alanların havzada ana akarsu yataklarının ova tabanları kesiminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).



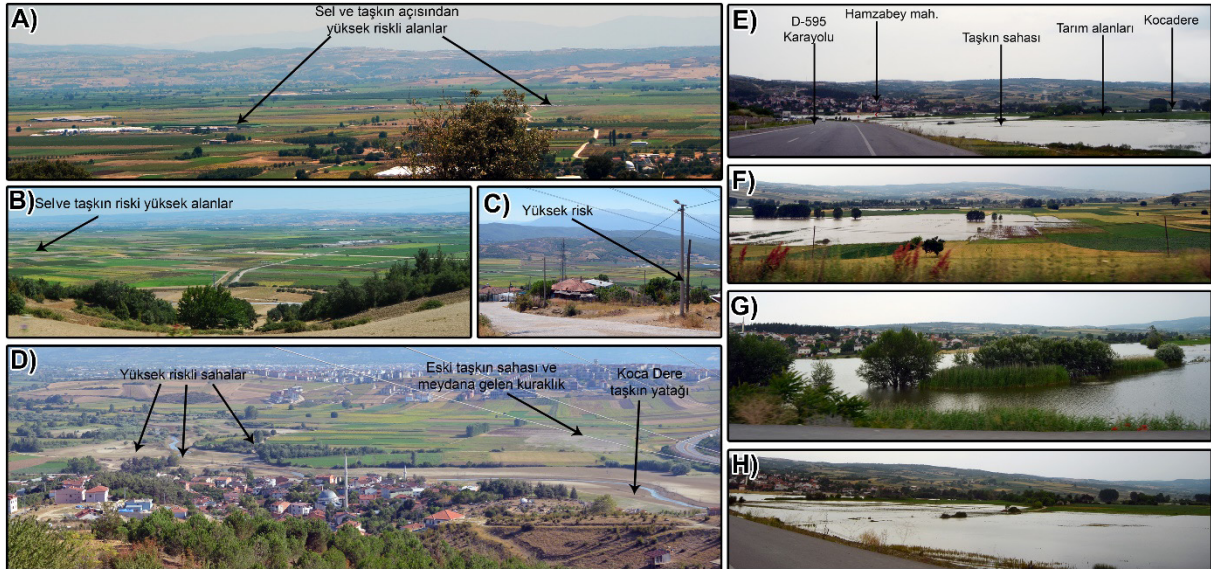
Şekil 4- Göksu Çayı Havzası'nın AHS ile oluşturulan tehlike duyarlılık haritaları

Figure 4- Hazard susceptibility maps of Göksu River Basin created with AHP



Fotoğraf 1- Havzadaki aktif heyelan sahaları A) Oylat yolu, B) Çayyaka yolu, C) ve D) D-200 karayolu Kınık-Mezit arası, E) Yukarı Ballık, F) Hacıkara, G) Saadet, H) Hilmiye mahalleleri I) birçok yerde görülen heyelan uyarı tabelası (D595 karayolu), J) İsaören kuzeyi K) Selimiye yakınları

Photo 1- Active landslide areas in the basin A) Oylat road, B) Çayyaka road, C)- D) D200 highway between Kınık and Mezit, E) Yukarı Ballık, F) Hacıkara, G) Saadet, H) Hilmiye neighborhoods I) landslide warning sign seen in many places (D595 highway), J) north of İsaören K) near Selimiye



Fotoğraf 2- Sel ve taşkın tehlikesi yüksek alanlar A) ve B) Yenişehir ovası, C) eski Marmaracık Gölü sahası D) İnegöl Ovası E), F), G) ve H) Koca Dere taşkın alanı, İnegöl-Hamzabey güneyi (10.06.2020)

Photo 2- Areas with high flood and overflow risk in the basin A), B) Yenişehir plain, C) field of former Marmaracık Lake D) İnegöl plain, E), F), G) and H) Koca Dere floodplain, South of İnegöl-Hamzabey

Göksu Çayı'nın Yenişehir Ovası kesimi, İnegöl Ovası'nı drene eden Kalburt Dere, Akçasu Dere, Kara Dere, Koca Dere, Yenişehir Havzası'nı drene eden Bahçecik Dere ile kuzeyden gelen akarsuların bulunduğu sahalarda yoğunlaşmalar gözlemlenir. Göksu Çayı Havzası kuzeyinde, Yenişehir Ovası'nın batısında eski Marmaracık Gölü'nün kurutulmasıyla yüzeylenen saha ise kurutma kanalı ile Göksu Çayı'na bağlanmakta ancak yine de taşkın potansiyeli yüksek olan alanı oluşturmaktadır (Fotoğraf 2). Taşkın açısından yüksek duyarlılığa sahip sahaları ova tabanlarının tamamı ile havzanın kuzeybatısı ve kuzeydoğusundaki alüvyal düzlükler ve yerel vadi tabanlarının olduğu alanlar oluşturmaktadır. Maden Dere, Çandır Dere, Aksu Dere, Değirmendere, Aydoğdu Dere, Kapaklı Dere vadilerinin bazı kesimleri taşkın tehlikesi açısından yüksek duyarlılığa sahip sahalardır. Havza drenajını oluşturan diğer akarsu vadileri orta derecede, havzanın kuzey, güneyindeki yüksek kesimler ve doğudaki plato sahası taşkın tehlike duyarlılığın az olduğu alanları oluşturmaktadır.

Göksu Çayı Havzası'nın **kaya düşmesi** tehlike duyarlılık analizine göre havzanın çok yüksek duyarlılıklı alanlar % 0,01'ini, yüksek derece ise %

5,8'ini oluşturmaktadır. Kaya düşmesi tehlike duyarlılığı açısından orta derece duyarlı alanlar havzanın % 57,2'sini, az duyarlı alanlar % 34,3'ünü ve çok az duyarlı alanlar % 2,6'sını meydana getirmektedir (Şekil 4). Göksu Çayı Havzası'nda kaya düşmesi tehlike duyarlılığının mekansal dağılışında çok yüksek ve yüksek duyarlılığa sahip alanlar, dar ve derin vadilere, eğimin yüksek olduğu ve genellikle yol güzergahlarının bulunduğu sahalara tekabül etmektedir (Fotoğraf 3). Bu sahalarda, havzanın kuzeydoğusundaki flüvyal aşındırmanın fazla olduğu Göksu Çayı vadisinde, havzanın güneyindeki boğaz vadilerde ve havzanın kuzeyindeki vadilerde yoğunlaşmaktadır. Orta derecede duyarlılığın olduğu alanlar havzanın büyük bir bölümünde dağılış gösterir. Özellikle Uludağ, Domaniç Dağları, Avdan Dağları, Ahı Dağı'nda ve bu alanların çevresindeki plato sahalarındaki vadi yamaçları orta derecede duyarlılığa sahiptir. Kaya düşmesi tehlike duyarlılığının az olduğu alanlar İnegöl ve Yenişehir ovaları ile diğer alüvyal tabanlı sahalardan müteşekkildir. Kütle hareketlerinden olan kaya düşmesi aynı zamanda heyelan olaylarını tetiklemesi ile havzada özellikle İnegöl formasyonunun olduğu alanlardaki vadilerde oluşabileceği öngörülmektedir.



Fotoğraf 3- Hamzabey-Çayırılı arasındaki (D-595 karayolu) kaya düşme tehlikesi yüksek alanlar
Photo 3- Areas with high rockfall risk between Hamzabey and Çayırılı (D595 highway)

Göksu Çayı Havzası'nın **orman yangını** tehlike duyarlılık analizine göre toplam havza alanının % 0,01'i çok yüksek, % 15,2'si yüksek duyarlılığa sahiptir. Orta seviyede orman yangını tehlikesi içeren sahalarda havzanın % 68,5'ini oluştururken az derecedeki alanlar % 16,2 ve çok az düzeydeki alanlar % 0,01'lik alan kaplamaktadır (Şekil 4). Orman yangını tehlike duyarlılık analizine göre Göksu Çayı Havzası'nın büyük bölümünde orta seviyede orman yangını duyarlılığı mevcuttur. Verilerin bu şekilde oluşmasında havza sınırları içerisinde nemcil ve yanma potansiyeli daha düşük orman varlığının (özellikle doğu kayını) geniş alan kaplaması rol oynamaktadır. Mekânsal dağılış açısından Göksu Çayı Havzası'nın kuzey kesiminde güneye bakan ve güneş radyasyon potansiyeli daha yüksek, sıcaklık isteği daha fazla olan bitki topluluklarının olduğu sahalarda orman yangını tehlikesinin yüksek düzeylerde olduğu

anlaşılmaktadır. Aynı şekilde havzanın güneyinde ise yanma potansiyeli daha yüksek olan iğne yapraklı toplulukların havzanın güneybatısında Aksu Dere vadisinin her iki yamacında yoğunlaştığı görülmektedir. Kızılçamın yaygın olduğu ve karaçam ile birlikte görüldüğü havzanın kuzeybatısı ise yüksek duyarlılığa sahip diğer alanlardır. Orman yangını tehlike duyarlılığının orta düzeyde olduğu plato sahalarında geniş, karışık ve iğne yapraklı ormanlarla birlikte tarım alanlarının bazı kısımlarında yer alan ağaç formasyonları da yangın tehlikesinin olduğu sahalarda teşkil eder. Havzada orman yangını tehlikesinin az olduğu alanlar İnegöl ve Yenişehir ovaları ile Uludağ zirve kesimindeki çıplak kayalık alanlar ve kuzeydeki plato sahalarındaki açık yüzeylerden oluşur.

Göksu Çayı Havzası'nın **fırtına** tehlike duyarlılık analizi verilerine göre, havzanın % 0,5'inde çok yüksek, % 25,4'ünde yüksek duyarlılığın olduğu tespit edilmiştir. Fırtına tehlikesinin orta seviyede olduğu alanlar toplam havza alanının % 66,9'unu oluştururken az duyarlı alanlar % 7,1 ve çok az duyarlı % 0,05'lik alan kaplamaktadır (Şekil 4). Fırtına tehlike duyarlılık dağılışı incelendiğinde havzanın çerçevesini oluşturan dağlık alanlarında çok yüksek ve yüksek duyarlılığa sahip sahaların olduğu görülmektedir. Tehlikenin en yüksek olduğu alanlar havzanın güneyinde Uludağ ve Domaniç Dağları'nın su bölümü hattını oluşturan kesimdeki çıplak, kayalık alanlardır. Bu kesimlerdeki çok yüksek tehlike düzeyinin oluşmasını, rüzgâr hızının en üst seviyeye çıkması, yüzeyin sade rölyefe sahip oluşu ve bitki örtüsünden yoksun olması gibi nedenler etkilemektedir. Yüksek fırtına tehlikesinin olduğu diğer sahaları, doğudaki Ahı Dağı çevresi ve bu alandaki plato sahası ile havzanın kuzeyinde yüksek alanlar ve plato alanları oluşturmaktadır. İnegöl ve Yenişehir ovalarında ortalama rüzgâr hızı yüksek olmasa da, rüzgâr frekans verilerin dağılımı, rölyefin sade oluşu gibi etmenler bu sahaların orta seviyede fırtına tehlikesi barındırmasına neden olmaktadır. Havzanın kuzeybatısı ve havzanın güneyinde engebeli ve yoğun bitki formasyonun olduğu alanlar fırtına tehlike duyarlılığının daha az olduğu sahaları oluşturur.

Doğal ortam koşullarına antropojenik müdahaleler belli tehlikeleri, riskleri ve sorunları beraberinde getirmektedir. Bunlar, çevresel kirlilik, doğal koşulların degradasyonu, zemin çökmesi, patlama ve ekolojik sorunlardır. Göksu Çayı Havzası'nda **beşeri ya da antropojenik kaynaklı** tehlike duyarlılık analizi incelendiğinde, havzanın % 0,5'inde çok yüksek, % 4,8'inde yüksek düzeyde tehlikenin olduğu anlaşılmaktadır. Havza toplam alanının % 41,7'si antropojenik kaynaklı tehlike açısından orta seviyede duyarlılık ihtiva etmektedir. Az derece tehlikeli alanlar havza toplam alanının % 42,2'sini oluştururken çok az tehlike içeren alanlar ise havzanın % 10,8'ni meydana getirmektedir. Beşeri kaynaklı tehlike duyarlılığın yüksek olduğu alanlar, havzada nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu İnegöl ve Yenişehir ilçe merkezlerindedir (Şekil 4). Bu sahalar, özellikle de İnegöl ilçe merkezinin beşeri faaliyetler açısından yoğun olması aynı zamanda her iki merkezden ana yol güzergâhlarının geçmesi ve sanayi tesislerinin bu alanlarda bulunması, meydana gelen durumun oluşmasındaki en önemli nedenlerdir. Havzada beşeri kökenli tehlikelerin yüksek olduğu diğer alanlar, İnegöl Ovası'nın güney-güneybatısı (İsaören-Cerrah-Yeniceköy hattı), Hamzabey-Akçapınar arasındaki sanayi ve maden sahası, İnegöl-Bozüyük yolu üzerinde Kınık-Kurşunlu civarındaki

sanayi ve atık deşarj alanları, havzanın doğusunda Alpağut çevresindeki taş ocakları sahası ve havzanın batısındaki yerel sahalar olarak tespit edilmiştir. Belirtilen alanlardaki organize sanayi bölgeleri, diğer endüstri tesisleri, kentsel-endüstriyel atık deşarj alanları, açık maden ve taş ocakları ile ulaşım güzergâhlarının varlığı tehlike düzeyinin yüksek olmasında rol oynayan etmenlerdir. Havzada orta seviyede beşeri kaynaklı tehlikelerin olduğu alanlar İnegöl ve Yenişehir ovaları ile diğer alüvyal vadi tabanları ve alçak plato sahalarında yoğunlaşmıştır. Bu alanlardaki tarım sahaları, yollar ve küçük yerleşmeler beşeri kaynaklı riskleri oluşturur. Göksu Çayı Havzası'nda yüksek dağlık alanlar ve orman varlığının yoğun olduğu sahalar da beşeri kaynaklı tehlikeler az ya da çok az seviyededir.

3.2. Göksu Çayı Havzası'nın Çoklu Tehlike Duyarlılık (Multirisk) Analizi

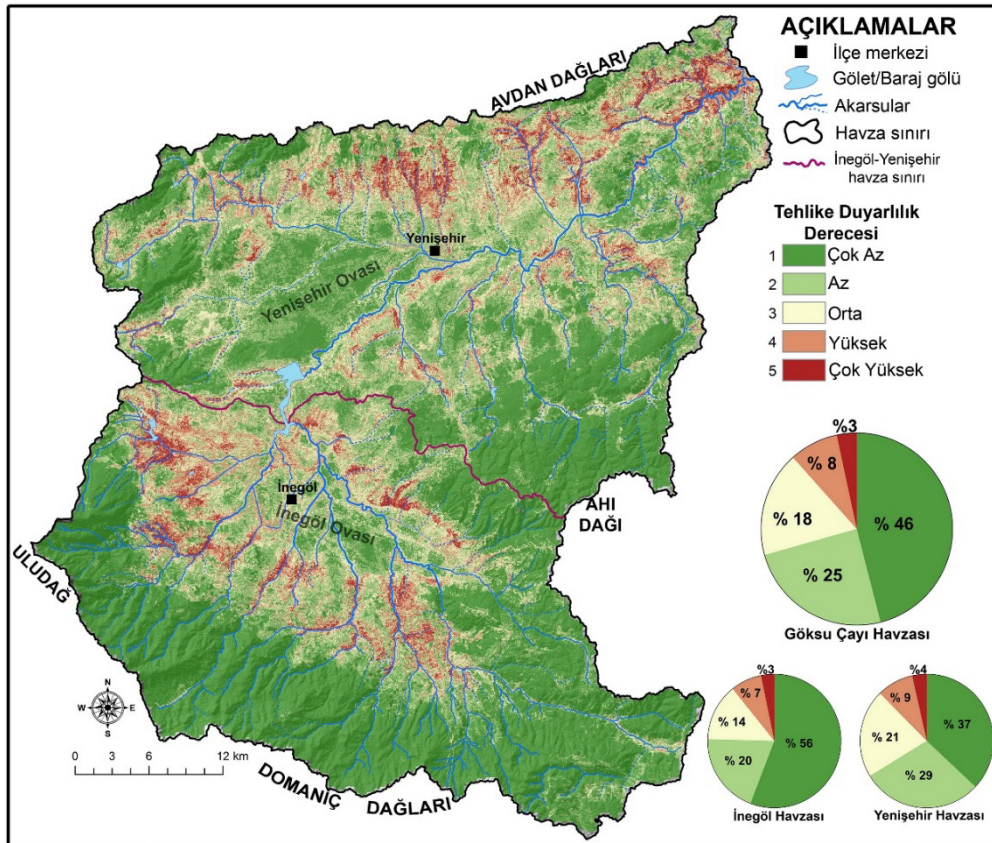
Göksu Çayı Havzası'nın 10 farklı tehlike duyarlılık analiz verileri üzerinden havzada tehlike duyarlılığının en yüksek olduğu alanlarının ortaya konması amacıyla Çoklu Tehlike Duyarlılığı (Multirisk) (Marzocchi vd., 2012) analizi yapılmıştır (Şekil 5). Göksu Çayı Havzası'nın çoklu tehlike duyarlılığı analizine göre havzanın % 46'sı çok az, % 25'i az tehlike duyarlılığına sahip alanlar olarak tespit edilmiştir. Veriler havza toplam alanının bütün tehlike duyarlılık etkenlerin ortak etkisi değerlendirildiğinde % 71'inde tehlike duyarlılığının az olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Havzada orta derecede duyarlı alanlar % 18, yüksek % 8 ve çok yüksek düzeyde tehlike içeren alanlar % 3 oranında alan kaplamaktadır (Şekil 5). Multirisk dağılışı incelendiğinde; İnegöl Ovası'nı güney, güneybatı ve kuzeydoğudan çevreleyen plato sahası ile Yenişehir Ovası'nın kuzeyi, Bahçecik-Koyanlık Dere havzası, Göksu Çayı-Sakarya Nehri birleşim alanı ve kuzeyi oldukça yüksek tehlike duyarlılığına sahip sahaları oluşturur. Uludağ, Domaniç Dağları, Ahı Dağı ve kuzeyindeki plato sahası, Avdan Dağları, havzanın kuzeybatısındaki tepelik alanlar düşük tehlike duyarlılığına sahiptir. En yüksek düzeyde tehlike ihtiva eden sahalar da yüksek irtifa farkı ve eğim değeri, bitki örtüsünün zayıflığı, litolojik birimlerin etkisi ve yoğun beşeri kullanım tehlike düzeyi ve dağılışın oluşmasındaki temel etmenlerdir Özellikle erozyon, heyelen, sel, taşkın, kaya düşmesi ve deprem tehlikesinin bu alanda etkileri geçmişte büyük boyutlarda olmuş gelecekte de olma ihtimali yüksektir. Bu nedenle bu alanlarda mutlak suretle önlem alınması gerekmektedir.

Göksu Çayı Havzası'nı, İnegöl ve Yenişehir havzaları olarak iki ayrı bölümde incelediğimizde; Yenişehir Havzası'nda yüksek düzeyde tehlikeli olan sahaların daha geniş yer kapladığı tespit edilmiştir.

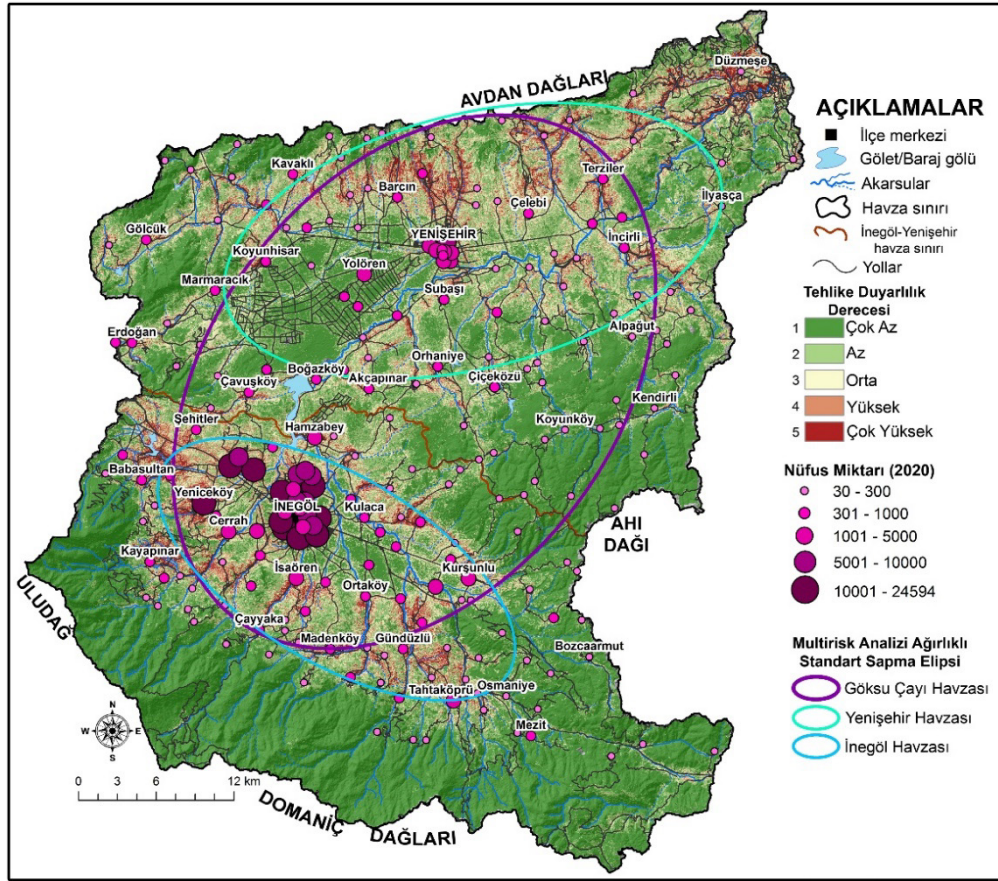
İnegöl Havzası'nda çok yüksek ve yüksek tehlikeli alanlar % 10'luk saha kaplarken, Yenişehir Havzası'nda % 13'lük alan kaplamaktadır. İnegöl Havzası'nın % 76'sı çok az ve az tehlike duyarlılığı içermekte iken Yenişehir Havzası'nın % 66'sında bu düzey alanlar bulunmaktadır. Bu durumun oluşmasında İnegöl Havzası'nın güneyinin bir kuşak halinde orman formasyonu ile kaplı olması etkili olmuştur. Ancak tehlike duyarlılığının oluşum mekanizması ve topografik açıdan etki düzeyi değerlendirildiğinde belli alanlarda farklı tehlike düzeylerinin yoğunluğu dikkat çeker. Deprem tehlikesi İnegöl Ovası güneybatısında, erozyon tehlikesinin İnegöl Ovası'nın güneyi, Yenişehir Ovası'nın kuzeyindeki plato sahasında, heyelan tehlikesinin Domaniç Dağları-İnegöl Ovası arasındaki plato alanında, sel-taşkın tehlikesinin İnegöl Ovası'ndaki tek kanaldan drenaj gösteren akarsu yataklarında ve Göksu Çayı vadisinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu bakımdan multirisk analizi

değerlendirildiğinde İnegöl Havzası bölümünde Karadere alt havzası, güneyden drene olan akarsuların oluşturduğu boğaz vadiler, Kalburt Dere ve Koca Dere yatağı ve İnegöl formasyonunun görüldüğü alanlarda tehlike düzeyi oldukça yüksektir. Yenişehir Havzası'nın Avdan Dağları-Yıldırım Platosu arası, Göksu Çayı vadisi, Bahçecik-Koyanlı Dere vadisi ve kuzeydoğudaki engebeli alanlar yüksek düzeyde tehlike ihtiva etmektedir.

Havza yönetimi açısından muhtemel tehlike alanlarının nüfus ve ulaşım ağı ile ilişkisi tehlike boyutunun ortaya çıkarılabileceği sonuçları ve alınması gereken önlemleri düzeyini etkileyebilmektedir. Bu bakımdan havzadaki çoklu tehlike duyarlılık dağılışı, nüfus miktarı ve karayolu ulaşım ağı ile ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir (Şekil 6). Bu değerlendirmede duyarlılık dağılışın vektörel formattaki verileri üzerinden ağırlıklı standart sapma eğrileri de oluşturulmuştur.



Şekil 5- Göksu Çayı Havzası'nın çoklu tehlike duyarlılık (multirisk) haritası
Figure 5- Integrated hazard susceptibility (multirisk) map of Göksu River Basin



Şekil 6- Göksu Çayı Havzası'nda multirisik alanları ile nüfus dağılışı ve yol ağı ilişkisi

Figure 6- Relationship between multirisik areas and population distribution and road network in Basin

Göksu Çayı Havzası genelinde çoklu tehlike duyarlılık verisi standart sapma elipsinin İnegöl ve Yenişehir ovaları içine alacak şekilde KD-GB yöneliminde olduğu ve havza toplam nüfusunun % 85'ini kapsadığı tespit edilmiştir. Ağırlıklı standart sapma elipsi ile ortaya konan tehlike-nüfus ilişkisi İnegöl ve Yenişehir ovaları kapsamında incelediğinde; tehlike duyarlılık yöneliminin ovaların morfolojik uzanım yapısına paralel olduğunu göstermektedir. Tehlike duyarlılık dağılışının doğal ortam koşulları temelinde olması ve Göksu Çayı Havzası geneli ile alt havzalar olan İnegöl ve Yenişehir havzalarında nüfusun dağılışım yine aynı koşullarla dağılış açısından şekillenmesi, nüfus-tehlike dağılışı ilişkisinin paralellik göstermesine neden olmuştur. Analizlerden, Göksu Çayı Havzası'nın nüfus, yerleşme, ulaşım ağı ve arazi kullanımı açısından yoğunlaştığı İnegöl ve Yenişehir ovaları ile çevrelerinin birçok tehlike duyarlılığı barındırdığı anlaşılmaktadır (Şekil 6). Bu nedenle havza yönetimi açısından bu alanlardaki meskenlerin depreme dayanıklı hale getirilmesi, akarsu-dereler üzerindeki sel-taşkın bentlerin çoğaltılması, taşkın koruma kanunu kapsamında akarsuya mesafenin yeniden gözden geçirilmesi, erozyon duyarlılığın yüksek olduğu yerlerde tarım yöntemlerinin kontrol edilmesi,

heyelan sahalarındaki kırsal yerleşmelerin mutlak suretle taşınması ya da önlemlerin alınması gerekmektedir.

3.3. Göksu Çayı Havzası'nın Tehlike Duyarlılık Analizleri Kapsamında Havza Yönetimi ve Alınması Gereken Önlemler

Göksu Çayı Havzası'nın tehlike duyarlılık analizleri, multirisik dağılışı verileri ile havzadaki mevcut kullanım unsurları üzerinden havza yönetimi kapsamında yapılması gerekenler analiz edilmiştir. Bu kapsamda Göksu Çayı Havzası'nın tehlike duyarlılık analizleri kapsamındaki havza yönetimi unsurları ile alınması gereken önlemler öneriler kapsamında dağılış açısından haritalandırılmıştır (Şekil 7).

Havzada erozyonel faaliyetleri önlemek, boş arazileri değerlendirmek ve doğal koşulların gelişimine, ekosisteme katkı sağlamak amacıyla bazı alanların ağaçlandırılması önerilmektedir. Bu sahalar, Çamönü kuzeyinden, Alaylı, Afşar kuzeyindeki alandan, Yenişehir OSB güneyi, İlyasça kuzeyi, Günece-Toprakdere arasındaki sahadan, Alpağut-Gökçesu arasındaki sahadan, Soğuksu kuzeydoğusundan, Çayırılı-Akçapınar-Osmaniye hattındaki alandan ve Karalar batısındaki maden

sahası çevresinden oluşmaktadır (Şekil 7). Yapılacak ağaçlandırma çalışmasının büyük kısmı Yenişehir Havzası bölümündeki erozyon tehlikesi yüksek olan alanlarında bulunmakta olup ayrıca havza genelinde çevresel risk içeren alanların yakınındaki boş arazilerinde ağaçlandırılması önerilmektedir.

Havzada deprem tehlikesinin en yüksek olduğu ve salınım düzeyinin deprem etkisini arttırabileceği alüvyal zeminde kurulmuş Yenişehir ve özellikle İnegöl ilçe merkezinde mutlak suretle yönetmeliklere uygun ve depreme dayanıklı binalar inşa edilmeli, mevcut yapılar güçlendirilmelidir. Ayrıca yeni yerleşim ve sanayi alanlarının deprem tehlikesi daha az olan havza ortası eşik sahasına yapılması planlanmalıdır. Bu bakımdan yeni kurulan İnegöl Mobilya ve Ağaç İşleri İhtisas OSB sahası deprem riski açısından uygun alanda planlanmıştır.

Havzanın mevcut kullanımlarında sanayi tesisleri, OSB ve maden-taş ocağı sahalarından kaynaklı tehlike alanları bulunmaktadır. Belirtilen alanlardan endüstriyel kullanım sahaları tamamen antropojenik kaynaklı tehlikeleri oluşturur. Maden-taş ocağı sahaları doğal ortam koşullarına yapılan müdahale ile çevresel riskleri ve yakın sahasında antropojenik kaynaklı riskleri birlikte ihtiva eder. Bu alanlar havzanın sosyo-ekonomik yapısına katkı sağlarken, doğal ortam koşulları, ekosistem ve sürdürülebilirlik işleyişi ile tarımsal kullanımlara olumsuz etkiler yapmaktadır. Belirtilen sahaların havza planlamasında belli düzenlemeler yapılması önerilmektedir. İnegöl ve Yenişehir ilçe sınırları içerisinde yer alan OSB ve sanayi alanlarının mutlak suretle çevresi ağaçlandırılmalı, inorganik madde geçişi engellenmelidir. Ayrıca belirtilen alanların mevcut endüstriyel atık arıtma tesisi (AAT) sayısının az olması ve performansının yetersizliği nedeniyle havzanın belli alanları için AAT kurulması önerilmiştir. Bu bakımdan İnegöl ilçesi sanayi ve OSB alanlarının akarsu deşarj sahalarına 5 farklı lokasyonda atık arıtma tesisi kurulumu önerilmektedir (Şekil 7). Yapılacak bu düzenleme, kirlenmiş su özelliğindeki Göksu Çayı ve alt kollarının kirlilik yükünü azaltacaktır. İnegöl OSB’de kurulan 2016’da kurulan çamur kurutma tesisi akarsulardaki kirlilik yükünü azaltmaya büyük katkı sağlamakta, belirtilen performansın arttırılması önerilmektedir. Yenişehir OSB’nin güney bölümünün ağaçlandırılması, taşkın koruma kanunu kapsamında Göksu Çayı vadisine geçişin kot farkı ile düzenlemesi önerilmektedir.

İnegöl ilçe merkezi’nin kuzeybatısında maden sahası, havzanın doğu bölümünde Bilecik il sınırları içerisine giren alanda çok sayıda mermer-taş ocakları bulunmaktadır. Gumbüztek Dere, İncirli Dere ve Musluk Dere alt havzalarında yoğunlaşan bu alanlar doğal ortam koşullarının yanı sıra tarımsal faaliyetler

açısından da tehlikeler barındırır. Subaşı güneyi, Akçapınar çevresi, Süleymaniye, Düzmeşe ve Kendirli batısında da mermer-taş ocakları bulunmakta ve aynı tehlikeleri barındırmaktadır. Belirtilen sahaların planlamasında mutlak suretle doğal ortam koşullarının en az zarar görmesi, bitki formasyonun tahrip edilmemesi, toz ve partiküler madde taşınımı açısından rüzgar frekansının dikkate alınması, hidrografik akış yönünün değiştirilmemesi, atıkların, akarsuya karışmaması yasal tedbirler alınarak sağlanmalıdır. Ayrıca taş ocaklarının kullanım ömrü, alansal yayılışı, aşındırılan malzeme miktarı modellenmeli, geleceğe dönük rehabilite projeleri mutlaka planlanmalıdır.

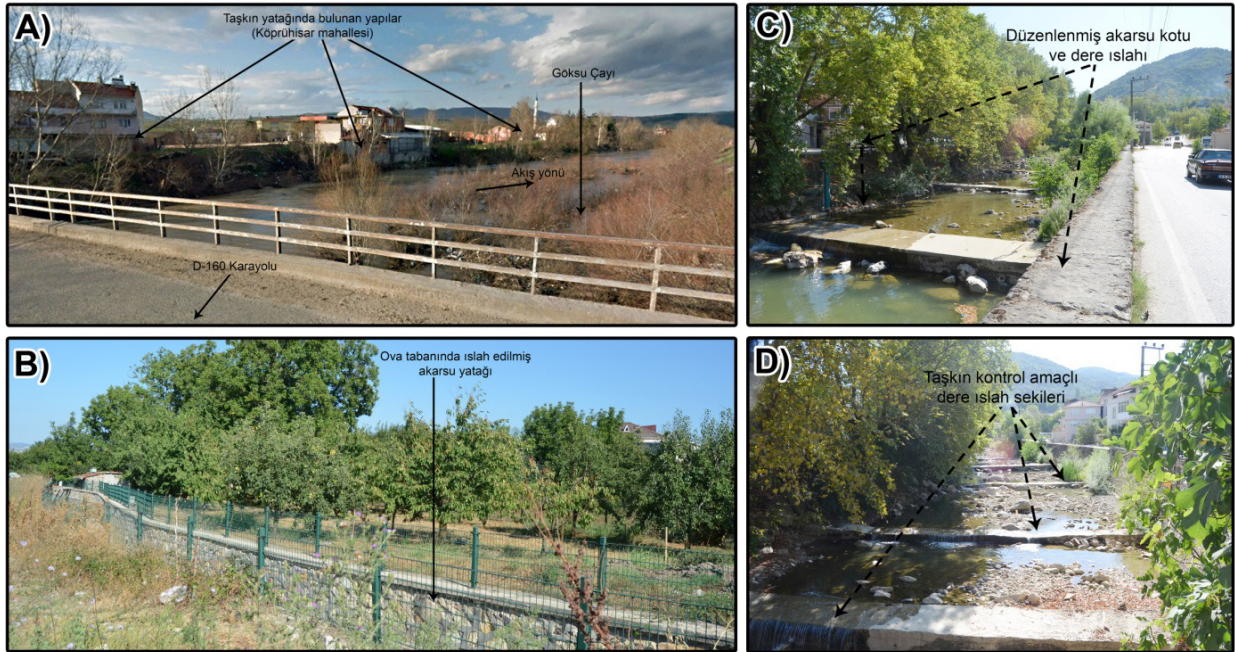
Göksu Çayı Havzası’nın beşeri faaliyet kullanımlarının deşarj ve depolama alanları İnegöl ve Yenişehir ilçe merkezleri çevresinde toplanmıştır. İnegöl, Yenişehir ilçe merkezleri ile birlikte Yeniceköy, Cerrah, Kurşunlu, Tahtaköprü ve Kınık yakınlarında düzenli-düzensiz katı atık depolama alanları, kentsel atık arıtma tesisi deşarj sahası, kentsel doğrudan deşarj alanı ve kentsel-endüstriyel atık arıtma tesisleri bulunmaktadır. Ancak belirtilen tesisler, özellikle İnegöl’de sanayileşmenin ve nüfusunun artmasına bağlı olarak yetersiz durumda kalmıştır. Kentsel deşarj yükünün artması, Karadere, Kalburt Dere ve Akçasu Dere ile Boğazköy Barajı ve doğrudan Göksu Çayı’nda kirlilik yükünü arttırmıştır. Bu nedenle havzanın deşarj açısından risk oluşturan sıcak noktalarına kentsel ve endüstriyel atık arıtma tesisi (AAT) yapılması gerektiği düşünülmektedir. Kalburt Dere-Bıçkı Dere birleşimi ile kurutma kanalı, Dede Dere ve Göksu Çayı birleşimine kentsel AAT yapılması önerilmektedir. Boğazköy Barajı ve Göksu Çayı kirlilik yükünü azaltmak için 5 farklı lokasyona endüstriyel atık arıtma tesisi önerisi planlanmıştır (Şekil 7). Yeniceköy OSB kirliliğini kontrol etmek için Köy Dere ve Karadere yakınlarına, Kalburt Dere D-200 kesimine ve Bedresu Dere ile Boğazköy batısı Göksu Çayı’na endüstriyel AAT yapılması önerilmektedir. Böylece sanayi kaynaklı atıkların hidrografik akışa yapacağı deşarj miktarı azalacak ve arıtılarak akarsu ağının kirlilik yükü en aza indirilecektir. Dolayısıyla sulu tarımda kullanılan Boğazköy Barajı ile Göksu Çayı’nın inorganik madde miktarı azalacağından dolayı tuzlanma riski ortadan kalkacak ve sürdürülebilir verimli tarım üretimi ortaya çıkacaktır.

Göksu Çayı Havzası, farklı etkenler nedeniyle birçok kez sel-taşkın hadiselerine maruz kalmış yüksek duyarlılığın olduğu akarsu varlığını barındırmaktadır. Bu nedenle havzanın farklı akarsuları üzerinde toplam 37 taşkın kontrol ve önleme tesisleri bulunmaktadır. Ancak havzadaki akarsu yatak eğimleri, yağış dağılışı-rejimi, hidrojeolojik yapı, değişen iklim şartları ve

artan antropojenik faaliyetler bazı taşkın kontrol tesislerinin yenilenmesinin ve yeni kontrol-önleme sistemlerinin yapılmasını gerekli kılmaktadır (Fotoğraf 4). Bu bakımdan Göksu Çayı Havzası'nın yüksek derecede sel, taşkın tehlikesi ihtiva eden birçok akarsuyu üzerine 25 farklı noktaya sel-taşkın kontrol ve önleme sistemlerinin yapılması önerilmektedir. Bunun dışında mevsimlik daha az debiye sahip akarsularda doğal kuru duvar eşikleri ıslahının yapılması da önerilmektedir. Havzanın güney kesiminde daha yüksek debili olarak ovaya deşarj olan Cerrah Dere, Bıçkı Dere, Bedresu Dere, Akçasu Dere, Çandır Dere ve Aksu Dere vadilerinin ıslah çalışmalarında miks eşikler ve harçlı duvar eşikler uygulamalarının yapılması daha uygun olacaktır. Koca Dere, Karadere, Bahçecik Dere, Kovanlık Dere, İncirli Dere, Gümbüztek Dere, Aydoğdu Dere ve Kapaklı Dere'de ise britler, ıslah sekileri ve taban kuşakları uygulamasının yapılması planlanmıştır. İnegöl ve Yenişehir ovalarına deşarj olan yüksek debili akarsularının su gücünü kırmak için belirtilen alanlara ayrıca sel kapanlarının yapılması diğer bir planlama önerisidir.

Göksu Çayı Havzası'nın hidrografik ana yapısını oluşturan akarsuların sel, taşkın tehlikesi

dışında antropojenik müdahale ve mühendislik yapıları ile deformasyona uğramaları gelecek açısından sorunlar teşkil eder. Bu bakımdan Göksu Çayı, Bahçecik Dere, Karadere, Köy Dere, Koca Dere, Akçasu Dere, Bıçkı Dere ve Bedresu Dere üzerine inşa edilmiş köprü-menfezlerin düzenlenmesi gerekmektedir (Fotoğraf 4 ve 5). Boğazköy, Subaşı ve Akdere mevkiilerinde bulunan köprülerinin, Göksu Çayı'nın Q100 ve Q500 debilerine göre yükseltilmeli ve ayakları güçlendirilmelidir. Bahçecik Dere-Selimiye ve Karacaali mahalleleri, Koca Dere-Şipali kuzeyi mevkii, Köy Dere Yeniceköy mahallesi ve Bıçkı Dere Hocaköy mahallesindeki köprüleride yükseltilmeli ve güçlendirilmelidir (Şekil 7). D-200 karayolunun geçtiği, Karadere, Bedresu Dere ve Akçasu Dere üzerindeki köprülerin genişliği ve açıklığı sel, taşkın riski, mukavemetleri ise deprem riski açısından uygundur. Ancak kentsel ve endüstriyel katı atıklar nedeniyle köprü ve köprüye bağlanan menfezlerin tıkanma potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle belirtilen köprülerde tel örgülü çit önlemi alınması uygun olacaktır. Karadere üzerinde Şehitler ve Akhisar mahallerinde bulunan köprülerinde sel-taşkın önlemleri kapsamında mühendislik açısından revize edilmesi gerekmektedir.



Fotoğraf 4- A) Göksu Çayı taşkın yatağında yer alan yapılar (Köprühisar), B) İnegöl Ovası'nda taşkın önleme amaçlı dere ıslahı, C) ve D) Cerrah Dere yatağında taşkın kontrol amaçlı önlemler

Photo 4- A) structures located in the Göksu River floodplain (Köprühisar), B) stream improvement for flood prevention in Inegöl Plain C) and D) prevention for flood control in Cerrah Creek

Havzada, 4373 sayılı Taşkın Sulara ve Su Baskınlarına Karşı Koruma Kanunu kapsamında sadece Göksu Çayı 150 metrelik koruma sınırına sahiptir. Ancak havzanın sel-taşkın tehlike duyarlılığı,

Göksu Çayı ve bazı akarsularda düzenlemelerin yapılmasını ortaya koymuştur. Göksu Çayı taşkın koruma sınırının 150 m'den 200 m'ye çıkarılması tavsiye edilmektedir. Aynı zamanda Göksu Çayı

kıyısında bulunan Söylemiş-Ayaz, Çamönü-Köprühisar-Hayriye arasındaki yerleşim, tarım alanlarının da ıslah edilmesi önerilmektedir (Fotoğraf 4 ve 5). Göksu Çayı dışında, Koca Dere ve Karadere

aşağı çığırının 150 m, Kalburt Dere, Köy Dere ve Bıçkı Dere'nin 100 m, Bedresu Dere ve Akçasu Dere ova sahasındaki kanalının 50 metrelik taşkın sınırı ile korunması önerilmektedir (Şekil 7).



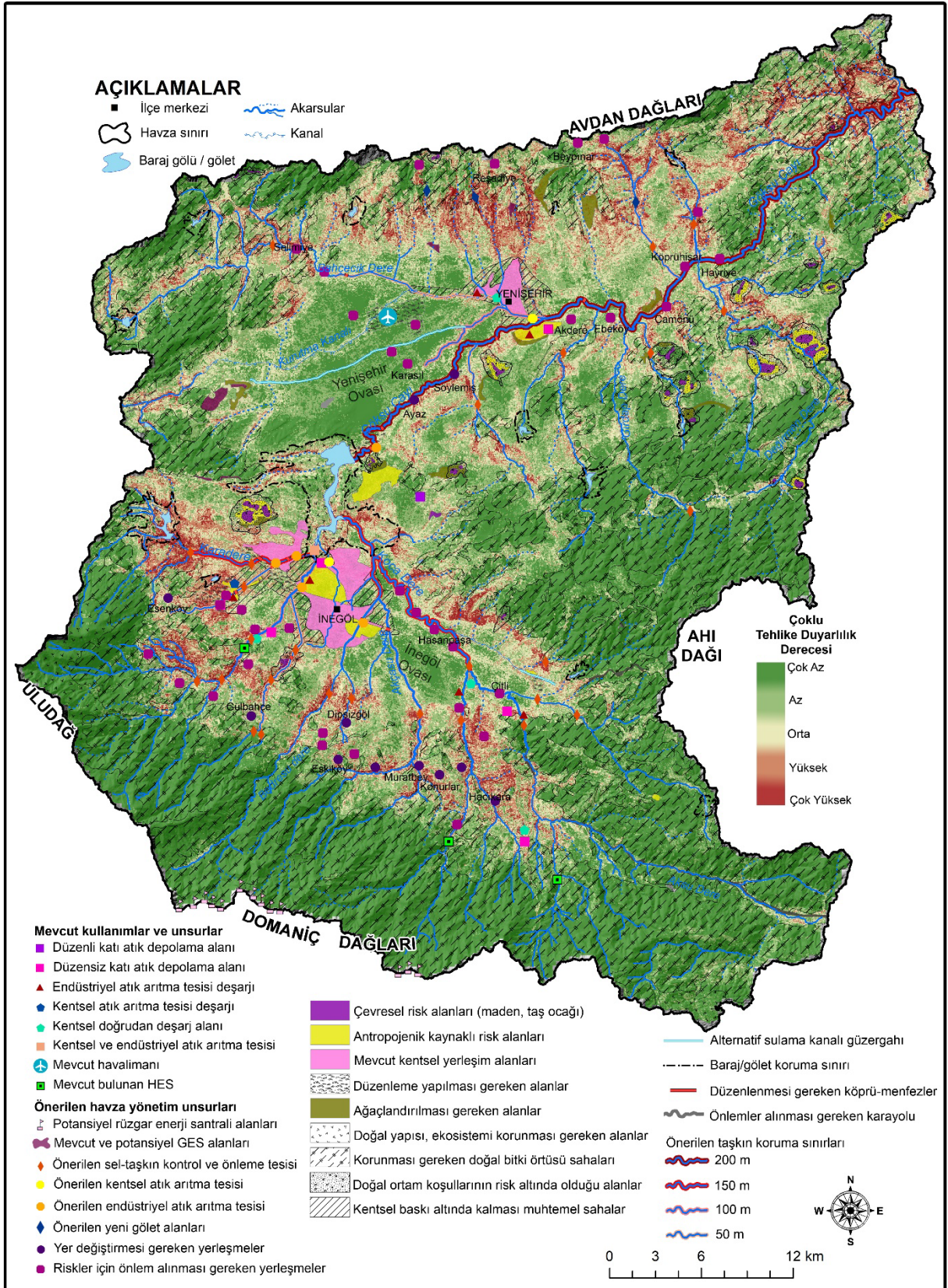
Fotoğraf 5- Göksu Çayı üzerinde (Söylemiş) sel-taşkın tehlikesine karşı köprülerin yenilenmesi ve dere ıslah çalışmaları (Yenişehir belediye arşivi)

Photo 5- Renovation of bridges and stream improvement works against flood risk on Göksu River

Yenişehir Ovası batı kesiminde kurutulmuş eski Marmaracık Gölü sahasının deşarjını sağlamak, aynı zamanda sel-taşkın tedbirlerini almak amacıyla Yenişehir Ovası'na kurutma kanalı yapılmıştır. Batı, kuzey ve güneyden gelen drenajı Göksu Çayı'na bağlayan bu kanalın güneyinde özellikle Yolören ve Karasıl yerleşmeleri ile çevresindeki taşkın tehlikesini azaltmak ve sulamayı desteklemek amacıyla alternatif kanal güzergahı önerilmiştir. Alternatif kanal Yenişehir Ovası güneyinden gelen drenajı olarak Büyükazmak Dere'ye bağlayacak ve sulama dışında sel, taşkın önlemlerine de katkı sağlayacaktır. Hasanpaşa-Kurşunlu arasında sel, taşkın tehlikesini önlemek amacıyla mevcut kanalın uzatılması, kuzeyden gelen ani akışlı akarsuların oluşturacağı riskin önlenmesi planlanmıştır.

Havzada kırsal yerleşmelerden bazıları yüksek derecede sel, taşkın ve heyelan tehlikesi altındadır. Bu nedenle havzadaki bazı yerleşmelerde belirtilen tehlikelere karşı önlemlerin alınması, bazı yerleşmelerin ise yer değiştirmesi gerekmektedir. Havzanın güney kesiminde yüksek eğim, rölyef ve litolojik açıdan örtü birimlerinin görüldüğü İnegöl formasyonu sahasında aktif heyelan alanlarında yer alan Hacıkara, Gündüzlü, Konurlar, Muratbey, Madenköy, Eskiköy, Dipsizgöl, Gülbahçe ve Esenköy

kırsal yerleşmelerinin geleceğe dönük tedbir amaçlı yer değiştirmesi gerekmektedir (Şekil 7). Bu yerleşmelerin 2020 yılı toplam nüfusu 3271 kişidir. İlk olarak nüfusu en az olan Eskiköy, Gülbahçe, Hacıkara ve Esenköy yerleşmelerinin havza ortası eşik sahasına taşınması afet riskini azaltacaktır. Havzanın sel, taşkın tehlikesi yüksek olan ve Göksu Çayı taşkın yatağında bulunan Ayaz ve Söylemiş yerleşmelerinin doğuya doğru yer değiştirmesi önerilmektedir. Bu iki yerleşmenin 2020 yılı nüfusu 716 kişidir. Havzada heyelan tehlikesi yüksek olan ancak yer değiştirmesi gerekmeyen ve önlemler alınması gereken kırsal yerleşmelerin büyük bir bölümü Yeniceköy-Hilmiye arasındaki sahada yer alan 14 farklı kırsal yerleşmeden oluşmaktadır. Bu yerleşmelerde heyelan tedbirleri kapsamında dik yamaçların olduğu sahalardaki topuk kesimlerine müdahale yapılmamalı, bina kat sayısı ikiyi geçmemeli ve akış doğrultusu değiştirilmemelidir. Sel, taşkın tehlikesi yüksek olan ve daha çok taşkın yatağında bulunan Göksu Çayı vadisinde Hayriye-Akdere arasındaki yerleşmeler, Yolören, Karasıl, Çeltikçi, Selimiye, Boğazköy, Koca Dere yatağı yakınlarında Şipali-Çitli arasındaki yerleşmelerde mutlak düzenleme yapılmalı ve tedbirler alınmalıdır.



Şekil 7- Göksu Çayı Havzası'nın tehlike duyarlılık analizleri kapsamında havza yönetimi-planlama önerileri haritası
Figure 7- Map of watershed management-planning proposals within the scope of hazard susceptibility analyzes of Göksu River Basin

Göksu Çayı Havzası'nın güney kesimi jeolojik yapısı, yüksek eğim ve rölyef özellikleri nedeniyle heyelan ve kaya düşmesi tehlikesinin yoğun olduğu sahaları oluşturur. Bu alanlardaki karayolu ulaşımı kaynaklı antropojenik müdahalelerin de belirtilen tehlike türlerini tetikleyici etmen olması bazı ulaşım hatlarında düzenlemelerin yapılmasını gerekli kılmaktadır. Özellikle D-200 karayolunun Kınık-Mezit arasındaki bölümü, D-595 karayolunun Tahtaköprü'den sonraki güneye yönelik bölümü, Kurşunlu-Nazıfpaşa yolu ile İnegöl ilçe merkezinden güneye giden tali yollarda risk boyutu oldukça yüksektir. D-200 karayolunun Kınık-Mezit arasındaki bölümünde tünel ve yol genişletme çalışmalarında heyelanların meydana gelmesi ve maddi zararların gelecek ile ilgili kaygıları arttırmaktadır. Bu nedenle D-200 karayolunun bu bölümünde mühendislik çalışmalarında jeolojik, jeomorfolojik koşulların modellenmesi ile oluşturulması ve mutlak suretle heyelan tehlikesine karşı tedbirlerin alınması gerekmektedir (Şekil 7). Yol şevlerinde ve yol yarması duvarlarda demir direk sistemi, kafesli demir ağ ve yer altı su akış boruları belirtilen alanda mutlaka yapılması gereken çalışmalardır.

Göksu Çayı Havzası'nın büyük bir bölümü korunması gereken doğal bitki örtüsü sahası, doğal yapısı ve ekosistemi korunması gereken alanlar olarak havza yönetimi açısından planlaması önerilmektedir. Uludağ, Domaniç Dağları'nda kuşak halinde, Ahı Dağı, Avdan Dağları, Göksu Çayı vadisi (kuzeydoğu kesim), havza batısı ve kuzeyinde parçalar halinde mevcut bulunan, farklı formasyonları barındıran doğal bitki örtüsü varlığı mutlak suretle korunmalıdır.

Havza doğal ortam koşulları belli açılardan tehlikeleri ve riskleri ihtiva ederken aynı zamanda farklı alanlarda kullanılabilir potansiyel fırsatları da ortaya koymaktadır. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ortaya koyarak hem havzada bu alanların farklı açılardan değerlendirilmesini hem de sürdürülebilir havza yönetimini katkı sağlaması açısından oldukça önemlidir. Bu bakımdan havzada mevcut olan hidroelektrik santrali (HES), güneş enerji santrali (GES) sayısı, kullanımının artırılması, potansiyeli yüksek alanlara rüzgar enerji santrallerinin (RES) kurulması önerilmektedir.

4. SONUÇ

Göksu Çayı Havzası, doğal ve beşeri ortam koşullarının etkileşimi ile birçok potansiyel tehlikeyi ihtiva eder. Havzanın kendi içerisindeki çeşitlilikleri; tehlike duyarlılık durumu, tehlikenin kökeni, yapısı, frekansı, etkisi ve dağılışı açısından da önemli farklılıklara sebep olmaktadır. AHS ile yapılan analizler sonucu havzada, yüksek düzeyde deprem tehlikesi % 15,4'lük alanı, yüksek erozyon tehlikesi % 20'lik alanı, yüksek heyelan tehlikesi % 27,2'lik alanı, yüksek sel tehlikesi % 27,5'lik alanı, yüksek taşkın tehlikesi % 13,3'lük alanı, yüksek kuraklık tehlikesi % 50,7'lik alanı, yüksek kaya düşme tehlikesi % 5,8'lik alanı, orman yangını tehlikesi % 15,2'lik alanı, fırtına tehlikesi % 15,9'luk alanı ve yüksek derecede beşeri kaynaklı tehlikeler % 5,3'lük alanı kapladığı anlaşılmaktadır. Elde edilen veriler havzanın çeşitli oluşum kökenlerine göre belli tehlike duyarlılıklarını ihtiva ettiği ve bunlara karşı havza yönetimi açısından önlemler alınması gerektiğini ortaya çıkmaktadır. Havzanın çoklu tehlike duyarlılık (multirisk) verisine göre % 11'inde çok yüksek-yüksek tehlikelerin olduğu tespit edilmiştir. Havzanın multirisk açısından en riskli alanlarını İnegöl Ovası'nın güney, güneybatı ve kuzeydoğudan çevreleyen plato sahası ile Yenişehir Ovası'nın kuzeyi, Bahçecik-Koyanlı Dere havzası, Göksu Çayı-Sakarya Nehri birleşim alanı ve kuzeyi oluşturur. Yüksek tehlike duyarlılığına sahip alanlardaki irtifa farkı ve eğim değeri, bitki örtüsünün zayıflığı, litolojik birimlerin etkisi, maden-taş ocakları ve yoğun beşeri kullanım muhtemel risklerin oluşmasının temel faktörleridir. Özellikle erozyon, heyelan, sel-taşkın, kaya düşmesi, deprem ve beşeri kaynaklı tehlike duyarlılığın bu alanlardaki etkileri geçmişte büyük boyutlarda olmuş gelecekte de olma ihtimali yüksektir. Bu nedenle belirtilen sahalarda havza yönetimi ve planlaması açısından mutlak suretle önlemlerin alınması gerekmektedir. Özellikle antropojenik müdahale boyutu azaltılmalı, havzanın doğal dinamik işleyiş yapısı, ekosistemsel elemanları mutlak suretle korunmalıdır. Özellikle artan sanayi ve genişleyen yerleşim alanlarının drenaj ağı ile ilişkisi incelenmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Çıkar Çatışması / Conflict of Interest	Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. The authors declared no conflict of interest
Finansal Destek / funding conditions	Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmiştir. The authors declared that this study has received no financial support
Yazar Katkıları/Author Contributions	Yazarlar/Authors
Çalışmanın içeriği ve tasarımı/Conception/Design of Study	M. Uzun – N. Garipağaoğlu
Metodoloji/Methodology	M. Uzun – N. Garipağaoğlu
Veri toplama-oluşturma-iyileştirme/Data Curation	M. Uzun – N. Garipağaoğlu
Analiz/Analysis and interpretation of data	M. Uzun
Görselleştirme/ Visualization	M. Uzun
Yazı taslağı/Writing - Original Draft	M. Uzun – N. Garipağaoğlu
Yazma - İnceleme ve Düzenleme/Writing - Review & Editing	M. Uzun – N. Garipağaoğlu
Proje yönetimi/Project administration	M. Uzun – N. Garipağaoğlu

REFERANSLAR

- Arefin, R., Mohir, M., & Alam, J. (2020). Watershed prioritization for soil and water conservation aspect using GIS and remote sensing: PCA-based approach at northern elevated tract Bangladesh, *Applied Water Science*, 10(91): 1-19.
- Barrow, C. J. (1998). River Basin Development Planning and Management: A Critical Review, *World Development*, 26(1): 171-186.
- Blanco H., & Lal R., (2008). Principles of Soil Conservation and Management, Springer, USA.
- Byun, D. H., (2001). The AHS Approach For Selecting an Automobile Purchase Model, *Information & Management*, 38: 289-297.
- 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 İn Miyun Watershed, *North China, Environmental Earth Science*, 63: 533-541.
- Cobourn, J. (1999), Integrated Watershed Management on the Truckee River in Nevada, *Journal of the American Water Resources Association*, 35 (3): 623-632.
- Daeghouth, S. Ward, C. Gambarelli, G. Styger, E. Roux, J. (2008). Havza Yönetim Yaklaşımları, Politikaları ve Faaliyetleri: Ölçek Büyütmeye Yönelik Dersler, *Su Sektörü Kurulu Kararı Belge Serisi Belge No.11*, Dünya Bankası, Washington, DC.
- DeBarry, A. P. (2004). Watersheds: Proseses, Assessment, and Management, *John Wiley & Sons. Inc.*, New Jersey
- Demirağ Turan, İ., Özkan, B. & Dengiz, O. (2020). Bulanık mantık analitik hiyerarşik süreç (BAHS) ile Sinop İli erozyon duyarlılığının mekansal dağılımının belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (75), 57-70.
- Elaalem, M., Comber, A. & Fisher, P. (2011). A comparison of fuzzy AHP and ideal. *Transactions in GIS*, 15(3), 329-346.
- Erol, O. (2011). Genel Klimatoloji, *Çantay Kitabevi* (9. Baskı) İstanbul
- Erkal, T. & Taş, B. (2013). Jeomorfoloji ve İnsan, Uygulamalı Jeomorfoloji, *Yeditepe Yayınevi*, 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.
- Fidan, S. & Görüm, T. (2020). Türkiye’de ölümcül heyelanların dağılım karakteristikleri ve ulusal ölçekte öncelikli alanların belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (74), 123-134.
- Garipağaoğlu, N. (2012). Havza Planlamalarında Coğrafyanın Rolü ve Türkiye’de Havza Planlamacılığı, *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 16(2): 303-337
- Garipağaoğlu N., & Uzun, M. (2019). İznik Gölü Havzası’nda Doğal Ortam Koşulları, Değişimler ve Muhtemel Risklerin Havza Yönetimi ve Planlamasına Etkisi, *Doğu Coğrafya Dergisi* 24(42): 1-15.
- Görüm, T., & Fidan, S., (2021). Spatiotemporal variations of fatal landslides in Turkey, *Landslides, Springer-Verlag GmbH Germany part of Springer Nature* 7: 1-15,
- Grigg, N.S. (1999). Integrated Water Resources Management: Who should Lead, Who should Pay? *Journal of the American Water Resources Association*, 35(3): 527-534.
- Guzzetti, F. (2000). Landslide fatalities and evaluation of landslide risk in Italy. *Engineering Geology*, 58, 89-107.

- Haque, U., Blum, P., & Da Silva, P.F. (2016). Fatal landslides in Europe. *Landslides*, 13, 1545–1554.
- Heathcote, I. W. (2009). Integrated Watershed Management, Principles And Practice, ISBN: 978-0-470-37625-6 Second Edition. *John Wiley & Sons, Inc.*, USA.
- Huang, I. B., Keisler, J. Linkov, I., (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*. 409(19), 3578–3594.
- Hooper, B. P. (2003). Integrated Water Resources Management and River Basin Governance, *Universities Council On Water Resources Water Resources Update*, 126: 12-20.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). Multi-Criteria Decision Analysis Methods and Software, *Wiley & Sons, Ltd., Atrium, Southern Gate*, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom.
- Kappes, M. S., Keiler, M., Von Elverfeldt, K., & Glade, T. (2012) Challenges of analyzing multi-hazard risk: A review. *In Natural Hazards*, 64 (2):1925-1958. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0294-2>.
- 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.
- Karataş, A. (2017). Karasu Çayı Havzasının Hidrografik Planlaması, *Çantay Kitabevi*, İstanbul.
- Koontz, T. M., & Newig, J. (2014). From planning to implementation: Top-down and bottom-up approaches for collaborative watershed management, *Policy Studies Journal*, 42(3): 416-442
- Mark, D. M. (1975). Geomorphometric parameters: a review and evaluation, *Geographical Annals*, 57(1): 165-177.
- Marzocchi, W., Mastellone, M.L., Ruocco, A.D, Novelli, P., Romeo, E. & Gasparini, P. (2009). Principles of multi risk assessment. Interaction amongst natural and man-induced risks. European Commission Directorate General for Research. Brussels.
- Marzocchi, W., A. Garcia-Aristizabal, P. Gasparini, M. L. Mastellone, & Di Ruocco, A. (2012). Basic Principles of Multi-risk Assessment: A Case Study in Italy. *Natural Hazards* 62 (2): 551–573.
- Morgan, P., Keane, R. E., Dillon, G. K., Jain, T. B., Hudak, A. T., Karau, E. C., & Strand, E. K. (2014). Challenges of assessing fire and burn severity using field measures, remote sensing and modelling. *International Journal of Wildland Fire*, 23(8), 1045-1060.
- Montgomery, D.R., Grant, G.E., & Sullivan, K. (1995). Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management, *Water Resources Bulletin*, 31: 369-85.
- Moore, I.D., Grayson, R.B.Ladson, A.R. (1991). Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications, *Hydrological Processes*, 5: 3-30
- 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: 481-486
- Nir, D. (1957). The Ratio of Relative and Absolute Altitude of Mt. Carmel, *Geographical Review*, 27: 564–569.
- Omerik, J.M., & Bailey, R.G. (1997). Distinguishing Between Watersheds and Ecoregions, *Journal of The American Water Resources Association (JAWRA)*, 33(5): 935-949
- Özdemir, H., (2008). Havran Çayı'nın (Balıkesir) Taşkın Sıklık Analizinde Gumbel ve Log Pearson Tip III Dağılımlarının Karşılaştırılması, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 6 (1): 41-52.
- Özşahin, E., (2012). CBS Kullanılarak Kıbrıs'ta Fırtına Riski Duyarlılık Analizi, *Turkish Studies*, 7(4): 2627-2642,
- Özşahin, E., (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Kullanılarak Antakya (Hatay) Şehri'nde Kütle Hareketleri Duyarlılığının Değerlendirmesi, *Ege Coğrafya Dergisi*, 23 (2): 19-35.
- Özşahin E., & Kaymaz, Ç. K., (2015). CBS ve AHS Kullanılarak Doğal Çevre Bileşenleri Açısından Kentsel Mekânın Yerleşime Uygunluk Analizine Bir Örnek: Antakya (Hatay), *Doğu Coğrafya Dergisi* 20(33): 11-134.
- Öztürk, M. Z., Utlu, M., & Şimşek, M., (2022) Kaya düşmesi tehlikesinin belirlenmesi ve önlenmesinde İHA tabanlı 3B modelleme çalışmaları: Murtaza Köyü örneği (Niğde), *Yerbilimleri (Hacettepe Üniv. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Bülteni)* 43 (2):182-196
- Parker, A. J. (1982). The topographic relative moisture index: an approach to soil moisture assessment in mountain terrain, *Physical Geography*, 3(2): 160-168.
- Petras, V. (2014). Wildfire modeling in GRASS GIS, Geospatial Modeling and Analysis North Carolina State University.

- Pourghasemi, H. R., Yansari, Z. T., Panagos, P., & Pradhan, B. (2018). Analysis and Evaluation of Landslide Susceptibility: A Review on Articles Published During 2005–2016 (periods of 2005–2012 and 2013–2016). *Arabian Journal of Geosciences*, 1-12.
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A Review of Statistically-Based Landslide Susceptibility Models. *Earth-Science Reviews*, 60-91.
- 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, 9-26.
- 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.
- Saaty, T.L & Vargas, L.G. (2012). *Model, Methods Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Springer.
- Schmidt, J., Matcham, I., Reese, S. King, A., Bell, R., Henderson, R., Smart, G. Cousins, J. Smith, W. & Heron, D., (2011) . Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk modelling. *Natural Hazards* 58, 1169–1192.
- 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.
- Swain, S.S., Mishra, A., Sahoo, B., & Chatterjee, C. (2020). Water scarcity-risk assessment in data-scarce river basins under decadal climate change using a hydrological modelling approach. *Journal of Hydrology*, 590: 1-53. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125260.
- Şahin, M. & Toroğlu, E. (2020). Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak Pınarbaşı ilçesi (Kayseri) arazilerinin tarımsal uygunluk derecelerinin belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (75), 119-130. DOI: 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.
- Taştan, B. & Aydınoglu, A. Ç. (2015). Çoklu Afet Risk Yönetiminde Tehlike ve Zarar Görebilirlik Belirlenmesi İçin Gereklik Analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 31: 366-397.
- 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*, 3, 1137-1173.
- Turoğlu, H., & Özdemir, H., (2005). Bartın'da Sel ve Taşkınlar. Sebepler, Etkiler, Önleme ve Zarar Azaltma Önerileri, ISBN 975-9060-04-3, *Çantay Kitabevi*, İstanbul.
- Türkeş, M., (2012) Türkiye'de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2): 1-32.
- Türkeş, M., & Şahin, S., (2018) Türkiye'nin Fırtına Afeti Etkilenebilirliği ve Risk Çözümlemesi, *Kebikeç*, 46: 219-246.
- Utlı M., Öztürk, M. Z., & Şimşek, M., (2020). Rockfall analysis based on UAV technology in Kazıklı Gorge, Aladağlar (Taurus Mountains, Turkey), *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEgeo)*, 7(3): 239-251. DOI: 10.30897/ijegeo.740963
- Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic, *Computer*, 21(4): 83-93.
- Zhang, H., & Liu, D. (2006). *Fuzzy modeling and fuzzy control*. Boston: Springer Science & Business Media.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0653-9>

