

## Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Yeraltı Suyu Potansiyel Alanlarının Tespiti: Gökdere Havzası (Gümüşhane) Örneği

Mustafa Ceylan<sup>\*1</sup>, Alaaddin Vural<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> Harita Mühendisliği / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye; ORCID: ID/0000-0002-8146-3925

<sup>2</sup> Jeoloji Mühendisliği / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye; ORCID: ID/0000-0002-0446-828X

<sup>\*</sup>([mustafaceylan5865@hotmail.com](mailto:mustafaceylan5865@hotmail.com)) Başlıca yazarın mail adresi

**Özet** – Yeraltı suları, hayati doğal kaynakların başında gelmekte; niteliği ve niceliği konumsal olarak değişkenlik göstermektedir. Artan kentleşme ve nüfusa bağlı olarak, yeraltı su kaynaklarının nitelik ve niceliği üzerinde büyük bir baskı oluşmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), yeraltı suyu potansiyel alanlarını tespit etmek için ilgili katmanların hazırlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Analitik hiyerarşi süreci (AHS) yöntemi ise, kullanılan her katmanın tanımlanması ve ikili karşılaştırmalar yapılması suretiyle ağırlık katsayılarının belirlenmesi temeline dayanan bir çeşit çok kriterli karar analizidir. Bu çalışmada; Gümüşhane ili Gökdere köyünde (KD Türkiye), yeraltı sularını besleme potansiyeli olan bir havza, araştırma için ele alınmıştır. Yeraltı suyu potansiyel alanlarını tespit etmeye esas teşkil edecek; arazi kullanımı, drenaj, fay, eğim, jeomorfoloji, litoloji, toprak derinlik ve yağış katmanları çeşitli veri kaynaklarından elde edilmiş, CBS teknolojileri ile bu katmanlar ayrı ayrı haritalanmıştır. AHS yöntemi ile ikili karşılaştırmalar yapılmak suretiyle kullanılan her katmanın ağırlık katsayıları belirlenmiş ve bir karar matrisi tablosu oluşturulmuştur. Son olarak; ağırlıklı çakıştırma (weighted overlay) analizi ile bir yeraltı suyu potansiyel haritası üretilmiştir. Ayrıca, üretilen bu sonuç harita; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 farklı sınıf içerecek şekilde sınıflandırılmış, her bir sınıfa ait alansal değerler hektar (ha) ve yüzde (%) cinsinden hesaplanmıştır. Sonuç haritasında alansal dağılım; çok düşük dereceli alanlar için 61 ha (%1.26), düşük dereceli alanlar için 3.921 ha (%80.79), orta dereceli alanlar için 809 ha (%16.67), yüksek dereceli alanlar için 60 ha (%1.24) ve çok yüksek dereceli alanlar için 2 ha (%0.04) olarak gerçekleşmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Yeraltı Suları, Gümüşhane, Türkiye

### I. GİRİŞ

İklim değişikliği; son zamanlarda yaşanan ciddi oranda su kıtlıkları ile dünya üzerinde etkisini önemli derecede hissettirmeye başlamıştır [1]–[8]. Hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve sulama nedeniyle suya olan talep artmış, bu da yeraltı suyu stresini ciddi bir biçimde etkilemiştir. Bu nedenle; mevcut su kaynaklarının korunması ve idame ettirilmesi konularına birincil derecede önem verilmektedir [9], [10]. Su kaynaklarının güvenliğinin, 21. yüzyıldaki en önemli problem olması beklenmektedir.

Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu'nun (UNFPA) yayımladığı rapora göre dünyanın 2030'da 8,5 milyar, 2050'de 9,7 milyar, 2100'de 10,4 milyar nüfusa ulaşacağı tahmin edilmektedir[11]. Ülkemiz su kaynakları açısından pek de zengin bir potansiyele sahip değildir. Dünyanın büyük bir bölümü gibi ülkemizin de yakın zamanda ciddi bir su sıkıntısı ile karşı karşıya kalması son derece olasıdır. Bu nedenle; yeraltı suyu potansiyel alanlarının tespiti ve haritalanması; yeraltı su kaynaklarının durumunu anlamak ve sürdürülebilir yeraltı suyu yönetimi için oldukça önem arz

etmektedir. CBS teknolojileri özellikle uydu görüntüsü desteği de kullanılarak yer bilimlerinde maden arama çalışmalarından çevre kirliliğine, ve havza analizlerine kadar pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [12]–[21]. Bu çalışmada; Gümüşhane ili Gökdere köyü ve yakın çevresini içine alan drenaj ağı içerisinde yer alan ve yeraltı sularını besleme potansiyeli göz önünde bulundurularak seçilen havzanın CBS teknolojileri ve AHS yöntemi kullanılarak yeraltı suyu potansiyel amaçlanmıştır. Çalışmayla hedef havza alanı için amaca uygun haritalar CBS yardımıyla üretilerek, yeraltı su potansiyeline göre alanlar 5 sınıfa ayrılarak bu sınıfların kapladığı alanlar yine CBS yardımıyla hesap edilmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Çalışma Sahası ve Jeolojisi

Çalışma alanı Gökdere köyü, Gümüşhane merkezine 31 km uzaklıktadır (Şekil 1). Köy Gümüşhane'nin eski köylerinden olup, Osmanlı kaynaklarında Koğans (Kale) kazasına bağlı Hur-i Süfla (Aşağı Hur) köyü olarak anılmaktadır [22]. Köy ile ilgili kayıtlarda Osmanlı kaynaklarında Hur-i Süfla (Aşağı Hur) adıyla Koğans nahiyesine bağlı yerleşimlerden biri olarak söz edilmektedir. Tarihi kayıtlar dikkate alındığında [22], [23] geçmişte köyün aktif yerleşim alanı olduğu, dönem dönem Hristiyan ve Müslüman askerlerin de köyde görev yaptığı belirtilmektedir. Günümüzde de Gökdere köyü yerleşik nüfusa sahip olup, yazları nüfusunu tatilini köyünde geçirmek isteyenler nedeniyle artmaktadır. Saha jeolojik olarak dikkate alındığında Gökdere köyü ve yakın çevresini de kapsayan sahanın jeolojisi Doğu Karadeniz bölgesinin stratigrafik/litolojik özelliklerini içinde barındırmaktadır [24]–[33]. Sahaya komşu bölgeleri dikkate aldığımızda en yaşlı birimler Kurtoğlu Metamorfik kayalardır [34]–[38]. Kurtoğlu metamorfiklerini kesen Gümüşhane Plütunu ise Gökdere Köyü'ünde yüzeylenen en yaşlı birimdir. Gümüşhane Plütunu granit, diyorit, dasit vb plütonik kayalardan meydana gelmektedir [4], [27], [29], [34]–[40]. Gümüşhane Plütunu Gökdere Köyü'nün güneyinde geniş bir alanda yüzeylenmektedir ve uyumsuzlukla Erken-Orta Jura yaşlı volkani-klastik Zimonköy Formasyonu'nca yüzeylenmektedir [41], [42]. Bu formasyon ise Geç Jura-Erken Kretase yaşlı, Pelin [43] tarafından Berdiga Formasyonu olarak adlandırılmış sığ platform karbonatlarınca örtülmektedir. Berdiga

Formasyonu ise Gökdere Köyü'nün kuzeydoğusunda, Çukut, Tamzı ve Kovans köyleri civarında uyumlu olarak Geç Kretase yaşlı tortul (klastik) birimlerce örtülmektedir. Kermutdere Formasyonu olarak adlandırılmış olan bu birim kumlu kireçtaşı ile başlamakta üst seviyelere doğu ise kırmızı pelajik kireçtaşları ile devam etmekte ve kumtaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşlarından oluşan tübiditik bir seri ile tamamlanmaktadır [44], [45]. Tüm bu birimler çalışma sahasının dışında, Gümüşhane kuzeybatısında Geç Kretase intrüzyonlarca kesilmektedir [46]–[48]. Geç Kretase ise stratigrafik olarak, çalışma sahasının kuzey-kuzeydoğusunda, Alibaba Formasyonu olarak adlandırılmış [44], [49], [50] Orta-Geç Eosen volkanik ve volkani-klastik kayalar tarafından üzerlenmektedir. Çalışma alanı dışında değişik alanlarda ise Alibaba Formasyonu eş yaşlı kalk-alkali karakterli granitik kayalarca kesilmektedir [26], [38], [40], [51]–[53]. Bölgenin en genç oluşukları ise, yamaç molozu, alüvyon ve travertenlerdir [39], [54]–[59].



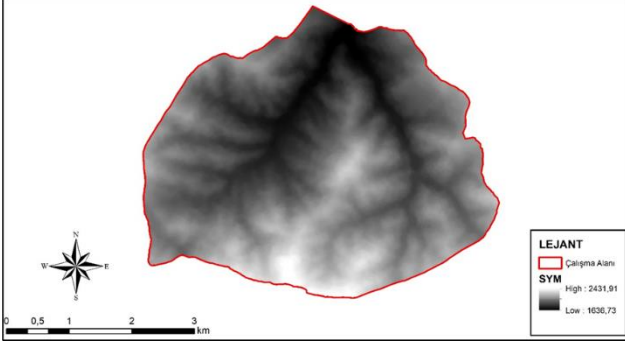
Şekil 1. Çalışma Alanının Google Earth Görüntüsü

### B. Metot

Çalışma için gerekli olan tematik haritalar çeşitli kaynaklardan elde edilmiş ve araştırmalar sonucunda, yeraltı suyu potansiyel alanlarını tespit etmeye esas teşkil edecek 8 tematik katman; arazi kullanımı, drenaj, fay, eğim, jeomorfoloji, litoloji, toprak derinlik ve yağış olarak belirlenmiştir. Bir CBS yazılımı olan ArcGIS 10.8 kullanılarak bu katmanlara ilişkin haritalar ayrı ayrı üretilmiştir. Katmanlara ilişkin tüm haritalar, Universal Transverse Mercator (UTM) koordinat sisteminde ve WGS 84 datumunda (WGS 84 UTM Zone 37) olacak şekilde üretilmiştir.

Çalışma alanına ilişkin sayısal yükseklik modeli (SYM); çalışmamızda üretmemiz gereken eğim, drenaj yoğunluğu, jeomorfoloji ve yağış haritalarına doğrudan bir altlık oluşturmaktadır. ArcGIS 10.8

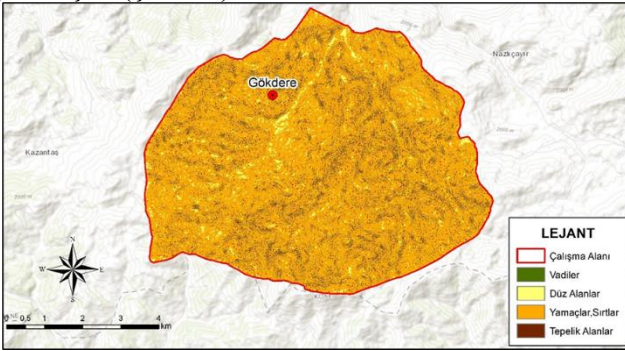
yazılımında; çalışma alanının içerisinde kalacak şekilde rastgele 10000 nokta oluşturulmuş, noktaların yükseklik değerleri Google Earth'ten çekilmiş ve ArcGIS 10.8 yazılımında Gökdere Köyü Çalışma alanına ilişkin 5 m çözünürlüklü SYM üretilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Gökdere Havzası Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

### Jeomorfoloji Haritası

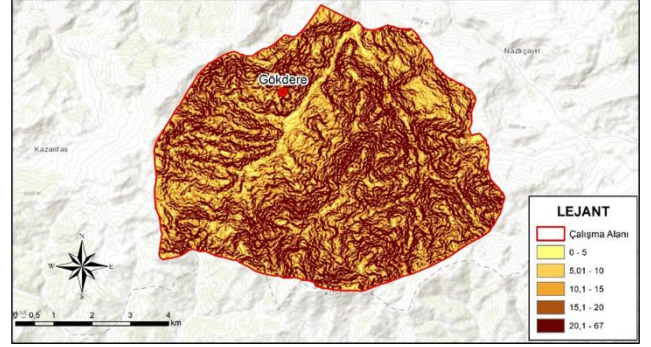
Çalışma alanına ait jeomorfoloji haritası; sayısal yükseklik modeli verisinden, ArcGIS 10.8 yazılımı ile, özel olarak geliştirilmiş CBS tabanlı otomatik arazi formu sınıflandırma aracı [Landform Classification (Jennes)] kullanılarak üretilmiştir [60]. İşlem sonucunda çalışma alanının jeomorfolojisi; vadiler, düz alanlar, yamaçlar / sırtlar ve tepelik alanlar olmak üzere 4 sınıf olarak ayrılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Gökdere Havzası Jeomorfoloji Haritası

### Eğim Haritası

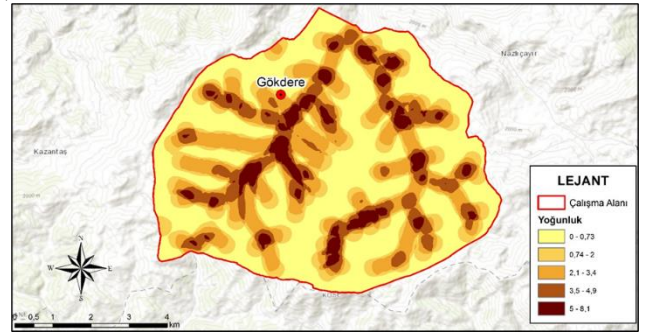
Çalışma alanına ait eğim haritası, ArcGIS 10.8 yazılımında yer alan "Slope" aracı ile sayısal yükseklik modeli verisinden yararlanılarak ve 5 sınıf olarak üretilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Gökdere Havzası Eğim Haritası

### Drenaj Yoğunluk Haritası

Çalışma alanına ait drenaj yoğunluk haritasının üretilmesi için, akarsu drenaj ağı verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Öncelikli olarak sayısal yükseklik modeli verisi kullanılarak, Strahler yönteminin yardımıyla akarsu drenaj ağları otomatik olarak çıkartılmıştır [61]. Akabinde de ArcGIS 10.8 yazılımında yer alan "Line Density" aracıyla km<sup>2</sup>'ye düşen akarsu yoğunluğu tespit edilmiş ve drenaj yoğunluk haritası 5 farklı aralıkta üretilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Gökdere Havzası Drenaj Yoğunluk Haritası

### Yağış Haritası

Çalışma alanına ait yağış haritasının üretilmesi için; bölgeye ait yıllık yağış ve meteoroloji istasyonu yükseklik verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışma alanı içerisinde meteoroloji istasyonu bulunmadığından ve önemli bir yükseklik farkı bulunduğundan dolayı, Schreiber formülünden yararlanılmıştır [62]. Schreiber formülü, yağışın topoğrafyaya bağlı değişimini ortaya koymada sıklıkla kullanılan formüllerinden birisidir. Formüle göre her 100 metredeki yükseklik artışına bağlı olarak yağış miktarı 54 mm artmaktadır. Bu formülün temelini, denizden daha yüksek bölgelere çıktıkça yağışın artması yaklaşımı oluşturmaktadır. Bu haliyle formül, yağış miktarı bilinmeyen alanların yağış miktarını tespit etme amaçlı birçok çalışmada kullanılmaktadır [62]. Schreiber formülü;



$$P_h = P_0 + (54h) \quad (1)$$

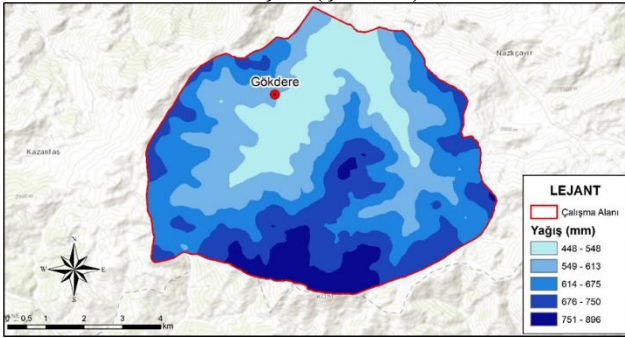
şeklindedir.

$P_h$  : Yüksekliği bilinen, yağışı bulunacak bir noktanın yağışı (mm)

$P_0$  : Yüksekliği ve yağış değeri bilinen karşılaştırma istasyonunun yağış miktarı

$h$  :  $P_h$  ile  $P_0$  arasındaki yükseklik farkı.

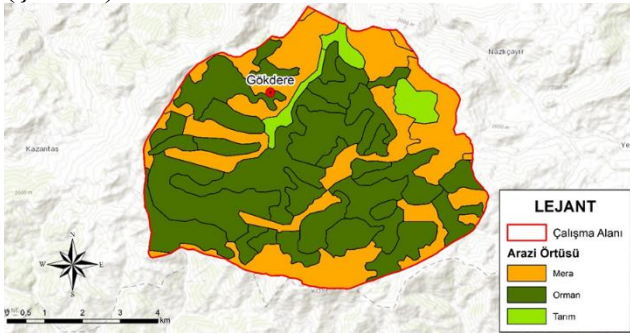
Gökdere havzasında meteoroloji istasyonu bulunamadığı için yakın civarda yer alan Sarginkaya meteoroloji istasyonuna ait istasyon noktası yüksekliği ve yıllık ortalama yağış miktarı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Verileri [63] baz alınarak, Schreiber formülü yardımıyla ve ArcGIS 10.8 yazılımı ile çalışma alanına ait yağış haritası 5 farklı aralıkta üretilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Gökdere Havzası Yağış Haritası

#### Arazi Kullanım Haritası

Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası, Avrupa Birliği bünyesinde faaliyet gösteren Copernicus Land Monitoring Service (Copernicus Arazi İzleme Servisi) [64]'nden temin edilen arazi kullanım / arazi örtüsü verileri kullanılarak, ArcGIS 10.8 yazılımı ile üretilmiştir. İşlem sonucunda çalışma alanının arazi kullanımı; mera, orman ve tarım olmak üzere 3 farklı sınıf altında toplanmıştır (Şekil 7).

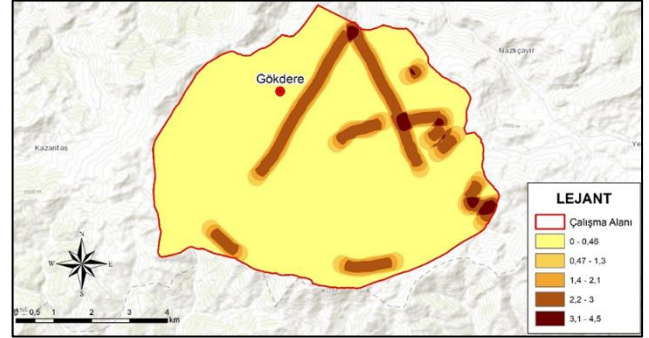


Şekil 7. Gökdere Havzası Arazi Kullanım Haritası

#### Fay Yoğunluk Haritası

Çalışma alanına ait fay yoğunluk haritasının üretilebilmesi için, fay verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu fay verileri; arazi

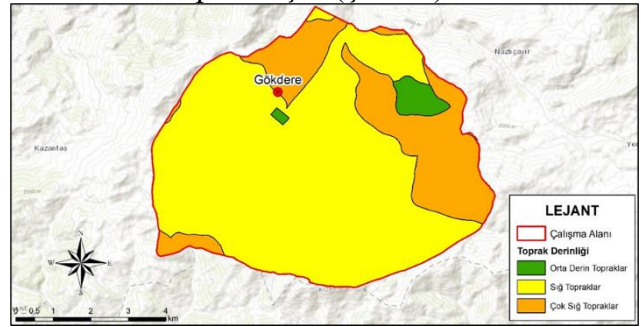
gözlemlerinden ve Google Earth tabanlı uydu görüntüsünden muhtemel tektonik hatların sayısallaştırılması suretiyle elde edilmiştir. Ardından da ArcGIS 10.8 yazılımında yer alan "Line Density" aracıyla  $\text{km}^2$ 'ye düşen fay yoğunluğu tespit edilmiş ve fay yoğunluk haritası üretilmiştir. İşlem sonucunda fay yoğunlukları sınıfları, 5 farklı aralıkta yer almıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Gökdere Havzası Fay Yoğunluk Haritası

#### Toprak Derinlik Haritası

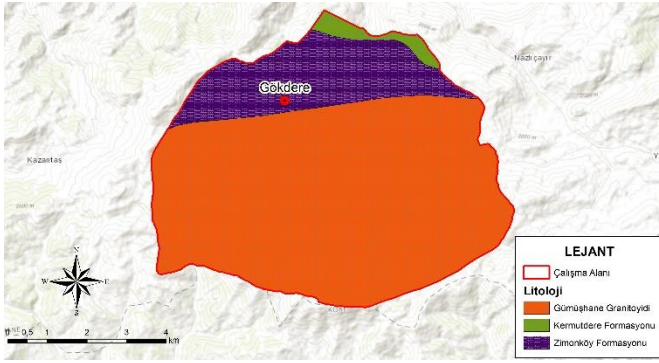
Çalışma alanına ait toprak derinlik haritası, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü'nden temin edilen toprak verileri ArcGIS 10.8 yazılımında kullanılarak üretilmiştir. İşlem sonucunda çalışma alanının toprak derinliği; orta derin topraklar, sıg topraklar ve çok sıg topraklar olmak üzere 3 farklı sınıf altında toplanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Gökdere Havzası Toprak Derinlik Haritası

#### Litoloji Haritası

Çalışma alanına ait litoloji haritası Güven [50]'e ait 1/100 000 Ölçekli bölge kompilsayon haritası sadeleştirilerek elde edilmiştir. Jeoloji haritası incelendiğinde çalışma alanında Gümüşhane Plütunu, Zimonköy Formasyonu ve Kermutdere Formasyonu'nun yüzeyletiği görülmüştür (Şekil 10).



Şekil 10. Gökdere Havzası Litoloji Haritası

### Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Yeraltı Suyu Potansiyel Haritasının Üretimi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi, Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanmaya uygun bir model olarak geliştirilmiştir [65]. En yaygın kullanılan ve en iyi bilinen çok kriterli analiz yöntemlerinden biri olan AHS yöntemi, birden fazla kritere bağlı bir problemin çözümünde, kullanıcıların kriterlerin ağırlıklarını tespitine fırsat vermektedir. AHS yönteminde her problem için amaç, kriterler, alt kriterler ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model söz konusudur [65]. Bu yöntemde problem, hiyerarşik bir yapıya oturtulur ve hiyerarşiyi oluşturan kriterlerin ağırlıkları hesaplanır [66]. Bir düzeydeki kriterlerin hiyerarşide hemen bir üst düzeyde yer alan kriterler yönünden değerlendirmesinde Saaty [67] tarafından önerilen tercih ölçeğinden (Tablo 1) faydalanılarak bir puanlama yapılır ve ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur [67]. İkili karşılaştırma matrisi n adet öğe için  $n(n-1)/2$  adet karşılaştırmadan oluşur [66], [68].

Tablo 1. AHS Yönteminde Kullanılan İkili Karşılaştırma Tercih Ölçeği [67].

Önem Derecesi	Açıklama
1	Kriterler eşit öneme sahip
3	1. kriter 2. kritere göre biraz daha önemli
5	1. kriter 2. kritere göre fazla önemli
7	1. kriter 2. kritere göre çok fazla önemli
9	1. kriter 2. kritere göre en kuvvetli öneme sahip
2, 4, 6, 8	Ara değerler

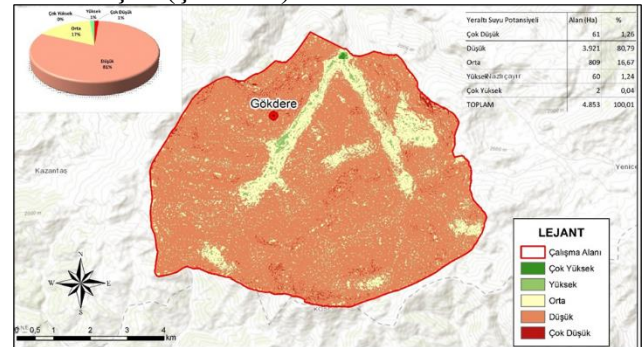
AHS yöntemi ile bir problemin çözülmesi, ikili karşılaştırmaları yapılan kriterlerin öncelikleri ya da ağırlıkları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Öncelik veya ağırlıkların belirlenmesi, ikili karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bunun için, matrisin sütun

elemanları her bir sütun toplamına bölünerek "normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi" oluşturulur. Oluşturulan matristeki satır elemanları toplanır ve toplam değer satırdaki eleman sayısına bölünür. Böylelikle ağırlık vektörü elde edilmiş olur [65]. Ağırlıklar 0-1 aralığında dağılır ve toplamları 1 eder (Tablo 2) [66], [68].

Tablo 2. AHP Karar Matrisi Tablosu

Kriter	a	b	c	d	e	f	g	h				
Jeomorfoloji (a)	1	2	2	4	3	2	3	3				
Fay Yoğunluğu (b)	1/2	1	2	2	3	2	3	4				
Arazi Kullanımı (c)	1/2	1/2	1	3	4	4	3	3				
Litoloji (d)	1/4	1/2	1/3	1	2	3	2	3				
Eğim (e)	1/3	1/3	1/4	1/2	1	3	4	2				
Toprak (f)	1/3	1/2	1/4	1/3	1/3	1	2	2				
Drenaj Yoğunluğu (g)	1/2	1/3	1/3	1/2	1/4	1/2	1	3				
Yağış (h)	1/3	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/3	1				
Toplam	3,75	5,42	6,50	11,67	14,08	17,00	17,33	21,00		Toplam	Ağırlık	%
Jeomorfoloji (a)	0,27	0,37	0,31	0,34	0,21	0,18	0,12	0,14		1,93	0,24	24,18%
Fay Yoğunluğu (b)	0,13	0,18	0,31	0,17	0,21	0,12	0,17	0,19		1,99	0,19	18,64%
Arazi Kullanımı (c)	0,13	0,09	0,15	0,26	0,28	0,24	0,17	0,14		1,47	0,18	18,05%
Litoloji (d)	0,07	0,09	0,05	0,09	0,14	0,18	0,12	0,14		0,87	0,11	10,91%
Eğim (e)	0,09	0,06	0,04	0,04	0,07	0,18	0,23	0,10		0,81	0,10	10,07%
Toprak (f)	0,09	0,09	0,04	0,03	0,02	0,06	0,12	0,10		0,54	0,07	6,77%
Drenaj Yoğunluğu (g)	0,13	0,06	0,05	0,04	0,02	0,03	0,06	0,14		0,34	0,07	6,77%
Yağış (h)	0,09	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,05		0,35	0,04	4,33%
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	100,00%	

Elde edilen ağırlıklar ile ArcGIS 10.8 yazılımında ağırlıklı çakıştırma (weighted overlay) analizi kullanılarak tüm katmanlar çakıştırılmış ve Gökdere havzasına ilişkin yeraltı suyu potansiyel haritası üretilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. AHS Yöntemi Kullanılarak Üretilen Yeraltı Suyu Potansiyeli Haritası

### III. BULGULAR

AHS yöntemine göre üretilen yeraltı suyu potansiyel haritası için yapılan değerlendirmelerde çalışma alanının %0.04 (2 ha) çok yüksek, %1.24 (60 ha) yüksek, %16.67 (809 ha) orta, %80.79 (3.921 ha) düşük ve %1.26 (61 ha) çok düşük derecede yeraltı suyu potansiyeli taşıdığı tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Çalışma Alanı Yeraltı Suyu Potansiyel Alanlarının Derecelerine Göre Dağılımı

Yeraltı Suyu Potansiyeli	Alan (ha)	Alan (%)
Çok Düşük	61	1.26
Düşük	3.921	80.79
Orta	809	16.67
Yüksek	60	1.24
Çok Yüksek	2	0.04
<b>TOPLAM</b>	<b>4.853</b>	<b>100.01</b>

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışma, Gümüşhane ili Gökdere köyünde çalışma alanı olarak belirlenen bir havzadaki yeraltı suyu potansiyel alanlarının tanımlanmasını ele almaktadır. Analizin temel amacı, yeraltı suyu potansiyelini haritalayabilmek için CBS teknolojilerinin ve AHS yönteminin kullanılabilirliğini araştırmaktır. Yeraltı suyu potansiyelini haritalamada, literatür araştırmalarının da sonucu olarak; arazi kullanımı, drenaj, fay, eğim, jeomorfoloji, litoloji, toprak derinlik ve yağış olmak üzere 8 önemli parametre dikkate alınmıştır. Üretilen potansiyel harita, “çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek” alanlar olmak üzere 5 kategoride sınıflandırılmıştır. Çalışma sonucunda; 4.853 ha toplam alanın, 3.921 ha'nın (%80.79) yeraltı suyu potansiyelinin düşük olduğu sonucu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu analiz sonucunda, bu havzanın yeraltı suyu potansiyeli olarak oldukça zayıf olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma ile, yeraltı su kaynaklarının etkin bir şekilde üretilmesi ve korunması teşvik edilmeye çalışılmıştır. Bu yeraltı suyu potansiyeli haritasının, Gökdere havzasında altlık olarak kullanılmak suretiyle yeraltı suyu kaynaklarının yönetimi ve karar vericilerin daha iyi planlama yapmasına yardımcı olabileceği öngörülmüştür. Ancak bu haritanın, alana ilişkin yapılacak arazi çalışmaları sonucu elde edilecek verilerle desteklenmesi gerektiği de düşünülmektedir. Yeraltı suyu potansiyelinin değerlendirilmesi, yeraltı suyu yönetiminde karar vericilere ve talebe bağlı olarak sondaj kuyuları için uygun yerlerin seçiminde de yardımcı olacaktır. Ayrıca bu çalışmayla; Gümüşhane ya da başka bir bölgede yeraltı suyu potansiyeli haritalama çalışmalarına yönelik bir farkındalık oluşturulmaya çalışılmıştır.

#### TEŞEKKÜR/KATKI BELİRTME

Bu çalışma Birinci Yazar'ın Doktora Seminer çalışmasından üretilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] A. Vural ve A. Kaygusuz, “Gümüşhane İli Jeotermal Enerji ve Gazlı-Mineralli Su Potansiyelinin Araştırılması Üzerine Bir Değerlendirme”, 2022, ss. 1618–1645.
- [2] A. Vural, A. Gündoğdu, F. Saka, ve V. N. Bulut, “Geochemical investigation of the potability of surface water in Çit Stream and related creeks in Avliyana Basin (Gümüşhane , NE Türkiye)”, *Turkish Journal of Analytical Chemistry*, c. 4, sayı 1, ss. 44–51, 2022.
- [3] A. Vural vd., “Regional monitoring and assessment of

- water quality surface waters in Arzular-Kabaköy Mineralization/alteration area in Gümüşhane (NE Turkey)”, içinde *36th National and the 3rd International Geosciences Congress*, 2018.
- [4] A. Vural, A. Gündoğdu, V. N. Bulut, S. Alemdağ, F. Saka, ve M. Soylak, “Harşit Vadisinde (Gümüşhane), Bölgedeki (Terkedilmiş) Maden Sahalarından Kaynaklanan Ağır Metal/İz Element Kirliliğinin Araştırılması”, Gümüşhane, Türkiye, 2020.
- [5] V. N. Bulut, A. Gündoğdu, A. Vural, C. Baltacı, ve M. Soylak, “Gümüşhane Harşit Çayı'nın Florür İçeriğinin Jeolojik ve Antropojenik Olarak İncelenmesi”, içinde *International Trace Analysis Congress (ITAC 2018/ES-AN 2018)*, 2018, s. 74.
- [6] A. Gündoğdu, A. Vural, V. N. Bulut, C. Baltacı, ve M. Soylak, “Gümüşhane'deki Bazı Yüzey Sularının Su Kalitesi Açısından İzlenmesi ve Değerlendirilmesi”, içinde *International Trace Analysis Congress (ITAC 2018/ES-AN 2018)*, 2018, s. 54.
- [7] A. Vural ve A. Gündoğdu, “Investigation of Heavy Metal Contamination In Harşit Brook (Gümüşhane) Arising from (Abandoned) Mining Sites in the Region: Preliminary Findings”, içinde *International Environmental Sciences Symposium of Van*, 2014, ss. 170–171.
- [8] A. Vural ve A. Gündoğdu, “High-fluoride risk and toxicity in surface waters in Gümüşhane-Gökdere valley drainage network (NE Turkey)”, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, c. 9, sayı 1, ss. 1323–1334, 2020.
- [9] J. Chezgi, H. R. Pourghasemi, S. A. Naghibi, H. R. Moradi, ve M. Kheirkhah Zarkesh, “Assessment of a spatial multi-criteria evaluation to site selection underground dams in the Alborz Province, İnan”, *Geocarto International*, c. 31, sayı 6, ss. 628–646, 2016.
- [10] G. Venkatesan, S. Pitchaikani, ve S. Saravanan, “Assessment of Groundwater Vulnerability Using GIS and DRASTIC for Upper Palar River Basin, Tamil Nadu”, *Journal of the Geological Society of India*, c. 94, sayı 4, ss. 387–394, 2019, doi: 10.1007/s12594-019-1326-2.
- [11] UN(DESA), “World Population Prospects 2022”, 2022.
- [12] A. Vural ve D. Aydal, “Determination of Lithological Differences and Hydrothermal Alteration Areas by Remote Sensing Studies: Kısacık (Ayvacık-Çanakkale, Biga Peninsula, Turkey)”, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, c. 9, sayı 1, ss. 1341–1357, 2020.
- [13] D. Aydal, A. Vural, ve O. Polat, “Volkanik kayaçlarda baz metal ve altın içeren hidrotermal altere alanların Landsat 7 TM ile tanımlanması ve verilerin CBS ortamında değerlendirilmesi: Bayramiç (Çanakkale) çalışmaları”, içinde *57. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 2004, ss. 89–90.
- [14] D. Aydal, A. Vural, İ. Taşdelen Uslu, ve E. G. Aydal, “Kuşçayırı-Kartaldağı (Bayramiç-Çanakkale) cevherleşme bölgesinin LANDSAT 7 ETM+ kullanılarak Crosta tekniği ile incelenmesi”, içinde *1. Uzaktan Algılama-CBS Çalıştay ve Paneli*, 2006, s. 11.
- [15] A. Vural ve D. Aydal, “Soil geochemistry study of the listvenite area of Ayvacık (Çanakkale, Turkey)”,



- Caspian Journal of Environmental Sciences*, c. 18, sayı 3, ss. 205–215, 2020.
- [16] A. Vural ve D. Aydal, “Soil geochemical prospecting at listvenite area, Bayramiç, (Çanakkale Turkey)”, içinde *34th National and the 2nd International Geosciences Congress*, 2016.
- [17] D. Aydal, A. Vural, İ. Taşdelen Uslu, ve E. G. Aydal, “Crosta Technique Application on Bayramic (Alakeçi-Kısacık) Mineralized Area by Using Landsat 7 TM Data”, içinde *30th Anniversary Fikret Kurtman Geology Symposium*, 2006, s. 195.
- [18] A. Vural ve D. Aydal, “Using soil geochemistry for gold exploration: Ayvacık (Çanakkale-Northwest Turkey)”, içinde *34th National and the 2nd International Geosciences Congress*, 2016.
- [19] D. Aydal, A. Vural, İ. Taşdelen Uslu, ve E. G. Aydal, “Investigation of Kuşçayırı-Kartaldağı (Bayramiç-Çanakkale) mineral enhancement region by Crosta technique with LANDSAT 7 ETM+ bands.”, içinde *Technical University of Istanbul, First Remote Sensing Workshop and Panel*, 2006, s. 11.
- [20] D. Aydal, A. Vural, İ. Taşdelen Uslu, ve E. G. Aydal, “Crosta Technique Application on Bayramiç (Alakeçi-Kısacık) Mineralized Area by Using Landsat 7 Etm+ Data.”, *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Selcuk University*, c. 22, sayı 3, ss. 29–40, 2007.
- [21] A. Vural, İ. Akpınar, ve F. Sipahi, “Mineralogical and Chemical Characteristics of Clay Areas, Gümüşhane Region (NE Turkey), and Their Detection Using the Crósta Technique with Landsat 7 and 8 Images”, *Natural Resources Research*, c. 30, sayı 6, ss. 3955–3985, Ara. 2021, doi: 10.1007/s11053-021-09912-7.
- [22] A. Demir, “1642 Tarihli Avârız Defterine Göre Koğans Kazası”, *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 11, sayı 2, ss. 505–529, 2012.
- [23] K. Saylan, *Gümüşhane İdari, Sosyal ve Ekonomik Tarih (1850-1918)*. İstanbul: Gümüşhane Üniversitesi Yayınları, 2014.
- [24] A. Vural, “Evaluation of soil geochemistry data of Canca Area (Gümüşhane, Turkey) by means of Inverse Distance Weighting (IDW) and Kriging methods-preliminary findings”, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, c. 158, ss. 195–216, Haz. 2019, doi: 10.19111/bulletinofmre.430531.
- [25] A. Vural ve F. Erşen, “Geology, mineralogy and geochemistry of manganese mineralization in Gumushane, Turkey”, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, c. 8, sayı June, ss. 1051–1059, 2019.
- [26] A. Vural, A. Kaygusuz, ve H. Dönmez, “Geological, Geochemical and Geochronological Investigation of Avliyana Antimonite Mineralization”, içinde *8th Geochemistry Symposium*, 2018, ss. 123–124.
- [27] A. Vural ve A. Kaygusuz, “Paleozoyik Yaşlı Artabel Plütununun (Gümüşhane) Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri”, içinde *3. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi*, 2019.
- [28] A. Vural, “Investigation of the radiation risk to the inhabitants in the region close to the hydrothermal alteration site, Gümüşhane/Turkey.”, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, c. 8, sayı 2, ss. 1168–1176, 2019.
- [29] A. Vural ve A. Kaygusuz, “Petrology of the Paleozoic Plutons in Eastern Pontides: Artabel Pluton (Gümüşhane, NE Turkey)”, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, c. 8, sayı 2, ss. 1216–1228, 2019.
- [30] A. Vural, E. Şahin, ve R. T. Kara, “Torul Gümüştüğü Antimonit Cevherleşmesinin Jeolojik ve Jeofiziksel Özellikleri”, içinde *67. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 2014, ss. 534–535.
- [31] A. Vural ve E. Şahin, “Gümüşhane Şehir Merkezinden Geçen Karayolunda Ağır Metal Kirliliğine Ait İlk Bulgular”, *Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 2, sayı 1, ss. 21–35, 2012.
- [32] A. Vural ve M. Erdoğan, “Eski Gümüşhane Kırkpavli Alterasyon Sahasında Toprak Jeokimyası”, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 4, sayı 1, ss. 1–15, 2014.
- [33] A. Vural ve M. Erdoğan, “İz Bulucu Elementlerden Yararlanarak Toprak Jeokimyası İle Altın Cevherleşmesinin Araştırılması: Kırkpavli, Gümüşhane-Türkiye”, içinde *66. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 2013.
- [34] Y. Yılmaz, “Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, NE Anatolia”, 1972.
- [35] G. Topuz, R. Altherr, W. H. Schwarz, A. Dokuz, ve H. P. Meyer, “Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey)”, *International Journal of Earth Sciences*, c. 96, sayı 5, ss. 861–873, 2007, doi: 10.1007/s00531-006-0138-y.
- [36] A. Kaygusuz, M. Arslan, W. Siebel, F. Sipahi, ve N. Ilbeyli, “Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey”, *International Geology Review*, c. 54, sayı 15, ss. 1776–1800, 2012, doi: 10.1080/00206814.2012.676371.
- [37] A. Kaygusuz, M. Arslan, F. Sipahi, ve İ. Temizel, “U-Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution”, *Gondwana Research*, c. 39, ss. 327–346, 2016.
- [38] A. Kaygusuz vd., “Eocene I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Insights into magma genesis and magma-tectonic evolution from whole-rock geochemistry, geochronology and isotope systematics”, *International Geology Review*, 2019, doi: doi.org/10.1080/00206814.2019.1647468.
- [39] A. Vural, “Zenginleştirilmiş Jeoturizm Rotası: Karadağ ve Artabel Gölleri”, içinde *71. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 2018, ss. 481–482.
- [40] A. Vural, A. Gundogdu, I. Akpınar, ve C. Baltacı, “Environmental impact of Gümüşhane City, Turkey, waste area in terms of heavy metal pollution”, *Natural Hazards*, c. 88, sayı 2, ss. 867–890, Eyl. 2017, doi: 10.1007/s11069-017-2896-1.
- [41] M. Eren, “Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes incelemesi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1983.
- [42] Ç. Saydam Eker ve U. V. Arı, “Geochemistry of the Middle Jurassic sediments in Gümüşhane, north-eastern Turkey: Implications for weathering and provenance”,

- Geological Journal*, c. 55, sayı 7, ss. 4954–4976, 2020, doi: 10.1002/gj.3726.
- [43] S. Pelin, *Alucra (Giresun) Güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelemesi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayını, Yayın No. 87, 1977.
- [44] S. Tokel, “Stratigraphical and volcanic history of Gümüşhane region”, 1972.
- [45] C. Saydam Eker ve S. Korkmaz, “Mineralogy and whole rock geochemistry of late Cretaceous sandstones from the eastern Pontides (NE Turkey)”, *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, c. 188, sayı 3, ss. 235–256, 2011, doi: 10.1127/0077-7757/2011/0202.
- [46] A. Kaygusuz, W. Siebel, C. Şen, ve M. Satir, “Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: the composite Torul pluton, Eastern Pontides, NE Turkey”, *International Journal of Earth Sciences*, c. 97, sayı 4, ss. 739–764, Tem. 2008, doi: 10.1007/s00531-007-0188-9.
- [47] A. Kaygusuz, F. Sipahi, N. Ilbeyli, M. Arslan, B. Chen, ve E. Aydınçakır, “Petrogenesis of the late Cretaceous Turnagöl intrusion in the eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting”, *Geoscience Frontiers*, c. 4, sayı 4, ss. 423–438, 2013, doi: 10.1016/j.gsf.2012.09.003.
- [48] A. Kaygusuz, A. Arslan, W. Siebel, ve C. Şen, “Geochemical and Sr-Nd Isotopic Characteristics of Post-Collisional Calc-Alkaline Volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey)”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, c. 20, sayı August 2010, ss. 137–159, 2011, doi: 10.3906/yer-1002-8.
- [49] M. Arslan ve I. Aliyazicioglu, “Geochemical and petrological characteristics of the Kale (Gümüşhane) volcanic rocks: Implications for the Eocene evolution of eastern Pontide arc volcanism, northeast Turkey”, *International Geology Review*, c. 43, sayı 7, ss. 595–610, 2001, doi: 10.1080/00206810109465035.
- [50] İ. H. Güven, *Doğu Pontidlerin 1/100.000 Ölçekli Kompilasyonu*. Ankara: MTA Genel Müdürlüğü, 1993.
- [51] O. Karslı, I. Uysal, Y. Dilek, F. Aydın, ve R. Kandemir, “Geochemical modelling of early Eocene adakitic magmatism in the Eastern Pontides, NE Anatolia: continental crust or subducted oceanic slab origin?”, *International Geology Review*, c. 55, sayı 16, ss. 2083–2095, 2013, doi: Doi 10.1080/01431161.2013.819958.
- [52] A. Vural, “Assessment of metal pollution associated with an alteration area: Old Gümüşhane, NE Black Sea”, *Environmental Science and Pollution Research*, c. 22, sayı 5, ss. 3219–3228, 2015, doi: 10.1007/s11356-014-2907-7.
- [53] A. Kaygusuz vd., “Petrography, mineral chemistry and crystallization conditions of Cenozoic plutonic rocks located to the north of Bayburt (Eastern Pontides, Turkey)”, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, c. 157, ss. 75–102, 2018.
- [54] A. Vural, E. Şahin, ve S. Güner, “Terkedilmiş Maden Sahalarının Jeotuzizm-Jeosit Potansiyeli, Gümüşhane, Türkiye”, içinde *66. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 2013, ss. 348–349.
- [55] A. Vural ve G. Külekçi, “Zenginleştirilmiş Jeotuzizm Güzergahı: Gümüşhane-Bahçecik Köyü (Enriched Geotourism Route: Gümüşhane-Bahçecik Village)”, *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, c. 8, sayı 19, ss. 1–23, 2021, doi: 10.38065/euroasiaorg.894.
- [56] A. Vural ve G. Külekçi, “Bahçecik (Gümüşhane) ve Yakın Çevresi Zenginleştirilmiş Jeotuzizm Güzergahı”, içinde *UMTEB 11. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi*, 2021.
- [57] A. Vural, “Zenginleştirilmiş Jeotuzizm Güzergahlarına Dair Farkındalık Oluşturulması: Eski Gümüşhane-Dört Konak Güzergahı”, içinde *II. International Sustainable Tourism Congress*, 2018, ss. 533–542.
- [58] A. Vural, “Zenginleştirilmiş Jeotuzizm Güzergahlarına Dair Farkındalık Oluşturulması: Eski Gümüşhane - Dörtkonak Güzergahı”, *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, c. 10, ss. 250–274, 2019.
- [59] A. Vural, “Gümüşhane-Zigana Zenginleştirilmiş Jeotuzizm Güzergahı”, içinde *II. International Sustainable Tourism Congress*, 2018, ss. 607–617.
- [60] S. Tagil ve J. Jenness, “GIS-Based Automated Landfonu Classification and Topographic, Landcover and Geologic Attributes of Landfonus Around the Y azoren Polje, Turkey”, *Journal of Applied Sciences*, c. 8, sayı 6, ss. 910–921, 2008.
- [61] A. Strahler, “Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks”, içinde *Handbook of Applied Hydrology*, V. Chow, Ed. New York: McGraw Hill, 1964, ss. 439–47.
- [62] İ. Çiçek ve M. Ataol, “Türkiye’nin Su Potansiyelinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yaklaşım.”, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, c. 7, sayı 1, ss. 51–64, 2009.
- [63] MGM, “Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (2022). Gümüşhane, Süleymaniye, Zigana, Karayayla, Sarginkaya, Sungurbeyli, Aşağıyuvalı, Uludağ, Palandöken, Erciyes, Sarıkamış meteoroloji istasyonlarının yayınlanmamış rasat verileri”, 2022. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=GUMUSHANE>. [Erişim: 06-Mar-2023].
- [64] Corine, “Copernicus Arazi İzleme Servisi”, 2023. [Çevrimiçi]. Available at: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>. [Erişim: 10-Mar-2023].
- [65] E. Kavas, “Analitik Hiyerarşik Süreç Yöntemiyle İzmir İlinde Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı İncelenmesi”, içinde *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi (CBS2009)*, 2009.
- [66] D. Öztürk ve F. Batuk, “Konumsal Karar Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 28, ss. 124–137, 2010.
- [67] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York, USA: McGraw-Hill Comp, 1980.
- [68] J. Malczewski, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley and Sons, 1999.