

YER BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ DEĞERLENDİRMELERİ

Editör: Doç.Dr. İbrahim İskender SOYASLAN

Yer Bilimleri ve Mühendisliği Değerlendirmeleri

Editör

Doç.Dr. İbrahim İskender SOYASLAN

yaz
yayınları

2025

**Yer Bilimleri ve Mühendisliği
Değerlendirmeleri**

Editör: Doç.Dr. İbrahim İskender SOYASLAN

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5838-91-9

Ekim 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Sismik Risk Analiz Metodolojisinin Değerlendirilmesi ..1	
<i>İbrahim İskender SOYASLAN</i>	
Mermer Artıklarının Boyutlarına ve Oluşum	
Mekanizmalarına Göre Türlerinin İncelenmesi.....18	
<i>İbrahim İskender SOYASLAN, Yusuf EKİNCİ</i>	
Maden Sahasındaki Topraklarda Ağır Metal Kirliliği...31	
<i>Nevin KONAKCI</i>	
Assessment of the Relationship Between	
Satellite-Based Tectonic Lineament and Kizilkaya	
(Aksaray) Rockfall49	
<i>Ramazan DEMİRCİOĞLU</i>	

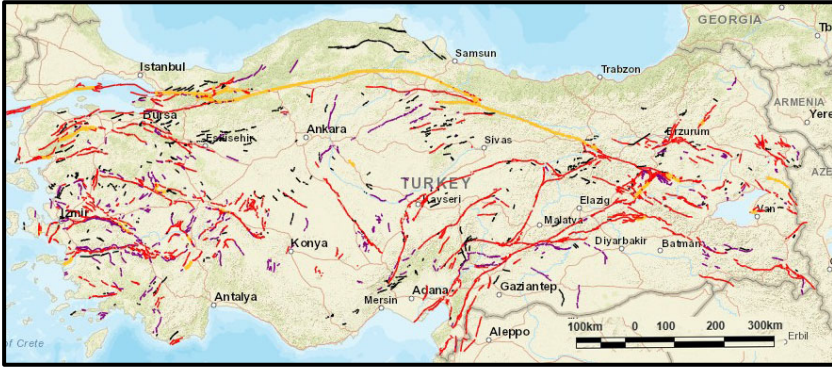
"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

SİSMİK RİSK ANALİZİ METODOLOJİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İbrahim İskender SOYASLAN¹

1. GİRİŞ

Türkiye, Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alan ve Avrasya, Afrika ve Arabistan tektonik plakalarının kesişim noktasında bulunan tektonik ve sismik olarak aktif bölgede bulunmaktadır. Türkiye, jeolojik yapısı ve jeodinamik koşulları nedeniyle birden fazla aktif fay hattına sahiptir. Türkiye Aktif Fay Haritası, Doğu Anadolu, Marmara ve Ege bölgeleri ile Kuzey Anadolu Fay Hattı ve Doğu Anadolu Fay Hattı'nın en büyük sismik risk taşıyan yerler arasında olduğunu göstermektedir (Şekil 1) (Şaroğlu ve diğerleri, 1992).



Şekil 1. Türkiye diri fay haritası (Şaroğlu ve diğerleri,1992)

Kuzey Anadolu Fay Hattı, son yüzyılda Türkiye'yi etkileyen önemli depremlere neden olmuştur. 1939 Erzincan

¹ Doç. Dr. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, isoyaslan@mehmetakif.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5282-8094.

($M_s=8.3$), 1944 Bolu-Gerede ($M_s=7.5$), 1999 İzmit ($M_s=7.4$) ve 1999 Düzce ($M_s=7.2$) depremleri önemli can kaybına ve maddi hasara yol açmamıştır. Son yüzyılda, Türkiye'de meydana gelen 130 depreminin sonucunda yaklaşık 80,633 kişi hayatını kaybetti, 54,380 kişi yaralandı ve 441,611 konut önemli hasar gördü (Bağcı ve diğerleri, 1991; Kundak & Türkoğlu, 2007). 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremi, 6 ila 10 milyar USD arasında maddi hasara yol açtı (Güven & Gerçek, 2017). Sismik risk değerlendirme senaryoları, özellikle yüksek riskli sismik bölgelerde, deprem tehlikesi değerlendirmesi ve azaltma girişimlerinin kritik önemini vurgulamaktadır.

Deprem risk değerlendirmeleri, depremin olasılığı, beklenen büyüklüğü, yerel jeolojik koşulların (zemin büyütmesi, sıvılaşma, heyelan, yüzey faylanma) etkisi, kentsel gelişim ve demografik ve ekonomik çerçeveler gibi faktörleri inceleyerek potansiyel zararları ve kayıpları değerlendirmeyi amaçlar. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bu kapsamlı analizleri yürütmek için olağanüstü bir platform sunar. CBS, afet yönetiminde karar verme süreçlerini kolaylaştırmak için geniş kapsamlı mekânsal verilerin toplanması, düzenlenmesi, analizi ve görselleştirilmesi için sağlam araçlar sunar.

Belirleyici senaryo bazlı ve olasılıksal metodolojiler, deprem riskini değerlendirmek için kullanılmaktadır (Corban ve diğerleri, 2015). Çok kriterli karar verme teknikleri, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller (GLM) gibi, Gutenberg-Richter modeli gibi geleneksel yöntemlerle birlikte Türkiye'de ve dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır. AHS, sismik bölge, zemin ivmesi, zemin özellikleri, sıvılaşma potansiyeli, fay ve merkez üssüne yakınlık, arazi kullanımı, inşaat verileri ve demografik bilgiler gibi çeşitli kriterleri birleştirerek detaylı risk haritaları oluşturmada kullanılır.. Türkiye'de Değirmendere (Güven & Gerçek, 2017), Küçükçekmece (Erden & Karaman, 2012), Bitlis (Aydın ve

diğerleri, 2024) ve Kahramanmaraş (Atik & Safi, 2024) gibi bölgelerde yapılan araştırmalar, sismik risk değerlendirmesinde CBS tabanlı AHS metodolojilerinin etkinliğini kanıtlamıştır. Bu çalışmalar, kontrolsüz kentleşmenin deprem riskini artırmadaki önemli etkisini, özellikle metropol bölgelerinde, göstermiştir.

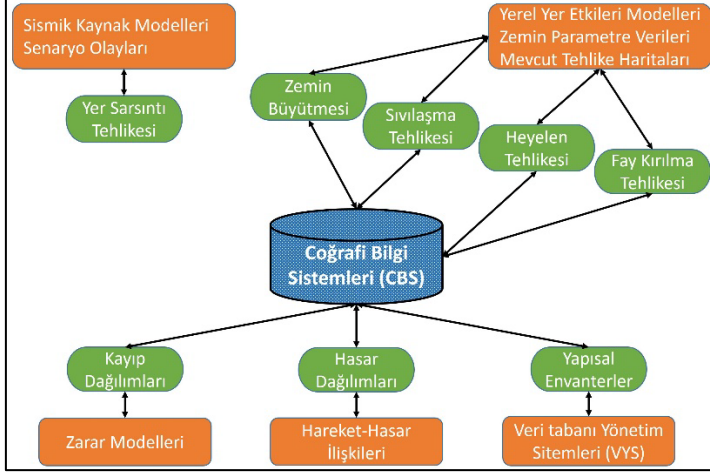
Depremler, dünya genelinde meydana gelen doğal olaylardır ve özellikle Avrupa'da yaygınlık gösterirler. Depremler 1980-2014 yılları arasında Avrupa'da en ölümcül ikinci doğal afet olarak kaydedildiler. Ayrıca şiddetli sıcaklıkların ardından, 33.000'den fazla ölüme ve 62 milyar Euro'dan fazla ekonomik kayba neden oldular. Depremler, sismik risk değerlendirmesinin önemini ve risk azaltma için etkili çözümler bulma zorunluluğunu vurgulamaktadır (Corban ve diğerleri, 2015)

Sismik risk değerlendirmesi, sismik tehlikelere ve zayıflıklara maruz kalmanın can ve maddi kayıplara yol açma olasılığını ifade eder. Doğrudan ekonomik kayıplar, onarım ve değiştirme masraflarını kapsayan, ve dolaylı ekonomik kayıplar, şirket kesintileri ve gelir kaybını içeren, ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Beklenen yaralanma ve ölüm sayısı, insan kayıplarını değerlendirmek için en önemli ölçüttür. Dolayısıyla, sismik risk değerlendirmesi, jeolojik, sismolojik, mühendislik, demografik ve ekonomik veriler. Sonuç olarak, sismik risk değerlendirmesi, bir risk değerlendirme çerçevesi içinde jeolojik, sismolojik, mühendislik, demografik ve ekonomik verilerin birleştirilmesini gerektiren çok yönlü bir süreçtir.

2. DEPREM RİSKİ ANALİZİ METODOLOJİSİ

Deprem riski analizi, sismik tehlike, maruz kalma (risk altındaki unsurlar) ve hassasiyet dahil olmak üzere tüm bileşenleri değerlendiren kapsamlı bir süreçtir. Bu çeşitli bileşenlerin entegrasyonu ve analizi, CBS tarafından kolaylaştırılan optimal bir ortamda gerçekleştirilebilir. Çok

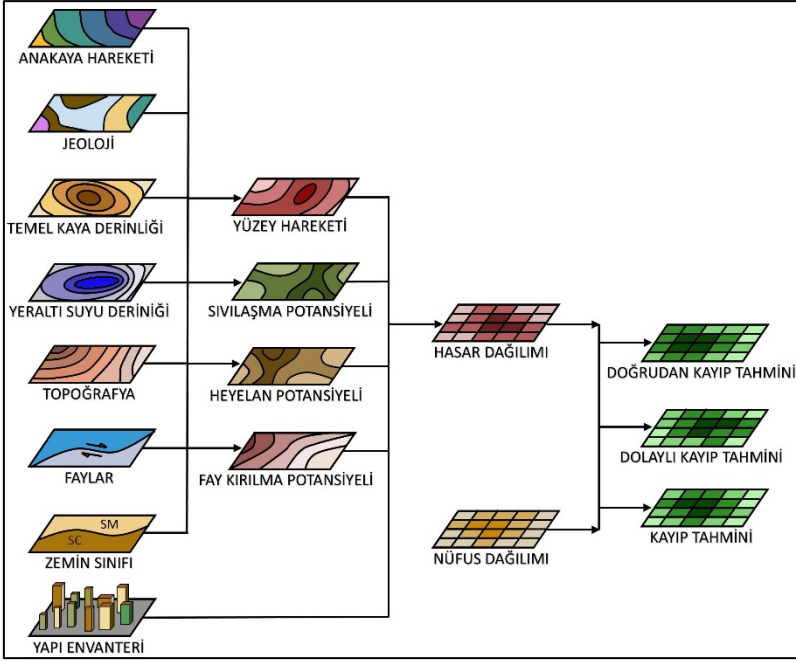
kriterli karar verme (ÇKDV) prosedürleri, AHS gibi, risk değerlendirmelerini ve entegrasyonunu yapmak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Bölgesel sismik tehlike ve risk analizi akış diyagramı (King ve Kiremidjian, 1994)

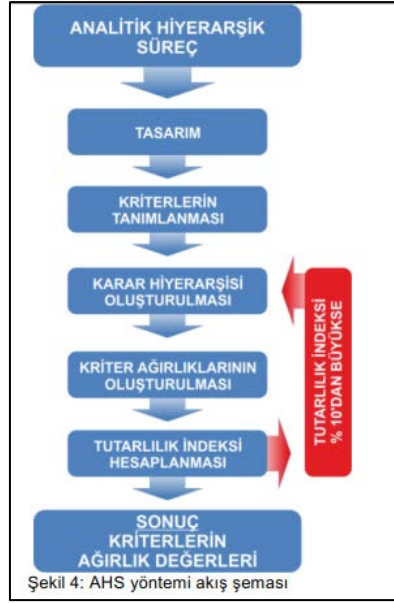
King ve Kiremidjian (1994) tarafından gösterilen akış diyagramı, CBS'ye dayalı bölgesel çok tehlikeli sismik risk değerlendirmesinin aşamalarını açıkça belirlemektedir. Daireler yaklaşım aşamalarını, kareler veritabanı bilgilerini, üçgenler ise ara ve nihai bulguları belirtir. Bu, prosedürü göstermektedir. Bu şekil, tehlike tanımından kayıp tahminine kadar tüm analitik aşamaları kapsamlı bir şekilde tasvir etmektedir.

Bölgesel sismik tehlike ve risk değerlendirmesinde CBS'nin işlevini etkili bir şekilde gösteren CBS Tabanlı Çok Tehlikeli Sismik Risk Analizi Temel Prosedürü Şekil 3'de verilmiştir. Bir grafik, sismik kaynak modelleri, yerel saha etkileri ve kayıp modelleri gibi ana bileşenlerin, CBS sistemi içindeki entegrasyonunu göstermektedir. Bu grafik, King ve Kiremidjian (1994) tarafından oluşturulmuş olup, okuyucuyu çalışmanın metodolojik temeli ile tanıştırmak için ilk referans olarak işlev görebilir.



Şekil 3. CBS tabanlı çok tehlikeli sismik risk analizi temel prosedürü

Güven ve Gerçek (2017) akış diyagramı, risk değişkenlerinin ağırlıklandırılmasında özel olarak kullanılan AHS tekniğinin süreçlerini deline eder (Şekil 4). Bu diyagram karmaşık karar verme zorluklarının, ikili karşılaştırma matrislerinin, önem dağılımlarının ve tutarlılık değerlendirmesinin belirlenmesini açıklamaktadır. Ayrıca, Sinha ve diğerleri (2016) ile Aydın ve diğerleri (2024) tarafından yapılan araştırmalar, deprem riskinin değerlendirilmesinde AHS önemini vurgulamaktadır.



Şekil 4. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Yöntemi ile Oluşturulan Akış Şeması (Güven ve Gerçek, 2017)

Güven ve Gerçek (2017) tarafından oluşturulan akış şeması, risk değişkenlerinin ağırlıklandırılmasında özel olarak kullanılan AHS tekniğinin süreçlerini temsil eder. Bu grafik, karmaşık karar verme sorunlarının belirlenmesi, faktörler arası karşılaştırma matrisleri, önem dağılımları ve tutarlılık değerlendirmesini açıklamaktadır. Ayrıca, Sinha ve arkadaşları (2016) ile Aydın ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan araştırmalar, AHP'nin deprem riskini değerlendirmedeki önemini vurgulamaktadır.

Gelecekteki depremlerden kaynaklanabilecek potansiyel zarar ve maliyetleri değerlendirmeyi amaçlayan kapsamlı bir araştırma, deprem risk analizi olarak adlandırılır. Risk, belirli bir tehlikenin meydana gelme olasılığı ile sonuçlanan etkilerin çarpımı olarak tanımlanır (Kundak & Türkoğlu, 2007). Risk, riskin, etkilenen faktörlerin (değer) ve hassasiyetin (etki oranı) toplamıdır (Güven & Gerçek, 2017). Bu analizler, yollar,

köprüler, barajlar, binalar, sanayi tesisleri ve diğer yapılar ile can kaybı gibi hasarların değerlendirilmesini kapsamaktadır. Karar vericilere, deprem riski bilgileri ve azaltma stratejileri için kaynak tahsisinde yardımcı olabilir (Silva ve diğerleri, 2020).

3. SİSMİK RİSK ANALİZİ YÖNTEMLERİ

Deterministik ve olasılıksal metodolojiler, deprem risk değerlendirme modellerinin oluşturulmasında sıklıkla kullanılmaktadır. İki yaklaşım, sismik risk sorununu farklı bakış açılarıyla ele alır ve birbirlerini karşılıklı olarak güçlendirir (McGuire, 2001).

3.1. Belirleyici (Deterministik) Metodoloji

Belirleyici teknik, yer hareketlerini, beklenen hasarları ve kayıpları tahmin eder ve kullanıcının "en kötü durum senaryosu" veya "maksimum olası deprem" olarak adlandırdığı bir senaryoya ilişkindir. Sigorta endüstrisinin "Olası Maksimum Kayıp (OMK)" değerlendirmesi, belirlenen bir geri dönüş süresi boyunca ortaya çıkabilecek beklenen kaybı ifade eder. Bu yöntem bu yaklaşım kullanılarak uygulanmıştır. Bu, şiddetli bir depremin neden olduğu önemli yıkım ve kayıpların ve bunların sonraki etkilerinin değerlendirilmesini sağlar (Kijko ve diğerleri, 2003).

3.2. Öngörüşel (Probabilistik) Metodoloji

Belirli bir bölgeyi etkileyebilecek tüm olası sismik kaynaklarla ilişkili riskleri ve olayların gerçekleşme olasılığını dikkate almak için öngörüşel bir metodoloji kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, belirli zemin hareketi eşiklerinin aşılma olasılığını yıllık olarak hesaplar (Kijko ve diğerleri, 2003). Çağdaş deprem risk değerlendirme modelleri, çeşitli senaryolardan beklenen kayıpların olasılık dağılımlarını göstermektedir (Kunreuther & Roth, 1998).

Tüm sonlu olasılıklı deterministik olayları içerir ve ortalama Yıllık Kayıp (OYK), geniş bir zaman diliminde tüm potansiyel olaylar dikkate alınarak hesaplanır (Silva ve diğerleri, 2020). OYK, binaların sigortalanması için gerekli primi belirlemek amacıyla bir sigorta programının temeli olarak hizmet edebilir. Bu yaklaşımın en önemli avantajı, belirsizliği olasılık dağılımları aracılığıyla ele alma kapasitesidir (Kirchsteiger, 1999). Çalışmanın karmaşıklığı, kullanılan varsayımlar ve önemli verilerin gerekliliği dezavantajlardır. mevcut kararın niceliksel özellikleriyle içsel olarak bağlantılıdır.

4. SİSMİK RİSK ANALİZİ BİLEŞENLERİ

Sismik tehlike, maruz kalma ve hassasiyet, sismik risk değerlendirmesinin karmaşık bir sürecini oluşturan üç ana bileşenin kapsamlı bir şekilde incelenmesini ve entegrasyonunu gerektirir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bu unsurları verimli bir şekilde organize edebilir ve değerlendirebilir (King & Kiremidjian, 1994).

4.1. Sismik Tehlike Değerlendirmesi

Sismik tehlike analizi, yer hareketlerinin büyüklüğünü ve olasılığını değerlendirir (King & Kiremidjian, 1994).

Sismik Kaynakların Belirlenmesi: Bölgeyi potansiyel olarak etkileyen sismik kaynaklar nokta, hat veya alan kaynakları sınıflandırılır (Lutz & Kiremidjian, 1993).

Deprem Oluşum Modelleri: Depremlerin oluşumu sismik kaynaklarda temsil edilir. Poisson modelleri (zaman, mekan ve büyüklükte rastgele olaylar), zamana bağlı modeller (önceki depremlerin büyüklüğüne dayanarak sonraki depremlerin zamanlamasını tahmin etme) ve kayma bağımlı modeller mevcuttur. Belirleyici senaryo analizi, varsayımsal bir depremin

yerini, büyüklüğünü ve zamanlamasını değerlendirmek için kullanılabilir (King & Kiremidjian, 1994).

Zemin Hareketi Zayıflama İlişkileri: Zemin hareketlerinin, deprem kaynakları ile etkilenen bölge arasında azalması beklenmektedir. Bu bağlantılar, deprem merkez üssü ve büyüklüğü ile ilişkili olan Pik Yer Hızlanması (PYH=PGA) gibi belirli bir yer hareketi ölçütünü ifade eder. Yerel saha etkileri, jeolojik koşulların sismik hareketlerin özellikleri ve hasar kapsamı üzerindeki etkisini ifade eder (King & Kiremidjian, 1994).

4.2. Maruz Kalma Modelleme

Maruz kalma modeli, savunmasız varlıkların (örneğin, yapılar, altyapı ve nüfus) envanterini ve mekansal dağılımını inceler (Silva ve diğerleri, 2020). Bölgesel hasar ve kayıp değerlendirmesinin en kritik, iş gücü yoğun ve pahalı yönü, kesin ve kapsamlı bir bina envanterinin oluşturulmasıdır.

Envanter Verileri:

Konum Nitelikleri: ABD nüfus sayımı bölgesi, sokak adresi, enlem ve boylam verileri (King & Kiremidjian, 1994). Kullanım kodu veya sosyal işlev sınıflandırması, onarım maliyetleri, gelir kaybı veya can kaybı dahil olmak üzere hasarların değerlendirilmesinde kullanılır (King & Kiremidjian, 1994).

Yapısal Özellikler: Deprem mühendisliği sınıflandırması, yapı malzemeleri, çerçeve sistemi, yaş, yükseklik ve alan gibi verileri içerir.

Envanter Veri Kaynakları: Federal, eyalet ve belediye hükümetlerinden, ayrıca özel sektör veri tabanlarından oluşan kamu ve ticari sektörlerde birçok veri tabanı bulunmaktadır (King & Kiremidjian, 1994)

Sınıflandırma ve Çıkarım Şemaları: Yapılar iki türe ayrılır: Deprem mühendisliği (sismik performansa dayalı) ve sosyal işlev (amaçlanan kullanıma dayalı) olmak üzere. Ekspert yargısı veya bulanık mantık, eksik verileri çıkarmak için kullanılabilir (King & Kiremidjian, 1994).

Envanter Derleme Metodolojisi: Birçok mevcut veri kaynağının birleştirilmesi, coğrafi verilerin bir CBS çerçevesinde verimli bir şekilde yönetilmesini kolaylaştırır (Vasudevan ve diğerleri, 1992).

4.3. Kırılgenlik Analizi

Sismik kırılgenlik modeli, zemin hareketinin şiddetine dayalı olarak hasar veya kayıp olasılığını tahmin eder (Silva ve diğerleri, 2020). Hareket-hasar ilişkileri, farklı zemin hareketi seviyelerine bağlı olarak her tesis türü için deprem hasarını tahmin etmek amacıyla kullanılır (Kiremidjian, 1992). Genellikle, aşağıdaki formatlarda sunulur:

Hasar-Kayıp Eğrileri: Farklı yapı kategorileri için zemin sarsıntısı şiddetine göre ortalama hasar oranlarını değerlendirir. Kırılgenlik Eğrileri veya Kırılgenlik Fonksiyonları, belirli bir zemin hareketi yoğunluğu için belirli bir hasar eşliğini aşma olasılığını belirler.

Hasar Olasılık Matrisleri (HOM=DPM): Belirli bir zemin sarsıntısı şiddeti için, bir yapının belirli bir hasar durumunda bulunma olasılığını belirler.

Beklenen Hasar Faktörü Eğrileri: Hasar faktörü, r finansal kaybın oranı, yer sarsıntısının şiddeti ile ilişkilidir.

Kırılgenlik Parametreleri: Bina tipinin hassasiyetini değerlendirir. Kırılgenlik indeksi (V), ductility indeksi (Q) ve dağılım parametresi (t) belirlenmiştir. Her yapısal tipe özel kırılgenlik eğrileri kullanılmaktadır (Corban ve diğerleri, 2015).

5. DEPREM HASARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Depremi neden olduğu bölgesel kayıpların değerlendirilmesi, sismik risk analizinin son aşamasını oluşturur ve beklenen hasar dağılımlarına dayanır. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojisi, bölgesel kayıp tahminlerini analiz etmek ve entegre etmek için olağanüstü bir çerçeve sunar (King & Kiremidjian, 1994).

5.1. Hasar Sınıflandırması

Bazı yazarlar, deprem hasarını belirtmek için "hasar oranı," "hasar faktörü" ve "hasar endeksi" gibi terminolojiler kullanabilirler.

Hasar Faktörü: Tüm yapı türlerine ilişkin yüzde bazlı finansal kayıp olup, deprem hasarını değerlendirmek için baskın ölçüt olarak hizmet eder. Bu, yenileme maliyetinin onarım maliyetine oranını ifade eder.

5.2. Kayıp Tahminleri

Kayıplar genellikle finansal veya finansal olmayan olarak sınıflandırılır (King & Kiremidjian, 1994).

Mali Açıklar: Doğrudan Yapısal Hasar: Aşırı deformasyonlar, inşa edilmiş yapılardaki diferansiyel oturmalar ve hasar görmüş kirişler fiziksel hasarlar olarak sınıflandırılır. Tesisin yenileme masrafları ve tahmin edilen hasar faktörü dahil edilmiştir. Dolaylı Etkiler, yapısal olmayan bileşenlere ve içeriklere verilen zararı, temizlik ve onarım masraflarını ve tesisin kapanma süresini içerir. İş kaybı veya gecikmeler genellikle tesisin sosyal işlev sınıflandırmasına ve değerlendirilen hasar faktörüne bağlıdır.

Finansal Olmayan Kayıplar: Ölüm, yaralanma, işsizlik ve evsizlik gibi sonuçlardır. Uzmanlar genellikle depremlerden kaynaklanan kayıp modellerini oluştururlar (Corban ve diğerleri,

2015). Ölüm oranı, yapısal hasar ve doluluk oranlarına göre değerlendirilir.

Ek Kayıplar: İşsizlik ve evsizlik gibi finansal olmayan kayıplar önemli ölçüde olabilir; bu etkiler genellikle daha zor ölçülür ve daha fazla araştırma gerektirir.

5.3. Kayıp ve Hasar Tahmininde CBS Teknolojisinin Uygulanması

CBS, bölgesel hasar ve kayıp değerlendirmesi için mekânsal verilerin depolanmasını ve işlenmesini sağlar. Her bir tesise bir tehlike seviyesi atanır ve coğrafi konumları sismik tehlike haritalarında temsil edilir. Beklenen hasar faktörü, her deprem mühendisliği kategorisi için belirlenen hareket-hasar korelasyonuna dayanarak hesaplanır. Kayıplar, tesis rehabilitasyon masrafları, hasar katsayıları ve gündüz ve gece konaklama oranları ile belirlenir. Kaynak tahsisi ve afet planlaması için mikro bölgelendirme haritaları, nüfus sayımı bölgesi veya diğer idari seviyelerde toplu olarak sağlanabilir (King & Kiremidjian, 1994).

6. SİSTEM RİSK MODELLEMESİ PLATFORMLARI VE ARAÇLARI

Sismik risk modellemesi, jeoteknik, yapı mühendisliği, sismoloji ve ekonomi gibi birçok disiplinde uzmanlık gerektirir. Açık erişim ve açık kaynaklı sismik risk modelleme yazılımlarına dair birkaç dikkate değer örnek şunlardır:

CAPRA GIS, doğal afetlerle ilişkili olası riskleri değerlendirmek için geliştirilen bir coğrafi bilgi sistemidir. Kapsamlı olasılıksal risk değerlendirmeleri ve olay odaklı kayıp ve zarar değerlendirmeleri yapabilme yeteneğine sahiptir (Corban ve diğerleri, 2015).

CRISIS 2007 modülü dışındaki kaynaklardan tehlike verilerini edinmek zordur ve resmi bir kullanıcı kılavuzu mevcut değildir (Corban ve diğerleri, 2015).

HAZUS-MH: Bu araç, Amerika Birleşik Devletleri Federal Acil Durum Yönetimi Ajansı (FEMA) tarafından geliştirilen, depremler, kasırgalar ve sellerden kaynaklanan hasarı değerlendirmek ve azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Kaynak, kapsamlı bir teknik ve kullanıcı kılavuzu içerir ve hem deterministik hem de olasılıksal metodolojiler kullanır. (Corban ve diğerleri, 2015).

OpenQuake: Global Earthquake Model (GEM), sismik tehlike ve risk değerlendirmesi için kullanılan açık kaynaklı bir yazılımdır (Silva et al., 2014). Senaryo riski, geleneksel PSHA tabanlı risk, olasılıksal olay tabanlı risk ve senaryo hasar değerlendirmesi dahil olmak üzere bir dizi tehlike ve risk analiz metodolojisini kapsar (Corban ve diğerleri, 2015).

EELER (Deprem Kayıp Tahmin Rutinleri), NERIES FP6 projesi (2006–2010) kapsamında depremle ilgili zararların ve can kayıplarının hızlı bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Kullanılan standart sınıflandırma sistemleri arasında HAZUS, EMS'98 ve RISK-UE bina taksonomisi bulunmaktadır. Sonuçlar, shapefile formatında sunulmakta olup, GIS editörleri kullanılarak değiştirilebilir (Corban ve diğerleri, 2015).

7. SONUÇ

Sismik risk değerlendirme metodolojileri, depremlerin potansiyel sonuçlarını anlamak ve hafifletmek için çok önemlidir. Belirleyici ve olasılıksal metodolojiler, tehlike, maruz kalma ve hassasiyet gibi temel unsurlara dayalı olarak kayıp tahminlerini bilgilendirir. CBS, geniş bölgesel deprem tehlikesi ve risk

analizlerinin yürütülmesindeki üstün etkinlik sunmaktadır. CBS, veri yönetimi ve güncellenmesi için ideal bir ortam sağlamakla kalmaz, aynı zamanda farklı formatlardaki ve çeşitli kaynaklardan elde edilen heterojen veri setlerinin birleştirilmesi, işlenmesi ve görselleştirilmesi yeteneği sunar. Geliştirilen bu bütünleştirme metodolojisi, uzman görüşüne dayalı sezgisel ağırlıklı ortalama yaklaşımını kullanır. Bu yaklaşımın esnekliği, mevcut bilgiye bağlı olarak daha karmaşık tehlike modellerinin uygulanmasına olanak tanır.

Bölgesel sismik risk analizlerinde kapsamlı ve doğru bir yapı envanteri oluşturmanın önemi vurgulanmaktadır. Bu araştırmada geliştirilen metodoloji, bölgesel hasar ve kayıp değerlendirmesi için tüm tesis tiplerine yönelik eksiksiz ve ayrıntılı bir yapı envanteri derlemeyi gerektirmektedir. Bu süreç; gerekli envanter bilgilerinin belirlenmesi, mevcut veri kaynaklarının toplanması ve gözden geçirilmesi, ayrıca sınıflandırma ve çıkarım şemaları geliştirilmelidir.

Açık kaynak ve açık erişim modelleme platformlarının gelişimi, risk değerlendirme modellerinde şeffaflık ve iş birliğini hızlandırmıştır. Sonuçlar, mevcut metodolojilerdeki bazı sınırlamaları da ortaya koymaktadır. Kullanılan modeller basitleştirilmiş olsa da, sistemin esnek çerçevesi gelecekte yeni modeller ve veri tabanı bilgileriyle güncellenip genişletilmesine olanak tanır. Özellikle, işlev kaybı tahmini gibi karmaşık alanlar daha fazla araştırma ve geliştirme gerektirmektedir.

KAYNAKÇA

- Ambraseys, N. N., & Finkel, C. F. (1995). The seismicity of Turkey and adjacent areas: A Historical Review, 1500-1800, Eren Yayıncılık, pp.240, İstanbul.
- Ambraseys, N. N., & Jackson, J. A. (2000). Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysical Journal International*, 141(3), F1–F6. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2000.00137.x>
- Atik, M. E., & Safi, O. (2024). Investigation of GIS-based Analytical Hierarchy Process for Multi-Criteria Earthquake Risk Assessment: The Case Study of Kahramanmaraş Province. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 11(3), 156–165. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.1457292>
- Aydın, M. C., Birincioğlu, E. S., Büyüksaraç, A., & Işık, E. (2024). Earthquake risk assessment using GIS-based analytical hierarchy process (AHP): The case of Bitlis province (Türkiye). *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 11(1), 001–009. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.1306580>
- Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S., & Altın, N. (1991). Türkiye’de hasar yapan depremler. *Deprem Araştırma Bülteni*, 18(69), 113–126.
- Barka, A. (2020). The next expected Marmara Earthquake. *International İstanbul Earthquake Meeting, TUYAP Fuarcılık, İstanbul*.
- Corban, C., Hancilar, U., Silva, V., Ehrlich, D., & De Groeve, T. (2015). Pan-European seismic risk assessment: A proof of concept using the Earthquake Loss Estimation Routine (ELER) (Report No. EUR 27896 EN). European Commission, Joint Research Centre, Institute for the

Protection and Security of the Citizen.
<https://doi.org/10.2788/21108>

Daniell, J. E., Schaefer, A. M., & Wenzel, F. (2017). Losses associated with secondary effects in earthquakes. *Frontiers in Built Environment*, 3:1-14.
<https://doi.org/10.3389/fbuil.2017.00030>

Erden, T., & Karaman, H. (2012). Analysis of earthquake parameters to generate hazard maps by integrating AHP and GIS for Kucukcekmece region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(2), 475–483.
<https://doi.org/10.5194/nhess-12-475-2012>

Güven, İ. T., & Gerçek, D. (2017). Değirmendere'nin CBS tabanlı deprem risk ve erişebilirlik analizi. *Dirençlilik Dergisi*, 1(1), 31–45.
<https://doi.org/10.32569/resilience.364276>

Kijko, A., Retief, S.J.P., Graham, G., 2003. Seismic Hazard and Risk Assessment for Tulbagh, South Africa: Part II – Assessment of Seismic Risk. *Nat. Hazards* 30, 25–41.
<https://doi.org/10.1023/A:1025036409750>

King, S. A., & Kiremidjian, A. S. (1994). Regional seismic hazard and risk analysis through geographic information systems (Rapor No. 111; PB95-183612). The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University.

Kundak, S., & Türkoğlu, H. (2007). İstanbul'da deprem riski analizi. *İTÜ Dergisi Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 6(2), 37–46.

Kunreuther, H., Roth, R., 1998. Paying the Price: The Status and Role of Insurance Against Natural Disasters in the United States. Washington, D.C: Joseph Henry Press.

Lutz, K. A. and A. S. Kiremidjian (1993). A Generalized Semi-Markov Process for Modeling Spatially and Temporally

Dependent Earthquakes. The John A. Blume Earthquake Engineering Center Report No. 104. Department of Civil Engineering, Stanford University. Stanford, California.

McGuire, R.K., 2001. Deterministic vs. probabilistic earthquake hazards and risks. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 21(5), 377–384. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(01\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(01)00019-7)

Silva, V., Amo-Oduro, D., Calderon, A., Costa, C., Dabbeek, J., Despotaki, V., Martins, L., Pagani, M., Rao, A., Simionato, M., Viganò, D., Yepes-Estrada, C., Acevedo, A., Crowley, H., Horspool, N., Jaiswal, K., Journeay, M., & Pittore, M. (2020). Development of a global seismic risk model. *Earthquake Spectra*, 36(1), 1–23. <https://doi.org/10.1177/8755293019899953>

Sinha, N., Priyanka, N., & Joshi, P. K. (2016). Using Spatial Multi-Criteria Analysis and Ranking Tool (SMART) in earthquake risk assessment: A case study of Delhi region, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(2), 680–701. <https://doi.org/10.1080/19475705.2014.945100>

Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Boray, A. (1992). Türkiye Diri Fay Haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA).

MERMER ARTIKLARININ BOYUTLARINA VE OLUŞUM MEKANİZMALARINA GÖRE TÜRLERİNİN İNCELENMESİ¹

İbrahim İskender SOYASLAN²

Yusuf EKİNCİ³

1. GİRİŞ

Son yıllarda nüfusun hızlı artışı ve sanayileşme ile kentlerdeki yapı ihtiyacı giderek artmaktadır. Artan bu ihtiyacı karşılamak için inşaat sektörü hızlı bir gelişim sürecine girmiştir. İnşaat sektörünün gelişimine paralel olarak mermer madenciliği de gelişen bir sektör haline gelmiştir. Tüm bunların sonucu olarak son yıllarda mermer olan talep sürekli olarak artmaktadır. Bunun bir sonucu olarak, mermer sektöründe faaliyet gösteren ocak sayısı ve mermer işleme tesislerinin sayısı artmaktadır. Mermerin çıkarılması ve ihracatı, çeşitli ülkeler için önemli bir ekonomik kaynak haline gelmiştir.

Yüzyıllardır, sadece sığınma ve savunma amacıyla kaleler ve tapınakların inşasında kullanılan mermer, aynı zamanda binaların cephe kaplanmasında, zemin kaplamalarında, merdiven basamaklarında, mutfaklarda, banyolarda ve taşıyıcı sütunlarda da kullanılmaktadır. Çeşitli alanlarda, iç mekân tasarımında tablolar, sehpa, figürler ve avizeler gibi heykellerin yanı sıra

¹ Kitap bölümü “Mermer tozu katkılı PUR kompozit malzemenin ısı ve ses yalıtım özelliklerinin incelenmesi” başlıklı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

² Doç. Dr. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, isoyaslan@mehmetakif.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5282-8094.

³ Yük. Müh. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Yapı İşleri Daire Başkanlığı, yekinci@mehmetakif.edu.tr, ORCID: 0009-0005-7363-5992.

dekoratif nesneler için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Mermerler, görsel çekicilikleri, dayanıklılıkları ve çevresel koşullara uyum sağlama yetenekleri sayesinde sıklıkla alışveriş merkezlerinde, metro istasyonlarında, havaalanlarında, otobüs terminallerinde, gökdelenlerde ve ticari komplekslerde kullanılmaktadır. Mermer ocağı, uzmanlık bilgisi gerektiren ve zorlu koşullar altında gerçekleştirilen bir sektördür. Mermer üreticileri için önemli bir sorun, mermer işleme sırasında oluşan artıktır (Ekinci, 2019).

Mermer ocağı ve işleme tesislerinde mermerin çıkarılması ve işlenmesi aşamalarında önemli miktarda mermer artığı oluşmaktadır. Mermer ocak sayısının artmasının bir sonucu olarak, mermer artık miktarında da bir artış olmaktadır. Endüstriyel hammadde olan mermer, farklı sektörlerde yaygın olarak kullanıldığından, değerlendirilmesi gereken önemli miktarda katı artık üretmektedir. Mermer işleme sırasında genellikle dört farklı artık kategorisi oluşur. Bunlardan ikisi mermer ocaklarında oluşmaktadır. Ocağın ilk artık kategorisi, "moloz" veya "pasa" olarak adlandırılan, boyut ve ağırlık açısından değişiklik gösteren ve ana kayadan blok mermerin çıkarılması sırasında oluşan parçalardır. Ocağın bir diğer artık kategorisi, çıkarılan blokların üst veya yanlarından kesilerek daha düzgün bir şekil elde edilmesinden kaynaklanır. Bu kalıntılara "kapak" denir. Kalan iki artık kategorisi mermer üretim tesislerinde oluşmaktadır. Bu artıklar, mermerin kesimi ve boyutlandırılması sırasında oluşan parçalanmış mermer parçaları (paledyen) ve toz boyutundaki ince malzemeden oluşur. Üretim sırasında oluşan kalıntılar, kısmen kaldırım ve duvar kaplamalarında dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Büyük işletmelerde, bu kalıntılar kırma makineleri kullanılarak boyutları küçültülür ve yol inşaatında dolgu malzemesi olarak değerlendirilir. Kullanılmayan paletler ise, fabrikalarda birikir ve büyük ölçeklerde alan kaplayacak görsel kirlilik oluşturur.

Mermer tozları, üretim tesislerindeki kesim makinelerin kesim bıçakları tarafından oluşturulan diğer bir artık türüdür. Kesim sırasında açığa çıkan mermer tozları su ile birleşerek kanallar aracılığıyla taşınarak işletmedeki çökertme havuzlarına alınır. İşleme tesisinde su ve mermer tozu ayrıştırılarak suyun geri dönüşümü sağlanarak tekrar kullanılır. Mermer işleme sırasında büyük miktarlarda üretilen mermer toz artıklarının depolanması için geniş alan gereksinimi nedeniyle işletmeler yüksek maliyetlerle karşılaşmaktadır. Boyutu bir mikron (μ) kadar olan mermer tozları, toprağın havalanmasını engelleyerek tarım arazilerinin verimsiz hale gelmesine neden olur. Çeşitli alanlarda artıkların kullanımı hem işletmeler hem de ülke ekonomisi için önemli bir yere sahiptir (Yıldız, 2008).

Türkiye’de çevrenin jeolojik yapısındaki farklılıkların bir sonucu olarak mermer ocakları geniş alanlara dağılmıştır. Mermer işletmeleri de genellikle mermer potansiyeli olan ve ocakların yakınlarında konumlanmaktadır. Mermer madenciliğine son yıllarda büyük yatırımlar yapılmakta ve bu yatırımların oranı da giderek artmaktadır. Yatırımlardaki hızlı artış nedeniyle artık mermer üretim miktarında da artış yaşanmaktadır. Artıkların değerlendirilmesi, sadece ekonomiye katkı sağlamak açısından değil, çevre ile ilgili sorunların önlenmesi açısından da son derece faydalı olacaktır. İşletmelerde biriken artıkların değerlendirilmesi, sadece oluşan görsel kirliliğin miktarını azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda çok büyük depolama alanlarına olan ihtiyacı da ortadan kaldıracaktır (Ekinçi, 2019).

2. MERMER TANIMI

Mermerin, “bilimsel” ve “ticari” olmak üzere iki farklı tanımlaması bulunmaktadır. Bilimsel olarak mermer: kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşının ısı ve basınç altında yeniden kristallenmesi

ile oluşan metamorfik bir kayaç olarak tanımlanır. Kimyasal bileşimi açısından, çoğunlukla kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve magnezyum karbonatın yanı sıra silisyum dioksit (SiO_2) silikat minerallerinden oluşur. Mermerin rengi beyazdır ve kalsiyum karbonattan oluştuğunda saydam bir görünümü vardır. Mohs sertlik skalasında mermerin sertliği 3 olarak kabul edilir ve yoğunluğu $2,5\text{-}3,5 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir (Ekinci, 2019).

Ticari olarak mermer, blok olarak çıkarılabilen, plaka olarak kesilip parlatılan ve hem uzun ömürlü hem de görsel olarak güzel bir görünüme sahip olan her türlü doğal taşı ifade etmek için kullanılır. Mermer, oniks mermer ve diğer taşlar, Türk madencilik yasasında bulunan mermer tanımına dahildir. Görülebileceği gibi madencilik yasasında mermerin tanımı esasen ticari ortamlarda kullanılan mermerin tanımıyla aynıdır. Bir doğal taş kesilip parlatılabiliyor ve ticari olarak talep görüyor ise o zaman mermer olarak kabul edilmektedir (Şentürk ve diğ., 1996).

Bu tanım, doğal taşın türüne ve menşesine bakılmaksızın geçerlidir. Mermer, Türkiye'de çok uzun bir süre, tarih öncesi dönemlere kadar uzanan bir süredir kullanılmaktadır. M.S. 2. yüzyılda doğal taş bloklarını kesmek için kullanılan en eski lamalı testere, Efes'te yürütülen kazı faaliyetlerinde keşfedilmiştir. İzmir iline bağlı Selçuk yakınlarındaki antik ocaklarda, tel kesme teknolojisinin en eski türlerine ait buluntular keşfedilmiştir. Bulgulara göre, doğal taş işleme teknolojisi ve daha spesifik olarak mermerin kullanımı için, Anadolu'da iki bin yıldır var olduğu sonucuna varılabilir (Çetin, 2003).

Mermer üretiminde kullanılan mineraller arasında en yaygın olanı kalsittir. Minerallerin mikroskopik incelemesi sırasında, kalsit kristallerinin yanı sıra karbonat veya ikincil olmayan beş yüzde beşlik ek bileşenlerin bulunduğu keşfedildi. Birçok silikat, kuvars, mika, klorit, tremolit, wollastonit, diopsit

ve hornblende dahil olmak üzere, mermerlerin derinliklerinde sıkça bulunur. Kristal yapısı, mozaik benzeri bir doku, rombohedral zonlu yapı ve bol miktarda ikizlenme ile karakterizedir. Çalışmanın bulgularına göre, kalsit kristallerinin çeşitli çaplarının 0,2-0,8 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kristallerin boyutu genel olarak ortalama 0,3-0,5 mm arasında bir yerdedir. Mermerlerde kalsit dışı minerallerin bulunması onların saflığını kaybetmesine neden olsa da, bu durum aslında mermerlerin değerinin düşmesine değil, artmasına yol açar. Başka bir deyişle, süreçte yer alan birçok kimyasal veya mineral, mermerlere çeşitli renkler kazandırır ve genel olarak mermerlerin dayanıklılığına olumlu katkıda bulunur. Özellikle yaygın olmamasına rağmen, dolomit mermerlerde kalsit yerine baskın mineral olma potansiyeline sahiptir. Mermer ya kalsit ve dolomit katmanlarının dönüşümlü olarak oluşmasıyla ya da bu iki mineral arasındaki renk, doku, cilalama hassasiyeti ve hava koşullarına karşı direnç gibi farklılıklarla meydana gelmektedir (Kuşçu, 2001).

3. MERMER OLUŞUM YERLERİNE GÖRE MERMER ARTIK ÇEŞİTLERİ

3.1. Ocaklarda Oluşan Artıklar

Doğal taş madenciliği, yeraltında bulunan hammaddenin yeryüzüne çıkarılması ve fabrikalarda işlenerek yapı malzemesi olarak kullanılabilir hale dönüşme sürecidir. Doğal ortamından çıkarılan hammadde çıkarılma işlemleri sırasında fiziksel ve mekanik etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkilerden dolayı blok olarak çıkarılan doğal taşta deformasyonlar meydana gelmektedir. Mermer ocaklarındaki bu deformasyonlar kırık, çatlak, yarık ve fissür gibi blok çıkarımını engelleyen kusurlar olarak tanımlanan süreksizliklerdir. Bu süreksizlikler, düzensiz boyutlarda ve şekillerde mermer artıklarının oluşmasına sebep

olmaktadır. Bu oluşan artıklar “*moloz*” olarak tanımlanmaktadır. Ocakların mineralojik, petrografik ve stratigrafik yapısına uygun olmayan üretim metotlarının uygulanması sonucunda da moloz miktarında artış olmaktadır.

Açık ocak mermer madenciliği, farklı işlevlere sahip büyük makine ve ekipmanlar kullanarak mermer bloklarının kesilip bulunduğu yerden çıkarılması işlemidir. Bu madencilik işlemi, çalışılan doğal alanın morfolojisi, ekolojisi ve görünümünde değişikliklere sebep olmaktadır. Kesim operasyonlarının olumsuz etkilerini en aza indirmek için operasyonel teknikler kullanılmalıdır (TMMOB, 2014). Ocağın tektonik yapısına ve süreksizliklere bağlı olarak blokların kenarlarında kesimden sonra kalan düzensiz boyutlu artıklar “*kapak*” olarak tanımlanmaktadır. Mermer ocaklarındaki rezervin yaklaşık yarısı kadar bir pasa oluşmaktadır. Bu pasalar doğal taş ocaklarının çevresinde büyük yığınlar olarak gözlenmektedir. Bunun en önemli sebebi oluşan pasaların tekrar değerlendirilme oranı çok düşüktür. Pasalar ocaklarda görüntü, çevre ve ekosistem kirliliğine sebep olmaktadır (Lappa ve diğ., 1996).

Mermer ocaklarında artık oluşumu ve miktarı, zamanla genişleyen ocak üretim alanı ve değişen üretim tekniklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Üretim süreçleri içerisinde ocak etrafında büyük miktarda artıklar oluşarak olumsuz estetik ve çevresel değişimler meydana gelir. Mermer ocağı işlemlerinden kaynaklanan artıklar tam olarak değerlendirilemediği için taş yığını doğal örtü üzerine bırakılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Mermer ocağında oluşan artıklar

3.1.1. Moloz

Mermer molozu, farklı boyutlarda ve düzensiz şekillerde oluşan mermer ocaklarının artıklarını tanımlamak için kullanılan terimdir. Bu artıklar blok üretimi ve kesim işleme aşamalarında meydana gelen belirgin kırık, çatlak, fissür gibi süreksizlik düzlemleri tarafından oluşturulmaktadır. Küçük boyutlu ve hafif olan kalıntılar, mozaik ve karoların üretim sürecinde kullanılmaktadır (Çelik M. Y., 1996).

3.1.2. Kapak

Mermer ocaklarında kesim işlemi sırasında mermer bloklarının yanlarından, üstlerinden ve altlarından oluşan artıklar “kapak” olarak tanımlanmaktadır (Bilensoy, 2010). Kapaklar monolama ve monotel işlemleri sonrası bloktan arta kalan artıklar olarak kabul edilir. Üretilen artık, bir yüzeyi tamamen düz ve diğer yüzeyi doğal pürüzlü olan büyük mermer parçalarından oluşur. Kapaklar mermer bloklarının ocakta boyutlandırılması amacıyla yapılan kesiminden sonra oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Sayalama işleminden sonra oluşan kapak artıkları

3.2. Fabrikada Oluşan Artıklar

Mermer işleme tesislerindeki mermer blokları yüzey kaplaması olarak kullanılmak üzere “plak” olarak tanımlanan levhalar şeklinde işlenerek kesilir. Bu plakalar daha sonra kullanım amacına ve gelen taleplere bağlı olarak belirli ölçülerde kesilerek ebatlandırılmaktadır. Plakalar uygun boyutlara getirildikten sonra cilalama ve parlatma teknikleri uygulanır. Tüm bu işlemler sırasında, mikron boyutunda mermer tozu kalıntıları ve paleden olarak adlandırılan çeşitli boyutlarda mermer parçaları oluşmaktadır. Mermer kesim işlemleri su ile gerçekleştirildiğinden dolayı, oluşan mermer tozları su ile karışarak kanallar aracılığıyla çamur olarak biriktirme havuzlarına alınmaktadır. Uygulanan suyun geri kazanılması süreci sonucunda kalan tozlar belirgin hale gelir. Tesisin alanında, üretim aşamasından kalan düzensiz mermer parçaları ile havuz yönteminin sonucu olarak üretilen mermer tozunu depolamak için şu anda yığınlar kullanılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Fabrika alanında depolanan mermer parça ve toz (çamur) artığı

Mermer işleme süreci, kesme, soğutma ve toz yayılmasını önleme gibi çeşitli amaçlar için su kullanımını içerir. Kesim işlemleri sonucunda oluşan küçük parçacıkların çoğu ya nemli bir şekilde depolanmakta ya da fabrikayı çevreleyen alanlara hemen bırakılmakta, bu da çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır. Mermer üreticilerinin yoğun olduğu bölgelerdeki mermer artık alanları, bölgenin ekolojisine ve doğal güzelliğine verdikleri potansiyel zarar nedeniyle yerel halkın tepkisini çekmektedir (Şentürk ve diğ., 1996).

3.2.1. Paledyen

Katrakt ve S/T kesim makinelerinin testereleri, ocaklardan gelen blokları mermer işleme tesislerinde levhalar şeklinde kesmek amacıyla kullanılmaktadır. Kesilen levhalar, yan ve baş kesme makinelerinin mümkün olan en fazla ürünü üretmesini ve en az artık çıkacak şekilde boyutlandırılır. Paledyenler, üretim aşamasında meydana gelen kesim sürecinden arta kalan, farklı boyutlarda mermer parçalarıdır (Çelik, 1996).

Paledyenler mermer işleme tesisinde geniş alanlar kaplayarak depolanmaktadır (Şekil 4). Bunun temel sebebi şekilsiz olmalarından dolayı talep ve satış miktarlarının çok düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Ekinci, 2019).



Şekil 4. Mermerin fabrikadaki kesiminden sonra oluşan farklı boyutlardaki paledyen artıklar

3.2.2. Toz

Çok küçük boyutlardaki mermer artıkları “mermer tozu” olarak adlandırılır. Mermer parçacıkları, mermer fabrikalarında üretim ve kesimin olduğu tüm işlem aşamalarında oluşan artıklardır. Kolloidal bir yapıya sahiptir olan mermer tozlarının boyutları 200-350 μ aralığındadır. Kesim işleminde su kullanıldığından dolayı oluşan mermer tozları su ile birlikte kanallardan taşınarak çöktürme havuzuna taşınmaktadır. Su ve mermer tozunun karışımı olan çamurdaki suyun tamamen ortadan kaldırılmasının ardından mermer tozu belirlenen artık alanlarına taşınmaktadır (Çelik, 1996). Mermer fabrikasından çıkan toz, artık alanlarında toplanır ve sonunda büyük yığınlar haline gelmektedir. Fabrika alanındaki çamur artıklar düzenli depolama

alanlarına alınarak taşınarak buralarda bertaraf edilmektedir. (Şekil 5). Bu kalıntıların mikron boyutunda olması nedeniyle, çevreye kolayca dağılabilirler ve rüzgârlarla taşınarak hava kirliliğine sebep olurlar.



Şekil 5. Mermer fabrikası arıtma tesisi çevresinde biriken toz (çamur) artıklar

Katkı Belirtme

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0517-YL-18 No'lu Proje ile desteklenmiştir.

4. SONUÇ

Mermer bilimsel ve ticari olarak iki farklı şekilde tanımlanabilmektedir. Bilimsel mermer kireçtaşının ısı ve basınç altında metamorfizma geçirerek tekrar kristallenmesi ile oluşan metamorfik bir kayaç olarak tanımlanır. Ticari mermer ise çıkarılıp, kesilip, işlenip, boyutlandırılarak ticari olarak bir ekonomik değere sahip her türden doğal taş için kullanılmaktadır.

Mermerin sertliği Mohs sertlik skalasına göre 3 olarak kabul edilmekte, yoğunluğu ise 2,5-3,5 gr/cm³ arasında değişmektedir.

Son yıllarda artan endüstrileşme ve nüfus artışı inşaat sektörüne olan talebi artırmıştır. Bu artışa bağlı olarak inşaat sektörünün en önemli yapı kaplama malzemelerinden olan mermere olan ilginin artmasına sebep olmuştur. Artan bu talep yeni mermer ocak ve mermer işleme tesislerinin açılmasını beraberinde getirmiştir. Sonuç olarak artan mermer üretimi mermer artıklarının da hızla artmasına sebep olmaktadır.

Oluştukları yere bağlı olarak mermer artıkları ocaklarda ve mermer işleme tesislerinde olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır. Ocaklarda oluşan mermer artıkları kapak ve molozlar; mermer işleme tesislerinde oluşan artıklar ise paledyen ve toz olarak sınıflandırılmaktadır.

Ocaklarda blok üretimde, özellikle kesim sırasında süreksizlik düzlemleri sonucunda oluşan artıklardır. Molozlar mozaik ve karo üretiminde kullanılmaktadır. Kapak, ocaklarda blokların düzgün boyutlara getirilmesi için yapılan monolama işlemi sonucunda blok etrafından çıkan büyük parçalardır. Kapakların bir tarafı kesimden dolayı düz diğer yüzeyi doğal olmasından dolayı pürüzlüdür.

Paledyenler, fabrikada blokların istenilen ölçülerde boyutlandırılması amacıyla kesme makinelerinde işlenmesi sonucunda oluşan farklı boyutlardaki mermer parçalarıdır. Paledyenler, boyutlarının farklılıkları ve düzensizlikleri nedeniyle ticari olarak talep görmemektedir. Mermer tozları, fabrikalarda tüm sulu kesim aşamalarında oluşan ve sonrasında suyu geri dönüştürülmesi ile açığa çıkan sırasında oluşan 200-350 µ boyutundaki mermer artıklarıdır. Mermer tozlarının fabrika alanlarında depolanması sonucu, toz ve görüntü kirliliğine oluşmaktadır.

KAYNAKÇA

- Bilensoy, M. (2010). Mermer Fabrikaları Toz Artıklarının Değerlendirilmesi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, Türkiye.
- Çelik, M. Y. (1996). Mermer artıklarının (Parça-Tozların) Değerlendirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, Türkiye
- Çetin, T. (2003). Türkiye Mermer Potansiyeli Üretimi ve İhracatı, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23(3):243-256.
- Ekinci, Y. (2019). Mermer tozu katkılı PUR kompozit malzemenin ısı ve ses yalıtım özelliklerinin incelenmesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Burdur, Türkiye.
- Kuşcu, M. (2001). Endüstriyel Kayaçlar ve Mineraller Kitabı. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, Yayın No:10, 381s., Isparta, Türkiye.
- Lappa Ş., Yıldız A., Demirbilek Ö. (1997). Mermercilikte Artık Sorunu, Artıkların Değerlendirilmesi ve Çevre İlişkileri, Mermercilik Semineri Raporu, Afyonkarahisar, Türkiye.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y. İ., Sarıışık, A., (1996). Mermer Teknolojisi. (1996). Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, 242s. Isparta, Türkiye.
- TMMOB. (2014). Burdur Gölü Havzası Mermer Ocakları Raporu. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Eflal Ajans & Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti., Ankara, Türkiye.
- Yıldız, A. H. (2008). Mermer Toz Artıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, Türkiye.

MADEN SAHASINDAKİ TOPRAKLARDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİ

Nevin KONAKCI¹

1. GİRİŞ

Toprak ekosistemde karmaşık, canlı, sürekli değişen ve dinamik bir bileşendir ve insanlığın hayatta kalması ve sosyal gelişimi için çok önemlidir. Toprak kalitesi, gıda güvenliğini, ürün kalitesini ve insan sağlığını büyük ölçüde etkilemektedir. Toprak kalitesinin çeşitli kirleticiler tarafından bozulması, tüm dünyada giderek daha fazla tehdit edici bir çevre sorunu olarak kabul edilmektedir. Çeşitli toprak kirleticileri arasında ağır metaller oldukça yaygındır. Ağır metaller, yüksek atom ağırlığına ve en az 5 g/cm³ yoğunluğa sahip metaller olarak tanımlanır (Zhang vd., 2019). Bu metal grubuna 70 element dahil olmasına rağmen, ekolojik bakımından önemli olan 20 element bulunmaktadır (Yıldız, 2004; Okçu vd., 2009).

Topraktaki ağır metal kaynakları esas olarak doğal kaynaklar veya insan faaliyetleridir (Cheng vd., 2014; Zhang vd., 2015). Toprak matrisine aşırı ağır metaller girdiğinde, toprak verimliliğindeki düşüş nedeniyle toprak kalitesi düşme eğilimindedir (Fang vd., 2016). Ayrıca, ağır metallere maruz kalmak insan sağlığı için tehdit oluşturabilir. Örneğin, akut ve kronik arsenik maruziyeti kardiyovasküler ve diğer sistem hastalıklarına neden olabilir ve bu da sonunda kansere yol açabilir (Chen vd., 2005; Huang vd., 2015). Buna göre, topraktaki ağır metal kirliliği yaygın bir ilgi görmüş ve kirleticilerin izlenmesi ve

¹ Doç. Dr., Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Bölümü.
nevinozturk@firat.edu.tr ORCID: 0000-0002-0163-0966.

kontrolü için bir öncelik olarak listelenmiştir (Maghakyan vd., 2017; Zhang vd., 2021). Kirlenmiş alanlarda bulunan en yaygın ağır metaller, bolluk sırasına göre Pb, Cr, As, Zn, Cd, Cu ve Hg'dir (USEPA, 1996; Wuana ve Okieimen, 2011).

Metal cevherlerinin madenciliği ve öğütülmesi, endüstrilerle birlikte birçok ülkeye toprakta yaygın olarak bulunan metal kirleticilerin artmasına sebep olmuştur. Madencilik sırasında, atıklar (madencilik sırasında flotasyon hücrelerinin dibine çöken daha ağır ve daha büyük parçacıklar) doğrudan, tesis bünyesindeki sulak alanlar da dahil olmak üzere doğal çöküntülere boşaltılır ve bu da yüksek konsantrasyonlara neden olur (DeVolder vd., 2003). Yaygın Pb ve Zn cevheri madenciliği ve eritme, insan ve çevre sağlığı için risk oluşturan toprak kirliliğine yol açmıştır. Bu sahalar için kullanılan birçok ıslah yöntemi uzun ve pahalıdır ve toprak verimliliğini geri kazandıramayabilir (Wuana ve Okieimen, 2011).

Ağır metal kirliliği ile toprak pH'ı arasında yakın bir ilişki vardır (Yerli vd., 2020). pH, topraktaki metallerin ve besin maddelerinin çözünürlüğünü, biyoyararlanımını ve taşınmasını etkilediği için toprağın önemli bir kimyasal özelliğidir. Bu nedenle, topraktaki makro besin maddelerinin ve eser elementlerin bulunabilirliği, o toprağın pH değerine bağlıdır (Taghavi vd., 2024). Toprakta bulunan ağır metaller toprak pH'ında değişikliklere neden olabilir. Alüminyum gibi bazı ağır metaller, toprağı asitlendirme potansiyeline sahiptir ve bu da pH'ın düşmesine neden olur. pH'daki bu dalgalanma, farklı türlerin pH değişikliklerine farklı tolerans seviyelerine sahip olması nedeniyle, toprak mikroorganizmalarının canlılığı ve işleyişi üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir (Collin vd., 2022). Ağır metaller, toprak pH'ını artırarak veya azaltarak etkileyebilir. Örneğin, kadmiyum ve alüminyum gibi metaller toprak pH'ını düşürerek daha asidik hale getirebilir (Liu vd., 2013). Öte yandan, nikel ve krom gibi metaller toprak pH'ını artırarak daha alkali

hale getirebilir (Zhu vd., 2017). Toprak pH'ındaki bu değişiklikler besin bulunabilirliğini, mikrobiyal aktiviteyi ve genel toprak sağlığını etkileyebilir. Toprağın pH'ı ve organik içeriği ağır metallerin birikimi ve hareketi üzerinde en büyük etkiye sahiptir (Hu vd., 2018; Angon vd., 2024).

Ağır metal kontaminasyonu, toprak organik madde içeriğini ve ayrışma oranlarını etkileyebilir. Zn ve Cu gibi yüksek ağır metal seviyeleri, organik madde ayrışmasından sorumlu mikrobiyal aktiviteyi engelleyebilir (Li vd., 2018). Bu, toprakta organik madde birikimine neden olarak besin döngüsünü ve toprak verimliliğini etkileyebilir. Ağır metaller, topraktaki redoks reaksiyonlarını etkileyerek besinlerin bulunabilirliğini ve hareketliliğini değiştirebilir. Örneğin, mangan ve demir gibi metaller, toprağın oksidasyon ve redüksiyon durumlarını etkileyen redoks reaksiyonlarına girebilir (Alloway, 2013). Bu reaksiyonlar, azot ve kükürt bileşiklerinin dönüşümü gibi besin dönüşümlerini etkileyebilir ve toprak verimliliğini etkileyebilir (Angon vd., 2024).

Ağır metaller kovalent bağlar oluşturma eğilimindedir ve bu da toksikolojik özellikler göstermelerini sağlar (Masindi ve Muedi, 2018; Walker vd., 2012; Briffa vd., 2020). Ağır metaller parçalanmadığı, mikrobiyal veya kimyasal bozunmaya uğramadığı için toprakta çok uzun süre kalırlar. Ekosistem, ağır metallerin besin zincirine girmesiyle bozulmaktadır. Toprakta bulunan bu metaller tüm biyosfer için risk oluşturur ve doğrudan yutularak bitkiler tarafından emilir. (Jackson ve Alloway, 1991; Muchuweti vd., 2006; Masindi ve Muedi, 2018; Walker vd., 2012; Aronsson ve Perttu, 2001; Gupta vd., 2012; Briffa vd., 2020). Metaller biyolojik olarak parçalanmadıkları ve dolayısıyla çevrede çok uzun süre kalıcı oldukları için parçalanamazlar. Ayrıca toprak veya tortudaki diğer elementlerle reaksiyona girerek daha toksik hale gelebilir veya bozunabilirler (Walker vd., 2012; Briffa vd., 2020). pH, redoks koşulları ve organik madde

varlığı gibi faktörler, ağır metallerin çevredeki hareketini ve bulunabilirliğini etkiler (Xu vd., 2024).

Ağır metaller, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilen yüksek atom ağırlıklarına ve yoğunluklara sahip elementlerdir. Aşırı konsantrasyonlarda bulunduklarında, toprak yapısını, dokusunu, gözenekliliğini ve su tutma kapasitesini olumsuz etkileyebilirler (Shun-hong vd., 2009; Angon vd., 2024). Ağır metaller toprağın kimyasal özelliklerini önemli oranda değiştirebilir:

pH Değişimi: Ağır metaller, toprak pH'ını artırarak veya azaltarak etkileyebilir. Örneğin, kadmiyum ve alüminyum gibi metaller toprak pH' ını düşürerek daha asidik hale getirebilir (Liu vd., 2013). Öte yandan, nikel ve krom gibi metaller toprak pH' ını artırarak daha alkali hale getirebilir (Zhu vd., 2017). Toprak pH' ındaki bu değişiklikler, besin bulunabilirliğini, mikrobiyal aktiviteyi ve genel toprak sağlığını etkileyebilir. Toprağın pH' ı ve organik içeriği, ağır metallerin birikimi ve hareketi üzerinde en büyük etkiye sahiptir (Hu vd., 2018; Angon vd., 2024).

Besin Dengesizliği: Ağır metaller, topraktaki temel besin maddelerinin dengesini bozabilir. Ca, Pb ve Zn gibi bazı metaller, magnezyum, kalsiyum, demir ve manganez gibi temel besin maddeleriyle rekabet edebilir ve bitkiler tarafından alımını engelleyebilir (Das vd., 2019; Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007). Bu müdahale, bitkilerde besin eksikliğine yol açabilir ve büyümelerini ve verimliliklerini etkileyebilir (Dotaniya vd. 2020; Angon vd., 2024).

Tablo 1. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2001; U.S. EPA, 1993; Chiroma vd., 2014; Can, 2021)

Elementler	Dünya Sağlık Örgütü (WHO) (mg/kg)	Toprak Kirliliğinin KontrolüYönetmeliği pH>6 (mg/kg)	Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Ajansı (U.S.EPA) (mg/kg)
Cr	100	100	3000
Mn	2000	-	-
Co	50	20	-
Ni	50	75	75
Cu	100	140	4300
Zn	300	300	7500
As	20	20	75
Se	-	5	100
Cd	3	3	85
Ba	-	200	-
Tl	-	1	-
Pb	100	300	420
U	-	5	-

Toprak Organik Madde (SOM) Bozunumu: Ağır metal kontaminasyonu, toprak organik madde içeriğini ve ayrışma oranlarını etkileyebilir. Zn ve Cu gibi yüksek ağır metal seviyeleri, organik madde ayrışmasından sorumlu mikrobiyal aktiviteyi engelleyebilir (Li vd., 2018). Bu durum, toprakta organik madde birikimine yol açarak besin döngüsünü ve toprak verimliliğini etkileyebilir (Angon vd., 2024).

Redoks Reaksiyonları: Ağır metaller, topraktaki redoks reaksiyonlarını etkileyerek besin maddelerinin bulunabilirliğini ve hareketliliğini değiştirebilir. Örneğin, mangan ve demir gibi metaller redoks reaksiyonlarına girerek toprağın oksidasyon ve redüksiyon durumlarını etkileyebilir (Alloway, 2013). Bu reaksiyonlar, azot ve kükürt bileşiklerinin dönüşümü gibi besin dönüşümlerini ve toprak verimliliğini etkileyebilir (Angon vd., 2024).

Adsorpsiyon ve Desorpsiyon: Ağır metaller, toprakta adsorpsiyon ve desorpsiyon süreçlerine maruz kalabilir ve bu da

hareketliliklerini ve kullanılabilirliklerini etkileyebilir. Kil mineralleri ve organik madde içeriği gibi toprak özellikleri, ağır metal adsorpsiyonunda önemli bir rol oynar (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007; Angon vd., 2024).

Çevredeki ağır metal birikiminden kaynaklanan kirlenme derecesinin değerlendirilmesinde temel olarak şu parametreler kullanılır, bu parametreler çevredeki kirlilik seviyesinin göstergeleridir:

Zenginleşme Faktörü (EF)

Zenginleştirme faktörü (EF), toprak örneklerindeki olası ağır metal kontaminasyonunu değerlendirmek için kullanılır. EF, metal kaynağının jeojenik mi yoksa antropojenik mi olduğunu belirlemek için faydalı bir araç olabilir (Özkul, 2016). Hesaplama, üst topraktaki bir metal konsantrasyonunun normalizasyonu ile toprakta stabil olan bir referans element konsantrasyonu bulunur (Barbieri 2016). Referans elementin oluşum değişkenliği ihmal edilebilir düzeyde olmasa da oldukça düşüktür (Saur ve Juste, 1994; Yıldız ve Özkul, 2024). En sık kullanılan referans elementler Al, Ti, Mn, Sc, Si, Sr, Fe, K ve Zr' dir (Reimann ve Caritat, 2000; Yıldız ve Özkul, 2024).

Zenginleşme Faktörü (EF) aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Yıldız ve Özkul, 2024):

$$EF = (C_n / C_{ref})_{örnek} / (B_n / B_{ref})_{referans}$$

C_n : Çalışma alanındaki ilgili ağır metalin konsantrasyonu,

C_{ref} : Referans ağır metalin konsantrasyonu

B_n : Ağır metalin topraktaki ortalama değeri

B_{ref} : Referans ağır metalin topraktaki ortalama değeri

EF değerleri beş farklı kategoriye göre (Tablo 2) değerlendirilebilir (Sutherland, 2000).

Tablo 2. Zenginleşme Faktörü

$EF < 2$	Minimal zenginleşme
$2 \leq EF \leq 5$	Orta zenginleşme
$5 \leq EF \leq 20$	Belirgin zenginleşme
$20 \leq EF \leq 40$	Çok yüksek zenginleşme
$EF > 40$	Aşırı zenginleşme

Jeoakümülayon İndeksi (I_{geo})

Jeobirikim indeksi (I_{geo}), Thomilson vd., 1980 tarafından hem kara, hem de su ekosistemindeki ağır metal kirliliğinin durumunu değerlendirmek için kullanılabileceğini öne sürmüştür. Bu endeks, farklı ülkelerdeki birçok çalışmada toprak kirliliği durumunun değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

I_{geo} , aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 \times B_n} \right)$$

Eşitlikte, C_n : Toprak örneğindeki metal konsantrasyonunun değeri; B_n : n metalin topraktaki ortalama değeri (Brooks, 1972). Toprak kirliliği, Tablo 3' de (Kijowska-Strugała vd., 2022; Taghavi vd., 2024) listelenen yedi sınıfa ayrılmıştır:

Tablo 3. Geoakümülayon İndeksi

Değer	Kirlilik Derecesi
$I_{geo} \leq 0$	Kirlenmemiş toprak
$0 \leq I_{geo} < 1$	Kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş toprak
$1 \leq I_{geo} < 2$	Orta derecede kirlenmiş toprak
$2 \leq I_{geo} < 3$	Orta-ağır derecede kirlenmiş toprak
$3 \leq I_{geo} < 4$	Aşırı derecede kirlenmiş toprak
$4 \leq I_{geo} < 5$	Ağır derecede kirlenmiş toprak
$I_{geo} \geq 5$	Son derece kirlenmiş toprak

Kirlilik Faktörü (CF) ve Kirlilik Yük İndeksi (PLI)

Kirlilik faktörü (CF), topraktaki kirlilik derecesinin belirlenmesinde kullanılır. CF, aşağıdaki denklem (Brooks 1972) kullanılarak hesaplanır:

$$CF = C_{metal} / C_0$$

Formülde, C_{metal} : Toprak örneğindeki metal konsantrasyonu; C_0 : Metalin topraktaki ortalama değeri olarak kullanılmaktadır. Kirlilik Faktörü Tablo 4' de görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır (Vineethkumar vd., 2020; Taghavi vd., 2024);

Tablo 4. Kirlilik Faktörü

CF Değeri	Kirlilik Derecesi
$CF < 1$	Düşük kirlilik
$1 < CF < 3$	Orta düzeyde kirlilik
$3 < CF < 6$	Önemli kirlilik
$CF > 6$	Çok yüksek kirlilik

Kirlilik Yük İndeksi (PLI) ise, genel toprak toksisitesini değerlendirmek için kullanılmaktadır (Tomlinson vd., 1980). Kirlilik yükü indeksi (PLI), aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$PLI = \sqrt[n]{(CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n)}$$

Eşitlikte, CF: Kirlilik faktörü; n: Çalışma amacıyla seçilen metal sayısıdır. PLI sınıflaması Tablo 5' de görülmektedir (Li vd., 2020; Taghavi vd., 2024)

Tablo 5. Kirlilik Yük İndeksi

PLI Değeri	Kirlilik Derecesi
$PLI < 1$	Kirlenmemiş toprak
$1 \leq PLI < 2$	Kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş topraklar
$2 \leq PLI < 3$	Orta derecede-şiddetli derecede kirlenmiş toprak
$PLI \geq 3$	Şiddetli derecede kirlenmiş toprak

2. SONUÇ

Ağır metal kirliliği, çevrede düşük içeriklerde bile gıda zincirleri aracılığıyla kolayca biyolojik olarak birikebildiğinden (Kennish, 1992; Pejman vd., 2015) ve daha sonra insan sağlığı, diğer canlı organizmalar ve doğal ekosistemler için ciddi bir tehdit oluşturduğundan (Zhang vd., 2009; Deforest vd., 2007; Maanan vd., 2015) tüm dünyada giderek artan endişelere yol açmaktadır (Zhang vd., 2016). Çevresel kirleticiler yelpazesinde, ağır metal kirliliği, yüksek toksisitesi ve parçalanmaması nedeniyle toprak kirliliği alanındaki en zorlu çevresel sorunlardan biri olarak ortaya çıkmıştır (Wang vd., 2025). Maden sahalarının yakınındaki topraklar özellikle etkilenir ve bu kirlilik genellikle yüzey ve yeraltı suyu kaynakları, hava ve tarımsal ürünler de dahil olmak üzere çevrenin diğer bileşenlerine de yayılır. İnorganik kirleticiler arasında ağır metaller, genellikle düşük konsantrasyonlarda da olsa, toprakta doğal olarak bulunan elementlerdir (Adekiya vd., 2024).

Topraktaki ağır metallerin varlığının, öncelikle biyolojik olarak parçalanmayan yapıları nedeniyle hem insan sağlığı hem de çevre için önemli tehditler oluşturduğu giderek daha belirgin hale gelmiştir. Sonuç olarak, bu toksik elementlerin neden olduğu toprak kirliliğinin değerlendirilmesi, topraktaki temel konsantrasyonlarla bir karşılaştırma yapılmasını gerektirir. Manganez (Mn), Nikel (Ni) ve Çinko (Zn), organizmalardaki çeşitli yaşam süreçleri için hayati önem taşıyan temel mikro besin maddeleridir ve fizyolojik fonksiyonların düzenlenmesinde önemli roller oynarlar. Buna karşılık, Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr) ve Kurşun (Pb) gibi diğer metallerin bilinen fizyolojik fonksiyonları yoktur ve düşük konsantrasyonlarda bile toksisite gösterebilirler (Ma vd., 2020).

Ekosistem ve genel nüfus, özellikle ekonomi ve toplumun ne kadar hızlı geliştiği göz önüne alındığında, kirli topraktaki

çeşitli ağır metaller nedeniyle risk altındadır. Topraktaki ağır metal kirliliği çalışmaları, araştırma alanındaki toprakların iyileştirilmesi için temel veriler sağlayabilir. Bir madencilik alanı ve çevresindeki farklı arazi kullanım türlerindeki topraklarda ağır metallerin kirlilik dereceleri hesaplanıp, maden sahasındaki topraklarda ağır metal kirliliği belirlenmektedir. Sonuçlar değerlendirilerek bölgede çeşitli ıslah teknikleri uygulanabilmektedir. Toprak, su ve diğer çevresel ortamlardaki ağır metal kirliliğinin giderilmesi, hem insan sağlığını hem de ekosistemleri korumak için hayati önem taşır. Ağır metal kirliliğinin giderilmesi için her biri kendine özgü avantajları ve sınırlamaları olan çeşitli stratejiler kullanılabilir (Angon vd., 2024).

KAYNAKÇA

- Adekiya, O. A., Oloruntoba, A., Ewulo, B. S., Ogunbode, T., Sangoyomi, T. (2024). Heavy metal pollution in soils near Ilesha gold mining area, Nigeria. *The Open Agriculture Journal*, 18, e18743315290216.
- Alloway, B.J. (2013). Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability, *Springer Science & Business Media*.
- Angon, P.B., Islam, M.S., Shreejana, K.C., Das, A., Anjum, N., Poudel, A., Suchi, S.A. (2024). Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: soil, plants and human food chain. *Heliyon*, 10, e28357.
- Aronsson, P., ve Perttu, K. (2001). Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production, *For. Chron.*, 77, 293–299.
- Barbieri, M. (2016). The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination, *J. Geol. Geophys.*, 5-1.
- Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Ajansı (U.S. EPA.) (1993). Clean Water, Act, 503, 58 (32). (U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C.).
- Briffa, J., Sinagra, E., Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6, e04691.
- Brooks, R.R. (1972). Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration: New York, *Harper and Row*, 290 s.
- Can, E. (2021). Nevşehir organize sanayi bölgesi topraklarında ağır metal kirliliğinin belirlenmesi ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile mekânsal analizi, Nevşehir Hacı

Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, s. 1-3, Nevşehir.

- Chen, T.B., Zheng, Y.M., Lei, M., Huang, Z.C., Wu, H.T., Chen, H., Fan, K.K., Yu, K., Wu, X., Tian, Q.Z. (2005). Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, 60, 542–551.
- Cheng, H., Li, M., Zhao, C., Li, K., Peng, M., Qin, A., Cheng, X. (2014). Over view of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China. *Journal of Geochemical Exploration*, 139.
- Chiroma, T. M., Ebewe, R. O., Hymore, F.K., (2014). Comparative Assesment of Heavy Metal Levels in Soil, Vegetables and Urban Grey Waste Water used for Irrigation in Yola and Kano. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 3(2), 1-9.
- Collin, S., Baskar, A., Geevarghese, D.M., Ali, M.N.V.S., Bahubali, P., Choudhary, R., Lvov, V., Tovar, G.I., Senatov, F., Koppala, S. Swamiappan, S. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects in plants: a review. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 3, 100064
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2001.
- Das, P., Samantaray, S., Rout, G.R. (2019). Heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhizal fungi, in: M.A. Hossain, M.Z. Hasanuzzaman, S. Fujita (Eds.), *Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling*, Academic Press, 377–397.
- Deforest, D.K., Brix, K.V., Adams, W.J. (2007). Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: the inverse

relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factors and exposure concentration. *Aquat. Toxicol.*, 84, 236–246.

DeVolder, P. S., Brown, S. L., Hesterberg, D., Pandya, K. (2003). Metal bioavailability and speciation in a wetland tailings repository amended with biosolids compost, wood ash, and sulfate. *Journal of Environmental Quality*, 32, (3), 851–864.

Dotaniya, M.L., Dotaniya, C.K., Solanki, P., Meena, V.D., Douthaniya, R.K. (2020). Lead contamination and its dynamics in soil–plant system, in: D.K. Gupta, S. Chatterjee, C. Walther (Eds.), *Lead in Plants and the Environment*, Springer, Cham., Switzerland, 83–98.

Fang, W., Wei, Y., Liu, J. (2016). Comparative characterization of sewage sludge compost and soil: heavy metal leaching characteristics. *J. Hazard Mater.*, 310, 1–10.

Gupta, N., Khan, D.K., Santra, S.C. (2012). Heavy metal accumulation in vegetables grown in a long-term wastewater-irrigated agricultural land of tropical India, *Environ. Monit. Assess.*, 184, 6673–6682.

Hu, W.Y., Wang, H.F., Dong, L.R., Huang, B., Ole, K.B., Hans, C.B.H., He, Y, Peter, E.H. (2018). Source identification of heavy metals in periurban agricultural soils of southeast China: an integrated approach. *Environ. Pollut.*, 237, 650–661.

Huang, Y., Li, T., Wu, C., He, Z., Japenga, J., Deng, M., Yang, X. (2015). An integrated approach to assess heavy metal source apportionment in peri-urban agricultural soils. *J. Hazard. Mater.*, 299, 540–549.

Jackson, A.P., ve Alloway, B.J. (1991). The transfer of cadmium from sewage-sludge amended soils into the edible

- components of food crops, *Water. Air. Soil Pollut.*, 57–58, 873–881.
- Kabata-Pendias, A., ve Mukherjee, A.B. (2007). Trace Elements from Soil to Human, Springer.
- Kennish, M.J. (1992). Ecology of Estuaries: Anthropogenic effects. Boca Raton, Florida: CRC Press, 254 s.
- Kijowska-Strugała, M., Baran, A., Szara-Bąk, M., Wiejaczka, Ł., Prokop, P. (2022). Soil quality under different agricultural land uses as evaluated by chemical, geochemical and ecological indicators in mountains with high rainfall (Darjeeling Himalayas, India). *J. Soils Sedim.*, 22, 3041–3058.
- Li, R., Yuan, Y., Li, C., Sun, W., Yang, M., Wang, X., (2020). Environmental health and ecological risk assessment of soil heavy metal pollution in the coastal cities of Estuarine Bay—a case study of Hangzhou Bay, China. *Toxics*, 8, (3), 75.
- Li, Y., Wang, X., Li, R., Liu, H., Zhang, W. (2018). Heavy metal pollution in soils on a global scale: sources, risks and remediation techniques. *Environmental Skeptics and Critics*, 7, (2), 32–43.
- Liu, H., Probst, A., Liao, B., Wang, J. (2013). Metal contamination of soils and crops affected by the chelungpu fault in taiwan. *Sci. Total Environ.*, 463–464, 530–542.
- Ma, Y.J., Wang, Y.T., Chen, Q., Li, Y.H., Guo, D.C., Nie, X.H., Peng, X.W. (2020). Assessment of heavy metal pollution and the effect on bacterial community in acidic and neutral soils. *Ecol. Indic.*, 117, 106626.
- Maanan, M., Saddik, M., Maanan, M., Chaibi, M., Assobhei, O., Zourarah, B. (2015). Environmental and ecological risk

- assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. *Ecol. Indic.*, 48, 616–626.
- Masindi, V., ve Muedi, K.L. (2018). Environmental contamination by heavy metals, in: Heavy Metals, InTech.
- Muchuweti, M., Birkett, J.W., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M.D., Lester, J.N. (2006). Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 112, 41–48.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. M., Pehlivan, M. (2009). Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Alınları Ziraat Bilimler Dergisi*, 17(2), 14-26.
- Özkul, C. (2016). Heavy metal contamination in soils around the Tunçbilek thermal power plant (Kütahya, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 284.
- Pejman, A., Nabi Bidhendi, G., Ardestani, M., Saeedi, M., Baghvand, A., (2015). A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: a case study. *Ecol. Indic.*, 58, 365–373.
- Reimann, C., ve Caritat, P. de (2000). Intrinsic flaws of element enrichment factors (EFs) in environmental geochemistry. *Environmental Science & Technology*, 34, 5084–5091.
- Saur, E., ve Juste, C. (1994). Enrichment of trace elements from long- range aerosol transport in sandy podzolic soils of southwest France. *Water air and soil pollution*, 73, 235-246.
- Shun-hong, H., Bing, P., Zhi-hui, Y., Li-yuan, C., Li-cheng, Z. (2009). Chromium accumulation, microorganism population and enzyme activities in soils around chromium-containing slag heaps of steel alloy factories, *Trans. Nonferrous Metals Soc. China*, 19, 241–248.

- Sutherland, R. A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ. Geol.*, 39, 611–27.
- Taghavi, M., Shadboorestan, A., Kalankesh, L.R., Mohammadi-Bardbori, A., Ghaffari, H.R., Safa, O., Farshidfar, G., Omid, M. (2024). Health risk assessment of heavy metal toxicity in the aquatic environment of the Persian Gulf, *Mar. Pollut. Bull.*, 202, 116360.
- Thomilson, D., Wilson, J., Harris, C. Jeffrey, D. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander meeresuntersuchungen*. 33, 566–575.
- USEPA, 1996. Report: recent Developments for In Situ Treatment of Metals contaminated Soils, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response.
- Vineethkumar, V., Sayooj, V., Shimod, K., Prakash, V. (2020). Estimation of pollution indices and hazard evaluation from trace elements concentration in coastal sediments of Kerala, Southwest Coast of India. *Bull. Natl. Res. Cent.*, 44, 1–16.
- Walker, C.H., Sibly, R.M., ve Hopkin, S.P. D.B.P. (2012).in: Principles of Ecotoxicology; Group, T. And F., Ed.; 4th Edition, CRC Press.
- Wang, J., Wang, B., Zhao, Q., Cao, J., Xiao, X., Zhao, D., Chen, Z., Wu, D. (2025). Sources analysis and risk assessment of heavy metals in soil in a polymetallic mining area in southeastern Hubei based on Monte Carlo simulation. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 290, 117607.
- Wuana, R.A., ve Okieimen, F.E. (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry,

- Risks and Best Available Strategies for Remediation. *Intern. Sch. Res. Net. Ecol.*, 402647.
- Xu, W., Jin, Y., Zeng, G. (2024). Introduction of heavy metals contamination in the water and soil: a review on source, toxicity and remediation methods, *Green. Chem. Lett. Rev.*, 17 (1).
- Yerli, C., Çakmakcı, T., Şahin, U. Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 103-114.
- Yıldız, N. (2004). Toprak ve Bitki Ekosistemindeki Ağır Metaller. ZT-531. *Yüksek Lisans Ders Notları*. Erzurum.
- Yildiz, U. ve Ozkul, C. (2024). Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals contamination of urban soils within Uşak, western Türkiye. *International journal of environmental analytical chemistry*, 104, (18), 6782–6804.
- Zhang, H., Zhang, F., Song, J., Tan, M.L., Johnson, V.C., (2021). Pollutant source, ecological and human health risks assessment of heavy metals in soils from coal mining areas in Xinjiang, China. *Environ. Res.*, 202, 111702.
- Zhang, X., Yan, L. Liu, J., Zhang, Z. Tan, C. (2019). Removal of different kinds of heavy metals by novel PPG-nZVI beads and their application in simulated stormwater infiltration facility, *Appl. Sci.*, 9, (20), 4213.
- Zhang, Z., Juying, L., Mamat, Z., QingFu, Y. (2016). Sources identification and pollution evaluation of heavy metals in the surface sediments of Bortala River, Northwest China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 126, 94–101.
- Zhang, X., Zhong, T., Liu, L., Ouyang, X. (2015). Impact of soil heavy metal pollution on food safety in China. *PLoS One*, 10 (8), e0135182.

- Zhang, W.G., Feng, H., Chang, J.N., Qu, J.G., Xie, H.X., Yu, L.Z. (2009). Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: an assessment from different indexes. *Environ. Pollut.*, 157 (5), 1533–1543.
- Zhu, F., Li, F., Zhou, H., Sun, R. (2017). Interactive effect of Cd and Pb on soil enzyme activities and microbial community structure in farmland soil. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 24, (11), 10884–10894.

ASSESSMENT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SATELLITE-BASED TECTONIC LINEAMENT AND KIZILKAYA (AKSARAY) ROCKFALL

Ramazan DEMİRCİOĞLU¹

1. INTRODUCTION

The study area is situated within the Cappadocia Volcanic Province in Central Anatolia, Turkey. It encompasses Kızilkaya village and its surrounding region in Aksaray province (Figure 1).

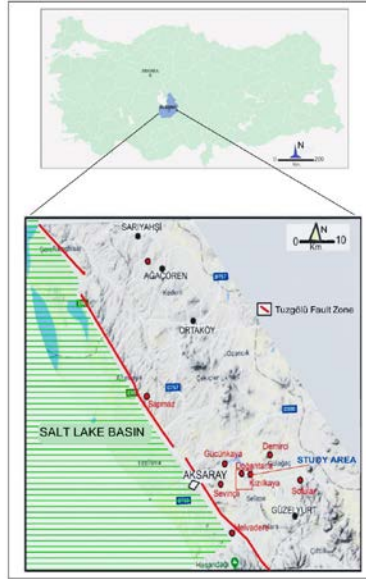


Figure 1. Location map of the study area (Modified from, Demircioğlu, 2024).

¹ Doç. Dr. Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bil. Fak., Acil Yardım ve Afet Yön. Böl., ra.demircioglu@gmail.com ORCID: 0000-0003-0616-0331.

In and around the study area, there are geological studies on different subjects, especially on petrographic, hydrogeological, sedimentological, and tectonic issues. Some of the studies on petrography and volcanism in and around the study area include those conducted by Pasquare (1968); Innocenti et al. (1975); Batum (1978); Ercan et al. (1990); Koç (1990); Türeli (1991); Güleç (1994); Işık and Baş (1995); Güleç and Kadioğlu (1998); Işık (2001); Güllü and Yıldız (2012); and Eryiğit et al. (2022).

The study area also hosts studies on structural geology, tectonics, and volcanism. Some of these studies were conducted by Yaşar et al. (1982); Şaroğlu et al. (1987); Seymen (1984); Dirik and Göncüoğlu (1996); Kadioğlu and Güleç (1996); Koçyiğit (2000); Türkecan et al. (2003); Dirik and Erol (2003); Eren (2003); Koçyiğit and Özacar (2003); Özmen (2008); and Kürçer (2012). Some of the studies on sedimentology were conducted by Beekman (1966); Arikan (1975); Görür and Derman (1978); Görür (1981); Uygun et al. (1981); Uygun and Şen (1981); Görür et al. (1984); Oktay and Dellaloğlu (1987); Dellaloğlu (1997); Çemen et al. (1999); Leng et al. (1999); Uçar (2008); and Gürbüz and Kazancı (2014). In and around the study area, rockfalls are generally encountered in ignimbrites. Some studies have been carried out on this subject. Some of them are Sarı and Çömlekçiler (2007) and Yıldız et al. (2014).

2. STUDY CONTENT

2.1. Geological Setting

2.1.1. Stratigraphy

The studied area includes Kızılkaya village and its surroundings in Aksaray province. Despite not being visible in the study area, the Kaman Group's Tamadag and Bozçaldağ

metamorphites form the basement (Seymen, 1981). In the The main rocks are Tamadag metamorphites, gneiss, and quartzite. The main rock of Bozçaldağ metamorphites is marble. Amphibolites are observed as errants. Central Anatolian ophiolites, which are also observed in the study area, are superimposed on these units (Figure 2). The primary types of rock in the study area include Tamadag metamorphites, gneiss, and quartzite. The dominant rock within the Bozçaldağ metamorphites is marble. Additionally, amphibolites are found as occasional occurrences. Central Anatolian ophiolites, which are also present in the region, overlay these rock units (see Figure 2).

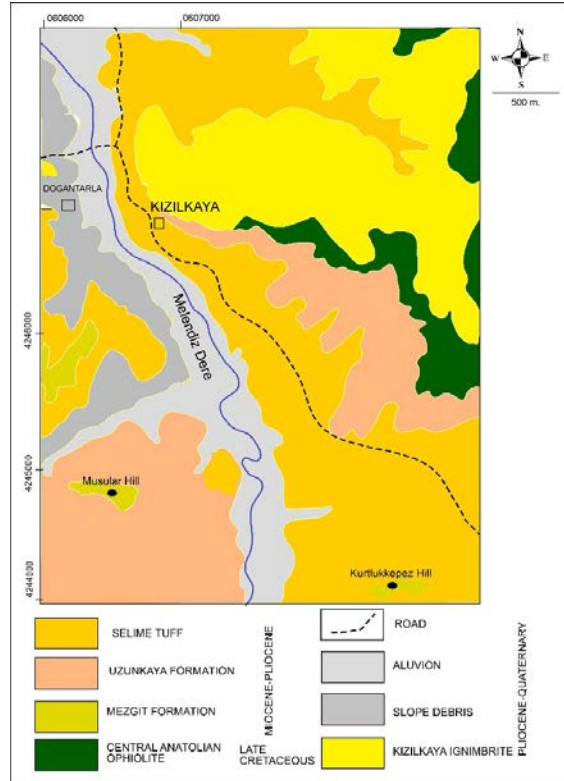


Figure 2. Geological map of the study area, Kızılkaya and its vicinity.

These basement units are cut by Late Cretaceous granitoids (Seymen, 1981). In the study area, these basement units are unconformably covered by young-aged volcanic and volcanosedimentary units (Figure 2). The Oligo-Miocene-aged Mezgit Formation, which is widely distributed in the study area and the surrounding areas and consists of clastic pebbles, sandstones, mudstones, limestones, and evaporites, unconformably covers the underlying units (Figure 2). These units are overlain by the Lower Pliocene-Pleistocene-aged volcanosedimentary Uzunkaya Formation, Selime Tuff, and Kızılkaya Ignimbrite, which are composed of sedimentary and volcanic rocks in general. Recent slope rubble and alluvium unconformably cover all these units (Göçmez, 1997).

2.1.2. Structural Geology

According to Okay and Tüysüz (1999), the study area is located approximately in the central part of the Kırşehir Massif. In the region, the metamorphites belonging to the Kırşehir Massif have undergone polyphase deformation and, consequently, polyphase folding and fracturing (Seymen, 1981). The extensional tectonic regime that began in Central Anatolia formed normal faulting and tension fractures during the Late Miocene-Pliocene period. The extensional tectonic regime also imposed normal faulting structures on the rocks in the study area. Tension fractures were also formed in this period. This situation also affected the Miocene-Pliocene-aged volcanic rocks. These fractures and faults caused frequent rockfall events in the study area.

In this study, the relationship between rockfalls and tectonic lineaments in and around Kızılkaya village was investigated.

3. MATERIAL AND METHOD

The geological studies in different geological areas of the study area and its surroundings were investigated. Then, the areas where rockfalls were observed were analysed by field studies. In satellite studies, Landsat-8 satellite images were obtained from the web. These images were processed with the Envi, Geomatica, and Arc-Gis programs, and tectonic lineaments were obtained. The flowchart of this process is given (Figure 3). Field and computerised data were evaluated together.

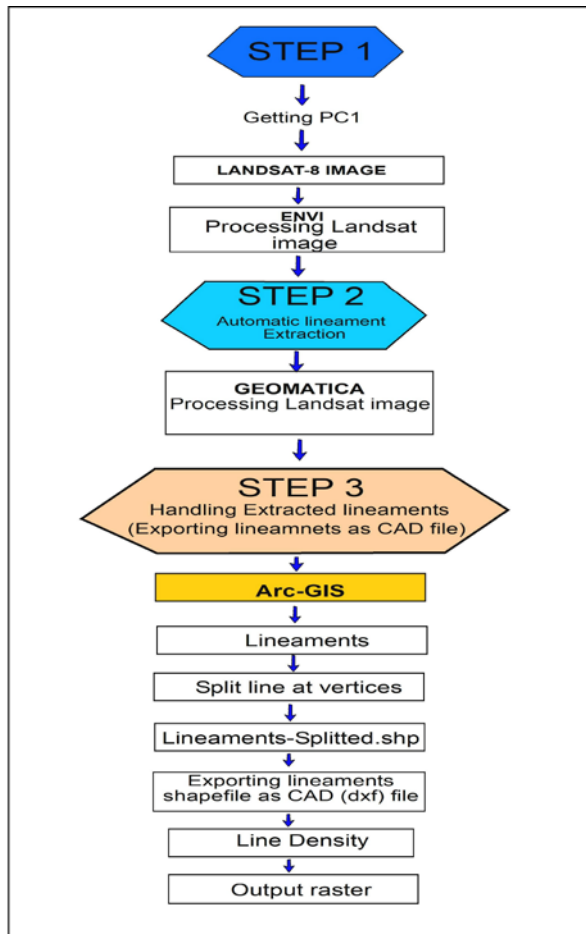


Figure 3. Satellite-based lineament generation flowchart.

4. RESULTS

4.1. Rockfall in Aksaray Province

There are morphologically suitable areas for rockfall in and around Aksaray Province (Figure 4). Morphologically, the highest areas are in Hasandagı Mountain and its surroundings (Figure 4).

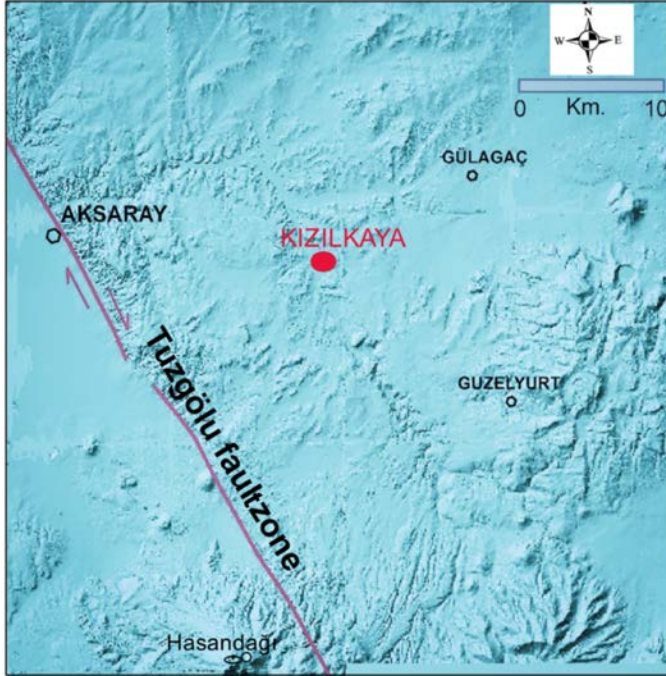


Figure 4. Morpho-tectonic view of the study area and its surroundings.

Geologically, generally, the areas with young-aged volcanic rocks are the areas where rockfall events frequently occur (Figure 5). In particular, ignimbrite-type rocks have favourable characteristics for rockfalls due to their highly fractured structures. The areas where tectonic lineations are dense are determined by the areas where rockfalls are observed intensively.



Figure 5. Rockfalls in and around the study area.

In Aksaray province and its surroundings, rockfall events occurred, leading to the declaration of some areas as disaster-prone. The locations and dates of some of these sites were determined (Table 1).

Table 1. Some areas declared as rockfall and disaster-prone areas (Aksaray Afad, 2017).

Province	District	Town/Village	Disaster Type	Report Date
AKSARAY	CENTRAL	DEMİRCİ	ROCKFALL	29.04.1970
AKSARAY	CENTRAL	KIZILKAYA	ROCKFALL	25.04.1963
AKSARAY	CENTRAL	AGACLI	ROCKFALL	12.02.2009
AKSARAY	CENTRAL	BELİSİRMA	ROCKFALL	19.04.1972
AKSARAY	CENTRAL	GAZİEMİR	ROCKFALL	08.05.1975
AKSARAY	CENTRAL	İLİSU	ROCKFALL	04.05.1968
AKSARAY	CENTRAL	UZUNKAYA	ROCKFALL	20.04.1970
AKSARAY	MERKEZ	DOĞANTARLA	ROCKFALL	13.03.2006

According to the study conducted by the General Directorate of Disaster Affairs, the number of rockfall events in Aksaray province and its surroundings was determined (Figure 6). Accordingly, it was determined that there were between 50 and 150 rockfall incidents in Aksaray province and its surroundings (General Directorate of Disaster Affairs., 2008).

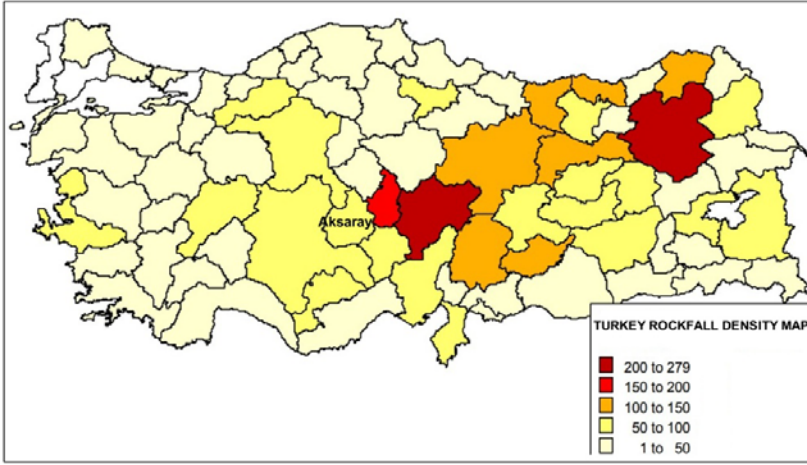


Figure 6. Rockfall map of Turkey (General Directorate of Disaster Affairs., 2008).

4.2. Satellite-Based Tectonic Lineament Maps of Kızılkaya and Its Surroundings

When the satellite images and field studies are evaluated together, the relationship between rockfall events in Kızılkaya village and its surroundings has been evaluated. Tectonic lineaments obtained from Landsat-8 satellite images were analysed by excluding man-made structures (roads, bridges, etc.) (Figure 7).

While obtaining these lineaments, a satellite image of Kızılkaya and its surroundings was used (Figure 7a). Lineations belonging to this region were determined (Figure 7b). The intense fault and fractured structures observed in the volcanic rocks have formed tectonic lineaments.

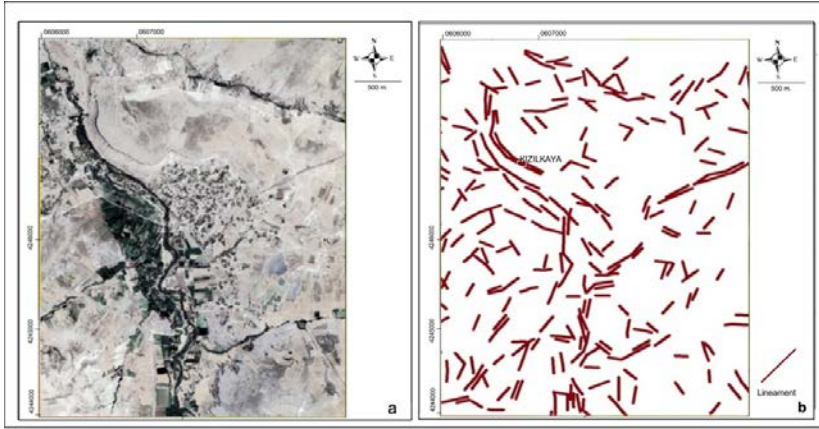


Figure 7. a- Landsat-8 satellite image of Kızılkaya village and its surroundings. b- Tectonic linearity of Kızılkaya village and its surroundings.

4.3. Relationship Between Tectonic Linearity and Rockfall in and Around Kızılkaya Village.

The tectonic lineaments in the study area are mainly formed by fractures and faults (Figure 8).

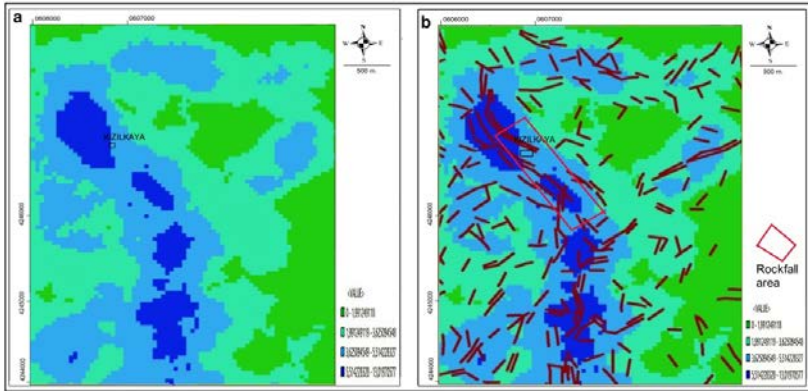


Figure 8. a- Lineament density map. b- Lineament and density map.

Freeze-thaw events are frequently observed in these rocks, particularly when the fractures in ignimbrites fill with water during winter, subsequently freezing and thawing in the

summer. This ongoing process, which has persisted for millions of years, has contributed to an increase in the number of rockfall events.

When analysing satellite-based images in a GIS environment, it becomes apparent that areas exhibiting intense lineament correspond with regions prone to rockfalls (Figure 8a, b). Additionally, areas characterised by dense tectonic striations were identified, along with those where rockfalls are frequently observed (Figure 8b). The lithology and fractured structures contribute to the conditions that favour rockfalls.

5. CONCLUSIONS

The rockfall zones in and around Kızılkaya village, located in Aksaray province, have been analysed in conjunction with satellite-based tectonic lineaments and field studies. These investigations reveal significant similarities. There are many parallels between the lineation-density maps and the previously identified disaster-prone areas in Kızılkaya village. The formation of these rocks, particularly volcanic ones, leads to the development of cooling fractures. In contrast, tension fractures generated by the extensional tectonic regime during the neotectonic period have contributed to the frequent occurrence of rockfall events, especially in units containing ignimbrite-type volcanic rocks.

This study suggests that the use of remote sensing and GIS-based methodologies will be beneficial for creating disaster-risk maps. These methodologies apply not only to rockfall assessments but also to the development of risk maps for landslide-prone areas. Recently, many studies on this topic have been conducted and continue to be ongoing.

REFERENCES

- Aksaray Afet ve Acil Durum Müdürlüğü (Afad). (2017).
- Arıkan, Y., (1975). Tuz Gölü havzasının jeolojisi ve petrol imkanları, M.T.A. Dergisi, 85, 17-37.
- Batum, İ. 1978a. Nevşehir Güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl yöresi Volkanitlerinin Jeolojisi ve Petrografisi: Yerbilimleri Dergisi, (4), 50-69.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, (2008). Türkiye Heyelan Yoğunluk Haritası.
- Beekman, P. H., (1966). The Pliocene and Quaternary volcanism in the Hasan Dağ-Melendiz Dağ region, MTA Bulletin, Ankara, 66, 90-105.
- Çemen, İ., Göncüoğlu, M.C., Dirik, K., (1999). Structural evolution of the Tuzgölü basin in Central Anatolia. Turkey, Journal of Geology, 107 (6). 693-706.
- Dellaloğlu, A., (1997). Ankara ili-Tuz Gölü arasındaki Neotetis'in kuzey kolunun evrimi (Haymana-Tuzgölü Basenlerinin stratigrafileri ve jeoteknik evrimleri, Ph.D. Thesis, Çukurova University, Adana.
- Demircioğlu, R., (2024). Investigation of Geological Structures between Acıpınar-Hanobası-Altınkaya (Aksaray-Türkiye) About Satellite-Based Tectonic Lineaments. Black Sea Journal of Engineering and Science, 8(2), 278-384. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1472055>
- Dirik, K., Erol, O., (2003). Tuzgölü ve çevresinin tektonomorfolojik evrimi, Orta Anadolu-Türkiye, TPJD Özel sayı, 5, 27-46.

- Dirik, K., Göncüoğlu, M.C., (1996). Neotectonic characteristics of Central Anatolia, *International Geology Review* 38, 807-817.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.I., Tokel, S., Notsu, K., Ul, T., Can, Y., Selvi, B., Yıldırım, T., Fisekei, A., Ölmez, M., Akbaşlı, A., (1990). The origin and evolution of the Cenozoic volcanism of Hasandağı Karacadağ area (Central Anatolia). *Jeomorfoloji Dergisi*, 18, 39- 54.
- Eren, Y., (2003). Konya bölgesinin depremselliği. *TPJD Özel Sayı*, 5, 85-98.
- Eryiğit, B., Kurt, H., Asan, K., and Gençoğlu Korkmaz, G., (2022). Tepekent (Konya-Orta Anadolu) Yöresindeki Volkanik Kayaların Petrografisi, Jeokimyası Ve Petrolojisi”, *Konjes*, vol. 10, no. 4, pp. 1002–1018. <https://doi.org/10.36306/konjes.1165649>.
- General Directorate of Disaster Affairs, (2008). Map of Distribution of Disaster Events and Damages by Provinces and Districts, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, . <https://www.afad.gov.tr/upload/>
- Göçmez, G., (1997). Aksaray Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrojeolojik İncelemesi, Aksaray Valiliği, Yeni Aksaray Ofset Tesisleri, Aksaray.
- Görür, N., Derman, A.S., (1978).Tuzgölü-Haymana havzasının stratigrafik ve tektonik analizi, TPAO Rapor no: 1514, 60 s.
- Görür, N., 1981. Tuzgölü-Haymana havzasının stratigrafik analizi. İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumu,TJK 35. Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiriler Kitabı, 60-65.
- Görür, N., Oktay, F.Y., Seymen, and Şengör, A.M.C., (1984). Paleotectonic evolution of the Tuzgölü basin complex, Central Turkey. Sedimentary record of a Neo-Tethyan

- closure, The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geology Society Special Publication, 17, In J.E. Dixon, and A.H.F. Robertson (eds.). Oxford, 467-482.
- Güleç, N., (1994). Rb-Sr isotope data from the Ağaören granitoid (East of Tuz Gölü): Geochronological and genetical implications, Tr. J. of Earth Sciences, 3, 39-43.
- Güleç, N., Kadioğlu, Y.K., (1998). Relative Involment of Mantle and Crustal Components in the Ağaören Granitoid (Central Anatolia-Turkey): Estimates from Trace Element and Sr-Isotope Data, Chemie der Erde, 58, 23-37.
- Güllü B., ve Yıldız M., (2012). Mamasun (Aksaray) Gabroyidlerinin Petrojenetik Karakteristiği, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15-1, s.28-42.
- Gürbüz, A., Kazancı, N.. (2014). Tuz Gölü havzası Kuvaterner tortullarının fasiyes özellikleri ve denetim mekanizmaları. Maden Tetkik ve Arama Dergisi. 149. <https://doi.org/10.19076/mta.35693>.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati, F., Villari, L., (1975). Neogene calc-alkaline volcanism of Central Anatolia: geochronological data on Kayseri-Niğde area, Geological Magazine 112, 349-360.
- Işık, F., (2001). Petrography-Petrochemistry Of The Kızıldağ Volcanics(Derinkuyu/Nevşehir Yeşilhisar/Kayseri):Petrogenetic Approach. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 7(1), 103-109.
- Işık, F. ve Baş, H. (1995). Karadağ (Karaman) Volkanitlerinin Özellikleri: S. Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., 10 (2), 40-53.
- Kadioğlu, Y. K., Güleç, N., (1996a). Ağaören Granitoidinde Yeralan Gabro Kütlesinin Yapısal Konumu: Jeolojik ve

- Jeofizik (Özdirenç) Verilerin Yorumu, Turkish Journal of Earth Sciences 5, 153-9.
- Koç, K., (1990). Geology and Geochemistry of the Karadağ Volcanic Succession Pliocene-Quaternary, Central Anatolia, Turkey: Faculty of Sciences University of Ankara, 8 (1-2), 39-53p.
- Koçyiğit, A., (2000). General neotectonic characteristics and seismicity of Central Anatolia, Haymana-Tuzgölü-Ulukışla basenlerinin uygulamalı çalışması (workshop). Abstracts, 1-26, Aksaray.
- Koçyiğit, A., Özacar, A., (2003). Extensional neotectonic regime through the NE edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data, Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 67-90.<https://doi.org/journals.tubitak.gov.tr/earth>
- Kürçer, A., (2012). Tuz Gölü Fay Zonu'nun Neotektonik Özellikleri ve Paleosismolojisi, Orta Anadolu, Türkiye, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 318 s., Ankara.
- Leng, M. J., Roberts, N., Reed, J. M., Sloane, H. J., (1999). Late Quaternary palaeohydrology of the Konyabasin, Turkey based on isotope studies of modern hydrology and lacustrine carbonates. Journal of Paleolimnology, 22, 187-204. <https://doi.org/10.1023/A:1008024127346>
- Oktay, F.Y., Dellaloglu, A.A., (1987). Tuzgölü Havzası (Orta Anadolu) stratigrafisi üzerine yeni görüşler. Türkiye 7. Petrol Kongresi bildiriler kitab. 312-321.
- Pasquare, G., (1968). Geology of the Cenozoic Volcanic area of Central Anatolia, Atti Della Accad. Nazio. Dei. Lincei, Memorie, ser. 8, 9/3, 55- 204.

- Sarı, M., Çömlekçiler, F. (2007). Kızılıkaya ignimbiritlerinde görülen süreksizliklerin incelenmesi ve kaya kütesinin tanımlanması. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 22(1), 207-216.
- Seymen, İ., (1981). Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifi'nin stratigrafisi ve metamorfizması, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 7-14.
- Seymen, Y., (1984). Kırşehir metamorfitlerinin jeolojik evrimi, Ketin Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını, pp. 133-48.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., (1987). Türkiye Diri Fayları ve Depremsellikleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Rapor No:8174, Ankara.
- Türeli, T.K., (1991). Geology, Petrology and Geochemistry of Ekecikdağ Plutonic Rocks (Aksaray Region-Central Anatolia). ODTÜ, Doktora tezi, 194s.
- Türkecan, A., Akçay, A. E., Satır, M., Dönmez, M., Ercan, T., (2003). Melendiz dağları (Niğde) volkanizması, 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı 16.
- Uygun, A., (1981). Tuzgölü havzasının jeolojisi, evaporit oluşumları ve hidrokarbon olanakları, TJK İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumu, Ankara, 66-71.
- Uygun, A., Şen, E., (1978). Tuz Gölü havzası ve doğal kaynaklar: I. Tuz Gölü suyunun jeokimyası: Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni , 21, 113-120.
- Yaşar, M., Erkan, C., Baş, H., Çelik, E., Uygun, M., Bilgic, T., Kayakıran, S., Ayak, F. ve Uygun, M.A., (1982). Tuz Gölü Havzası Projesi Raporu. M. T. A. Raporu 2/178.

Yıldız, M., Yıldız, A., Kahya, A., Gürcan, S., (2014). Kızılkaya (Sevinçli /Aksaray) ignimbiritinin jeolojisi ve yapıtaşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 30(1), 1-8.

YER BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ
DEĞERLENDİRMELERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com