

Yerbilimlerinde Bütünleşik Perspektifler

Anadolu'nun Jeolojik Mirası, Havza
Dinamikleri ve Maden Güvenliğine Örnekler

Editör
MUZAFFER ÖZBURAN



BİDGE Yayınları

**Yerbilimlerinde Bütünleşik Perspektifler: Anadolu'nun
Jeolojik Mirası, Havza Dinamikleri ve Maden Güvenliğine
Örnekler**

Editör: MUZAFFER ÖZBURAN

ISBN: 978-625-8567-57-1

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-12-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Anadolu, karmaşık tektonik geçmişi ve zengin jeolojik çeşitliliğiyle yerbilimciler için benzersiz bir "açık hava laboratuvarı" niteliğindedir. Bu eser, yerkabuğunun milyonlarca yıl öncesine dayanan biyolojik kayıtlarından güncel jeomorfometrik yapılarına, yer altı kaynaklarının teknolojik analizinden bu kaynakların işlenmesi sürecindeki insan sağlığına kadar geniş bir yelpazeyi bütünlük bir perspektifle ele almaktadır.

Kitabın ilk bölümleri, yaşamın jeolojik zaman içindeki sessiz tanıkları olan fosillere odaklanmaktadır. Fosiller, yalnızca fiziksel kalıntılar değil; organizmaya ait morfolojik, kimyasal ve davranışsal her türlü biyolojik bilgiyi saklayan ve paleoçevresel koşulların ayrıntılı göstergesi olan verilerdir.

Bu kapsamda, mikro-BT gibi modern dijital görüntüleme tekniklerinden biyostratigrafik korelasyon yöntemlerine kadar paleontolojinin metodolojik derinliği tüm detaylarıyla sunulmaktadır.

Yerkabuğunun dinamik yapısı, jeofiziksel ve jeomorfolojik analizlerle daha net bir görünüme kavuşmaktadır. Erzincan Havzası ve çevresindeki gömülü tektonik hatların manyetik verilerle (EMAG2) analiz edilmesi, bölgenin sismik riskini ve aktif fay sistemlerini anlamamıza ışık tutmaktadır.

Benzer şekilde, Köprüçay Havzası örneğinde olduğu gibi akarsu havzalarının morfometrik analizi, yeryüzünün jeomorfolojik evrimini ve hidrolojik davranışlarını kantitatif bir dille açıklamaktadır.

Çalışmanın endüstriyel ve ekonomik boyutu, Anadolu'nun simgesel değerlerinden biri olan Sepiyolit (Lületaşı) minerali üzerinden incelenmektedir. Eskişehir yöresinde yüzyıllardır kültürel

bir miras olarak işlenen bu mineral, günümüzde yüksek adsorpsiyon kapasitesiyle çevresel ve teknolojik uygulamalarda stratejik bir malzeme haline gelmiştir.

Ancak yer altı kaynaklarının ekonomiye kazandırılması süreci, beraberinde hayati riskleri de getirmektedir. Kitabın son bölümleri, maden işletmelerinde toz maruziyeti gibi fiziksel risk etmenlerini analiz ederek, meslek hastalıklarının önlenmesinde sistematik risk yönetiminin ve mühendislik kontrollerinin vazgeçilmezliğini vurgulamaktadır.

Bu kitabın, yerbilimlerinin farklı disiplinlerini bir araya getirerek araştırmacılara, mühendislere ve öğrencilere disiplinlerarası bir vizyon sunmasını temenni ediyorum.

Doç. Dr. MUZAFFER ÖZBURAN

KÜTAHYA DUMLUPINAR. ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

FOSİLLEŞMENİN ÖNEMLİ PARAMETRELERİ VE FOSİLLERDE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ	1
<i>ASLI KARABAŞOĞLU</i>	
ANALYSIS OF BURIED GEOLOGICAL/TECTONIC LINEAMENTS OF THE ERZINCAN BASIN AND ITS SURROUNDINGS USING EMAG2 MAGNETIC DATA	26
<i>EREN PAMUK</i>	
MORPHOMETRY OF THE KÖPRÜÇAY WATERSHED (WESTERN MEDITERRANEAN), TÜRKİYE	46
<i>ABDELHADI DRIBAT, AYL A BOZDAG</i>	
SEPIYOLİT (LÜLETAŞI) MİNERALİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI	64
<i>HÜSEYİN SENDİR</i>	
MADEN İŞLETMELERİNDE TOZ MARUZİYETİ FİZİKSEL BİR RİSK ETMENİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	81
<i>SEREN TÜRKYILMAZ YAZGI</i>	

BÖLÜM 1

Fosilleşmenin önemli parametreleri ve Fosillerde çalışma yöntemleri

ASLI KARABAŞOĞLU¹

Giriş

Fosiller, jeolojik zaman boyunca yaşamış organizmaların sert veya nadiren yumuşak dokularına ait kalıntılarının ya da izlerin kayalar içerisinde korunmuş halidir. Fossil, organizmaya ait morfolojik kimyasal ve davranışsal her türlü biyolojik bilgiyi içinde barındırır. Dolayısıyla fosiller yalnızca fiziksel kalıntılar değil, ayak izlerini, beslenme izlerini, dışkı izlerini, biyotürbasyon yapılarını da içine alan her türlü veriyi içerir. Fosilleşme süreci (Taphonomi), canlının ölüm sonrası ayrışması, sedimanlar içine gömülmesi, diyajenez (taşlaşma) ve mineralizasyon aşamalarını içerir. Bu süreçler çevresel parametrelerin etkisi altında gerçekleştiğinden fossil yalnızca biyolojik bir kalıntı değil, aynı zamanda paleoçevresel koşulların ayrıntılı bir göstergesidir. Dolayısıyla fosillerin korunma derecesi ve taphonomik bütünlüğü paleontolojik yorumlamada önemlidir.

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-6980-0194

Fosilli kayaçlar paleo dönemde canlı topluluklarının yaşadığı ortamların hem biyolojik hem de fiziksel özelliklerini kaydeden jeolojik materyallerdir. Bu kayaçlar stratigrafik birimlerin tanımlanmasında, çökelme ortamlarının öğrenilmesinde, paleoklimatik modellerin oluşturulmasında, tektonik evrimin anlaşılmasında temel bilgi kaynaklarıdır. Ayrıca fosillerden elde edilen veriler sayesinde çökelme hızı, su derinliği, sıcaklık, tuzluluk derecesi, karbonat üretimi, biyotürbasyon şiddeti ve hidrodinamik enerji gibi süreçlerin çözümlenmesinde de kullanılır. Ayrıca sedimanter ortamı temsil eden bilgiler içerir. Örneğin bentik foraminiferler deniz tabanı oksijenasyon düzeyi ve enerji rejimi hakkında, planktonik foraminiferler iklimsel değişiklikler ve su derinliği hakkında bilgi verirken, omurgalı fosilleri karasal paleocoğrafya biyolojik çeşitliliği, ekolojik dinamikler ve paleoiklim koşulları ve faunal göç yolları hakkında bilgiler verir.

Paleocoğrafik bilgilerin alınmasında, korelasyon yapılmasında en önemli araçlardan biri, çoğu tortul birim içinde bulunan fosillerdir. İndeks, aralık ya da kılavuz fosil dediğimiz kavram ilk Smith, (1815) tarafından kullanılmış ve çalışmasında fosillerin tanımlandığı zamansal aralıklarını, fosillerin kullanıldığı biyostratigrafi biliminin temelini oluşturan aralık bölgelerini temsil etmek için kullanmıştır. Böylece indeks fosiller korelasyonun temelini oluşturmuş ve göreceli korelasyon yapmak için en iyi bileşenlerden biri haline gelmiştir. En iyi indeks fosiller temsil ettiği zaman aralığının kısa olması için, hızlı evrim sürecine sahip olan, geniş bir coğrafyaya yayılımı olan, çeşitliliğin fazla olduğu, kalıntıların yeterli bollukta olduğu, taksonların kolay ayırt edilmesini sağlayan morfolojik özelliklere sahip olan, iyi korunmuş fosillerdir. Tüm bu özelliklerin birarada olduğu çok takson yoktur ancak indeks fosil olarak tanımlanan fosiller biyostratigrafik öneme sahiptir.

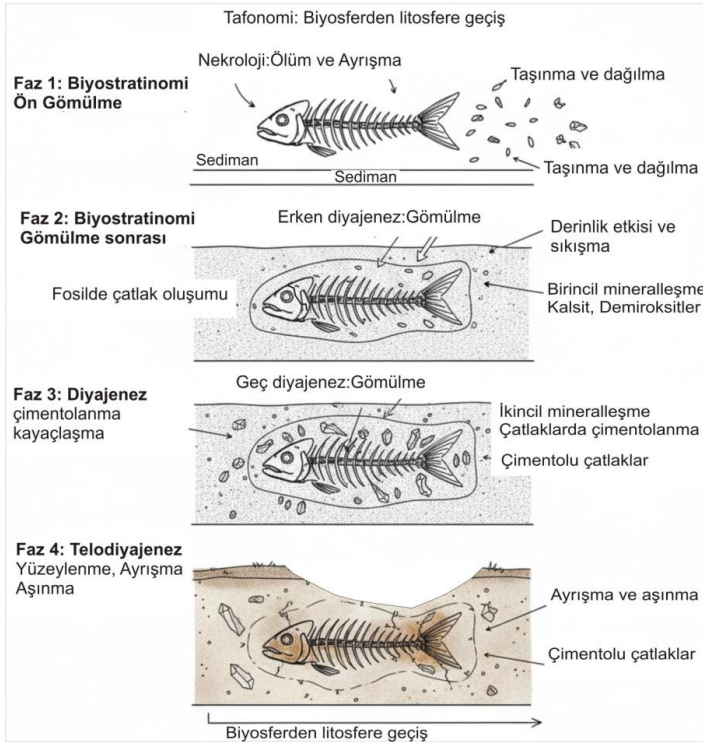
Fosilli kayaçlar stratigrafinin bir alt dalı olan sekans stratigrafisi açısından büyük öneme sahiptir ve fosillerin korunma biçimleri arasında da bir bağlantı vardır. Fosiller tortul parçacıklar olduğundan (Seilacher, 1973) birçok sürecin özellikle de totullaşma dinamikleri ve yüzeye yakın tortulların jeokimyası ile ilgili süreçlerin hassas göstergeleri olarak işlev görürler (Kidwell ve Behrensmeyer, 1993). Sekans stratigrafisi korelasyon, haritalama ve kronostratigrafi sağlamak için kullanılır. Sekanslar tabaka istiflenme modelleri, sedimanter tabakaların geometrik ilişkilerini, düzenini ve tabaka oluşum sırasını belirlemeyi sağlar. Ayrıca zaman içinde çökme sistemlerinin evrimini, tortulun geometrisini ve ölçeğini yorumlamaya olanak tanır ör. (Sprague et al. 2002). Sekans stratigrafisinin genellikle sismik stratigrafiden kaynaklandığı kabul edilir ancak sedimantasyon, uyumsuzluklar ve taban seviyelerindeki değişimleri inceleyen çalışmalar çok daha önceleri yayınlanmıştır. (örneğin, Barrell, 1917; Sloss ve diğ., 1949; Sloss, 1963; Wheeler ve Murray, 1957; Wheeler, 1958, Curray, 1964; Frazier, 1974).

Tafonomi ilk olarak Efremov, 1940 da hayvan kalıntılarının biyosferden litosfere geçişinin incelenmesi olarak tanımlamış ve tafofasiyes olarak adlandırmıştır. Behrensmeyer ve Kidwell 1985 ise ‘korunma süreçleri ve bunların fosil kayıtlarındaki bilgileri nasıl etkilediği üzerine yapılan çalışmalar’ olarak tanımlamıştır.

Korunma farklı ölçeklerde işleyen bir dizi süreç ve koşullara bağlıdır. Bunlar: a; Çevreye verilen biyolojik kalıntıların girdi oranı, toplam hacmi ve bileşimi b; gömülmeden önceki ortamın niteliği: sediman-hava veya sediman-su arayüzünde yerel fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenlerin seçiciliği ve yoğunluğu. Buradaki değişim yıkıcı olabilir (biyoerezyon, temizleme ve çözünme gibi) veya stabilize edici olabilir (yuva/oyuk oluşumu gibi), c; gömülme hızı ve kalıcılığı: dokuların sediman üzerinde etkili olan süreçlere ne kadar süre maruz kalacağını belirler. d;

sedimanter sütunun üst kısmındaki diyajenetik koşullar (dinamik ve karışık bölge), burada organik kalıntılar ve sedimanlar yeniden işlenme, biyotürbasyon, meteorik etkiler, mikrobiyal süreçler ve olası fiziksel değişikliklere maruz kalmaktadır. Gömülme sonrası değişiklikler stabil olabilir (minerallerle kaplanmalar, dolgular, yerdeğiştirme yada biyokimyasal bağlanma yada hidroliz, çözünme ve yeniden kristalleşme, konsalide bir tortul matris içinde gömülen fosilleşmiş materyalin uzun vadede korunması; tortul birikim ve sıkışmanın hızı, gömülme derinliği (dolayısıyla diyajenez ve metamorfizma etkisi) ve yapısal deformasyonu belirleyen tektonik yapı ile güçlü bir şekilde bağıntılıdır (Behrensmeyer et al. 2000), (Şekil 1).

Şekil 1: Bir canlının tafonomik süreçleri



Biyostratinomi; bir hayvan yada bitki kalıntılarını ölümlelerinden itibaren tortula gömülene kadar etkileyen değişiklikleri ve süreçlerini inceleyen bilim dalıdır. (Weigelt, J, 1933). Sert parçalara sahip organizmalar, sert parçaları olmayanlara göre fosil olarak temsil edilme olasılığı daha yüksektir. Bilinen tüm filumların yaklaşık % 44 ü bu tür korunabilir sert parçalara sahip değildir ve fosil kayıtlarında bu tür filumların nadirliği özellikle bitkiler de olduğu gibi genellikle hayvanlardan daha az fosil kaydına sahip olmasıdır. Sert parçaların yapısı, bunların korunabilirliğini etkileyebilir ve bu sert parçaların durumu, sadece fiziksel veya kimyasal açıdan değerlendirilemez; mikro yapı ve sert parçalar ile kolayca ayrılan yumuşak parçaların göreceli yerleşimi de dikkate alınmalıdır. Örneğin Kessel (1938) çalışmasında Heligoland yakınlarındaki bivalvia türü olan *Nucula nucleus*un alt faunada yaygın görünmesine karşın benzer boyuttaki *Venus ovata* türünün daha az bulunmasını *Nucula* kabuklarının prizmaları arasında nispeten daha fazla miktarda organik matris bulunmasından kaynaklandığını ve bunun da *Venus*'te olduğundan daha hızlı bir aragonit kabuk parçalanmasına yol açtığını belirtmektedir. Öte yandan organik maddenin korunması bileşik bozucu maddelerin etkili bir şekilde izole eden bir mikro yapı sayesinde kolaylaşabilir.

Bitki kütikülleri ve sporların dış kabukları (çok kararlı kütin ve sporopolenden oluşan) hariç, bitkilerde sert ve dayanıklı görünen yapılar her zaman en az parçalanma olasılığı olan yapılar olmayabilir. Bitkilerin hassas büyüme noktaları ve diğer odunsu olmayan kısımlarının korunmuş olduğu birçok örnek bilinmektedir. Boyut ve şekil korunmayı etkileyen önemli faktörlerdir, Küçük ve sıkışmış kalıntılar, büyük organizmalara veya vücudu dağınık veya çok dallı olan organizmalara göre daha kolay bozunmadan korunurlar. Bu, özellikle büyük organizmaların parçalanması ve parçaların ayrı ayrı bozulması durumunda önemlidir.

Birçok organizma veya bunların yaprak dökten organları veya dokuları, biyostratinomik sürece dahil olmadan önce doğal yaşlanma süreçlerinden geçerler (Varner, 1961). Bu gerçek, fosil yaprakların jeokimyası ile ilgilidir. Geniş yapraklı ağaçların yaprakları düşmeden önce, genellikle protein, nükleik asit ve klorofil miktarında bir azalma olur ve buna karbonhidrat ve organik asitlerin harekete geçmesi ve sarı ve kırmızı pigmentlerin artması eşlik eder. Tohumların dokuları ve alt organizmaların ve mikropların sporları uzun süre canlı kalabilirler (Barton, 1961, 1965) ve bazı türlerin dokuları, aynı organizmanın veya türün diğer kısımları fosilleşmeye doğru ilerlemişken, uyku durumunda birçoğu yaşam sürecini sürdürürler. Bu, canlıların fosilleşmeden önce uzun süre hayatta kalabilecekleri ve daha sonra fosilleşmeye doğru ilerleyebilecekleri anlamına gelir. Hint Lotus'unun (bir nilüfer, *N. elumbo nucifera* Gaert.) tohumları, bin yıldan fazla hatta üçbin yıla kadar bir süre turba içinde gömülü kaldıktan sonra, uygun koşullara geri döndürüldüklerinde hala canlı, yani çimlenme yeteneğine sahip olabilirler (Libby, 1954).

Organizmaların mikrobiyal çürümesi, hızlı gömülme veya kuruma, diğer organizmalar tarafından salgılanan antibiyotik maddelerin varlığı veya çürümeye neden olan bakteri ve mantar popülasyonunu önemli ölçüde azaltan büyük bakteriyofaj veya yırtıcı organizma popülasyonları gibi diğer daha az yaygın faktörler tarafından engellenmedikçe, ölümden hemen sonra başlar.

Oksidasyon; durumunda yani oksijen varlığında organik dokular hızla çürür hızlı bir ayrışma gerçekleşir ve organik materyal bu aerobik ortamda büyük ölçüde yokolur, birçok organizmanın sert kısımları da bu ortamdan olumsuz etkilenir. Oksijen yokluğunda (redüksiyon) yani anaerobik ortamda mikroorganizmalar tarafından yoğun bir yeniden sentezle çürüme meydana gelir ve genellikle organik madde açısından zengin, korunabilir bir vücut ortaya çıkar.

Piritleşme; Organik maddelerin parçalanması sonucu oluşan sülfür ile sülfatların bakteriyel indirgenmesi ve detritik mineraller olarak getirilen demir arasındaki reaksiyonla nötr veya alkali ortamlarda pirit oluşur. Bitki ve hayvan hücrelerinin veya iskeletlerinin piritle dolması, ölümden çok kısa bir süre sonra meydana gelebilir ve bunların fosil olarak korunmasını kolaylaştırır. Bu, piritin, fosil kalıntıların korunmasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bitki ve hayvan hücrelerinin veya iskeletlerinin pirit ile dolması, ölümden çok kısa bir süre sonra meydana gelebilir ve bunların fosil olarak korunmasını destekler.

Glokonit; Denizel koşullarda gömülmeden önce oluşabilen ve çürüyen organik maddeyle ilişkilendirilebilen başka bir mineraldir. Foraminiferler gibi küçük kabukları kolayca doldurur ve böylece onların kalıp şeklinde korunmasını sağlar, benzer şekilde, sert kısımların erken yer değiştirmesi fosfatlaşma, dolomitleşme, silisleşme ve demirleşme yoluyla gerçekleşebilir.

Sıcaklık, donarak korunma gibi nadir durumlarda doğrudan rol oynar. Bunun örneği, Sibirya'nın bulunan Pleyistosen dönemine ait mamut ve gergedanlardır. Kurutma da anormal sıcaklıklar gerektirir ve bu nedenle tropikal ve subtropikal bölgelerle sınırlıdır. Kretase dönemine ait Anatosaurus dinazorunun örnekleri, muhtemelen kurutma yoluyla derisi korunmuş olarak bilinir ve normal diyajenetik süreçler fosilin mineralleşmesine yol açmadan önce aşırı koşulların normal ayrışmayı askıya almasının ne kadar olağanüstü iyi bir koruma sağlayabileceğini gösterir.

Tuzluluk artışı bakteri aktivitesini yavaşlatır ve aşırı olması durumunda, korunma sağlanır. Ancak sert parçalara sahip organizmalar aşırı tuzlu ortamlarda nadir olduğundan fosiller de nadir olacaktır (Muller, 1963).

İskelet mineralleri, okyanustaki tortul-su arayüzünde hakim koşullar altında kararsızdır ve çözünürlük sırasına göre; yüksek

magnezyumlu kalsit, aragonit, düşük magnezyumlu kalsit, opal, apatit çözüdür. Bu, iskeletlerin seçici çözünmeye yol açar ve okyanus tabanı sedimanlarında fosfatların nispi zenginleşmesini ve kimyasal gecikme birikintilerinin oluşumunu açıklar (Arrhenius, 1959).

Bu korunma yapısına örnek olarak ammonit kavkuları aragonitten oluşurken, bu kavkuların aptychileri (ammonitlerin alt çene parçası) kalsitten oluşur. Jura dönemine ait bitümlü şistlerde ammonitler büyük ölçüde çözülmüş halde bulunurken aptychileri iyi korunmuş halde bulunmuştur (Einsele, 1955).

Diyajenez, tortul içinde gömülmeden sonra meydana gelen ve dolayısıyla içerdiği fosillere uygulanan, kabuk hareketinin doğrudan dahil olmadığı ve ayrışmanın etkilerini hariç tutan tüm değişiklikleri kapsayan terimdir. Sıcaklık ve basıncın artmasıyla diajenez, mineraloji ve kaya dokusunda kapsamlı değişikliklerle birlikte metamorfizmaya geçer. Diyajenez ve metamorfizma arasında doğal bir sınır yoktur. Metamorfizma bileşim ve yapıdaki önceki farklılıkları ortadan kaldırarak daha homojen kaya serileri üretme eğilimindedir. Bu, diyajenez ve metamorfizmadan sorumlu yaklaşık sıcaklık ve basınç koşullarını gösterir (Taylor, 1964), (Larsen ve Chilingar, 1967).

Fairbridge, (1966), diyajenezin üç farklı jeokimyasal aşamaya ayrılabilceğini öne sürmüştür. Her bir aşama dengeye doğru ilerler, ancak yeni bir dizi çevresel parametrenin ortaya çıkmasıyla bu denge bozulur. İlk aşama olan sindiyajenez, organik maddenin bakteriyel metabolizma ve infauna için besin sağladığı bakteriyel aktivitenin erken gömülme aşamasıdır. Çözünme devam edebilir veya başlayabilir. Ölü organizmalar, sıfır redoks potansiyeli seviyesinin altında büyümeye devam ederek nodüller oluşturabilir. İkinci aşama, anadiyajenez, sıkıştırma ve çimentolamanın derin gömülme aşamasıdır ve bu aşama metamorfizmaya geçebilir. İnorganik kimyasal reaksiyonlar

baskındır ve otijenik (yerinde büyüme) mineraller oluşur. Üçüncü aşama, epidiyajenez, meteorik aşamadır ve aşınmaya geçer ve havzanın tektonik olarak ortaya çıkmasıyla başlar. Sindiyajenetik çözünmeden kurtulan kireçli fosiller genellikle bu aşamada yok olur ve kayada içi boş kalıplar olarak tanınabilir. Piritin oksidasyonu gerçekleşir. Anadiyajenez ve epidiyajenez tekrarlarının, uyumsuzluklar içeren kalın kaya dizilerinde görülmesi beklenir.

Çimentolama; tortudaki boşluklarda minerallerin çökmesi, organik maddelerin çürütmesi ile boşalan alanları doldurarak iskeletin sert kısımlarını güçlendirir (permineralizasyon) ve önceki çözeltinin organizmaların kalıplarını bıraktığı yerlerde kalıplar oluşturur (Bathurst, 1964). Bir kayanın belirli bir katmanında iskeletlerin bolluğundan kaynaklanan artan geçirgenlik, hızlı permineralizasyon için bir yol sağlayabilir. Ayrıca, matrisin farklı çimentolaması ile iz fosilleri güçlendirilebilir (Seilacher, 1964). Bu tür çimento, farklı gömülme seviyelerinde minerallerin (özellikle iskelet minerallerinin) çözünmesi ve yeniden birikmesinden sağlanır. En yaygın çimentolama mineralleri silika, kalsit, dolomit ve siderittir. Çimento, iskelet temeli üzerinde sintaksiyal olarak (kristalografik süreklilik içinde) büyüyebilir ve örneğin, eklem bacaklıların iskeletlerinin orijinal retiküler kristallerinden katı kalsit kristalleri oluşturabilir. Konkresyon yapıları fosiller etrafında oluşabilir.

Yeniden kristalleşme; (Folk, 1965) bir mineral türü ve onun polimorfları içinde kristal boyutunun, şeklinin ve yöneliminin dönüşümüdür. Bu normalde tane boyutunda artışa yol açar, ancak belirli koşullar altında tane küçülmesi de meydana gelir. Fosiller bu tür kristal büyümesinde yok olabilir ya da ana kayadan ayrılabilirler. Yeniden kristalleşme organik materyalin korunmasıyla ilişkili olarak örneğin yumuşakça kabuklarında orijinal olarak bulunan aragonitin daha kararlı, iri kristalli

polimorfu olan kalsite dönüşmesi gösterilebilir. Doku detayları kabuğun organik laminaları ve orijinal mikroyapısı, yer değiştiren mozayik içinde korunabilir.

Yer değiştirme; bir mineralin yerini başka bir mineralin almasıdır. Örneğin kalsitin kuvars ile yerdeğiştirmesi. Mikroyapının enince detayları hala tanınabilir, bu nedenle molekül molekül yer değiştirme kavramı ileri sürülmüştür (Siever, 1963). Yer değiştiren mineral, orijinal iskelet mineralinin şeklini koruyabilir, ancak hacim değişiklikleri meydana gelebilir. Orijinal aragonit iskeletler, matrsten daha kolay yer değiştirir, matris ise kalsit iskeletlerden daha kolay yer değiştirir. Dolomitizasyon yaygın olarak fosillerdeki tüm mikroyapıyı yokeder, ancak istisnalar mevcuttur.

Sıkışma; fosilleri kırarak, ezerek ve bozarak doğrudan etkileyebilir. Temiz kabuk kırıklarının yüksek gömülme basıncı altında geliştiği ve hızlı çökelmeyi işaret ettiği düşünülmüştür, ancak kabukların plastik deformasyonu ise organik maddelerin yavaş çürümesiyle birlikte yavaş çökmeyi işaret edebilir (Einsele&Mosebach, 1955).

Çoğu tortul kayaç, çökelme ortamına, yaşına, gömülme geçmişine bağlı olarak mikrofosiller içerir. Bir ekolojik nişi temsil eden mikrofosilli tabakalar binlerce yıllık numune birikimini temsil edebilir. Yaşam tarihini anlatan evrime yönelik birçok kanıt mikrofosillerde yer almaktadır. Bunların yaşam döngülerinin takip edilebilirliği, çok sayıda olmaları, çoğu zaman eksiksiz fosil kayıtlarının oluşuyla önemleridirler. Makrofosillere göre daha net çözünürlükte olduğundan birkaç yüzbinlik zaman dilimlerinin bile ayırt edilmesine olanak sağlar. Planktonik foraminiferler, nannofosiller, radiolaryalar dünya genelinde geniş yayılım gösterdiğinden global korelasyon yapılabilir. Mikrofosiller yaşadıkları ortamın fiziksel ve kimyasal koşullarına hızlı uyum gösterirler. Bu nedenle, suyun sıcaklığı, deniz seviyesi

dalgalanmaları, kitlesel yokoluşlar, tuzluluğu, oksijen miktarı, çökelme derinliği, paleoklim değişikliği, karasal ve denizel geçişler ve ortamları hakkında bilgiler edinilir. Petrol doğalgaz aramacılığında hangi seviyelerde potansiyel rezervuar olduğu, hangi seviyelerin kapan oluşturduğu ve organik madde üretkenliği hakkında net bilgiler verirler.

Makrofosiller, geçmiş jeolojik dönemlerde yaşamış organizmalara ait makroskobik boyuttaki sert ve yumuşak doku kalıntıları ile iz fosillerini kapsayan temel paleontolojik verilerden biridir. Bu fosil grubu, yüksek morfolojik korunmuşluk düzeyi ve çevresel değişkenlere duyarlılıkları sayesinde paleobiyolojik, paleoçevresel ve stratigrafik yorumların gerçekleştirilmesinde kritik bir analitik çerçeve sunmaktadır. Makrofosiller üzerine yapılan çalışmalar, yalnızca organizmaların evrimsel geçmişini ortaya koymakla kalmayıp, aynı zamanda Dünya'nın jeodinamik, iklimsel ve ekolojik evriminin anlaşılmasına da önemli katkılar sağlar. Makrofosiller, organizmaların ontogenetik ve morfolojik karakterlerinin detaylı biçimde incelenmesine olanak tanıdığı için evrimsel biyoloji araştırmalarının temel referans noktalarından biridir. Omurgasız ve omurgalı makrofosilleri su derinliği, tuzluluk, enerji rejimi, trofik yapı ve habitat tipinin tanımlanmasında anahtar veri sağlar. Bu bağlamda makrofosiller, iklim değişimlerinin uzun dönemli ekosistem dinamikleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine olanak tanır. Ammonitler, belemnitler, brachiopodlar ve bazı omurgalı grupları, çökel istiflerin yaşlandırılması ve farklı bölgeler arasındaki stratigrafik birimlerin korelasyonu için ideal göstergelerdir. Bu nedenle makrofosiller, hem bölgesel hem de küresel stratigrafik çerçevelerin oluşturulmasında vazgeçilmez bir rol oynar. Makrofosillerin coğrafi dağılımları, paleotopografya, kıtasal konumlanma, okyanus kapıları, deniz seviyesi değişimleri ve biyocoğrafik bariyerler hakkında dolaylı ancak güçlü göstergeler sağlar. Bir fosil

taksonunun paleocoğrafik yayılım alanının belirlenmesi, tektonik plaka hareketlerinin ve paleookyanus sürkülasyon modellerinin yeniden kurgulanmasına katkıda bulunur. Kömürleşme süreçleri, organik madde birikimi, hidrokarbon sistemlerinin gelişimi ve metalik maden yataklarının oluşum ortamları gibi uygulamalı jeoloji alanlarında makrofosillerden elde edilen paleoçevresel göstergeler sıkça kullanılmaktadır. Bu yönüyle makrofosiller, ekonomik jeoloji çalışmalarında dolaylı ancak kritik bir değerlendirme aracı niteliği taşır.

Çalışma Yöntemleri

Fosiller üzerinde çalışmak paleontolojinin temelini oluşturur ve araziden laboratuvara kadar uzanan karmaşık bir dizi yöntem ve teknik içerir. Bu yöntemler, fosilin keşfedilmesi, çıkarılması, korunması, incelenmesi ve stratigrafik yaşının belirlenmesi aşamalarını kapsar. Arazi çalışmaları makrofosillerin bulunması, çıkarılması, korunarak taşınması ya da mikrofosiller için kayaç örneği ya da yumuşak kayaç numuneleri alınarak laboratuvar ortamına getirilmesi şeklindedir. Kullanılan yöntemler, fosilin boyutu, bulunduğu litoloji, korunma durumu ve araştırmanın amacına göre değişkenlik gösterir.

Örnekler belli bir sistematik düzende alınabildiği gibi nokta örnek şeklinde de alınabilir. Yeryüzünde kayaçlar stratigrafik sütun halinde düzenlenirken, en yaşlı kayaçlar tabanda, en genç kayaçlar üstte olacak şekilde düzenlenebilir. Mutlak yaşlar, radyoaktif izotop çalışmalarıyla belirlendiği gibi, çoğunlukla içerdikleri fosillerdeki farklılıklara göre ayırt edilen stratigrafik isimlerinin kullanılması gelenekseldir. Bu birimler kayaç temelli stratigrafi (litostratigrafi), fosil temelli stratigrafi (biyostratigrafi) ve zaman temelli stratigrafi (kronostratigrafi) ile ilgili bir dizi hiyerarşiyeye düzenlenir.

Fosil araştırmaları çoğunlukla yüzey jeolojisinin incelenmesi ve fosil içeren seviyelerin belirlenmesiyle başlar. Bu

aşamada: stratigrafik ölçüm, yüzey tarama ve örnek toplama, tabaka içi bağlamın kaydedilmesi, sistematik kazı (çekiç, keski, fırça kullanımı) gibi temel yöntemler uygulanır. Bu yöntemler fosilin jeolojik bağlamını korumak için kritik önem taşır. Elde edilen mikro fosiller üstten aydınlatmalı binoküler ve alttan aydınlatmalı optik mikroskoplar yardımıyla incelenir, ölçümleri yapılır, fotoğraflanır ve kataloglar yardımıyla tanımlamaları yapılır.

Nokta örnekleme yönteminde arazi çalışmalarında belli bir yöntem gözetmeksizin litoloji ya da fasiyes değişimlerini belirlemek amacıyla yapılır. Seri örnekleme yönteminde stratigrafik seviyenin tabanında üste doğru belirli aralıklarla örneklenmesidir. Örneklemeler tabakaların konumlarının bozulmadığı, fosilce zengin seviyelerden yapılır ve her iki yöntemde de örnek noktaları ve koordinatları kaydedilir. Alınan örneklerin farklı seviyelerden serbestleşmiş fosillerin, yüzey döküntülerinden olup olmadığına dikkat edilir.

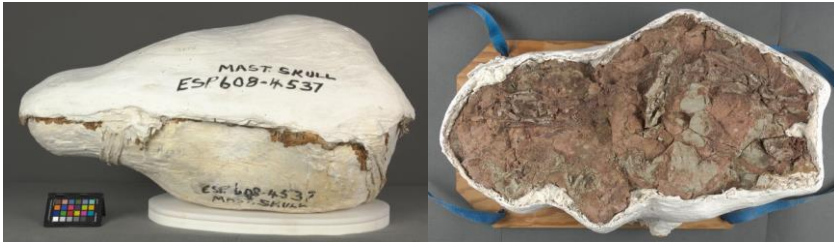
Mekanik hazırlama yöntemi; fosilin üzerindeki matriksin elle veya hassas cihazlarla uzaklaştırılmasıdır. El aletleri (iğne, büstri, fırça gibi), Pnömatik mikro kazıyıcılar ve hava aşındırıcı sistemler kullanılır. Bu teknikler, büyük kemikler, omurgalı fosilleri ve diğer makrofosiller için temel hazırlık aşamasıdır.

Omurgalı fosili çalışma yöntemi birkaç türdür. Bunlar: Yüzeyden toplama; genellikle bu tür fosiller yatağından aşınmıştır ve orijinal seviyelerine dair hiçbir gösterge kalmamıştır. Yerinde bulunan; kesin seviyeyi açıkça gösteren fosillerdir. Yerinde bulunan, kayaç kırıldıkça açığa çıkan fosillerin toplanması ve tortul tabakanın kazı yapılmasını gerektiren çoklu numuneler ve fosil içeren tortul maddelerin veya çatlak dolgusu birikintilerinin su altında elekten geçirilmesi.

Büyük omurgalı fosilleri çalışmalarında, toplama işlemindeki ilk adım, buluntuyla ilişkili tüm yüzey sürüklenme/kopma parçalarının

toplanmasıdır. Bu parçaları en yüksek seviyelerini belirlemek amacıyla eğim boyunca takip edilir. Eğer bu sayede kayaç içinde yerinde kemik parçaları bulunursa, bunlar fırçalar kullanılarak fosilin sınırları belirlenerek dikkatlice açığa çıkarılır. Ceketleme işleminde (Şekil 2.), numunenin üzerindeki ve her iki yanındaki bir miktar fazla örtü tabakası kaldırılır. Üstteki kayaçların çoğu kaldırılmadan önce, numunenin üzerinde küçük bir koruyucu kayaç matrisi tabakası bırakılır. Yeni açığa çıkmış kemik çok kırılgan olduğu için, toplayıcı güçlendirilmesi gereken kısımlara asetat yapıştırıcısı karışımı uygulanır. Bazen kemikler ufalanır veya aşırı derecede kırıklı ve süngerimsi olur. Bu durumda, yapıştırıcıyı damlatarak veya (kemik çok kırılgan değilse) fırçalayarak bol miktarda uygulamak gerekebilir. Fosil etrafında açılacak hendeğin derinliği numunenin kalınlığına bağlıdır. Numunenin aniden ufalanmasını neden olabilecek sarsıntılardan kaçınmak için dikkatli olunur ve hendek açma işlemi tamamlanır tamamlanmaz kaidenin yanlarına iki kat yapıştırıcı sürülür. Numune üzerine fırça ile ıslak kağıt mendil uygulanarak alçı bandajıyla tüm yüzeyi kaplanır. Bundan sonra güvenli bir şekilde depolama alanına taşınır.

Şekil 2. Ceketleme yöntemiyle açılanmış kafatası ve Coelophysis bauri adlı açılmış ceket fosil örneği.



*Kaynak: (American Museum of Natural History, 2025,
<https://www.amnh.org>) (Erişim:26.11.2025)*

Küçük omurgalı fosilleriyle çalışmalarda; aşınmış kemik parçalarından oluşan daha küçük fosiller veya kafatası parçaları,

kısmi ya da tam parçalar, dişler, omurlar, uzuvlar, ayak kemikleri, kaburgalar gibi kazı numunelerinin tümü toplanmaya değerdir ve diğer fosil hayvanları tanımlamak için kullanışlıdır. Küçük kemikler için ceketleme işlemi yapılmaz. Küçük omurgalı fosili elde etme yönteminde örneklerin kurutulması, yıkanması ve tekrar kurutulması işlemlerinden oluşur. Fosil yatağından 35-40 kg kadar numune alınır, kurutulur sonrasında elekler yardımıyla basınçlı su altında elenir. Alınan örneklerin koordinatları deftere not edilir ve alınan her örnek numarandırılır. Eleklerde kalan fosil numuneler tekrar kurutularak üstten aydınlatmalı binoküler mikroskopta incelenmek üzere hazır hale gelmiş olur.

Mikro bilgisayarlı tomografi (Mikro-BT) yöntemi (Şekil 3.), bir nesnenin içyapısının detaylı bir şekilde incelenmesini sağlayan yüksek çözünürlüklü bir X ışını görüntüleme tekniğidir. Mikro BT, bir nesneden geçen X-ışını iletimini birden fazla açıdan ölçerek tomografik algoritmalar kullanarak bir dizi yüksek çözünürlüklü transaksiyel dilimi yeniden oluşturarak çalışır. Bu yöntem fosil örneklerinin bütünlüklerinin koruyarak yüksek hassasiyetle analiz etme yeteneğine sahiptir. Bu teknolojinin bir diğer faydası da sanal iki veya üç boyutlu modeller oluşturma yeteneğidir ve bu da fosil ve kültürel miras örneklerinin dijital olarak korunmasına ve paylaşılmasına büyük ölçüde yardımcı olur.

Şekil 3. Traverten içinde bulunan omurgalı kafatası (Amphicyon giganteus)ve Mikro-BT yöntemiyle oluşturulan 3D rekonstrüksiyonu



Kaynak: (Van der Hoek ve diğ. 2022)

İnce kesit yapımı; kireçtaşı ve benzer şekilde birçok sert kayacı incelemek için kullanılan yöntemdir. Örnek ne kadar bol fosil içeriyorsa sonuç o kadar güvenilir olur. Bu yöntemde kayaç istenilen yönden kesilir ve kesilen yüz parlatılarak pürüzsüz olması sağlanır. Pürüzsüz taraf lamel üzerine epoksi reçine kullanılarak yapıştırılır. Hava kabarcığı kalmamasına dikkat edilir. Kuruduktan sonra diğer taraf hassas inceltmeye olanak sağlayacak şekilde ince kesit makinasında elmas disk yardımıyla kesilir. Bundan sonraki inceltmelerde hassas inceltme yapılır. Bu işlem için farklı ölçülerde zımpara tozları kullanılır. Paleontolojik kesit mikroskopta kontrol edilerek uygun inceliğe gelene kadar aşındırılır. Bazı fosil cinslerinin saptanması ancak yönlü kesitlerle yapılmaktadır. Örneğin Nummulitesler, Alveolinalar, Orbitoidler vb gibi grupların tanımlanması aksiyal ya da ekvatoryal kesitleriyle mümkündür.

Yönlü ince kesit yapımında; örnek reçine kalıbına yada lam üzerine reçine yardımıyla yapıştırılır yada yerleştirilir. İstenilen düzleme gelinceye kadar mikroskopta kontrol edilerek inceltme yapılır. Elde edilen düzleme gelindiğinde fosil ters çevrilerek işlem tekrar edilir. İstenilen inceliğe gelinceye kadar inceltilir.

Çatlatma Yöntemi; Yönlü kesit yapmanın diğer bir yöntemi özellikle nummulites, gibi bazı foraminifer cinslerinde kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde mekanik yolla kesitler elde etmek mümkündür. Örneğin tane örnek olarak elde edilmiş nummulites, bir pens yardımıyla yüksek ısıya maruz bırakılır, sonrasında soğuk su dolu bir kaba atılır. Bu yöntemle fosil ekvatoryal düzlemi boyunca ikiye ayrılır. Fosilin her iki düzlemi lam üzerine yapıştırılarak sabitlenir. Bu yöntem hem kavkının iç yapısının hem de dış yapısının incelenmesine olanak sağlar (Şekil 4.).

Şekil 4. Çatlatma örneğinde Nummulites fosilinin ısıtılması ve ekvatoryal düzlemden çatlamış örnek



Eleme; yıkama aşaması özellikle foraminiferler, ostrakodlar, konodontlar, nannofosiller için en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Kuru eleme yöntemi taneli sedimanlarda uygulanırken, ıslak eleme ve yıkama yöntemi çamur ve kil içeren sedimanlarda tercih edilir. Eleme yönteminde farklı elek açıklığına sahip elekler üst üste konularak, fosil boyutları gözönüne alınarak eleme ve yıkama işlemi yapılır. Elenen fosillerin yeterince temiz olup olmadığı mikroskop altında kontrol edilir. Filtre kağıdına alınan örnekler kurumaya bırakılır ve üzerlerine örnek numaraları yazılarak incelenmek üzere ayrılır (Şekil 5.).

Şekil 5. Örneklerin elekte yıkanması ve üstten aydınlatmalı mikroskop yardımıyla ayıklanması



Kimyasal maddeler yardımıyla çözme; Yıkama işleminde fosille tortulun ayrılmadığı durumlarda tane örnek elde etmek için kullanılır. Yumuşak ve çözünebilir kayalar, kimyasal maddeler yardımıyla çözülebilir. Bu kimyasal maddeler hidrojen peroksit, asetik asit, etanoik asit, hidroklorik asit olabilir. Kullanılan yöntem birbirine benzerdir. Önce kayaç çekiç ya da daha yumuşak örnek ise havan yardımıyla kırılır. Behere konulur ve üzerine su ile seyreltilmiş kimyasal çözelti dökülür, 10-15 saat bekletilir reaksiyona girmesi izlenir. Örnekler tortuldan ayrışmamış ise bu süre uzatılabilir. Yeterli çözülme sağlandığında numune elekler kullanılarak basınçlı su altında yıkanır. Filtre kağıdına alınan örnekler kurutulur, bu işlemi hızlandırmak için etüvde kullanılabilir. Elde edilen örnekler üstten aydınlatmalı mikroskop yardımıyla numaralandırılarak ayıklanır.

Palinolojik yöntemler

Palinoloji en önemli mikropaleontolojik disiplinlerden birisidir. Palinomorfların diğer mikrofosillere göre avantajı, silikatların ve karbonatların çözünmesine rağmen korunma yeteneklerinin olmasıdır. Polen ve sporlar paleoçevre ve paleoiklim rekonstrüksiyonunda çok kullanılır. Palinomorflar yani hidroklorik ve hidroflik asitlere dirençli kitin ve sporopolenlerden oluşan refrakter organik membranlı tüm fosiller, polen analizi altında incelenir. Polen analizinde palinomorfları konsantre etmek ve mikroskobik tanımlamaları yapılabilmesi için bir dizi işlem gereklidir. Sedimanlarda mekanik ayırma (eleme ve/veya ağır sıvı ayırma) ve asitli kimyasal ayırma işlemleri yapılır. Numuneler santrifüjleme sırasında tüpleri dengelemek için tercihen çiftler halinde işlenir. 6 veya 12 numunelik seriler aynı anda hazırlanır. İşlemden önce, durulama ve çeşitli diğer işlemler için rutin olarak damıtılmış su kullanılır. Her santrifüjleme işleminden önce, bu amaç için tasarlanmış bir ölçekte tüpler damıtılmış su ile dengelenir. Örnek erlenmeyer şişesinde karıştırma çubuğu ile

homojenleştirerek süspansiyon haline getirilir, numunelere numara verilir ve bilgileri laboratuvar defterine kaydedilir. 25 ml'lik dereceli silindirde yer değiştirme ile ölçülen 5 cm³ tortu alt numunesi alınır (örneğin genel olarak deniz tortuları için). Her numune önceden etiketlenmiş bir beher içine aktarılır. Bu adımda, kilin parçalanması için birkaç damla sodyum metafosfat kullanılabilir. Örneği parçalamak için sediment 4-6 dakika kaynatılır. Mikropipetle 0,5 ml polen çözeltisi eklenir ve her eklemede mikropipet ucu değiştirilir.

Kimyasal işlemden; Numune üzerine %10 seyreltilmiş HCl eklenir, reaksiyon oluşacağı için spatula ile karıştırılarak yavaş yavaş eklenir. Reaksiyonu tamamlamak için 20 dakika ısıtma bloğuna yerleştirilir ve 2000 devirde 10 dakika santrifüjlenir. Reaksiyon tamamlandığında asit renk değiştirecektir. Numuneye birkaç mililitre hidroflorik asit yavaş yavaş spatula ile karıştırılarak eklenir ısıtılır ve tekrar 2000 devirde 10 dakika santrifüjlenir. Numune hidroflorik ile reaksiyon sırasında oluşan florosilikat jelleri ortadan kaldırmak için 20 dakika daha HCl ile işleme devam edilir ve tekrar santrifüjlenir. Üstteki sıvı dökülür ve numune homojenleştirilir. Silikatlar ve florosilikatlar tamamen çözünene kadar işlem tekrar edilir. Numune bir gece asit içinde bırakılabilir. Örnekler çok fazla organik madde içeriyorsa, maksimum 10 dakika potasyum hidroksit (10% KOH) ile işlem yapılmalı ve ardından santrifüjlenmelidir. Kimyasal işlemlerin sonunda, tortuyu damıtılmış su ile yıkayarak kalan asit giderilir. Numune santrifüjlenir ve süzülür.

Ağır mineral ayırma; yönteminde organik mikrofosillerin (yoğunluk < 1,2) ve mineral fraksiyonun daha iyi ayrılması için ağır sıvılar işlemin başında veya sonunda kullanılabilir. Yaygın olarak kullanılan ağır sıvılar arasında yoğunluğu > 1,4 olan bromoform-aseton, çinko klorür veya çinko bromür ve su ile karıştırıldıktan sonra yoğunluğu 2,0 olan sodyum politungstat

bulunur. Ağır sıvılar arasında sodyum politungstat, toksik olmaması, suda çözünür olması ve geri dönüştürülebilir olması nedeniyle özellikle kullanışlıdır. Çinkoklorür üzerine derişik hidroklorik asit daha sonra saf su ilave edilir. Zaman zaman karıştırılarak homojen bir eriyik elde edilir. Santrifüjleme işlemiyle tüpün üstünde toplanan organik maddeler başka bir tüpe alınır ve saf su ile organik kalıntının çinko klorürden arındırılması sağlanır.

Numuneler yüksek miktarda organik madde içeriyorsa 10 dakika boyunca postasyum hidroksit ile işlem yapılır. İşlemin ardından sanrtifüjleme, dekantasyon ve 10µm gözenekli elek ve su ile eleme yapılır.

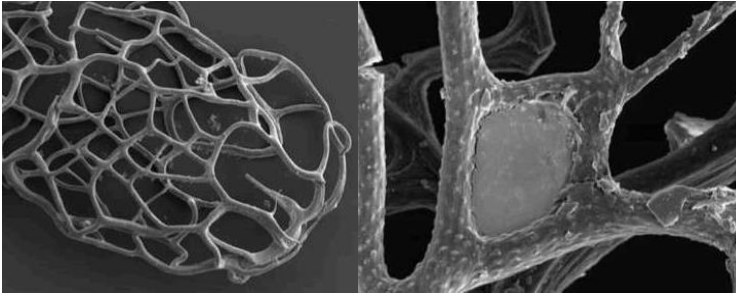
Asetiloz tekniği; polen tanelerinin eksinini etkilemeyen sülfürik asit ve asetik anhidrit çözeltisi ile yapılan bir işlemdir. Ancak, organik maddelerin bu oksidasyon yöntemi, bazı sucul palinomorfların, özellikle belirli dinoflagellat örneklerinin çözünmesine neden olur. Bu nedenle, GEOTOP'ta asetoliz yasaklanmıştır.

Slayt hazırlama; aşamasında meserasyon işlemi tamamlanmış numune şişesi çalkalanarak homojenliği sağlanır, pipet yardımıyla örnekten bir damla alınarak üzerinde gliserin bulunan lamel üzerine damlatılır. Jelatinli gliserin ısıtılarak eritilir ve lamel kapatılarak incelemeye hazır hale getirilir. Mikroskobik analiz için bir slayt ve kapak camı arasına yerleştirilen palinomorfları içerir. Boyutları genellikle 5 ila 150 µm arasında olan palinomorfların gözlemlenmesi, geçirgen ışık optik mikroskobu veya taramalı elektron mikroskobu altında yüksek büyütme oranında (> 250x) yapılır. Girişim kontrastı ve floresan dahil olmak üzere farklı optik mikroskopi teknikleri kullanılabilir.

Surfactant yöntemi: Özellikle killi birimlerde asit gerektirmeden Rewoquat yüzey aktif maddesinin kullanıldığı bir yöntemdir. Bu yöntemle organik duvarlı fosillerin yanı sıra kireçli fosillerin de

geri kazanıldığı gözlemlenmiştir. Yüksek kil içeriğine sahip denizel kayalar özellikle retiolitid, graptolit ve kitiniza gibi organik duvarlı mikrofosiller için fosil korunması açısından mükemmel koşullar sağlar. Bununla birlikte kil bileşenini oluşturan fillosilikat mineralleri, mikrofosil ekstraksiyonunu (ayırıştırma işlemi) zorlaştırır. Dolayısıyla kil açısından zengin kayalar için asit kullanımı genellikle verimsiz ve zaman alıcıdır. Bu yöntemle Rewoquat adlı sürfaktan kullanılır ve bu ayırıştırma yöntemiyle kil agregaları dağılır, özellikle organik duvarlı mikrofosiller üç boyutlu ve daha az parçalanmayla korunur. Asitle aylar süren fosil kazanımları birkaç gün içinde elde edilir. (Jarochovska ve diğ., 2013).

Şekil 6. Rewoquat yüzet aktif maddedi yöntemi kullanılarak elde edilen fosil graptolitlerin elektron mikroskop görüntüsü



Kaynak: (Jarochovska ve diğ., 2013)

Kaynakça:

Arrhenius, G. O. S. (1959). Sedimentation on the ocean floor. In: Researches in geochemistry (P. H. Abelson, ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Barrell, J. (1917). Rhythms and the measurements of geological time. Geological Society of America Bulletin 28, 745–904.

Barton, L. V. (1961). Seed preservation and longevity. Leonard Hill Books.

Barton, L. V. (1965). Longevity in seeds and the propagules of fungi. Encyclopedia of plant physiology, vol. 15/2. Berlin-Heidelberg-New York: Springer.

Bathurst, R. G. C. (1964). Diagenesis and paleoecology-a survey. In: Approaches to paleoecology (J. Imbrie and N. Newell, eds.). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Behrensmeyer A.K, Kidwell S.M. (1985). Taphonomy's Contributions to Paleobiology. Paleobiology.11:105–19.

Behrensmeyer A.K, Kidwell S.M., Gastaldo, A. R. (2000). Taphonomy and Paleobiology. Paleobiology, 26, 4, 103-147.

Curry, J.R. (1964). Transgressions and regressions. In: Miller, R.L. (Ed.), Papers in Marine Geology. Macmillan, New York, pp. 175–203.

Efremov, J. A. (1940). Taphonomy: new branch of paleontology. Pan-American Geologist, 74 (2), 81-93.

Einsele, G., Mosebach, R. (1955). Zur Petrographie, Fossilhaltung und Entstehung der Gesteine des Posidonienschiefers im Schwiibischen Jura. Neues Jahrb. Geol. Palaeont., Abhandl. 101,319-430.

Fairbridge, R. W. (1966). Diagenetic phases. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists 50,612-613.

Folk, R. L. (1965). Some aspects of recrystallization in ancient limestones; in, Dolomitization and limestone diagenesis, L.C. Pray and R. C. Murray, editors: Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists, Spec. Publ. No. 13, pp. 14-48.

Frazier, D. E. (1974). Depositional episodes: their relationship to the Quaternary stratigraphic framework in the northwestern portion of the Gulf Basin. University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Geological Circular 71-1, 28 pp.

Jarochovska, E., Tonarova, P., Munnecke, A., Ferrova, L., Sklenar, J., Vodrazkova, S. (2013). An acid-free method of microfossil extraction from clay-rich lithologies using the surfactant Rewoquat. *Palaeontologia Electronica*. Vol. 16, 3.

Kessel, E. (1938). Über Erhaltungsfähigkeit mariner Molluskenschalen in Abhängigkeit von der Struktur. *Arch. Molluskenk.* 70, 248 - 254.

Kidwell, S. M., Behrensmeier, A. K. (1993). Taphonomic approaches to time resolution in fossil assemblages. *Short Courses in Paleontology* No. 6. Paleontological Society, Knoxville, Tenn.

Larsen, G., Chilingar, G. V. (1967). *Diagenesis in sediments*. Amsterdam: Elsevier.

Libby, W. F. (1954). Chicago radiocarbon dates IV. *Science* 119, 135 – 140.

Müller, A. H. (1963). *Lehrbuch der Paläozoologie*, 2. Aufl., Bd.1. Jena: G. Fischer.

Seilacher, A. (1964). Biogenic sedimentary structures. In: *Approaches to paleoecology* (J. Imbrie and N. Newell, eds.). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Seilacher, A. (1973). Biostratigraphy: The sedimentology of biologically standardized particles. In: *Evolving Concepts in Sedimentology* (Ginsburg, R. N. ed.). Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp. 159-177.

Siever, R., Scott, R. A. (1963). Organic geochemistry of silica. In: Organic geochemistry (I. A. Breger, ed.). Oxford: Pergamon Press.

Sloss, L.L. (1963). Sequences in the cratonic interior of North America. Geological Society of America Bulletin 74, 93–114.

Sloss, L. L., Krumbein, W. C., Dapples, E. C. (1949). Integrated facies analysis. In: Longwell, C. R. (ed.), Sedimentary Facies in Geologic History. Geological Society of America Memoir 39, 91–124.

Smith, W. (1815). A Delineation of the Strata of England and Wales with a Part of Scotland: Exhibiting the Collieries and Mines, the Marshes and Fen Lands Originally Overflowed by the Sea and the Varieties of Soil According to the Variations in the Substrata. London: John Cary.

Sprague, A. R., Patterson, P.E., Hill, R.E., Jones, C. R., Campion, K.M., Van Wagoner, J. C., Sullivan, M.D., Larue, D.K., Feldman, H. R., Demko, T.M., Wellner, R.W., Geslin, J.K. (2002). The Physical Stratigraphy of Fluvial Strata: A Hierarchical Approach to the Analysis of Genetically Related Stratigraphic Elements for Improved Reservoir Prediction. (Abstract) AAPG Annual Meeting.

Taylor, J. H. (1964). Some aspects of diagenesis. Advan. Sci. 20, 417–436.

Van der Hoek, J., Karabaşoğlu, A., Mayda, S., Van der Hoek, L.W. (2022). Caught in travertine: computed tomography reveals the youngest record of *Amphicyon giganteus* from the travertine deposits of Karacalar (late middle Miocene, central Anatolia, Turkey). *Paläontologische Zeitschrift*, 96: 385–402., doi: 10.1007/s12542-022-00610-0.

Varner, J. E. (1961). Biochemistry of senescence. Ann. Rev. Plant Physiol. 12, 245 - 264.

Weigelt, T. (1933). Die Biostratonomie der 1932 auf der Grube Cecilie im mittleren Geiseltal ausgegrabenen Leichenfelder. Nova Acta Leopoldina, N.F. 1, 157-175.

Wheeler, H.E., Murray, H.H. (1957). Baselevel control patterns in cyclothemic sedimentation. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 41, 1985–2011.

Wheeler, H. H. (1958). Time stratigraphy. American Assoc. Petrol. Geol. Bull, 42, 1047-1063.

www.amnh.org/2025. American Museum of Natural History. (26/11/2025 tarihinde <https://www.amnh.org/research/science-conservation/projects/case-studies/jacketed-fossil-specimens> adresinden ulaşılmıştır).

BÖLÜM 2

ANALYSIS OF BURIED GEOLOGICAL/TECTONIC LINEAMENTS OF THE ERZİNCAN BASIN AND ITS SURROUNDINGS USING EMAG2 MAGNETIC DATA

EREN PAMUK¹

Introduction

Reliably determining the boundaries of subsurface geological structures is one of the most fundamental and important steps in potential field methods (gravity and magnetic). These boundaries include the locations of geological units within the ground, such as possible faults, contacts, and buried structural elements. Therefore, determining the geological structures within the ground is a fundamental step that increases the reliability of geological and geophysical interpretations and contributes to the understanding of tectonic structures.

In geophysics, many derivative-based boundary analysis methods are widely used in the literature for determining the boundaries of the structures using potential field data such as gravity

¹ Assoc. Prof. , EBYU, Institute of Earthquake Technologies, Orcid: 0000-0002-9511-7951.

and magnetic. Analytical Signal (AS) allows for the determination of the horizontal positions of sources in magnetic and gravity data, independently of the magnetization direction, and is advantageous in identifying shallow structures. The Tilt Angle (TA) method allows for the simultaneous evaluation of shallow and deep structures, while Total Horizontal Derivative (THDR) is preferred for more clearly revealing the edges of anomalies. Hyperbolic Tilt Angle (HTA) is used to strengthen weak anomalies and make structural boundaries more distinct. The 3D Euler deconvolution technique is an effective method for estimating the location and depth of sources causing anomalies.. A review of the literature shows that these techniques are used in boundary analyses in tectonic and geological investigations in different geological environments. Njeudjang et al. (2022) used EMAG2 magnetic data to analyze subsurface structures in the Adamawa region using Analytical Signal and Source Parameter Imaging (SPI) methods. Lei et al. (2022) investigated tectonic structures in the Longmenshan Fault Zone using EMAG2-v3 magnetic data with RTP, upward continuation, derivative-based techniques, Euler solutions, and Curie point depth. Armel et al. (2022) used EMAG2 magnetic and gravity data to determine and characterize major lineaments in Cameroon. Pamuk and Özsöz (2022) used the derivated boundary analyses methods such as Tilt TA, AS, and THDR) to obtain the Curie point depth (CPD) values, heat flow, and the structural boundaries of Cyprus using EMAG2 magnetic data with methods. Aktaş (2025) used EMAG2 global magnetic grid data to determine the edges of structural elements in Lake Van and its surroundings. Jiao et al. (2025) used EMAG2-v3 magnetic anomalies to reveal the 3D crustal magnetic and lithological structure of the Eastern Himalayan Syntaxis.

Due to its geodynamic and tectonic structure, Türkiye has numerous active faults, some of which extend along the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) and the East Anatolian Fault Zone

(EAFZ) as well as the Aegean Extensional Region, possess the potential to generate earthquakes with magnitudes of 7.0 and above. Numerous destructive earthquakes have occurred in our country even within the last century (For example, the 1939 Erzincan earthquake (M7.9), the 1992 Erzincan earthquake (M6.9), the 1999 Gölcük (M7.4) and Düzce (M7.2) earthquakes, the 2011 Van–Erciş earthquake (M7.2), the 2020 Elazığ–Sivrice earthquake (M6.8), the 2020 Aegean Sea earthquake (M6.9), and the 2023 Kahramanmaraş earthquakes (M7.7 and M7.6)). The basin section, where the provincial center of Erzincan is located, consists of thick sedimentary and loose alluvial material formed due to fault movements along the NAFZ (Eyidoğan, 1993; Temiz, 2004; Uysal and Sunkar, 2024). This basin, which trends NW-SE with a length of 50 km and a width of approximately 15 km, is characterized as a pull-apart basin (Şengör, 1979; Aydın and Nur, 1982; Hempton and Dunne, 1984; Barka and Gülen, 1989; Akpınar, 2010) and encompasses the Erzincan Basin. The 1939 Erzincan Earthquake (M M7.9 to M8.0) is one of the largest earthquakes to occur in Anatolia during the last century, and According to Barka (1996), the westward progression of major earthquakes on the North Anatolian Fault began with this earthquake. The 1992 Erzincan earthquake, with a magnitude of 6.8, occurred within the Erzincan Basin a wide, complex, and thick sedimentary opening-extensional basin and along the Erzincan segment of the NAFZ (Eyidoğan, 1992).

In this study, I utilized EMAG2V3 magnetic data to reveal the the structural elements in and around the province of Erzincan. First, I applied reduction to pole (RTP) to the magnetic data. Then, the possible edges of subsurface geological structures were analyzed using derivative-based edge detection methods such as THDR, AS, and TA. The obtained results were evaluated together with the earthquake distribution, active fault zones, and magmatic rocks in the region. As a result, I made a geophysical interpretation of the

geological and tectonic structure of the Erzincan Basin and its surroundings based on magnetic data. Figure 1a, b shows the study area, its topography and active fault zones, and the locations of the magmatic geological units within the study area.

Methods and Data

Magnetic Method

Magnetic methods, based on differences in magnetic properties between geological units, have been widely used for many years in numerous earth sciences research areas, primarily in geology, tectonics, archaeology, and metallic mineral exploration. In this method, the total component of the magnetic field is usually measured, and the obtained values are given in nanoteslas (nT). Modeling and interpretation studies can be carried out using this method, taking advantage of the differences in magnetic susceptibility values of geological units. The observed magnetic anomaly values vary depending on susceptibility as well as the geometry, location, and depth of the target structure. In this context, accurately defining the boundaries of subsurface geological structures plays a critical role in modeling and interpreting magnetic anomaly data.

EMAG2 Global Magnetic Grid Data

In this study, I performed boundary analysis using the Global Magnetic Anomaly Grid (EMAG2). The EMAG2 dataset integrates magnetic measurements obtained from satellites, marine and airborne vehicles (Maus et al., 2009). These data have a spatial resolution of approximately 2 arc minutes, referenced at an altitude of ~4 km above sea level (Maus et al., 2009; Meyer et al., 2017). The EMAG2 data consists of 5 different data processing stages. These are, respectively; grid merging, processing of magnetic data obtained from airborne and shipborne measurements, and line leveling. Additionally, an anisotropic correlation model is applied in ocean regions, and data with wavelengths ≥ 300 –330 km are updated according to the latest satellite-derived lithospheric magnetic field model (Maus et al., 2008; Maus et al., 2009; Meyer et al., 2017).

EMAG2 data is widely used in tectonic and crustal research, boundary analysis and interpretation of geological structures. It is also widely used in geodynamic studies such as calculating Curie point depth (CPD), indirectly determining heat flow (Pamuk and Özsöz, 2022).

Derivative-Based Boundary Analysis Methods

Determining the edges of subsurface geological bodies is a important step in the accurate and reliable interpretation of ground, airborne, and satellite magnetic data, etc. For this purpose, numerous derivative-based methods are widely used in the literature to reveal structural edges using magnetic data. Examples include AS, THDR, 3D Euler deconvolution, Theta Map, and TA. In geophysics, magnetic RTP Reduction to the Pole (RTP) is applied to correct anomaly shifts in the Earth's magnetic field depending on the measurement latitude. The RTP transformation is performed using the inclination and declination angle values of the magnetic field, and the maximum anomaly is shifted directly onto the magnetic source. For the study area, I performed an RTP transformation, and after, mapped the RTP total field magnetic anomaly values. It is given in Figure 2b.

The Analytical Signal (AS) is calculated by combining the horizontal and vertical derivatives of the magnetic anomaly, as originally defined by Roest et al. (1992). The amplitude of the AS is given by the following equation (1):

$$|AS| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

Here, M represents the magnetic anomaly values, while $\partial M/\partial x$ represents the vertical derivative of the anomaly; $\partial M/\partial x$ and $\partial M/\partial y$ represent the horizontal derivatives. The analytical signal offers significant advantages in determining source boundaries because it

is largely independent of the magnetic field direction. THDR is defined as the combination of the derivatives of the magnetic anomaly in the horizontal directions and is particularly effective in highlighting vertical or near-vertical structural boundaries (Cordell and Grauch, 1985). The THDR is calculated using the following equation: (2):

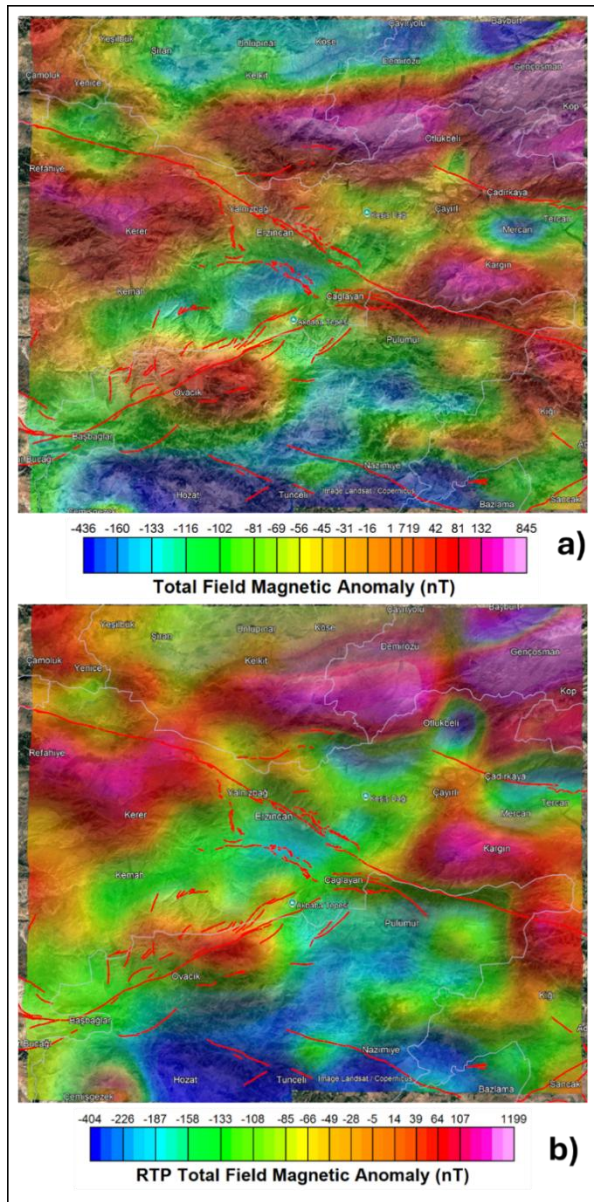
$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

In the Tilt Angle (TA) method, the ratio of the vertical derivative of the magnetic anomaly to the total horizontal derivative is used and its zero contours often correspond to geological structural edges (Miller and Singh, 1994). The TA is given as following eq. (3):

$$TA = \tan^{-1} \left(\frac{dM/dz}{THDR} \right) \quad (3)$$

Thanks to these features, TA, THDR and AS methods, when used together on RTP magnetic data, allow for a more reliable and detailed determination of the structures (Pamuk and Özsöz, 2022).

Figure 2. a) Total field magnetic anomaly map, b) Reduction to the Pole (RTP) total field magnetic anomaly distribution of the study area.



Results

The RTP-total field magnetic anomaly values more accurately reveals the location and distribution of structures causing magnetic anomalies in and around the Erzincan Basin. In the map, magnetic anomaly values range approximately between -400 nT and $+1200$ nT. This variation in the magnetic anomaly indicates the presence of lithological-geological units and tectonic structures with differing Magnetic properties in the Erzincan Basin and its surroundings. High positive magnetic anomalies (approximately $+300$ nT to $+1200$ nT) are particularly prominent in the north, northeast, and east of the Basin. Distinct positive anomalies were observed in the region between Refahiye and Kerer, the area between Kelkit-Demirözü-Otlukbeli, the Gençosman region, and around Kargın. These areas have been associated with potential magmatic rocks with high magnetic susceptibility, ophiolitic units, or regions where the magnetic basement is closer to the surface. Especially these high anomalies extending along the strike indicate the presence of magnetic sources uplifted along active fault zones (Figure 2b). Low and negative magnetic anomalies (approximately -400 nT to -100 nT) are predominantly observed within the Erzincan Basin and in around Hozat-Pülümür-Nazımiye regions. I interpreted as basin sections with thick alluvial infill, sedimentary units with low magnetic susceptibility, or regions where the magnetic basement is deeper (Figure 2b). Since the amplitude of the AS is largely independent of the magnetic field direction, the anomaly maximum generally coincides exactly with the top of the anomaly source. When I examined the AS map, it presents high-amplitude and continuous anomalies, particularly between Otlukbeli-Gençosman, Kargın-Tercan, and Refahiye-Kerer (Figure 3). The results indicate that the high anomaly values observed in the analytical signal correspond to shallow and mid-depth boundaries with significant

magnetic susceptibility contrasts. The prominence of analytical signal anomalies at the basin margins, especially the medium and high-amplitude AS values along the Refahiye–Erzincan trend, is consistent with active faults (Figure 3). Tilt angle (TA) is a derivative-based boundary analysis method calculated by taking the arctangent of the ratio between the vertical derivative and the total horizontal derivative of magnetic data. This process allows the edges of both strong and weak magnetic anomalies (from deep and shallow sources) to be displayed on the same scale. On tilt angle maps, 0 (zero) contours mostly correspond to the edges of magnetic sources or lithological contacts, while positive anomaly values show the interior of the magnetic source. Examining the tilt angle map, SW-NE trending structures are noteworthy in the Refahiye-Kelkit-Demirözü regions and the area between Kargın-Çağlayan-Ovacık-Başbağlar. I observed also high tilt angle values in the area between Kargın and Çayırılı. I obtained the locations and continuities of structures at both deep and shallow depths with the tilt angle map. Zero-tilt transitions observed particularly in and around the Erzincan Basin indicate sharp boundaries between the basin fill and the surrounding geological units with high magnetic susceptibility. The situation where these boundaries largely overlap with active faults shown in red lines in these regions demonstrates that fault zones create strong contrasts between magnetic units (Figure 4). The total horizontal derivative (THDR) is a derivative-based method that reduces sensitivity to deep magnetic sources while enhancing shallow structures with sharp contrasts. In THDR maps, maximum values are generally seen over lithological boundaries, faults, dykes, and contacts. Therefore, THDR is used to determine the horizontal positions of structural discontinuities rather than depth. In this study, THDR maxima are concentrated on SW-NE trending active faults, especially in the Çağlayan-Ovacık-Başbağlar region, north of Başbağlar, east of Pülümür, north of the Erzincan basin, and around Kelkit-Demirözü (Figure 5). These areas highly overlap with active

fault traces, indicating that magnetic source boundaries are controlled by active faults. The linear and continuous character of the THDR anomalies supports that these structures are effective tectonic lines on a regional scale. When the distribution of earthquakes exceeding magnitude 3, according to the Disaster and Emergency Management Authority of Türkiye (AFAD) is evaluated together with the zero contour of the tilt angle, it is seen that the earthquake foci are consistent with the tilt angle zero contours representing structural boundaries. The concentration particularly in the Erzincan basin and its southeast (Pülümür-Nazımiye-Kığı regions) shows that the earthquakes occur at the contacts of the structures causing the magnetic source (Figure 6).

Figure 3. Analytical Signal (AS) map of the study area (red lines represent active faults from Emre et al., 2013).

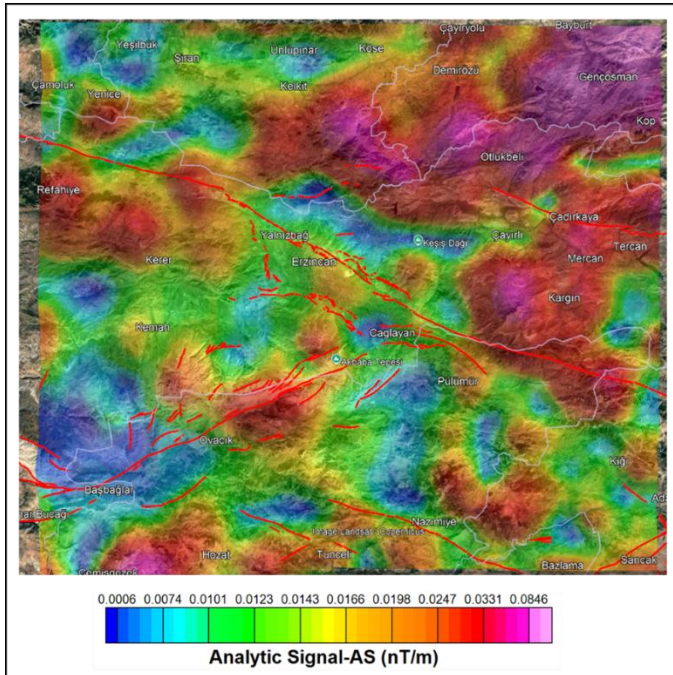


Figure 4. Tilt Angle (TA) map of the study area (solid black lines represent zero contours; red lines represent active faults from Emre et al., 2013).

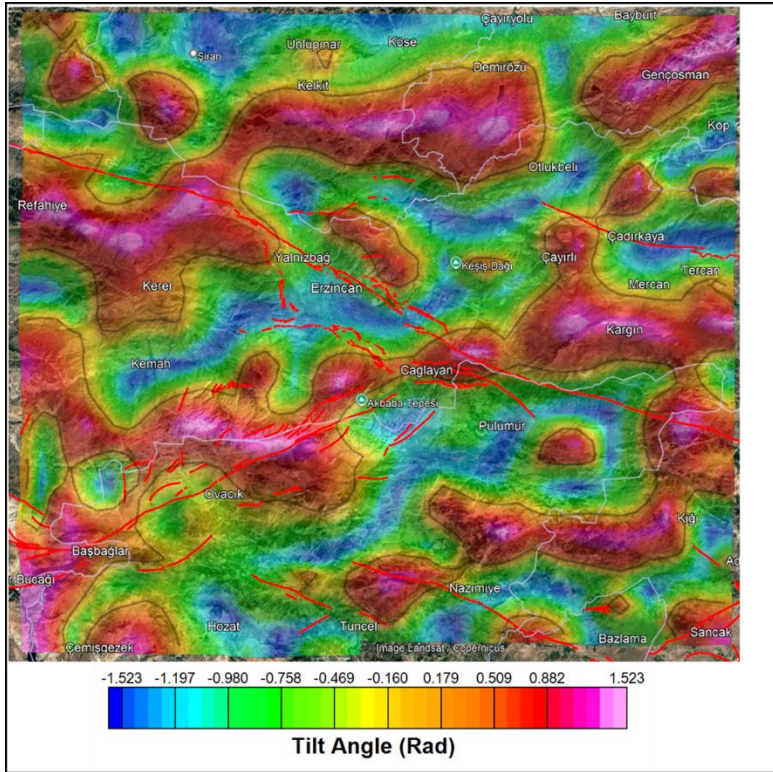


Figure 5. Total Horizontal Derivative (THDR) map of the study area (red lines represent active faults from Emre et al., 2013).

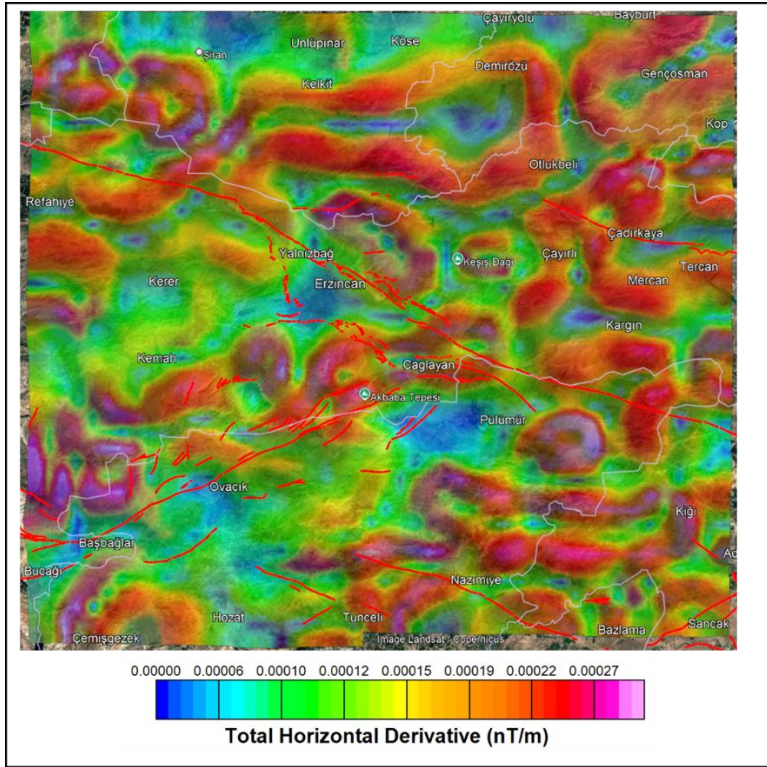
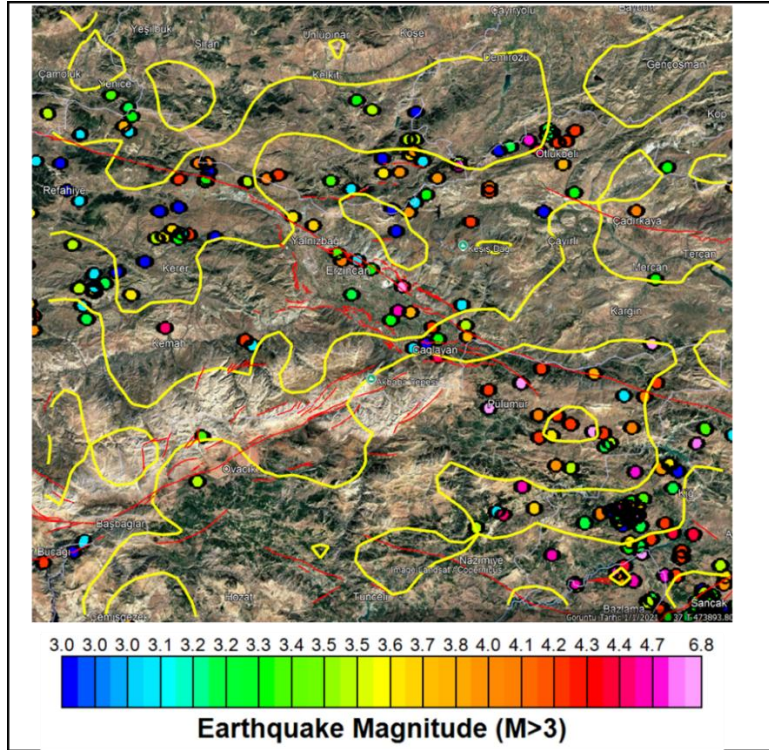


Figure 6. Distribution of $M > 3.0$ earthquakes in the study area overlaid with Tilt Angle zero contours (solid yellow lines represent zero contours; red lines represent active faults from Emre et al., 2013) (Earthquake data obtained from AFAD).



Conclusions

In this study, the integrated use of derivative-based edge detection methods on EMAG2 magnetic data has proven effective in the magnetic interpretation of the tectonic and geological structures of the Erzinçan Basin a pull-apart basin on the NAF and its surroundings. The combined application of Analytical Signal (AS) and Tilt Angle (TA) techniques allowed for the simultaneous determination of both shallow and deep-seated structural boundaries, such as lithological contacts and active fault segments.

In particular, the comparison between the zero contours of the tilt angle and earthquake distribution demonstrates that these geophysical boundaries correspond to active tectonic zones in certain regions. The fact that the analytical signal method is independent of the magnetic field direction enabled the determination of magnetic source locations and revealed that the high-amplitude anomalies observed at the basin margins are potentially associated with significant magnetic susceptibility contrasts located along the North Anatolian Fault Zone.

Although the EMAG2 dataset provides critical information for understanding the regional geodynamic environment, its resolution of 2 arc minutes remains limited to a regional scale. Its resolution is insufficient for small-scale studies. To identify smaller-scale structural features within the Erzincan Basin and improve the resolution of subsurface models, it is recommended that high-resolution aeromagnetic or ground-based magnetic measurements be used in future studies.

Acknowledgements

In this study, SRTM-1 digital elevation model was used for topography data provided by the NASA EOSDIS Land Processes DAAC. The Oasis montaj software was used magnetic data processing and boundary analysis of magnetic data. Earthquake data were taken from the Disaster and Emergency Management Authority (AFAD).

References

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ. E., Balcı,V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T.,Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ. H., Hakyemez, H.Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, ř., Sevin, M.,şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A.,Ulu, Ü., Uğuz, M. F., Yurtsever, A. T. (2011).1:1.250.000 scaled Geological map of Turkey.General Directorate of Mineral Research and Exploration Publication, Ankara-Turkey

Akpınar, Z. (2010). Erzincan Havzasının Tektonik Gelişiminin Paleomanyetik Yöntemlerle Analizi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Sivas. (in Turkish)

Aktaş, G. (2025). Edge Detection Analysis Using EMAG2 Magnetic Data in Lake Van and Its Surroundings, Türkiye. International Journal of Environment and Geoinformatics, 12(2), 25-33.

Armel, C. F. C., Mezoue, C. A., Pemi, M. M., Pierre, T. K. A., Nouayou, R., & Severin, N. (2022). Mapping of major tectonic lineaments across Cameroon using potential field data. Earth, Planets and Space (Online), 74(1).

Aydın, A., and Nur, A., 1982. Evolution of pull-apart basins and their scale dependence. Tectonics, 1, 91-105.

Barka, A. A., 1996. Slip distribution along the North Anatolian fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967, Bull. Seismol. Soc. Am., 86, 1238– 1254

Barka, A.A., ve Gülen, L., 1989. New constraints on the age and total offset of the North Anatolian Fault Zone: implications for tectonics of the Eastern Mediterranean Region, METU J. Pure Appl. Sci. 21, 39-63.

Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, Şaroğlu F. Active Fault Map of Turkey with an Explanatory Text, 1:1.250.000 scale. Ankara, Türkiye: General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication, 2013 Series-30.

Eyidoğan, H. 1992. 13 mart 1992 erzincan depreminin ana şok ve art sarsinti özellikleri üzerine bir tartışma. Jeofizik, 6(2), 103-112. (in Turkish)

Eyidoğan, H. 1993. 13 Mart 1992 Erzincan Depremi: Faylanma Mekanizması ve Depremin Yeri Üzerine Bir Tartışma. 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Sayfa: 404–415, 10 Mart 1993 Ankara. (in Turkish)

Hempton, M.R. ve Dunne, L.A., 1984. Sedimentation in pull-apart basins: active examples in eastern Turkey, J. Geol. 92, 513-530.

Jiao, L., Tu, J., Lei, Y., Zhao, J., & Wang, W. 2025. Crustal magnetic structure and implications for the Eastern Himalayan Syntaxis revealed by EMAG2-v3. Tectonophysics, 896, 230608.

Lei, Y., Jiao, L., Tu, J., Zhao, J., & Huang, Q. 2022. Magnetic structure and its tectonic implication around Longmenshan fault zone revealed by EMAG2v3. Frontiers in Earth Science, 10, 848824.

Maus, S., F. Yin, H. Lühr, C. Manoj, M. Rother, J. Rauberg, I. Michaelis, C. Stolle, and R.D. Müller (2008). Resolution of direction of oceanic magnetic lineations by the sixth-generation lithospheric magnetic field model from CHAMP satellite magnetic measurements, Geochem., Geophys., Geosys., 9, 7, <https://doi.org/10.1029/2008GC001949>.

Maus, S., U. Barckhausen, H. Berkenbosch, N. Bournas, J. Brozena, V. Childers, F. Dostaler, J.D. Fairhead, C. Finn, R.R. Bvon Frese, C. Gaina, S. Golynsky, R. Kucks, H. Lühr, P. Milligan, S. Mogren, R.D. Muller, O. Olesen, M. Pilkington, R. Saltus, B.

Schreckenberger, E. Thebault and F.C. Tontini (2009). EMAG2: A 2-arc min resolution EarthMagnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne, and marine magnetic measurements. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 10, 8, <https://doi.org/10.1029/2009GC002471>

Meyer, B., Saltus, R., & Chulliat, A. 2017. EMAG2v3: Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution). Version 3. NOAA National Centers for Environmental Information. <https://doi.org/10.7289/V5H70CVX>. Accessed [10.12.2025].

Miller, H. G., & Singh, V. 1994. Potential field tilt—a new concept for location of potential field sources. *Journal of applied Geophysics*, 32(2-3), 213-217.

Njeudjang, K., Yandjimain, J., Bouba, A., Djousse Kanouo, B. M., Teikeu, W. A., Djongyang, N., & Ndougsa-Mbarga, T. 2022. Subsurface tectonic inferences of the Adamawa region of Cameroon from EMAG2 magnetic data. *International Journal of Geophysics*, 2022(1), 8451725.

Pamuk, E., & Özsöz, İ. 2022. Estimation of Curie-point depths and heat flow from spectral analysis of EMAG2 magnetic data in Cyprus Island. *Annals of Geophysics*, 65.

Roest, W. R., Verhoef, J., & Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57(1), 116-125.

Şengör, A.M.C., 1979. The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc. London* 136, 269–282

Temiz, H. 2004. The role of thrust ramp reactivation in pull-apart mechanism of the Erzincan basin, North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Geodinamica Acta*, 17 (3), 219-228.

Uysal, A., & Sunkar, M. 2024. Erzincan Ovası Ve Çevresinin Depremselliği İle Depremlerin Mekânsal Ve Yoğunluk Analizleri. Fırat University Journal of Social Sciences, 34(2), 419-436. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.1451933> (in Turkish)

BÖLÜM 3

MORPHOMETRY OF THE KÖPRÜÇAY WATERSHED (WESTERN MEDITERRANEAN), TÜRKİYE

ABDELHADI DRIBAT ¹

AYLA BOZDAĞ ²

Introduction

Watershed morphometry, which involves the quantitative analysis of a basin's geometric, topographic, and relief characteristics, is fundamental for understanding hydrological processes, geomorphological behavior, and informing sustainable watershed management. Parameters such as drainage density, stream frequency and bifurcation ratio are particularly important for evaluating runoff potential, soil erosion susceptibility, and flood risks. The Köprüçay watershed, located in the western Mediterranean region of Turkey, exhibits a complex terrain shaped by steep slopes, dissected landforms, and diverse lithological formations, making it an ideal subject for morphometric investigation. Despite its environmental

¹ Abdelhadi DRIBAT, Konya Technical University, Graduate Education Institute, Department of Geological Engineering, Orcid: 0000-0003-2579-5324

² Prof. Dr. Ayla BOZDAĞ, Konya Technical University, Department of Geological Engineering. ORCID: 0000-0002-6114-0678

and socio-economic significance, especially regarding water resources, agriculture, and ecological balance, comprehensive quantitative studies of the basin remain scarce. This study therefore aims to provide a detailed morphometric analysis of the Köprüçay watershed by integrating traditional cartographic methods with modern Geographic Information System (GIS)-based techniques. It is thought that the results will improve the understanding of the hydrological behavior and geomorphological dynamics of the basin and provide valuable information for sustainable water resources management, soil protection and flood mitigation strategies in the region.

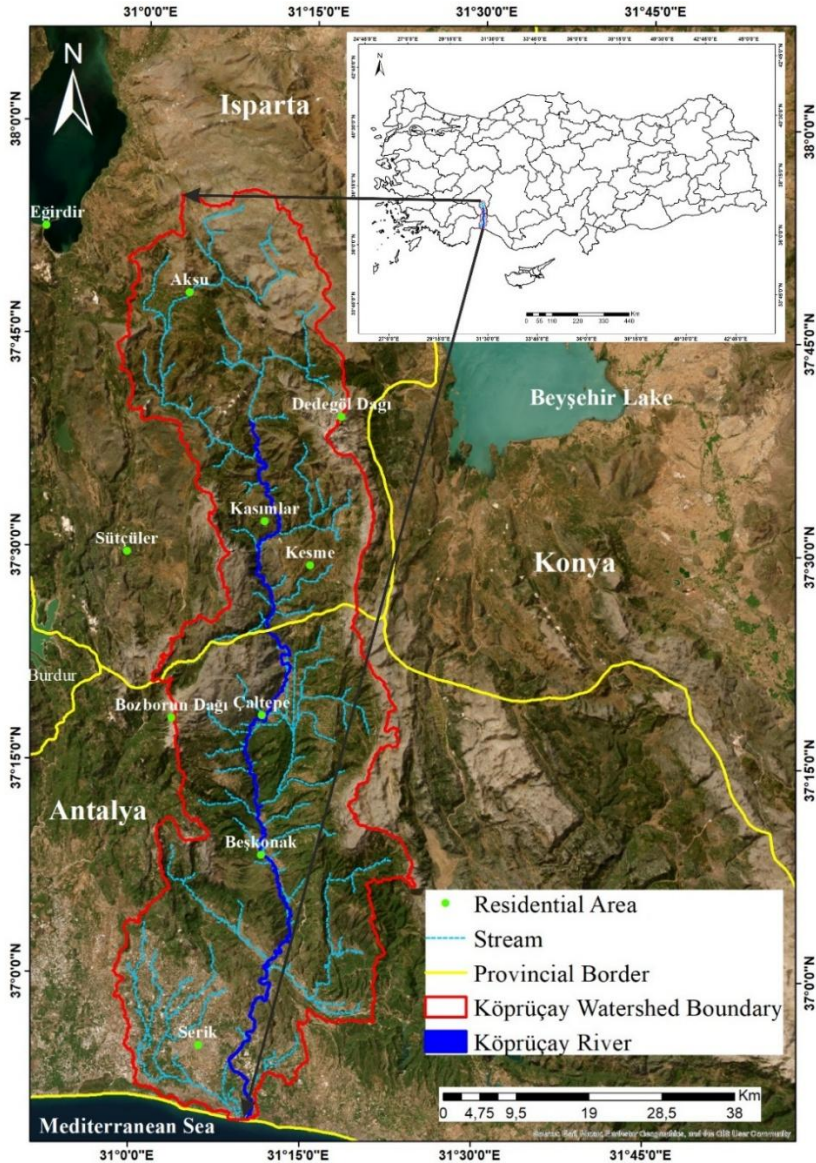
Physical Characteristics of the Köprüçay Watershed

Köprüçay Watershed Area: Accurate and reliable determination of the surface area of the Köprüçay Basin is of great importance for evaluating its hydrological potential. In this study, Digital Elevation Model (DEM) data obtained from Global Mapper were used to calculate the basin surface area. These high-resolution data were processed using ArcGIS geographic information systems software, and the basin boundaries were precisely delineated. As a result of the analyses, the total surface area of the Köprüçay Basin is 2,898.25 km² (Figure 1). This value has been considered a fundamental parameter in the management of water resources in the region and other related matters.

Köprüçay Watershed Perimeter: The perimeter of a basin is an important parameter in morphometric analyses of drainage basins and has direct impact on factors such as basin shape, drainage density, and slope characteristics. Accordingly, the perimeter of the Köprüçay Basin was calculated using ArcGIS software, based on data obtained with the help of Global Mapper. Based on the digitally delineated basin boundaries using DEM data, the perimeter of the basin is measured at 412.93 km. This length provides valuable

insights not only into the hydrographic structure of the basin but also into the direction and duration of water flow within it.

Figure 1 Location map of Köprüçay Watershed



Form Factor (Rf): The form factor is one of the most important parameters used to express the morphometric and hydrological shape characteristics of drainage basins quantitatively. Defined by Horton (1932), this parameter represents the ratio of the basin area (A) to the square of the basin's maximum length (Lb), thereby illustrating the relationship between basin shape and hydrographic behavior (Horton, 1932; Kutukcu et al., 2015; Coşkun & Öztürk, 2022).

The form factor is a significant indicator for understanding the relationship between basin morphology and flow behavior. An Rf value close to zero indicates an elongated basin, implying that surface runoff will take longer to reach the main channel and resulting in relatively lower peak discharges. Conversely, an Rf value approaching one suggests a circular basin shape, where runoff rapidly converges into the main channel, increasing peak flow intensity and flood potential (Kutukcu et al., 2015; Sidral & Zende, 2016; Rai et al., 2018).

Low form factor values are generally associated with long-term, stable hydrological regimes, whereas high values can lead to short-duration but high-intensity flows (Utlü, 2014; İmamoğlu, 2020). For the Köprüçay Basin, based on field and GIS-based measurements, the total basin area is 2898.25 km², and the maximum basin length is 121 km, yielding a calculated Rf value of approximately 0.20. This value clearly indicates that the Köprüçay Basin has an elongated form. Consequently, the basin's hydrological behavior is expected to be relatively stable, with lower flood peaks.

Stream Frequency (Fs): Stream frequency defined by Horton (1945) is expressed as the ratio of the total number of stream segments (Nu) to the basin area (A). It represents the number of stream channels per unit area within a basin and is calculated as:

$$F_s = \frac{\sum N_u}{A}$$

Where Nu is total number of stream segments, A is basin area (km^2)

Morphometric analysis of the Köprüçay Basin revealed a total of 489 stream segments, with a basin area of 2898.25 km^2 , resulting in an F_s value of approximately 0.17. This low F_s value indicates that the basin has a sparse drainage network. Such low values are typically associated with permeable lithological structures, high infiltration capacity, and relatively low relief. Therefore, in the Köprüçay Basin, the limited surface runoff, the dominance of subsurface flow processes, and the influence of relatively dense vegetation suggest that infiltration plays a significant role in the basin's hydrological regime. The low stream frequency is consistent with the geomorphological and hydrogeological characteristics of the basin, which are shaped by permeable lithology, moderate relief, and substantial vegetation cover.

Elongation Ratio (R_e): The elongation ratio (R_e) is a morphometric parameter used to describe the relationship between basin shape and hydrological behavior (Schumm, 1956). It is defined as the ratio of the diameter of a circle with the same area as the basin to the basin's maximum length (the distance from the source to the outlet), calculated as follows (Altıparmak & Türkoğlu, 2018):

$$R_e = 2/L_m \times [A/\pi]^{0.5}$$

Where L_m is Basin length (km), A is basin area (km^2).

A R_e value approaching 1 indicates a circular basin shape, while smaller values signify an elongated basin form (Reddy et al., 2004; Karataş, 2014). The Köprüçay Basin has a length of 412.93 km and an area of 2898.25 km^2 , resulting in an elongation ratio of approximately 0.15. Low R_e values are typically associated with dendritic drainage networks, where water flows swiftly through the system and sediment transport rates are relatively high (Utlü, 2014). Accordingly, the Köprüçay Basin's low elongation ratio and

elongated morphology indicate a higher susceptibility to erosion and flooding.

The R_e value calculated for the basin provides an important reference for watershed management, flood risk assessment, and sustainable water management planning. The elongated shape and dendritic drainage pattern of the Köprüçay Basin highlight the areas with steep slopes and high erosion potential, particularly in the sub-basins.

Drainage Density (Dd): Drainage density is one of the fundamental morphometric parameters that illustrates the development of drainage networks, their relationship with topography, and surface runoff characteristics. The concept, introduced by Horton (1932, 1945), represents the ratio of the total length of all streams in a basin to its total area. It is mathematically expressed as:

$$D_d = \frac{\sum L_x}{A}$$

Where D_d is drainage density (km/km²); L_x is total length of all stream segments (km) and A is basin area (km²).

In the Köprüçay Basin, GIS-based measurements determined that the total stream length is 834.74 km, while the basin area is 2898.25 km². Based on these values, the calculated drainage density is 0.29 km/km². According to the classification by Malik et al. (2011):

0–2 → Low drainage density

2–2.5 → Moderate

2.5–3 → High

3 < → Very high

Low drainage density is typically associated with lithological and structural controls such as high permeability, thick vegetation

cover, and gentle topographic gradients (Altıparmak & Türkoğlu, 2018; Çıtak & Kılıç, 2023). Calculated low drainage density value of the Köprüçay basin suggests that surface runoff across the basin is limited, and infiltration plays a dominant role in subsurface flow processes.

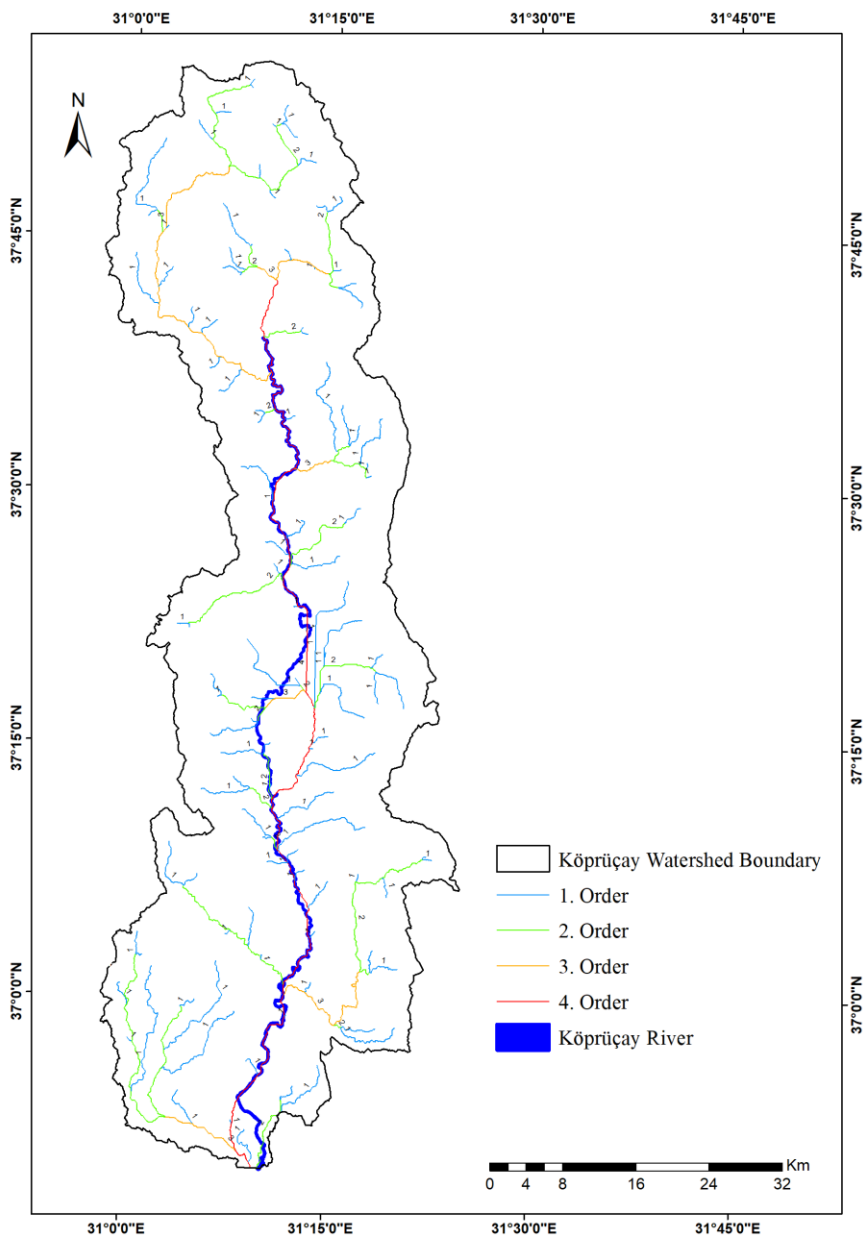
Stream Order: Stream ordering is a crucial method used to classify the hierarchical arrangement of streams within a drainage basin. It provides insight into the degree of basin development, water collection capacity, and potential flood behavior.

The method developed by Strahler (1957) assigns first-order status to unbranched streams. When two streams of the same order meet, a stream of the next higher order is formed. However, when streams of different orders join, the higher order is retained (Strahler, 1957; Leopold et al, 1964). The stream network within the Köprüçay Basin was analyzed using Strahler's (1964) ordering method, processed with ArcGIS software. The analysis revealed that the basin's stream system comprises four stream orders, indicating a moderately developed drainage network (Figure 2).

The distribution and hierarchy of the Köprüçay drainage system play an essential role in understanding the basin's hydrological response and the connectivity between sub-basins. Higher-order streams indicate integrated drainage evolution, while lower-order streams signify localized, steeper catchment areas with higher runoff rates.

Bifurcation Ratio (Rb): The bifurcation ratio (Rb) represents an essential morphometric used to quantitatively describe the branching pattern of a drainage network. It serves as an indicator of both the geological homogeneity and hydrological characteristics of a basin, and it is particularly valuable in assessing flow regimes and flood potential (Strahler, 1964). The bifurcation ratio between stream orders is defined as:

Figure 2 Stream orders of the Köprüçay Watershed generated based on the Strahler (1964) method.



$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Where N_u is number of streams of a given order, N_{u+1} is number of streams of the next higher order.

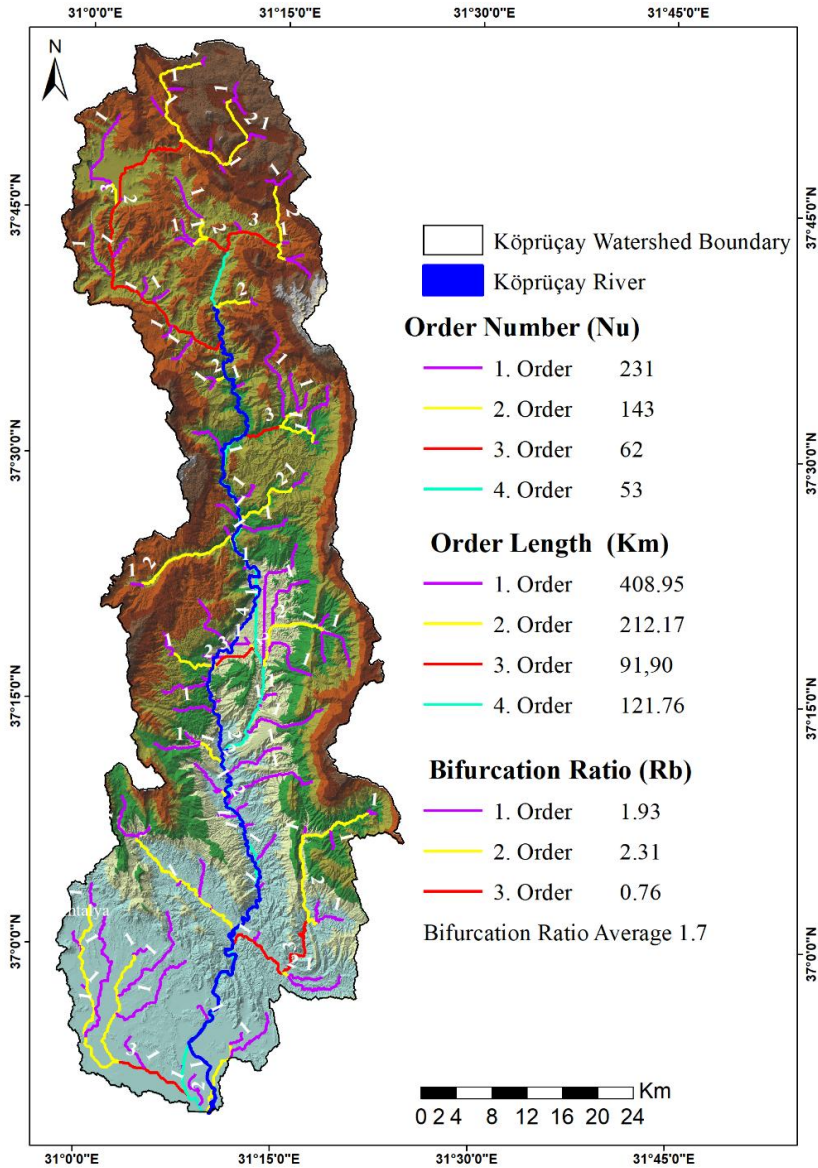
The overall bifurcation ratio for a basin is determined by averaging the Rb values for all successive orders (Schumm, 1956; Coşkun & Öztürk, 2022). The Rb value provides insights into geological control, infiltration capacity, drainage texture, and flow characteristics (Erdede & Öztürk, 2016). According to Strahler (1964) and Verstappen (1983), the average bifurcation ratio in structurally homogeneous basins typically ranges between 3 and 5. Lower values indicate resistant lithologies and homogeneous rock structures, while higher values (>5) suggest structural control and potential for higher erosion and flash flood activity (Chandrashekar et al., 2015; Altıparmak & Türkoğlu, 2018).

For the Köprüçay Basin, the mean Rb value was calculated as 1.7, which is considerably lower than the typical range (Figure 3). This indicates that the basin is dominated by geologically homogeneous and resistant lithologies. The low bifurcation ratio thus highlights the Köprüçay basin's susceptibility to sudden flood peaks and the need to consider this parameter in flood risk assessments.

Drainage Texture Ratio (R_t): The drainage texture ratio (R_t) is a morphometric parameter used to evaluate the hydrological characteristics and flow dynamics of a drainage basin. It represents the total number of stream segments (N_u) per unit basin area (A), and it is expressed mathematically as:

$$R_t = \frac{N_u}{A}$$

Figure 3 The bifurcation ratio and values of the Köprüçay Watershed generated according to the Strahler (1964) method.



Where Nu is total number of stream segments, A is basin area (km^2).

The Rt value reflects the degree of drainage dissection and provides insight into infiltration capacity, runoff intensity, and potential flood hazards (Çıtak & Kılıç, 2023; Yılmaz, 2022). According to Smith (1950), the classification of drainage texture ratio and corresponding hydrogeological characteristics is as follows (Table 1):

Tablo 1 The classification of drainage texture ratio and corresponding hydrogeological characteristics (Smith, 1950)

Rt Value	Drainage Texture Class	Hydrological Characteristics
$Rt < 2$	Very Coarse	High infiltration, low surface runoff
$2 \leq Rt < 4$	Coarse	Moderate infiltration and runoff
$4 \leq Rt < 6$	Moderate	Low infiltration, increasing surface runoff
$6 \leq Rt < 8$	Fine	Low infiltration, high surface runoff
$Rt \geq 8$	Very Fine	Very low infiltration, very high surface runoff

For the Köprüçay Basin, the total number of stream segments is 489, and the basin area is 2898.25 km², resulting in an Rt value of 0.17. This very low Rt value places the basin in the very coarse drainage texture class. It indicates that the Köprüçay Basin has low drainage density, high infiltration capacity, and limited surface runoff. Consequently, flood potential is relatively low, and much of the precipitation infiltrates into subsurface aquifers.

The Rt parameter is particularly important for flood management and land-use planning. In basins with low Rt values, surface runoff is minimal, leading to reduced flood hazards; however, in basins with high Rt values, flood risks increase significantly. The Köprüçay Basin’s low Rt value thus suggests a strong natural drainage capacity and high groundwater recharge potential.

Hypsometric Curve and Integral (Hi): Hypsometric analysis is an important method for assessing the topographic and morpho-dynamic characteristics of a drainage basin. The hypsometric curve illustrates the distribution of relative elevation (h/H) against the

relative area (a/A), and it was first developed by Strahler (1952) to evaluate the geomorphic evolution of basins.

Here h is elevation of a specific point above sea level; H is maximum basin elevation; a is area above elevation h ; A is total basin area. Normalization of these ratios allows for comparison between basins of different sizes. Hypsometric curves are also closely linked to lithology, hydrology, climate, and tectonic processes, providing valuable insights into erosion potential, surface stability, and watershed evolution (Weissel et al., 1994). According to Strahler (1964), convex-shaped curves represent youthful stages, S-shaped curves indicate mature stages, and concave curves correspond to old geomorphic stages (Willgoose & Hancock, 1998).

The hypsometric integral (H_i) quantifies the shape of the curve numerically and is calculated using the formula (Strahler, 1952):

$$H_i = (\bar{H} - H_{\min}) / (H_{\max} - H_{\min})$$

Where $\bar{H}$ is mean elevation of the basin; $H_{\min}$ is minimum elevation; $H_{\max}$ is maximum elevation. Based on the classification by Keller & Pinter (2002):

$H_i > 0.6 \rightarrow$ Youthful stage

$0.35 \leq H_i \leq 0.6 \rightarrow$ Mature stage

$H_i < 0.35 \rightarrow$ Old stage

The results of the hypsometric analysis provide significant data for evaluating the morpho-dynamic development processes of the basin and the potential tectonic influences that have shaped its evolution. Therefore, hypsometric data serve not only scientific purposes but also constitute a valuable tool for sustainable watershed management and planning. The hypsometric map of the Köprüçay Basin (Figure 4) and the corresponding hypsometric curve derived

from this map (Figure 5) clearly reveal the detailed topographic characteristics of the basin. The calculated hypsometric integral value for the Köprüçay Basin is 0.44, indicating that the basin is geomorphologically in or approaching a mature stage of development. The relatively balanced slope of the curve suggests that surface forms have largely stabilized, and that active vertical incision is limited.

Conclusion

The morphometric analysis of the Köprüçay Basin indicate that the basin is currently in an advanced stage of geomorphological evolution, approaching a mature landscape development. The hypsometric integral value ($H_i = 0.44$), together with the gently rising and relatively balanced hypsometric curve, reflects a geomorphic system that has largely stabilized, showing limited vertical incision due to reduced tectonic activity and the predominance of lateral erosion and surface leveling processes.

The basin exhibits an elongated geomorphic shape ($R_f \approx 0.20$; $R_e \approx 0.15$), characterized by a dendritic drainage pattern, low drainage density ($D_d = 0.29 \text{ km/km}^2$), stream frequency ($F_s = 0.17$), very coarse drainage texture ($R_t = 0.17$) and a low bifurcation ratio ($R_b = 1.7$). Collectively, these indices suggest high infiltration capacity, limited surface runoff, and a near-steady hydrological regime in which subsurface and baseflow components dominate.

The dendritic network with four orders also shows moderate drainage development. However, despite the overall maturity of the system, localized areas with relatively steeper slopes and structural or lithological controls may exhibit higher erosion susceptibility, particularly where channel gradients, relief contrasts, or anthropogenic disturbances enhance erosive forces.

Figure 4 Hypsometric map illustrating the elevation distribution of the Köprüçay Watershed

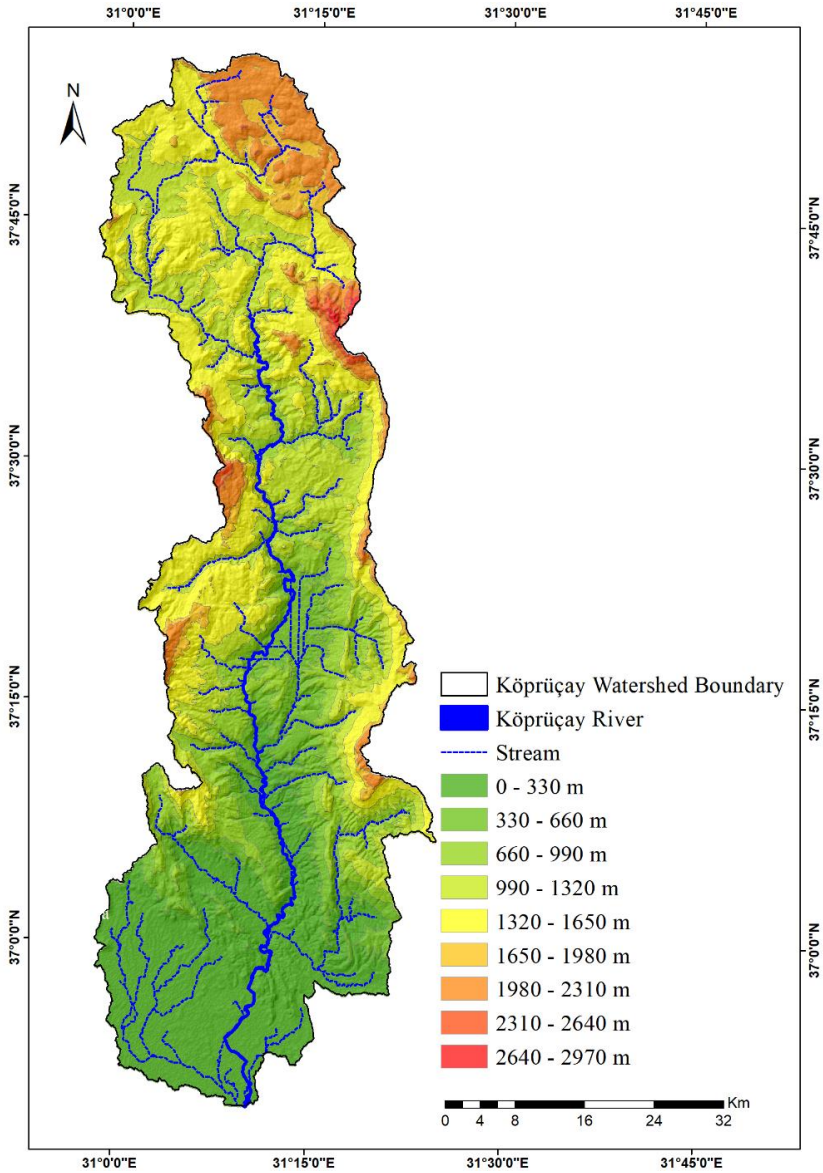
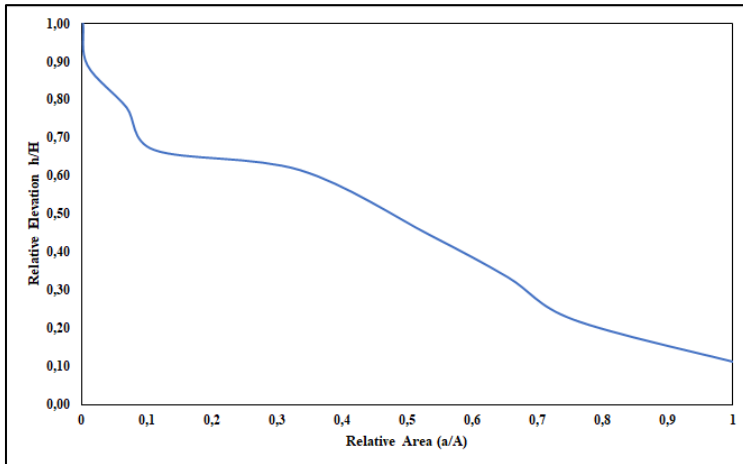


Figure 5 Hypsometric curve representing the hypsometric relationship of the Köprüçay Watershed



Overall, the Köprüçay Basin represents a relatively stable, natural and mature geomorphic system. The results provide a sound base for sustainable watershed management, flood-risk mitigation, soil- erosion control strategies, and regional planning. The study emphasizes the critical importance of integrating morphometric and geomorphological assessments into environmental management, hazard mitigation, and water-resource allocation to strengthen ecological resilience, optimize hydrological functioning, and support long-term landscape sustainability.

Kaynakça/References

Altıparmak, S. ve Türkoğlu, N. (2018). Yakacık Çayı Havzasının (Hatay) Morfometrik Analizi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 58(1), 353-374.

Chandrashekar, H., Lokesh, K. V., Sameena, M., roopa, J., Ranganna, G. (2015). GIS –Based Morphometric Analysis of Two Reservoir Catchments of Arkavati River, Ramanagaram District, Karnataka. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 1345–1353.

Coşkun, M., Öztürk, A. (2022). Havza önceliklendirmesi bakımından Ermenek Çayı Havzası ve Gökçay Havzasının karşılaştırmalı morfometrik analizi. *Turkish Journal of Forestry*, 23(1): 1-10. DOI: 10.18182/tjf.1024569.

Çıtak, S., ve Kılıç, M. O. (2023). Yukarı Çekerek Havzası'nın Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Jeomorfometrik Analizi. *Multidisipliner Yaklaşımlarla Coğrafya Dergisi*, 1(4), 262-279.

Erdede, B. ve Öztürk, D. (2016). Kızılırmak Havzasının Taşkın Potansiyelinin Çizgisel, Alansal ve Rölyef Morfometrik İndisler Kullanılarak Değerlendirilmesi. 6. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu* (UZAL-CBS 2016), Adana.

Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Eos, transactions american geophysical union*, 13(1), 350-361.

İmamoğlu, A. (2020). Alaca Çayı Havzası Erozyon Durumunun Morfometrik Ölçümler ile İlişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 868-878.

Karataş, A. (2014). Karasu Çayı Havzasının Hidrografik Planlaması, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.

Keller, E. A., Pinter, N. (2002). Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape / Edition 2. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, 362.

Kutukcu A., Kaya S., Kabdasli S., Gazioglu C. (2015). Nehir Havzalarının Morfolojik Karakteristiklerinin CBS Destekli Nümerik Modeller Kullanılarak Analizi, *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs 2015 / Konya.

Leopold. L. B., Wolman. M. G., Miller J. P. (1964). *Fluvial Processes In Geomorphology*. WH Freeman and Company; San Francisco and London.

Malik, M. I., Bhat, M. S., Kuchay, N. A. (2011). Watershed based drainage morphometric analysis of Lidder catchment in Kashmir valley using geographical information system. *Recent Research in Science and Technology*, 3(4), 118–126.

Rai, P.K., Chandel, R.S., Mishra, V.N., Singh, P. (2018). Hydrological inferences through morphometric analysis of lower Kosi river basin of India for water resource management based on remote sensing data. *Applied Water Science*, 8: 1-16. DOI: 10.1007/s13201-018-0660-7.

Reddy, G. P. O., Maji, A. K. and Gajbhiye, K. S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India-a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1), 1-16.

Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*, 67(5), 597-646.

Sidral, A., Zende, A.M. (2016). Quantitative evaluation of morphometric parameters of Sakli River using geospatial techniques. *National Conference on Water Resources and Flood Management with special reference to Flood Modelling*, October 14-15, SVNIT Surat, pp. 1-14.

Smith, K. G. (1950) Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science*, 248(9), 655–668.

Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans American Geophysical Union*, 38, 913-920.

Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel net work. In: Chow, V., Ed., *Handbook of Applied Hidrology*, McGraw Hill Newyork, 39-76.

Utlu M. (2014). Namnam ayı Havzasinin Uygulamali Hidrografya zellikleri, İstanbul Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, 138 s.

Verstappen, H. T. (1983). Applied eomorphology: geomorphological surveys for environmental development (No. 551.4 VER).

Willgoose, G., Hancock, G. (1998). Revisiting the hypsometric curve as an indicator of form and process in transport-limited catchment. *S. Earth Surf. Process. Landf.* 23, 611-623.

Yılmaz M. (2022). Karasu ayı Havzası'nın Hidrografyası, *Yüksek Lisans Tezi*, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Ana Bilim Dalı, 109s.

BÖLÜM 4

SEPIYOLİT (LÜLETAŞI) MİNERALİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ ve KULLANIM ALANLARI

1. HÜSEYİN SENDİR¹

Giriş

Ticari olarak sepiyolit adıyla bilinen lületaşı, benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde yüzyıllardır ilgi odağı olan hidratlı bir magnezyum silikat kil mineralidir (Hamid vd., 2021) (Şekil 1).

Şekil 1 Sepiyolit (Lületaşı) Minerali

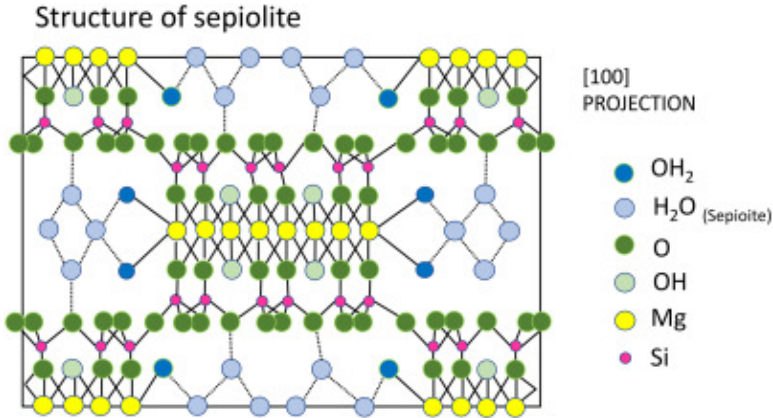


Kaynak: <https://stonesn.com/tr/dogal-taslar/luletasi/>

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Orcid: 0000-0001-7252-7117

Meerschaum terimi, Almanca'da “deniz köpüğü” anlamına gelen sözcükten türemiş olup, mineralin düşük yoğunluklu, gözenekli yapısını ve taze çıkarıldığında sergilediği beyaz rengini tanımlamaktadır. Mineralojik açıdan sepiyolit, kaolinit ve montmorillonit gibi tabakalı kil minerallerinden belirgin biçimde ayrılan, lifsi kristal morfolojiye sahip bir fillosilikat olarak sınıflandırılmaktadır (Hamid vd., 2021). Sepiyolitin lifsi yapısı, mikro ve nano ölçekte gelişmiş kanallardan oluşan üç boyutlu bir ağ sistemi meydana getirerek, minerale yüksek özgül yüzey alanı, üstün adsorpsiyon kapasitesi ve düşük yoğunluk gibi ayırt edici özellikler kazandırmaktadır (Zhu vd., 2021; Ruiz vd., 2023) (Şekil 2).

Şekil 2 Sepiyolitin yapısı



Kaynak: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/sepiolite>

Bu özgün yapısal ve fizikokimyasal özellikler, lületaşının tarihsel süreçte geleneksel el sanatlarında yaygın biçimde kullanılmasını sağladığı gibi, günümüzde çevresel, kimyasal ve endüstriyel uygulamalardaki artan önemini de açıklamaktadır (Zhu vd., 2021). Yüzyıllardır Türkiye'nin Eskişehir yöresinde çıkarılan lületaşı, yalnızca önemli bir doğal kaynak olmanın ötesinde, Anadolu zanaatkarlığının, kültürel kimliğinin ve estetik anlayışının simgesel bir temsilcisidir. Tarihsel süreç boyunca ustalar, bu minerali zarif pipolar, süs eşyaları ve dini objelere dönüştürerek sanat, gelenek ve toplumsal kimliğin kesişiminde özgün bir üretim ve ifade kültürü

oluşturmuşlardır. Sepiyolit, kimyasal olarak $Mg_2SiO_3O_8 \cdot 2H_2O$ formülüne sahip, lifsi yapıda bir kil mineralidir. Türkiye’de hem sedimanter hem de hidrotermal kökenli yataklar şeklinde yayılım göstermektedir (Şekil 1) (İrkeç, 1988; Ece ve Çoban, 1994).

Jeolojik ve Mineralojik Özellikler

Sepiyolit oluşumu genellikle Mg bakımından zengin dolomit, manyezit ve opal içeren ortamlarda, alkali karakterli ($pH \approx 8$) göl ve bataklık koşullarında gerçekleşmektedir. Volkanik malzemenin ayrışmasıyla açığa çıkan Mg^{2+} ve Si^{4+} iyonları, uygun sıcaklık ve pH koşullarında çökerek sepiyolit minerali oluşturur (Bellanca et al., 1993; Kadir et al., 2002).

Türkiye’deki sepiyolit yatakları sedimanter (SED), hidrotermal (HYD), ornatma (REP) ve diyajenetik (DIA) tipler şeklinde sınıflandırılmaktadır (Ünlü et al., 1995). Miyosen döneminde Batı ve Orta Anadolu’nun büyük bölümü büyük göllerle kaplıydı ve etrafı bataklıklarla çevriliydi. Bu ortam sepiyolit oluşumu açısından özel önem taşıyordu. Özellikle Eskişehir–Sivrihisar, Konya–Yunak ve Ankara–Polatlı bölgelerinde endüstriyel ölçekte işletilen yataklar bulunmaktadır (Gençoğlu & İrkeç, 1993) (Kadir ve diğ., 2017) (Şekil 3).

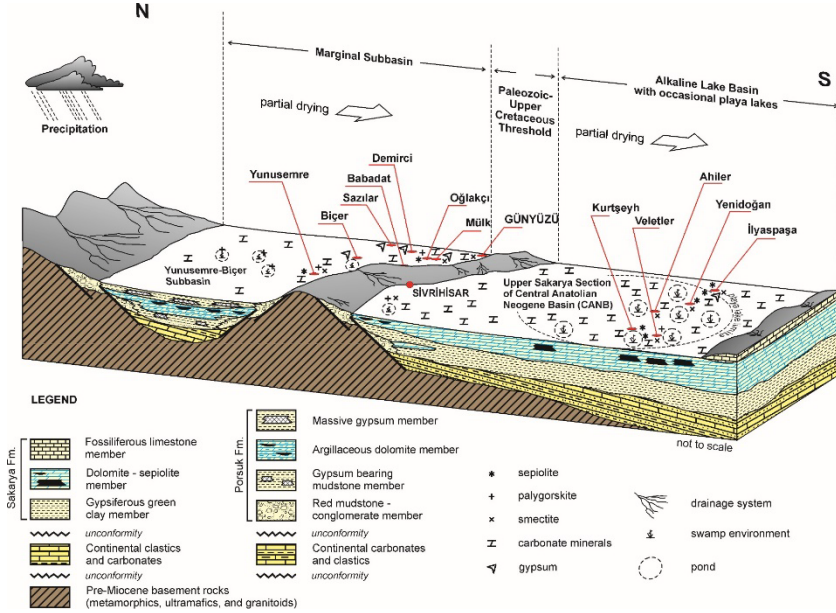
Lületaş Oluşumu ve Fasiyes Tipleri

Sepiyolitın özel bir formu olan lületaş (meerschau), Pliyosen yaşlı konglomeralar içinde nodüller halinde bulunur. Bu nodüller, manyezit çakıllarının yeraltı suyundaki silis ile yer değiştirmesi sonucu oluşmaktadır (Yeniyol, 1992; Yalçın & Bozkaya, 2004). Oluşum genellikle ofiyolitik kayaçların bozduğu ultramafik zeminlerde gerçekleşir.

Yapılan araştırmalarda sepiyolitın dört ana fasiyes tipi tanımlanmıştır: kahverengi, bej, beyaz ve sepiyolitli dolomit fasiyesleri. Bu tiplerin farklı organik madde içerikleri ve çökeltme

ortamları mineralin endüstriyel kalitesini belirler (Gençoğlu & İrkeç, 1993; Akbulut & Kadir, 2003).

Şekil 3 Yunusemre-Biçer ve Sivrihisar (Eskişehir) basenlerinin oluşum modeli



Kaynak: modeli (Kadir ve diğ., 2017).

Sedimanter Sepiyolitler

Dolomit-sepiyolit üyesi içindeki sepiyolit konsantrasyonlarının farklı fasiyeslerde oluşması, mineralin endüstriyel kalitesinin belirlenmesinde önemli bir kriterdir.

Dolomit-sepiyolit üyesi içerisinde kabaca dört tip sepiyolit konsantrasyonu ayırt edilebilir:

1) Kahverengi ve siyah dolomitik sepiyolit-saf sepiyolit, organik madde kalıntısı bakımından zengin sepiyolit

(Sepiyolit $\geq$ %90; Dolomit $\leq$ %10)

2) Bej renkli dolomitik sepiyolit-saf sepiyolit, organik madde içermeyen sepiyolit

(Sepiyolit $\approx$ %70-90; Dolomit $\approx$ %10-30)

3) Beyaz dolomitik sepiyolit

(Sepiyolit $\approx$ %50-70; Dolomit $\approx$ %30-50)

4) Sepiyolitli dolomitler, alkali ve playa göllerinin kısmen kuruması sonucu oluşan sepiyolitler

(Sepiyolit $\leq$ %10-50; Dolomit $\approx$ %50-90)

Yüksek miktarda Ca^{+2} , Mg^{+2} ve Si^{+4} , çevredeki temel kayalardan yer yer birbirine bağlı olan alkali göllere iyonik halde taşınmıştır. Kireçtaşının çökmesi için kenar zonlarda Ca^{+2} tüketilmesiyle, iç zonlarda göreceli Mg^{+2} konsantrasyonu önemli ölçüde artmıştır. Si^{+4} konsantrasyonunun yeterli olduğu durumlarda dolomit ve sepiyolitik dolomitin çökelişi olmaktadır (Gençoğlu ve İrkeç, 1994).

Temel kayalardan uzakta, merkez bölgede yer alan alkali göllerin kısmen kuruması sonucu oluşan küçük playa göllerinde (dolomit gölleri) manyezit+sepiyolit ve manyezit+dolomit+sepiyolit parajenezleri oluşabilmektedir. Bu göllerde pH oldukça yüksek olup, Mg^{+2} konsantrasyonu maksimuma ulaşmaktadır (Gençoğlu ve İrkeç, 1994).

Kahverengi Sepiyolitler

Organik madde içeriği bakımından zengin olan kahverengi sepiyolit oluşumları, iki farklı fasiyesden oluşan iki tip bataklık ürünüdür. Kenar fasiyes birinci tip bataklıklar, mevsimsel geçiş ve gerileme sırasında gölün kenar kesimlerinde oluşan ve gölet şeklinde bulunan bataklıklardır. Bu göletlerin boyutları, göldeki sık dalgalanmalara bağlı olarak faaliyet ömürleri gibi sınırlıdır. Bu nedenle kalın tortular içermezler (Gençoğlu ve İrkeç, 1994).

Tatlı su müdahalesine açık olan bu bataklıklar kanallarla birbirine bağlıdır. Bu bataklıklarda farklı tipte sepiyolit oluşumları gözlenebilir. Tatlı suyun etkisi ve göldeki dalgalanmalarla breşik yapıda sepiyolit meydana gelebilir. Bu tip sepiyolit oluşumu ilk aşamada bataklığın özellikle tabanında ve kenar zonlarında görülmektedir. Breşik yapı, alkali gölden türeyen köşeli dolomit parçaları tarafından oluşur (Gençoğlu ve İrkeç, 1994).

Düşük enerji koşullarına sahip baskın bataklık fasiyesinde laminalı veya masif, sabunlu, saf sepiyolitler (sepiyolit >%90) çökelmiştir. Alkali gölün ara sıra genişlemesiyle bu tür bataklıklarda kesintiler meydana gelir ve beyaz ile bej arası sepiyolitik dolomit çökeler.

Kök ve biyolojik türbasyon izleri, akıntıların neden olduğu süreksizlikler ve çeşitli akıntı yapıları bu kenar bataklık fasiyesinin ortak özellikleridir (Şekil 4) (Gençoğlu ve İrkeç, 1994).

Bej Sepiyolitler

Bu oluşumlar, tipik olarak bej renkli, sabunsu, laminalı veya masif olup, organik madde içeriği yoktur. Bu tür sepiyolit, playa gölünün kurak koşullar altında tamamen kuruduğu dönemlerde yer altı suyunun zaman zaman ortaya çıkması nedeniyle küçük göletlerde oluşmuştur. Bu tip sepiyolitler, kahverengi sepiyolitlere göre nicelik olarak daha az ve ince fakat sürekli. Dolomit-sepiyolit üyesinin üst kesimlerinde gözlenir (Gençoğlu & İrkeç, 1994). Bu oluşumlarda sık sık çözünmelere bağlı boşluklar oluşur. Bu boşlukların en belirgin özelliği kil, silt ve kum boyutunda bej malzeme içermesidir. Bu malzemede simektit ile sepiyolit birlikte bulunması yeraltı suyunun başlangıçta tatlı su karakterinde olduğunu göstermektedir (Gençoğlu & İrkeç, 1994).

Yeraltı suyunun yükselişi sırasında Mg^{+2} ve Ca^{+2} birincil ürünler olarak sepiyolitik dolomitleri çökeltirler. Mg^{+2} bağlı konsantrasyonunun artmasıyla sepiyolit çökmesi doğrudan

Şekil 4 Kahverengi sepiyolit ve dolomit oluşumu

Şekil 5 Kahverengi sepiyolit ve dolomit oluşumu



Beyaz Dolomitli Sepiyolitler

--70--

sepiyolitlerdir. Sepiyolit içeriği %50-70 arasında değişmektedir. Bu oluşumlar, kahverengi ve bej renkli sepiyolitlerin çevresinde, çoğunlukla onlarla dokanak halinde bulunur. Bunlar hem alkali hem de playa göllerinde bataklıklara yakın bölgelerin ürünüdür. Nispeten kalın ve sürekli merccekler halinde oluşur (Gençoğlu & İrkeç, 1994).

İyi granülasyon özelliklerine sahip, beyaz renginden ve yüksek emme kapasitesinden dolayı evcil hayvan toprak malzemeleri ve endüstriyel emiciler için uygundur. Dolomit-sepiyolit üyesi boyunca sıklıkla gözlemlenebilen, ancak ekonomik önemi olmayan son bir oluşum şekli, dolomitik sepiyolit ve sepiyolitik dolomit üzerindeki bitki köklerinin ve gövdelerinin sepiyolitini yerini almasıdır (Şekil 6) (Gençoğlu & İrkeç, 1994).

Şekil 6 Beyaz renkli sepiyolit oluşumu



Kaynak: Gençoğlu & İrkeç, 1994

Lületaşı Yatakları

Lületaşı tipi sepiyolit, çakıllardan ve ultramafik bloklardan oluşan, kötü boylanmalı konglomera yataklarında nodüller halinde bulunur, kahverengi ve kuvvetli alterasyona uğramış ultramafik kayalardan oluşur.

Konglomera yataklarının hemen altında ofiyolit kompleksi yer alır ve bu dokanak Kozlubel ve Nemli bölgelerinde D-B gidişli fay zonu sergiler. Konglomeratik malzemenin parçacık boyutları, manyezit çakılları ve çakıl taşları gibi yakın fasiyese doğru nispeten daha da irileşir. Manyezit çakılları fay dokanağında kısa bir mesafede çökelmiş ve yeraltı suyu tablasının altında sepiyolit nodülleri oluşmuştur.

Manyezit çakıllarının kenarları sepiyolit olup, çoğunluğunun çekirdekleri halen manyezittir (Ece ve Çoban, 1994).

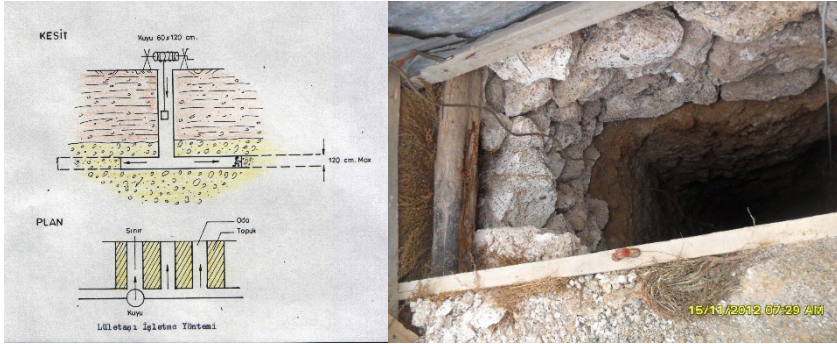
Lületaşı nodüler şeklinde olup Pliyosen konglomeraları içinde yer alır. Lületaşı, dolomit, manyezit, opal-CT ve asbest minerallerine eşlik etmektedir. Lifsi yapıya sahip lületaşı sıg alkalın su ortamlarında Si konsantrasyonunca zengin suların manyezit ile reaksiyonu ve ornatması ile oluşmaktadır (Ece ve Çoban, 1994).

İşletme ve Üretim Yöntemleri

Geleneksel üretim, Eskişehir yöresinde yumru (nodül) tipi ocaklarda sürdürölmektedir. Geleneksel lületaşı işletme yönteminde tahkimatsız bir kuyu ile lületaşı seviyesine ulaşılır. Bu seviye içinde dar galeriler açarak lületaşı yumruları aranır. İşletmecilik tahkimatsız kuyular aracılığıyla, elle kazı ve çıkırık sistemiyle yapılır. Lületaşı yumrularını içeren konglomeralar, dolomitik bir çimento ile az veya çok sertleşmiş ve işletmecilik açısından oldukça güvenli bir yapı kazanmıştır. Bu nedenle, çoğu kez topuk bırakılarak geniş odalar şeklinde işletme yapmak da mümkün olabilmektedir.

Lületaşı ocaklarında üretim 60x160 cm. boyutunda açılan kuyuların ağzına basit, ağaçtan bir çıkırık yerleştirilerek yapılır. Kuyu dibinde kazı sonucu meydana gelen pasa, bir çıkırığa bağılı 15-20 lt. hacimli bir kova veya torba ile yukarıya çekilir (Sarıiz ve Işık, 1995) (Şekil 7).

Şekil 7 Lületaşı üretim yöntemi



Kaynak: (Sarıiz ve Işık, 1995).

Tarihsel ve Ekonomik Önemi

Eskişehir bölgesinde lületaşı kullanımı Orta Tunç Çağı'na kadar uzanmakta olup bu döneme ait sepiyolit mühür örnekleri arkeolojik bulgularla kanıtlanmıştır (Bilgen, 2006). “Lületaşı” terimi, Uygur Türkçesindeki “taloy köfigi” (deniz köpüğü) ifadesinden türemiştir. Osmanlı döneminde tütünün yaygınlaşmasıyla birlikte 17. yüzyıldan itibaren lületaşı pipoları Avrupa’da büyük talep görmüş ve “Lületaşı Yolu” adı verilen ticaret ağı oluşmuştur (Sarıiz & Işık, 1995) (Şekil 8).

Kullanım Alanları

Fillosilikatlar (tabakalı silikatlar) grubuna ait sepiyolit lifli yapısı, büyük mikro gözenek hacmi, yüksek yüzey alanı, kristal morfolojisi ve kimyasal kompozisyonu gibi özellikleriyle birçok kullanım alanına sahiptir (Burçak ve Yalçın, 2016; Murray, 2006). Sepiyolit endüstriyel uygulamalarında partiküllerin aglomera olma eğilimi önemlidir. Sepiyolit, istenilen özelliklere göre demetler halinde veya tek tek iğneler halinde kullanılabilir. Demetler, sert parçacıklar üretmek için birbirine bağlanan birçok ayrı iğneden oluşur. İğnelerin bu şekilde paketlenmesi sonucunda, endüstriyel adsorbanlar, çevre deodorantı, renk giderici ajanlar, topaklanma önleyici ajanlar,

farmasötik kullanımlar, tarım kimyasalları için taşıyıcılar gibi uygulamalarda yüksek absorpsiyon kapasitesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan oldukça gözenekli bir malzeme elde edilir (Karabulut ve Kalpaklı, 2022).

Şekil 8 Orta Tunç çağına ait sepiyolit mühür



Kaynak: Bilgen, 2006

Sepiyolitin geniş endüstriyel uygulamaları sorptif, reolojik ve katalitik olarak sınıflandırılabilir (Galan ve Singer, 2011). Atık su arıtımı dışında, hayvan altlığı olarak, deterjan ve temizlik maddelerinde sert suların yumuşatılmasında, kozmetikte kıvam arttırıcı olarak, ilaç sektöründe dolgu malzemesi olarak uygulamaları vardır (Meşecikli, 2014; Meşe ve diğ., 2018). Metanolden hidrokarbon üretimi, sıvı yakıtların hidrojenasyonu, olefinlerin doygun olmayan karbon bağlarının hidrojenasyonu gibi katalik uygulamaları, tarımda toprak düzenleyici, gübre (Hong ve diğ., 2020), asfalt kaplamalarında asbest yerine kalınlaştırıcı olarak, kâğıt, filtre ve kauçuk sanayisinde dolgu maddesi olarak reolojik uygulamaları ve lif takviyeli çimento üretiminde (Saka ve diğ., 2018), tuğla ve seramik üretiminde de katkı maddesi olarak çeşitli kullanım alanları mevcuttur (Karabulut ve Kalpaklı, 2022). Sepiyolit, şişmeyen ve gözenekli yapısı sayesinde sorunlu toprakların yönetiminde tarımsal sistemde kullanılabilir (Hamid ve diğ., 2021).

Sonuçlar

Türkiye'nin sepiyolit ve lületaşı yatakları, Neojen göl havzalarının paleocoğrafik evrimiyle doğrudan ilişkilidir. Özellikle Eskişehir-Sivrihisar bölgesi hem jeolojik çeşitlilik hem de kültürel miras açısından benzersiz bir öneme sahiptir. Lületaşı, hem bilimsel-mineralojik açıdan değerli bir kil minerali, hem de sanatsal ve kültürel sembol olarak uluslararası tanınırlık kazanmıştır.

Lületaşı (sepiyolit), oluşum kökeni jeolojiye dayanan; ancak tarihsel süreç içinde kültürel, sanatsal ve teknolojik anlamlar kazanarak çok katmanlı bir kimliğe bürünen nadir doğal malzemelerden biridir. Anadolu'da ilk olarak estetik ve işlevsel bir zanaat hammaddesi olarak değerlendirilen bu mineral, zamanla bilimsel araştırmaların odağına yerleşmiş ve günümüzde farklı endüstriyel sektörlerde kullanılan stratejik bir malzeme konumuna ulaşmıştır.

Lületaşının tarihsel gelişimi, mineralin yapısal özellikleri ile kullanım alanları arasındaki doğrudan ilişkiyi açıkça göstermektedir. Sanayi öncesi dönemde Eskişehir ve çevresinde gelişen üretim pratiğinde, sepiyolit'in düşük sertliği ve kolay şekillendirilebilirliği, onu pipolar, süs eşyaları ve dini nitelikli objelerin üretimi için ideal bir malzeme haline getirmiştir. Bu ürünler, yalnızca yerel bir el sanatı örneği olmanın ötesine geçerek Osmanlı coğrafyası ile Avrupa arasında kurulan ticari ve kültürel ilişkilerin somut göstergeleri olarak değer kazanmıştır. Özellikle on sekizinci ve on dokuzuncu yüzyıllarda lületaşı işçiliğinin yaygınlaşması, bu mineralin uluslararası pazarda aranan bir lüks ürüne dönüşmesine yol açmıştır. Günümüzde Eskişehir'de sürdürülen sınırlı ancak süreklilik arz eden üretim faaliyetleri hem geleneksel bilgi birikiminin korunmasına hem de yerel kimliğin yaşatılmasına katkı sağlamaktadır.

Malzeme bilimi perspektifinden ele alındığında, sepiyolit'in lifsi mikro yapısı, yüksek özgül yüzey alanı ve gelişmiş gözenek sistemi, onu çok sayıda teknik uygulama için elverişli kılmaktadır. Özellikle

evre teknolojileri alanında sepiyolit, sulu ve gaz fazındaki kirleticilerin uzaklaştırılmasında etkili bir adsorban olarak one çıkmaktadır. Ağır metaller, boyar maddeler ve çeşitli organik bileşiklerin gideriminde sağladığı yüksek verim, düşük maliyet ve çevresel uyumluluk ile birleştiğinde, sepiyolit sürdürülebilir arıtım sistemleri için önemli bir alternatif sunmaktadır.

Polimer bilimi alanında sepiyolit, kompozit sistemlerde dolgu maddesi olarak kullanıldığında mekanik dayanımı artırmakta, yanmazlık ve boyutsal kararlılık gibi özellikleri iyileştirmektedir. Bu durum, hafif ve yüksek performanslı malzemelere olan talebin arttığı otomotiv, ambalaj ve savunma sanayii gibi alanlarda sepiyolitini önemini artırmaktadır. Tarımsal uygulamalarda ise toprak düzenleyici ve yem katkısı olarak kullanımı, besin elementlerinin tutulmasını ve kontrollü salınımını destekleyerek verimlilik ve çevresel koruma hedeflerine katkı sağlamaktadır. Ayrıca biyouyumlu yapısı sayesinde sepiyolit, ilaç taşıma sistemleri, enzim immobilizasyonu, yara örtüleri ve doku mühendisliği gibi biyomedikal uygulamalarda giderek artan bir ilgi görmektedir.

Lületaşının günlük yaşamda kullanım alanları da dikkat çekici biçimde genişlemektedir. Kimyasal olarak inert olması, yüksek emiciliği ve ince taneli yapısı, onu kozmetik ürünlerde, koku giderici sistemlerde ve filtrasyon uygulamalarında tercih edilen bir bileşen haline getirmiştir.

Geleceğe yönelik değerlendirmelerde ise lületaşının kullanımında kültürel mirasın korunması ile bilimsel ve teknolojik gelişmenin dengelenmesi gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Sürdürülebilir madencilik uygulamaları, yerel işleme tesislerinin desteklenmesi ve adil ticaret yaklaşımlarının benimsenmesi, özellikle Türkiye’de bu kaynağın ekonomik ve kültürel değerinin korunmasını sağlayacaktır.

Kaynakça

Akbulut, A. & Kadir, S. (2003). The Geology and Origin of Sepiolite, Palygorskite and Saponite in Neogene Lacustrine Sediments of the Serinhisar-Acıpayam Basin, SW Turkey. *Clays and Clay Minerals*, 51(3), 279–292.

Bellanca, A. et al. (1993). Sedimentology and Isotope Geochemistry of Lacustrine Dolomite-Evaporite Deposits in Turkey. *Miner. Petrog. Acta*, 36, 245–264.

Bilgen, N. (2006). The Meerschaum Seal from the Middle Bronze Age Necropolis in Çavlum. *Electronic Social Sciences Bulletin*, 5(16), 17–21.

Burçak, E., Yalçın, S., 2016, “Sepiyolitin Özellikleri ve Hayvan Beslemede Kullanılması”, *Lalahan Hay. Araşt. Enst. Derg.*, Vol. 56 (2), pp. 78-86.

Ece, Ö. I. & Çoban, F. (1994). Geology, Occurrence and Genesis of Eskişehir Sepiolites, Turkey. *Clays and Clay Minerals*, 42(1), 81–92.

Galan, E., Singer, E., 2011, “Developments in Palygorskite-Sepiolite Research”, *Developments in Clay Science*, Elsevier, 1st Edition, Vol. 3, The Netherlands, pp. 1-527.

Gençoğlu, H. & İrkeç, T. (1993). Mining Geology Report of the Ankara-Polatlı-Türktaciri Sepiolite Area. MTA Report No. 9687.

Gençoğlu, H. ve İrkeç, T., 1994. İç Anadolu Neojen Baseni Yukarı Sakarya Kesiminin (Sivrihisar güneyi) Stratigrafisi ve Ortamsal Yorumu (Stratigraphy and Facies Interpretation of the Upper Sakarya Section of the Central Anatolian Neogene Basin (S Sivrihisar), 47th Geological Congress of Turkey, Abstracts, Ankara.

Hamid, Y., Tang, L., Hussain, B., Usman, M., Liu, L., Ulhassan, Z., ... & Yang, X. (2021). Sepiolite clay: A review of its applications to immobilize toxic metals in contaminated soils and its implications in soil–plant system. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101598.

Hong, S.H., Ndingwan, A.M., Yoo, S.C., et al., 2020, “Use of calcined sepiolite in removing phosphate from water and returning phosphate to soil as phosphorus fertilizer”, *Journal of Environmental Management*, Vol. 270-110817.

İrkeç, T., 1988; General Geological Setting and Character of Turkish Sepiolite Deposits, *Acta Miner. Petrog.* Szeged, XXIX, pp. 95-106.

Kadir, S., Baş, H. & Karakaş, Z. (2002). Origin of Sepiolite and Loughlinite in a Neogene Volcano-Sedimentary Lacustrine Environment, Mihalıçcık-Eskişehir, Turkey. *Canadian Mineralogist*, 40, 1091–1102.

Kadir, S., Eren, M., İrkeç, T., Erkoyun, H., Külah, T., Önalgil, N., & Huggett, J. (2017). An approach to genesis of sepiolite and palygorskite in lacustrine sediments of the Lower Pliocene Sakarya and Porsuk Formations in the Sivrihisar and Yunusemre-Biçer regions (Eskişehir), Turkey. *Clays and Clay Minerals*, 65(5), 310-328.

Liu, P., Mingyong, D., Peta, C. et al., 2020, “Surface Chemistry, Microstructure, and Rheology of Thixotropic 1-D Sepiolite Gels”, *Clays and Clay Minerals*, Vol. 68, No.1, pp. 9–22.

Meşe, E., Figen, A.K., Filiz, B.C., 2018, “Cobalt-boron loaded thermal activated Turkish sepiolite composites (Co-B@tSe) as a catalyst for hydrogen delivery”, *Applied Clay Science*, Vol.153, pp. 95–106.

Meşecikli, C.H., 2014, “Modifiye Edilmiş Sepiyolit Üzerine Pb(II), Cu (II) ve Cd(II) İyonlarının Adsorpsiyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Murray, H., 2006, “Occurrences, Processing and Applications of Kaolins, Bentonites, Palygorskitesepiolite, and Common Clays”, Applied Clay Mineralogy, Volume 2, 1st Edition.

Ruiz, A. I., Ruiz-García, C., & Ruiz-Hitzky, E. (2023). From old to new inorganic materials for advanced applications: The paradigmatic example of the sepiolite clay mineral. Applied Clay Science, 235, 106874.

Saka, R.C., Gökdemir, A., Subaşı, S., 2018, “Sepiyolit İkameli Çimentolu Karışımların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi”, ECJSE (2), pp. 681-692.

Sarıöz, K. & Işık, İ. (1995). Meerschaum from Eskişehir Province, Turkey. Gems and Gemology, 42–51.

Ünlü, T. et al. (1995). Turkish Sepiolite Deposits: A Review in Magmatism in Relation to Diverse Tectonic Settings. Rotterdam.

Yalçın, H. & Bozkaya, Ö. (2004). Ultramafic-rock-hosted Vein Sepiolite Occurrences in the Ankara Ophiolitic Melange. Clays and Clay Minerals, 52(2), 227–239.

Yeniyol, M. (1992). Geology, Mineralogy and Genesis of the Yenidoğan (Sivrihisar) Sepiolite Deposits. Bull. Min. Res. Expl., 114, 71–84.

Zhu, X., Vinokurov, V., Kopitsyn, D., & Shchukin, D. G. (2021). Sepiolite nanocarriers as a matrix for controlled thermal energy storage. ACS omega, 6(39), 25828-25834.

<https://stonesn.com/tr/dogal-taslar/luletasi/>.

<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/sepiolite>.

BÖLÜM 5

MADEN İŞLETMELERİNDE TOZ MARUZİYETİ: FİZİKSEL BİR RİSK ETMENİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ¹

Seren TÜRKYILMAZ YAZGI²

Giriş

Madencilik faaliyetleri, üretim süreçlerinin niteliği gereği çalışanların çeşitli fiziksel risk etmenlerine maruz kaldığı yüksek riskli çalışma alanları arasında yer almaktadır. Bu risk etmenleri içerisinde toz maruziyeti hem yaygınlığı hem de uzun vadeli sağlık etkileri nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği açısından özel bir önem taşımaktadır. Maden işletmelerinde kazı, delme, patlatma, yükleme ve nakliye gibi işlemler sırasında ortaya çıkan tozlar, solunum yoluyla vücuda alınarak çalışan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Özellikle solunabilir ve ince partikül yapısına sahip tozların, meslek hastalıklarının gelişiminde belirleyici rol oynadığı bilinmektedir. Bu nedenle toz maruziyetinin düzeyinin belirlenmesi, sınır değerler çerçevesinde değerlendirilmesi ve etkin kontrol önlemlerinin uygulanması, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin temel unsurlarından biridir.

¹ Bu çalışma, yazarın 2024 yılında tamamladığı “Bir Kurşun Madeninde Fiziksel Risk Etmenlerinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi” başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

² Dr. Öğr. Gör., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik, İş Sağlığı ve Güvenliği, Çanakkale, Türkiye, Orcid: 0000-0002-1570-3724

Madencilik Sektöründe Fiziksel Risk Etmenleri

Madencilik sektörü, doğası gereği çok sayıda fiziksel risk etmenini bünyesinde barındıran ve bu nedenle iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının hayati önem taşıdığı bir çalışma alanıdır. Sanayileşme ve teknolojik gelişmelere paralel olarak üretim kapasitesinin artması, kullanılan makine ve ekipmanların çeşitlenmesiyle birlikte çalışanların maruz kaldığı risklerin niteliğini ve düzeyini de artırmıştır. Madencilik faaliyetlerinde gürültü ve titreşim gibi fiziksel etmenler önemli olmakla birlikte, bu etmenlerin etkileri çoğu zaman eş zamanlı olarak ortaya çıkan toz maruziyeti ile daha karmaşık bir hâl almaktadır. Özellikle yeraltı ve açık ocak işletmelerinde kazı, delme, patlatma, yükleme ve nakliye süreçleri sırasında yoğun toz oluşmakta ve bu durum çalışma ortamının sağlıklı ve güvenli olmasını zorlaştırmaktadır.

Toz maruziyeti, madencilik sektöründe çalışanlar açısından en kritik fiziksel risk etmenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Kömür ve metal madenlerinde ortaya çıkan solunabilir tozlar, uzun süreli maruziyet durumunda ciddi solunum sistemi hastalıklarına ve meslek hastalıklarına neden olabilmektedir. Bu bağlamda, tozun yalnızca bir çevresel sorun değil, aynı zamanda çalışan sağlığını doğrudan tehdit eden bir iş sağlığı ve güvenliği problemi olduğu açıktır. Toz maruziyetinin etkilerinin azaltılabilmesi için ortam ölçümlerinin düzenli olarak yapılması, sınır değerlerin izlenmesi ve mühendislik, organizasyonel ve kişisel koruyucu önlemlerin bütüncül bir yaklaşımla uygulanması gerekmektedir. Dolayısıyla, madencilik faaliyetlerinde toz kontrolü, sürdürülebilir ve güvenli bir çalışma ortamının sağlanmasında temel bir unsur olarak ele alınmalıdır. (Doğan, 2023: 7732-7733).

Fiziksel risk etmenleri, madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Madencilik faaliyetlerinin tehlikeli yapısı, bu fiziksel risk etmenlerinin dikkatli ve bilimsel yöntemlerle ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Çalışanların sağlık ve güvenliğinin korunabilmesi için gürültü, titreşim, toz ve benzeri fiziksel risk etmenlerine yönelik düzenli risk değerlendirmelerinin yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu değerlendirmeler, mevcut tehlikelerin belirlenmesi ve risklerin kabul edilebilir seviyelere indirilmesi açısından yol göstericidir. Aynı zamanda, risk değerlendirme sonuçlarına dayalı olarak geliştirilen önlemler, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesinde etkili bir rol oynar. İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde uygulanması, bu önlemlerin bütüncül bir yaklaşımla hayata

geçirilmesini sağlamaktadır. Yönetim sistemleri kapsamında yürütülen izleme, denetim ve sürekli iyileştirme faaliyetleri, madencilik sektöründeki risklerin kontrol altında tutulmasına katkı sağlar. Dolayısıyla, fiziksel risk etmenlerine yönelik planlı ve disiplinli uygulamalar, madencilik sektöründe güvenli ve sağlıklı çalışma ortamlarının oluşturulmasında vazgeçilmez bir unsur olarak değerlendirilmektedir. (Bilir, 2016: 101-104). Madencilik faaliyetlerinin fiziksel açıdan zorlayıcı yapısı, çalışanlar için önemli ergonomik riskleri beraberinde getirmektedir. Uygun olmayan çalışma duruşları ve ağır yüklerin taşınması, kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarına yol açabilmektedir. Bu nedenle ergonomik risklerin azaltılması amacıyla çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve uygun ekipman kullanımının sağlanması gerekmektedir. Bununla birlikte, yetersiz aydınlatma çalışma alanlarında kaza riskini artırmakta ve çalışanların görme sağlığını olumsuz etkilemektedir. Etkin bir aydınlatma sisteminin oluşturulması, çalışanların güvenliğini artırmanın yanı sıra iş verimliliğine de olumlu katkı sağlamaktadır. (Yağcı & ark., 2022: 61).

Dünya genelinde ve Türkiye'de sanayileşme, teknolojik gelişmeler ve otomasyon süreçleri, çeşitli sektörlerin bu değişimlere uyum sağlamaya çalıştığı bir dönem oluşturmuştur. Sanayileşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte çalışma yaşamında ortaya çıkan riskler, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının önemini artırmıştır. İş yerleri risk düzeylerine göre sınıflandırılmakta olup, madencilik sektörü çok tehlikeli işler grubunda yer almaktadır. Kömür madenciliği ile metal madenleri arasında bulunan kurşun, krom, bakır ve demir madenciliği; üretim, kazı, delme ve zenginleştirme süreçleri nedeniyle yüksek düzeyde risk içermektedir. Ayrıca endüstriyel mineraller ve taş ocakları da toz, gürültü ve titreşim gibi fiziksel risk etmenlerinin yoğun olarak görüldüğü alanlar arasında bulunmaktadır. Bu sektörlerde çalışanların maruz kalabileceği tehlikelerin belirlenmesi ve etkin koruyucu önlemlerin uygulanması, iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. (Altınel, 2011: 5-7). Madencilik, küresel ölçekte en tehlikeli sektörlerden biri olarak görülmektedir ve iş kazaları ile meslek hastalıklarının yaygınlığı, bu sektördeki risk faktörlerinden kaynaklanmaktadır. Patlayıcı maddelerin kullanımı, zararlı gazların varlığı, yangın riski ve ağır ekipmanların kullanımı, madencilik sektörünün başlıca tehlikeleri arasında yer almaktadır. Maden işletmeleri, açık ocak ve kapalı ocak olarak ikiye ayrılmakta olup, açık ocak madenciliği, kapalı ocak madenciliğine kıyasla daha güvenli kabul edilmektedir. Ancak, kapalı ocaklarda karbondioksit, karbonmonoksit, metan gazları ve grizu patlamaları gibi ciddi tehlikeler mevcuttur. Bu tür tehlikeli çalışma koşullarında, iş kazaları ve meslek hastalıklarını önlemek için etkin bir iş sağlığı ve güvenliği yönetimi,

Çalışanların eğitimi ve düzenli ortam ölçümleri büyük önem taşımaktadır. Bu önlemler, madencilik sektöründe çalışanların güvenliğini artırmak ve riskleri azaltmak için kritik bir rol oynamaktadır (Bilim, 2017: 655-658).

İş sağığı ve güvenliğı kapsamında çalışma koşullarını etkileyen fiziksel risk etmenleri arasında gürültü, titreşim, toz, ergonomi ve aydınlatma yer almakta olup, bu etmenler çalışan sağığı üzerinde doğrudan ve uzun vadeli etkilere sahiptir. Özellikle bu risklerin kontrol altına alınamaması durumunda, iş kazalarının yanı sıra meslek hastalıklarının ortaya çıkma olasılığı önemli ölçüde artmaktadır. Madencilik sektöründe kullanılan makineler, üretim yöntemleri ve çalışma ortamının kapalı yapısı nedeniyle gürültü, titreşim ve toz maruziyeti öne çıkan kritik risk faktörleri arasında yer almaktadır. Bu risk etmenleri, kısa vadede iş güvenliğini tehdit ederken, uzun vadede çalışanların sağığında kalıcı hasarlara yol açabilmektedir. Fiziksel risk etmenleri içerisinde toz, meslek hastalıklarının gelişimi açısından en dikkat çekici unsurlardan biridir. Maden ocaklarında kazı, delme, patlatma ve nakliye gibi faaliyetler sonucunda ortaya çıkan solunabilir tozlar, çalışanların solunum sisteminde birikerek geri dönüşü olmayan meslek hastalıklarına neden olabilmektedir. Özellikle silika içeren tozlara maruziyet, pnömokonyoz başta olmak üzere ciddi ve ölümcül olabilen meslek hastalıklarının ortaya çıkmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, yüksek toz konsantrasyonları görüş mesafesini azaltarak iş kazası riskini artırmakta ve üretim süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, madencilik işletmelerinde tozun izlenmesi, ölçülmesi ve etkin kontrol önlemleriyle yönetilmesi, meslek hastalıklarının önlenmesi ve çalışan sağığının korunması açısından hayati bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Sabancı & Sümer, 2015: 233-234), (Arıtan & Demir, 2015: 383).

Madenlerde Tozların Tanımı ve Sınıflandırılması

Toz; kayaç ve cevherlerin kırma, öğütme, patlatma ve delme gibi mekanik süreçlere maruz kalması sonucunda ortaya çıkan, çapları yaklaşık 1–100 µm aralığında değışen ve havada askıda kalabilme ya da belirli bir süre sonra çökelme özelliğı gösteren partikül maddeler olarak tanımlanmaktadır. Bu partiküller, oluşum mekanizmalarına ve kaynaklarına bağılı olarak farklı fiziksel ve kimyasal özellikler sergileyebilmektedir. Çalışma ortamlarında karşılaşılan tehlikeli tozlar; mineral, metalik, kimyasal ve bitkisel kökenli tozların yanı sıra biyolojik nitelikli küf ve sporları da içermektedir. Mineral tozlar, madenlerin çıkarılması ve işlenmesi sırasında açığa çıkmakta olup, özellikle serbest kristalin silika içeren türleri ciddi

sağlık riskleri taşımaktadır. Metalik tozlar ise kurşun, kadmiyum ve bu metallerin bileşikleri gibi toksik özellik gösteren maddelerden oluşabilmektedir. Kimyasal tozlar, endüstriyel üretimde kullanılan çeşitli kimyasal maddeler ve pestisitler gibi geniş bir yelpazeye sahiptir. Bitkisel tozlar; odun, un, pamuk, çay ve polen gibi organik kaynaklardan meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra, küfler ve sporlar çalışma ortamlarında biyolojik toz kaynakları olarak önem arz etmektedir. Özellikle asbest içeren tozlar, geçmişte yalıtım amacıyla kullanılan eski yapı malzemelerinden kaynaklanmakta olup, bu yapıların bakım, onarım veya yıkım faaliyetleri sırasında çalışanlar açısından ciddi sağlık tehlikeleri oluşturmaktadır. (WHO, 1999: 1-2).

Tozlar, kimyasal kökenleri esas alınarak organik ve inorganik olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Organik tozlar; pamuk, odun, un ve saman gibi bitkisel kaynaklı maddelerden, tüy ve kıl gibi hayvansal kökenli unsurlardan ya da DDT (Dikloro-difenil-trikloroetan) ve trinitrotoluen gibi sentetik bileşenlerden oluşmaktadır. Bu tür tozlar genellikle akciğer dokusunda kalıcı birikim göstermemekle birlikte, uzun süreli maruziyet durumlarında özellikle alerjik ve inflamatuvar solunum yolu hastalıklarına zemin hazırlayabilmektedir.

İnorganik tozlar ise metalik tozlar (demir, bakır, çinko vb.), metalik olmayan tozlar (kükürt, kömür tozu vb.), çeşitli kimyasal bileşikler (çinko oksit, manganez oksit gibi) ve doğal bileşikler (mineraller, killeri ve maden cevherleri) şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu gruptaki tozların önemli bir bölümü, solunum yoluyla alındığında akciğerlerde birikme eğilimi göstermekte ve başta pnömokonyozlar olmak üzere ciddi meslek hastalıklarının gelişmesine neden olabilmektedir. Tozlar, insan sağlığı üzerindeki biyolojik etkilerine göre de sınıflandırılmakta olup; fibrojenik, toksik, kanserojen, radyoaktif, alerjik ve inert tozlar şeklinde gruplandırılmaktadır. Fibrojenik tozlar, akciğer dokusunda geri dönüşümsüz fibrotik değişikliklere yol açarak solunum fonksiyonlarının ilerleyici şekilde bozulmasına neden olabilmektedir. Toksik tozlar, solunum yoluyla vücuda girdikten sonra başta sinir sistemi, karaciğer ve böbrekler olmak üzere çeşitli organlarda akut veya kronik zehirlenme etkileri oluşturabilmektedir. Kanseröjen tozlar uzun süreli maruziyet sonucunda malign (kötü huylu tümör) hastalık riskini artırırken, radyoaktif tozlar hücresel düzeyde hasara yol açarak genetik ve doku bozukluklarına neden olabilmektedir. Alerjik tozlar, duyarlı bireylerde astım ve benzeri solunum yolu hastalıklarını tetikleyebilmekte; inert tozlar ise

genellikle akciğerlerde birikmesine rağmen belirgin toksik veya fibrojenik etki göstermemektedir.

Partikül boyutlarına göre yapılan sınıflandırmada tozlar, solunabilir toz ve toplam toz olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Solunabilir tozlar, üst solunum yollarını aşarak alveollere kadar ulaşabilen ve meslek hastalıkları açısından en yüksek risk grubunu oluşturan partiküllerdir. Toplam toz ise ağız ve burun yoluyla alınabilen, havada asılı kalan tüm partikül fraksiyonlarını kapsamaktadır. Bu ayrım, partiküllerin aerodinamik özelliklerine ve solunum yolları boyunca dağılımına dayanmaktadır. Partikül boyutunun küçülmesi, tozların akciğerlerin daha derin bölgelerine ulaşma olasılığını artırmakta ve buna bağlı olarak mesleki solunum sistemi hastalıklarının ortaya çıkma riskini önemli ölçüde yükseltmektedir. (Yeraltı ve Açık Kömür İşletmeciliğinde Tozla Mücadele Rehberi, 2021: 13-16).

Tozun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri ve Toz Kaynakları

Fibrojenik özellik gösteren tozlar, solunum yoluyla vücuda alındıktan sonra akciğer dokusunda birikerek zaman içinde fibrotik değişikliklerin gelişmesine neden olmaktadır. Bu süreçte akciğerlerin normal ve esnek yapısı giderek sertleşmekte, fonksiyonel dokular yerini bağ dokusuna bırakmakta ve sonuç olarak solunum kapasitesinde kalıcı bozulmalar ortaya çıkmaktadır. Silikozis, asbestozis ve talkoz bu mekanizma ile gelişen başlıca meslek hastalıkları arasında yer almaktadır. Toksik tozlar ise solunum veya sindirim yoluyla vücuda girdiklerinde yalnızca akciğerleri değil, başta sinir sistemi, karaciğer, böbrekler, mide ve bağırsaklar olmak üzere birçok organı etkileyebilen akut ya da kronik zehirlenmelere yol açmaktadır. Kurşun, kadmiyum ve mangan tozları bu gruba dâhil olup, uzun süreli maruziyetlerde ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Kanserojen tozlar ise hücresel düzeyde DNA hasarı oluşturarak kanser gelişimini tetikleyebilmekte; bu risk beslenme, yaşam koşulları, çevresel kirlilik ve mesleki maruziyet gibi faktörlerle birlikte artmaktadır. Asbest, arsenik ve bileşikleri, berilyum ile nikel ve bileşikleri bu kapsamda değerlendirilen önemli maddelerdir. Radyoaktif tozlar, içerdiği radyoaktif elementlerin yaydığı iyonize radyasyon nedeniyle hücre ve dokularda geri dönüşü olmayan hasarlara, tümör oluşumuna ve genetik bozukluklara neden olabilmektedir. Uranyum, toryum, seryum bileşikleri ile trityum ve radyum tozları bu gruba örnek teşkil etmektedir. Alerjik tozlar ise duyarlı bireylerde astım, dermatit ve ateş gibi alerjik reaksiyonların ortaya çıkmasına yol açmakta; bakteri, maya, küf ve polenler bu tür tozlar arasında yer almaktadır. Buna karşılık inert tozlar, vücutta birikim gösterebilmekle birlikte belirgin fibrojenik veya toksik etki oluşturmamakta

olup kireç taşı, mermer ve alçı taşı tozları bu gruba örnek verilmektedir (Yeraltı ve Açık Kömür İşletmeciliğinde Tozla Mücadele Rehberi, 2021: 13–15).

Madencilik sektörü, çalışanların solunabilir tozlara en yoğun biçimde maruz kaldığı iş kollarının başında gelmektedir. Bu nedenle akciğerleri etkileyen meslek hastalıkları, özellikle pnömokonyozlar, madencilikteki en ciddi ve yaygın sağlık sorunları arasında yer almaktadır. Pnömokonyozlar; inorganik, doğal veya metalik tozların uzun süre solunması sonucu akciğer dokusunda sertleşme ve kalıcı hasar oluşmasıyla karakterize bir hastalık grubudur. Madencilik faaliyetlerinde en sık rastlanan pnömokonyoz türleri silikozis, Kömür İşçisi Pnömokonyozu (KİP) ve daha sınırlı olmak üzere asbestozistir. Dünya genelinde en yaygın pnömokonyoz türü olan silikozis, silika içeren tozların solunması sonucu gelişmektedir. Silika partikülleri akciğerlere ulaştığında bağışıklık sistemi tarafından tamamen uzaklaştırılamamakta, bu durum kronik inflamasyon ve ilerleyici fibrozis ile sonuçlanmaktadır. Özellikle cevher çıkarma, tünel açma, taş kesme ve kumlama gibi işlerde çalışanlarda silikozis riski belirgin şekilde artmaktadır. Hastalık çoğu zaman 10–30 yıllık bir maruziyet süresinden sonra ortaya çıkmakta, ancak en kritik nokta, maruziyet sona erdikten sonra dahi hastalığın ilerlemeye devam edebilmesidir.

Kömür İşçisi Pnömokonyozu (KİP) ise kömür tozunun uzun süre solunması sonucu gelişmekte ve akciğerlerde kalıcı yapısal hasara neden olmaktadır. Bu hastalığın oluşumunda yalnızca silika değil, kömürün bünyesinde bulunan diğer ince partiküller de etkili olmaktadır. KİP, genellikle daha hafif seyirli olan basit form ve akciğerlerde yaygın fibrozis alanlarının olduğu, solunum yetmezliğine kadar ilerleyebilen Progresif Masif Fibrozis (PMF) olmak üzere iki klinik formda görülmektedir. Bazı maden sahalarında ise lifli yapıya sahip minerallerin varlığı nedeniyle asbestozis riski söz konusu olabilmektedir. Asbest lifleri solunum yoluyla alındığında akciğerlerin en uç bölgelerine kadar ulaşabilmekte ve uzun yıllar boyunca dokularda kalarak asbestozis, plevral plaklar, akciğer kanseri ve mezotelyoma gibi son derece ciddi hastalıklara yol açabilmektedir. Asbestozis genellikle uzun bir gizli dönemden sonra ortaya çıkmakta; akciğer sertleşmesi, nefes darlığı ve göğüs zarında kalınlaşma ile seyretmektedir. Silika tozuna yüksek düzeyde maruziyet, bağışıklık sistemini baskılayarak silikozis hastalarında tüberküloz gelişme riskini de artırmaktadır. Bu durum “silikotüberküloz” olarak tanımlanmakta ve özellikle yoğun silika maruziyetinin söz konusu olduğu işlerde çalışanlar arasında daha sık görülmektedir. Bu nedenle madencilikte toz kontrolü yalnızca pnömokonyozların önlenmesi açısından değil, tüberküloz gibi ikincil ve

ölümcül olabilen hastalıkların riskini azaltmak açısından da kritik bir öneme sahiptir (Demir & Demir 2022: 25-33).

Sonuç olarak, madencilik sektöründe görülen meslek hastalıklarının büyük bir bölümü solunabilir tozlara maruziyetle doğrudan ilişkilidir. Silikozis ve Kömür İşçisi Pnömokonyozu, sektörde en sık karşılaşılan ve en ağır seyreden hastalıklar arasında yer almakta; asbestozis ise belirli bölgelerde ve özel maden türlerinde ciddi bir risk oluşturmaktadır. Pnömokonyozların maruziyet sona erdikten sonra dahi ilerleyebilmesi, erken tanı, düzenli sağlık gözetimi ve etkin toz kontrol önlemlerinin madencilik faaliyetleri boyunca ve sonrasında kesintisiz olarak sürdürülmesinin hayati önem taşıdığını açıkça ortaya koymaktadır.

Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Tozla Mücadele

İş sağlığı ve güvenliği kapsamında, toz oluşan çalışma ortamlarının bulunduğu işyerlerinde işveren; çalışanların toz maruziyetinin önlenmesi ve toza bağlı sağlık risklerinden korunması amacıyla gerekli tüm koruyucu ve önleyici tedbirleri almakla yükümlüdür. Bu sorumluluk, özellikle madencilik sektöründe yüksek düzeyde solunabilir toz oluşumu nedeniyle daha da kritik bir önem taşımaktadır. İşverenin yükümlülükleri, risklerin kaynağında kontrol edilmesini esas alan sistematik ve bütüncül bir risk yönetimi yaklaşımına dayanmaktadır. Bu kapsamda, tehlikeli maddelerin daha az tehlikeli alternatiflerle ikame edilmesi, toz oluşumuna neden olan süreçlerin yeniden düzenlenmesi ve uygun iş organizasyonunun sağlanması temel öncelikler arasında yer almaktadır. İkame ve kaynağında kontrol ilkeleri, toz maruziyetinin önlenmesinde en etkili ve sürdürülebilir yöntemler olarak kabul edilmektedir.

Madencilik faaliyetlerinde tozun çalışma ortamına yayılmasının önlenmesi amacıyla mühendislik kontrollerinin etkin biçimde uygulanması zorunludur. Yerel egzoz havalandırma sistemleri, kapalı veya yarı kapalı prosesler, nemlendirme uygulamaları ve uygun filtrasyon sistemleri ile tozun ortama yayılımı sınırlandırılmalıdır. Ayrıca, yapılan işin niteliğine uygun şekilde yeterli temiz hava sağlanması ve çalışma ortamının etkin bir havalandırma sistemi ile desteklenmesi gerekmektedir. Toplu koruma yöntemlerinin yetersiz kaldığı veya teknik olarak uygulanmadığı durumlarda ise, çalışanlara tozun fiziksel ve kimyasal özelliklerine uygun kişisel koruyucu donanımların (KKD) sağlanması ve bu donanımların doğru ve sürekli kullanımının denetlenmesi gerekmektedir. Kontrol tedbirleri

hijerarşisi doğrultusunda KKD, daima son basamak olarak ele alınmalı ve diğer önlemlerin yerine geçecek bir uygulama olarak değerlendirilmemelidir.

İşveren, alınan önlemlerin etkinliğini ve sürekliliğini sağlamak amacıyla düzenli kontrol, izleme ve denetim faaliyetlerini yürütmekle yükümlüdür. Alınan tedbirlerin performansının periyodik ölçümler ve değerlendirmelerle izlenmesi, tozla mücadelede sürekli iyileştirme yaklaşımının temelini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, toz kaynaklı atıkların Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili mevzuatına uygun biçimde bertaraf edilmesi de işverenin sorumlulukları arasındadır. Madencilik sektörü dâhil tüm sektörlerde kullanılan kişisel koruyucu donanımların, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından yayımlanan ilgili yönetmeliklere uygun olması ve Avrupa Birliği güvenlik standartlarını gösteren "CE" işaretini taşıması zorunludur. Bu bağlamda, özellikle solunum koruyucu donanımların standartlara uygun seçilmesi ve kullanılması, madenlerde tozla mücadelede çalışan sağlığının korunması açısından hayati bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır (Kişisel Koruyucu Donanım Yönetmeliği, 2016 & Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik, 2013).

Solunum koruyucu donanımlar, işlevsel özelliklerine göre temelde iki ana grupta değerlendirilmektedir. Birinci grubu, çalışanların ortam havasını soluduğu ve havadaki zararlı maddeleri filtre ederek koruma sağlayan solunum koruyucular oluşturmaktadır. Bu donanımlar, ortam havasında bulunan tozlar ile gaz ve buhar hâlindeki kirleticileri belirli filtreleme mekanizmaları aracılığıyla tutarak solunum yoluyla vücuda girişlerini engellemeyi amaçlamaktadır. Açık alanlarda ya da yeraltı çalışma ortamlarında bulunulmasına bakılmaksızın, özellikle madencilik faaliyetlerinde toz oluşma olasılığı yüksek olduğundan, yarım yüz maskeleri gibi filtreli solunum koruyucular yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür maskeler, ortam havasındaki partiküllerin önemli bir kısmını filtreleyerek çalışanların sağlığının korunmasına katkı sağlamaktadır (Eser, 2015: 305).

Çalışma ortamında tozun yanı sıra sis, duman, organik buharlar veya asit gazları gibi hava kirleticilerinin bulunması durumunda, solunum sistemi üzerinde ciddi ve geri dönüşü olmayan hasarlar ortaya çıkabilmektedir. Bu tür kirleticilere uzun süreli maruziyet, başta akciğerler olmak üzere çeşitli organlarda kalıcı meslek hastalıklarının gelişmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle, zararlı gaz ve buharların bulunduğu ortamlarda her iki tarafında kartuş bulunan, uygun filtre sistemleriyle donatılmış solunum maskelerinin kullanılması gerekmektedir. Kartuşlu solunum koruyucular, ortamdaki kirleticilerin türüne ve

yoğunluğuna uygun filtrelerin seçilmesine olanak tanıyarak, çalışanların solunum yoluyla maruziyetini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu yaklaşım, çalışan sağlığının korunması ve uzun vadeli sağlık risklerinin önlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir (Sezginer, 2015: 58–59).

Solunum koruyucu donanımların seçimi, özellikle yeraltı maden işletmeleri ve kapalı alanlarda yürütülen madencilik faaliyetlerinde hayati bir öncelik taşımaktadır. Bu süreçte ilk olarak değerlendirilmesi gereken temel parametre, çalışma ortamındaki oksijen seviyesidir. Ortam havasındaki oksijen oranının %19,5'in altına düşmesi durumunda, filtreli solunum koruyucular yetersiz kalmakta ve bu ortamlarda temiz hava beslemeli sistemlerin kullanılması zorunlu hâle gelmektedir. Oksijen seviyesinin yeterli olduğu durumlarda ise, ortamda bulunan zararlı gaz, buhar ve partiküllerin türü ile konsantrasyonu dikkate alınarak uygun solunum koruyucu seçilmelidir. Ortam havasında hem toz hem de gaz veya buhar formunda kirleticiler bulunuyorsa, partikül ve gaz filtrelerini birlikte içeren kombine filtreli solunum koruyucular tercih edilmelidir. Filtre seçimi, kirleticinin kimyasal yapısı, yoğunluğu ve maruziyet süresi dikkate alınarak yapılmalı; gerek duyulduğunda toz filtreleri gaz filtreleriyle birlikte kullanılmalıdır (Eser, 2015: 308).

Havalandırma sistemlerinin yanı sıra, çalışma ortamlarında toz oluşumunun kontrol altına alınmasına yönelik tamamlayıcı teknik önlemlerin uygulanması da büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olarak kullanılan köpük teknolojisi, üretim alanlarında tozun ortam havasına karışmasını önleyerek etkin bir bastırma sağlamaktadır. Köpük tekniği, suyun yüzey geriliminin düşürülmesi ve tozlu ortama özel nozüller aracılığıyla püskürtülmesi esasına dayanmakta; böylece daha az su kullanımıyla daha yüksek toz tutma verimi elde edilmektedir. Bu yöntem, havalandırma maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlarken, daha sağlıklı ve tozsuz bir çalışma ortamı oluşturulmasına da olanak tanımaktadır (Aritan & Demir, 2015: 393). Bununla birlikte, işyerlerinde tozun çalışan sağlığı üzerindeki etkilerinin sistematik olarak belirlenmesi ve kontrol altına alınması, işverenin yasal sorumlulukları arasında yer almaktadır. Bu doğrultuda işveren, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği hükümlerine uygun olarak risk değerlendirmesi yapmak; tehlikeleri tanımlamak, maruziyet düzeylerini belirlemek ve gerekli kontrol önlemlerini planlamakla yükümlüdür. Bu bütüncül yaklaşım, toz kaynaklı meslek hastalıklarının önlenmesinde temel bir risk yönetimi aracı olarak öne çıkmaktadır. Tozlu işlerde

gerçekleştirilecek risk değerlendirmelerinde, maruziyetin karakterizasyonuna olanak sağlayan belirli kriterlerin göz önünde bulundurulması zorunludur. Öncelikle çalışma ortamında mevcut olan tozun türünün tanımlanması; mineral kökenli, metalik, lifsi veya biyolojik içerikli tozlar gibi farklı kaynaklardan oluşan partikül yapıların ayırt edilmesini sağlar. Tozun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak sağlık ve güvenlik açısından oluşturduğu tehlike ve zararların belirlenmesi, maruziyetin patolojik etkilerinin analiz edilmesi bakımından önemlidir. Bu değerlendirme, solunabilir fraksiyon, partikül boyutu dağılımı, toksisite düzeyi ve potansiyel meslek hastalığı riski gibi parametrelere dayandırılmalıdır.

Bununla birlikte maruziyet düzeyi, süresi ve sıklığı, riskin boyutunu doğrudan etkileyen temel değişkenler arasında yer almaktadır. Çalışanların hangi süreçlerde, ne kadar süreyle ve hangi yoğunlukta toza maruz kaldığının belirlenmesi hem maruziyetin sınırlandırılmasına hem de uygun kontrol tedbirlerinin seçimine temel veri sağlar. Değerlendirme sürecinde, 05.11.2013 tarihli 28812 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Tozla Mücadele Yönetmeliği’nin Ek-1 bölümünde yer alan mesleki maruziyet sınır değerleri dikkate alınarak, ölçüm sonuçlarının mevzuatla uyum düzeyi analiz edilir. Bu kapsamda gerçekleştirilen toz ölçümleri, bilimsel geçerliliği olan yöntemlerle, kalibrasyonu sağlanmış ölçüm ekipmanları kullanılarak gerçekleştirilmelidir (Tozla Mücadele Yönetmeliği, 2013).

Risk değerlendirmesi sürecinin temel bileşenlerinden biri, belirlenen tehlikeler doğrultusunda uygulanacak önleyici ve koruyucu tedbirlerin sistematik biçimde planlanmasıdır. Bu aşamada, kontrol tedbirleri hiyerarşisi esas alınarak öncelikle riskin kaynağında yok edilmesi, bunun mümkün olmadığı durumlarda ikame yöntemlerinin uygulanması, ardından mühendislik kontrolleri ve toplu koruma önlemlerinin devreye alınması gerekmektedir. Kişisel koruyucu donanımlar ise ancak diğer kontrol önlemlerinin yetersiz kaldığı veya teknik olarak uygulanamadığı durumlarda son basamak olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca, çalışanlara ait geçmiş sağlık gözetimi verilerinin risk değerlendirme sürecine dâhil edilmesi, maruziyetin klinik yansımalarının ortaya konulması ve olası meslek hastalıklarının erken dönemde tespit edilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Tozlu işlerde gerçekleştirilen risk değerlendirmesi; çalışma ortamında bulunan tozun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tanımlanması, maruziyet düzeylerinin ölçülmesi, ilgili mevzuatta belirtilen mesleki maruziyet sınır değerleri ile karşılaştırılması ve elde edilen bulgular doğrultusunda uygun kontrol önlemlerinin planlanmasını kapsayan bütüncül bir

yönetim süreci olarak ele alınmalıdır. Bu yaklaşım, yalnızca yasal yükümlülüklerin yerine getirilmesini değil, aynı zamanda çalışan sağlığının korunmasına yönelik proaktif ve sürdürülebilir bir iş sağlığı ve güvenliği anlayışının uygulanmasını da mümkün kılmaktadır.

Toz maruziyetinin nicel olarak belirlenmesinde, uluslararası kabul görmüş ölçüm standartlarının kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, işyerlerinde yapılan toz ölçümleri HSE/MDHS 14/4 standardına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Söz konusu standart, toplam torasik ve solunabilir aerosol fraksiyonlarının belirlenmesine yönelik yöntemleri tanımlamakta ve gravimetrik analiz esasına dayanmaktadır. HSE/MDHS 14/4 standardı, önceki uygulamalarda kullanılan HSE/MDHS 14/3 standardının yerini almış olup, önerilen örnekleme süresini 4 saat olarak belirlemektedir. Asgari örnekleme süresi 15 dakika olmakla birlikte, 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama (TWA) değerinin tahmini amacıyla, örnekleme süresinin vardiya süresinin en az %25'ini kapsamaması gerekmektedir.

HSE/MDHS 14/4 standardına göre solunabilir toz; çalışma ortamında oluşarak çalışanlar tarafından solunduğunda üst solunum yolları ve akciğerlere ulaşabilen partiküllerin ölçümünü içermektedir. Ölçüm süreci; filtrelerin uygun koşullarda hazırlanması, numune alma düzeneğinin kurulması ve doğrulanması, örnekleme başlığının bir hortum aracılığıyla pompaya bağlanarak çalışanın solunum bölgesine (ağız ve burun çevresi) en fazla 30 cm uzaklıkta konumlandırılması aşamalarından oluşmaktadır. Ölçüm stratejisinin belirlenmesinde TS 689 “İşyeri Havası – Solunumla Maruz Kalınan Kimyasal Maddelerin Sınır Değerler ile Karşılaştırılması ve Ölçme Stratejisinin Değerlendirilmesi İçin Kılavuz” standardı esas alınmalıdır. Numunelerin alınmasını takiben, laboratuvara uygun koşullarda taşınması, tartım öncesi hazırlık işlemleri, tartım, hesaplama ve raporlama süreçleri eksiksiz olarak yürütülmelidir.

Bunun yanı sıra, işletmelerin üretim faaliyetleri ve kullanılan hammaddelerin özelliklerine bağlı olarak, tozun kimyasal içeriğinin belirlenmesine yönelik analizlerin yapılması da gerekmektedir. Bu kapsamda, toz içerisindeki spesifik bileşenlerin analizi NIOSH 7601 standardına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Elde edilen ölçüm ve analiz sonuçları, risk değerlendirme sürecinin bilimsel temele dayandırılmasını sağlamakta ve toz maruziyetine bağlı sağlık risklerinin etkin biçimde yönetilmesine katkıda bulunmaktadır.

Sonuç

Madencilik faaliyetlerinde ortaya çıkan tozlar; fiziksel ve kimyasal özelliklerine, partikül boyutlarına ve biyolojik etkilerine göre farklı sınıflara ayrılmakta ve her bir toz türü

alışan sağlığı üzerinde farklı düzeylerde risk oluşturmaktadır. Özellikle serbest kristalin silika, kömür tozu ve lifsi mineraller gibi inorganik tozlar, pnömokonyozlar başta olmak üzere geri dönüşü olmayan meslek hastalıklarının temel nedenleri arasında yer almaktadır. Silikozis, Kömür İşçisi Pnömokonyozu ve asbestozis gibi hastalıklar, madencilik sektöründe en sık karşılaşılan ve en ağır seyreden meslek hastalıkları olup, bu hastalıkların en önemli özelliği maruziyet sona erdikten sonra dahi ilerleyebilmesidir. Bu durum, yalnızca çalışma süresi boyunca değil, meslek yaşamı sonrasında da çalışanların sağlık gözetiminin sürdürülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle tozla mücadelede esas yaklaşım, maruziyetin kaynağında nlenmesine yönelik mühendislik ve iş sağlığı ve güvenliği kontrollerine dayanmaktadır. Etkin bir toz kontrolü stratejisi; ikame yöntemleri, kapalı proses uygulamaları, yerel egzoz havalandırma sistemleri, nemlendirme ve filtrasyon teknolojilerinin bütüncül biçimde uygulanmasını gerektirmektedir. Özellikle yeraltı madenlerinde havalandırma sistemlerinin doğru tasarımı ve sürekli iyileştirme takibi, solunabilir toz yoğunluğunu sınır değerler altında tutmanın en etkili yoludur.

Bir çok farklı ülkede uygulamaya konulan köpük uygulamaları, su sisleme teknikleri ve yüzey ıslatma gibi modern toz bastırma yöntemleri hem çalışma ortamının iyileştirilmesine hem de havalandırma maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Toz maruziyetinin nicel olarak belirlenmesinde HSE/MDHS 14/4 standardı ile TS 689 standardının temel alınması, ölçüm stratejisinin doğru biçimde oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Toz kontrolünün ölçülebilir hale getirilmesi için HSE/MDHS 14/4 gibi uluslararası standartlara göre yapılan toz ölçümleri, risk değerlendirme sürecinin bilimsel temelini oluşturmaktadır. lm sonuçlarının mevzuatta yer alan mesleki maruziyet sınır değerleri ile karşılaştırılması, gerekli koruyucu tedbirlerin belirlenmesini ve sürekli iyileştirme mekanizmalarının işletilmesini olanak sağlamaktadır. Toplu korunma yöntemlerinin teknik olarak yetersiz kaldığı durumlarda, solunum koruyucu donanımların doğru seçimi ve kullanımının denetlenmesi, maruziyet yönetiminin son basamağıdır. CE işaretili, uygun filtre sınıfına sahip kişisel koruyucular, özellikle yüksek riskli ortamlarda çalışanların sağlığının korunmasında kritik rol oynar. Toz maruziyetinin sağlık açısından sonuçları ağır olsa da sistematik risk değerlendirmesi, mühendislik kontrolleri, sürekli izleme ve doğru kişisel koruyucu donanımların kullanımı ile pnömokonyozlar ve diğer meslek hastalıklarının önlenmesi mümkündür. Bu kapsamda maden işletmelerinde tozla mücadele, sadece mevzuat gerekliliği değil, sürdürülebilir üretimin ve çalışan sağlığının temel ön koşulu olarak stratejik bir öneme sahiptir.

Son olarak, madencilik sektöründe toz maruziyeti, meslek hastalıklarının gelişiminde belirleyici rol oynayan, çok boyutlu ve yönetimi zor bir fiziksel risk etmenidir. Tozla mücadelede başarı; yalnızca teknik önlemlerin uygulanmasıyla değil, risk değerlendirmesi, düzenli ölçüm ve izleme, çalışanların eğitimi, sağlık gözetimi ve sürekli iyileştirme anlayışının birlikte hayata geçirilmesiyle mümkün olmaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, hem yasal yükümlülüklerin yerine getirilmesini hem de çalışanların sağlığının uzun vadeli olarak korunmasını sağlayacaktır. Madencilik faaliyetlerinde sürdürülebilir, güvenli ve sağlıklı çalışma ortamlarının oluşturulabilmesi için toz kontrolü, iş sağlığı ve güvenliği açısından vazgeçilmez bir unsur olarak ele alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- Aktürk, S. (2019). *Fiziksel Risk Etmenlerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi Ve Uygulamaya İlişkin Bir Örnek* (Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı).
- Altınel, H. (2011). *İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği*. Detay Yayıncılık, Ankara.
- Arıtan, A. E., & Demir, M. (2015). Krom Ocaklarında Karşılaşılan Toz Problemi: Denizli Örneği. Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu 2015, 21-22 Aralık, Adana.
- Arıtan, A. E., & Tümer, M. (2015). Madencilik Çalışmalarında Oluşan Titreşimin Makine ve İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi. Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu 2015, 21-22 Aralık, Adana.
- Ayanoğlu, S. (2019). *Bir Yeraltı Kaya Tuzu Madenindeki Toz Maruziyet Risklerinin Değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Balcı, S. (2016). Çimento Üretiminde Toz ve Gürültü Maruziyetinin Değerlendirilmesi (İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi). T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Bilim, N. (2017). Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği. M. Altın, Ş. Taşdemir (Ed.), *İSG İş Sağlığı ve Güvenliği* (s. 654-672). Konya.
- Bilir, N. (2016). *İş Sağlığı ve Güvenliği*. Güneş Tıp Kitabevi, Ankara.
- Demir, C., Demir, A. U., & Evcik, E. (2022). Çalışma Yaşamında Pnöмокonyoz. Ankara: T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.
- Doğan, O. (2023). Evaluation of Noise and Vibration Levels in Mining Activities in Terms of Occupational Health and Safety: A Sample Application. *International Social Sciences Studies Journal*, 114. <https://doi.org/10.29228/sssj.70984>
- Duran, Z., Erdem, B., & Doğan, T. (2018). Maden Makinelerinin Frekans-Gürültü İlişkisi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), s.737-752. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2018.164>

- Eser, A. (2015). Maden İşlerinde Solunum Koruyucu Donanımlar. Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu 2015, 21-22 Aralık, Adana.
- Güven, H. N. R. (2002). Titreşimin El Kol Üzerindeki Sağlık Etkileri ([Doktora tezi]). Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kaya, F. (2021). Haddehanelerde Fiziksel Risk Etmenlerinin İncelenmesi: Karabük Haddehaneleri Örneği. (Yüksek lisans tezi) İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı.
- Reeves, E., Randolph, F., Yantek, S., & Peterson, J. (2009). Noise Control In Underground Metal Mining. Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and health, Pittsburg, ABD.
- Sabancı, A., & Sümer, S. K. (2015). Ergonomi. Nobel Yayıncılık. Ankara.
- Sezginer, S. (2015). Kişisel Koruyucu Donanımların Doğru Seçimi Doğru Kullanılması ve Kişisel Koruyucu Malzemelerin Taşınması Gereken Özellikleri. Mühendis ve Makina Dergisi, 55(655).
- SGK (2024). SGK İstatistik Yıllıkları, <https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Index/6863b1e8-c384-4f46-90c6-511dac2376d2/> (Erişim Tarihi: 21.04.2024)
- T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2016). Kişisel koruyucu donanım yönetmeliği. Resmî Gazete.
- T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2013). Kişisel koruyucu donanımların işyerlerinde kullanılması hakkında yönetmelik. Resmî Gazete (Sayı: 28695, 2 Temmuz 2013).
- Tozla Mücadele Yönetmeliği, ÇSGB, (Resmi Gazete). 05.10.2013 Tarih, Sayı: 28812, Ankara.
- Türk Standardları Enstitüsü. (2018). TS EN 689: İşyeri havası – Solunumla maruz kalınan kimyasal maddelerin sınır değerler ile karşılaştırılması ve ölçme stratejisinin değerlendirilmesi için kılavuz. Ankara.
- Yağcı, M., Yıldızlar, O., & Yıldırım, M. (2022). Madencilik Sektöründe Görülen Ergonomik Risk Faktörleri. Ergonomi, 5(1), s.55-71.

GEÇİCİ KAPAK

*Kapak tasarımı
devam ediyor.*