



## COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ TABANLI ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ KULLANILARAK TAŞKIN TEHLİKE HARİTALAMASI

Can Bülent KARAKUŞ<sup>1\*</sup>, Şeyma CEYLAN DEMİREL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mimarlık, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Sivas, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Taşkın, Taşkın Tehlike Haritalaması, Coğrafi Bilgi Sistemi, Analitik Hiyerarşi Süreci.</i>	<p>Bu çalışmanın amacı; çalışma alanı olarak seçilmiş olan Sivas kent merkezi ve yakın çevresinin taşkın riskini ortaya koymaktır. Çalışmada taşkın risk haritalaması için 8 adet kriter (eğim, yükseklik, bakı, yağış, büyük toprak grubu, akarsulara uzaklık, litoloji ve arazi kullanımı) seçilmiştir. Bu kriterler çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi -Süreci (AHS) yöntemi temelinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak analiz edilmiş ve taşkın açısından riskli alanlar belirlenmiştir. AHS yöntemi kapsamında taşkın tehlike haritalamasında dikkate alınan kriterler için CR (Tutarlılık) değeri 0.03 olarak hesaplanmış olup, bu değer elde edilen sonuçların tutarlı ve kabul edilebilir olduğunu göstermiştir. Yöntem çerçevesinde oluşturulmuş olan taşkın tehlike haritasının ortaya koyduğu risk kategorileri “çok yüksek (% 12.72)”, “yüksek (% 24.40)”, “orta (% 28.14)”, “düşük (% 25.40)” ve “çok düşük (% 11.32)” şeklinde 5 farklı sınıf ile temsil edilmiştir. Çalışma alanındaki yerleşim alanlarının bir kısmı (% 25.20) ile tarım alanlarının bir kısmı (% 47.28), taşkın riski açısından “çok yüksek” riskli alanlar kategorisinde yer almıştır. Elde edilen sonuçlar; taşkın risklerinin azaltılmasında CBS tabanlı AHS yönteminin karar vericilere oldukça faydalar sağlayabileceğini göstermiştir. Taşkın risklerinin azaltılmasına yönelik olarak taşkın risk verileri kent planlarına yansıtılmalı ve plan uygulamalarına taşkın riskinin derecesine göre öncelik verilmelidir.</p>

## FLOOD HAZARD MAPPING USING THE GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM BASED ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS

Keywords	Abstract
<i>Flood, Flood Hazard Mapping, Geographic Information System, Analytical Hierarchy Process.</i>	<p>The aim of this study is to reveal the flood risk of Sivas city center and its immediate surroundings, which was chosen as the study area. In the study, 8 criteria (slope, elevation, aspect, precipitation, large soil group, distance to rivers, lithology and land use) were selected for flood risk mapping. These criteria were analyzed using the Geographical Information System (GIS) on the basis of the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, which is one of the multi-criteria decision-making methods, and areas at risk for flooding were determined. The CR (Consistency) value was calculated as 0.03 for the criteria considered in flood hazard mapping within the scope of the AHP method, and this value showed that the results obtained were consistent and acceptable. The risk categories revealed by the flood hazard map created within the framework of the method are “very high (12.72%)”, “high (24.40%)”, “medium (28.14%)”, “low (25.40%)” and “very low (11.72%).” was represented by 5 different classes. Some of the residential areas (25.20%) and some of the agricultural areas (47.28%) in the study area were included in the category of “very high” risky areas in terms of flooding. The results showed that GIS-based AHP method can provide great benefits to decision makers in reducing flood risks. In order to reduce flood risks, flood risk data should be reflected in city plans and plan implementations should be given priority according to the degree of flood risk.</p>

\* İlgili yazar / Corresponding author: bkarakus@cumhuriyet.edu.tr, +90-346-219-1560

**Alıntı / Cite**

Karakuş, C.B., Ceylan Demirel, Ş., (2022). Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanılarak Taşkın Tehlike Haritalaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(4), 1155-1173.

**Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)**

C.B. Karakuş, 0000-0002-7373-9960  
Ş. Ceylan Demirel, 0000-0002-5151-4429

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	28.12.2021
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	10.06.2022
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	30.06.2022
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.12.2022

**1. Giriş (Introduction)**

Taşkınlar, önemli yağış olayları sırasında su seviyesinin nehir kıyıları, gölleri, barajları veya bentleri aştığı zaman meydana gelen bir hidrometeorolojik bir doğal afettir (Luu vd., 2018). Taşkınlar, insan yaşamını etkileyen ve dünya çapında ciddi ekonomik hasarlara neden olan, en çok tekrarlanan ve en yıkıcı doğal afetler arasındadır (Khan vd., 2011). Taşkın, toprağı sular altında bırakan ve tarım arazilerine, kentsel alanlara zarar verebilecek ve hatta can kaybına yol açabilecek bir su taşmasıdır (Huang vd., 2008; Veerbeek ve Zevenbergen, 2009). Taşkınlar, çok yoğun yağışların neden olduğu akış sularının membadan mansaba doğru hızla birikmesi ve salıverilmesi nedeniyle meydana gelmektedir. Hidrolojik ve doğal afetler biliminde önemli bir yer tutan taşkınlar, etkilenen insan sayısı ve ölüm oranları açısından doğal afetler arasında en üst sıralarda yer almaktadır (Ouma ve Tateishi, 2014).

Drenaj havzasının şekli, drenaj eğimi ve arazinin topografyası gibi fiziksel özellikler ile yağış, depolama ve kayıplar ve yüzey tutma, buharlaşma ve sızma gibi hidrolojik özellikler ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan olaylar, taşkınların yoğunluğu ve süresini en çok etkileyen faktörlerdir. (Abdi, 2006). Bu faktörlerin anlaşılması ve farklı bölgelerde sınıflandırılması, taşkın yönetiminin ve risklerin azaltılması noktasında önemlidir. (Razavi, 2008).

İnsan toplumunun günümüz yüzyılında karşılaştıkları en önemli ve zorlu olaylardan biri iklim değişikliğidir. Küresel ısınma olarak bilinen iklim değişikliği, yeryüzü sıcaklığının artışına ve yağış özelliklerinin değişmesine sebep olmaktadır (Oğuz ve Akın, 2019). İklim değişikliğinin başlamasıyla taşkın yoğunluğu ve sıklığı dünyanın birçok bölgesini tehdit edecek, gelecekte taşkın riskleri potansiyel bir tehlike oluşturacaktır (Jonkman ve Dawson, 2012). Küresel iklim değişikliğinin etkileri; iklim kuşaklarının kayması, hava sıcaklıklarında artışların olması, buzulların erimesi, buzulların erimesine bağlı deniz seviyelerinde yükselme olarak bilirse de bu etkenlerin beraberinde getirdiği şiddetli fırtınalar ve yağışlar, taşkın olaylarının şiddetinde ve sıklığında artışa neden olmaktadır (Oğuz vd., 2022). Öngörülen iklim değişikliği senaryoları altında, aşırı hidrolojik olaylar ve taşkın risklerinin özellikle önemli olması ve zamanla artması muhtemeldir. HadCM3 iklim modeline göre; küresel taşkın riski, küresel iklim değişikliğinin olmadığı bir duruma kıyasla 2050'de yaklaşık % 187 artacaktır (Arnell and Gosling, 2016). Taşkın tehlikeleri, diğer doğal afetlere kıyasla dünya nüfusunun en büyük oranını (% 45) etkilemiş olup, 2000 ile 2017 yılları arasında 5.424 kayıtlı ölüme neden olmuştur (CRED, 2018). Coğrafi olarak, gelecekteki taşkın riskinde en büyük artışın Asya, Amerika ve Avrupa'da olacağı tahmin edilmektedir. En hızlı kentleşmenin yaşandığı Asya şehirlerinde yaşayan nüfus, 2070'li yıllara kadar özellikle kıyı taşkınlarına maruz kalacağı ve taşkın tehditlerine karşı son derece savunmasız olacağı öngörülmektedir (Hanson vd., 2011).

Taşkınlar, modern teknoloji ve bilgi sistemleri kullanılarak doğru bir şekilde izlenebilmektedir. Taşkın haritalama; risk yönetimini, gerçek zamanlı tahminleri ve arazi kullanımı ve arazi örtüsü yönetimini kolaylaştırarak bu tür olaylar için karar vermeyi destekleyebilmektedir. Taşkınların çok boyutlu dinamik olay olması nedeniyle CBS/Uzaktan Algılama (UA) verileri, su basmış alanların kapsamını keşfetmek için büyük kolaylık sağlamaktadır (Swain vd., 2020).

Kıyaslanamaz kriterler içeren karmaşık karar problemlerini analiz etmek için çok kriterli karar analizi (ÇKKA) yöntemleri gereklidir. ÇKKA'nın temel amacı, en iyi seçimi bulmak için sınırlı sayıda kriter altında sınırlı sayıda karar alternatifinin öznel değerlendirmesini destekleyen matematiksel araçların tasarımıdır (Sener vd., 2011). Taşkın oluşumunu etkileyen faktörlerin her biri, bu faktörlerin her birinin etkisi nedeniyle önceliklendirilebileceğinden, havzada taşkın oluşma riskinde farklı bir role sahiptir (Ghezelsflo ve Hajibigloo, 2020). Mekânsal modelleme ve doğal taşkın analizinde birleştirilmiş ÇKKA-CBS yaklaşımları yaygın olarak kullanılmıştır (Malczewski, 2006; Scheuer vd., 2011; Paquette ve Lowry, 2012; Solin, 2012; Koem ve Tantane, 2020; Cai vd., 2021; Ramkar ve Yadav, 2021;). Bu yaklaşımlar temel olarak ölçüt standardizasyonu, sınıflandırma prosedürü ve mekânsal analize dayalı olarak faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesini kapsayan mekânsal çok kriterli karar analizi şemasını dikkate almaktadır (Felsoni vd., 2020).

Mevcut duruma ve gelecek yıllara göre tahmin edilmiş olan taşkın riski senaryolarında, taşkınların potansiyel tehlikeleri ve riskleri hakkında doğru mekânsal ve zamansal bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır (Ouma ve Tateishi,

2014). Taşkın haritalama, taşkın risk yönetiminin çok önemli bir unsurudur. Genellikle taşkın tehlike haritaları, tehlikelerin coğrafi kapsamına ve aşırı bir olayın olasılığına dayalı olarak sel riski düzeylerini nitelendirmek için kullanılır. Taşkın tehlike bölgesi haritaları, taşkınların doğasını ve insan yaşamı üzerindeki etkilerini belirlemek için değerli bir araçtır. Taşkın tehlike haritaları imar planlarının oluşturulmasında, şehrin gelecekteki gelişiminin planlanmasında ve ayrıca altyapı, drenaj ve taşkın drenajının geliştirilmesi gereken alanların belirlenmesinde etkili bir araç olabilir (Ghezelsoflo ve Hajibigloo, 2020). Bu yöntem aynı zamanda hem afet riski hem de kırılabilirlik endeksleri için gösterge ağırlıklarının atanmasında ve ayrıca taşkın risk değerlendirme modellerindeki faktörlerin derecelendirilmesinde etkilidir (Orencio ve Fujii, 2013). CBS tabanlı AHS, dünya çapında taşkın tehlikesi olan alanları belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yağış düzeni, eğim, drenaj, yükseklik ve arazi kullanım türleri gibi bazı morfolojik ve hidrometeorolojik faktörler, belirli yerel topluluklar ve kültürel miras alanlarında gelecekteki taşkın riskinin tahmininde yaygın olarak göz önünde bulundurulmaktadır (Armenakis ve Nirupama, 2014).

Ülkemizde son 60 yılda (1955-2014) 2.563 taşkın meydana gelmiş olup 1.500'e yakın can kaybı yaşanmıştır. Mevcut veriler itibari ile taşkınlardan kaynaklanan ekonomik kayıp her yıl yaklaşık 100 milyon \$'dır (Tokgözlü ve Özkan, 2018). 1950-2019 yılları arasında meydana gelen sel/su baskını olaylarının dağılımında Erzurum 440 olayla ilk sırada yer almaktadır. Bunu 319 olayla Sivas, 265 olayla Van ve 247 olayla Bitlis takip etmektedir. Buna karşın Yalova, Kilis ve Uşak gibi illerde ise oldukça az sayıda sel/su baskını olayı meydana gelmiştir. Ülkemizde batıdan doğuya ve güneyden kuzeye gidildikçe sel/su baskını olaylarının artış gösterdiği söylenebilir. 1950-2019 Türkiye'de meydana gelen sel/su baskını olaylarının toplam sayısı 6833'tür (URL-1).

Literatürde CBS-AHP yöntemine dayalı olarak taşkın riski potansiyelinin belirlenmesine yönelik olarak çok sayıda çalışma (Tablo 1) bulunmaktadır. Bu çalışmalar, benzer yöntemlerin farklı bölgelerdeki uygulamalarını içermektedir. Bu çalışma, taşkın potansiyelinin belirlenmesinde dikkate alınan kriterlerin bölgesel ölçekte (çalışma alanı) değerlendirilmesine yönelik bir yöntem sunması ve bu konuda literatürdeki diğer çalışmalara destek olması açısından önemlidir. Bu çalışmada; eğim, yükseklik, bakı, yağış, büyük toprak grubu, akarsulara uzaklık, litoloji ve arazi kullanımı kriterleri dikkate alınarak CBS tabanlı AHS yöntemi yardımıyla Sivas kent merkezi ve yakın çevresinin yer aldığı Kızılırmak Havzası'ndaki lokasyonlar için taşkın tehlike haritası oluşturularak çalışma alanının taşkın riski potansiyeli belirlenmiştir.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Review)

Taşkın tehlike haritalaması, taşkın risk yönetiminin çok önemli bir unsurudur. Genellikle taşkın tehlike haritaları, tehlikelerin coğrafi kapsamına ve aşırı bir olayın olasılığına dayalı olarak taşkın riski düzeylerini nitelendirmek için kullanılır. Bu yöntem aynı zamanda hem afet riski hem de kırılabilirlik endeksleri için gösterge ağırlıklarının atanmasında ve ayrıca taşkın risk değerlendirme modellerindeki faktörlerin derecelendirilmesinde etkilidir (Orencio ve Fujii, 2013). Dünya çapında taşkın tehlikesi olan alanları belirlemek için CBS tabanlı AHS yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır (Tablo 1). Yağış modelleri, eğim, drenaj, yükseklik ve arazi kullanım türleri gibi bazı morfolojik ve hidrometeorolojik faktörler, belirli yerel topluluklar ve kültürel miras alanlarında gelecekteki taşkın riskinin tahmininde yaygın olarak göz önünde bulundurulmaktadır (Armenakis ve Nirupama, 2014; Lanza, 2003).

**Tablo 1.** Taşkın tehlikesi değerlendirmeleri: göstergelere ve yöntemlere genel bakış (Flood hazard assessments: an overview of indicators and methods, Kittipongvises vd., 2020)

Taşkın Tehlike Değerlendirmeleri	Taşkın Göstergeleri	Yöntemler
Don Nehri Havzası, Büyük Toronto Bölgesi, Kanada (Armenakis ve Nirupama, 2014)	Akarsulara uzaklık, en yakın drenajın üzerindeki yükseklik, eğim ve eğri numarası	Çok kriterli analiz, CBS-AHS yöntemi
Malda Bölgesi, Batı Bengal, Hindistan (Ghosh ve Kar, 2018)	Jeomorfolojik ve hidrolojik değişkenler (yükseklik, eğim, yeryüzü şekli kategorileri, nehirden uzaklık, yağış düzeni, nehir birleşiminden uzaklık)	CBS-AHS yöntemi
Gülistan Eyaleti, İran (Safaripour vd., 2012)	Drenaj, tepe gölgesi, taşkın yoğunluğu, arazi tipi, eğim, erozyona duyarlılık	CBS ağırlıklandırma/bindirme teknikleri
Xerias Akışı, Yunanistan (Bathrellos vd., 2017)	Eğim, yükseklik, akarsulardan uzaklık, arazi kullanımı ve hidrolotolojik oluşumlar	CBS-AHS yöntemi/Çoklu tehlike haritalama

Atina Havzası, Yunanistan (Bathrellos vd., 2016)	Eğim, yükseklik, akarsulardan uzaklık, arazi örtüsü ve hidrolotolojik oluşumlar	CBS-AHS yöntemi
Mert Nehri Havzası, Samsun, Türkiye (Demir ve Kisi, 2016)	Su yüzeyi profilleri, akarsu ağı, akış yolları	Hidrolojik Mühendislik Merkezi Nehir Analiz Sistemi (HEC-RAS)
Arno Nehri, İtalya (Manfreda vd., 2011)	Alan, eğim, drenaj yoğunluğu, akış yoğunluğu	Sayısal Yükseklik Modeli
Sucevita Havzası, Romanya (Hapciuc vd., 2016)	Eğim, profil eğriliği, toprak dokusu, arazi kullanımı, litoloji	CBS-AHS yöntemi
Kültürel Miraslar, Tayvan (Wang, 2013)	Yağış, eğim, yükseklik, deniz seviyeleri, gelgitler	CBS/taşkın eğilimli uyarı
UNESCO (Cigna vd., 2018)	Taşkınların akarsu ve kıyı jeolojik göstergeleri, yeraltı suyu taşkınlarına duyarlılık, madencilik tehlikesi	Kantitatif analiz

Das (2018) tarafından yapılan çalışmada; Vaitarna havzasında (Maharashtra/Hindistan) taşkına karşı daha yüksek hassasiyete sahip riskli bölgeleri belirlemek için yükseklik, eğim, akarsudan uzaklık, yağış, akış birikimi, arazi kullanımı, jeoloji, topografik nemlilik indeksi ve eğrilik gibi kriterler dikkate alınmıştır. AHS yöntemi ile bu kriterlerin bağıl ağırlıkları belirlenerek CBS yazılımı yardımıyla nihai taşkın haritası hazırlanmış ve taşkın potansiyeli çok yüksek olan bölgeler tespit edilmiştir. Elde edilmiş olan taşkın tehlike haritasına göre; Vaitarna havzasındaki toplam alanın yaklaşık % 20'sinin çok yüksek bir taşkın olasılığına sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada önerilen CBS tabanlı AHS yönteminin, taşkın tehlike haritalama için doğru bir sonuç verme yeteneğine sahip olduğu ve taşkın tehlikesinin yönetimi ve önlenmesi için dünyanın diğer bölgelerine kolayca uygulanabileceği vurgulanmıştır. Hammami vd. (2019), taşkın açısından tehlikeli bölgelerin mekânsal dağılımını belirlemek için 8 kriter dikkate almıştır. Araştırmacı, CBS tabanlı AHS yöntemini kullanarak taşkın duyarlılık haritası oluşturmak üzere Taşkın Tehlike İndeksi (FHI)'ni hesaplamıştır. Araştırmacı; FHI'ya dayalı taşkın açısından riskli alanları çok düşük (% 2.85), düşük (% 7.5), orta (% 17.95), yüksek (% 20.63) ve çok yüksek (% 51.06) olarak kategorize etmiştir. Araştırmacının sonuçlarına göre, taşkın etkilerini sınırlamak ve kentsel bölgeyi su basmasına karşı korumak için bu araştırmanın bir temel oluşturabileceği vurgulanmıştır. Chakraborty ve Mukhopadhyay (2019) tarafından yapılan çalışma, Coochbehar bölgesi (Bangladeş)'nintaşkın tehlike haritası hazırlamak için CBS tabanlı AHS yöntemini kullanmıştır. Araştırmada çalışma alanının doğu, güneydoğu, güney, orta ve kuzey-orta kesimlerinin taşkın açısından riskli bölgeler olduğu vurgulanmıştır.

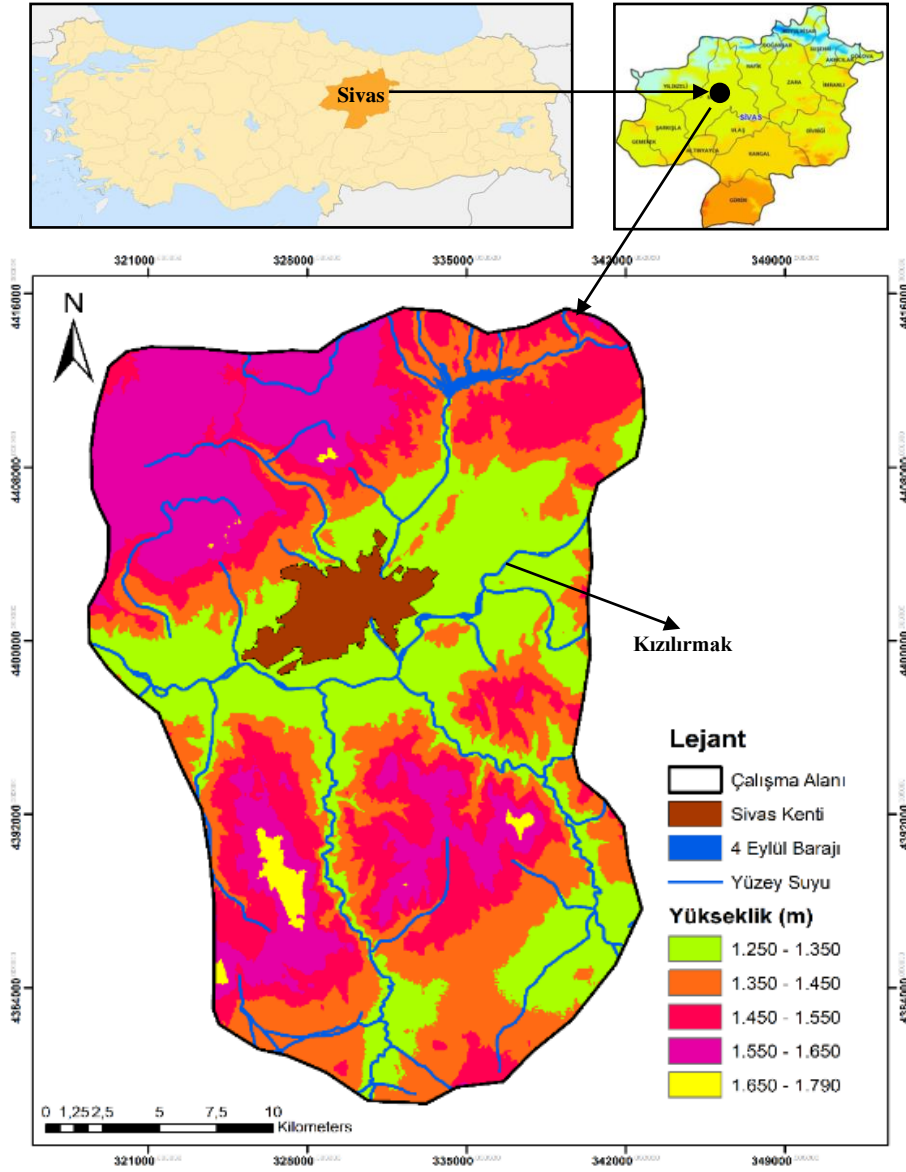
Topdağ (2003) tarafından yapılmış olan tez çalışmasında; Sivas ili çevresinin sel ve taşkın riski açısından incelenmesi ve konuya ilişkin alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada çalışma alanında meydana gelen taşkınların; yağışların düzensiz ve ani olmasına, yağış alanı büyüklüğüne, yörenin topografik ve akaçlama (drenaj) yapısına, toprak bileşimine ve üzerindeki bitki örtüsüne, akan suyun yatak kapasitesine bağlı olarak meydana geldiği vurgulanmıştır. İstatistiksel hesaplamalara dayalı yapılan bu çalışmada, Sivas ilinde taşkın olasılığının Mayıs, Haziran, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında daha yüksek olabileceği belirtilmiştir. Şengün vd. (2019) tarafından yapılan başka bir çalışmada; CBS tabanlı ÇKKV Yöntemleri ve UA tekniği kullanılarak Tavşanlı deresi (Hafik/Sivas) havzasında taşkın sırasında zarar görecekt muhtemel riskli bölgeler belirlenmiştir.

Çalışma alanı akarsu taşkın alanı üzerinde bulunmakta olup, yapılan literatür araştırmalarında; CBS tabanlı AHS yöntemine dayalı olarak çalışma alanı ile ilgili taşkın tehlike haritalamasına yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle, çalışmanın sonuçları taşkın konusunda yetkili kurum ve kuruluşlara önemli katkılar sunma noktasında oldukça önemlidir.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

#### 3.1. Çalışma Alanı (Study Area)

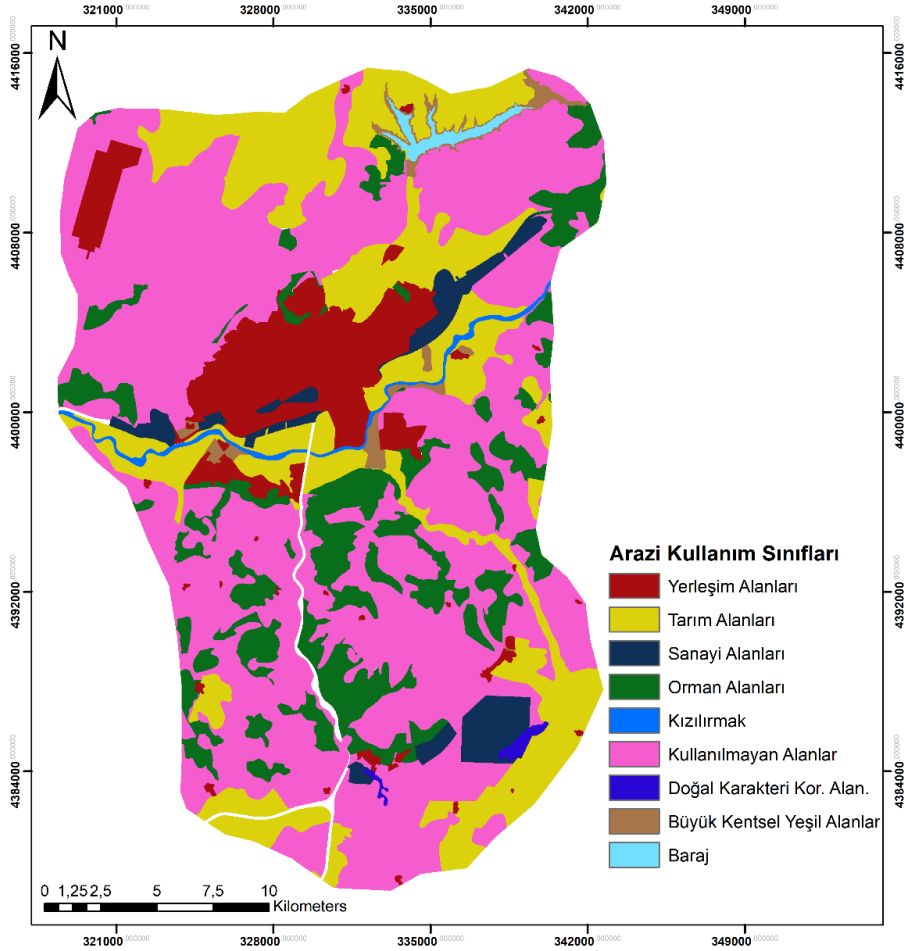
Büyük bir kısmı İç Anadolu Bölgesi'nin doğusunda, daha küçük bölümleri ise Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerinde yer alan Sivas ili, 28488 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümü ile Türkiye'nin toprak bakımından 2. büyük ilidir. Topraklarının büyük bölümü Yukarı Kızılırmak, bir bölümü de Yeşilirmak ve Fırat havzalarında yer almaktadır. Sivas ili, 35°-50' ve 38°-14' doğu boylamları ile 38°-32' ve 40°-16' kuzey enlemleri arasındadır. Çalışma alanı 677.22 km<sup>2</sup>'lik alanı ile Sivas kenti planlama sınırı içerisinde kalmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer buldur ve yükselti haritası (Locate and elevation map of the study area)

Çalışma alanının deniz seviyesinden yüksekliği genellikle 1250-1790 m arasında değişmektedir. Çalışma alanı genel olarak kent merkezinin kuzeydoğusuna ve güney-güneydoğusuna doğru yükselen bir yapı göstermektedir. Çalışma alanında düz ve düze yakın (0 -5) alanlar en yüksek dağılıma (% 49.6) sahiptir. 335.84 km<sup>2</sup>'lik bir alan kaplayan bu alanlar kent merkezi çevresi ile kentin güneyinde yoğunlaşmaktadır (HGM, 2005). Araştırma alanının % 21.42'ünü kaplayan alüvyal toprakların büyük kısmı Kızılırmak çevresi ile Kızılırmak nehrinin kolları çevresinde yer almaktadır. Kahverengi topraklar, araştırma alanında en yaygın olarak görülen toprak grubudur. Araştırma alanının 315.8 km<sup>2</sup>'sini oluşturan kahverengi topraklar doğal bitki örtüsü, kısa ot ve çalılardan ibarettir. Araştırma alanı sınırları içerisindeki en önemli su kaynakları; Kızılırmak ve kolları olan Yıldız Irmağı, Kalın Irmağı, Tecer Irmağı, Fadlım Irmağı ve Mısmırlırmak'tır (HGM, 2005). Çalışma alanının jeolojik yapısı ağırlıklı olarak çakıltı-kumtaşı-çamurtaşı şeklindedir. Alanda aktif fay hattı bulunmamaktadır (MTA, 2005). Şekil 2, çalışma alanının mevcut arazi kullanımı durumunu göstermektedir. Çalışma alanında alan kullanım büyüklüğü açısından en fazla dağılıma sahip arazi kullanım türü "kullanılmayan alanlar" sınıfı olup, bu alanlar çalışma alanının % 60.8'ini oluşturmaktadır. Çalışma alanında "kullanılmayan alanlar" sınıfından sonra en fazla dağılıma sahip arazi kullanım türleri sırasıyla "tarımsal alanlar (% 20,68)", "orman alanları (% 12.55)", "yerleşim alanları (% 9.30)"dır. Çalışma alanında en düşük dağılıma sahip arazi kullanım sınıfları da "doğal karakteri korunacak alanlar (% 0.26)", "baraj (% 0.54)", "Kızılırmak nehri (% 0.72)", "kentsel yeşil alanlar (% 1.26)", "sanayi alanları (% 3.18)" olarak sıralanmıştır (MPGM, 2015). Sivas, İç Anadolu Bölgesi'nin en soğuk ilidir. Kışlar soğuk, yazlar ise sıcak ve kurak geçer. Yaz dönemi kısadır. Yaz ve kış mevsimleri ile gündüz ve gece arasındaki sıcaklık farkları yüksektir. Yazın 40 °C'ye ulaşan sıcaklık, kış mevsiminde -33°C'ye kadar düşmektedir (Karakuş ve Demiroğlu, 2022). Sivas il sınırları içerisinde bulunan akarsular; Kızılırmak, Yıldız Irmağı, Kalın Irmağı, Mısmırlırmak, Fadlım Irmağı, Tecer Irmağı, Acı Irmak, Acısu Irmağı, Kelkit Çayı, Tozanlı Irmağı, Yılanlı Çayı, Balıklı Tohma Çayı, Tohma Çayı ve Hurma Çayı"dır.

Sivas il sınırları içerisindeki bazı akarsuların yıllık ortalama debileri; Kızılırmak 39,42 m<sup>3</sup> /sn, Yıldız Irmağı 11,30 m<sup>3</sup> /sn, Kalın Irmağı 1,77 m<sup>3</sup> /sn, Tecer Irmağı 2,90 m<sup>3</sup> /sn, Kelkit Çayı 50,33 m<sup>3</sup> /sn, Tohma Çayı 3,78 m<sup>3</sup> /sn, Mısmırmak 1,21 m<sup>3</sup> /sn ve Fadlım Irmağı 3,0 m<sup>3</sup> /sn'dir (Atmaca, 2004).



Şekil 2. Çalışma alanına ait mevcut arazi örtüsü ve kullanımı haritası (Current land cover/use map of the study area, MPGM, 2015)

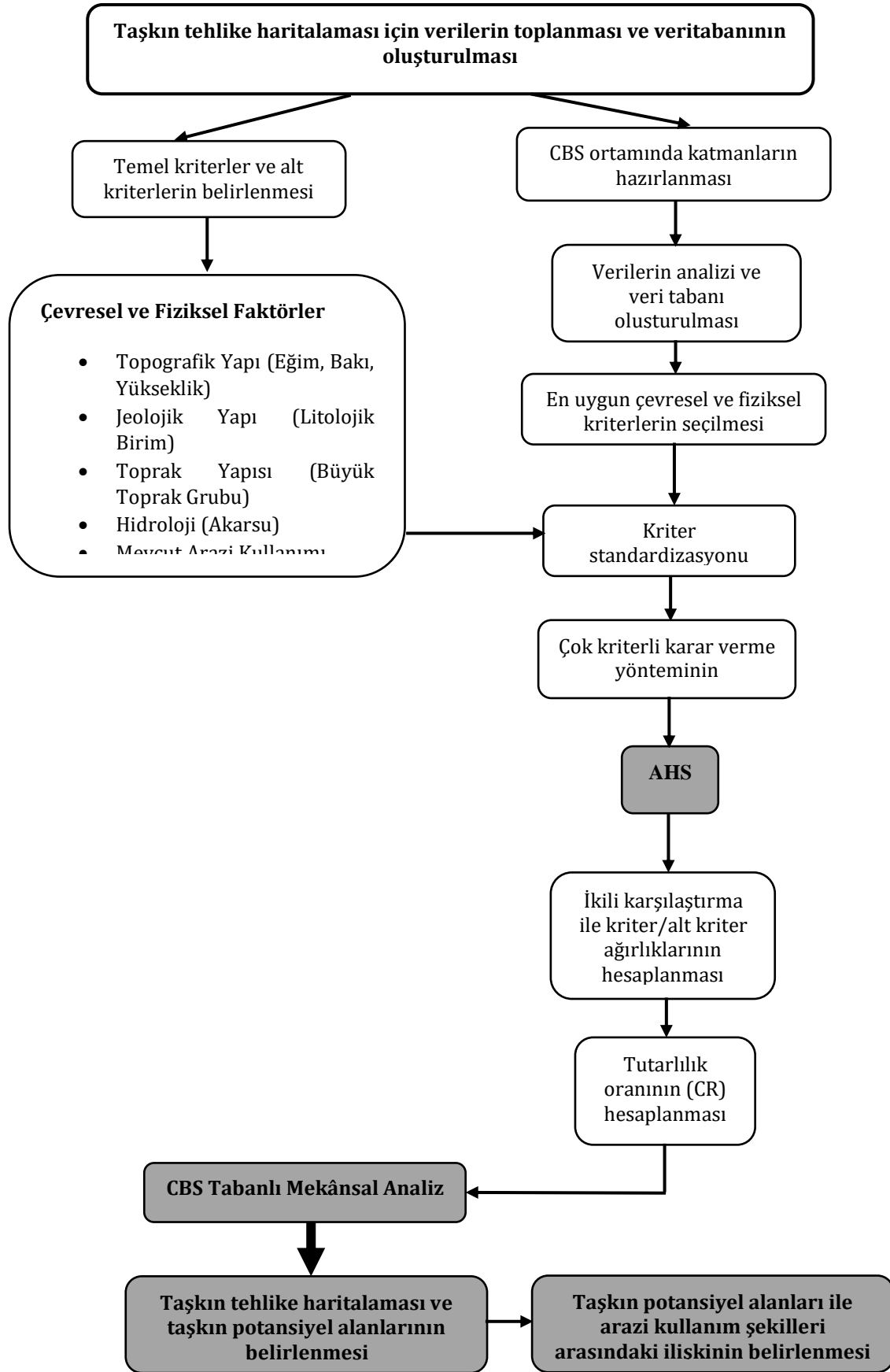
### 3.2. Veri Temini ve Yazılımlar (Data Supply and Software)

Bu çalışmada, çalışma alanına ait sayısal veriler 1/25.000 ölçekli olarak ilgili kurumlardan temin edilmiştir. Eğim, baki, yükseklik ve yüzey suyu kriterini içeren vektör veriler Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM, 2005) (Ankara/Turkey); yağış verileri Sivas Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden (SMİM, 2020); büyük toprak grupları kriterini içeren toprak verileri (KHGM, 2001) Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan (Ankara/Turkey); litolojik yapı kriterini içeren jeoloji verileri (MTA, 2005) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden (Ankara/Turkey) ve mevcut arazi kullanımı kriterini içeren veriler (MPGM, 2015) ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'ndan (Ankara/Turkey) temin edilmiştir. Harita formatındaki sayısal veriler CBS veri tabanı formatında (.shp), yağış verileri ise Excel formatında temin edilmiştir. Yağış verilerinden oluşturulmuş olan yağış haritası ve temin edilmiş tüm sayısal haritalar ortak bir harita projeksiyonu (UTM 37N) ve datum (ED50) formatına dönüştürülmüştür. Çalışmada kullanılan tüm kriterlere ait göreceli ağırlık değerlerinin belirlenmesi için extAHP 2.0 yazılımı; tüm kriterlere ait sınıflandırılmış haritaların ve AHS yöntemine dayalı taşkın tehlike haritasının oluşturulması ve taşkın alanları ile arazi kullanım şekilleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi için de ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılmıştır.

### 3.3. Yöntem (Method)

Çalışmada uygulanacak olan yöntemin akış diyagramı Şekil 3'de görülmektedir. Bu çalışmada uygulanan yöntemin ilk aşaması; CBS tabanlı AHS yöntemine dayalı olarak taşkın potansiyeline sahip alanların belirlenmesidir. Çalışma yönteminin ikinci aşaması ise; çalışma alanındaki taşkın açısından riskli alanlar ile arazi kullanım şekilleri

arasındaki ilişkinin ortaya konulmasıdır. Şekil 3'de görülen yöntemin aşamaları aşağıdaki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 3. Yöntemin akış diyagramı (Flow chart of the method)

Taşkın tehlike haritasının oluşturulması ve taşkın açısından riskli alanların belirlenmesi için öncelikli olarak AHP yöntemi yardımıyla ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrisi; taşkın konusunda yapılmış olan literatür çalışmaları (Kazakis vd., 2015; Dash ve Sar, 2020; Ouma ve Tateishi, 2014; Rahmati vd., 2016; Hategekimana vd., 2018), uzmanların ve akademisyenlerin görüşleri dikkate alınarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılmış olan AHP yöntemine göre taşkın tehlike haritalamasında dikkate alınan 8 adet kriter, Tablo 3'deki değerler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Saaty (1980) tarafından önerilen AHP değerlendirme ölçeğine (Tablo 2) göre; tüm uzmanların 8 adet kriteri birbirleriyle karşılaştırarak değerlendirme yapmaları istenmiştir. Tüm kriterler arasında uzmanların yapmış olduğu ve literatür araştırmalarından elde edilmiş olan ikili karşılaştırmaların geometrik ortalama değerleri kullanılarak bir ölçütün (kriterin) diğerine karşılık gelen karşılaştırma matrisine girilmiştir (Tablo 5). 8 adet kriter, taşkın tehlike haritalaması ve taşkın açısından riskli alanların belirlenmesi açısından uygunluk değer aralıklarına (Tablo 4) göre sınıflandırılmış ve bu 8 adet kriterin sınıflandırılmış raster haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4). Çalışma kapsamındaki taşkın tehlike haritalaması için kullanılmış olan kriterlere ve alt kriter puanlamalarına ilişkin bilgiler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmış olup, tüm kriterler taşkın riski açısından 5 sınıflı olarak değerlendirilmiştir.

### 3.3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

AHS, her kriterin göreceli ağırlığını belirlemek için kullanılan ikili karşılaştırmalara dayalıdır. Çok kriterli problemlerde karar verme işlemi, karar vericilere dayalı öznel bir işlemdir (Kontos vd., 2005). Bu teknik, öznel olarak daha kolay değerlendirilen ve daha kolay kavranabilen alt sorunların bir hiyerarşisi içerisinde problemlerin ayrıştırılmasını sağlayan bir araçtır. Öznel değerlendirmeler, sayısal bir ölçek şeklinde sıralanan sayısal değerlere dönüştürülmektedir (Bhushan ve Rai, 2004). AHS'nin temelinde ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması yer almaktadır.

İkili karşılaştırma matrisi bir karar aşamasına gereksinim duymaktadır. İkili karşılaştırmaların oluşturulmasında kararları açıklamak için 1 ile 9 arasında değişen bir ölçek kullanılmaktadır; 1 değeri eşit önemi ifade ederken 9 değeri en önemliyi ifade etmektedir (Saaty, 1980). Karşılaştırma matrisinde her bir faktörün önem değerini belirleyebilmek için Tablo 2'de verilen Saaty (1980) tarafından geliştirilmiş olan önem dereceleri ölçeğinden yararlanılmaktadır.

**Tablo 2.** Analitik hiyerarşi süreci değerlendirme ölçeği (Analytical hierarchy process rating scale, Saaty, 1980)

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

Her kriterin ağırlığı belirlenmekte, kriter ağırlıklarının ağırlıklı vektör toplamına bölünmesiyle bir tutarlılık vektörü belirlenmekte, bununla beraber tutarlılık oranının tahmin edilmesiyle karşılaştırmaların tutarlılığı kontrol edilebilmektedir. Daha sonra aşağıdaki denkleme göre tutarlılık indeksi (CI) belirlenmektedir (Yal ve Akgün, 2013).

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (1)$$

Burada;  $\lambda$  = tutarlılık vektörünün ortalama değeri ve  $n$  = kriter sayısıdır.

Eğer ikili karşılaştırma matrisi bir tutarlı matris ise  $\lambda = n$  olarak verilmektedir ve  $\lambda = n$  kararsızlık derecesinin bir ölçümü olarak tanımlanabilmektedir. Rastgele Değer İndeksinin (RI) Tutarlılık İndeksine (CI) bölünmesiyle tutarlılık derecesini ölçmek için Tutarlılık Oranı (CR) belirlenebilmektedir. Kullanılan kriter sayısına göre RI değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir. RI, karşılaştırılan elemanların sayısına bağlıdır.  $CR < 0.1$  koşulu tutarlılığın kabul edilebilir bir derecesini gösterir,  $CR \geq 0.1$  koşulu ise kararsızlığı göstermektedir (Yal ve Akgün, 2013). Saaty (1980) tarafından önerilen bu yöntemle hesaplanan tüm karşılaştırmaların CR değerleri 0.1'den düşükse bu uygunluğu göstermektedir (Eastman, 2003). CR değerleri 0.1'den büyük olduğu zaman yeniden bir değerlendirme yapılmalıdır (Shahabi vd., 2014).

**Tablo 3.** Rastgele İndeks (RI) tablosu ([Random Index (RI) table, Saaty, 1980])

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.58



### 3.3.2. Kriter Standardizasyonu, Puanlama ve Haritalama (Criteria Standardization, Scoring and Mapping)

Her bir kriterin göreceli ağırlığının ayarlanma süreci kriter standardizasyonu olarak bilinmektedir. Bu işlemde kriter standardizasyonu için normal olarak 0-1, 0-10 veya 0-100 arasındaki değerler kullanılmaktadır. İkili karşılaştırma tekniği sıra değerlerinin standardize edilmesi ve puanlaması için kullanılmaktadır. Standartlaştırma işlemiyle; orijinal değerler ortak uygunluk değerlerine dönüştürülmektedir. Standartlaştırma işlemiyle bir kıstas ölçeğinin diğeriyle karşılaştırılabilir olması sağlanmaktadır (Hansen, 2005). Doğrusal dönüşüm, bir puanlama ve sıralama sistemi gibi geleneksel standardizasyon yöntemleri; sınırlayıcı ve belirleyici düzeyleri ölçmek için kullanılmaktadır (Liu vd., 2014).

Bu çalışmada; eğim, yükseklik, bakı, yağış, büyük toprak grubu, akarsulara uzaklık, litoloji ve arazi kullanımı kriterleri taşkın tehlike haritalaması için çevresel ve fiziksel kriterler olarak dikkate alınmıştır (Şekil 3). Tablo 4'de verilmiş olan literatür bilgilerine dayalı olarak; bu kriterler, taşkın tehlike haritalamasındaki etki düzeyine göre alt kriterlere ayrılmış ve her bir alt kritere 1 ile 5 arasında puanlar verilmiştir (Tablo 4). Taşkın tehlike haritalamasında kullanılmış olan 5, 4, 3, 2 ve 1 puanları taşkın riski açısından sırasıyla "çok yüksek", "yüksek", "orta", "düşük" ve "çok düşük" kategorilerine karşılık gelmektedir (Swain vd., 2020; Radwan vd., 2019). Çalışmada yapılmış olan puanlama ve AHS ile yapılmış olan kriter ağırlıklandırma işlemi, bu çalışmada kaynak olarak kullandığımız literatürlere, konuyla ilgili akademisyen ve uzman görüşüne göre uygulanmıştır. Kriter ağırlıkları, alt birimler ve o birimlere ait değerler belirlendikten sonra ArcGIS 10.8 programının Spatial Analyst (Mekansal Analiz) modülü yardımıyla kriterlere ait tematik haritalar, kriterlerin taşkın tehlike haritalamasındaki etki düzeyi puanlarına göre yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 4). Sınıflandırılmış haritalar ve kriterlerin taşkın tehlike haritalamasındaki etki düzeyleri açısından belirlenmiş olan uzman görüşlerine dayalı geometrik ortalama değerleri, CBS tabanlı AHS yazılımı yardımıyla değerlendirilerek çalışma alanına ait taşkın tehlike haritası elde edilmiştir (Şekil 5).

**Tablo 4.** Seçilen ana kriterler, alt kriterler ve alt kriterlerin puanları  
(Selected main criteria, sub-criteria and scores of sub-criteria)

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Puan	Taşkın Riski	Kaynak
<b>Eğim (°)</b>	0-2	5	Çok Yüksek	Kazakis vd., 2015
	2-5	4	Yüksek	Dash ve Sar, 2020
	5-15	3	Orta	Mahmoud ve Gan, 2018
	15-35	2	Düşük	
	35-65,8	1	Çok Düşük	
<b>Yükseklik (m)</b>	1250-1350	5	Çok Yüksek	Sözer vd., 2018
	1350-1450	4	Yüksek	Dölek ve Avcı, 2017
	1450-1550	3	Orta	Bathrellos vd., 2017
	1550-1650	2	Düşük	
	1650-1790	1	Çok Düşük	
<b>Bakı</b>	Düz	5	Çok Yüksek	Oğuz vd., 2016
	Kuzey, Kuzeybatı, Kuzeydoğu	4	Yüksek	Özcan, 2017
	Güney, Güneydoğu, Güneybatı	2	Düşük	
	Batı, Doğu	1	Çok Düşük	
<b>Yağış (mm)</b>	432 - 441	5	Çok Yüksek	Ouma ve Tateishi, 2014
	420 - 432	4	Yüksek	Hammami vd., 2019
	405 - 420	3	Orta	
	390 - 405	2	Düşük	
	372 - 390	1	Çok Düşük	
<b>Büyük Toprak Grubu</b>	[Kırmızımsı Kahverengi Topraklar, Alüvyal Topraklar]	5	Çok Yüksek	Dölek ve Avcı, 2017
	Hidromorfik Topraklar	4	Yüksek	Sengun vd., 2019
	Kahverengi Topraklar	3	Orta	
	Kolüvyal Topraklar	1	Düşük	
<b>Akarsulara Uzaklık (m)</b>	0-250	5	Çok Yüksek	Tella ve Balogun, 2020
	250-500	4	Yüksek	Bathrellos vd., 2017
	500-750	3	Orta	Tüzgen ve Karaca, 2021
	750-1000	2	Düşük	
	> 1000	1	Çok Düşük	
<b>Litoloji</b>	Alüvyon	5	Çok Yüksek	Sengun vd., 2019
	[Kireçtaşı, Alüvyon Yelpazesi, Traverten, Yamaç Molozu-Birikinti Konisi, Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı]	4	Yüksek	Işık vd., 2020
	Jips	3	Orta	

	[Piroklastik Kaya, Andezit- Bazalt, Volkanit-Çökelkaya Kumtaşı-Çamurtaşı, Çakıltaşı- Kumtaşı-Çamurtaşı]	2	Düşük	
	Ofiyolitik Kaya	1	Çok Düşük	
<b>Arazi</b>	Su Yapıları	5	Çok Yüksek	Hammami vd., 2019
<b>Kullanımı</b>	[Yapay Arazi Kullanımı (Sanayi, Büyük Kentsel Yeşil Alanlar, Yerleşim Alanları)]	4	Yüksek	Mahmoud ve Gan, 2018 Işık vd., 2020
	Tarım Alanları	3	Orta	
	Kullanılmayan Alanlar	2	Düşük	
	[Orman ve Doğal Karakteri Korunacak Alanlar]	1	Çok Düşük	

#### 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

##### 4.1. Kriter-Alt Kriter Puanlama ve Haritalandırma (Criterion-Sub-Criteria Scoring and Mapping)

###### Eğim (Slope)

Eğim, taşkına yatkın olan yüzey bölgelerinin önemli bir göstergesidir. Eğim, su akışının hızını ve süresini belirlemede önemli bir faktördür. Daha düz yüzeyde su daha yavaş hareket etmekte, daha uzun süreyle toplanmakta ve birikmektedir. Bu nedenle bu alanlar daha dik yüzeylere göre taşkın oluşumu açısından daha risklidir (Gigović vd., 2017). Taşkın değerlendirmesinde eğim parametresi yüzey akışını ve sızma miktarını etkiler. Düşük eğime sahip alanlar suyun durgunlaşmasına ve taşkınlara sebep olabilir (Kazakis vd., 2015; Dash ve Sar, 2020).

Çalışma alanının eğimi 0° ile 65,5° arasında değişmektedir. Şekil 4a; taşkın riski açısından çok yüksek (0°-2°), yüksek (2°-5°), orta (5°-15°), düşük (15°-35°) ve çok düşük (35°-65,8°) olmak üzere beş ana sınıfa ayrılan çalışma alanı eğim sınıflarını göstermektedir. Her sınıf, çalışma alanının sırasıyla % 29,8, % 19,8, % 33,8, % 12,8 ve % 3,9'unu kapsamaktadır. Eğimi % 0-2 (5 puan ile) arasında olan alanlar taşkın açısından potansiyel alanlar olup, bu alanların daha çok Sivas kent merkezi ve yakın çevresi ile çalışma alanının güneydoğusunda yer aldığı ve en fazla alansal değere (% 29,8) sahip olduğu görülmektedir. "Çok düşük" (35°-65,8°) taşkın riski kategorisine sahip eğimli alanların (1 puan ile), çalışma alanında en az alansal değere (% 3,9) sahip olduğu görülmektedir. Bu alanlar, çalışma alanının daha çok güneyinde ve doğusunda dağılım göstermiştir. Genel olarak; çalışma alanının kuzeyi-güneyi ile Sivas kent merkezinin de bulunduğu çalışma alanının orta kesimleri arasında en fazla eğim farkı bulunmaktadır (Tablo 4, Şekil 4a). Bu durum, yüzey akışı ve sızma ile ilgili olarak arazi yapısının başka bir gösterimini sağlamaktadır. Bu nedenle; herhangi bir hafif eğim, aşırı su baskını olaylarından daha fazla alanın etkilenmesine neden olabilmektedir (Radwan vd., 2019).

###### Yükseklik (Elevation)

Yükseklik parametresi; taşkın yayılımı, akış yönü kontrolü ve taşkın derinliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Düşük rakım ve eğim değerlerinde taşkın duyarlılığının yüksek olması beklenmektedir (Sözer vd., 2018; Souissi vd., 2020). Bu kriter, taşma yönünün hareketini ve suyun derinliğini kontrol etmede anahtar role sahiptir (Stieglitz vd., 1997). Yüksek rakımda yer alan bölgelerin genellikle su basması olasılığı daha düşükken, düşük yükseklikteki bölgeler daha yüksek hassasiyete sahiptir. Su, daha yüksek bir yerden alt bölgeye doğru akma eğilimindedir ve bu nedenle, düz yüzeyli alt bölgelerde taşkın meydana gelme olasılığı daha yüksektir (Das ve Pardeshi, 2018).

Taşkın riski açısından "çok yüksek" kategoride yer alan 1250-1350 m yükseklik aralığına sahip alanlar (5 puan ile) çalışma alanının % 32,9'unu kapsamaktadır ve bu yükseklik aralığındaki alanlar daha çok Sivas kent merkezi ve yakın çevresinde, çalışma alanının güneyinde ve güneydoğusunda görülmektedir. Taşkın riski açısından "çok düşük" kategoride yer alan 1650-1790 m aralığındaki yükseklik değerleri (1 puan ile), genellikle çalışma alanının güneybatısında görülmekte ve bu yükseklik aralığındaki alanlar çalışma alanının % 0,8'ini kapsamaktadır (Tablo 4, Şekil 4b).

###### Baki (Aspect)

Baki parametresi, Kuzey Yarım Küre'de kuzey yamaçlarında güneşlenme süresi daha kısa olduğundan buharlaşma miktarı ve karın yerde kalma süresi üzerinde etkili olabilmektedir. Bunun yanı sıra düşen yağışın yüzeyel akışa geçmesinde etkili olabilecek bir parametredir. Taşkın değerlendirmesinde baki parametresinin etkisi düz veya

düze yakın alanların taşkın açısından yüksek riskli sahalar olmasından kaynaklanır. Bu alanlar yağışın ve suyun birikebileceği alanlardır (Dölek, 2015).

Taşkın riski açısından “çok yüksek” kategoride yer alan düz (5 puan ile) bakı grubu çalışma alanında en az dağılıma (% 6.7 ) sahiptir ve bu bakılar daha çok kent merkezi yakın çevresinde yoğunlaşmaktadır. Çalışma alanında en fazla alansal dağılıma (% 35.6) sahip bakı grubu güney-güneydoğu-güneybatı bakıları olup bu bakı grubu (2 puan ile) taşkın riski açısından “düşük” kategoride yer almaktadır (Tablo 4, Şekil 4c).

### **Yağış (Rainfall)**

Yağışlar, buzul bölgeleri dışında yüzey suyunun tek kaynağıdır. Yağışların nehir deşarjı ile önemli bir ilişkisi vardır ve taşkın oluşumunu doğrudan kontrol eder. Bir bölgede beklenmeyen yağışlar, yarı kurak bölgelerde ani taşkın durumunu tetikleyebilir (Das, 2018). Akarsuların fazla suyu taşıma kapasitesine sahip olmadığı durumlarda, taşkınlar yaygın olarak yoğun yağışlar sonucu meydana gelir. Hemen toprağa sızamayan su, eğimden aşağı doğru akar. Şiddetli yağışlar nedeniyle nehirlerde veya göllerde su seviyesi yükselir. Su seviyesi nehir kıyılarının veya barajların üzerine çıktığında, su taşmaya başlar ve bu nedenle nehir kaynaklı taşkınlara neden olur. Sular nehir, göl veya barajların bitişiğindeki alanlara taşarak sel veya taşkınlara neden olur (Ouma ve Tateishi, 2014).

Çalışma alanına ait yağış haritasının oluşturulması için ArcGIS 10.8 yazılımında yer alan Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW) kullanılmıştır. Sivas il sınırları içerisinde yer alan 9 meteoroloji istasyonuna (Sivas Merkez, Kangal, Suşehri, Zara, Divriği, Gemerek, Gürün, Şarkışla, Ulaş) ait 1970-2020 yılları arasındaki 50 yıllık ortalama toplam yağış verileri kullanılarak Sivas il sınırını kapsayan yağış haritası elde edilmiştir. Çalışma alanı sınırı içerisinde bir meteoroloji istasyonu (Sivas Merkez) bulunmakta olup, Sivas il sınırı için oluşturulmuş olan yağış haritası çalışma alanı sınırına göre kesilerek çalışma alanına ait yağış haritası (Şekil 4d) elde edilmiştir. Çalışma alanı için belirtilen yöntemle oluşturulmuş olan yağış haritasına göre yıllık ortalama yağış değerleri 390 mm ile 441 mm arasında değişmektedir. Taşkın riski açısından; “çok yüksek” kategoride yer alan yağış değerlerine (5 puan ile) sahip alanlar çalışma alanında en fazla dağılıma (% 41.5 ) sahip iken, “çok düşük” kategoride yer alan yağış değerlerine (1 puan ile) sahip alanlar çalışma alanında % 8.3'lük bir dağılım göstermiştir. Yağışın en düşük olduğu alanlar çalışma alanının güneyinde bulunmaktadır. Yağışın en yüksek olduğu alanlar ise Sivas kent merkezi ve yakın çevresinin de yer aldığı bölge olan çalışma alanının orta kısımları ve kuzey kısımlarıdır (Tablo 4, Şekil 4d). Çalışma alanında yoğun yağış alan bölgeler, taşkın tehlikesi açısından riskli bölgeler sınıfında yer alabilmektedir.

### **Büyük Toprak Grubu (Great Soil Group)**

Toprak parametresi, yağışın akıştaki etkisini tolere edebilen önemli bir faktördür. Toprak türüne göre sızdırma ve havalandırma kapasitesi de değişmekte olup, taşkınların şiddet ve etkisini belirli oranda azaltıp arttırabilmektedir (Tokgözlü, 2018). Etkili bir şekilde, her bir toprak tipinin dokusu ve yapısı, geçirgenliklerini ve dolayısıyla su depolama kapasitelerini önemli ölçüde etkileyebilir (Hammami vd., 2019). Yüzey akışının killi topraklarda kumlu topraklara göre daha hızlı ve daha fazla olması muhtemeldir. Geçirimsiz toprakların çoğu, onları taşmaya eğilimli hale getiren kilden oluşurken, kumdan oluşan topraklar geçirgendir ve büyük miktarda yüzey suyunu emebildikleri için nispeten kolay süzülür. Genel olarak toprak tipi toprağa sızabilecek su miktarını kontrol edebilir (Lappas ve Kallioras, 2019).

Akarsular tarafından taşınarak belli alanlarda biriken ve taban suyu tarafından beslenen toprak türü olan alüvyal topraklar ile kırmızımsı kahverengi orman toprakları (5 puan ile) taşkın riski açısından “çok yüksek (% 52.5)” sınıfında yer almış olup, bu toprak türleri çalışma alanında en fazla dağılıma sahiptir. “Çok yüksek” kategorisinde yer alan bu toprak grupları Sivas kent merkezi-yakın çevresi ile çalışma alanının daha çok güneyinde ve kuzeybatısında dağılım göstermiştir. Taşkın riski açısından “çok düşük (% 0.6)” kategoride yer alan kolüvyal topraklar çalışma alanında en az dağılıma dağılıma sahip toprak birimidir (Tablo 4, Şekil 4e).

### **Akarsuya Uzaklık (Distance to Stream)**

Akarsuya olan uzaklık, taşkın riski açısından önemli bir parametredir ve taşkın alanının belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Taşkınlardan en çok etkilenen alanlar, taşkınların bir sonucu olarak, bu akarsuların yakınındaki alanlardır (Rahmati vd., 2016). Bu nedenle, doğru taşkın haritalaması için önemli bir jeomorfik faktör olan nehirden uzaklık dikkate alınmalıdır. Mesafe arttıkça eğim ve yükseklik artar. Ayrıca, bir akış genellikle o bölgenin en alçak noktasıdır. Bunun bir sonucu olarak, kanaldan uzak bölgelerde sel oluşumuna karşı daha düşük hassasiyete sahiptir (Das, 2018).

Akarsuya uzaklığı; 0-250 m arasındaki uzaklık değerlerine (5 puan ile) sahip bölgeler taşkın riski açısından “çok yüksek (% 17.0)” kategoride iken 1000 m’den büyük uzaklık değerlerine (1 puan ile) sahip bölgeler taşkın riski açısından “çok düşük (% 41.5)” kategorisindedir. Çalışma alanında akarsuya uzaklık kriteri açısından en düşük alansal dağılıma (% 12.2) sahip bölgeler 750-1000 m aralığındaki “düşük” kategorisi ile tanımlanmış bölgelerdir. Sivas kent merkezi ve yakın çevresi Kızılırmak nehrinin kuzeyinde yerleşmiş olup, kent merkezi ve yakın çevresi taşkın açısından riskli bölgede yer almaktadır (Tablo 4, Şekil 4f).

### **Litoloji (Lithology)**

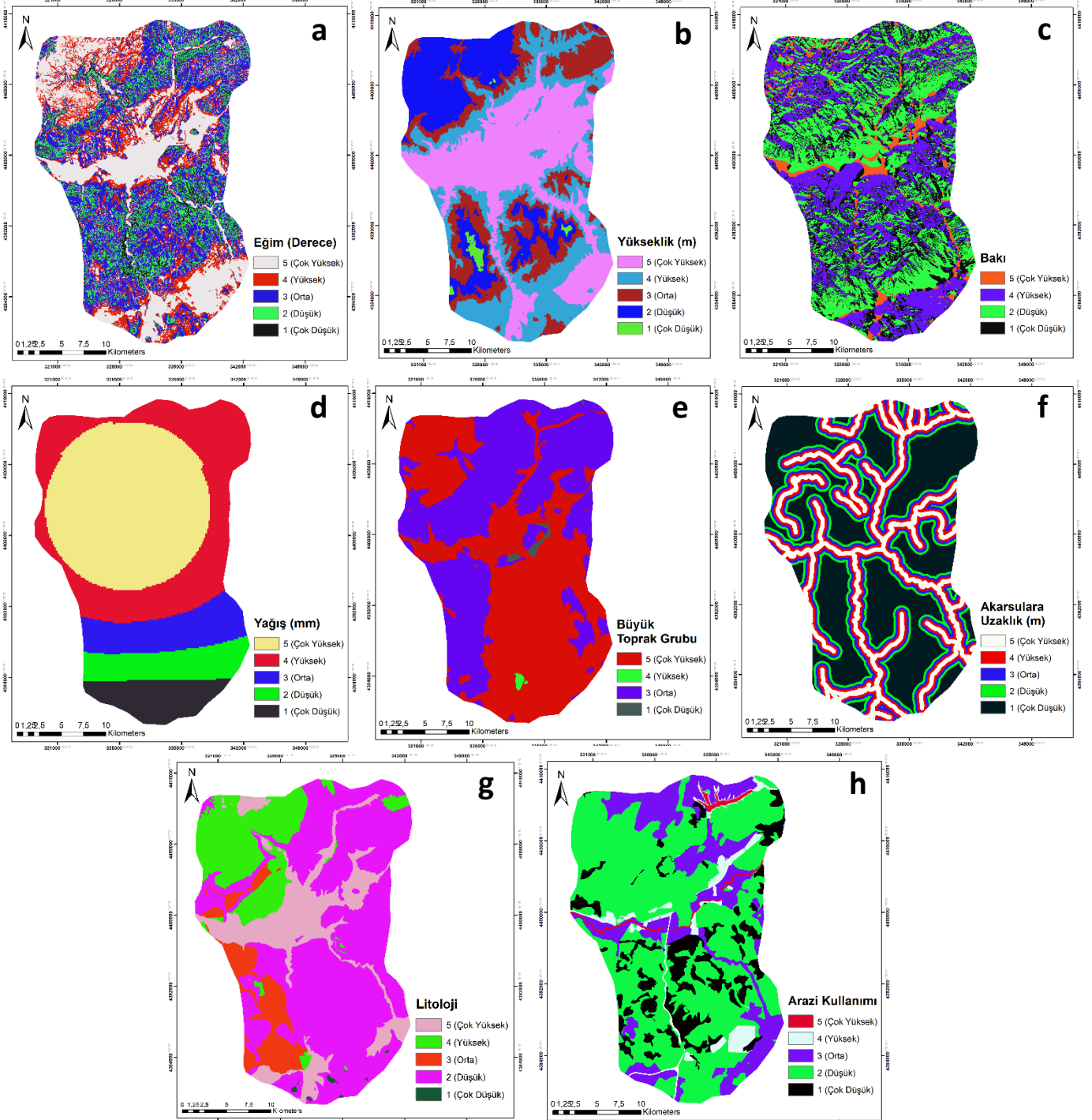
Litolojik birimler, taşkına eğilimli alanların belirlenmesinde önemli faktörlerden biridir. Bu faktör; kaya türlerine göre değişen, zeminlerin geçirgenliği ile ilgilidir. Geçirgen formasyonlar (iri-daneli kum, konglomera vb.), yağmur suyu sızmasını kolaylaştırır ve taşkın tehlikesini azaltır. Öte yandan geçirimsiz formasyonlar (marn, kil vb.) yüzey akış hızını artırarak taşkın riskini artırmaktadır (Souissi vd., 2020). Kaya geçirimsiz olduğunda, yağmur suyu sızması daha az önemlidir, bu da yüzeylerin genişlemesini kolaylaştırır ve sel olayı etkilerini artırır (Hammami vd., 2019).

Çalışma alanındaki taşkın tehlikesinin oluşmasında en büyük etken olan litolojik birim olan “alüvyon” birimi (5 puan ile) taşkın riski açısından “çok yüksek (% 18.3)” sınıfı ile kategorize edilirken, taşkın tehlikesinin oluşmasında en az etkiye sahip litolojik birim olan “ofiyolit kaya” birimi (1 puan ile) taşkın riski açısından “çok düşük (% 0.2)” sınıfı ile kategorize edilmiştir. Çalışma alanında taşkın tehlikesi açısından “düşük” kategorisinde yer alan litolojik birimler (piroklastik kaya, volkanit-çökelkaya-andezit-bazalt, kumtaşı-çamurtaşı, çakıltası-kumtaşı-çamurtaşı) çalışma alanında en fazla alansal dağılıma (% 56.1) sahiptir. Taşkın tehlikesi açısından “çok yüksek” kategoride bulunan litolojik birim, daha çok Sivas kent merkezi-yakın çevresinde ve çalışma alanının güneyinde yoğunlaşmıştır. “Çok düşük” taşkın riskine sahip litolojik birimler çalışma alanının daha çok güneybatısında yoğunlaşmıştır (Tablo 4, Şekil 4g).

### **Arazi Kullanımı (Land Use)**

Arazi kullanımı kriteri, taşkınların oluşmasına katkıda bulunan ana faktörlerden biridir ve yüzey akışı ve toprağın su için depolama işlevi görme yeteneği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kentsel ve endüstriyel alanlar esas olarak geçirimsiz yüzeylerden (binalar, yollar ve otoparklar) oluşur. Bu arazi kullanım şekilleri; bir bariyer görevi görür, sızma kapasitesini azaltır, suyu tutar ve taşkın eğilimli hale gelir. Öte yandan tarlalar, meralar ve orman bitki örtüsü taşkına daha az eğilimlidir. Binalar, yollar gibi arazi kullanım şekilleri toprağın penetrasyon kapasitesini azaltır ve yüzey akışını artırır. Bitki örtüsünün varlığı akış miktarını azaltır. Bitkilerin infiltrasyon kapasitesi suyun tutulması anlamında önemlidir. (Bathrellos vd., 2012; Kourgialas ve Karatzas, 2016; Hategekimana vd., 2018).

Çalışma alanında en yüksek dağılıma sahip arazi kullanımı şekli “kullanılmayan alanlar (% 60.8)” sınıfındaki alanlar olup bu alanlar taşkın riski açısından “düşük” kategoride yer almaktadır. Taşkın riski açısından; “çok yüksek” kategoride yer alan “su yapıları” (5 puan ile) sınıfındaki alanlar çalışma alanında en az dağılıma (% 1.3 ) sahip iken, “çok düşük” kategoride yer alan “orman ve doğal karakteri korunacak alanlar” (1 puan ile) sınıfındaki alanlar çalışma alanında % 12.8’lik bir dağılım göstermiştir (Tablo 4, Şekil 4h).



Şekil 4. Kriterlere ait sınıflandırılmış haritalar (Classified maps of criteria)

#### 4.2. Taşkın Tehlike Analizi ve Haritalaması (Flood Hazard Analysis and Mapping)

Taşkın tehlike analizinde kullanılan kriterler arasındaki ikili karşılaştırmaların (Cabrera ve Lee, 2020; Mohamed, 2019; Komolafe vd., 2020) geometrik ortalama değerleri CBS tabanlı AHP yazılımı yardımıyla değerlendirilmiş, kriter ağırlıkları ve tutarsızlık oranı (CR) hesaplanmıştır (Tablo 5). Kriterlerin taşkın tehlike haritalamasındaki etki düzeylerine göre oluşturulan sınıflandırılmış raster haritalar (Şekil 4) ile AHS yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları (Tablo 5) kullanılarak ArcGIS 10.8 yazılımı yardımıyla taşkın tehlike haritası elde edilmiştir (Şekil 5).

**Tablo 5.** İkili karşılaştırma matrisi ve kriterlere ait ağırlık değerleri  
(Pairwise comparison matrix and weight values of criteria)

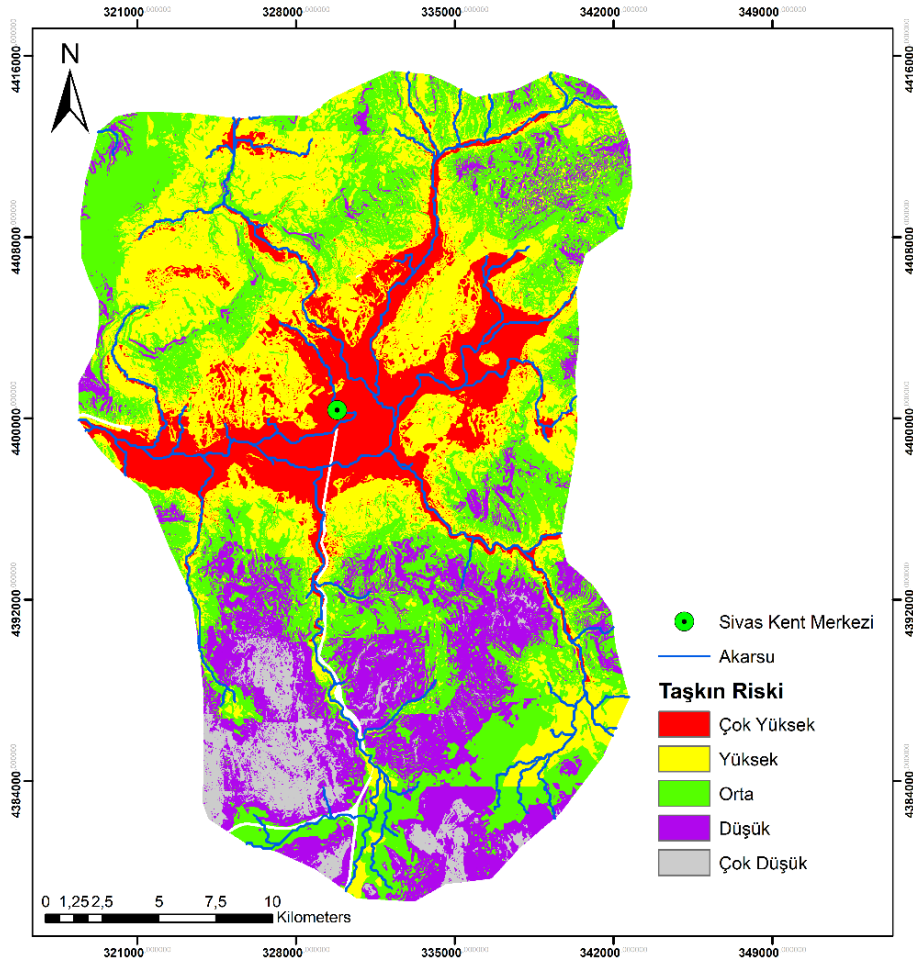
Kriterler	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	Ağırlık Değeri
(1) Yağış	1	2	3	4	5	5	6	7	0.325
(2) Eğim	1/2	1	2	3	4	4	5	6	0.225
(3) Yükseklik	1/3	1/2	1	2	3	3	4	5	0.152
(4) Akarsulara Uzaklık	1/4	1/3	1/2	1	2	2	3	4	0.101
(5) Litoloji	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	1	3	0.058
(6) Arazi Kullanımı	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	1	3	0.058
(7) Büyük Toprak Grubu	1/6	1/5	1/4	1/3	1	1	1	3	0.052
(8) Bakı	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/3	1/3	1	0.027
<b>Tutarlılık Oranı (CR): 0.03</b>									

AHS analizine dayalı yapılan değerlendirme sonucunda; 8 adet kriter için hesaplanmış olan CR değeri 0.03'dür. CR değeri 0,1'den küçük olduğu için elde edilen sonuçların tutarlı ve kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Yapılan analize göre; yağış ve eğim kriterleri taşkın tehlike haritalamasında en fazla ağırlık değerine sahip kriterler iken; büyük toprak grubu ve bakı kriterleri ise en düşük ağırlık değerine sahip kriterlerdir (Tablo 5). CBS-AHS tabanlı oluşturulmuş olan taşkın tehlike haritasının ortaya koyduğu risk kategorileri "çok yüksek (% 12.72)", "yüksek (% 24.40)", "orta (% 28.14)", "düşük (% 25.40)" ve "çok düşük (% 11.32)" şeklinde 5 farklı sınıf ile temsil edilmiştir (Tablo 6). Sivas kent merkezinin bir bölümü taşkın riski açısından "çok yüksek" sınıfında yer alırken bir bölümü de "yüksek" sınıfında yer almıştır. Sivas kent merkezi ve yakın çevresinde bulunan tarım arazilerinin de bir bölümü taşkın riski açısından "çok yüksek" ve "yüksek" sınıfında bulunmaktadır (Şekil 5). Bu durumun en büyük sebepleri arasında; bu bölgede eğimin ve yükseltinin çok düşük olması, litolojik birim açısından alüvyal malzemelerin yoğun olması, yıllık toplam yağış miktarının yüksek olması ve bu bölgenin çalışma alanındaki ana nehir konumundaki Kızılırmak nehrine yakın olması sayılabilmektedir. İlerleyen yıllarda olması muhtemel bir taşkın olayında bu bölgedeki yerleşim ve tarım alanlarının yüksek tehdit altında olabileceği göz ardı edilmemelidir.

**Tablo 6.** Taşkın risk kategorileri ve alansal dağılımları (Flood risk categories and their spatial distributions)

Taşkın Riski	Alan (km <sup>2</sup> )	Alan (%)
Çok Yüksek	86.20	12.72
Yüksek	151.70	22.40
Orta	190.58	28.14
Düşük	172.03	25.40
Çok Düşük	76.71	11.32

Taşkın potansiyelinin yüksek olduğu yerler, dağların eteklerinde bulunan nehirlerin ani bir eğim değişikliğine sahip olduğu çalışma alanının orta-kuzey kısmında yer almaktadır. Buna karşılık, daha yüksek derecede eğime sahip bölgeler taşkın oluşumunda daha az etkiye sahiptir. Bu nedenle; yükseklik ve eğim, çalışma alanının taşkın potansiyelini kontrol etmede çok önemli bir rol oynamıştır. Çalışma alanının güney kesiminde rakım çok yüksek olduğu için taşkın potansiyeli bu bölgede "düşük" ile "çok düşük" kategorisindedir ve bu bölgelerin eğimi 15-65.8° arasında bulunmaktadır.



Şekil 5. Çalışma alanına ait taşkın tehlike haritası (Flood hazard map of the study area)

#### 4.3. Taşkın Alanları ile Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi (Evaluation of the Relationship Between Flooded Areas and Land Use)

Taşkın alanları arazi kullanım şekilleri üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Çalışma alanı için oluşturulmuş olan taşkın tehlike haritası (Şekil 5) ile çalışma alanına ait mevcut arazi kullanımı haritası (Şekil 2) birlikte değerlendirilerek çalışma alanındaki taşkın alanlarının arazi kullanımları üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Taşkın alanları ile arazi kullanımları arasındaki ilişkinin ortaya konulması için ArcGIS yazılımının Mekânsal Analiz modülündeki bölgesel istatistik aracı olan "Tabulate Area" aracı kullanılmıştır. Çalışma alanındaki taşkın riski açısından; yerleşim alanlarının büyük çoğunluğu (% 28.14) "yüksek" sınıfta, tarım alanlarının büyük çoğunluğu (% 47.28) "çok yüksek" sınıfta, kullanılmayan alanların büyük çoğunluğu (% 66.65) "çok düşük" sınıfta, sanayi alanlarının büyük çoğunluğu (% 6.03) "çok yüksek" sınıfta, orman alanlarının büyük çoğunluğu (% 25.13) "çok düşük" sınıfta ve büyük kentsel yeşil alanların büyük çoğunluğu (% 3.91) "çok yüksek" sınıfta yer almıştır. Taşkın olayının doğası gereği Kızılırmak nehrinin büyük bölümü (% 5.32) taşkın riski açısından "çok yüksek" sınıfta bulunmaktadır. Çalışma alanındaki arazi kullanım şekilleri ile taşkın riski "çok yüksek" olan alanlar arasında genel bir değerlendirme yapıldığında; yerleşim alanları (% 25.20) ile tarım alanları (% 47.28) tüm arazi kullanımı sınıfları içerisinde taşkından en fazla etkilenecek alanlar olarak görülmektedir (Tablo 7).

**Tablo 7.** Taşkın risk kategorileri ile arazi kullanımları arasındaki ilişki  
(Relationship between flood risk categories and land uses)

Taşkın Riski	Arazi Kullanım Sınıfları																	
	Kızılırmak		Doğal Karakteri Korunacak Alanlar		Yerleşim Alanları		Tarım Alanları		Kullanılmayan Alanlar		Sanayi Alanları		Orman Alanları		Baraj		Büyük Kentsel Yeşil Alanlar	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Çok Yüksek	4.59	5.32	-	-	21.73	25.20	40.76	47.28	8.60	9.97	5.20	6.03	0.93	1.07	1.02	1.18	3.37	3.91
Yüksek	0.20	0.13	1.07	0.70	28.14	18.54	33.88	22.33	66.29	43.69	6.91	4.55	10.58	6.97	2.09	1.37	2.54	1.674
Orta	0.01	-	0.37	0.19	10.08	5.28	40.09	21.03	111.22	58.35	5.55	2.91	20.38	10.69	0.48	0.25	2.40	1.259
Düşük	-	-	0.28	0.16	2.09	1.21	18.27	13.84	108.86	63.28	3.69	2.14	33.12	19.25	-	-	0.17	0.099
Çok Düşük	-	-	-	-	0.49	0.63	5.81	7.57	51.13	66.65	-	0	19.28	25.13	-	-	-	-

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada; Sivas kent merkezi ve yakın çevresinin yer aldığı Kızılırmak nehri alt havzası için uygun maliyetli ve daha az zaman alan bir metodoloji sağlayan CBS tabanlı AHS yöntemi yardımıyla taşkın tehlike haritası oluşturularak taşkın riski potansiyeli belirlenmiştir. AHS yöntemi yardımıyla 8 adet kritere (eğim, yükseklik, bakı, yağış, büyük toprak grubu, akarsulara uzaklık, litoloji, arazi kullanımı) ait kriter ağırlıkları belirlenmiş, bu kriter ağırlıkları ve kriterlere ait sınıflandırılmış tematik haritalar ArcGIS platformuna entegre edilmiştir. Elde edilmiş olan taşkın tehlike haritası “çok yüksek (% 12.72)”, “yüksek (% 24.40)”, “orta (% 28.14)”, “düşük (% 25.40)” ve “çok düşük (% 11.32)” şeklinde 5 farklı risk kategorisi ile temsil edilmiştir. Sivas kent merkezinin bir bölümü taşkın riski açısından “çok yüksek” sınıfında yer alırken bir bölümü de “yüksek” sınıfında yer almıştır. Taşkın riskinin en yüksek olduğu alanlar; genel olarak eğimin ve yükseltinin çok düşük olduğu, litolojik birim açısından alüvyal malzemelerin yoğun olduğu, yıllık toplam yağış miktarının yüksek olduğu ve çalışma alanındaki ana nehir konumundaki Kızılırmak nehrine yakın olan Sivas kent merkezi ve yakın çevresinin bulunduğu alanlar olduğu tespit edilmiştir. Yağış ve eğim kriterleri, çalışma alanının taşkın tehlike haritalamasında en fazla ağırlık değerlerine sahip kriterler olarak göze çarpmıştır. Taşkın tehlike kategorileri ile arazi kullanım şekilleri arasındaki değerlendirmeye göre; yerleşim alanları (%25.20) ile tarım alanları (%47.28) tüm arazi kullanım şekilleri içerisinde 1. derece taşkından (“çok yüksek” risk sınıfında) en fazla etkilenecek alanlar olarak görülmüştür.

Zaharia vd. (2017), eğimi 15°'yi geçen bölgelerin su birikmesini ve durgunluk sürecini desteklemediğini, geniş bir yoğun bitki örtüsüne ve düz yüzey topografyasına sahip bölgelerin bir taşkın sırasında fazla yüzey suyunun tutulmasını desteklediğini öne sürmüştür. Eğimi düşük olan bir alan, kolayca sel altında kalabileceği için daha yüksek risk taşımaktadır. Öte yandan eğimi yüksek bir yüzey taşkın riskine daha az maruz kalmaktadır (Chen vd., 2015). Bu bilgiler doğrultusunda; Sivas kent merkezinin de bulunduğu alanlar düşük eğime sahip alanlar olup, bu alanlar taşkın riski açısından “çok yüksek” sınıfında yer almıştır. Yağışlar, taşkın oluşumunu doğrudan kontrol eden en önemli kriter olup (Das, 2018), çalışma alanında yüksek yağış alan yerler genel olarak taşkın riskinin çok yüksek olduğu yerler olarak göze çarpmıştır. Tablo 1’de verilmiş olan literatür bilgilerine dayalı olarak çalışma alanımızdaki çok yüksek taşkın riskine sahip alanlar, genel olarak en düşük yükseklik ve eğime sahip, kentleşmenin yoğun olduğu, yüksek yağış yoğunluğuna sahip, geçirimsiz ila yarı geçirgen toprak türü ile temsil edilen ve akarsu ağına yakın bölgeler ile karakterize edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan yöntem, çalışma alanındaki taşkın yönetimi için öneri olarak alınabilecek bir yöntemdir. Taşkınların öngörülemeden ve yıkıcı sonuçları nedeniyle ani taşkın riski altında olan hassas alanların belirlenmesi, risklerin azaltılması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle, yapısal veya yapısal olmayan önlemlerle bu risklerin hafifletilmesi zorunlu bir ihtiyaçtır. Bu çalışma, karar vericilerin taşkın risklerinin azaltılmasında iklim değişikliği dikkate alınarak yağmur suyunun toplanması ve kontrollü kentleşmenin planlanması gibi potansiyel önleyici tedbirler tasarlamalarına yardımcı olacak bir çalışmadır. Çalışma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; taşkın riski yüksek alanlarda yapılaşma ve kentsel gelişim kontrol altına alınmalı, taşkın duyarlılığı yüksek olan alanlardaki alt yapı konularında ilgili standartlar ve mevzuatlar ölçüsünde gerekli iyileştirmeler yapılmalıdır.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.



## Kaynaklar (References)

- Abdi, P., 2006. Evaluate the potential of flooding Zanjanrood basin with SCS and GIS, National Committee of Irrigation and Drainage, Technical workshop of coexistence with floods.
- Armenakis, C., Nirupama, N., 2014. Flood risk mapping for the city of Toronto. *Proc. Econ. Financ.*, 18, 320–326.
- Arnell, N.W., Gosling, S.N., 2016. The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*, 134, 387–401.
- Atmaca, E., 2004. Sivas İl Merkezi Katı Atık Yönetiminin İrdelenmesi ve Yeniden Planlanması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas, 137s.
- Bathrellos, G.D., Karymbalis, E., Skilodimou, H.D., Gaki-Papanastassiou, K., Baltas, E. A., 2016. Urban flood hazard assessment in the basin of Athens Metropolitan city, Greece. *Environ. Earth Sci.*, 75, 319.
- Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Chousianitis, K., Youssef, A.M., Pradhan, B., 2017. Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map. *Sci. Total Environ.*, 575, 119–134.
- Bathrellos, G.D., Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou, H.D., Papanastassiou, D., Chousianitis, K.G., 2012. Potential suitability for urban planning and industry development by using natural hazard maps and geological-geomorphological parameters. *Environ. Earth*, 66, 537–548.
- Bhushan, N., Rai, K., 2004. *Strategic decision making: Applying the Analytic Hierarchy Process*, Springer-Verlag, New York, pp. 172.
- Cai, S., Fan, J., Yang, W., 2021. Flooding risk assessment and analysis based on GIS and the TFN-AHP method: A case study of Chongqing, China. *Atmosphere*, 12(5), 623.
- Cabrera, J. S., Lee, H. S., 2020. Flood risk assessment for Davao Oriental in the Philippines using geographic information system-based multi-criteria analysis and the maximum entropy model. *Journal of Flood Risk Management*, 13(2), e12607.
- Chakraborty, S., Mukhopadhyay, S., 2019. Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India. *Natural Hazards*, 99(1), 247–274.
- Chen, Y., Liu, R., Barrett, D., Gao, L., Zhou, M., Renzullo, L., Emlyanova, I., 2015. A spatial assessment framework for evaluating flood risk under extreme climates. *Sci Total Environ.*, 538, 512–523.
- Cigna, F., Tapete, D., Lee, K., 2018. Geological hazards in the UNESCO World Heritage sites of the UK: from the global to the local scale perspective. *Earth Sci. Rev.*, 176, 166–194.
- CRED, 2018. Centre for research on the epidemiology of disasters-review of disaster events, <https://www.cred.be/publications>. (Accessed 14 April 2019).
- Das, S., 2018. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(19), 1-13.
- Das, S., Pardeshi, S.D., 2018a. Comparative analysis of lineaments extracted from Cartosat, SRTM and Aster DEM: a study based on four watersheds in Konkan region, India. *Spat Inf Res*, 26(1), 47–57.
- Dash, P., Sar, J., 2020. Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index. *Journal of Flood Risk Management*, 13(3), e12620.
- Demir, V., Kişi, O., 2016. Flood hazard mapping by using geographic information system and hydraulic model: Mert River, Samsun, Turkey, *Adv. Meteorol.*, 1–9.
- 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 ilinin sel ve taşkın duyarlılık haritalarının oluşturulması. *The Journal of Academic Social Science*, 5(44), 190-204.
- Eastman, J.R., 2003. *IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and image processing. Manual Version 14.00*, Clark University Worcester.
- Feloni, E., Mousadis, I., Baltas, E., 2020. Flood vulnerability assessment using a GIS-based multi-criteria approach—The case of Attica region. *Journal of Flood Risk Management*, 13, e12563.
- Ghezelsofloo, A.A., Hajbigloo, M., 2020. Application of flood hazard potential zoning by using AHP algorithm. *Civil Engineering Research Journal*, 9 (5), 150-159.
- Ghosh, A., Kar, S.K., 2018. Application of analytical hierarchy process (AHP) for flood risk assessment: a case study in Malda district of West Bengal, India. *Nat. Hazards*, 94, 349–368.
- Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., Drobnjak, S., 2017. Application of GIS-interval rough AHP methodology for flood hazard mapping in urban areas. *Water*, 9(6), 360.
- Hammami, S., Zouhri, L., Souissi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., Dlala, M., 2019. Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 12(21), 1-16.
- Hansen, H.S., 2005. GIS-based multi-criteria analysis of wind farm development. *ScanGIS 2005: Proceedings of the 10th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science*, ScanGIS, Denmark, 75- 87.
- Hanson, S., Nicholls, R., Ranger, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Herweijer, C., Chateau, J., 2011. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Climatic Change*, 104, 89–111.
- Hapciuc, O. E., Romanescu, G., Minea, I., Iosub, M., Enea, A., Sandu, I., 2016. Flood susceptibility analysis of the cultural heritage in the Sucevita catchment (Romania). *Int. J. Conserv. Sci.* 7, 501–510.
- Hategekimana, Y., Yu, L., Nie, Y., Zhu, J., Liu, F., Guo, F., 2018. Integration of multi-parametric fuzzy analytic hierarchy process and GIS along the UNESCO World Heritage: a flood hazard index, Mombasa County, Kenya. *Natural Hazards*, 92(2), 1137-1153.
- HGM, 2005. Çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafik harita, Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Huang, X., Tan, H., Zhou, J., Yang, T., Benjamin, A., Wen, S.S., Li, S., Liu, S., Liu, A., Li, X., et al., 2008. Flood hazard in Hunan province of China: an economic loss analysis. *Nat Hazards*, 47, 6573.

- Işık, F., Bahadır, M., Zeybek, H. İ., Çağlak, S., 2020. Karadere Çayı taşkını (Araklı Trabzon). Mavi Atlas, 8(2), 526–547.
- Jonkman, S.N., Dawson, R.J., 2012. Issues and Challenges in Flood Risk Management-Editorial for the Special Issue on Flood Risk Management. *Water*, 4, 785–792.
- Karakuş, C.B., Demiroğlu, D., 2022. Investigation of relationship between land use/cover (LULC) and GIS-based bioclimatic comfort zones based on environmental climate parameters and bioclimatic indices. *Arab. J. Geosci.* DOI : 10.1007/s12517-022-10407-9 (Publish Online).
- Kazakis, N., Kougias, I., Patsialis, T., 2015. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555-563.
- Khan, S.I., Hong, Y., Wang, J., Yilmaz, K.K., Gourley, J.J., Adler, R.F., Brakenridge, G.R., Policelli, F., Habib, S., Irwin, D., 2011. Satellite remote sensing and hydrologic modeling for flood inundation mapping in Lake Victoria Basin: Implications for hydrologic prediction in Ungauged Basins. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 49, 85–95.
- KHGM, 2001. Çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli sayısal toprak haritası, T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiars, K., Buizer, J.L., Melnick, R., 2020. AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities nearby the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48, 101612.
- Koem, C., Tantane, S., 2020. Flash flood hazard mapping based on AHP with GIS and satellite information in Kampong Speu Province, Cambodia. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*.
- Komolafe, A. A., Awe, B. S., Olorunfemi, I. E., Oguntunde, P. G., 2020. Modelling flood-prone area and vulnerability using integration of multi-criteria analysis and HAND model in the Ogun River Basin, Nigeria. *Hydrological Sciences Journal*, 65(10), 1766-1783.
- Kontos, T.D., Komilis, D.P., Halvadakis, C.P., 2005. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management*, 25(8), 818-832.
- Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P., 2016. A flood risk decision making approach for Mediterranean tree crops using GIS; climate change effects and flood-tolerant species. *Environ. Sci. Policy*, 63, 132–142.
- Lanza, S.G., 2003. Flood hazard threat on cultural heritage in the town of Genoa (Italy). *J. Cult. Herit.*, 43, 159–167.
- Lappas, I., Kallioras, A., 2019. Flood susceptibility assessment through GIS-based multi-criteria approach and analytical hierarchy process (AHP) in a river basin in Central Greece. *Int. Res. J. Eng. Technol.*
- Liu, R., Zhang, K., Zhang, Z., Borthwick, A.G., 2014. Land-use suitability analysis for urban development in Beijing. *Journal of Environmental Management*, 145, 170-179.
- Luu, C., Von Meding, J., Kanjanabootra, S., 2018. Assessing flood hazard using flood marks and analytic hierarchy process approach: a case study for the 2013 flood event in Quang Nam, Vietnam. *Natural Hazards*, 90(3), 1031-1050.
- Mahmoud, S. H., Gan, T. Y., 2018. Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of Cleaner Production*, 196, 216-229.
- Malczewski, J., 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *Int J Geogr Inf Sci.*, 20(7), 703-726.
- Manfreda, S., Di Leo, M., Sole, A., 2011. Detection of flood-prone areas using digital elevation models. *J. Hydrol. Eng.*, 16, 781–790.
- Mohamed, S.A., 2019. Application of satellite image processing and GIS-Spatial modeling for mapping urban areas prone to flash floods in Qena governorate, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103507.
- MPGM, 2015. 1/100.000 ölçekli çevre düzeni planı haritası, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 2005. Çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli sayısal jeoloji haritası, Maden ve Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Oğuz, K., Oğuz, E., Coşkun, M., 2016. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile taşkın risk alanlarının belirlenmesi: Artvin ili örneği. 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 23–25 Kasım 2016, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize.
- Oğuz, E., Oğuz, K., Öztürk, K., 2022. Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi. *Geomatik*, 7(3), 220-234.
- Oğuz, K., Akın, B.S., 2019. Doğu Akdeniz Havzası'nda Sıcaklık, Yağış ve Aerosol Değişiminin İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 244-253.
- Özcan, O., 2017. Taşkın tespitinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi: Ayamama Deresi örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1), 9-27.
- Orencio, P.M., Fujii, M., 2013. A localized disaster-resilience index to assess coastal communities based on an analytic hierarchy process (AHP). *Int. J. Disast. Risk. Re.*, 3, 62–75.
- Ouma, Y.O., Tateishi, R., 2014. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515-1545.
- Paquette, J., Lowry, J., 2012. Flood hazard modelling and risk assessment in the Nadi River Basin, Fiji, using GIS and MCDA. *South Pacific J Nat Appl Sci.*, 30, 3343.
- Radwan, F., Alazba, A.A., Mossad, A., 2019. Flood risk assessment and mapping using AHP in arid and semiarid regions. *Acta Geophysica*, 67(1), 215-229.
- 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.
- Ramkar, P., Yadav, S.M., 2021. Flood risk index in data-scarce river basins using the AHP and GIS approach. *Natural Hazards*, 109(1), 1119-1140.
- Razavi A., 2008. Principles of determining the boundary water resources. 1st Edition, Publishers of Power and Water University of Tehran, Iran.
- Saaty, T., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGrawHill, New York.
- Safaripour, M., Monavari, M., Zare, M., Abedi, Z., Gharagozlou, A., 2012. Flood risk assessment using GIS (case study: Golestan province, Iran). *Pol. J. Environ. Stud.*, 21, 1817–1824.

- Scheuer, S., Haase, D., Meyer, V., 2011. Exploring multicriteria flood vulnerability by integrating economic, social and ecological dimensions of flood risk and coping capacity: from a starting point view towards an end point view of vulnerability. *Nat Hazards*, 58, 731-751.
- Sener, S., Sener, E., Nas, B., 2011. Selection of Landfill Site using GIS and Multicriteria Decision Analysis for Beyşehir Lake Catchment area (Konya, Turkey). *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 1(3), 134-144.
- Sengun, M.T., Karadeniz, E., Saman, B., 2019. Tavşanlı Deresinde (Sivas-Hafik) taşkın risk analizi. 1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book: Istanbul University Press, İstanbul, Türkiye, 653-668.
- Shahabi, H., Keihanfar, S., Ahmad, B.B., Amiri, M.J.T., 2014. Evaluating Boolean, AHP and WLC methods for the selection of waste landfill sites using GIS and satellite images. *Environmental Earth Sciences*, 71(9), 4221-4233.
- SMİM, 2020. Çalışma alanına ait 1970-2020 yılları arasındaki yağış verileri, Sivas Meteoroloji İl Müdürlüğü, Sivas.
- Solin, L., 2012. Spatial variability in the flood vulnerability of urban areas in the headwater basins of Slovakia. *Flood Risk Manag.*, 5(4), 303-320.
- Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., Dlala, M., 2020. GIS-based MCDM-AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. *Geocarto International*, 35(9), 991-1017.
- Sözer, B., Kocaman, S., Nefeslioglu, H. A., Firat, O., Gokceoglu, C., 2018. Preliminary investigations on flood susceptibility mapping in Ankara (Turkey) using modified analytical hierarchy process (M-AHP). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-5, ISPRS TC V Mid-term Symposium "Geospatial Technology – Pixel to People", 20–23 November 2018, Dehradun, India.
- Stieglitz, M., Rind, D., Famiglietti, J., Rosenzweig, C., 1997. An efficient approach to modeling the topographic control of surface hydrology for regional and global climate modeling. *J. Clim.*, 10, 118–137.
- Swain, K. C., Singha, C., Nayak, L., 2020. Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 720.
- Tella, A., Balogun, A. L., 2020. Ensemble fuzzy MCDM for spatial assessment of flood susceptibility in Ibadan, Nigeria. *Natural Hazards*, 104(3), 2277-2306.
- 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.
- Topdağ, B., 2003. Sivas ili dolayının sel ve taşkınlar açısından incelenmesi ve alınması gereken önlemler. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Tüzgen, G. A., Karaca, Ö., 2021. Çerçi ve Murt Deresi (Fethiye-Muğla) taşkın duyarlılık alanlarının CBS ile çok kriterli karar verme analizi kullanılarak haritalanması. *Yerbilimleri*, 42(1), 121-143.
- URL-1. [https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e\\_kutuphane/kurumsal-raporlar/afet\\_istatistikleri\\_2020\\_web.pdf](https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_kutuphane/kurumsal-raporlar/afet_istatistikleri_2020_web.pdf).
- Veerbeek, W., Zevenbergen, C., 2009. Deconstructing urban flood damages: increasing the expressiveness of flood damage models combining a high level of detail with a broad attribute set. *Flood Risk Manag.*, 2, 4557.
- Wang, J.J., 2013. The empirical study of flood risk maps to cultural heritages in Taiwan. *Int. J. Chem. Environ. Biol. Sci.*, 1, 135–139.
- Yal, G., Akgün, H., 2013. Landfill site selection and landfill liner design for Ankara, Turkey. *Environ Earth Sci.*, 70, 2729–2752.
- Zaharia, L., Costache, R., Prăvălie, R., Ioana-Toroimac, G., 2017. Mapping flood and flooding potential indices: a methodological approach to identifying areas susceptible to flood and flooding risk. Case study: the Prahova catchment (Romania). *Frontiers of Earth Science*, 11(2), 229-247.