



Aksaray ili obruk duyarlılık haritasının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemleri ile oluşturulması

Creation of sinkhole susceptibility map using Geographic Information Systems (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP) methods in Aksaray province

Süleyman Sefa Bilgiliolu^{1,*}, Hacer Bilgiliolu²

¹ Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray.

² Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray.

Öz

Afetler, can ve mal kayıpları gibi büyük zararlara yol açan beklenmedik ve istenmedik durumlardır. Doğal afetlere örnek olarak deprem, sel, heyelan, çığ ve obruklar gösterilebilir. Önemli bir afet türü olan obruklar meydana geldiği alanda ciddi güvenlik sorunları meydana getirmektedir. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de, yeraltı su kaynaklarının giderek azalması, iklim özelliklerini hesaba katmadan yapılan yoğun tarımsal faaliyetler ve bunlara ek olarak ilgili bölgelerin jeolojik yapısı gibi faktörler obruk oluşma riski bulunan alanlarda sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Can ve mal kaybına yol açan, kontrol edilemeyen ve aniden gelişen obruk olayları tamamen engellenemese de, önlem alabilmek mümkündür. Bu çalışmada Aksaray ilinde hızla sayısı artan obrukların mekânsal olabilirliğini tahmin eden ve gösteren duyarlılık haritalarının oluşturulması amacı ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemleri kullanılmıştır. Literatür çalışmaları ve uzman görüşleri dikkate alınarak duyarlılık haritası oluşturmak için 12 kriter belirlenmiş, kriter önem dereceleri AHS ile hesaplanmış ve obruk duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: Afet yönetimi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Obruk duyarlılık, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

1 Giriş

Obruklar topluma ve çevreye çok ciddi zararlar verebilecek doğal bir afet olarak kabul edilmektedir. Öngörülemeyen bu tür jeolojik afetler özellikle yerleşim yerlerine ve tarım alanlarına geri dönüşü olmayacak zarar verebilme potansiyeline sahiptir. Yapay ve doğal boşluklar, yer altı suları veya doğal mağaralar gibi yer altında bulunan yapıların tam anlamıyla tespit edilememesi farklı boyut ve şekildeki obrukların ani oluşmasına ve dolayısı ile çevreye zararın boyutlarını arttırmaktadır [1]. Obruklar, genellikle dolomit ve kireçtaşı gibi kalsiyum karbonatlardan oluşan kayaların yüzeyde çözünmesinin neden olduğu çöküntüler olduğundan karstik kayacık alanlar diğer bölgelere göre daha da savunmasızdır [2]. Özellikle bu gibi bölgelerde yer üstü ve yer altı doğal yapıyı değiştirecek insan faaliyetleri

Abstract

Disasters are unexpected and undesirable situations that cause significant damage, such as loss of life and property. Examples of natural disasters are earthquakes, floods, landslides, avalanches, and sinkholes, etc. can be displayed. Sinkholes, an essential type of disaster, create serious security problems in the area where they occur. In Turkey, as in the whole world, factors such as the gradual decrease of groundwater resources, intensive agricultural activities without taking into account the climatic characteristics, and in addition to these, the geological structure of the relevant regions cause problems in areas where there is a risk of sinkhole formation. Although uncontrollable and suddenly developing sinkhole events that cause property loss and life cannot be wholly prevented, it is possible to take precautions. In this study, Geographic Information Systems (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHS) methods were used to create susceptibility maps that predict and show the spatial likelihood of the rapidly increasing number of sinkholes in Aksaray. Considering the literature studies and expert opinions, 12 criteria were determined to create a sensitivity map, criteria importance levels were calculated with AHP, and a sinkhole sensitivity map was created.

Keywords: Disaster management, Geographic Information Systems (GIS), Sinkhole susceptibility, Analytical Hierarchy Process (AHP)

bölgenin savunmasızlığını daha da arttıracaktır [3–5]. İnsan faaliyetlerinin yanı sıra iklim ve jeolojik olaylar karstik oluşumunu etkileyen diğer faktörlerdir [6, 7]. Obruk oluşumundaki ana kriterler; jeolojik, hidrojeolojik, tektonik ve klimatolojik gibi doğal olaylar olurken, hızlandırıcı etken ise insan faaliyetleridir. Türkiye’de en çok obruk oluşumunun meydana geldiği Konya Kapalı Havzası (KKH)’nda yapılan birçok çalışmada araştırmacılar obrukların ve zemin çökmelerinin meydana gelmesinin temel sebebi olarak kontrolsüz yer altı suyu kullanımı, buna bağlı olarak su seviyesinin düşmesi ve yer altında boşlukların oluşması olduğuna dikkat çekmektedir [8, 9, 18, 10–17].

Obruk risk değerlendirmesi çalışmaları ile afet önleme ve zarar azaltma politikaları geliştirilebilir ve afete yönelik

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: sbilgiliolu@aksaray.edu.tr (S. S. Bilgiliolu)
Geliş / Received: 21.12.2022 Kabul / Accepted: 01.03.2023 Yayınlanma / Published: 15.04.2023
doi: 10.28948/ngumuh.1222497

planlamalar yapılarak obrukların sebep olduğu bu zararlar azaltılabilir. Obruk gibi afetlerin, risk değerlendirmesinin ve yönetiminin en önemli adımlarından biri gelecekte meydana gelebilecek afetin mekânsal olabilirliğini tahmin eden ve gösteren duyarlılık haritalarının oluşturulmasıdır [19–22]. Afet duyarlılık haritalarının oluşturulması işlemi Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) analizlerini kapsayan kompleks bir işlem sürecidir ve klasik yöntemler ile gerçekleştirilmesi oldukça zaman alıcı ve zor bir işittir. Mekânsal verinin toplanması ve analiz edilmesinde etkin bir araç olan CBS, bu ve benzeri birçok mekânsal problemin çözümünde etkili bir şekilde kullanılmaktadır [23].

Literatürde, heyelan [24–27], sel [28–30], çığ [31–33], yangın [34, 35] gibi birçok afete yönelik duyarlılık haritalarının oluşturulması çalışmaları başarı ile uygulanmıştır. Özellikle son yıllarda obruk duyarlılık haritalarının üretilmesinde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar; uzman görüşüne dayalı yöntemler [36–38], istatistiksel yöntemler [22, 39], deterministik yöntemler [40–42] ve makine öğrenme modelleridir [21, 43–45]. Fiziksel temellere dayalı olarak geliştirilen deterministik modeller mekanik yasaları kullanmakta olup detaylı jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik verilere ihtiyaç duymaktadır ve bu nedenle geniş alanlı çalışmalar için uygun değildir [46, 47]. İstatistiksel ve makine öğrenme yöntemleri veri güdümlü yöntemlerdir ve envanter ile kriterler arasındaki ilişki kullanılmaktadır. Dolayısı ile bu yöntemlerin uygulanması ve doğru sonuçların alınabilmesi için güvenilir bir envanter veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Uzman görüşüne dayalı yöntemlerde kriter önem dereceleri uzman görüşü alınıp belirlenerek model oluşturulmaktadır [48]. Özellikle envanter verisinin güvenilir olmadığı ya da yetersiz olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Literatürde uzman görüşüne dayalı olarak oluşturulan afet duyarlılık haritalarında sıklıkla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamında ÇKKV metodlarından AHS yöntemi ve CBS yardımıyla Aksaray ili obruk duyarlılık haritasının oluşturulması hedeflenmiştir. Sarı vd. [17] yapmış oldukları KKH'nın bir bölümünde obruk duyarlılık haritası oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı olarak aldıkları sınırdaki Aksaray ilinin sadece Güney Batı kısmı yer almaktadır. Son yıllarda obruk olaylarının görülmeye başladığı Aksaray ili jeolojik, hidrojeolojik, topografik ve iklim özellikleri bakımından obruklara karşı oldukça duyarlı bir ildir. Buna rağmen literatürde il genelinde yapılmış bir çalışma bulunmaması, bu çalışmanın literatüre sağlayacağı en büyük katkıdır. Bu bağlamda bölgedeki uzmanlar ve literatürdeki ilgili çalışmalar dikkate alınarak 12 değerlendirme kriteri belirlenmiş ve ağırlıklandırılarak obruk duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

2 Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Aksaray ili, Ankara, Adana karayolu ile Kayseri, Konya karayolu üzerinde ve 38-39° kuzey paralelleri ile 33-35° doğu meridyenleri arasında bulunmaktadır (Şekil 1). Aksaray ilinin yüzölçümü yaklaşık olarak 7700 km²'dir. 1929-2021 yıllarını kapsayan uzun yıllar ortalama en yüksek sıcaklık 30.7 °C, en düşük sıcaklık -3.6 °C dir. Bölge yıllık ortalama 361.7 mm yağış almakta

olup yaz aylarında (Temmuz-Ağustos) ortalama 5.4-7.1 mm dir ve bu bakımdan Aksaray ili Türkiye'nin kurak illerinden biridir.

Çalışma alanında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında bölgede 5 adet obruk oluşumu tespit edilmiştir. Tespit edilen obrukların mekânsal dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Arazi çalışmalarında tespit edilen obrukların genişlikleri 3.5 m ile 25 m arasında değişiklik göstermektedir.

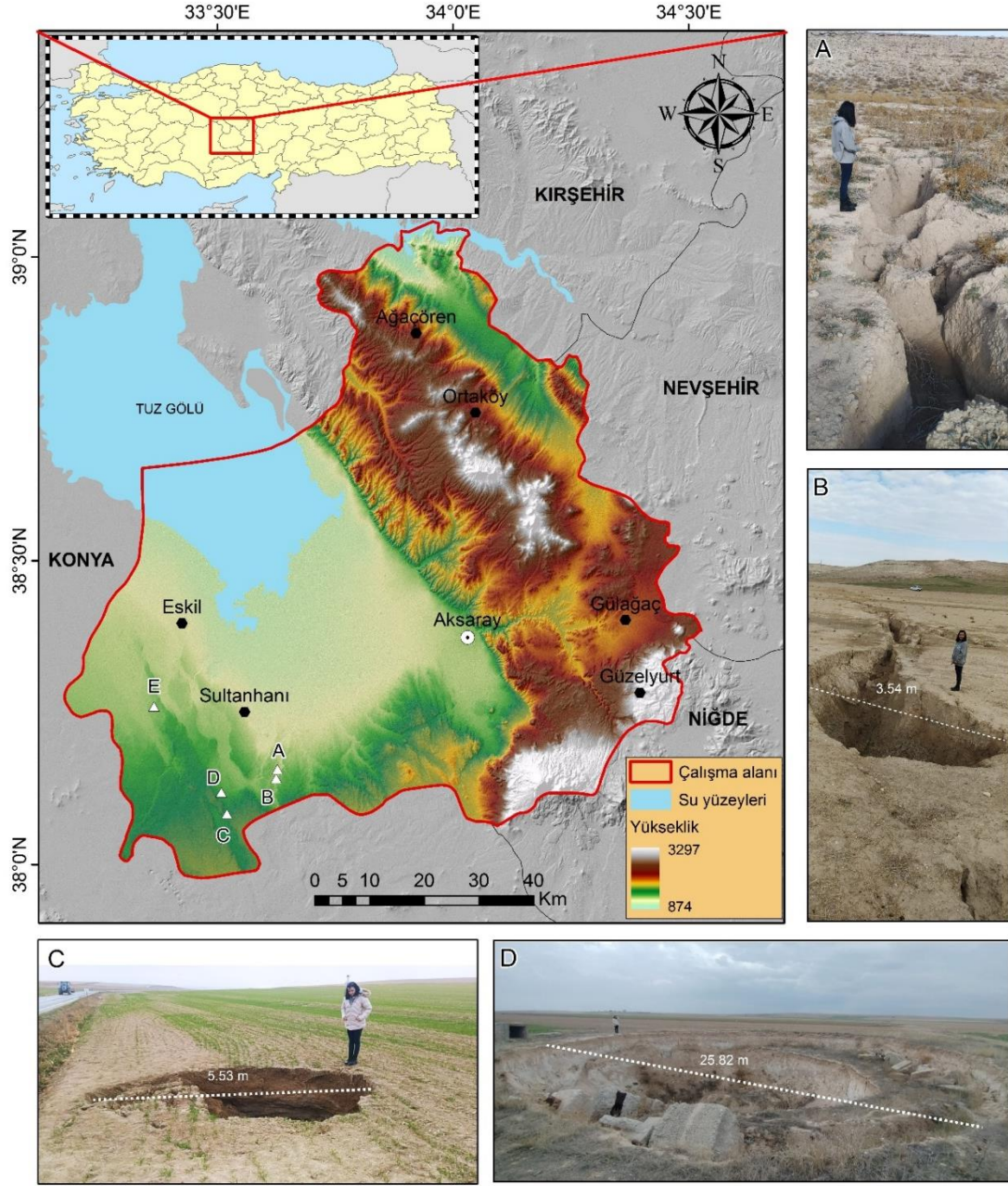
2.1 Çalışma alanı jeolojisi

Çalışma alanını bölgesel jeoloji açısından ele alındığında Türkiye tektonik birliklerinden Kırşehir Bloğu içerisinde yer almaktadır. İnceleme alanında metamorfik, magmatik ve sedimanter birimler yer almaktadır. Orta Anadolu Kristalen Karmaşığına ait metamorfik ve magmatik kayalar gözlenmekte olup bunlar üzerine ise uyumsuz olarak sedimanter ve volkanik kayalar gelmektedir [49, 50].

Bölgedeki en yaşlı birim Orta Anadolu Metamorfiklerine ait Paleozoyik yaşlı Kalkanlıdağ, Tamadağ ve Bozçaldağ metamorfikleridir. Bu metamorfik birimler alttan üste doğru gnays, biyotitist, piroksenist, amfibolist, kalsilikatik şistler, kuvarsit ve kuvarssist karmaşığı (Kalkanlıdağ Formasyonu), mermer-şist ve gnays ardalanması (Tamadağ Formasyonu) ve çeşitli özellikte mermer, metaçörtlü yarı mermer ve metaçört (Bozçaldağ Formasyonu) kayaç topluluğundan oluşmaktadır [51]. Metamorfik birimler Orta Anadolu Granitoidlerine ait Üst Kretase yaşlı gabro, granit ve granodiyorit bileşimli magmatik kayalar tarafından kesilmektedir [50]. Bu magmatik kayaçlar mafik bileşimli (gabro ve Mesozoyik ofiyolitik seri) ve feslik bileşimli (granitik, monzonitik ve siyenitik) magmatik kaya gruplarından oluşmaktadır.

Sedimanter birimler, inceleme alanının güneydoğusunda denizel fliş niteliğinde Eosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayaçlarla denizel karasal geçişler sunan Oligosen yaşlı kayaçlar şeklinde gözlenmektedir. Litoloji, Konya – Aksaray arasında oldukça geniş alanlarda yüzeyleyen Miyo-Pliyosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayaç ardalanmaları ile devam etmektedir. İnceleme alanının doğu kesimlerinde göl sel sedimanlarla yanal düşey geçişli olarak andezit, dasit, bazalt, riyolit ve riyodasitik bileşimli tüf, tüfit, aglomera ve lavlarla temsil edilen volkanik kayaçlar gözlenmektedir. Pleyistosen-Holosen dönemlerinde ise çeşitli karasal faaliyetlerle temsil edilen kırıntılı ve yer yer karbonatlı kayaçlar yaygın bir şekilde yüzeylemiştir [52].

Bu çalışma kapsamında bölgenin temel jeolojik birimleri metamorfik kayaçlar, magmatik kayaçlar, sedimanter kayaçlar, Kuvarterner yaşlı genç birimler ve çalışmanın esas konusuyla bağlantılı olan İnsuyu formasyonu olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3a). Aksaray ili içerisinde obrukların tamamının gözleendiği birim, genellikle göl sel ve akarsu ortamını karakterize eden kırıntılı (kıltaşı, çamurtaşı, marn, kumtaşı ve çakıltaşı), karbonatlı (kireçtaşı, killi kireçtaşı) ve az miktarda jips ve tuz gibi evaporitik kayaçlarla temsil edilen Miyo-Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonudur [52].



Bu çalışma alanının jeolojik olarak en önemli birimi olan İnsuyu formasyonu başlıca kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn ve bu karbonatlı kayalarla ara seviyeli olarak gözlenen konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve kilttaşları ile temsil edilmektedir. Birim birçok araştırmacı tarafından [53–56] İnsuyu formasyonu olarak tanımlanmıştır.

İnsuyu formasyonu genellikle beyaz, açık gri, bej renkli, yer yer pembe ve sarımsı renkli, ince-orta tabakalı yer yer fosilli kireçtaşı, marn, kumlu kireçtaşı, killi kireçtaşı, karbonatlı kilttaşı gibi karbonatlı kayalarla temsil edilmektedir. Alttan üste doğru kumtaşı ve çamurtaşı ara katkılı marn, killi kireçtaşı, karbonatlı kilttaşları ve kilttaşları aralanmaları gözlenmektedir. Bazı yerlerde marnlar daha baskın olup içlerinde kireçtaşı ara tabakaları vardır [54, 55].

İnsuyu formasyonu genel olarak yatay veya yataya yakın tabakalı olup yamaçlarda yamaç eğiminin morfolojisine uygun olarak az eğimli bir yapı kazanmıştır. İnceleme alanının batısında kireçtaşı ara tabakalı marnlar ve killi karbonatlar daha yaygın olup bölgedeki eski obrukların çoğunluğu bu alanda oluşmuştur. İnsuyu formasyonunun baskın kaya türü olan kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn ve karbonatlı kilttaşları karstlaşmaya oldukça yatkın olup inceleme alanını da kapsayan obruk, uvala, polye vb. karstik yapıların en çok gözlemlendiği birimdir [52].

3 Materyal ve metod

Bu çalışmada, Aksaray ili obruk duyarlılık haritasının oluşturulması için üç temel adımdan oluşan bir metodoloji

uygulanmıştır. İlk adım çalışmada kullanılacak ve obruk duyarlılık haritasının oluşturulmasında etkili olduğu düşünülen kriterlerin belirlenmesi ve veri tabanının oluşturulmasıdır. Daha sonra AHS yöntemi ile her bir kriterin ağırlıkları belirlenmiştir. Son olarak, obruk duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

Bu çalışmada obruk duyarlılık haritasının oluşturulmasında kullanılan kriter ve kriter alt sınıfları (sınıflar, eşik değerleri vb.) literatür araştırmalarına [2, 5, 7, 14, 17, 19, 21, 36–39, 44, 45] ek olarak uzman görüşleri alınarak belirlenmiştir. Ayrıca kriter ve kriter alt sınıflarının ağırlıklarının hesaplanmasında da uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda obruk konusunda çalışmaları olan ve en az yüksek lisans derecesine sahip Jeoloji, Hidrojeoloji, Jeofizik ve Harita Mühendislerinden oluşan 12 kişi belirlenmiştir. Tüm bu uzmanların görüşlerini almak için 26 sorudan oluşan bir anket oluşturulmuş ve her bir uzman ile görüşülerek anketler uygulanmıştır. Sonuç olarak obruk duyarlılık haritasının oluşturulması için 12 kriter ve 72 kriter alt sınıfı belirlenmiştir. Tüm kriterlerin detaylı açıklamaları

“3.1. kullanılan kriterler” bölümünde anlatılmıştır. Elde edilen tüm veriler WGS 84 (36) projeksiyon koordinat sistemine dönüştürülmüştür.

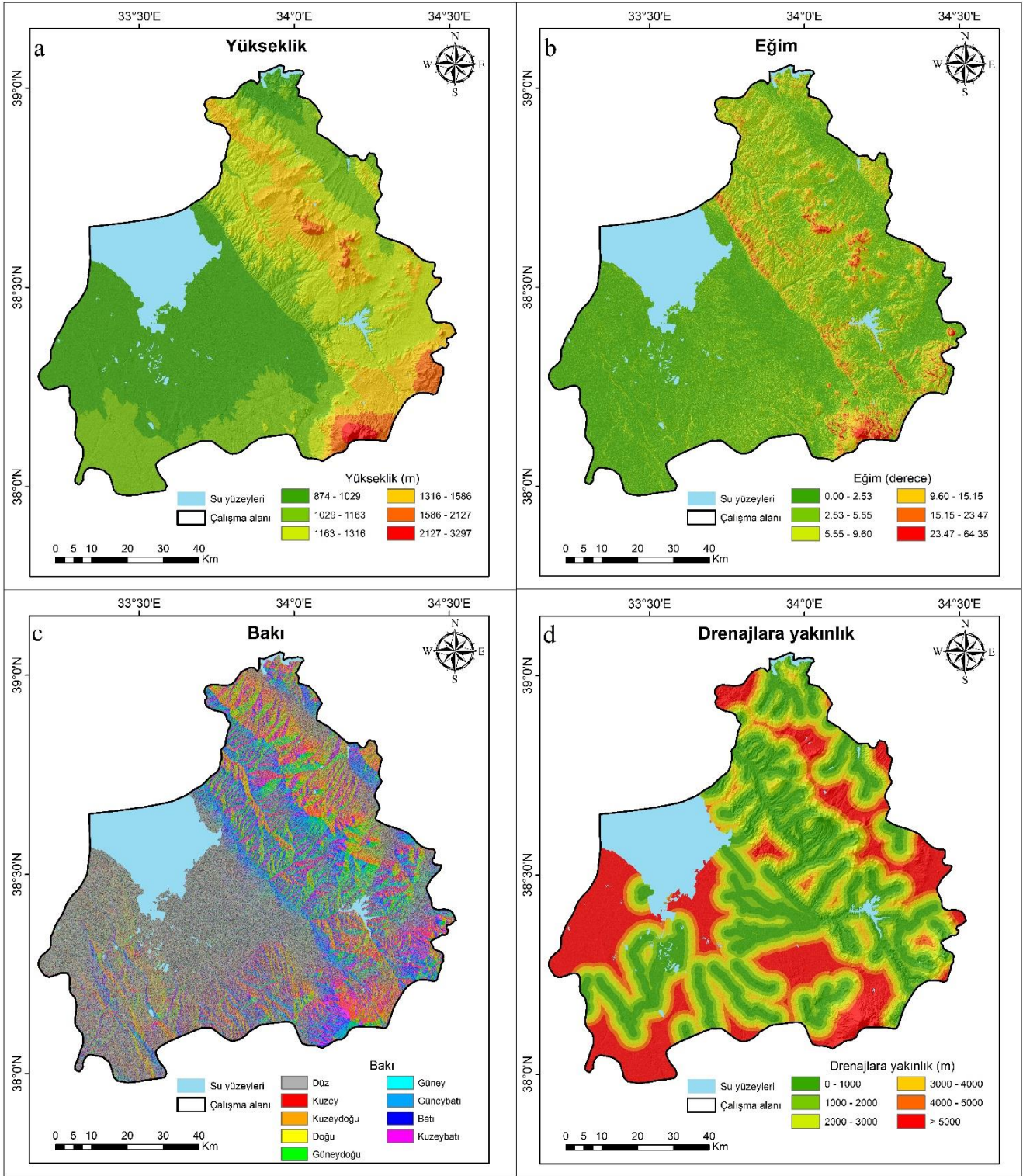
3.1 Kullanılan kriterler

Obrukların oluşumunda birçok kriter rol oynamaktadır. Bu kriterlerin doğru bir şekilde belirlenmesi ve elde edilmesi obruk duyarlılık çalışmalarında en önemli adımlardan biridir. Bu çalışmada, literatür ve uzman görüşleri alınarak 12 adet kriter seçilmiştir. Bu kriterler; eğim, bakı, yükseklik, litoloji, faylara yakınlık, geçirgenlik, yağış, arazi kullanımı, kuyu yoğunluğu, su yüzeylerine yakınlık, drenajlara yakınlık, yer altı suyu değişimidir ve Tablo 1’de kriterlerin temel özellikleri ve veri kaynakları sunulmuştur.

Yükseklik, eğim, bakı ve direnajlara yakınlık kriterleri obruk oluşumunda etkili topografik kriterlerdir ve birçok çalışmada bu kriterler kullanılmıştır [17, 62]. Çalışmada bu dört kriter 12.5 m çözünürlüğe sahip ALOS PALSAR yükseklik verisi kullanılarak oluşturulmuş ve Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan kriterler

Kriterler	Birim	Veri modeli	Ölçek/Çözünürlük	Veri kaynağı
Yükseklik	(m)			
Bakı	Kategorik	Raster	12.5 m	ALOS PALSAR
Eğim	Derece			
Drenajlara yakınlık	(m)			
Litoloji	Kategorik	Alan	1/100000	[57]
Faylara yakınlık	(m)	Çizgi	1/100000	[57, 58]
Geçirgenlik	Kategorik	Alan	1/100000	[57, 59, 60]
Yağış	(mm)	Raster	0.86 km	WorldClim 2.1 veri seti
Arazi kullanımı	Kategorik	Raster	10 m	[61]
Kuyu yoğunluğu	Kuyu/km ²	Nokta	3267 adet kuyu'dan enterpole	Aksaray İl Özel İdare ve İl AFAD Müdürlüğü
Yer altı suyu değişimi	(m)	Nokta	585 adet kuyu'dan enterpole	Aksaray İl Özel İdare ve İl AFAD Müdürlüğü
Su yüzeylerine yakınlık	(m)	Alan	1/100000	Çevre düzeni planı



Şekil 2. a: yükseklik, b: eğim, c: bakı ve d: drenajlara yakınlık haritası.

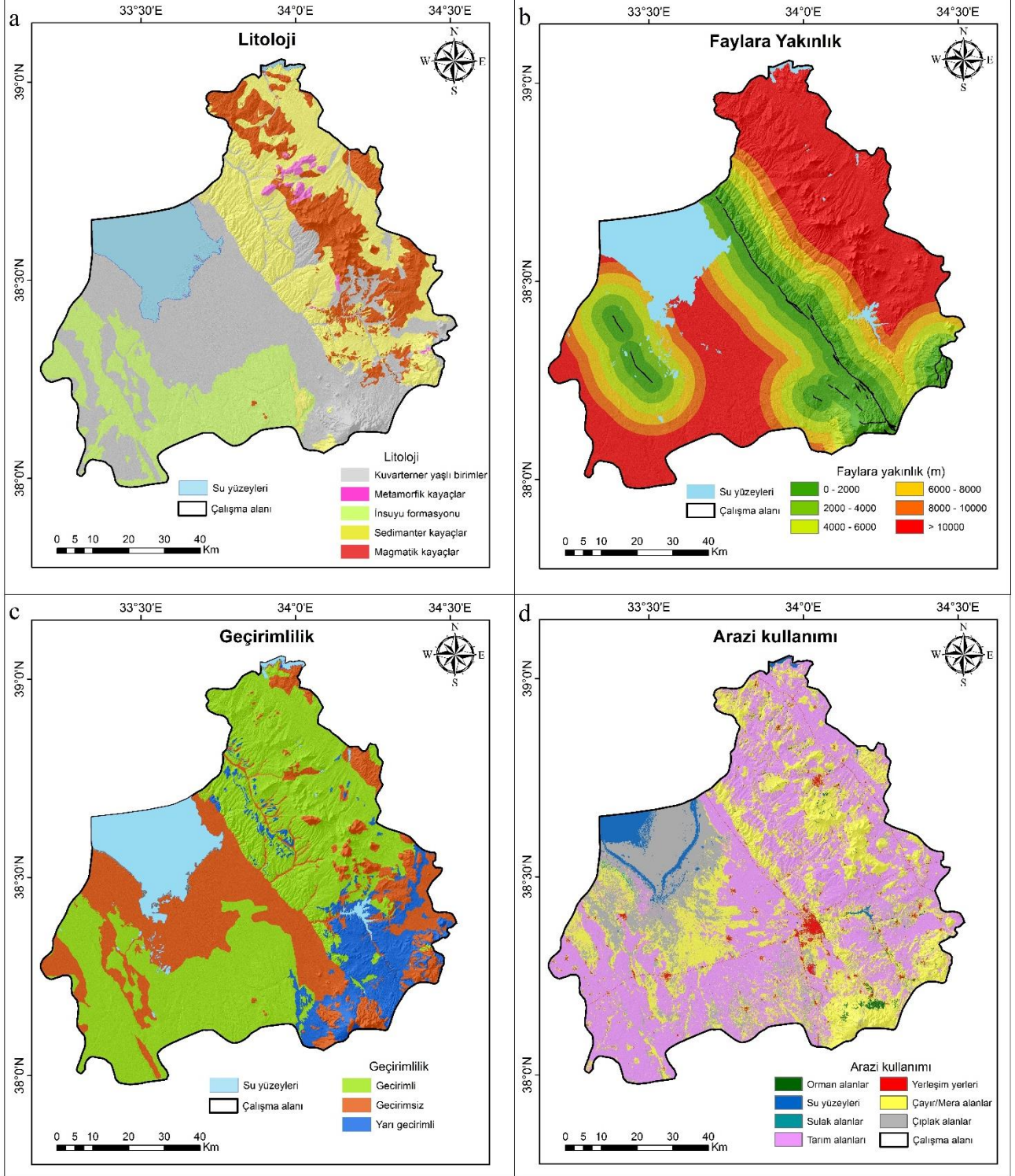
Faylara yakınlık birçok obruk duyarlılık haritalama çalışmasında kullanılan önemli bir kriterdir [39]. Faylara yakınlık haritası Şekil 3b'de gösterildiği gibi 6 sınıfta tampon bölgeler oluşturularak hazırlanmıştır. Obruk çalışmalarında toprak yüzeyinin çökme süresi ile toprak geçirgenliği arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirtilmiştir

[37, 63]. Bu nedenle çalışma alanındaki kayalar Tekocak-Yardımlı [59] hidrojeolojik verilerine göre geçirimli (granit, mermer, kum/kumtaşı, traverten), yarı geçirgen (piroklastik kayalar, silt/silttaşı), geçirimsiz (şist, gnays, kil/kiltaşı, bazalt, andezit) olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanına ait

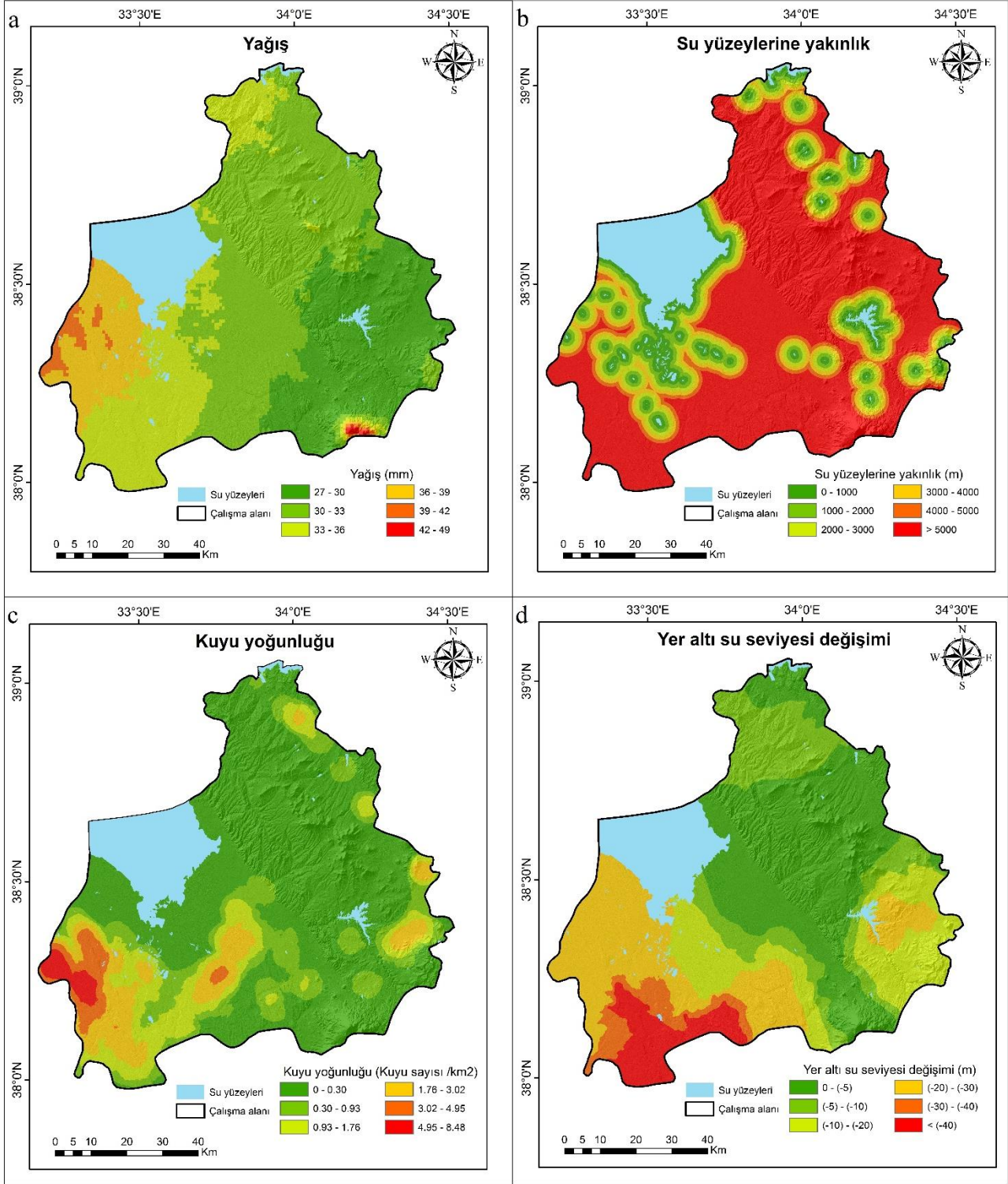
geçirgenlik haritası MTA [57], Tekocak-Yardımlı [59] ve Tulun vd. [60]'den değiştirilerek oluşturulmuştur (Şekil 3c).

Obruk oluşumunda en önemli etkenlerden biride arazi kullanımıdır [14, 17, 37]. Yanlış uygulanan tarımsal faaliyetler gibi antropolojik etkenler yer altı ve yerüstü kaynaklarını olumsuz etkilemekte ve obruk oluşumunu

hızlandırmaktadır. Bu çalışmada, arazi kullanım verileri Avrupa Uzay Ajansı tarafından 2021 yılında üretilen ve 10 m çözünürlüğe sahip arazi kullanım verisi kullanılmıştır [61]. Yedi sınıfa ayrılarak üretilen arazi kullanım haritası Şekil 3d'de sunulmuştur.



Şekil 3. a: litoloji, b: faylara yakınlık, c: geçirimlilik ve d: arazi kullanımı.



Şekil 4. a: yağış, b: su yüzeylerine yakınlık, c: kuyu yoğunluğu ve d: yer altı su seviyesi değişimi.

Obruk oluşumunu hızlandırdığı için birçok çalışmada kullanılan bir diğer önemli kriter ise yağıştır [17, 64]. Çalışmada evrensel olarak kabul görmüş ve birçok çalışmada kullanılmış olan WorldClim iklim modeli kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 4a).

Su yüzeylerine yakınlık obruk oluşumunu etkilediği için birçok çalışmada kullanılan bir kriterdir [65-67]. Bu çalışmada su yüzeyleri verisi Kırşehir-Nevşehir-Niğde-

Aksaray Planlama Bölgesi 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı sayısallaştırılarak elde edilmiş ve Şekil 4b'de gösterilmiştir.

Birçok araştırmacı, KKH'de meydana gelen obrukların yer altı suyunun azalması nedeniyle oluştuğunu belirtmiştir [8, 9, 12, 14, 17, 18]. Özellikle bölgede uygulanan sulu tarım politikası, çok fazla kuyunun açılmasına, dolayısıyla yer altı suyu seviyesinin hızla azalmasına neden olarak bölgede

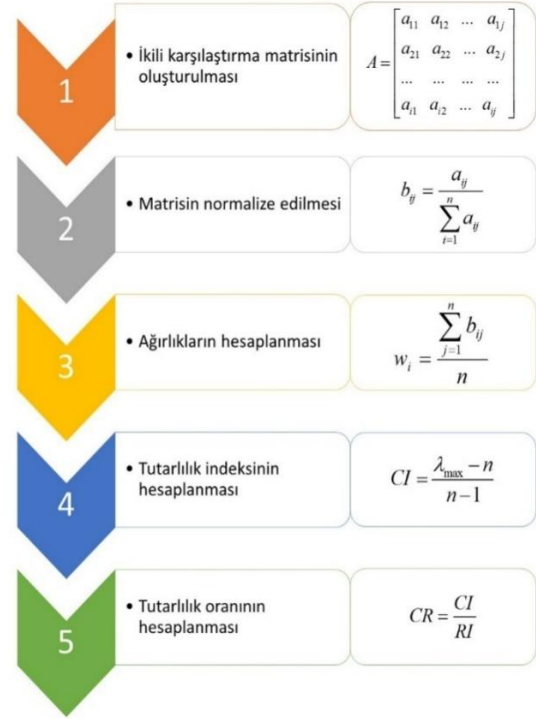
obruk oluşumunu hızlandırmaktadır. Çalışma bölgesinde daha önce açılan toplam 3267 adet kuyu verisi (Koordinat ve su seviyesi), Aksaray İl Özel İdaresi ve Aksaray AFAD İl Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. 2008-2021 yıllarına ait olan bu kuyuların yoğunluk haritası Şekil 4c'de gösterilmiştir. 2008-2010 yılları ve 2018-2021 yıllarında Temmuz ve Ağustos aylarında açılmış olan kuyulardan iki farklı yer altı su seviyesi haritası oluşturulmuş ve aralarındaki fark alınarak yaklaşık 10 yıl içerisindeki yer altı su seviye değişimini gösteren harita oluşturulmuştur (Şekil 4d).

3.2 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

AHS, Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilen ÇKKV yöntemidir. AHS yöntemini kullanmanın en önemli avantajlarından biri, esnekliği ve farklı türdeki problemlere uygulanabilirliğidir. Ayrıca diğer ÇKKV tekniklerine göre daha kolay uygulama adımlarına sahiptir [68–70]. AHS, karar verme sürecinde çeşitli faktörlere göre değerlendirilen alternatifler arasından en iyisinin seçilmesi için tasarlanmıştır. Karar verme sürecini kolaylaştırmak ve öncelikleri belirlemek için ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır [71]. Karar verme probleminde yer alan faktörlerin belirlenmesinin ardından ikili karşılaştırma matrisinin hazırlanması gerekmektedir. n adet faktörlü bir problemde $n(n-1)/2$ adet karşılaştırma yapılarak bir karşılaştırma matrisi oluşturulur [68]. Her faktörün ikili karşılaştırmasında Saaty'nin 1-9 ölçeği kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan AHS yönteminin adımları Şekil 5'te özetlenmiştir.

AHS sonuçlarının doğruluğu, karar verici tarafından yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılığına bağlıdır [72, 73]. AHS, bu tutarlılığın hesaplanmasına izin veren bir tutarlılık analizi sunar. Karşılaştırma matrisi ancak tutarlılık analizi sonucunda elde edilen tutarlılık oranı 0,10'dan küçükse tutarlı kabul edilebilir. Aksi takdirde karşılaştırma matrisinin yeniden oluşturulması gerekmektedir [68]. AHS kullanılarak faktör ağırlıklarının belirlenmesinden sonraki adım ise faktörlerin kombinasyonu ve obruk duyarlılık haritasının oluşturulmasıdır. Bu adımda, ağırlıklı doğrusal kombinasyon (WLC) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemi

kullanmanın amacı, her bir faktörün öznel değerlerini normalleştirmek ve normalize edilen her bir kriteri birbiriyle toplayarak bir uygunluk indeksi oluşturmaktır. Her bir alternatifin normalleştirilmiş toplam ağırlığı, o alternatifin değerinin kendisine atanan ağırlık ile çarpılması ve ardından tüm sonuçların toplamı ile elde edilir [23].



Şekil 5. AHS yöntemi işlem akışı

4 Bulgular ve tartışma

Obruk duyarlılık haritasının oluşturulması için belirlenen her bir kriter ve alt kriterlerin ağırlıkları için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve Microsoft Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır. Ana kriterler için ikili karşılaştırmalar matrisi Tablo 2'de verilmiştir. Bu matris, obruk duyarlılık konusunda uzman kişilerle yapılan görüşmeler ile oluşturulmuştur.

Tablo 2. İkili karşılaştırma matrisi

Kriterler	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Yükseklik (A)	1											
Eğim (B)	1/2	1										
Bakı (C)	1/3	1/2	1									
Drenajlara yakınlık (D)	1	2	4	1								
Litoloji (E)	7	9	9	6	1							
Faylara yakınlık (F)	5	7	8	5	1/2	1						
Geçirgenlik (G)	4	5	6	3	1/2	1/2	1					
Su yüzeylerine yakınlık (H)	1	1	2	1	1/9	1/8	1/5	1				
Yer altı suyu değişimi (I)	6	8	8	5	1	1	2	8	1			
Kuyu yoğunluğu (J)	5	6	7	4	1/2	1	2	6	1	1		
Arazi kullanımı (K)	1	2	3	1	1/6	1/3	1/2	2	1/5	1/4	1	
Yağış (L)	3	4	5	2	1/3	1/2	1	5	1/2	1/2	2	1

Yapılan ikili karşılaştırmanın tutarlı olup olmadığının anlaşılabilmesi için tutarlılık analizi yapılmış ve hesaplamalar sonucu; Tutarlılık Vektörü Ortalaması (TVO) = 12.3088, Tutarlılık İndeksi (Tİ) = 0.0281, Tutarlılık Oranı (TO) = 0.0190 olarak hesaplanmıştır. TO 0.10'dan küçük olduğu için yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğu anlaşılmış ve kriterlere ait ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3). Analizler sonucunda, litoloji, yer altı suyu değişimi, faylara yakınlık ve kuyu yoğunluğu kriterlerinin obruk duyarlılık haritasının oluşturulmasında daha etkili oldukları tespit edilmiştir.

Bölüm 3.1'de belirtilen tüm veriler toplandıktan sonra, her bir kriter ArcGIS 10.0 yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Drenaj, fay ve su yüzeyleri verilerine yakınlık analizi Öklid uzaklık analiziyle, Kuyu yoğunluğu Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon yöntemi ile oluşturulmuştur. Daha sonra tüm kriterler 20 m çözünürlükte raster formata dönüştürülmüştür. Kriterler için oluşturulan bu raster veriler, AHS ile hesaplanan ve Tablo 4'te verilen ağırlık değerlerine göre yeniden sınıflandırılmıştır.

Tablo 3. Kriter ağırlıkları.

Kriterler	Ağırlıklar
Yükseklik	0.031
Eğim	0.021
Bakı	0.015
Drenajlara yakınlık	0.036
Litoloji	0.207
Faylara yakınlık	0.145
Geçirgenlik	0.091
Su yüzeylerine yakınlık	0.023
Yer altı suyu değişimi	0.165
Kuyu yoğunluğu	0.139
Arazi kullanımı	0.047
Yağış	0.080

Tablo 4. Kriter alt sınıflarına ait ağırlıklar.

Kriterler	Alt kriterler	Ağırlıklar	Kriterler	Alt kriterler	Ağırlıklar
Yükseklik	874-1029	0.321	Geçirimsizlik	Geçirimli	0.547
	1029-1163	0.254		Geçirimsiz	0.105
	1163-1316	0.174		Yarı Geçirimli	0.348
	1316-1586	0.129	Arazi kullanımı	Orman alanlar	0.019
	1586-2127	0.081		Su yüzeyleri	0.000
2127-3297	0.041	Sulak alanlar		0.047	
0.00-2.53	0.343	Tarım alanlar		0.414	
2.53-5.55	0.241	Yerleşim yerleri		0.084	
Eğim	5.55-9.60	0.171	Çayır/Mera alanlar	0.234	
	9.60-15.15	0.135	Çıplak alanlar	0.202	
	15.15-23.47	0.074	Yağış	27-30	0.028
	23.47-64.35	0.036		30-33	0.042
	Düz	0.033		33-36	0.087
Kuzey	0.021	36-39		0.178	
Kuzeydoğu	0.068	39-42		0.264	
Bakı	Doğu	0.232	42-49	0.401	
	Güneydoğu	0.265	Su yüzeylerine yakınlık	0-1000	0.316
	Güneydoğu	0.171		1000-2000	0.287
	Güneybatı	0.131		2000-3000	0.194
	Batı	0.051		3000-4000	0.098
Kuzeybatı	0.028	4000-5000		0.072	
Drenajlara yakınlık	0-1000	0.338	>5000	0.033	
	1000-2000	0.304	Kuyu yoğunluğu	0-0.30	0.023
	2000-3000	0.215		0.30-0.93	0.040
	3000-4000	0.068		0.93-1.76	0.071
	4000-5000	0.052		1.76-3.02	0.158
>5000	0.023	3.02-4.95		0.287	
Litoloji	Alüvyon	0.286	4.95-8.48	0.421	
	Metamorfik kayalar	0.079	Yer altı suyu değişimi	0-(-5)	0.012
	İnsuyu formasyonu	0.421		(-5)-(-10)	0.024
	Sedimanter kayalar	0.148		(-10)-(-20)	0.054
Magmatik kayalar	0.066	(-20)-(-30)		0.154	
0-2000	0.393	(-30)-(-40)		0.304	
Faylara yakınlık	2000-4000	0.254	>(-40)	0.452	
	4000-6000	0.151			
	6000-8000	0.114			
	8000-10000	0.061			
	>10000	0.027			

Ülkemiz açısından oldukça önemli bir proje olan Tuz Gölü Doğal Gaz Yer Altı Depolama Sahası'nın büyük bir kısmı çalışma bölgesinde yer almaktadır. Şekil 6'da sunulan haritaya bakıldığında bölgede meydana gelen obrukların bu depolama sahasına oldukça yakın olduğu görülmektedir (yaklaşık 500 m). Ayrıca üretilen duyarlılık haritasına göre yaklaşık olarak çizilen depolama sahası genel olarak obruk açısından çok yüksek derecede duyarlı alanlara denk gelmektedir. Bu kapsamda bölgede daha detaylı çalışmaların yapılarak gerekli olması durumunda ciddi önlemlerin alınması oldukça önemlidir. Sahada meydana gelecek bir obruk olayının önemli can ve mal kaybına neden olacağı düşünülmektedir.

5 Sonuç ve öneriler

Bu çalışmanın amacı Aksaray ili obruk duyarlılık haritasının oluşturulmasıdır. Bu amaçla, CBS ve AHS yöntemleri entegre edilerek etkin ve hızlı değerlendirme yapılabilen bir ÇKKV modeli geliştirilmiştir. Çalışma alanının özelliklerine ve konu ile ilgili uzman görüşlerine göre 12 kriter seçilmiştir. Her bir kriter ve kriter alt sınıflarının ağırlıkları uzman görüşleri alınarak hesaplanmış ve birleştirme analizi ile obruk duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Uygunluk haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sonuçların yöneticiler ve karar vericiler tarafından da makul ve uygulanabilir olarak kabul edilebileceği düşünülmektedir. Bu ve benzeri afet duyarlılık çalışmalarının tüm toplumu etkileyeceği düşünüldüğünde özellikle kullanılacak kriterler son derece dikkatli bir şekilde ve uzman kişilerce belirlenmelidir. Ayrıca kullanılan kriterlerin doğruluğu sonuç haritasının doğruluğunu ve güvenilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Gelecekte yapılacak bu ve benzeri çalışmaların başarılı olabilmesi ve bu çalışmaların ulusal ölçekte yapılabilmesi için kullanılacak faktör ve verilere ilişkin standartların geliştirilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmada görüşleri ile destek sağlayan uzmanlara, çalışmaya verdikleri destek için Aksaray İl Afet ve Acil Durum (AFAD) Müdürlüğü ile İl Özel İdaresi'ne ve ayrıca makaleye yapıcı yorumları ile katkıda bulunan hakemlere ve editöre teşekkür eder.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %18

Kaynaklar

[1] F. Gutiérrez, M. Parise, J. De Waele and H. Jourde, A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews*, 138, 61–88, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.002>.
[2] K. Taheri, T. M. Missimer, H. Mohseni, M. D. Fidelibus, M. Fathollahy and M. Taheri, Enhancing spatial prediction of sinkhole susceptibility by mixed waters geochemistry evaluation: application of ROC

and GIS. *Environmental Earth Sciences*, 80 (14), 2021. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09763-8>.
[3] E. Bruno, D. Calcaterra and M. Parise, Development and morphometry of sinkholes in coastal plains of Apulia, southern Italy. Preliminary sinkhole susceptibility assessment. *Engineering Geology*, 99, (3–4), 198–209, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.11.017>.
[4] F. Gutiérrez, Sinkhole Hazards. *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*, 2016. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.40>.
[5] S. T. Kidanu, N. L. Anderson and J. D. Rogers, Using GIS-based spatial analysis to determine factors influencing the formation of sinkholes in Greene County, Missouri. *Environmental and Engineering Geoscience*, 24 (3), 251–261, 2018. <https://doi.org/10.2113/eeg-2014>.
[6] A. B. Tihansky, Sinkholes, west-central Florida. in: D. R. Galloway, Devin, Jones and S. E. Ingebritsen (Eds.), *Land subsidence in the United States*, U.S. Geological Survey Circular, pp. 121–140, Florida, 1999.
[7] Y. J. Kim, B. H. Nam, Y. H. Jung, X. Liu, S. Choi, D. Kim and S. Kim, Probabilistic spatial susceptibility modeling of carbonate karst sinkhole. *Engineering Geology*, 306, 106728, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106728>.
[8] R. Bozyiğit ve T. Tapur, Konya ovası ve çevresinde yeraltı sularının obruk oluşumlarına etkisi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21, 137–155, 2009.
[9] G. Günay, İ. Çörekçioğlu, S. O. Eroskay and G. Övül, Konya Karapınar Obruks (Sinkholes) of Turkey. in: B. Andreo, F. Carrasco, J. Durán and J. LaMoreaux, (Eds.), *Advances in Research in Karst Media*. *Environmental Earth Sciences*, Springer, Heidelberg, pp. 367–372, 2010. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12486-0_57.
[10] C. Gezgin, The influence of groundwater levels on land subsidence in Karaman (Turkey) using the PS-InSAR technique. *Advances in Space Research*, 70 (11), 3568–3581, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.08.003>.
[11] K. Törk, B. Erduran ve P. N. Yılmaz, Konya Havzası'nda karstik çöküntü alanlarının belirlenmesi ve tehlike değerlendirmesi. *MTA Raporu*, Konya, Türkiye, Ocak 2013.
[12] M. Yılmaz, Karapınar çevresinde yeraltı suyu seviye değişimlerinin yaratmış olduğu çevre sorunları. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2 (2), 145–163, 2010. https://doi.org/10.1501/csaum_0000000033.
[13] A. Üstün, E. Tuşat, S. Yalvaç, İ. Özkan, Y. Eren, A. Özdemir, İ. Ö. Bildirici, T. Üstüntaş, O. S. Kırtıloğlu, M. Mesutoğlu, S. Doğanalp, F. Canaslan, R. A. Abbak, N. B. Avşar and F. F. Şimşek, Land subsidence in Konya Closed Basin and its spatio-temporal detection by GPS and DInSAR. *Environmental Earth Sciences*, 73, 6691–6703, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3890-5>.

- [14] A. Ozdemir, Sinkhole susceptibility mapping using logistic regression in Karapınar (Konya, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75 (2), 681–707, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0778-x>.
- [15] F. Caló, D. Notti, J. P. Galve, S. Abdikan, T. Görüm, A. Pepe and F. Balik Şanlı, Dinsar-Based detection of land subsidence and correlation with groundwater depletion in Konya Plain, Turkey. *Remote sensing*, 9(1), 83, 2017. <https://doi.org/10.3390/rs9010083>.
- [16] O. Orhan, M. Yakar and S. Ekerin, An application on sinkhole susceptibility mapping by integrating remote sensing and geographic information systems. *Arabian Journal of Geosciences*, 13 (17), 1–17, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05841-6>
- [17] F. Sari, M. Kahveci, M. Somay-Altas and E. Tuşat, Evaluating sinkhole formation with multicriteria decision analysis: a case study in Karapınar-Konya, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (4), 1–15, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06560-2>
- [18] V. Demir, Trend analysis of lakes and sinkholes in the Konya Closed Basin, in Turkey. *Natural Hazards*, 112 (3), 2873–2912, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05327-6>
- [19] J. P. Galve, F. Gutiérrez, J. Remondo, J. Bonachea, P. Lucha and A. Cendrero, Evaluating and comparing methods of sinkhole susceptibility mapping in the Ebro Valley evaporite karst (NE Spain). *Geomorphology*, 111 (3–4), 160–172, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.04.017>.
- [20] B. Pradhan, S. Mansor, S. Pirasteh and M. F. Buchroithner, Landslide hazard and risk analyses at a landslide prone catchment area using statistical based geospatial model. *International Journal of Remote Sensing*, 32 (14), 4075-4087. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.484433>.
- [21] K. Taheri, H. Shahabi, K. Chapi, A. Shirzadi, F. Gutiérrez and K. Khosravi, Sinkhole susceptibility mapping: A comparison between Bayes-based machine learning algorithms. *Land Degradation and Development*, 30 (7), 730-745. 2019. <https://doi.org/10.1002/ldr.3255>.
- [22] S. I. Elmahdy, M. M. Mohamed, T. A. Ali, J. E. D. Abdalla and M. Abouleish, Land subsidence and sinkholes susceptibility mapping and analysis using random forest and frequency ratio models in Al Ain, UAE. *Geocarto International*, 37 (1), 315-331, 2020. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1716398>.
- [23] J. Malczewski, GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20 (7), 703-726, 2006. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>.
- [24] L. Ayalew and H. Yamagishi, The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65 (1–2), 15–31, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>.
- [25] H. R. Pourghasemi, B. Pradhan and C. Gokceoglu, Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, 63 (2), 965–996, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0217-2>.
- [26] T. Kavzoglu, E. K. Sahin and I. Colkesen, Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*, 11 (3), 425–439, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0391-7>
- [27] O. Orhan, S. S. Bilgilioğlu, Z. Kaya, A. K. Ozcan and H. Bilgilioğlu, Assessing and mapping landslide susceptibility using different machine learning methods. *Geocarto International*, 37 (10), 2795-2820, 2020. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1837258>.
- [28] M. Tiryaki and O. Karaca, Flood susceptibility mapping using GIS and multicriteria decision analysis: Saricay-Çanakkale (Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 11 (14), 2018. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3675-3>
- [29] R. Abedi, R. Costache, H. Shafizadeh-Moghadam and Q. B. Pham, Flash-flood susceptibility mapping based on XGBoost, random forest and boosted regression trees. *Geocarto International*, 37(19), 5479-5496, 2021. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1920636>.
- [30] H. E. Aydin and M. C. Iban, Predicting and analyzing flood susceptibility using boosting-based ensemble machine learning algorithms with SHapley Additive exPlanations. *Natural Hazards*, 1–35, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05793-Y>.
- [31] K. Hepdeniz and O. Cengiz, GIS-Based avalanche susceptibility mapping for Davraz Mountain, Isparta, Turkey. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 9 (1), 62–68, 2019. <https://doi.org/10.7212/zkufbd.v9i1.1217>.
- [32] H. Akay, Spatial modeling of snow avalanche susceptibility using hybrid and ensemble machine learning techniques. *Catena*, 206, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105524>.
- [33] N. Varol, Avalanche susceptibility mapping with the use of frequency ratio, fuzzy and classical analytical hierarchy process for Uzungol area, Turkey. *Cold Regions Science and Technology*, 194, 103439, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103439>.
- [34] F. Sari, Forest fire susceptibility mapping via multicriteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, 480, 118644, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118644>.
- [35] M. C. Iban and A. Sekertekin, Machine learning based wildfire susceptibility mapping using remotely sensed fire data and GIS: A case study of Adana and Mersin provinces, Turkey. *Ecological Informatics*, 69, 101647, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.econinf.2022.101647>.
- [36] K. Taheri, K., Gutiérrez, F., Mohseni, H., Raeisi, E. and M. Taheri, Sinkhole susceptibility mapping using the analytical hierarchy process (AHP) and magnitude-frequency relationships: A case study in Hamadan province, Iran. *Geomorphology*, 234, 64–79, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.005>.

- [37] P. Subedi, K. Subedi, B. Thapa and P. Subedi, Sinkhole susceptibility mapping in Marion County, Florida: Evaluation and comparison between analytical hierarchy process and logistic regression based approaches. *Scientific Reports*, 9 (1), 1–18, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43705-6>.
- [38] D. AlSanea and W. Abdullah, Sinkhole susceptibility hazard mapping using analytical hierarchy process and GIS tools for the State of Kuwait. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 7(3), 04021029, 2021. <https://doi.org/10.1061/ajrua6.0001136>.
- [39] A. Ozdemir, Sinkhole susceptibility mapping using a -frequency ratio method and GIS technology near Karapınar, Konya-Turkey. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 502–506, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.059>.
- [40] T. M. Tharp, Cover-collapse sinkhole formation and soil plasticity. *Sinkholes and the engineering and environmental impacts of karst*, 9, 110–123, 2003. [https://doi.org/10.1061/40698\(2003\)9](https://doi.org/10.1061/40698(2003)9).
- [41] K. He, C. Liu, and S. Wang, Karst collapse related to over-pumping and a criterion for its stability. *Environmental Geology*, 43 (6), 720–724, 2003. <https://doi.org/10.1007/S00254-002-0669-x/metrics>.
- [42] T. M. Tharp, Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes. *Engineering Geology*, 52 (1–2), 23–33, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00051-9](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00051-9).
- [43] H. J. Oh, M. Syifa, C. W. Lee, and S. Lee, Land subsidence susceptibility mapping using bayesian, functional, and meta-ensemble machine learning models. *Applied Sciences*, 9 (6), 1248, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9061248>.
- [44] S. Bianchini, P. Confuorto, E. Intriери, P. Sbarra, D. Di Martire, D. Calcaterra and R. Fanti. Machine learning for sinkhole risk mapping in Guidonia-Bagni di Tivoli plain (Rome), Italy. *Geocarto International*, 1-29, 2022. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2113455>.
- [45] G. Bausilio, M. Annibali Corona, D. Di Martire, L. Guerriero, R. Tufano, D. Calcaterra, M. Di Napoli and M. Francioni, Comparison of two machine learning algorithms for anthropogenic sinkhole susceptibility assessment in the city of Naples (Italy). in: R. Lancellotta, C. Viggiani, A. Flora, F. de Silva, L. Mele (Eds.), *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites III*, CRC Press, London, 2022. <https://doi.org/10.1201/9781003308867-88>.
- [46] M. T. J. Terlien, C. J. Van Westen and T. W. J. van Asch, Deterministic modelling in GIS based landslide hazard assessment. *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, 57–77, 1995. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8404-3_4.
- [47] M. Ercanoglu and C. Gokceoglu, Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75 (3–4), 229–250, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.06.001>.
- [48] S. S. Bilgilioğlu, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (1), 165–174, 2022. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1013244>.
- [49] A. M. C. Şengör, Y. Yılmaz and O. Sungurlu, Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: Nature and evolution of the western termination of Palaeo-Tethys. *Geological Society*, 17 (1), 77–112, 1984. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1984.017.01.04>.
- [50] Y. Mustafa, A. Yıldız, A. Kahya ve S. Gürcan, Kızılkaya (Sevinçli / Aksaray) ignimbiritinin jeolojisi ve yapıtaşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30 (1), 1–8, 2014.
- [51] İ. Seymen, Kaman (Kirsehir) dolayında Kirsehir Masifinin metamorfizması. *Türkiye Jeoloji Kurultayı 35. Bilimsel ve Teknik Kurultayı, İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 12-16, 1981.
- [52] İRAP, İl Risk Azaltma Planı. AFAD Planlama ve Risk Azaltma Dairesi, Aksaray, 2021.
- [53] Ü. Ulu, H. Öcal, A. K. Bulduk, M. Karakaş, A. Arbas, L. Saçlı ve M. Karabıyıkoglu, Cihanbeyli-Karapınar yöresi geç Senozoyik çökeltme sistemi: Tektonik ve iklimsel önemi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 9, 149-163, 1994
- [54] M. Dönmez and A. E. Akçay, 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 51, Aksaray L31 paftası, 2005.
- [55] M. Dönmez and A. E. Akçay, 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 50, Aksaray L30 paftası, 2005.
- [56] K. Türk, N. P. Yılmaz, S. Sülükçü, S. Keleş, Ş. Köklü, L. S. Yeleser, Z. R. Aykaç Özerk, C. Acar, F. Savaş, K. Çakır ve K. Avcı, Konya Ovası Projesi (KOP) bölgesinde (Konya, Karaman, Aksaray, Niğde) karstik çöküntü alanlarının belirlenmesi ve tehlike değerlendirmesi projesi (Final Raporu). MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 263, Ankara, 2019
- [57] MTA, 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası serisi, 2005.
- [58] C. Gezgın, İ. Tiryakioğlu, S. Ekercin ve E. Gürbüz, Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ) güney kesimine ait tektonik hareketlerin GNSS gözlemleri ile izlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (3), 456–464, 2020. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.690886>.
- [59] B. B. Tekocak Yardımlı, Aksaray ili yer altı su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin coğrafi bilgi sistemi kullanılarak değerlendirilmesi. *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2017.
- [60] Ş. Tulun, E. Gürbüzü and T. Arsu, Developing a GIS-based landfill site suitability map for the Aksaray province, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 80 (8), 1–15, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09598-3/figures/12>.
- [61] D. Zanaga et al., ESA WorldCover 10 m 2021 v200, 2022. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7254221>.

- [62] I. Yilmaz, GIS based susceptibility mapping of karst depression in gypsum: A case study from Sivas basin (Turkey). *Engineering Geology*, 90, 1–2, 89–103, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.12.004>.
- [63] K. Rawal, Exploring the geomechanics of sinkholes: a preliminary numerical study. PhD Thesis, University of Toledo, USA, 2016.
- [64] A. M. S. Pradhan and Y. T. Kim, Relative effect method of landslide susceptibility zonation in weathered granite soil: A case study in Deokjeok-ri Creek, South Korea. *Natural Hazards*, 72 (2), 1189–1217, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1065-z>.
- [65] D. Whitman, T. Gubbels and L. Powell, Spatial interrelationships between lake elevations, water tables, and sinkhole occurrence in Central Florida: A GIS approach. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 65 (10), 1169–1178, 1999.
- [66] D. H. Doctor and K. Z. Doctor, Spatial analysis of geologic and hydrologic features relating to sinkhole occurrence in Jefferson County, West Virginia. *Carbonates and Evaporites*, 27 (2), 143–152, 2012, <https://doi.org/10.1007/s13146-012-0098-1>
- [67] K. Z. Doctor, D. H. Doctor, B. Kronenfeld, D. W. S. Wong and D. K. Brezinski, Predicting sinkhole susceptibility in Frederick Valley, Maryland using geographically weighted regression. In: L. B. Yuhr, E. C. Alexander and B. F. Beck, *Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst*, ASCE, pp. 243–256, Virginia, 2008. [https://doi.org/10.1061/41003\(327\)24](https://doi.org/10.1061/41003(327)24).
- [68] T. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process (AHP) for decision making*, 1980.
- [69] M. Uyan ve Ş. Yalpir, Çok Kriterli Karar Verme modeli ve CBS entegrasyonu ile tıbbi atık sterilizasyon tesislerinin yer seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (3), 642–654, 2016. <https://doi.org/10.1186/S40064-015-1404-X>.
- [70] S. S. Bilgilioğlu, Land suitability assessment for Olive cultivation using GIS and multi-criteria decision-making in Mersin City, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (22), 1–16, 2021. <https://doi.org/10.1007/S12517-021-08768-8>.
- [71] S. S. Bilgilioğlu, Site selection for radioactive waste disposal facility by GIS based multi criteria decision making. *Annals of Nuclear Energy*, 165, 108795, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2021.108795>.
- [72] S. S. Bilgilioğlu ve C. Gezgin, Nevşehir ili uygun katı atık depolama sahalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yöntemlerinin entegrasyonu ile belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (4), 836–849, 2022. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1105426>.
- [73] F. Bunyan Unel and S. Yalpir, Valuations of building plots using the AHP method, *International Journal of Strategic Property Management*, 23 (3), 197–212, 2019. <https://doi.org/10.3846/IJSPM.2019.7952>.

