International Journal of Geography and Geography Education

Research Article/Araştırma Makalesi

To Cite This Article: Yurddaş, K., & Karabulut, M. (2026). Fizyografik faktörlerin sel oluşumuna etkisinin analitik hiyerarşi süreci (AHS) ile kantitafif analizi. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 57, 267-294.
https://doi.org/10.32003/igge.1682664

Fizyografik Faktörlerin Sel Oluşumuna Etkisinin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) İle Kantitatif Analizi*

Quantitative Analysis of the Effect of Physiographic Factors on Flood Occurrence with Analytic Hierarchy Process (AHP)

Kemal YURDDAŞ*, Murat KARABULUT

Öz

Bu çalışmada, Gediz Havzası'nda sel duyarlılığının mekânsal dağılımını belirlemek amacıyla, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegre edilerek kapsamlı bir metodoloji uygulanmıştır. Sel olaylarını etkileyen başlıca faktörler olan eğim, yükselti, bakı, jeoloji, toprak, arazi kullanımı ve yağış verileri AHS yöntemi ile ikili karşılaştırmalara tabi tutulmuş ve her bir faktörün sel duyarlılığı üzerindeki göreceli ağırlıkları belirlenmiştir. Bu ağırlıklar doğrultusunda raster tabanlı veri katmanları CBS ortamında birleştirilerek, Gediz Havzası'nın farklı bölgelerinde sel duyarlılık derecelerini temsil eden tematik haritalar üretilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, AFAD tarafından sağlanan 1940–2023 yılları arasındaki tarihsel sel/su baskını kayıtları kullanılarak yoğunluk analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar ile duyarlılık analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek mekânsal tutarlılığın yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle Manisa merkez, Ahmetli, Turgutlu, Salihli, Saruhanlı, Alaşehir, Çiğli ve Menemen gibi bölgelerde hem geçmiş sel olaylarının yoğunlaştığı hem de sel duyarlılığının yüksek olduğu tespit edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Sel; Duyarlılık; ÇKKV; AHS; CBS

Abstract

In this study, a comprehensive methodology was applied by integrating Analytic Hierarchy Process (AHP), one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, and Geographic Information Systems (GIS) to determine the spatial distribution of flood vulnerability in the Gediz Basin. Slope, elevation, aspect, geology, soil, land use and precipitation data, which are the main factors affecting flood events, were subjected to pairwise comparisons by AHS method and the relative weights of each factor on flood vulnerability were determined. In line with these weights, raster-based data layers were combined in GIS environment and thematic maps representing flood vulnerability levels in different regions of the Gediz Basin were produced. In the second stage of the study, an intensity analysis was conducted using historical flood/inundation records provided by AFAD between 1940 and 2023, and the results obtained were evaluated comparatively with the results of the vulnerability analysis and it was seen that the spatial coherence was high. Especially in regions such as Manisa center, Ahmetli, Turgutlu, Salihli, Saruhanlı, Alaşehir, Çiğli and Menemen, both past flood events are concentrated and flood susceptibility is high.
Keywords: Flood; Vulnerability; MCDM; AHP; GIS

* *Bu çalışma, birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

* **Sorumlu Yazar:** Ögr. Gör. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi., kemal.yurddas@cbu.edu.tr

Geliş Tarihi/Recieved: 24.04.2025 **Kabul Tarihi /Accepted:** 03.06.2025 **Ç. Yayınlanma Tarihi/Online Published:** 31.01.2026

GİRİŞ

Doğal afetlerin etkin bir şekilde yönetimi, özellikle sel, taşkın ve su baskını gibi hidrometeorolojik olayların doğru tanımlanmasına ve birbirinden ayrıştırılmasına bağlıdır. Ancak coğrafi literatürde bu kavramlar arasında net ve genel kabul görmüş tanımlar konusunda görüş birliği sağlanamamıştır. Bu bağlamda, özellikle "sel" ve "taşkın" terimleri sıklıkla birbirinin yerine kullanılmakta, bu da kavramsal karmaşaya neden olmaktadır. Sel, büyük miktarda suyun yer yüzeyini kaplamasıyla oluşan doğal bir olaydır (Schneiderbauer & Ehrlich, 2004; Smith & Ward, 1998). AFAD Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğünde sel kavramı, "Suların bulunduğu yerde yükselerek veya başka bir yerden gelerek, genellikle kuru olan yüzeyleri kaplaması olayı" şeklinde tanımlanmaktadır (AFAD, 2014). Taşkın ise akarsular, göller veya denizler gibi doğal su kütlelerinin belirli hidrolojik ve meteorolojik koşullar sonucu kapasitelerini aşarak doğal yataklarından taşması durumunu ifade eder (Kundzewicz & Kaczmarek, 2000). Bu nedenle taşkın, genellikle belirli bir su kaynağına bağlı olarak gelişen sistematik bir süreçtir. Sel olayları ise hem kentsel hem de kırsal alanlarda meydana gelmekle birlikte, afete dönüşme potansiyeli özellikle antropojenik faaliyetlerin yoğun olduğu kentsel alanlarda daha belirgindir (Petouonchi, 2020). Plansız kentleşme, yetersiz altyapı sistemleri ve doğal drenaj dinamiklerinin bozulması gibi insan kaynaklı faktörlerle ilişkili olan bu olaylar, can kayıplarının yanında büyük ekonomik zararlara da yol açabilmektedir (UNISDR, 2004). Kırsal alanlarda ise bu olay, bitkilerin su altında kalıp köklerinin çürümesine ve ölümüne yol açarak tarım alanları için ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca suyun akışıyla birlikte bitkilerin kökünden sökülerek taşınması, özellikle hasat dönemi içerisinde ürünlerin tamamen kaybedilmesine neden olabilmektedir (Smith & Ward, 1998).

Sel ve diğer afet çalışmalarında sıklıkla kullanılan ve karıştırılma potansiyeline sahip "tehlike", "risk" ve "duyarlılık" terimleri, birbirleriyle yakından ilişkili üç temel kavramdır. Dolayısıyla bu kavramların farkları ve çalışmada kullanılan anlamlarının ortaya konulması yapılan analizlerin ve ortaya çıkan bulguların anlaşılmasında kilit rol oynamaktadır. Ayrıca, doğal veya insan kaynaklı olayların bir toplum veya ekosistem üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmede bu kavramların önemi büyüktür (Schneiderbauer & Ehrlich, 2004).

Tehlike (hazard) kavramı can ve mal kayıplarına, yaralanmalara, sosyal ve ekonomik bozulmaya veya çevresel tahribata neden olabilecek potansiyel olay, fenomen veya insan faaliyeti olarak tanımlanmıştır (UNISDR, 2016). Risk kavramı, belirli bir tehlikeden beklenen kayıp derecesi veya meydana gelme olasılığı olarak görülmektedir (Kadıoğlu, 2012). Başka bir deyişle risk, belirli bir tehlikeye maruz kalma durumunun olası sonuçlarını ve bu sonuçların ortaya çıkma ihtimalini içerir (Coppola, 2006). Duyarlılık veya diğer adıyla zarar görebilirlik (vulnerability) ise, bir toplumun, topluluğun veya sistemin belirli bir tehlike karşısında maruz kalabileceği zararların büyüklüğünü belirleyen faktörlerin toplamıdır. Bu faktörler, fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları içerir ve toplumun tehlikelere karşı dayanıklılık kapasitesi ile yakından ilişkilidir (Blaikie vd., 2014). AFAD Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğünde duyarlılık kavramı "farklı tür ve büyüklükteki tehlikeler karşısında, insanların ve yaşam çevrelerinin uğrayabileceği fiziksel, toplumsal, ekonomik veya çevresel zarar ve kayıpların ölçüsü" olarak tanımlanmıştır. Literatürde zarar görebilirlik, kırılganlık, hassasiyet veya savunmasızlık gibi farklı terimlerle de ifade edilen duyarlılık kavramı, doğal ekosistemlerin tehlikelere karşı ne derece savunmasız olduğunu ifade eder. Örneğin, ormansızlaşmış bölgeler, sel tehlikesine karşı daha savunmasızdır çünkü bitki örtüsünün kaybıyla birlikte doğal su döngüsü bozulmuş ve yüzey akışı artmıştır (Adger, 2006).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), sel çalışmalarında kapsamlı veri analizi, modelleme ve karar destek mekanizmaları sunarak önemli rol oynamaktadır. Sel duyarlılık analizleri, CBS'nin sel çalışmalarında en yaygın kullanım alanlarından biridir. CBS, topografik veriler, hidrolojik veriler, meteorolojik veriler ve sosyo-ekonomik veriler gibi çeşitli veri kaynaklarını entegre ederek sel duyarlılığı yüksek bölgelerin haritalandırılmasına ve tespitine olanak sağlar. Bu haritalar, sellerin olası gerçekleşme alanlarını belirleyerek, yerel yönetimlere ve afet yönetim birimlerine önemli veriler sunmaktadır (Pappenberger vd., 2005). Sel çalışmaları, büyük ölçüde selin oluşumunu ve yayılımını önceden tahmin etmeye dayanmaktadır. Bu süreçte CBS ile birlikte Uzaktan Algılama verileri de selin erken tespit edilmesini ve izlenmesini sağlayan önemli bir araçtır. Uzaktan algılama verileri, özellikle topografik altlıkların elde edilmesinde büyük bir öneme

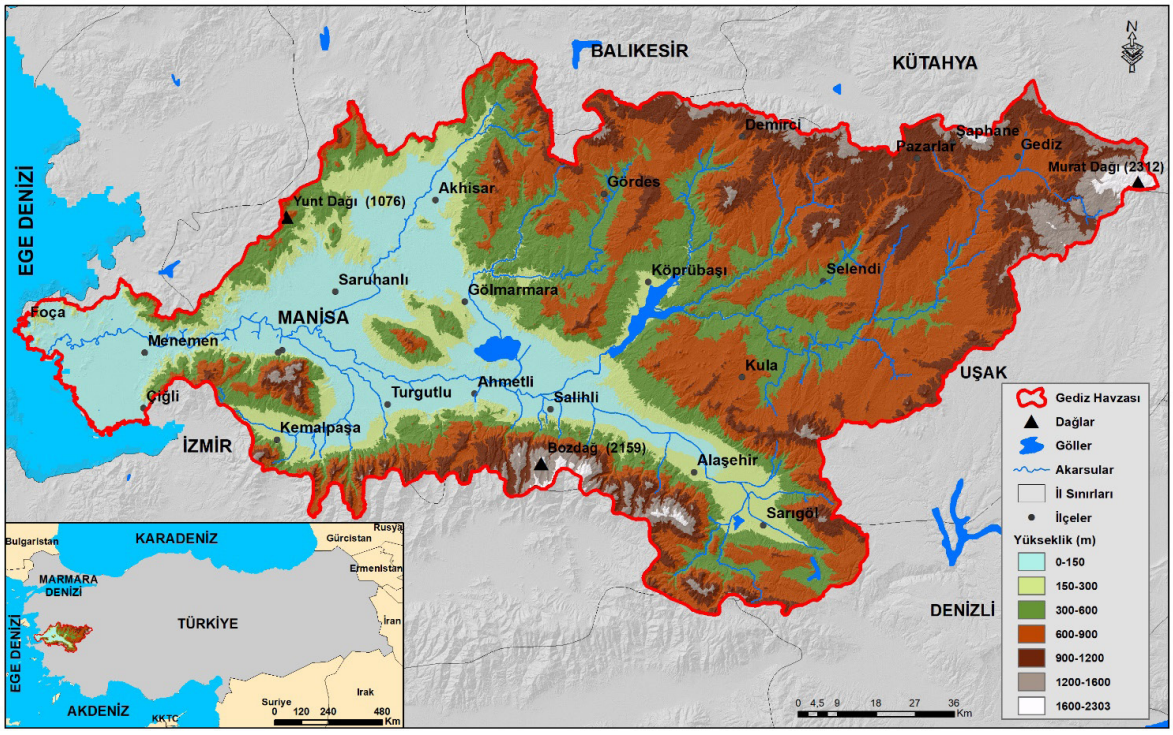
sahiptir. Sayısal yükseklik modelleri (SYM) kullanılarak sel suyu akış yolları, su tutma bölgeleri ve potansiyel sel alanları belirlenebilmektedir (Tate vd., 2021). Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmalarda, özellikle SYM kullanılarak sel duyarlılık haritaları oluşturulmuş ve bu haritalar sel yönetimi süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılmıştır (Sunkar & Tonbul, 2010; Karabulut vd., 2013; Dölek, 2015; Özkan & Tarhan, 2016; Günseli, 2019; Sarıgül & Turoğlu, 2020; Ertan vd., 2021; Yurddaş, 2022; Taş & Yanik, 2022; Ünal vd., 2022; Köysüren, 2024; Kuşcu & Ozdemir, 2025).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) (Multi-Criteria Decision Analysis-MCDA) yöntemleri, afet duyarlılık haritalarının yapılmasında, afete duyarlı alanların belirlenmesinde ve diğer afet çalışmalarında CBS ve Uzaktan Algılama ile birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip çalışmalarda, birçok kriterin dikkate alınması gerekmektedir (Fidan & Ulvi, 2022). ÇKKV temel olarak, birden fazla kriterin ve alternatifin söz konusu olduğu karmaşık durumlarda, en uygun alternatifin seçilmesini sağlayan sistematik bir karar verme yaklaşımıdır (Yoon & Hwang, 1995; Yurddaş, 2022). Bu yöntem, karmaşık problemlerin çözümünde, çok sayıda kriterin veya farklı uzmanların görüşlerini bir araya getirerek doğru ve etkin kararlar alınmasına olanak sağlamaktadır (Roy, 1996). Sel analizleri, coğrafi, hidrolojik, meteorolojik ve sosyo-ekonomik faktörlerin bir arada değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir süreçtir. Ayrıca sel çalışmalarında, topoğrafya verileri, yağış verileri, akarsu yoğunluğu, arazi kullanımı ve nüfus dağılımı gibi kriterler birlikte değerlendirilerek çözümler üretilmektedir (Chen vd., 2011). Özellikle AHS veya TOPSIS gibi ÇKKV yöntemleri, bu kriterlerin göreceli önemini belirlemek ve alternatif çözümler üretmek amacıyla bilimsel araştırmalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Kazakis vd., 2015). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi, ilk defa Myers ve Alpert (1968) tarafından ortaya çıkarılmış, Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilerek bir model olarak bilim dünyasına kazandırılmıştır (Myers & Alpert, 1968; Saaty, 1977; Yaralıoğlu, 2016; Tokgözlü & Özkan, 2018; Dalbudak & Rençber, 2022; Ocak & Bahadır, 2024; Göztepe & Bahadır, 2024; Güneş & Kömüşcü, 2025). AHS, karmaşık karar verme süreçlerini hiyerarşik bir yapı içinde ele alan ve kriterlerin önem düzeylerini ikili karşılaştırmalar yoluyla belirleyen bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntem, araştırmacılara ve karar vericilere tutarlı ve etkin kararlar verme imkânı sağlamaktadır (Saaty, 2008).

Bu çalışmada, Gediz Havzası'nda sel duyarlılığını mekânsal olarak analiz etmek ve potansiyeli yüksek alanları belirlemek amacıyla, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri ile Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımlarından biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi entegre edilerek kapsamlı bir metodoloji izlenmiştir. Böylece, hem mekânsal veri analizinin sağladığı görselleştirme ve ilişkilendirme avantajları, hem de karar verme süreçlerinde farklı kriterlerin ağırlıklandırılmasına olanak tanıyan AHS'nin çok boyutlu değerlendirme kabiliyeti bir araya getirilmiştir. Elde edilen bulguların, sel duyarlılığının belirlenmesinde fizyografik faktörlerin etkisini sayısal verilerle ortaya koyarak, benzer alanlarda yapılacak analiz ve planlamalara metodolojik katkı sağlaması hedeflenmiştir.

ÇALIŞMA ALANI

Türkiye'nin batısında, coğrafi koordinatları 38°04'-39°13' kuzey enlemleri ile 26°42'-29°45' doğu boylamları arasında yer alan Gediz Havzası, yaklaşık 17.500 km²'lik bir alanı kaplayarak önemli bir hidrolojik sistem teşkil etmektedir. Kaynağını Murat Dağları'ndan alan Gediz Nehri, Manisa, Uşak ve Kütahya illerinden geçerek İzmir Körfezi'ne dökülmekte ve akış güzergahı boyunca geniş bir coğrafyayı şekillendirmektedir (Şekil 1). Havzanın sınırları, Manisa (%67), İzmir (%11), Uşak (%10) ve Kütahya (%9) illerinin önemli bir bölümünü içerirken, Denizli, Aydın ve Balıkesir illerinin daha küçük kısımlarını kapsamaktadır.



Şekil 1: Çalışma Alanı Lokasyon Haritası

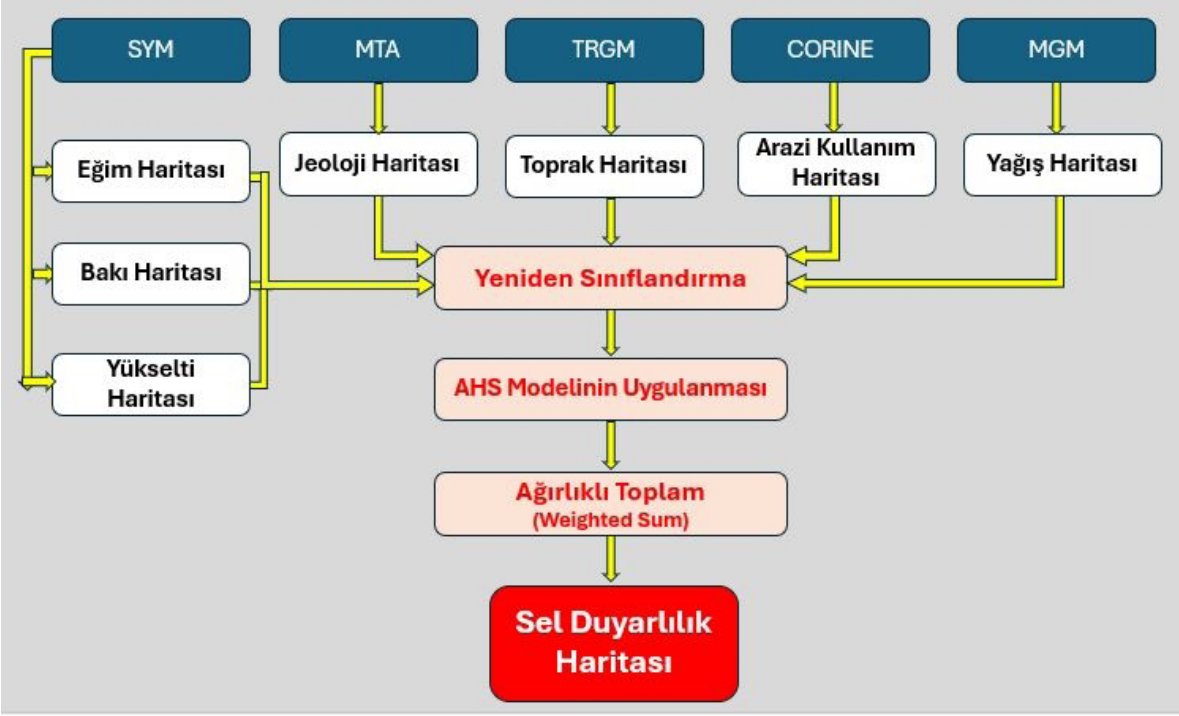
Jeolojik açıdan incelendiğinde, Gediz Havzası'nın temel morfolojik yapısı büyük ölçüde Neojen döneminde meydana gelen tektonik çöküntülerle ilişkilidir. Bu tektonik olaylar sonucunda oluşan Graben yapıları, havzanın belirgin doğu-batı yönlü uzanışını açıklamaktadır (Bozkurt Çiftçi & Bozkurt, 2008). Gediz Graben Sistemi, bölgesel ölçekte önemli fay zonları olan kuzeydeki Batı Anadolu Fay Zonu ile güneydeki Büyük Menderes Grabeni arasında yer alması nedeniyle aktif tektonik süreçlerin etkisi altındadır. Bu tektonik hareketlilik, havzanın zaman içindeki genişlemesine ve derinleşmesine katkıda bulunmuş, bu durum da bölgedeki akarsu sistemlerinin yatağını ve akış dinamiklerini doğrudan etkilemiştir. Özellikle Gediz Nehri ve kolları, havzanın mevcut jeomorfolojik şekillenmesinde merkezi bir rol oynamıştır (Bozkurt & Sözbilir, 2004).

Gediz Havzası'nın morfolojik yapısı, farklı yüksekliklere sahip dağlık araziler ile geniş ovalık sahaların bir mozaiğini sunmaktadır. Havza boyunca uzanan sıra dağlar hem topografik çeşitliliği artırmakta hem de bölgesel iklim koşulları üzerinde belirleyici bir etki yapmaktadır. Havzanın güneyinde Bozdağlar (2159 m.), kuzeyinde Yunt Dağı (1076 m.) ve doğusunda Murat Dağı (2312 m.) gibi önemli yükseltiler bulunmaktadır. Dağlık alanların dışında kalan havza topografyası ise, öncelikle Gediz Nehri ve onun kolları tarafından derince yarılmış vadilerle karakterize olmaktadır. Bu vadiler boyunca, özellikle akarsuların taşıdığı alüvyon malzemeyle oluşmuş düzlükler ve geniş tabanlı ovalar yaygın olarak görülmektedir (Gündoğdu & Kocataş, 2006). Bu vadiler, bölgenin jeomorfolojik yapısının temel unsurlarından biri olarak hem nehir akışını düzenlemekte hem de çevresel şartları şekillendirmektedir (Güney & Turoglu, 2020).

İklim özellikleri bakımından Gediz Havzası, genel olarak Akdeniz ikliminin tipik özelliklerini sergilemektedir (Türkeş, 2011). Ancak, havzanın iç kesimlerine doğru ilerledikçe ve yüksek kesimlerde, karasal iklimin etkileri belirginleşmektedir (Güney & Turoglu, 2020). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün (2019) verilerine göre, Gediz Havzası'ndaki arazi kullanımının büyük bir bölümünü (%52) tarım alanları oluşturmaktadır. Şehirleşme ve sanayi bölgeleri de %2'lik bir paya sahip olup, toplamda doğal olmayan alanların oranı %54'e ulaşmaktadır. Doğal alanlar ise %18 ormanlar, %25 makilikler ve %3 seyrek veya hiç bitki örtüsü bulunmayan araziler şeklinde dağılım göstermektedir.

MATERYAL VE METOT

Gediz Havzası'nda sel duyarlılığını belirlemek amacıyla, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yönteminin entegrasyonuna dayalı bir metodoloji izlenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde; veri toplama, harita üretimi, verilerin yeniden sınıflandırılması, AHS ile ağırlıklandırma ve CBS ortamında Ağırlıklı toplam Analizi (Weighted Sum) ile sel duyarlılık haritalarının üretilmesi olmak üzere beş temel aşamadan oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Sel duyarlılık analizi iş akış şeması

Çalışmanın ilk aşamasında, Gediz Havzası'nın fiziki ve beşerî coğrafya özelliklerini temsil eden çeşitli veri kaynakları kullanılarak haritalar üretilmiştir. Bu kapsamda, Alos Palsar 12,5 metre mekânsal çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak havzanın eğim, bakı ve yükselti haritaları üretilmiştir (ASF, 2023). Ayrıca, doğal afetlerden en fazla zarar gören unsurun insan olduğu gerçeğinden hareketle, çalışma alanının beşerî özellikleri de dikkate alınmış ve sel afetlerinde önemli bir rol oynayan arazi kullanımı haritası, 2024 yılına ait Sentinel 2 uydu verileri kullanılarak oluşturulmuştur (Ocak & Bahadır, 2020). MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) tarafından sağlanan 1/100.000 ölçekli jeolojik paftalardan, ArcGIS 10.8 yazılımı ile sayısallaştırma yöntemi kullanılarak Gediz Havzası litolojik birimler haritası üretilmiştir. TRGM (Toprak Reformu Genel Müdürlüğü) tarafından sağlanan toprak verileri kullanılarak havzanın toprak gurupları haritası üretilmiş, toprak türlerinin hidrolik özellikleri analiz edilmiştir. MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) tarafından sağlanan günlük toplam yağış verilerinden hesaplanan yıllık toplam yağış değerleri kullanılarak, IDW interpolasyon yöntemiyle havzanın yağış dağılım haritası üretilmiştir.

Üretilen tüm haritalar sel duyarlılık analizine uygun şekilde yeniden sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma, literatürde yaygın olarak kullanılan sel duyarlılık indekslerine göre yapılmıştır (Sunkar & Tonbul, 2010; Dölek, 2015; Özkan & Tarhan, 2016; Tokgözlü & Özkan, 2018; Günseli, 2019; Ocak & Bahadır, 2020; Sarıgül & Turoğlu, 2020; Yurddaş, 2022; Taş & Yanik, 2022; Ocak, 2023; Köysüren, 2024; Kuşcu & Ozdemir, 2025). Haritaların farklı ölçeklerde ve birimlerde olması nedeniyle, veriler

normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Normalizasyon, verilerin 0-1 arasında bir ölçeğe dönüştürülmesini sağlamıştır. Bu sınıflandırma, analiz sürecinde kriterlerin tutarlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamıştır. Çalışmada kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) sayesinde, sel oluşumunu etkileyen eğim, yükselti, bakı, jeoloji, toprak yapısı, arazi kullanımı ve yağış faktörleri ikili karşılaştırmalarla değerlendirilmiş ve her bir kriterin sel duyarlılığı üzerindeki göreli ağırlığı belirlenmiştir. Bu ağırlık değerleri, CBS ortamında raster tabanlı veri katmanlarıyla birleştirilerek mekânsal analizler gerçekleştirilmiş ve bölgesel ölçekte sel duyarlılığı haritaları oluşturulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından sağlanan 1940–2023 yılları arasındaki tarihsel sel/su baskını olay verileri kullanılarak, Gediz Havzası'nda yaşanan afetlerin mekânsal dağılımını görselleştirmek amacıyla bir yoğunluk (kernel density) haritası oluşturulmuştur. Bu yoğunluk haritası, sel olaylarının mekânsal dağılımını yansıtarak, belirli alanlardaki birikim noktalarını ortaya koymuştur. Oluşturulan bu yoğunluk haritası, aynı çalışmada üretilen sel duyarlılık haritası ile birlikte değerlendirilerek karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırma, modelleme sonuçlarının sahadaki tarihsel afet verileriyle olan tutarlılığını değerlendirme ve duyarlılık haritasının doğruluk düzeyini test etme açısından önemli bir aşama olmuştur. Bu yaklaşım, sadece mevcut durumun tespit edilmesine değil, aynı zamanda gelecekteki planlama çalışmalarına da yön gösterecek bilimsel temelli bir karar destek mekanizması sunmaktadır.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Analizi

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) (Multi-Criteria Decision Analysis-MCDA) bir karar sürecinde birden fazla kriterin eş zamanlı olarak değerlendirilmesini sağlayan analitik bir uygulamadır. Bu yöntem, karar vericilere farklı seçenekler arasında karşılaştırmalar yapma ve en uygun seçeneği tercih etme imkânı sunar (Saaty, 1980). Geleneksel karar verme yöntemleri genellikle tek bir temel üzerine yoğunlaşırken, ÇKKV yöntemleri birden fazla kriteri göz önünde bulundurarak daha bütüncül ve sağlıklı kararların alınmasını sağlamaktadır (Malczewski, 1999). ÇKKV'nin temelinde, araştırmacının veya karar vericinin birden fazla kriteri dikkate alarak alternatifler arasında bir seçim yapması yatmaktadır (Saaty, 2008). Bu kriterler, araştırılan konuya göre değişiklik göstermekle birlikte, doğal veya yapay çok çeşitli faktörleri içerebilir (Hwang & Yoon, 1981). ÇKKV yöntemlerinin teknik yapısı; karar verme probleminin yapısal olarak modellenmesi, kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi, kriterlere ağırlık atanması, alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi ve nihai kararın verilmesi olmak üzere beş temel aşamadan oluşur. İlk olarak, karar probleminin kapsamı ve hedefi netleştirilerek karar kriterleri tanımlanır. Bu kriterler sayısal (nicel) ya da nitel olabilir. Daha sonra her bir kriterin karar sürecindeki göreli önemini yansıtmak üzere ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilir (Zeleny, 1982). Alternatiflerin her bir kritere göre performans düzeyleri bir karar matrisi şeklinde yapılandırılır. Bu matris, normalize edildikten sonra kriter ağırlıklarıyla çarpılarak alternatiflerin toplam puanları elde edilir. Bu hesaplamalar doğrultusunda, alternatifler arasında sıralama yapılır ya da en uygun seçenek seçilir. Kullanılan yönteme bağlı olarak (AHS, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE, PROMETHEE vb.), karar matrisinin oluşturulması, normalize edilme biçimi, uzaklık ölçütleri veya tercih fonksiyonları değişiklik göstermektedir. Bu yapı sayesinde ÇKKV yöntemleri, çok boyutlu ve çok aktörlü karar problemlerine sistematik ve karşılaştırılabilir çözümler sunar (Saaty, 2008).

ÇKKV yöntemleri, afet risk haritalarının yapılmasında, afete duyarlı alanların belirlenmesinde ve diğer afet çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Fidan & Ulvi, 2022). Dolayısıyla ÇKKV yöntemleri sel duyarlılık, sel risk değerlendirmesi, sel kontrol önlemlerinin belirlenmesi ve sel sonrası iyileştirme çalışmalarında da sıklıkla kullanılmaktadır (Merz vd., 2010).

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

ÇKKV yöntemlerinden birisi olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi, ilk defa Myers ve Alpert (1968) tarafından ortaya çıkarılmış, Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilerek bir model olarak bilim dünyasına kazandırılmıştır (Myers & Alpert, 1968; Saaty, 1977; Yaralıoğlu, 2016; Tokgözlü & Özkan, 2018; Dalbudak & Rençber, 2022). AHS yönteminde hakkında karar verilecek olan olay veya problem hiyerarşik bir yapıya ayrılır. Hiyerarşik yapı, karar problemini amaç, kriterler ve alternatifler olmak üzere üç temel seviyeye ayırır: (Saaty, 1980). Bu yapı araştırmacının veya karar vericinin, problemi daha

küçük ve yönetilebilir parçalara ayırarak, her bir bileşenin göreceli önemini daha net bir şekilde değerlendirmesine imkân tanımaktadır (Malczewski, 1999).

AHS, yönteminde oluşturulan hiyerarşik yapı içerisinde yer alan alternatif ve kriterlerin önem düzeyleri ikili karşılaştırmalar yoluyla değerlendirilir. Bu karşılaştırmalar, Saaty (1980) tarafından önerilen 1'den 9'a kadar olan bir ölçek kullanılarak yapılır. Bu ölçeğe göre; karşılaştırılan iki kriter için atanan değerin 1 olması, bu iki kriterin eşit öneme sahip olduğunu ifade eder. Her bir kriter için atanan değerin 1'den yüksek bir tek sayı olması birinci kriterin önem derecesinin ikinci kriterden yüksek olduğu anlamına gelir. Bu şekilde 9'a kadar değerler atanır ve atanan değer büyüdükçe birinci kriterin önem derecesi ikinci kritere göre daha fazla olur. Atanan çift sayılar ise, alt ve üstündeki tek sayı değerlerinin arasında bir önem derecesini ifade eder (Tablo 1).

Tablo 1: AHS Değer Hiyerarşi Tablosu (Saaty, 2008)

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumu
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumu
7	1. Faktörün 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. Faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2,4,6,8	Ara değerler

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile belirlenen kriter ağırlıkları ve yeniden sınıflandırılan haritalar kullanılarak, CBS ortamında Ağırlıklı toplam (Weighted Sum) işlemi gerçekleştirilmiştir. Ağırlıklı toplam işlemi sonucunda elde edilen sel duyarlılık dereceleri 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek şeklinde tanımlanmıştır.

Kernel Yoğunluk Tahmini (Kernel Density Estimation – KDE)

Bu çalışmada, Gediz Havzası'nda geçmişte meydana gelen sel olaylarının mekânsal yoğunluğunu analiz etmek ve coğrafi olarak yoğunlaştığı bölgeleri belirlemek amacıyla Kernel Yoğunluk Tahmini (Kernel Density Estimation – KDE) yöntemi kullanılmıştır. KDE, bir olay kümesinin sürekli bir yoğunluk yüzeyini tahmin etmek için kullanılan non-parametrik bir tekniktir (Silverman, 2018). Bu yöntem, olayların gerçekleştiği noktaların etrafına bir ağırlık fonksiyonu uygulayarak, olayların mekânsal olarak nerede kümelendiğini görselleştirmeye olanak tanımaktadır (Bailey & Gatrell, 1995).

KDE'nin temel prensibi, her bir veri noktasının etrafına belirli bir genişlikte (bant genişliği veya bandwidth) bir kernel fonksiyonu yerleştirmektir. Bu kernel fonksiyonu, merkezdeki noktalara en yüksek ağırlığı verirken, merkezden uzaklaştıkça ağırlığı azaltır. Yaygın olarak kullanılan kernel fonksiyonları arasında Gaussiyen, Kuadratik ve Üniform kernel bulunmaktadır (Wand & Jones, 1994). Bu çalışmada, yaygın kullanımı ve pürüzsüz bir yoğunluk yüzeyi üretme özelliği nedeniyle Gaussiyen kernel fonksiyonu tercih edilmiştir. Gaussiyen kernel fonksiyonu matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir (Silverman, 2018):

$$K = (x - x_{i;}h) = \frac{1}{(2\pi h^2)^{\frac{d}{2}}} \exp\left(-\frac{\| \mathrm{x} - \mathrm{xi} \|^2}{2h^2}\right)$$

Burada:

- x, yoğunluğun tahmin edildiği konumu,
- xi, i-inci veri noktasının konumunu,
- h, bant genişliğini (bandwidth),

- d, uzayın boyutunu (bu çalışmada d=2 yani enlem ve boylam),
- ||x−xi||, x ve xi arasındaki Öklid mesafesini,
- exp, doğal logaritmanın tabanını temsil etmektedir.

Yoğunluk tahmini f(x), tüm veri noktaları üzerindeki kernel fonksiyonlarının toplamının, toplam nokta sayısına (n) ve bant genişliğinin uygun bir fonksiyonuna bölünmesiyle elde edilir (Scott, 1992):

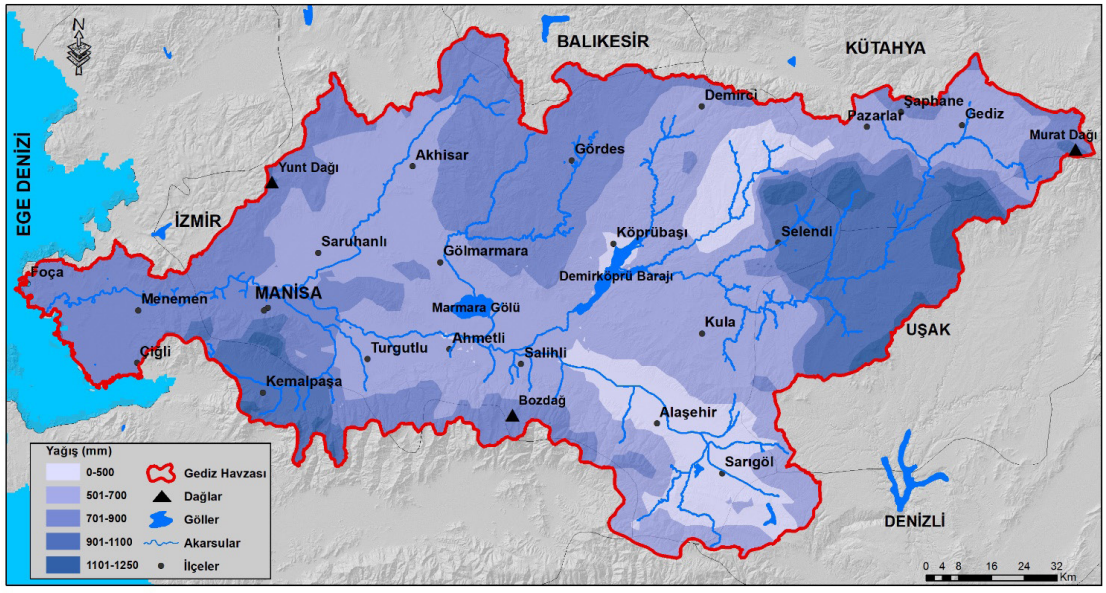
$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

KDE yöntemi, özellikle afet yönetimi, çevresel risk analizleri ve suç dağılımı gibi olayların yerel yoğunluklarının anlaşılmasının kritik olduğu alanlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır (Levine, 2004; Kim & Scott, 2012). Bu çalışmada da benzer şekilde, AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) kayıtlarından elde edilen tarihsel sel/su baskını verileri CBS'ye entegre edilerek havza genelinde olayların mekânsal yoğunluğu KDE metoduyla görselleştirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler

Yağış: Sel olayları literatürde meteorolojik kökenli afetler sınıfına dahil edilmektedir. Dolayısıyla sellerin meydana gelmesinde etkili olan en önemli faktör yağışlardır (Özşahin & Kaymaz, 2013; Hoque vd., 2019; Ertan vd., 2021). Gediz Havzası'nın yağış haritası, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) ait Manisa, Akhisar, Salihli ve Gediz meteoroloji istasyonlarına ait günlük toplam yağış verilerinden hesaplanan yıllık toplam yağış değerleri kullanılarak, CBS ortamında üretilmiştir. Elde edilen yağış verileri, literatürde yaygın olarak kullanılan yağış sınıflandırma yöntemlerinden faydalanılarak bölgenin hidrolojik dinamiklerine uygun bir şekilde sınıflandırılmıştır (Sunkar & Tonbul, 2010; Özkan & Tarhan, 2016; Günseli, 2019; Ertan vd., 2021; Ünal vd., 2022; Köysüren, 2024). Bu doğrultuda havzanın yağış özellikleri 5 sınıfa ayrılarak haritalanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3: Gediz Havzası'nda Yıllık Toplam Yağışların Mekânsal Dağılımı

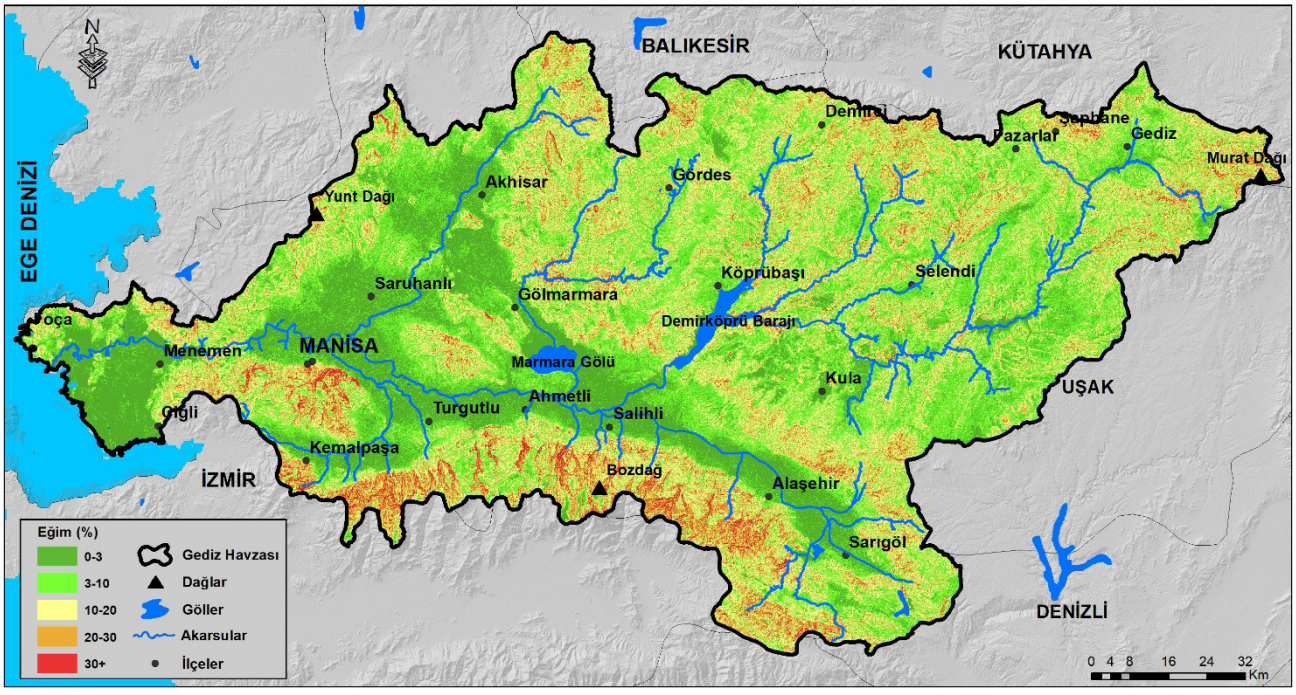
Sınıflandırılan yağış değerleri, milimetre (mm) cinsinden hesaplanmış, her bir sınıf için AHS yöntemine göre 1 ile 9 arasında etki puanları verilmiş ve her bir sınıfın sel duyarlılığı üzerindeki ağırlık değeri elde edilmiştir (Tablo 2).

Gediz Havzası'nda yıllık ortalama yağış miktarlarının mekânsal dağılımı dikkate alındığında, yağışın büyük ölçüde 501–700 mm ve 701–900 mm aralığında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 3). 501–700 mm aralığında yağış alan bölgeler havza yüzeyinin %44'lük kısmını oluştururken, 701–900 mm aralığındaki alanlar toplam yüzeyin %31,6'sını kapsamaktadır (Tablo 2). Bu iki sınıf, havzanın toplam alanının yaklaşık %75,6'sını oluşturmaktadır ve havzanın genelinde orta düzeyde bir yıllık yağış rejiminin hâkim olduğunu göstermektedir. En az yağış alan sınıf olan 0–500 mm aralığı, havza genelinde %9,8'lik bir alana karşılık gelmekte olup, 901–1100 mm yağış aralığına sahip alanlar ise havzanın %12'sini oluşturmaktadır. En yüksek yağış sınıfı olan >1100 mm ve üzeri yağış alan yerler sadece %2,6'lık küçük bir alan kaplamaktadır (Tablo 2).

Tablo 2: Yağış Sınıflarının AHS İkili Karşılaştırma Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Yağış (mm)	0-500	501-700	701-900	901-1100	> 1100	Kriter Ağırlığı		Alan (km²)	Oran (%)
0-500	1	3	4	6	8	0,483	48,3 %	1648,1	9,8
501-700	1/3	1	3	4	6	0,258	25,8 %	7429,8	44
701-900	1/4	1/3	1	3	4	0,142	14,2 %	5344,3	31,6
901-1100	1/6	1/4	1/3	1	3	0,077	7,7 %	2034,2	12
> 1100	1/8	1/6	1/4	1/3	1	0,040	4 %	437,8	2,6

Eğim: Eğim, sel duyarlılığı analizlerinde önemli bir kriter olarak kabul edilmektedir. Çünkü eğim, havzadaki yüzeysel akışın yönünü ve hızını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür (Merz vd., 2010). Gediz Havzası'nın eğim haritası, SYM verileri kullanılarak ArcGIS 10.8 yazılımı üzerinden üretilmiştir. Havzanın eğim özellikleri 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4). Eğim sınıfları, literatürde yaygın olarak kullanılan sınıflandırma kriterleri ve havzanın topografik yapısı dikkate alınarak belirlenmiştir (Sunkar & Tonbul, 2010; Özkan & Tarhan, 2016; Günseli, 2019; Ertan vd., 2021; Ünal vd., 2022; Köysüren, 2024).



Şekil 4: Gediz Havzası Eğim Haritası

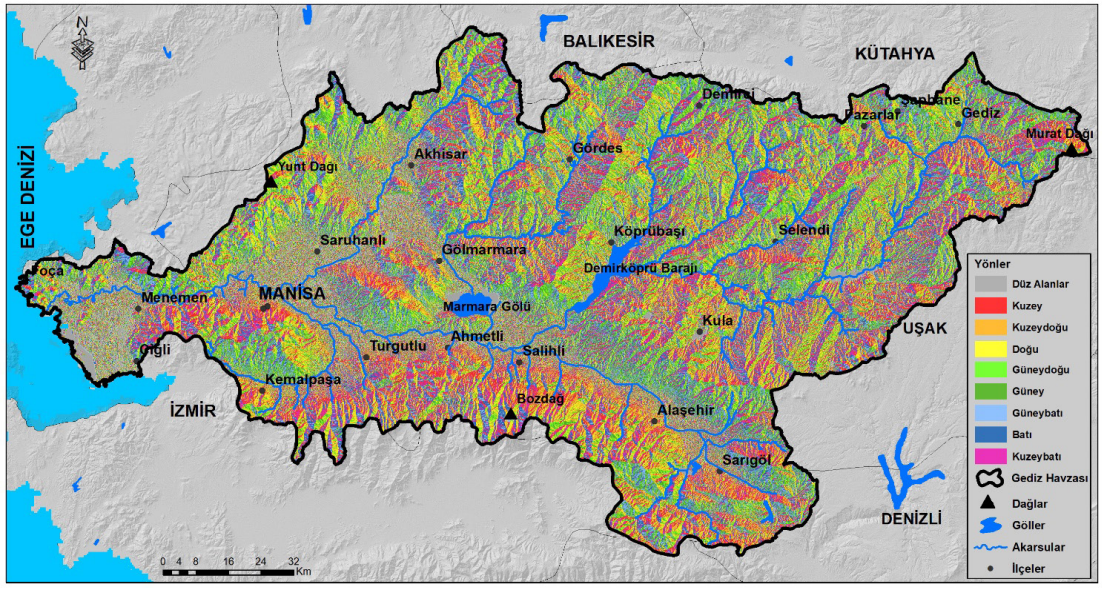
Belirlenen her bir eğim sınıfı için AHS yöntemine göre 1 ile 9 arasında etki puanları verilmiş ve sel duyarlılığı üzerindeki ağırlık değerleri elde edilmiştir (Tablo 3). Yapılan çalışmalarda (Sunkar & Tonbul, 2010; Dölek, 2013, 2015; Dölek & Avcı, 2017; Ogato vd., 2020; Ocak & Bahadır, 2020; Ertan vd., 2021) yüksek eğimli sahalardan hızlı şekilde akışa geçen yağış sularının az eğimli ve düz alanlarda büyük kütleler oluşturarak sel ve taşkınlara sebebiyet verdiği ifade edilmiştir. Bu nedenle etki puanları verilirken eğim derecesiyle duyarlılık durumu ters orantılı olacak şekilde düşünülmüştür. Yani eğim azaldıkça sel duyarlılığı artar varsayımına göre ağırlıklandırma yapılmıştır.

Gediz Havzası'nın eğim özellikleri incelendiğinde, alanın büyük bir bölümünün düşük ve orta eğim değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 0–3° aralığındaki çok düşük eğimli sahalar 3698,1 km²lik kapladığı alanla havzanın yaklaşık %21,9'unu oluşturmaktadır (Tablo 3). 3–10° eğim sınıfı ise, havzanın %35,9 gibi geniş bir bölümünü kaplamakta olup, böylece Gediz Havzası'nın büyük bir bölümünün düşük eğimli arazilerden oluştuğu görülmektedir. %0-3 ve %3-10 arasındaki eğim sınıfları, havzanın toplam alanının önemli bir kısmını (%57,8) kapsamaktadır. Bu düşük eğimli alanlar, genellikle ovalık bölgeler, platolar ve geniş vadi tabanları ile karakterizedir (Şekil 4). 10–20° eğim aralığı, 5005 km² alanıyla toplam havza alanının %29,7'sini, 20–30° aralığındaki alanlar %9,9'unu oluşturmakta olup, 1671,6 km²'lik bir alan teşkil etmektedir. 30° üzeri eğime sahip alanlar ise 436,8 km² yayılım alanıyla havzanın sadece %2,6'sını oluşturmaktadır (Tablo 3).

Tablo 3: Eğim Sınıflarının AHS İkili Karşılaştırma Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Eğim (%)	0-3	3-10	10-20	20-30	>30	Kriter Ağırlığı		Alan (km²)	Oran (%)
0-3	1	3	4	6	8	0,483	48,3 %	3698,1	21,9
3-10	1/3	1	3	4	6	0,258	25,8 %	6061,8	35,9
10-20	1/4	1/3	1	3	4	0,142	14,2 %	5005	29,7
20-30	1/6	1/4	1/3	1	3	0,077	7,7 %	1671,6	9,9
> 30	1/8	1/6	1/4	1/3	1	0,040	4 %	436,8	2,6

Bakı: Bakı, bir yeryüzü şeklinin güneşe göre konumunu ifade eden temel bir topografik faktör olup, güneşlenme süresi, buharlaşma, toprak nemliliği, bitki örtüsü dağılışı ve hidrolojik süreçler üzerinde önemli etkilere sahiptir (Malczewski, 2006). Gediz Havzası'nın bakı haritası, SYM verileri kullanılarak üretilmiştir. Bakı, yeryüzünün güneşe bakan yönünü ifade eder ve genellikle kuzey, güney, doğu, batı, kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu, güneybatı ve düz olmak üzere 9 sınıfa ayrılır (Şekil 5).



Şekil 5: Gediz Havzası Bakı Haritası

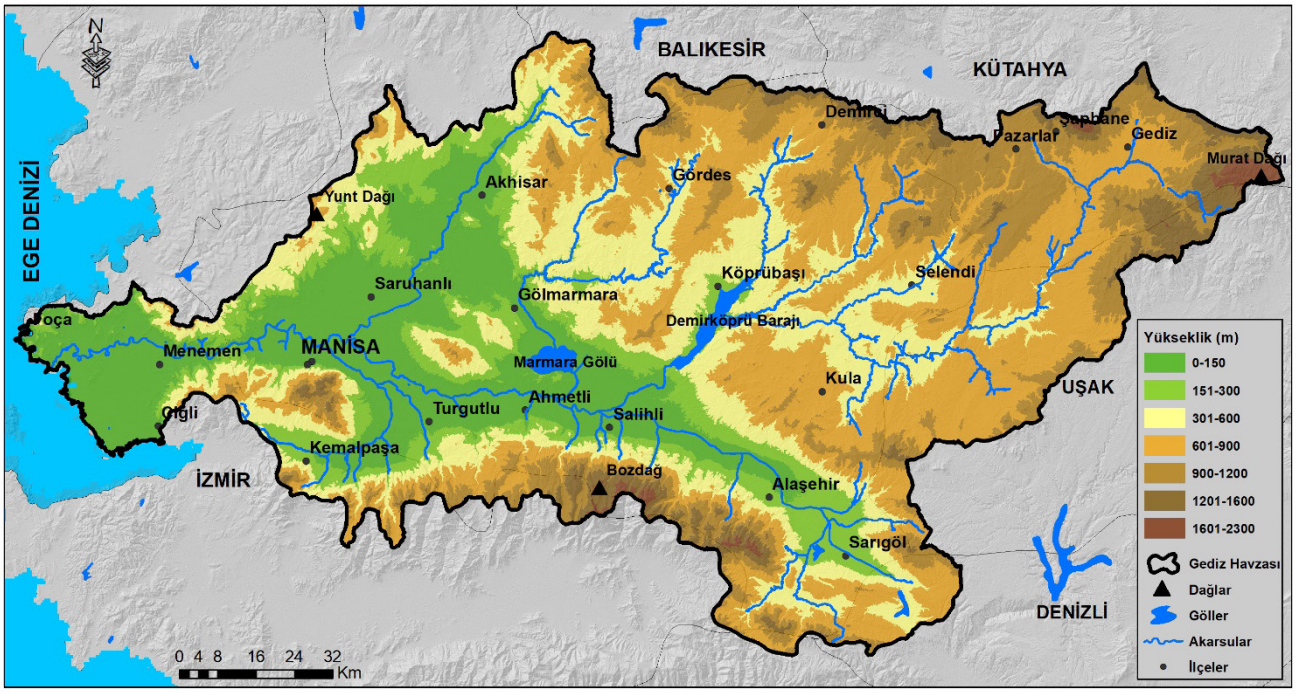
Havzanın bakı sınıfları, sel duyarlılık analizlerinde kullanılmak üzere literatürde yaygın olarak kullanılan sınıflandırma kriterleri ve havzanın topografik yapısı dikkate alınarak belirlenmiştir (Sunkar & Tonbul, 2010; Dölek, 2015; Özkan & Tarhan, 2016; Dölek & Avcı, 2017; Günseli, 2019; Ertan vd., 2021; Ünal vd., 2022; Köysüren, 2024). Bu doğrultuda, havza güneyli bakılar, kuzeyli bakılar, doğu-batı ve düz alanlar olmak üzere 4 sınıfa ayrılarak, her bir bakı sınıfı için AHS yöntemine göre 1 ile 9 arasında etki puanları verilmiş ve her bir sınıfın sel duyarlılığı üzerindeki ağırlık değerleri elde edilmiştir (Tablo 4).

Analiz sonuçlarına göre, yaklaşık 6269,6 km²'lik alan, %37,1 oran ile güney, güneydoğu ve güneybatı yönlerine bakan eğim yüzeylerinden oluşmaktadır. Havzanın %33,4'ünü ise 5631,5 km² alanı ile kuzeyli bakılar oluşturmaktadır. Doğu ve batı yönlü yüzeyler, 4252,4 km²'lik bir alanı kaplamakta olup, toplam havza alanının %25,2'sini teşkil etmektedir. Düz alanlar ise, %4,3'lük oran ve 719,7 km² alanı ile en küçük sınıfı temsil etmekte olup genellikle ova ve düzlüklerde yer almakta ve su birikmesi ile sel duyarlılığı açısından kritik alanlar olarak değerlendirilmektedir (Tablo 4).

Tablo 4: Bakı Sınıflarının AHS İkili Karşılaştırma Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Bakı	Düz Alanlar	Güneyli Bakılar	Doğu-Batı	Kuzeyli Bakılar	Kriter Ağırlığı		Alan (km²)	Oran (%)
Düz Alanlar	1	3	6	8	0,577	57,7 %	719,7	4,3
Güneyli Bakılar	1/3	1	3	6	0,263	26,3 %	6269,6	37,1
Doğu-Batı	1/6	1/3	1	3	0,110	11 %	4252,4	25,2
Kuzeyli Bakılar	1/8	1/6	1/3	1	0,050	5 %	5631,5	33,4

Yükselti: Gediz Havzası, batıdan doğuya doğru yükselen karmaşık bir topografik yapıya sahiptir (Şen, 2018). Sel duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, yükselti verileri önemli bir girdi olarak kullanılmaktadır (Malczewski, 2006). Yağış sularının eğim boyunca akarak daha alçak sahalarda büyük kütleler oluşturması ile seller meydana gelmekte ve yükselti dolaylı bir etken olarak öne çıkmaktadır (Rahmati vd., 2016). Ayrıca yükselti faktörü bölgenin iklim ve eğim özellikleri üzerinde de etkili olarak sel oluşumunda önemli bir etken olarak görülmektedir (Özcan, 2017; Ünal vd., 2022). Bu çalışmada, Gediz Havzası'nın yükselti haritası, SYM verileri kullanılarak ArcGIS 10.8 yazılımı ile üretilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: Gediz Havzası Yükselti Haritası

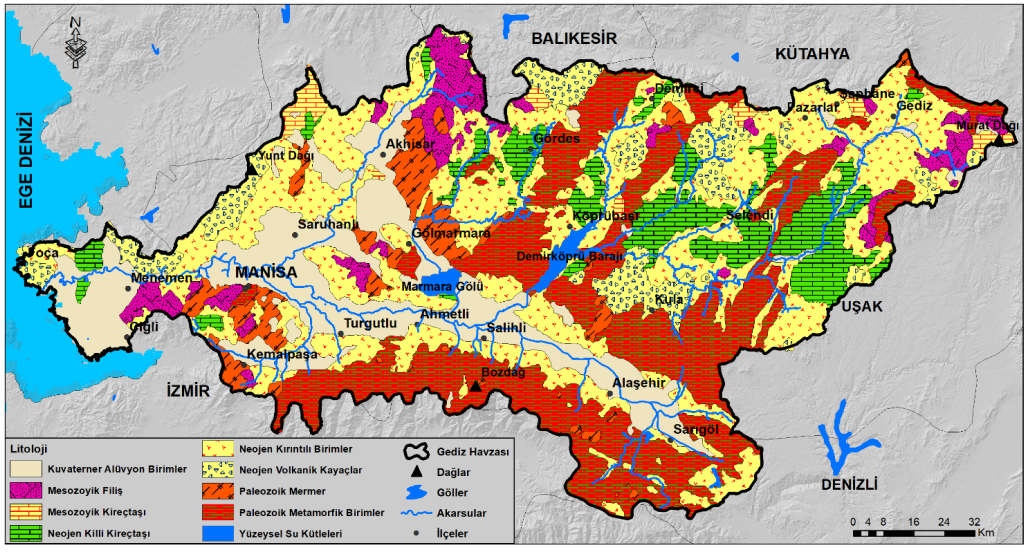
Yükselti değerleri, metre cinsinden hesaplanmış ve sel duyarlılık analizine uygun şekilde, literatürde yaygın olarak kullanılan sınıflandırma kriterleri ve havzanın morfolojik özellikleri göz önünde bulundurularak gruplandırılmıştır (Sunkar & Tonbul, 2010; Dölek, 2015; Özkan & Tarhan, 2016; Dölek & Avcı, 2017; Günseli, 2019; Ertan vd., 2021; Ünal vd., 2022; Köysüren, 2024). Bu doğrultuda, 7 sınıfa ayrılarak, her bir yükselti sınıfı için AHS yöntemine göre 1 ile 9 arasında etki puanları verilmiş ve her bir sınıfın sel duyarlılığı üzerindeki ağırlık değerleri elde edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5: Yükselti Sınıflarının AHS İkili Karşılaştırma Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Yükselti (m)	0-150	151-300	301-600	601-900	901-1200	1201-1600	1601-2303	Kriter Ağırlığı		Alan (km²)	Oran (%)
0-150	1	2	3	5	7	8	9	0,357	35,7 %	3241,5	19,2
151-300	1/2	1	2	3	5	7	8	0,266	26,6 %	1815	10,7
301-600	1/3	1/2	1	2	3	5	7	0,171	17,1 %	3698,2	21,9
601-900	1/5	1/3	1/2	1	2	3	5	0,093	9,3 %	4890,1	28,9
901-1200	1/7	1/5	1/3	1/2	1	2	3	0,055	5,5 %	2398,6	14,2
1201-1600	1/8	1/7	1/5	1/3	1/2	1	2	0,034	3,4 %	733,7	4,3
1601-2303	1/9	1/8	1/7	1/5	1/3	1/2	1	0,023	2,3 %	122,1	0,7

Analiz sonuçlarına göre, 0–150 m ve 151–300 m yükselti aralıkları, toplamda %29,9'luk bir alan kaplamakta olup, bu düşük rakımlı bölgeler drenajın sınırlı olması nedeniyle sel duyarlılığı açısından kritik öneme sahiptir. 301–600 m yükselti aralığı, %21,9'luk alanla ikinci en yaygın yükselti sınıfını oluşturmaktadır. Gediz Havzası'nda en geniş alan 601–900 metre yükselti bandında yer almakta olup, bu alan 4890,1 km² ile toplam alanın %28,9'unu kapsamaktadır. 901–1200 m aralığında yer alan sahalar, toplam alanın %14,2'sini teşkil etmektedir. Daha yüksek rakımlar olan 1201–1600 m (%4,3) ve 1601–2303 m (%0,7) arasındaki alanlar ise sınırlı bir yayılım göstermekte ve çoğunlukla dağlık bölgeleri kapsamaktadır (Tablo 5).

Jeoloji: Gediz Havzası, aktif tektonik hareketlerin şekillendirdiği önemli bir graben sisteminde yer alan bir çöküntü alanıdır. Havzanın jeolojik yapısı, kayaç türleri ve geçirimlilik özellikleri gibi faktörler, hidrolojik süreçleri ve dolayısıyla sel oluşumunu doğrudan etkilemektedir (Saroglu, 1992; Bozkurt Çiftçi & Bozkurt, 2008). Genel olarak geçirimliliği düşük olan kayaçlarla kaplı sahalarda suyun yer altına sızma kapasitesi azalacağından sel oluşma potansiyeli artmaktadır (Hoşgören, 2010; Tokgözlü & Özkan, 2018). Bunula birlikte sellerin meydana geldiği sahalar göz önüne alındığında alüvyonlarla kaplı alanların en duyarlı sahalar olduğu görülmektedir (Ocak & Bahadır, 2020; Dursun, 2022; Köysüren, 2024). Gediz Havzası'nın jeolojik haritası, MTA verileri kullanılarak ArcGIS 10.8 yazılımı üzerinden sayısallaştırma yoluyla üretilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7: Gediz Havzası Jeoloji Haritası

Jeolojik birimler, sel duyarlılık analizine uygun şekilde kayaçların geçirgenlik özelliklerine ve literatürde yaygın olarak kullanılan sınıflandırma kriterlerine göre gruplandırılmıştır (Dölek, 2015; Özkan & Tarhan, 2016; Dölek & Avcı, 2017; Günseli, 2019; Ocak & Bahadır, 2020; Ertan vd., 2021; Taş & Yanik, 2022; Köysüren, 2024). Bu doğrultuda, jeolojik birimler 6 sınıfa ayrılarak, her bir jeolojik birim için AHS yöntemine göre 1 ile 9 arasında etki puanları verilmiş ve her bir sınıfın sel duyarlılığı üzerindeki ağırlık değerleri elde edilmiştir (Tablo 6).

Analiz sonuçlarına göre, Gediz Havzası'nda en geniş yayılıma sahip jeolojik birim, 5092,5 km² alanıyla kırıntılı birimler toplam havza alanının %30'unu teşkil etmektedir. İkinci olarak 5076,2 km² yayılım alanıyla metamorfik kayaçlar toplam havza alanının %29,9'unu oluşturmaktadır (Tablo 6). Kırıntılı birimler, genellikle kumtaşı, kiltaşı ve şeyl gibi kayaçlardan oluşur. Bu kayaçlar, orta seviyede geçirgenliğe sahip olup, sel duyarlılığına katkısı diğer birimlere göre daha düşüktür. Metamorfik birimler, şist, gnays ve mermer gibi kayaçlardan oluşmakta olup genellikle geçirimsiz ya da düşük geçirgenliğe sahip oldukları için eğimli alanlarda yüzey akışını artırarak sel oluşma potansiyelini yükseltmektedir (Eroğlu & Bozyiğit, 2012).

Tablo 6: Jeolojik Birimlerin AHS İkili Karşılaştırma Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Jeolojik Birimler	Alüvyon	Kireçtaşı	Filiş	Metamorfik Birimler	Volkanik Birimler	Kırıntılı Birimer	Kriter Ağırlığı		Alan (km²)	Oran (%)
Alüvyon	1	2	3	4	5	7	0,384	38,4 %	2882,9	17
Kireçtaşı	1/2	1	3	3	4	4	0,259	25,9 %	1787	10,5
Filiş	1/3	1/3	1	2	2	4	0,142	14,2 %	881,8	5,2
Metamorfik Birimler	1/4	1/3	1/2	1	2	3	0,103	10,3 %	5076,2	29,9
Volkanik Birimler	1/5	1/4	1/2	1/2	1	2	0,069	6,9 %	1185,5	7
Kırıntılı Birimer	1/7	1/4	1/4	1/3	1/2	1	0,044	4,4 %	5092,5	30

Alüvyon araziler, 2882,9 km²'lik bir alana yayılmakta ve toplam havza alanının %17'sini kapsamaktadır. Bu birimler, yüksek geçirgenliğe sahiptir. Ancak yer altı suyu seviyesinin yüksek olduğu durumlarda geçirgenlik etkisini yitirebilir ve sel potansiyeli de artabilir. Kireçtaşı toplam havza alanının %10,5'ini kaplamakta ve 1787 km²'lik bir yayılım sahası göstermektedir (Tablo 6). Bu birimler, özellikle çatlaklı olmayan yoğun kireçtaşları geçirimsiz özellik sergileyerek yüzey akışını artırabilmektedir. Volkanik kayaçlar 1185,5 km² alanı kaplayarak havza alanının %7'sini oluşturmaktadır. Volkanik kayaçlar genellikle andezit, bazalt ve tüflerden oluşmakta olup özellikle bazalt gibi sert kayaçlar yüzey akışının artmasına neden olarak sel duyarlılığını artırmaktadır. Son olarak, fliş birimleri havzada 881,8 km² alan kaplamakta ve havzanın %5,2'sini teşkil etmektedir (Tablo 6).

Toprak: Geçirimsiz toprakların yoğunlaştığı bölgeler, sel duyarlılığının yüksek olduğu alanlardır. Bu nedenle, sel duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, toprak verileri önemli bir girdi olarak kullanılmaktadır (Malczewski, 2006; Ocak, 2023). Bu çalışmada, Gediz Havzası'nın toprak özellikleri, TRGM (Toprak Reformu Genel Müdürlüğü) verileri kullanılarak analiz edilmiş ve ArcGIS 10.8 yazılımı üzerinden toprak haritası üretilmiştir (Şekil 8). Toprak sınıfları, toprak yapısı, türü ve özelliklerine göre literatürde yaygın olarak kullanılan sınıflandırma kriterleri de dikkate alınarak gruplandırılmıştır (Sunkar & Tonbul, 2010; Dölek, 2015; Özkan & Tarhan, 2016; Dölek & Avcı, 2017; Günseli, 2019; Ocak & Bahadır, 2020; Taş & Yanik, 2022; Ocak, 2023; Köysüren, 2024). Bu doğrultuda, toprak türleri 6 sınıfa ayrılarak, her bir toprak sınıfı için AHS yöntemine göre 1 ile 9 arasında etki puanları verilmiş ve her bir sınıfın sel duyarlılığı üzerindeki ağırlık değerleri elde edilmiştir (Tablo 7).

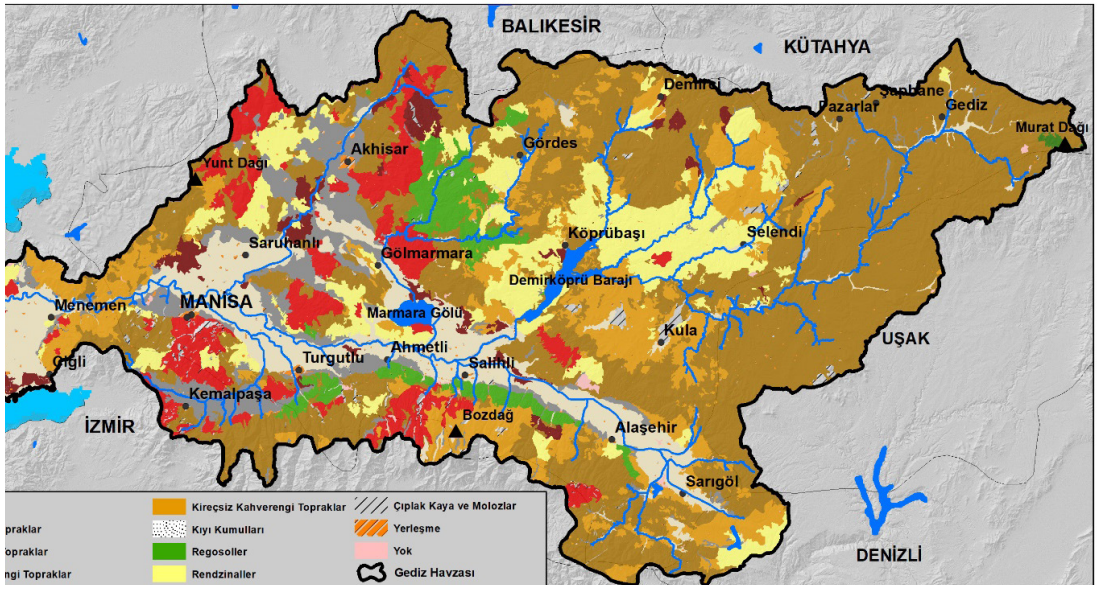
Havza genelinde en geniş yayılım gösteren toprak tipi 9735,7 km² alan ve %57,5'lik oranla kahverengi orman topraklarıdır. Bu topraklar genellikle dağlık ve ormanlık alanlarda gelişmiş, organik madde bakımından zengin, orta geçirgenlikte ve su tutma kapasitesi yüksektir (Başarlar & Ekinci, 2019). Alüvyal topraklar, havzanın özellikle Gediz Nehri ve kolları boyunca uzanan alçak kesimlerinde 1877,3 km²lik bir alana yayılmakta ve toplam alanın %12'sini kapsamaktadır (Tablo 7). Bu topraklar, yüksek su tutma kapasiteleri nedeniyle sel sularının geçici olarak tutulmasında önemli rol oynarlar (Atalay, 2006). Ancak

yer altı suyu seviyelerinin yüzeye yakın olması geçirimlilik özelliklerini azaltmakta ve sellerin oluşum sürecinde pozitif etki yapmaktadır (Dölek, 2015). Dolayısıyla sel duyarlılığı açısından ağırlık derecesi en yüksek toprak grubu alüvyal topraklardır (Ocak & Bahadır, 2020).

Tablo 7: Toprak Guruplarının AHS İkili Karşılaştırma Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Toprak Gurupları	Alüvyal T.	Kolüvyal T.	Kestane Rengi T.	Kahverengi Orman T.	Akdeniz T.	Diğer	Kriter Ağırlığı		Alan (km²)	Oran (%)
Alüvyal T.	1	2	3	4	5	7	0,385	38,5 %	1877,3	12
Kolüvyal T.	1/2	1	2	3	4	5	0,247	24,7 %	1003,2	5,9
Kestane Rengi T.	1/3	1/2	1	2	3	4	0,159	15,9 %	348,1	2,1
Kahverengi Orman T.	1/4	1/3	1/2	1	2	3	0,102	10,2 %	9735,7	57,5
Akdeniz T.	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	0,065	6,5 %	1139,6	6,7
Diğer	1/7	1/5	1/4	1/3	1/2	1	0,042	4,2 %	2681,9	15,8

Kolüvyal topraklar havzada 1003,2 km² alan kaplamakta ve toplam havza alanının %5,9'unu teşkil etmektedir. Eğimli dağlarda bulunan ve fiziksel ufalanmayla oluşan bu topraklar, yüzey akışını hızlandırarak sel oluşumuna katkı sağlayabilir. (Demir ve Çetin, 2017). Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları 1139,6 km² alan kaplamakta ve havza alanının %6,7'sini oluşturmaktadır. Çoğunlukla kalker ana kaya üzerinde bulunan bu topraklar, yüksek geçirgenlikleri nedeniyle suyun hızlı bir şekilde yer altına sızmasını sağlar. Havzada en az yayılım gösteren toprak grubu ise Kestane Rengi Topraklardır. Bu topraklar havzada 348,1 km² alan kaplamakta ve havza alanının %2,1'sini teşkil etmektedir (Tablo 7).



Şekil 8: Gediz Havzası Toprak Grupları Haritası

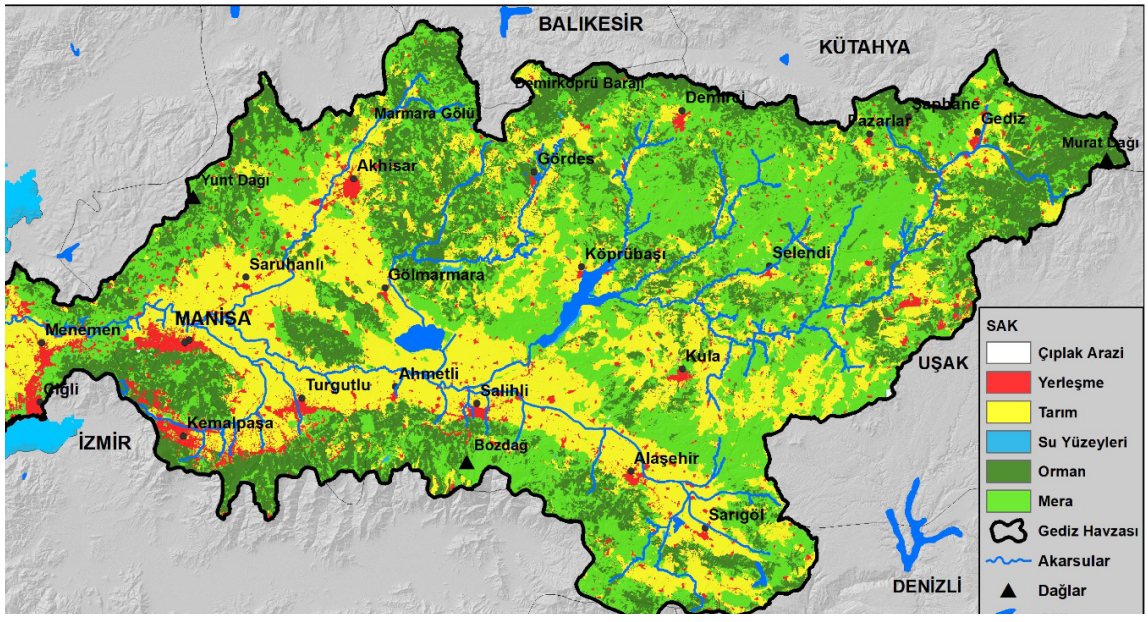
Arazi Kullanımı: Gediz Havzası'nın arazi kullanım haritası, 2024 yılına ait Sentinel 2 uydu verileri kullanılarak ArcGIS 10.8 yazılımı üzerinden üretilmiştir (Şekil 9). Arazi kullanımı, Sentinel 2 sınıflandırma sistemine göre 6 sınıfa ayrılarak, her bir arazi kullanım sınıfı için AHS yöntemine göre 1 ile 9 arasında etki puanları verilmiş ve her bir sınıfın sel duyarlılığı üzerindeki ağırlık değerleri elde edilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8: Arazi Kullanım Sınıflarının AHS İkili Karşılaştırma Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Arazi Kullanım	Yerleşme	Tarım	Mera	Orman	Çıplak Arazi	Su Yüzeyleri	Kriter Ağırlığı		Alan (km²)	Oran (%)
Yerleşme	1	2	3	4	7	9	0,373	37,3 %	874.591	5,2
Tarım	1/2	1	2	3	6	8	0,271	27,1 %	5.391.965	31,9
Mera	1/3	1/2	1	2	5	7	0,161	16,1 %	6.284.290	37,2
Orman	1/4	1/3	1/2	1	4	6	0,117	11,7 %	4.238.973	25,1
Çıplak Arazi	1/7	1/6	1/5	1/4	1	5	0,054	5,4 %	22.100	0,1
Su yüzeyleri	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1	0,023	2,3 %	86.078	0,5

Arazi kullanım sınıfları incelendiğinde, en geniş alanı kaplayan sınıf %37,2 ile mera alanlarıdır. Ormanlık alanlar ise havzanın %25,1'ini oluşturmaktadır (Tablo 8). Doğal alanlar olarak nitelendirilen orman ve mera alanları yoğun bitki örtüsü ve toprak yapısı sayesinde, yağış sularının toprağa sızmasını sağlayarak yüzey akışını azaltmakta ve sel potansiyelini düşürmektedir (Opperman vd., 2009).

Gediz havzasında toplam havza alanı içerisinde tarım alanları %31,9'luk orana sahiptir (Tablo 8). Tarım bitkilerinin kök yapıları fazla gelişemediğinden sel oluşumu açısından potansiyeli yüksek alanlardır (Ertan vd., 2021). Özellikle sulu tarım ve bağ bahçe alanları daha yoğun sulama ve toprağın sürekli işlenmesi gibi nedenlerle toprağın yapısını değiştirmekte, yer yer geçirgenliği azaltarak toprağın sıkılaşmasına ve yüzey akışının artmasına neden olarak sel potansiyelini yükseltmektedir (White vd., 2010). Yerleşme ve beşerî yapıların bulunduğu alanlar ise havza yüzölçümünün yalnızca %5,2'sini kapsamasına rağmen, geçirimsizlik oranı en yüksek alanlar arasında yer almaktadır (Tablo 8). Bu alanlarda asfalt, beton gibi yüzey kaplamaları yağmur suyunun zemine sızmasını önleyerek, akışı hızlandırmakta ve sel potansiyelini artırmaktadır (UNISDR, 2011).



Şekil 9: Gediz Havzası Arazi Kullanım Haritası

Sel Duyarlılığının Mekânsal Dağılımının Belirlenmesi

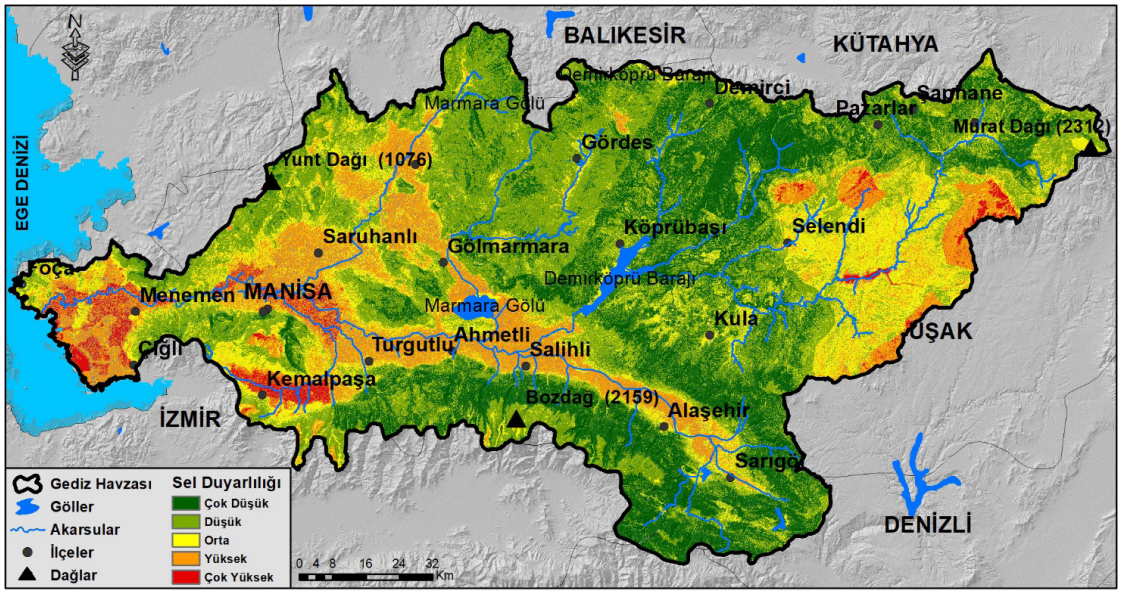
Gediz Havzası'nın sel duyarlılık düzeyini mekânsal olarak analiz etmek amacıyla, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegre edilmiştir. Sel oluşumunu etkileyen

temel coğrafi faktörler olan eğim, bakı, yükselti, jeoloji, toprak özellikleri, arazi kullanımı ve yağış kriterlerinin, literatür taraması ve çalışma alanı özellikleri doğrultusunda AHS yöntemi ile ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Sunkar & Tonbul, 2010; Dölek, 2015; Özkan & Tarhan, 2016; Tokgözlü & Özkan, 2018; Günseli, 2019; Ocak & Bahadır, 2020; Yurddaş, 2022; Taş & Yanik, 2022; Ocak, 2023; Köysüren, 2024). AHS yöntemiyle kriter ağırlıklarının belirlenmesi sürecinde, ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuş ve her bir kriterin diğerine göreceli önemi değerlendirilmiştir (Saaty, 2008). Tutarlılık oranı (CR) hesaplanarak kriterlerin tutarlılığı kontrol edilmiş ve tutarlılık oranları (CR) tüm matrislerde 0.1'in altında elde edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9: Sel Duyarlılık Parametrelerinin AHS İkili Karşılaştırma Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Sel Duyarlılık	Yağış	Eğim	Yükselti	Arazi Kullanım	Toprak	Jeoloji	Bakı	Kriter Ağırlığı	
Yağış	1	3	4	5	6	7	8	0,388	38,8 %
Eğim	1/3	1	3	4	5	6	7	0,244	24,4 %
Yükselti	1/4	1/3	1	3	4	5	6	0,160	16,0 %
Arazi Kullanım	1/5	1/4	1/3	1	2	3	4	0,088	8,8 %
Toprak	1/6	1/5	1/4	1/2	1	2	3	0,048	4,8 %
Jeoloji	1/7	1/6	1/5	1/3	1/2	1	2	0,043	4,3 %
Bakı	1/8	1/7	1/6	1/4	1/3	1/2	1	0,029	2,9 %

CBS ortamında sel duyarlılık haritalarının üretilmesi aşamasında, Ağırlıklı toplam (Weighted Sum) yöntemi kullanılmıştır. Üretilen raster tabanlı bu harita, sel duyarlılık düzeylerini daha anlamlı bir şekilde ifade etmek amacıyla yeniden sınıflandırılmıştır. Nihai olarak, sel duyarlılık durumları "çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek" olmak üzere beş sınıfta gruplandırılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10: Gediz Havzası Sel Duyarlılık Haritası

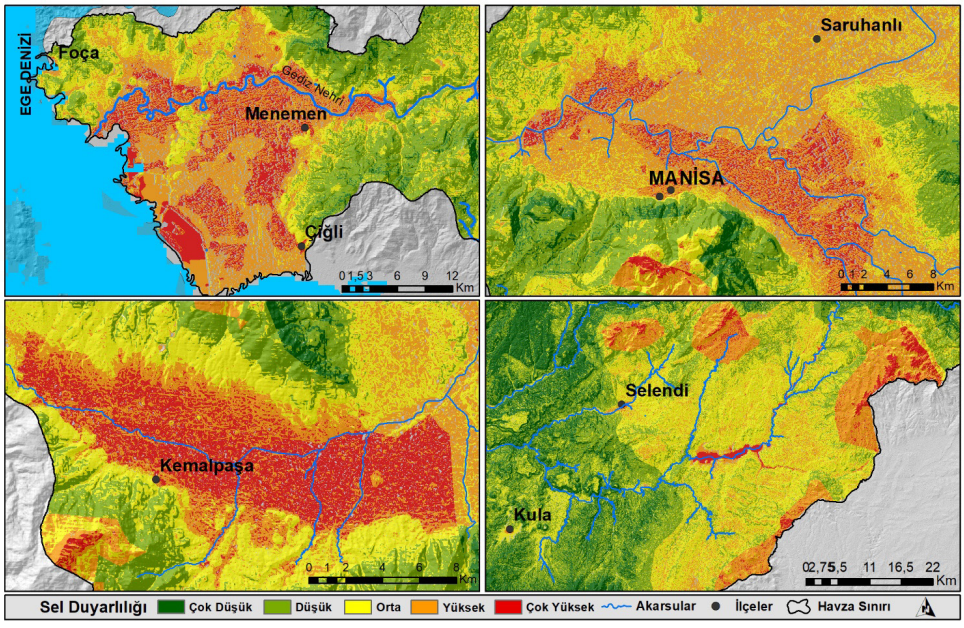
Elde edilen sonuçlara göre, havzanın yaklaşık %63'lük kısmının düşük ve çok düşük duyarlılık grubunda bulunduğu görülmektedir. Bu durum, havzanın büyük bir bölümünün sel oluşumu açısından daha düşük potansiyel barındırdığını göstermektedir. Çok Düşük Duyarlılık Sınıfındaki alanlar genellikle havzanın yüksek rakımlı kesimlerini kapsamaktadır. "Orta duyarlılık" sınıfı 3.290,1 km² ile havzanın %20'sini oluşturmaktadır (Tablo 10). Bu sınıf düşük ve yüksek duyarlılık grupları arasında geçiş bölgesi niteliğindedir.

Tablo 10: Duyarlılık Sınıflarının Kapladığı Alan ve Oranları

Duyarlılık Sınıfları	Kapladığı Alan (km²)	Oran (%)
Çok Düşük	4030,3	24,5
Düşük	6337,3	38,6
Orta	3290,1	20
Yüksek	2410,7	14,7
Çok Yüksek	355	2,2

"Yüksek" duyarlılık sınıfı 2.410,7 km² kapladığı alan ile havzanın %14,7'sini ve "çok yüksek" duyarlılık sınıfı ise 355 km² kapladığı alan ile toplam havza alanının %2,2 teşkil etmektedir. Bu sınıflar, toplam alanın yaklaşık %17'sini oluşturmakta ve sel oluşma potansiyelinin önemli ölçüde arttığı bölgeleri temsil etmektedir (Tablo 10). Yüksek ve çok yüksek sel duyarlılığına sahip alanların varlığı, bu bölgelerde sel olaylarına karşı daha dikkatli olunması ve gerekli önlemlerin alınmasının önemini ortaya koymaktadır. Çok yüksek sel duyarlılığına sahip alanların nispeten küçük bir orana (%2,2) sahip olması, duyarlılığın havza genelinde homojen bir şekilde dağılmadığını ve belirli coğrafi özelliklere sahip bölgelerde yoğunlaştığını düşündürmektedir. Yüksek ve Çok Yüksek Duyarlılık Sınıfındaki sahalar çoğunlukla Gediz Nehri ve kollarının çevresindeki alüvyal ovalar ile havzanın doğusundaki bol yağış alan alanlarda yoğunlaşmaktadır.

Genel olarak, Gediz Havzası'nda sel duyarlılığı düşük olan alanların ağırlıklı olduğu, ancak belirli alt havzalarda lokalize olmuş yüksek duyarlılıklı bölgelerin de dikkat çekici düzeyde olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 11 incelendiğinde, Menemen, Kemalpaşa, Manisa merkez ve çevresi gibi yerleşim alanlarının yoğun şekilde yüksek ve çok sel duyarlılığına sahip olduğu görülmektedir. Bu alanlar, genellikle alçak rakımlı, yoğun yerleşim ve tarım alanları ile karakterizedir. Özellikle Kemalpaşa Ovası'nda yoğun şekilde gözlenen "yüksek" ve "çok yüksek" duyarlı alanlar hem eğimin düşük olması hem de tarımsal faaliyetler nedeniyle geçirgenlik düzeyinin azalmasıyla açıklanabilir. Benzer şekilde, Menemen Ovası'nda da Gediz Nehri boyunca yoğun bir şekilde uzanan kırmızı renkli alanlar, alüvyal vadi tabanının bulunduğu kritik sahaları yansıtmaktadır. Ayrıca beton, asfalt gibi geçirimsiz yüzeylerin yoğun olduğu kentsel alanlar ve yetersiz drenaj altyapısına sahip bölgeler, yüzey akışının hızlı bir şekilde artmasına neden olarak sel duyarlılığını yükseltmektedir. Manisa merkez, Kemalpaşa, Menemen ve Çiğli gibi yerleşim birimlerinin belirli kısımlarında bu etki görülmektedir (Şekil 11).



Şekil 11: Gediz Havzası'nda Sel Duyarlılığı "Çok Yüksek" Olan Sahalar

Gediz Havzasında Meydana Gelen Sellerin Zamansal ve Mekânsal Dağılımı

Bu bölümde, Gediz Havzası'nda meydana gelen sel olaylarının mekânsal yoğunluğu ile bölgenin sel duyarlılığı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş, sel afeti açısından kritik alanlar belirlenmiştir. Tablo 11'de, AFAD kayıtlarına göre Gediz Havzası'nda 1940-2023 yılları arasında meydana gelen sel olaylarına ilişkin veriler yer almaktadır. Veriler, İl, İlçe, Mahalle, Sel Sayısı ve Sel Tarihleri gibi temel öznitelikleri içermekte olup havzadaki sel dağılımının mekânsal ve zamansal analizine temel teşkil etmektedir. AFAD kayıtlarında incelenen olaylar 'sel/su baskını' şeklinde sınıflandırılmıştır. Bu nedenle, çalışmanın bu bölümünde değerlendirilen afetler için ilgili terminolojiye uygun olarak 'sel/su baskını' ifadesi kullanılmıştır.

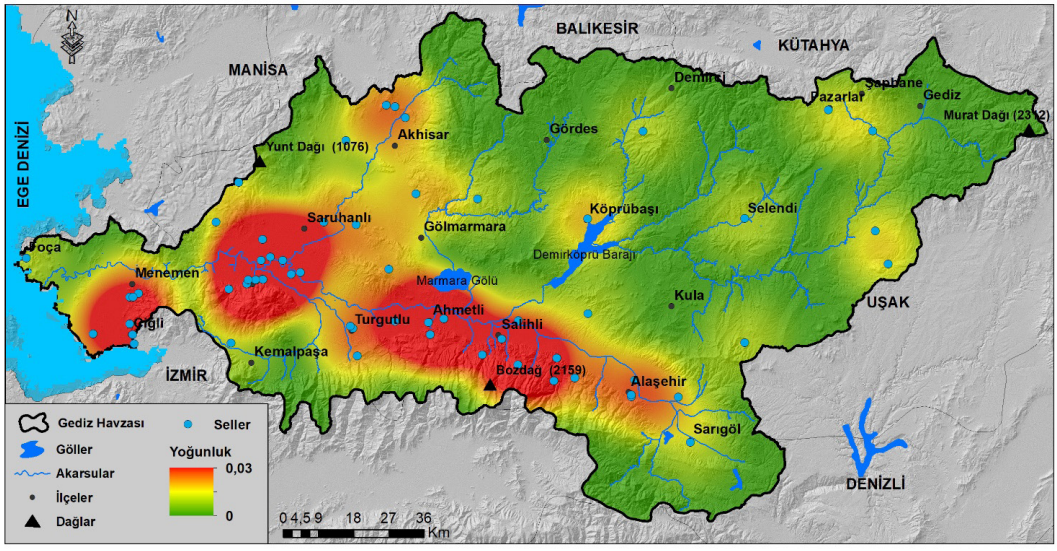
1940–2023 yılları arasında Gediz Havzası sınırları içinde toplam 77 sel/su baskını olayı meydana geldiği ve bu olayların 61 farklı mahallede gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle Manisa iline bağlı Ahmetli, Salihli, Şehzadeler ve Saruhanlı ilçelerinde tekrarlayan sel/su baskınları gözlemlenmiştir. Yaraşlı ve Çelikli mahalleleri gibi bazı yerleşim alanlarında dört farklı tarihte sel/su baskını meydana gelmiş olup, bu bölgeler hidrometeorolojik afetler açısından kritik risk alanları olarak değerlendirilmektedir. Zamansal açıdan incelendiğinde ise, sel/su baskını olaylarının 1960-1985 ve 2010-2023 periyotlarında yoğunlaştığı görülmektedir (Tablo 11).

Tablo 11: 1940-2023 Periyodunda Gediz Havzasında Meydana Gelen Seller (Kaynak: AFAD)

İl	İlçe	Mahalle	Sel/Su baskını Sayısı	Gerçekleşme Tarihi
İzmir	Çiğli	Atatürk	1	24.01.2019
		Sasalı merkez	2	15.03.1983—22.04.1983
		Şirintepe	1	4.11.1995
	Foça	Fevzipaşa	1	10.08.1978
	Karşıyaka	Mavişehir	1	23.12.2019
	Kemalpaşa	Ulucak Cumhuriyet	1	11.01.2019
	Menemen	Irmak	1	24.01.2019
		Ulus	1	1.01.195
		Yeşilpınar	1	17.09.1984
Kütahya	Gediz	Ilıca	1	19.06.1965
	Pazarlar	Turgut Özal	1	31.05.2023
Manisa	Ahmetli	Dereköy	3	04.07.1968—14.05.1969—22.02.1968
		Ulu Cami	1	21.12.1972
		Yaraşlı	4	07.04.1983—04.07.1978 12.10.1992—14.10.1977
	Akhisar	Ballıca	1	28.12.1971
		Gökçeahmet	1	17.01.2016
		Kadıdağı	1	18.06.2023
		Karaborklü	1	1.06.1964
		Kulaksızlar	2	08.06.1967—26.02.1985
	Alaşehir	Baklacı	1	11.06.2010
		Göbekli	1	7.06.2016
		Horzumalakaya	1	5.05.1975
		Ilıca	1	3.06.2015
		Kurudere	1	12.09.1968
		Menderes	1	1.02.2015
		Yeşilyurt	1	7.06.2015
	Demirci	Kazancı	1	26.06.2019

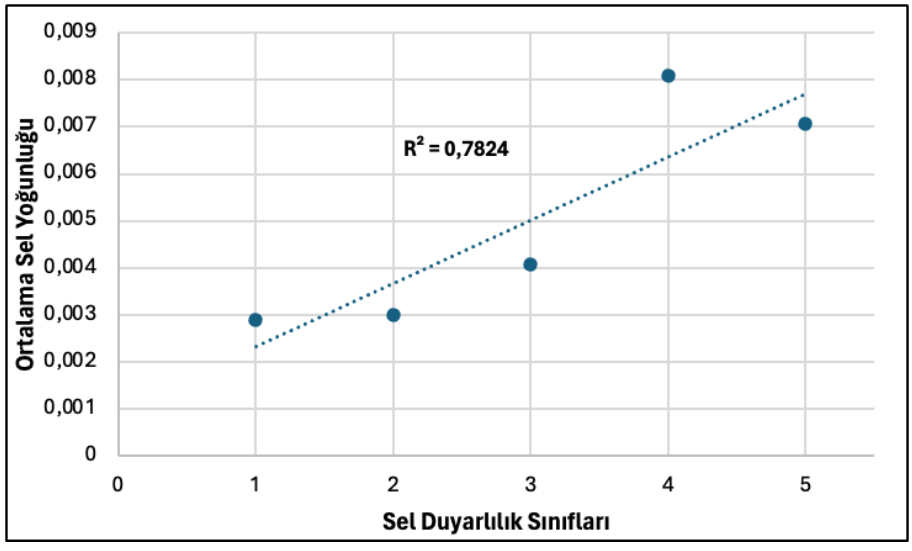
	Gördes	Yeniköy	1	03.07.1069
	Köprübaşı	Namık Kemal	2	08.01.1976—31.05.1976
	Salihli	Aksoy	1	31.05.2023
		Allahdiyen	1	26.01.2010
		Çelikli	4	14.05.1979—10.04.1980 20.10.1984—20.11.1981
		Derbent	1	20.05.1983
		Taytan	1	9.06.1967
	Sarıgöl	Cumhuriyet	1	21.01.2012
	Saruhanlı	Büyükbelen	2	23.06.2020—31.05.2021
		İshak Çelebi	2	19.06.2018—09.01.1976
		Lütfiye	1	29.05.2011
	Selendi	Zafer	1	19.06.2018
	Şehzadeler	Ahmet Bedevi	1	18.09.2014
		Çavuşoğlu	1	16.05.1964
		Çerkez Mahmudiye	2	05.05.2013—29.12.1989
		Güzelköy	1	16.01.2019
		Nurlupınar	1	13.02.2009
		Peker	1	14.10.2010
		Tekeliler	1	30.01.2014
		Veziroğlu	3	15.01.2019—15.01.2019—05.05.1983
		Yeniharmandalı	1	1.02.2019
	Turgutlu	Albayrak	1	12.02.2009
		Aşağıbozkır	1	21.12.1972
		İstasyonaltı	1	26.08.2022
		Urganlı	1	20.04.1982
	Yunusemre	Akmescit	1	7.08.2015
		Çamlıca	1	11.06.2015
		Demirci	1	18.12.2011
		Hafsa Sultan	1	8.05.2013
		Kayapınar	1	11.06.2019
	Yunusemre	Merkezefendi	1	21.11.2022
Uşak	Merkez	Kayağıl Mücavir	1	11.06.2022
	Eşme	Kocahüseyinler	1	3.06.2023
	Merkez	Aktaş	1	23.09.2014

Şekil 12 Gediz Havzası'nda meydana gelen sel/su baskını olaylarının mekânsal yoğunluk dağılımını göstermektedir. Harita incelendiğinde; yüksek yoğunluğa sahip bölgelerin Manisa merkez, Turgutlu, Salihli, Ahmetli, Çiğli ve Menemen çevresinde toplandığı görülmektedir. Kernel yoğunluk analizi ile oluşturulan haritada, bu alanlar kırmızı renkle gösterilmiş olup, yoğun sel/su baskını olaylarının yaşandığı kritik bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Akhisar, Gölmarmara, Saruhanlı, Köprübaşı ve Alaşehir gibi bölgeler orta yoğunlukta sel/su baskını olaylarına sahne olmuştur. Buna karşılık, havzanın doğu ve kuzey kesimlerinde yer alan yüksek eğimli ve dağlık alanlarda sel olaylarının görülme sıklığı oldukça düşüktür. Bu bölgeler daha yüksek rakımlı ve geçirgen topraklara sahip olup, tarım ve yerleşim alanları daha sınırlıdır. Bu durum, topografik özelliklerin ve yerleşim yoğunluğunun sel olaylarının mekânsal dağılımı üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymaktadır. Havzanın doğu ve güneydoğusunda yer alan Sarıgöl, Uşak'ın kuzeyi, Selendi, Pazarlar ve çevresinde düşük yoğunlukta sel/su baskını olaylarının görüldüğü gözlemlenmiş, bunların dışında kalan ve yeşil renk ile temsil edilen alanlarda ise sel olayı yaşanmamıştır.



Şekil 12: 1940-2023 Yılları Arasında Meydana Gelen Sellerin Mekânsal Yoğunluk Haritası

Sel duyarlılık haritası ile yoğunluk haritası raster formatında karşılaştırılmış ve duyarlılık sınıflarının geçmiş verilerle ne ölçüde örtüştüğü istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, her bir sel duyarlılık sınıfına karşılık gelen alanlarda meydana gelen ortalama sel yoğunluğu değerleri ArcGIS yazılımında yer alan "Zonal Statistics as Table" aracı kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen tablo, Microsoft Excel ortamına aktarılarak korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Pearson korelasyon katsayısı yaklaşık $r \approx 0{,}884$ olarak bulunmuştur. Bu sonuç, sel duyarlılık sınıfları ile gerçekleşmiş sel yoğunlukları arasında çok güçlü ve pozitif yönlü bir ilişkinin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Korelasyon katsayısının 1'e oldukça yakın olması, modelin alansal doğruluk açısından yüksek düzeyde güvenilir olduğunu göstermektedir. Söz konusu ilişkinin görsel açıdan sunulması amacıyla, her bir duyarlılık sınıfının ortalama sel yoğunluğunu temsil eden bir dağılım grafiği hazırlanmış ve doğrusal regresyon eğrisi eklenmiştir. Bu analiz sonucunda modelin tahmin gücü $R^2 = 0{,}782$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 13). Ayrıca grafik üzerinde duyarlılık düzeyi arttıkça ortalama sel yoğunluğunun da arttığı net biçimde gözlemlenmektedir.



Şekil 13: Duyarlılık Sınıfı ile Ortalama Sel Yoğunluğu Korelasyon Grafiği

Yoğunluk haritası ile sel duyarlılık haritasının bütünleşik analizi neticesinde bazı bölgelerde dikkat çekici örtüşmeler gözlemlenirken, bazı bölgelerde ise ayrışmalar dikkat çekmektedir. Sel duyarlılık haritasında Manisa merkez ve çevresi, Kemalpaşa'nın kuzeyi ile Menemen ve Çiğli çevresinin çok yüksek duyarlılığa sahip olduğu gözlemlenirken (Şekil 10), aynı bölgelerin sel yoğunluk haritasında da çok yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir (Şekil 12). Bunun yanında Saruhanlı, Turgutlu, Ahmetli, Salihli ve Alaşehir çevresi duyarlılık haritasında yüksek duyarlılığa sahip alanlar olarak öne çıkarken, aynı bölgeler yoğunluk haritasında çok yüksek yoğunluğa sahip olanlar olarak gözlenmektedir. Yoğunluk haritasındaki kırmızı ve turuncu tonları, bu bölgelerde geçmişte sel olaylarının sıkça yaşandığını gösterirken, duyarlılık haritasındaki yüksek ve çok yüksek duyarlılık seviyeleri bu bölgelerin doğal ve antropojenik özellikleri nedeniyle gelecekte de sel oluşumu için uygun koşullara sahip olduğunu işaret etmektedir. Bu örtüşme, sel afet yönetimi ve önleme çalışmalarının bu bölgelerde yoğunlaştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Gölmarmara ve Akhisar bölgelerinde hem orta düzeyde sel yoğunluğu hem de orta ila yüksek duyarlılık seviyeleri gözlemlenmektedir. Geçmişte belirli sıklıkta sel olayları yaşanmış olan bu bölgeler, gelecekte de benzer olaylarla karşı karşıya kalabilir. Haritaların kuzey ve doğu kesimlerinde ise genellikle düşük sel yoğunluğu ve düşük duyarlılık seviyeleri bir arada görülmektedir. Bu bölgelerdeki yüksek eğimler, ormanlık alanların yaygınlığı ve düşük yerleşim yoğunluğu gibi etkenlerin sel oluşumu için daha az uygun koşullar sunduğu düşünülmektedir.

Haritalar karşılaştırıldığında, bazı bölgelerde yoğunluk ve duyarlılık arasında uyumsuzluklar da göze çarpmaktadır. Örneğin, duyarlılık haritasında yüksek riskli olarak belirlenen bazı bölgelerde geçmişte düşük sel yoğunluğu kaydedildiği görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında; geçmiş sel olaylarına dair eksik veya hatalı kayıtlar, zaman içerisinde arazi kullanımında meydana gelen değişikliler gibi çeşitli nedenler etkili olmuş olabilir. Bu gibi sebeplerle geçmişte düşük duyarlılığa sahip olan bir bölge, günümüzde artan kentleşme veya değişen drenaj koşulları nedeniyle daha duyarlı hale gelmiş olabilir. Bununla birlikte iki analiz arasındaki modelleme ve yöntem farklılıkları da uyuşmazlıkların ortaya çıkmasına sebep olabilir. Yoğunluk haritası geçmiş olaylara dayanırken, duyarlılık haritası gelecekteki potansiyeli tahmin etmeye çalışır. Dolayısıyla farklı modelleme varsayımları ve kullanılan faktörler de bu uyumsuzluklara yol açabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gediz Havzası'nda sel afetine karşı duyarlılık durumunu ortaya koymak amacıyla, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegre edilmiştir. Sel oluşumunu etkileyen temel coğrafi faktörler olan eğim, bakı, yükselti, jeoloji, toprak özellikleri, arazi kullanımı ve yağış kriterlerinin, literatür taraması ve çalışma alanı özellikleri doğrultusunda AHS yöntemi ile ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilmiş ve altlık haritaları üretilmiştir. Elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak her bir kriter yeniden sınıflandırılmış ve Weighted Sum (Ağırlıklı Toplama) işlemi ile havzanın farklı kesimlerinde sel duyarlılık düzeylerini gösteren sel duyarlılık haritası üretilmiştir. Gediz Havzası'nda sel duyarlılığı açısından özellikle yüksek ve çok yüksek duyarlılığa sahip alanlar belirlenerek afet yönetimi açısından önemli veriler sunulmuştur.

Duyarlılık analizi sonuçlarına göre, havzada düşük duyarlılık sınıfı toplam havza alanının %38,6'sını, çok düşük duyarlılık ise %24,5'lik kısmını oluşturmaktadır. Orta duyarlılık sınıfı havzanın %20'sini oluştururken, yüksek duyarlı alanların oranı %14,7, çok yüksek duyarlılık sınıfındaki alanların oranı ise %2,2 olarak hesaplanmıştır. Yüksek ve çok yüksek duyarlığa sahip alanlar özellikle Gediz Nehri ve kolları boyunca uzanan alüvyal ovalar, düşük eğimli alanlar ve yoğun tarımsal kullanım alanlarında yoğunlaşırken, dağlık ve yüksek eğimli bölgeler genellikle daha düşük duyarlılık sınıflarına karşılık gelmektedir. Duyarlılık dağılımındaki bu heterojen yapı, havza yönetiminde farklı stratejiler geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, AFAD tarafından 1940–2023 yılları arasında kaydedilen 77 adet sel/su baskını olayına ait veriler kullanılarak kernel density (yoğunluk tahmin) yöntemiyle mekânsal yoğunluk haritası oluşturulmuştur. Bu harita, sel olaylarının özellikle Manisa'nın merkez ilçeleri, Turgutlu, Salihli, Alaşehir, Çiğli ve Menemen gibi yerleşim alanları ve çevresinde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu alanlar aynı zamanda AHS temelli duyarlılık haritasında yüksek ve çok yüksek

duyarlılık sınıfına giren sahalarla büyük oranda örtüşmektedir. Bu durum, kullanılan modelin güvenilirliğini ve sahadaki afet geçmişiyle mekânsal uyumunu ortaya koymaktadır. Ancak bazı bölgelerde yüksek duyarlılık bulunmasına rağmen geçmişte sel olaylarının kaydedilmemesi, ya da düşük duyarlılık alanlarında olayların görülmesi, model dışı faktörlerin sel duyarlılığını etkileyebileceğine işaret etmektedir. Dolayısıyla gelecekteki çalışmalarda farklı değişkenlerin de modele dahil edilmesi daha tutarlı sonuçların ortaya çıkmasına olanak tanıyacaktır.

Yapılan analizlerin, bölgesel ölçekte uygulanabilirliği yüksek, bilimsel temellere dayalı ve karar vericilere rehberlik edebilecek nitelikte bir yöntem sunduğu düşünülmektedir. Genel olarak yüksek yoğunluk ve yüksek duyarlılık gösteren bölgeler öncelikli afet yönetimi alanları olarak öne çıkarken, diğer bölgelerde de gelecekteki sel duyarlılık artış potansiyeli göz önünde bulundurulmalıdır. Gelecekteki araştırmalarda, daha ayrıntılı ve uzun dönemli veri setlerinin kullanılması, gelişmiş mekânsal modelleme tekniklerinin uygulanması ve iklim değişikliği senaryolarının analize entegre edilmesiyle, elde edilen bulguların daha kapsamlı ve güvenilir hale getirilmesi önerilmektedir.

International Journal of Geography and Geography Education

Research Article/Araştırma Makalesi

EXTENDED ABSTRACT

Quantitative Analysis of the Effect of Physiographic Factors on Flood Occurrence with Analytic Hierarchy Process (AHP)

Kemal YURDDAŞ*, Murat KARABULUT

INTRODUCTION

Flooding is a natural phenomenon that occurs when large amounts of water cover the ground surface (Schneiderbauer & Ehrlich, 2004; Smith & Ward, 1998). In AFAD's Annotated Glossary of Disaster Management Terms, the concept of flood is defined as "The event in which water rises where it is located or comes from another place and covers surfaces that are usually dry" (AFAD, 2014). Although flood events occur in both urban and rural areas, their potential to become disasters is more pronounced in urban areas where anthropogenic activities are intense (Petouonchi, 2020). These events, which are related to anthropogenic factors such as unplanned urbanization, inadequate infrastructure systems and disruption of natural drainage dynamics, can cause great economic damage as well as loss of life (UNISDR, 2004).

The terms "hazard", "risk" and "vulnerability", which are frequently used and potentially confused in flood and other disaster studies, are three closely related concepts. Therefore, the differences of these concepts and their meanings used in the study play a key role in understanding the analysis and the findings (Schneiderbauer & Ehrlich, 2004). Vulnerability or susceptibility, is the sum of the factors that determine the magnitude of harm to which a society, community or system may be exposed in the face of a particular hazard. These factors include physical, social, economic and environmental dimensions and are closely related to the resilience capacity of society against hazards (Blaikie vd., 2014). In AFAD Annotated Glossary of Disaster Management Terms, the concept of vulnerability is defined as "the measure of physical, social, economic or environmental damages and losses that people and their living environments may suffer in the face of hazards of different types and magnitudes".

Flood studies are largely based on predicting the occurrence and spread of floods. In this process, Remote Sensing data together with GIS is an important tool for early detection and monitoring of floods. Remote sensing data is particularly important in the production of topographic base maps. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) methods are widely used together with GIS and Remote Sensing in making disaster susceptibility maps, identifying disaster-prone areas and other disaster studies. In such studies, several criteria need to be taken into account (Fidan & Ulvi, 2022).

In this study, a comprehensive methodology was followed by integrating Geographic Information Systems (GIS) technologies with the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) approaches, in order to spatially analyze flood vulnerability in the Gediz Basin and identify areas with high potential. Thus, both the visualization and association advantages of spatial data analysis and the multidimensional evaluation capability of AHP, which

allows weighting of different criteria in decision-making processes, are brought together. It is aimed that the findings obtained will provide methodological contribution to the analysis and planning to be made in similar areas by revealing the effect of physiographic factors in determining flood susceptibility with numerical data.

STUDY AREA

The Gediz Basin, located in western Turkey, with geographical coordinates between 38°04'-39°13' north latitude and 26°42'-29°45' east longitude, covers an area of approximately 17,500 km² and constitutes an important hydrological system. In geological terms, the basic morphological structure of the Gediz Basin is largely related to the tectonic depressions that occurred during the Neogene period. Graben structures formed as a result of these tectonic events explain the prominent east-west extension of the basin (Bozkurt Çiftçi & Bozkurt, 2008). The morphological structure of the Gediz Basin presents a mosaic of mountainous terrains with different elevations and wide plains. The mountain ranges along the basin both increase topographic diversity and have a determining effect on regional climatic conditions. In terms of climate characteristics, the Gediz Basin generally exhibits the typical characteristics of the Mediterranean climate (Türkeş, 2011). However, as you move towards the interior of the basin and at higher elevations, the effects of continental climate become more pronounced (Güney & Turoglu, 2020). According to data from the Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Water Management (2019), agricultural areas constitute the majority of land use in the Gediz Basin (52%). Urbanization and industrial zones account for another 2%, bringing the total share of unnatural areas to 54%. Natural areas are distributed as 18% forests, 25% maquis and 3% sparse or no vegetation.

MATERIAL AND METHOD

In order to determine flood susceptibility in the Gediz Basin, a methodology based on the integration of Geographic Information Systems (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP), one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, was followed. The first part of the study consists of five main stages: data collection, map production, data reclassification, weighting with AHP and production of flood susceptibility maps with Weighted Sum Analysis in GIS environment (Figure 2).

In the first stage of the study, slope, aspect, elevation, land use, lithological units, soil groups and precipitation distribution maps were produced using various data sources representing the physical and human geography characteristics of the Gediz Basin. All maps produced were reclassified in accordance with the flood susceptibility analysis. Through the Analytic Hierarchy Process (AHP) used in the study, slope, elevation, aspect, geology, soil structure, land use and rainfall factors affecting flood occurrence were evaluated by pairwise comparisons and the relative weight of each criterion on flood susceptibility was determined. These weight values were combined with raster-based data layers in GIS environment, spatial analysis was performed and regional scale flood susceptibility maps were created. In the second part of the study, a kernel density map was created to visualize the spatial distribution of disasters in the Gediz Basin using historical flood/inundation event data between 1940 and 2023 provided by the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD). This density map was evaluated together with the flood susceptibility map produced in the same study and a comparative analysis was carried out.

FINDINGS AND DISCUSSION

The weighting process of the main geographical factors affecting flood formation, namely slope, aspect, elevation, geology, soil properties, land use and precipitation, was carried out with the AHP method in line with the literature review and the characteristics of the study area (Sunkar & Tonbul, 2010; Dölek, 2015; Özkan & Tarhan, 2016; Tokgözlü & Özkan, 2018; Günseli, 2019; Ocak & Bahadır, 2020; Yurddaş, 2022; Taş & Yanik, 2022; Ocak, 2023; Köysüren, 2024). In the process of determining the criteria weights with the AHP method, a pairwise comparison matrix was created and the relative importance of each criterion to the other was evaluated (Saaty, 2008). The consistency of the criteria was checked by calculating the consistency ratio (CR) and consistency ratios (CR) were obtained below 0,1 in all matrices (Table 9). Weighted Sum method

was used to produce flood vulnerability maps in GIS environment. This raster-based map was reclassified to express flood vulnerability levels in a more meaningful way. Finally, flood vulnerability was grouped into five classes: very low, low, low, medium, high and very high (Figure 10).

According to the results obtained, approximately 63% of the basin is in the low and very low vulnerability group. This indicates that most of the basin has a lower potential for flooding. The "medium vulnerability" class constitutes 20% of the basin with 3.290,1 km² (Table 10). This class is a transitional zone between low and high vulnerability groups. The "high" vulnerability class constitutes 14,7% of the basin with an area of 2.410,7 km² and the "very high" vulnerability class constitutes 2,2% of the total basin area with an area of 355 km². These classes account for about 17% of the total area and represent areas where the potential for flooding is significantly increased (Table 10).

In general, the Gediz Basin is dominated by areas with low flood vulnerability, but there are also notable areas of high vulnerability localized in specific sub-basins. Figure 11 shows that residential areas such as Menemen, Kemalpaşa, Manisa center and its surroundings have high and very high flood vulnerability. These areas are generally characterized by low altitude, dense settlements and agricultural areas. The "high" and "very high" vulnerable areas observed especially in Kemalpaşa Plain can be explained by both the low slope and the decrease in permeability level due to agricultural activities. Similarly, in the Menemen Plain, the red-colored areas along the Gediz River reflect the critical areas where the alluvial valley floor is located. In addition, urban areas with a high density of impermeable surfaces such as concrete and asphalt and regions with inadequate drainage infrastructure increase flood vulnerability by causing a rapid increase in surface runoff. This effect is observed in certain parts of settlements such as Manisa center, Kemalpaşa, Menemen and Çiğli (Figure 11).

The spatial density of flood events occurring in the Gediz Basin and the flood vulnerability of the region were analyzed comparatively, and critical areas in terms of flood disaster were identified. Table 11 presents data on flood events that occurred in the Gediz Basin between 1940 and 2023 according to AFAD records. The data includes basic attributes such as Province, District, Neighborhood, Number of Floods and Flood Dates and constitutes the basis for spatial and temporal analysis of flood distribution in the basin. Between 1940 and 2023, a total of 77 flood/inundation events occurred within the boundaries of the Gediz Basin and these events occurred in 61 different neighborhoods. Recurrent floods were observed especially in Ahmetli, Salihli, Şehzadeler and Saruhanlı districts of Manisa province. In some residential areas, such as Yaraşlı and Çelikli neighborhoods, floods have occurred on four different dates and these areas are considered as critical risk areas in terms of hydrometeorological disasters. In temporal terms, floods/inundation events are concentrated in the periods 1960-1985 and 2010-2023 (Table 11).

Figure 12 shows that the regions with high density are concentrated around Manisa center, Turgutlu, Salihli, Ahmetli, Çiğli and Menemen. In the map generated by kernel density analysis, these areas are colored in red and stand out as critical areas with intense flooding events. Areas such as Akhisar, Gölmarmara, Saruhanlı, Köprübaşı and Alaşehir experienced moderate floods. On the other hand, the frequency of flood events in the high slope and mountainous areas located in the eastern and northern parts of the basin is quite low. These regions have higher altitudes and permeable soils, and agricultural and settlement areas are more limited. This reveals the determining effect of topographic features and settlement density on the spatial distribution of flood events. In the eastern and southeastern part of the basin, Sarıgöl, north of Uşak, Selendi, Pazarlar and their surroundings, low intensity floods/flooding events were observed.

The flood vulnerability map and density map were compared in raster format and the extent to which the vulnerability classes overlap with historical data was statistically analyzed. For this purpose, the average flood intensity values occurring in the areas corresponding to each flood susceptibility class were calculated using the "Zonal Statistics as Table" tool in ArcGIS software and the table obtained was transferred to Microsoft Excel environment and correlation analysis was performed. The Pearson correlation coefficient was found to be approximately $r \approx 0{,}884$. This result reveals that there is a very strong and positive relationship between flood vulnerability classes and actual flood intensities. The correlation coefficient is very close to 1, indicating that the model is highly reliable in terms of areal accuracy. In order to visually represent this relationship, a

scatter plot representing the average flood density of each vulnerability class was prepared and a linear regression curve was added. As a result of this analysis, the predictive power of the model was calculated as $R^2 = 0{,}782$ (Figure 13). It is also clearly observed on the graph that as the sensitivity level increases, the average flood intensity also increases.

RESULTS

In the Gediz Basin, a flood vulnerability map showing the flood vulnerability levels in different parts of the basin was produced by integrating Analytic Hierarchy Process (AHP), one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, and Geographic Information Systems (GIS). According to the results of the vulnerability analysis, the low vulnerability class in the basin constitutes 38,6% of the total basin area, while very low vulnerability constitutes 24,5%. While the medium vulnerability class constitutes 20% of the basin, the proportion of highly vulnerable areas is 14,7% and the proportion of areas in the very high vulnerability class is 2,2%. In the second stage of the study, a spatial density map was created by kernel density estimation method using the data of 77 flood/inundation events recorded by AFAD between 1940 and 2023. This map shows that flood events are particularly concentrated in and around the central districts of Manisa, Turgutlu, Salihli, Alaşehir, Çiğli and Menemen. These areas also largely overlap with sites classified as high and very high vulnerability in the AHP-based vulnerability map.

It is believed that the analyses conducted provide a methodology that is highly applicable on a regional scale, based on scientific foundations and capable of guiding decision-makers. In general, areas of high density and high vulnerability stand out as priority disaster management areas, while the potential for future increases in flood vulnerability in other regions should also be considered. In future research, it is recommended to make the findings more comprehensive and reliable by using more detailed and long-term data sets, applying advanced spatial modeling techniques and integrating climate change scenarios into the analysis.

KAYNAKÇA / REFERENCES

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, *16*(3), 268-281.

AFAD. (2014). Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. *TC Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara*.

ASF. (2023). *Alaska Satellite Facility. (2023). ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected (RTC) 12.5m Digital Elevation Model (DEM) [Data set]. ASF DAAC. https://asf.alaska.edu*.

Atalay, İ. (2006). *Toprak Oluşumu Sınıflandırılması ve Coğrafyası*.

Bailey, T. C., & Gatrell, A. C. (1995). *Interactive Spatial Data Analysis* (C. 413). Longman Scientific & Technical Essex.

Başarlar, F. F., & Ekinci, H. (2019). Bayramiç-Çan Arası Farklı Jeolojik ve Jeomorfolojik Araziler Üzerinde Oluşmuş Toprakların Profil Özellikleri ve Sınıflandırılması. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *7*(1), 69-80.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (2014). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge.

Bozkurt Çiftçi, N., & Bozkurt, E. (2008). Folding of the Gediz Graben Fill, SW Turkey: Extensional and/or Contractional Origin? *Geodinamica Acta*, *21*(3), 145-167. https://doi.org/10.3166/ga.21.145-167

Bozkurt, E., & Sözbilir, H. (2004). Tectonic evolution of the Gediz Graben: Field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey. *Geological Magazine*, *141*(1), 63-79.

Chen, Y.-R., Yeh, C.-H., & Yu, B. (2011). Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. *Natural Hazards*, *59*(3), 1261-1276. https://doi.org/10.1007/s11069.011.9831-7

Coppola, D. (2006). *Introduction to international disaster management*. Elsevier.

Dalbudak, E., & Rençber, Ö. F. (2022). Çok kriterli karar verme yöntemleri üzerine literatür incelemesi. *Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *4*(1), 1-17.

Dölek, İ. (2013). Muş'ta Yaşanan Sel ve Taşkınlara Neden Olan Doğal Faktörlerin Analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, *28*, 408-422.

Dölek, İ. (2015). Sungu Beldesi ve Yakın Çevresinde (MUŞ) Sel ve Taşkına Duyarlı Alanların Belirlenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, *31*, 258-280.

Dölek, İ., & Avcı, V. (2017). Muş İlinin Sel ve Taşkın Duyarlılık Haritalarının Oluşturulması. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi , 27 (2), 1-16.*

Dursun, Y. (2022). *Coğrafi Bilgi Sistemi ile Taşkın Risk Analizi: Osmaneli/bilecik Örneği* [Master's Thesis, Konya Teknik Üniversitesi]. https://gcris.ktun.edu.tr/handle/20.500.13091/2272

Eroğlu, İ., & Bozyiğit, R. (2012). Yunt Dağı ve Çevresinin Jeomorfolojik Özelliklerine Tektonik-Volkanik Unsurların Etkileri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, *25*, 32-59.

Ertan, A., Özelkan, E., & Karaman, M. (2021). Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında Sel ve Taşkın Alanlarının Belirlenmesi: ÇanakkaleKaramenderes Havzası Örneği. *Journal of Research in Atmospheric Science*, *3*(2).

Fidan, D., & Ulvi, A. (2022). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Alternatif Havalimanı Konumlarının Belirlenmesi; Ankara Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, *4*(2), 87-96.

Göztepe, S., & Bahadır, M. (2024). Hatip Çayı Havzası'nda (Ankara) taşkınların coğrafi analizi ve taşkın duyarlılığı. *Kesit Akademi*, *8*(33), 143-169.

Gündoğdu, V., & Kocataş, A. (2006). Gediz Nehir Havzası Yönetim Planı Oluşturulmasına Yönelik Bir Yaklaşım. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *23*(3), 371-378.

Güneş, B., & Kömüşcü, A. (2025). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı AHS yöntemi ile Erzincan-Sivas Karayolu ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi. *Doğal Afetler ve Çevre*, *11*(1).

Güney, Y., & Turoglu, H. (2020). Selendi çayı havzası'nda iklim özelliklerindeki eğilimler ve erozyona etkileri. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, *4*, 15-31.

Günseli, İ. G. (2019). *Determination of Flood Risk Areas and Mitigation Strategies: A Case Study of the Menemen Plain, İzmir* [Master's Thesis]. Izmir Institute of Technology (Turkey).

Hoque, M. A.-A., Tasfia, S., Ahmed, N., & Pradhan, B. (2019). Assessing Spatial Flood Vulnerability at Kalapara Upazila in Bangladesh Using an Analytic Hierarchy Process. *Sensors*, *19*(6), 1302.

Hoşgören, M. Y. (2010). *Jeomorfoloji'nin ana çizgileri I*. Çantay kitabevi.

Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Methods for Multiple Attribute Decision Making. İçinde M. Beckmann & H. P. Künzi (Eds.), *Multiple Attribute Decision Making* (C. 186, ss. 58-191). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3

Kadıoğlu, M. (2012). Türkiye'de İklim Değişikliği Risk Yönetimi, Birinci Baskı, Türkiye'nin İklim Değişikliği II. *Ulusal Bildiriminin Hazırlanması Projesi Yayını, Ankara*, *2*, 219-257.

Karabulut, M., Küçükönder, M., & Topuz, M. (2013). Alata (Erdemli) Deresi'nin Jeomorfometrik Analizi. *Coğrafyacılar Derneği Yıllık Kongresi Bildiriler Kitabı*, 450-459.

Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of Flood Hazard Areas at A Regional Scale Using an İndex-Based Approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros Region, Greece. *Science of the Total Environment*, *538*, 555-563.

Kim, J., & Scott, C. D. (2012). Robust Kernel Density Estimation. *The Journal of Machine Learning Research*, *13*(1), 2529-2565.

Köysüren. (2024). *Harput Platosunun Güneydoğusunda (Elazığ) Arazi Kullanımının Sel, Taşkın ve Erozyon ile İlişkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.

Kundzewicz, Z. W., & Kaczmarek, Z. (2000). Coping with Hydrological Extremes. *Water International*, *25*(1), 66-75. https://doi.org/10.1080/025.080.60008686798

Kuşcu, İ., & Ozdemir, H. (2025). Flood Susceptibility Analysis of Settlement Basins on a Provincial Scale Using İnventory Flood Data. *Environmental Earth Sciences*, *84*(1), 15. https://doi.org/10.1007/s12665.024.11988-2

Levine, N. (2004). CrimeStat III: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations (version 3.0). *Houston (TX): Ned Levine & Associates/Washington, DC: National Institute of Justice*.

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John wiley & sons.

Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, *20*(7), 703-726. https://doi.org/10.1080/136.588.10600661508

Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thieken, A. (2010). Assessment of Economic Flood Damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *10*(8), 1697-1724.

Myers, J. H., & Alpert, M. I. (1968). Determinant Buying Attitudes: Meaning and Measurement. *Journal of Marketing*, *32*(4_part_1), 13-20. https://doi.org/10.1177/002.224.296803200404

Ocak, F. (2023). Ladik Gölü Havzası'nda (Samsun) akıllı doğal afet yönetimi. *Unpublished Doctoral Thesis. Ondokuz Mayıs University Graduate Education Institute, Department of Geography*, *808247*.

Ocak, F., & Bahadır, M. (2020). Örnek Taşkın Risk Modeli Oluşturulması ve Ünye Şehrindeki Derelere Ait Taşkın Risk Analizleri. *Journal of Academic Social Science Studies*, *13*(80).

Ocak, F., & Bahadır, M. (2024). CBS Teknikleri Kullanılarak Deprem Duyarlılık Analizi için Analitik Hiyerarşi Prosesi: Samsun Ladik Gölü Havzası Örneği, Türkiye. *Kesit Akademi*, *8*(33), 322-348.

Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographic Information System (GIS)-Based Multicriteria Analysis of Flooding Hazard and Risk in Ambo Town and Its Watershed, West Shoa Zone, Oromia Regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *27*, 100659.

Opperman, J. J., Galloway, G. E., Fargione, J., Mount, J. F., Richter, B. D., & Secchi, S. (2009). Sustainable Floodplains Through Large-Scale Reconnection to Rivers. *Science*, *326*(5959), 1487-1488. https://doi.org/10.1126/science.1178256

Özcan, O. (2017). Taşkın Tespitinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi: Ayamama Deresi Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, *3*(1), 9-27.

Özkan, S. P., & Tarhan, C. (2016). Detection of Flood Hazard in Urban Areas Using GIS: Izmir Case. *Procedia Technology*, *22*, 373-381.

Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. K. (2013). Camili (Macahel) Biyosfer Rezerv Alanının (Artvin, KD Türkiye) Heyelan Duyarlılık Analizi. *Electronic Turkish Studies*, *8*(3).

Pappenberger, F., Beven, K. J., Hunter, N. M., Bates, P. D., Gouweleeuw, B. T., Thielen, J., & De Roo, A. P. J. (2005). Cascading Model Uncertainty From Medium Range Weather Forecasts (10 days) Through a Rainfall-Runoff Model to Flood Inundation Predictions Within the European Flood Forecasting System (EFFS). *Hydrology and Earth System Sciences*, *9*(4), 381-393.

Petouonchi, A. G. (2020). *Sayısal Arazi Modeline Dayalı Hidrolojik Analizler ile Sel Riski Haritaları Oluşturma: Kamerun Douala Uygulaması* [Master's Thesis]. Konya Teknik Üniversitesi.

Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood Hazard Zoning in Yasooj Region, Iran, Using GIS and Multi-Criteria Decision Analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *7*(3), 1000-1017. https://doi.org/10.1080/19475.705.2015.1045043

Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aaiding* (C. 12). Springer Science & Business Media.

Saaty. (1977). A Theory of Analytical Hierarchies Applied to Political Candidacy. *Behavioral Science*, *22*(4), 237-245. https://doi.org/10.1002/bs.383.022.0402

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*, *41*(11), 1073-1076.

Saaty, T. L. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, *1*(1), 83. https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590

Sarıgül, O., & Turoğlu, H. (2020). Kahramanmaraş Şehri Sel ve Taşkınlarının Coğrafi Analizi ve Öngörüler. *Coğrafya Dergisi*, *40*, 275-293.

Saroglu, F. (1992). The East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Ann. Tectonicae*, 99-125.

Schneiderbauer, S., & Ehrlich, D. (2004). Risk, Hazard and People's Vulnerability to Natural Hazards. *A review of definitions, concepts and data. European Commission Joint Research Centre. EUR*, *21410*, 40.

Silverman, B. W. (2018). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Routledge.

Smith, K., & Ward, R. (1998). *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/199.819.08635

Sunkar, M., & Tonbul, S. (2010). İluh Deresi Havzası'na (Batman) Yönelik Sel ve Taşkın Riski Analizleri. *Nature Sciences*, *5*(4), 255-273.

Taş, M. A., & Yanik, M. E. (2022). Analitik Hiyerarşi Süreci (Ahs) Metodu İle Behzat Deresi (Tokat) Havzası Taşkın Risk Analizi. *Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *15*(2), 185-199. https://doi.org/10.46790/erzisosbil.1221464

Tate, E., Rahman, M. A., Emrich, C. T., & Sampson, C. C. (2021). Flood Exposure and Social Vulnerability in the United States. *Natural Hazards*, *106*(1), 435-457. https://doi.org/10.1007/s11069.020.04470-2

Tokgözlü, A., & Özkan, E. (2018). Taşkın Risk Haritalarında AHP Yönteminin Uygulanması: Aksu Çayı Havzası örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *44*, 151-176.

Türkeş, M. (2011). Akhisar ve Manisa yörelerinin yağış ve kuraklık indisi dizilerindeki değişimlerin hidroklimatolojik ve zaman dizisi çözümlemesi ve sonuçların çölleşme açısından coğrafi bireşimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, *9*(1), 79-99.

UNISDR (Ed.). (2004). *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives* (2004. bs). United Nations.

UNISDR. (2011). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2011*. https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2011/en/home/index.html

UNISDR. (2016). *(United Nations International Strategy for Disaster Reduction), Terminology on Disaster Risk Reduction*.

Ünal, A., Çamcı, K. G., & Tonyaloğlu, E. E. (2022). Çok Kriterli Karar Analizi ile Doğal Afetlerde Haritalama: Aydın İli Sel-Taşkın Riski Örneği. *Ulisa: Uluslararası Çalışmalar Dergisi*, *6*(2), 136-150.

Wand, M. P., & Jones, M. C. (1994). *Kernel smoothing*. CRC press. https://www.google.com/books?hl=tr&lr

White, I., Kingston, R., & Barker, A. (2010). Participatory Geographic İnformation Systems and Public Engagement Within Flood Risk Management. *Journal of Flood Risk Management*, *3*(4), 337-346. https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2010.01083.x

Yaralıoğlu, K. (2016). Performans Değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Proses. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *16*(1), Article 1.

Yoon, K. P., & Hwang, C.-L. (1995). *Multiple Attribute Decision Making: An İntroduction*. Sage publications. https://www.google.com/books?hl=tr&lr

Yurddaş, K. (2022). *Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) İle Kurşunlu Çayı Havzası'nda Taşkın Risk Analizi* (ss. 9-31).

Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill, Company*. London.