

Tahtalı Barajı Havzasında bulanık mantık yöntemi ile taşkın risk analizi

Şevki Danacıoğlu^{1*}, Merve Nur Öz²

¹İzmir Bakırçay Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya, İzmir, Türkiye.

²İzmir Bakırçay Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya, İzmir, Türkiye.

Anahtar Kelimeler

Taşkın Riski
Bulanık Mantık
Coğrafi Bilgi Sistemleri
Tahtalı Barajı Havzası

Araştırma Makalesi

Geliş: 13.05.2025
Kabul: 12.06.2025
Yayınlanma: 29.06.2025



Özet

Küresel iklim değişikliği günümüz dünyasının en büyük sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sorun doğal afetlerin sayısında ve sıklığında önemli ölçüde artışları yaşanmasına neden olmaktadır. Son on yılda dünya genelinde yaklaşık 2,5 milyon insan, taşkınlarla bağlı doğal afetlerin etkileriyle karşı karşıya kalmaktadır. Günümüzde, gelecekte meydana gelebilecek potansiyel taşkın olaylarını öngörmek, muhtemel can ve mal kayıplarını sınırlamak, riskli bölgeleri tanımlamak ve bu bölgelerde alınacak önlemleri planlamak büyük bir öneme sahiptir. Taşkın riskinin belirlenmesi birçok mekânsal faktörün birlikte değerlendirilmesini gerektiren bir süreçtir. Bu bağlamda taşkın riskinin belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) kullanımı kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. CBS, çeşitli verilerin bir araya getirilmesi, analiz edilmesi, etkili bir şekilde yönetilmesi için önemli bir araçtır. Taşkın riski analizinde CBS temelli bazı yöntemler kullanılmaktadır. Çalışmamızda kullanılacak Bulanık Mantık Yöntemi, sadece klasik iki veya çok kriterli mantıkla sınırlı olmayan, mekânsal durumları da içeren bir süreçtir. Bulanık Mantık Yöntemi, eksik, kesin olmayan ve tamamen güvenilir olmayan bir ortamda sorunu çözme konusunda rasyonel temel sunan yöntemdir. Taşkın riski gibi doğal afetlerin hesaplanması da genellikle belirsizlik içermekte ve bu nedenle Bulanık Mantık, taşkın riski değerlendirmelerinde etkin bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda araştırmanın amacı, İzmir Tahtalı Barajı Havzasının potansiyel taşkın riski alanlarının Bulanık Mantık Yöntemi ile belirlenmesidir. Yapılan analiz sonucunda Tahtalı Barajı Havzasına yakın bölgelerin sel ve taşkın açısından yüksek risk altında olduğu görülmüştür.

Flood risk analysis in the Tahtalı Dam Basin using the fuzzy logic method

Keywords

Flood Hazard
Fuzzy Logic
Geographic Information Systems
Tahtalı Dam Basin

Research Article

Received: 13.05.2025
Accepted: 12.06.2025
Published: 29.06.2025

Abstract

Global climate change stands out as one of the most significant problems of today's world. This issue has led to a substantial increase in both the frequency and number of natural disasters. Over the past decade, approximately 2.5 million people worldwide have been affected by natural disasters related to floods. Today, it is of great importance to predict potential future flood events, to limit possible loss of life and property, to identify high-risk areas, and to plan necessary precautionary measures in these regions. Determining flood risk is a process that requires the simultaneous evaluation of many spatial factors. In this context, the use of Geographic Information Systems (GIS) has become an inevitable necessity in flood risk assessment. GIS is a vital tool for integrating, analyzing, and effectively managing various data. Several GIS-based methods are used in flood risk analysis. The Fuzzy Logic Method, which will be employed in our study, is a process that involves spatial conditions and is not limited to classical binary or multi-criteria logic. The Fuzzy Logic Method provides a rational foundation for solving problems in environments that are incomplete, uncertain, and not entirely reliable. Since the assessment of natural disasters such as flood risk often involves uncertainty, fuzzy logic has proven to be an effective tool in flood risk evaluations. In this context, the aim of the research is to determine the potential flood risk areas of the İzmir Tahtalı Dam Basin using the Fuzzy Logic Method. The results of the analysis indicate that the areas near the Tahtalı Dam Basin are under high risk of floods and inundation.

^(*) Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Kaynak Göster (APA)

¹Dr. Öğr. Üyesi sevki.danacioglu@bakircay.edu.tr, ORCID 0000-0003-1118-352X

²YL. Öğrencisi 6042019@bakircay.edu.tr, ORCID 0009-0007-9807-1825

Atıf/Citation: Danacıoğlu, Ş. (2025). Tahtalı Barajı Havzasında bulanık mantık yöntemi ile taşkın risk analizi. *Journal of Anatolian Geography*, 2(1), 82–89.

1. Giriş

Doğada bulunan canlı ve cansız varlıkların bir araya gelerek oluşturduğu, kendine özgü fiziksel yaşam alanlarına, içinde bulunan canlı toplumlarına ve çeşitli fonksiyonlara sahip karmaşık sistemlere ekosistem denilmektedir. Ekosistemin bozulması ile ilişkili olan en önemli olaylardan biri “Küresel İklim Değişikliği”dir (Demirbaş & Aydın, 2020). Küresel ısınma veya yaygın olarak bilinen adıyla iklim değişikliği, dünya üzerindeki yüzey sıcaklıklarının artmasına ve yağış desenlerinin değişmesine yol açan bir doğa olayıdır (Oğuz & Akin, 2019). Günümüzde iklim değişikliği sebebiyle dünya genelinde yaşanan afetlerin sayılarında artış görülmektedir (Zeyno, 2022). İklim değişikliği sebebiyle artış gösteren afetlerden bazıları, aşırı sıcaklık, orman yangınları, kuraklık ve taşkınlardır (Zeyno, 2022).

Küresel iklim değişikliğinin etkileri; iklim kuşaklarının kayması, hava sıcaklıklarının artması, buzulların erimesi ve buna bağlı olarak deniz seviyesinin yükselmesi şeklinde bilinmektedir. Ancak bu etkilerle birlikte ortaya çıkan aşırı şiddetli fırtınalar ve yoğun yağışlar, taşkın olaylarının hem şiddetini hem de sıklığını artırmaktadır (Oğuz vd., 2022). Son on yılda dünya genelinde yaklaşık 2,5 milyon insan, taşkınlara bağlı doğal afetlerin etkileriyle karşı karşıya kalmaktadır (Ekşi & Kantarlı, 2020). 2017 yılına bakıldığında, taşkınlara bağlı afetlerin 2017 yılı içerisinde çatışma ve savaşlardan sonra en fazla can kaybına neden olan afet türü olduğu öne çıkmaktadır. Taşkın tehlikeleri, dünya nüfusunun büyük bir kısmını (%45) etkileyerek, diğer doğal afetlerden daha fazla can kaybına neden olmaktadır (Cred, n.d.). Bununla birlikte, 1980 – 2000 yılları arasındaki sürece bakıldığında depremlerden daha fazla can kaybına neden olan taşkınlara, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı’na (UNDP) göre tropikal siklonlardan sonra doğa kökenli felaketler arasında ikinci sırada yer alarak can kaybına neden olan önemli bir doğal afet olarak kaydedilmiştir. Dünya Bankası’nın 2020 verilerine bakıldığında ise; küresel düzeyde yaklaşık 1,47 milyar insanın (dünya nüfusunun %19’u) “100 yıllık sel” olayları nedeniyle önemli bir risk altında kaldığı söylenebilmektedir. Afet araştırma ve epidemiyoloji merkezinin (CRED) 2021 yılında gerçekleştirdiği doğa kaynaklı afetlerin değerlendirilmesi çalışmalarında, dünya genelinde sarsıcı etki yaratan 432 afetin meydana geldiği 10.492 kişinin yaşamını yitirdiği, 101,8 milyar kişinin ise afetlerden olumsuz etkilendiği raporlanmıştır (MGM, 2021). Gerçekleşen afetlere bakıldığında ise 223 adet sel ve taşkın yaşandığı, en çok yaşanan ve en ağır hasara neden olan afetin ise taşkınlara olduğu görülmüştür. DSİ verilerine bakıldığında ise taşkın kontrol yapıları ve benzeri tesislerde artış olmasına rağmen son 40 yılda 600’den fazla ölüm, 800.000 hektardan fazla tarım arazisi zararı ve yüzbinlerce konut hasarı gözlemlenmektedir (Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü, 2022). Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün 2021 yılı afet değerlendirmesi raporuna bakıldığında ülkemizde 2021 yılında 1024 adet doğal afetin gerçekleştiği, bunlardan 283 tanesinin sel ve taşkın olduğu gözlemlenmektedir. 2021 yılında meydana gelen şiddetli yağış/ sel – taşkın afetlerinin illere göre dağılımı haritasında batıda en fazla meydana geldiği İl’in İzmir olduğu görülmektedir. Afad 2022 yılı doğa kaynaklı olay istatistikleri raporuna bakıldığında ülkemizde 22.982 adet doğa olayının meydana geldiği, bunlardan 450 tanesinin sel ve taşkınlara olduğu ve 2022 yılında sel ve taşkınlara en fazla meydana gelen üçüncü afet

olduğu gözlemlenmiştir (Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü, 2022).

İklim değişikliğinin başlaması ile taşkın olaylarının yoğunluğunun ve sıklığının artması dünyanın birçok bölgesini tehdit etmektedir. Bu tehdit taşkın risklerinin gelecekte potansiyel olarak büyük bir tehlike haline gelmesine neden olmaktadır (Karakuş & Ceylan Demirel, 2022). Geleceğe dair iklim değişikliği senaryoları, aşırı hidrolojik olayların ve taşkın risklerinin özellikle büyük bir endişe kaynağı olacağını ve zaman içinde artış göstereceğini işaret etmektedir. HadCM3 İklim modeli (Hadley Centre Coupled Model, version 3) tarafından sunulan verilere göre, küresel iklim değişikliğinin etkisi göz ardı edilirse, 2050 yılına gelindiğinde küresel taşkın riskinin yaklaşık %187 artacağı öngörülmektedir (Arnell & Gosling, 2014).

Taşkınlara yüksek bir hız ve kinetik enerjiyle dere yataklarında akarak, taş, çakıl ve büyük kayalar sürükleyerek önemli maddi ve manevi zararlara yol açar (Korkanç & Korkanç, 2006). Taşkın, uzun süreli ve yoğun yağışlar, kar erimesi gibi sebepler veya nadir görülen olaylar, örneğin baraj yıkılması gibi durumlar sonucunda havzada taşıyabileceğinden fazla yağışın birikmesiyle meydana gelir (Sönmez & Hırça, 2018). Görülen tanımlardan anlaşılacağı üzere, taşkın, yıllık ortalama akımın aşıldığı durumlarda genellikle düz veya düze yakın alanlarda doğal yataktaki fazla suyun çeşitli sebeplerle taşması ve yatağa sığmaması olarak tanımlanmaktadır. Taşkın afetinin etkileri incelendiğinde, öncelikle can ve mal kaybının ortaya çıktığı görülür. Can kaybı, insanlar ve hayvanların hayatını kaybetmesiyle gerçekleşirken, mal kaybı ise mülklerin, binaların, altyapının ve tarım arazilerinin zarar görmesiyle oluşur. Bu kayıpların bir kısmı afetle birlikte hemen ortaya çıkar, ancak bazıları belirli bir süre sonra fark edilebilir (Toprak, 2015).

Günümüzde, gelecekte meydana gelebilecek potansiyel taşkın olaylarını öngörmek, muhtemel can ve mal kayıplarını sınırlamak, riskli bölgeleri tanımlamak ve bu bölgelerde alınacak önlemleri planlamak büyük bir öneme sahiptir. Bu, taşkınlara yönetilmesi ve olası etkilerinin azaltılması açısından kritik bir rol oynamaktadır (Zeyno, 2022). Taşkın yönetimi çalışmalarında “Taşkın tehlikesi”, “Taşkın riski” ve “Taşkın Duyarlılığı” terimleri önemli bir rol oynamaktadır. “Taşkın tehlikesi” ve “Taşkın riski” terimleri birbiri ile ilişkili ancak aynı anlama gelmeyen iki temel kavramdır (Kaya, 2022). “Taşkın tehlikesi” bir taşkın olayının gerçekleşmesi durumunda taşkın hızı, derinliği ve büyüklüğü gibi faktörleri hesaba katarak çevresel etkileri anlatırken, “Taşkın riski” ise taşkın meydana gelme olasılığı ile insan sağlığı, ekonomik faaliyetler ve çevreye zarar veren etkilerin birleşiminin ifade etmektedir. “Taşkın duyarlılığı” ise gelecekte olası taşkın afetlerinin etkilerine dayalı olarak bölgelerin nispi olarak sınıflandırılmasıdır (Kaya, 2018).

Taşkın riski, belirli bir bölgede veya alanda taşkınlara meydana gelme olasılığı ve bu taşkınlara olası etkilerinin birleşimi olarak tanımlanır. Taşkınlara sıklığı, şiddeti, etkilendiği alanlar, can ve mal kaybı gibi faktörleri içerir. Taşkın riskinin belirlenmesi birçok mekânsal faktörün birlikte değerlendirilmesini gerektiren bir süreçtir. Bu bağlamda sel ve taşkın riskinin belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri’nin (CBS) kullanımı kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. CBS, bu çeşitli verilerin bir araya getirilmesi, analiz edilmesi, etkili bir şekilde yönetilmesi için

önemli bir araçtır. Ayrıca sel-taşkın riskinin anlaşılması ve azaltılmasına büyük katkı sağlar (Cabreria & Lee, 2020).

Farklı karakteristik özellikleri bulunan veri katmanlarını bir araya getirerek, ortak bir analiz sürecinde değerlendirilmelerine olanak sağlaması yönüyle CBS günümüzde oldukça tercih edilmektedir. CBS yöntemleri ve teknikleri, çeşitli faktörleri dikkate alarak etkili analiz sonuçlar üretmektedir. CBS'nin taşkın riski haritalamasındaki en büyük artıları uygun maliyetli olması, az zaman alan bir metodolojiye sahip olması ve kısıtlı imkanlar altında dahi uygun risk haritalarının elde edilmesine olanak sağlamasıdır (Karakuş & Ceylan Demirel, 2022 & Zeyno, 2022). CBS ile Sel – Taşkın riski haritalanması yapıldığında, taşkına sebep olabilecek faktörlerin işlenmesi, taşkın risk alanlarının belirlenmesi, riskin yüksek olduğu bölgelerin belirlenerek üzerinde değerlendirmeler yapılması ve sağlıklı çözüm önerileri sunulması sayesinde gerçekleşecek zararların en aza indirgenebileceği görülmektedir (Ünal vd., 2022). Riskli bölgelerin tespiti için yapılan analizlerde elde edilen sonuçların haritalanmasında, risklerin sınıflandırılarak, çok yüksek riskli, yüksek riskli, orta riskli, az riskli ve çok az riskli gibi detaylı bir sınıflandırma sonucuna ulaşmak mümkündür (Zeyno, 2022). Taşkın riski analizinde CBS temelli bazı yöntemler kullanılmaktadır, bunlardan sıkça başvurulanan AHP (Analitik Hiyerarşi Yöntemi) ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleridir (Parsian vd., 2021). AHP yöntemi, uzman görüşlerine dayalı olarak öncelikli ölçeklerin türetilmesine dayanan bir ikili karşılaştırmalı ölçme teorisini içerir. Bu yöntem, karmaşık problemleri basitleştirmek için hiyerarşik bir yapı oluşturur ve karar verme sürecinde karar vericinin bilgi ve deneyimini dikkate alır. AHP yöntemi, karar seçeneklerini değerlendirmek ve seçmek için hem nitel hem de nicel kriterlerin kullanılmasına olanak tanır (Kaya, 2022). ÇKKV ise, afetler gibi karmaşık problemlerde birden çok kriterin bir arada değerlendirilebildiği, alternatiflere değer atamasının yapılabildiği bir süreçtir. ÇKKV yöntemleri, eş zamanlı olarak birden fazla kriteri içeren bu tür problemlerde en iyi tercihin seçilmesine yardımcı olan yöntemlerdir (Kaya, 2022). Bunların yanı sıra çalışmamızda kullanacağımız Bulanık Mantık Yöntemi, sadece klasik iki veya çok kriterli mantıkla sınırlı olmayan, mekânsal durumları da içeren bir süreçtir (Yeganeh & Sabri, 2014). Bulanık mantık, belirsizlik içeren sorunların çözümü için geliştirilen bir yapay zekâ yöntemidir. Kullanımı oldukça yaygın olan ve esnek hesaplama yöntemlerinden biri olan Bulanık Mantık Yöntemi, eksik, kesin olmayan ve tamamen güvenilir olmayan bir ortamda sorunu çözme konusunda rasyonel temel sunan yöntemdir (Yeganeh & Sabri, 2014). Taşkın riski gibi doğal afetlerin hesaplanması da genellikle belirsizlik içermekte ve bu nedenle bulanık mantık, taşkın riski değerlendirmelerinde etkin bir araç olarak kullanılmaktadır (Kaya, 2022).

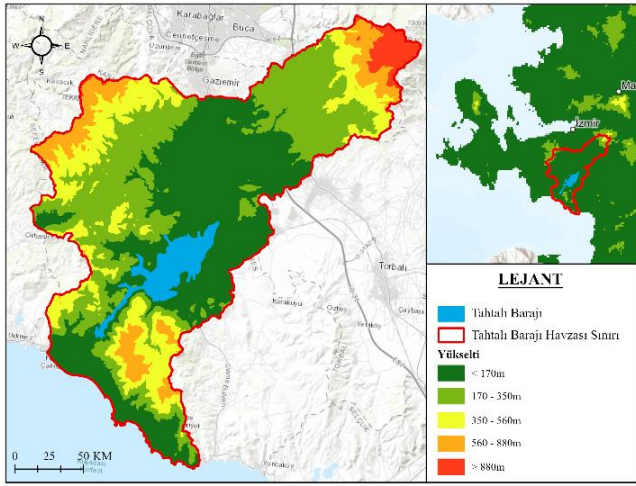
Bu araştırmanın amacı, İzmir Tahtalı Barajı Havzasının potansiyel taşkın riski alanlarının Bulanık mantık yöntemi ile belirlenmesidir. Bu bağlamda araştırma alanı içerisinde taşkın riski taşıyan alanlarda bulunan yerleşmelerin, bulanık mantık yöntemi ile analiz edilerek, yüksek ve düşük risk taşıyan yerlerin mekânsal dağılımı ve alansal büyüklüklerinin belirlenmesine odaklanılmıştır. Bu araştırma ile çözüm aranan problemler ise şunlardır; Tahtalı Barajı havzasında taşkın riski yüksek olan bölgeler nerelerdir? Taşkın riski gerçekleşmesi durumunda etki alanı

nereler olacaktır? Taşkın riski taşıyan bölgelerde yerleşim yerleri bulunuyor mu? Bu yerleşim yerleri taşkından ne derece etkilenecek? şeklindedir.

2. Materyal Ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Ege Bölgesinin Kıyı Ege bölümünde bulunan İzmir İlinin, 40 km güneyinde, Gümüldür'ün 5 km doğusunda, Seferihisar İlçesinin Ürkmez beldesinin 3 km kuzeyinde ve 38°5'19"K 27°2'30"D koordinatında bulunan Tahtalı Barajı Havzası'dır (Şekil 1). Dereboğası deresi üzerinde ve İnleyen kaya ile Kaplancık tepesi arasında yer almaktadır. Havza konumu itibarı ile Ege Denizinin sahil kesiminde bulunan turistik tesislere ve bölgedeki konutların yaygın olduğu yerleşim alanlarına oldukça yakındır. Tahtalı Havzası'nda egemen olan iklim, Akdeniz iklimidir. Bölgenin sıcaklık verileri incelendiğinde yıllık ortalama sıcaklık 16,2°C, bölgenin maksimum sıcaklığı 43°C, minimum sıcaklığı ise 1,4 °C'dir. Yıllık yağış verilerinde ise ortalama toplam yağış miktarının 55,57 mm, maksimum toplam yağış miktarının ise 60,80 mm olduğu görülmektedir. Tahtalı Barajının ham yapım tarihi 1986 – 1999 yılları arasındadır lakin 1996 yılında yapımı büyük ölçüde tamamlanan baraj, 1997 yılında bölgeye su sağlamaya başlamıştır. Kaya dolgu tipindeki Tahtalı Barajı, yıllık ortalama akımını 152,16 hm³ olarak kaydetmekte olup, nehir tabanından yüksekliği 54,50 m'dir. Baraj gölünden alınan su, içme suyu standartlarına uygun bir şekilde artırılabilmesi için tasarlanmış olan arıtma tesisi, günlük 520,000 m³ kapasiteye sahiptir. Tahtalı Havzası, göl alanının 2352 ha olduğu toplam 54,160 ha alanı kapsar; bu alan içerisinde göl ve koruma alanları bulunmaktadır. Tahtalı Barajı, İzmir'in yüzeysel su potansiyelinin %46'sını karşılayarak, İzmir kentinin içme suyunun %30'unu temin etmek amacıyla kurulmuştur (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023). Barajın havzası, İzmir'in güneydoğusundan başlayıp Gümüldür beldesine kadar uzanmaktadır. Tahtalı Barajı'nın inşası ile birlikte havza alanında önemli arazi kullanımı değişimleri meydana gelmiştir. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2023), tarafından hazırlanan İzmir Tahtalı Barajı Havzası taslak koruma planı raporunda, baraj gölü altında kalan alanlarda daha önce yerleşim ve tarım faaliyetlerinin bulunduğu, özellikle sera ve bağ-bahçe tarımı yapılan alanların rezervuar bölgesine dâhil edildiği belirtilmektedir. Aynı rapora göre, baraj yapımı sonrasında havza genelinde tarım alanlarının azaldığı, bazı bölgelerin mera ve orman alanlarına dönüştüğü, yerleşim alanlarının ise sınırlı düzeyde arttığı ifade edilmektedir. Barajın içme suyu temini amacıyla kullanılmasından dolayı havza, mutlak ve kısa mesafeli koruma alanları olarak tanımlanmış; bu doğrultuda arazi kullanımı ve yapılaşma faaliyetleri çeşitli sınırlamalara tabi tutulmuştur (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023).



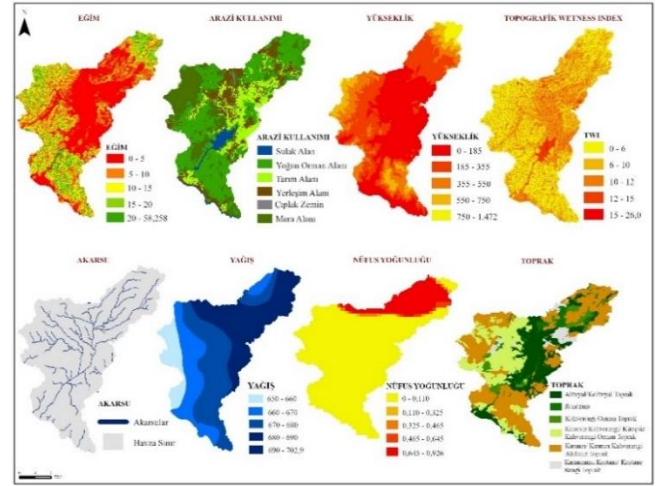
Şekil 1. Çalışma Alanı Haritası.

2.2. Veri

Sel ve taşkınların nedenlerini ve risklerini doğru şekilde değerlendirmek için hangi kriterlerin kullanılacağı son derece önemlidir. Bu kriterler, literatür araştırmaları, çalışma alanının coğrafi ve jeolojik özellikleri ile mevcut veri türleri göz önünde bulundurularak seçilir (Ünal vd., 2022). Bu kapsamda bu çalışmada kullanılan verilerin sel ve taşkın riski üzerindeki önemlerine göre, literatür değerlendirmesi sonucunda ağırlıkları belirlenmiş olup belirlenen ağırlıklar doğrultusunda araştırma alanında sel ve taşkın riskinin yüksek olduğu alanlar tespit edilmiştir (Şekil 2). Araştırmada kullanılan sel ve taşkın riski üzerinde etkili olan faktörlere ait detaylar Tablo 1.'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada kullanılacak veriler.

Kullanılacak Veriler	Veri Türü	Veri Kaynağı
Eğim	Grid (25mX25m)	USGS Earth Explorer
Toprak	Grid	FAO
Arazi Kullanımı	Vektör Veri	Karra vd., 2021
Yağış	Grid (4kmx4km)	CHIRPS
Yükseklik	Copernicus GL30 (25mX25m)	Copernicus GL30
Nüfus Yoğunluğu	Grid	
Akarsulara Olan Mesafe	Grid (25mX25m)	Copernicus GL30
Topografik Wetness Index (TWI)	Grid (25mX25m)	Copernicus GL30



Şekil 2. Kullanılan Verilerin Harita Üzerinde Gösterimi.

2.3. Yöntem

Taşkınların karmaşık doğası, araştırmacıları geleneksel, kesin ve katı hesaplama yöntemlerinden uzaklaşmaya teşvik etmiştir. Bunun yerine, gerçek yaşamı daha etkili bir şekilde modelleyen sezgisel yaklaşımlara dayanan esnek hesaplama yöntemlerine yönelik ilgi artmıştır. Gerçek yaşam problemleri genellikle doğal belirsizlikleri içerir ve araştırmacılar, bu belirsizliklerle başa çıkmak için farklı çözümler sunmak amacıyla sezgisel yaklaşımlara dayanmaktadır (Derin Cengiz, 2020). Esnek hesaplama yöntemi, sayısal zekaya sahip, belirli açılardan insan uzmanlığına benzer şekilde analiz yapabilen ve öğrenme yeteneğine sahip sistemlerin tasarlanmasına odaklanır. Bu sistemler, karmaşık gerçek yaşam problemlerini çözmek için esnek bir yaklaşım sunar. Aynı zamanda, belirsizlikleri daha etkili bir şekilde ele alabilir ve kararlarını nedenleriyle destekleyerek daha iyi sonuçlar elde edebilirler (Kaya, 2022). Zadeh (1994), bulanık küme teorisini geliştirerek esnek hesaplamayı şu şekilde tanımlamıştır: "Esnek hesaplama, belirsizlik ve kararsızlıklardan kaynaklanan zorlukları aşmak amacıyla çeşitli yöntemleri bir araya getirerek kolay işlenebilirlik, sağlamlık ve düşük çözüm maliyetleri elde etmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımın temel bileşenleri arasında bulanık mantık, sinirsel programlama ve olasılık teoremleri bulunmaktadır. Esnek hesaplamanın temelinde yatan fikir, insan zekasının bilişsel yaklaşım modelini temel almasıdır. Bu nedenle, esnek hesaplamanın rol modeli insan zekasıdır" (Kaya, 2022). Esnek hesaplama, katı hesaplamadan ayrılarak bulanıklık, belirsizlik, kısmi doğruluk ve yaklaşıklıkla karşı hoşgörülü bir yaklaşım benimsemektedir. Bu metodoloji, bulanık mantık, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, makine öğrenimi ve uzman sistemleri gibi teknikleri içermektedir. Esnek hesaplama, bu çeşitli yöntemleri kullanarak gerçek dünyadaki karmaşık durumlarla başa çıkma yeteneğini geliştirir (Kaya, 2022). Başlangıçta belirtildiği gibi, taşkın riski analizlerinde kullanılan yöntemler zaman içinde değişerek, geleneksel uzman görüşlerine dayanan metotlardan, büyük verilere dayalı istatistiksel yaklaşımlara ve makine öğrenimi tekniklerine doğru evrim geçirmiştir. Hızla gelişen makine öğrenimi algoritmaları, taşkın riski tahmininde giderek daha kapsamlı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Kaya, 2022).

Bulanık mantık, belirsizlik içeren sorunların çözümü için geliştirilen bir yapay zekâ yöntemidir (Zadeh, 1994). Taşkın riski gibi doğal afetlerin hesaplanması da genellikle belirsizlik içermekte ve bu nedenle bulanık mantık, taşkın riski değerlendirmelerinde etkin bir araç olarak kullanılmaktadır (Parsian vd., 2021). Farklı girdi veri kümeleri hazırlandıktan sonra, önerilen yaklaşım iki ana adımdan oluşmaktadır: Bunlar girdi veri kümesini bulanıklaştırma ve bulanık bindirme analizi kullanarak farklı veri kümelerinin kombinasyonu şeklindedir. Bu adımlar aşağıdaki alt bölümlerde ayrı ayrı açıklanmıştır.

Tüm girdi veri kümeleri, doğrusal bir bulanık üyelik fonksiyonu kullanılarak bulanık değerlere dönüştürülecektir. Doğrusal bir bulanık üyelik fonksiyonu, Denklem (1)'e dayalı olarak her bir veri kümesinin giriş değerlerini 0-1 aralığına dönüştürmektedir. Bu dönüşümde sıfır ve bir, sırasıyla çok düşük ve çok yüksek taşkın potansiyeline sahip piksellere karşılık gelmektedir. Buna göre, Parsian vd., (2021) tarafından önerilen yaklaşım dikkate alınarak girdi parametreleri için pozitif veya negatif doğrusal fonksiyonu dikkate alınacaktır.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{or } 0 \text{ if } x > \text{Max} \\ 0 & \text{or } 1 \text{ if } x < \text{Min} \\ \frac{x - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} & \text{if } \text{Min} < x < \text{Max} \end{cases}$$

Şekil 3.Fuzzy Membership Fonksiyonu

Burada Max ve Min, her bir parametrenin maksimum ve minimum değerleri, x her parametrenin piksel değeridir (Atkinson, 1996).

İklimin belirleyici unsurlarından biri olan yağışlar, atmosfer sirkülasyonu ile birlikte arazideki su varlığını sağlayarak ana akış kaynağını oluşturur. Bu perspektiften bakıldığında, taşkınların ortaya çıkmasındaki temel etken şüphesiz ki yağışlardır. Toprağın önceki yağış döngülerinden kaynaklanan doygunluğu, yağışların aniden ve yoğun bir şekilde gerçekleşmesiyle birleştiğinde, taşkın şiddetinin arttığı gözlemlenmektedir (Tokgözlü & Özkan, 2018). Bu nedenle yağış faktörü bulanık mantık analizinde Maximum özelliğiyle analiz edilmiştir.

Yükseklik, yağışların belirli bir bölgede toplanması ve birikmesi açısından son derece kritik bir faktördür. Artan yükseklik, genellikle düşük sıcaklık ve yüksek yağış miktarı ile ilişkilendirilirken, yüksek rakımlı bölgelerde sel-taşkın riski azalırken, alçak bölgelerde bu risk artma eğilimindedir (Tokgözlü & Özkan, 2018). Eğim, su akış hızını ve yüzey akışının sızmasını doğrudan etkilediği için taşkına risk analizinde kritik bir faktördür. Alçak eğimli alanlarda toprağa karışan su miktarı fazladır, bu nedenle yüksek eğimli alanlara göre taşkın açısından daha risklidir (Parsian vd., 2021). Bu nedenle eğim faktörü bulanık mantık analizinde Minimum özelliğiyle analiz edilecektir.

Topografik Wetness Index (TWI), bir arazinin ıslaklık durumunu belirlemek için kullanılan bir topografik indekstir. Akım birikimini ve topografyanın hidrolojik süreçler üzerindeki etkisini ölçmektedir. Bu nedenle bir su havzasındaki taşkın riskini değerlendirmek için faydalı bir indekstir (Parsian vd., 2021).

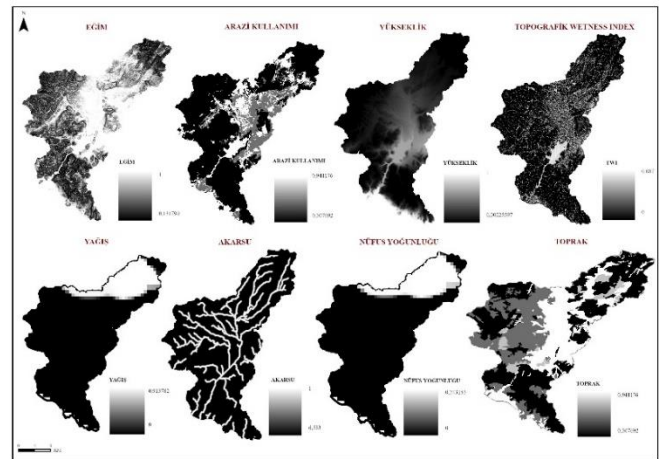
Sel ve taşkın riskinin belirlenmesinde, alanın akarsulara olan mesafe önemli bir faktördür ve bu parametre kritik bir

rol oynar (Ünal vd., 2022). Taşkın oluşumu ve taşkın anında, akarsuların çevresindeki bölgelerin en fazla zarar göreceği düşünülerek, risk faktörü olarak değerlendirilmiştir. Akarsulara olan uzaklığın 10, 50, 100 ve 200 metre mesafelerindeki alanlar, taşkın etkilerinin hissedilebileceği bölgeler olarak belirlenmiştir (Tokgözlü & Özkan, 2018).

Toprak geçirgenliği, taşkın risk analizinde dikkate alınan önemli bir parametredir. Toprak türlerine bağlı olarak değişen porozite, sızma ve havalandırma kapasitelerini etkilemektedir. Bu durum, taşkınların şiddetini ve etkisini azaltma veya artırma eğilimindedir. Bu bağlamda, Alüvyal, Kırmızı Kahverengi Akdeniz toprakları ve Kolüvyal topraklar, taşkın riskini en çok barındıran toprak grupları olarak kabul edilmektedir (Aksoy vd., 2023). Bu nedenle çalışma alanında, geçirgen topraklar genellikle 'risksiz' olarak değerlendirilirken, geçirimsiz topraklar 'riskli' olarak sınıflandırılmıştır.

Bitki örtüsü ile taşkın arasında ters yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Bir bölgede yoğun bitki örtüsü mevcut olduğunda, taşkın riski genellikle daha düşüktür. Bitki örtüsü, akışa geçen suyu tutarak, suyun hızını azaltarak ve toprağa sızmasını sağlayarak taşkın etkilerini azaltmaktadır. Diğer yandan, bitki örtüsünden yoksun alanlarda, örneğin çıplak araziler, nehirler ve binalar gibi geçirimsiz yüzeylerde, akış hızı daha yüksektir (Aksoy vd., 2023). Bu bilgiler ışığında çalışma alanında bulunan kentsel alanlar, tarım arazileri ve çorak bölgeler daha yüksek yüzey akışına sahip olduğu için 'riskli', yoğun bitki örtüsü ile kaplı ormanlık alanlar ise daha az yüzey akışına sahip olduğu için 'risksiz' olarak sınıflandırılmıştır.

Nüfus yoğunluğu, nüfusun daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu alanları tanımak için bize bilgi sağlamaktadır. Yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bölgelerde, sel ve taşkın felaketinden etkilenebilecek daha fazla insan ve altyapı bulunmaktadır (Yeganeh & Sabri, 2014). Diğer bir deyişle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu alanlar afetin sosyal ve ekonomik etkilerinin daha fazla olacağı alanlardır. Bu nedenle nüfus yoğunluğu faktörü bulanık mantık analizinde Maximum özelliğiyle analiz edilmiştir. Bahsedilen analize tabi olan veriler Şekil 4.'de verilmiştir.



Şekil 4.Kullanılan Verilerin Bulanık Mantık Analiz Çıktıları.

Sel ve taşkın olayının meydana gelmesine etki eden her bir faktör, literatür taraması yapılarak araştırılmıştır. Ana faktörlerin önem sıralaması çıkarılmasında belirlenen yağış, eğim, yükseklik, twi, nüfus yoğunluğu, akarsulara mesafe, arazi kullanımı ve toprak gibi faktörler AHP'ye tabi tutulmuş ve bu unsurların iç tutarlılığı saptanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2.AHP Analizi Sonucu Kriterlerin Ağırlık Değerleri.

	Kategori	Öncelik (Priority)	Sıralama (Rank)	(+)	(-)
1	Digital Elevation Model (DEM)	10.5%	5	4.7%	4.7%
2	Slope	10.9%	4	4.2%	4.2%
3	Rainfall	18.5%	2	6.4%	6.4%
4	Distance from the main river	24.6%	1	11.2%	11.2%
5	Topographic Wetness Index (TWI)	5.3%	7	1.5%	1.5%
6	Land Use/Land Cover	18.4%	3	6.0%	6.0%
7	Soil Type	7.0%	6	2.1%	2.1%
8	Population Density	4.9%	8	1.2%	1.2%

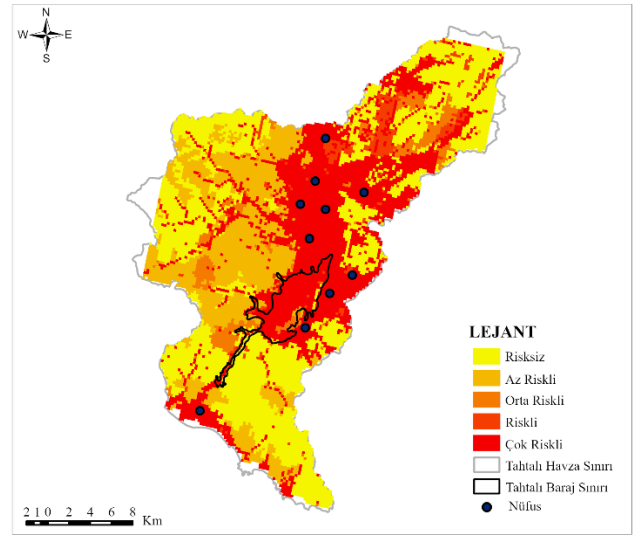
Yapılan analiz sonucunda, elde edilen tutarlılık oranı (Consistency Ratio - CR) %4,6 (0,046) olarak hesaplanmıştır. Bu oran, kabul edilebilir eşik olan 0,10'un altında yer almakta olup, ikili karşılaştırma matrisinin yeterince tutarlı olduğunu ve elde edilen sonuçların güvenilirliğini göstermektedir (Karakuş ve Ceylan Demirel, 2022).

AHP analizine göre, taşkın riski haritalamasında en yüksek ağırlığa sahip kriter ana akarsuya uzaklık (%24,6) olmuştur. Yağış miktarı (%18,5) ve Arazi Kullanımı-Arazi Örtüsü (AKAO) (%18,4) kriterleri de yüksek ağırlık değerlerine sahip olup, taşkınların oluşmasında doğrudan etkili çevresel değişkenler olarak öne çıkmıştır. Diğer taraftan, Eğim (%10,9) ve Yükselti (%10,5) gibi topografik değişkenlerin de taşkın dinamikleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Toprak türü (%7,0), Topografik Nemlilik İndeksi - TWI (%5,3) ve Nüfus yoğunluğu (%4,9) kriterleri ise görece daha düşük ağırlıklara sahiptir. Ancak bu kriterler de taşkın riski üzerinde dolaylı etkiler yaratmakta; özellikle geçirimsiz toprak yapıları ve yoğun nüfusun bulunduğu alanlar, taşkınların yaratacağı zararın büyüklüğünü artırmaktadır.

Tutarlılık sonucu sonrasında verilerin her biri yöntem kısmında yazılan Bulanıklaştırma (Fuzzy Membership) türüne göre bulanıklaştırılmıştır. Ardından çıkan sonuçlar Fuzzy Overlay işlemi ile birleştirilmiştir. Bu birleştirmede “OR” özelliği seçilerek, her bir veri için verilen Maks. ve Min. değerlerinin en yüksekleri toplanmış, bu şekilde bir çakıştırma işlem sonucunda riskli yerler tespit edilmiştir (Şekil 4).

3. Bulgular

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri'nden yararlanılarak Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden biri olan Bulanık Mantık yöntemi ile İzmir ilinde bulunan Tahtalı Barajı Havzasının taşkın risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 5).

**Şekil 5.** Tahtalı Barajı Havzası Taşkın Risk Haritası

Sonuç haritasında Lejant kısmında bulunan değerler sırası ile 0.971 – 0.983 “Risksiz”, 0.984 – 0.99 “Az riskli”, 0.991 – 0.994 “Orta riskli”, 0.995 – 0.998 “Riskli”, 0.999 – 1 “Çok riskli” şeklinde sınıflanmaktadır.

Risk haritasından da anlaşıldığı üzere baraj ve yakın çevresi risk grubu içerisinde yer almaktadır. Özellikle barajın kuzey ve kuzeybatı kısımlarında yer alan Sancaklı, Çileme, Tekeli Atatürk, Cumaovası, Küner, Şaşal ve Menderes ilçe ve köyleri “Çok riskli” kategorisinde yer almaktadır. Barajın yakın çevresinde yer alan Sancaklı, Cumaovası, Küner ve Şaşalı’nın özellikle baraja yakın alanlarında tarım faaliyetleri yoğun bir şekilde yürütüldüğünden bu kısımlar herhangi bir sel ve taşkın olayı karşısında büyük bir risk altında kalacaktır. Keza barajın en güneyinde yer alan, barajın en uç kısmı ile Ege Denizi arasında kalan Gümüldür ilçesi de tarım arazileri, plajlar ve tatil köyleri açısından oldukça zengin bir yer olmasına karşın taşkın riski açısından oldukça tehlikeli bir konumdadır. Barajın tam doğusunda yer alan ve yalnızca tarım arazilerinden oluşan Değirmendere, Atatürk ve Değirmendere Fevzi Çakmak’da yoğun riskli alanlar arasında yer almaktadır. Barajın doğu ve kuzeydoğu kısımlarında bulunan ve yer yer riskli, az riskli ve risksiz görülen alanlar ise Keler, Yeniköy, Kuyucak ve Orhanlı köyleridir. Bu bölge yer yer tarım arazisi, yoğun bitki örtüsü ve yoğun dere – çay alanları ile kaplıdır.

Haritada bulunan “Risksiz” ve “Az riskli” alanlar genelde yoğun bitki örtüsüne sahip ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Bu bölgede bulunan toprak suyu emer, bitkiler akışı kırar böylece bu faktörler sel ve taşkın riskini hafifletmiş olur. “Orta riskli” ve “Riskli” alanlar ise genellikle çıplak yüzeylerdir. Haritada orman alanları ile iç içe görülmektedirler. “Yüksek riskli” bölgeler ise barajın oldukça yakınında bulunan tarım alanları, nadase bırakılmış araziler, bölgede bulunan dereler, çaylar ve yerleşim yerleridir. Bu alan haritanın büyük bir kısmını kaplamakla birlikte Tahtalı Barajı Havzası içerisindeki tüm canlı yaşamını da tehdit etmektedir. Bu bölgelerde yapılan risk çalışmaları ve risk haritaları dikkate alınarak planlamaların yapılması can ve mal kaybını en aza indirecektir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Tahtalı Barajı Havzası'nda Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak taşkın risk haritası oluşturulmuş, özellikle baraj çevresi ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yürütüldüğü yerleşim alanlarının yüksek taşkın riski altında olduğu tespit edilmiştir. Risk düzeyleri, arazi kullanım biçimi, eğim, bitki örtüsü yoğunluğu ve su yüzeyine yakınlık gibi kriterlere göre değişiklik göstermekte olup; özellikle Sancaklı, Şaşal, Cumaovası ve Küner gibi tarımsal yoğunluğun yüksek olduğu bölgeler “çok riskli” kategorisinde değerlendirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen bulgular, Türkiye’de farklı bölgelerde yapılmış benzer araştırmalarla büyük ölçüde örtüşmektedir. Özellikle eğimin düşük, alüvyal zeminlerin yaygın, yerleşim ve tarım alanlarının yoğun olduğu alanlar taşkın açısından daha kırılgan konumdadır (Ünal vd., 2022). Karakuş ve Ceylan Demirel (2022), yürütmüş olduğu Sivas kent merkezinde AHS yöntemi ile gerçekleştirilen taşkın risk analizinde olduğu gibi, bu çalışmada da riskin en belirgin olduğu alanlar düşük eğimli, geçirimsiz toprak yapısına sahip, akarsuya yakın ve bitki örtüsünün zayıf olduğu bölgeler olarak ortaya çıkmıştır.

Ayrıca, çalışmanın sonuçları küresel ölçekli iklim değişikliği projeksiyonlarıyla da örtüşmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda özellikle Asya ve Akdeniz iklim kuşağında yer alan bölgelerde yağış rejimlerinin değişmesiyle birlikte taşkın sıklığında ve şiddetinde artış beklendiği ifade edilmektedir (Arnell & Gosling, 2014). İzmir gibi bir bölgede bu öngörülerin yerel ölçekte mekânsal karşılığının gösterilmesi, geleceğe yönelik planlama ve risk azaltma stratejilerinin oluşturulması açısından büyük önem arz etmektedir (Ekşi & Kantarlı, 2020).

Elde edilen taşkın risk haritası, bölgedeki mevcut yerleşim alanlarının ve tarımsal üretim bölgelerinin taşkın tehlikesiyle iç içe geçtiğini göstermektedir. Bu durum, yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik bir tehdit olarak da değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan yöntem, düşük maliyetli ve zaman açısından verimli olması nedeniyle, benzer havzalarda taşkın riskinin belirlenmesi ve yönetiminde uygulanabilir bir model sunmaktadır. İzlenebilecek bütüncül yaklaşımlar, sadece bugünkü risklerin değil, iklim değişikliğinin yaratacağı gelecekteki tehditlerin de önüne geçilmesine katkı sağlayacaktır. Çalışma sonuçları, afet riski yüksek bölgelerde bilimsel veriye dayalı, sürdürülebilir ve dirençli bir planlama yaklaşımı geliştirilmesinde önemli bir kaynak olarak değerlendirilebilir.

Tahtalı Barajı Havzasının taşkın riskini hesaplamayı amaçlayan bu çalışmada Bulanık Mantık teknikleri kullanılarak gerçeğe uygun sonuçlar elde edilmiştir. Bölgede daha önce benzer bir çalışma yapılmadığından mevcut çalışmanın literatüre ve bölge gelişime katkısı olacağı düşünülmektedir.

Araştırmacıların katkı oranı

Şevki Danacıoğlu: Literatür taraması, Veri çalışması, Makale yazımı.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Aksoy, O., Altaş, E. & Erken, K. (2023). Kentsel alanlardaki taşkın duyarlılığına karşı ekolojik peyzaj tasarım önerilerinin geliştirilmesi: Antalya, Kemer örneği. *Doğal Afet ve Çevre Dergisi*, 9(1), 152-167.
- Arnell, N.W. & Gosling, S.N. (2014). The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*, 134, 387–401.
- Atkinson, P. A. (1996) Geographic information systems for geoscientists: Modelling with (G. F. Bonham-Carter, Oxford: Pergamon Press, 1994). *International Journal of Remote Sensing*, 17(1), 213–214.
- Cabrera, J. S. & Lee, H. S. (2020). Flood risk assessment for Davao Oriental in the Philippines using geographic information system-based multi-criteria analysis and the maximum entropy model. *Journal of Flood Risk Management*, 13(2), e12607.
- CRED. (n.d.). *Centre for research on the epidemiology of disasters-review of disaster events*. Retrieved April 14, 2019, from <https://www.cred.be/publications>.
- Demirbaş, M. & Aydın R., (2020). 21. Yüzyılın en büyük tehdidi: Küresel iklim değişikliği. *Ecological Life Sciences*, 15(4), 163–179.
- Derin Cengiz, L. (2020). *Farklı analitik hiyerarşi süreci yöntemlerinin heyelan duyarlılığı haritalamalarındaki etkinliğinin araştırılması* (Tez No. 689598) [Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Ekşi A. & Kantarlı İ.C., (2020). Su taşkınlarına karşı stratejik risk yönetimi İzmir ili örneği. *Hastane Öncesi Dergisi*, 5(1), 11–27.
- Karakuş, C. B. & Ceylan Demirel, Ş. (2022). Coğrafi bilgi sistemi tabanlı analitik hiyerarşi prosesi kullanılarak taşkın tehlike haritalaması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(4), 1155-1173.
- Kaya, Ç. M. (2018). Taşkın riskinin belirlenmesinde sosyo-demografik ve sosyo-ekonomik özelliklerin önemi. *Afet ve Risk Dergisi*, 1(1), 53-62.
- Kaya, M.Ç., (2022). Taşkın duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemler. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 3(2), 191–209.
- Korkanç, Y. M. & Korkanç, M. (2006). Sel ve taşkınların insan hayatı üzerindeki etkileri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 8(9), 42–50.
- Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü. (2022). *2021 yılı meteorolojik afetler değerlendirmesi*. T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı. <https://www.mgm.gov.tr/files/genel/raporlar/afetlerraporu2021.pdf>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (2021). *2021 yılı Türkiye’de meydana gelen doğa kaynaklı afetler raporu*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- Oğuz, K. & Akın, B. S. (2019). Doğu Akdeniz havzasında sıcaklık, yağış ve aerosol değişiminin incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 244-253.
- Oğuz, E., Oğuz, K. & Öztürk, K., (2022). Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi. *Geomatik Dergisi*, 7(3), 220-234.
- Parsian, S., Amani, M., Moghimi A., Ghorbanian A. & Mahvadi S. (2021). Flood hazard mapping using fuzzy logic, analytical hierarchy process and multi – source geospatial dataset. *Remote Sensing*, 13(23), 4761.

- Sönmez, O. & Hırça, T. (2018). Mudurnu Çayının taşkın kapasitesinin araştırılması. *Engineering Sciences*, 13(2), 106–118.
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2023). *İzmir Tahtalı Barajı havzası taslak koruma planı*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/havza%20koruma%20eylem%20planlar%C4%B1/Tahtali+Barajı+Havza+Koruma+Planı.pdf>
- Tokgözlü, A. & Özkan, E., (2018). Taşkın risk haritalarında AHP yönteminin uygulanması: Aksu Çayı Havzası örneği. *SDÜ Fen – Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (44), 151–176.
- Toprak, A. (2015). *Solhan Deresi Havzası'nın (Bingöl) sel ve taşkın analizi* (Tez no. 425618) [Yüksek Lisans tezi, Fırat Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Ünal, A., Çamcı, G. H. & Tonyaloğlu, E. E. (2022). Çok kriterli karar analizi ile doğal afetlerde haritalama: Aydın ili sel-taşkın riski örneği. *Uludağ Uluslararası Çalışmalar Dergisi*, 6(2), 136–150.
- Yeganeh, N. & Sabri S. (2014). Flood vulnerability assessment in Iskandar Malaysia using multi-criteria evaluation and fuzzy logic. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 8(16), 1794–1806.
- Zadeh, L. A. (1994). Fuzzy logic: Issues, contentions and perspectives. In *IEEE international conference on acoustics, speech, and signal processing (ICASSP)* (pp. VI/183). IEEE. DOI: 10.1109/ICASSP.1994.389912
- Zeyno, A., (2022). *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanarak çok kriterli karar verme yöntemi ile taşkın risk haritasının oluşturulması: Malatya ili örneği* (Tez No. 743027) [Yüksek Lisans tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>