



TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYINIDIR

Mavi Gezegem

Popüler Yerbilim Dergisi

Yıl 2024 • Sayı 32

ISSN: 1302-4108



- İlk Kadın Petrol Jeologu: Mehlika İzgi Taşman Ribnikar
- Dünya ve Türkiye’de Afet Risk Azaltma Çalışmaları ve Bu Çalışmalarda Kadınların Yeri
- SU’ya Dair Her Şey
- Elektron Prob Mikro Analiz (EPMA) Tekniğindeki Yenilikler
- Serbest Kum Madenciliği
- Nükleer Atık Deposu Olarak Kullanılan Granitik Kayaçlarda Termal Isı Etkisi İle Mikro Çatlak Gelişimi

**TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey**

YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE BOARD

Hüseyin ALAN	Başkan / <i>President</i>
Seçkin GÜLBUDAK	İkinci Başkan / <i>Vice President</i>
Dursun Malik BAKIR	Yazman / <i>Secretary</i>
Düzgün ESİNA	Sayman / <i>Treasurer</i>
Burcu GORBİL	Yayın Üyesi / <i>Member of Publication</i>
Özgür DEĞİRMENCİ	Mesleki Uygulamalar Üyesi / <i>Member of Professional Activities</i>
Zeynel Abidin GÖK	Sosyal İlişkiler Üyesi / <i>Member of Social Affairs</i>

BAŞ EDITÖR

Prof. Dr. Cüneyt ŞEN
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
e-posta: csen@ktu.edu.tr

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Raif KANDEMİR
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
e-posta: raif.kandemir@erdogan.edu.tr

Dr. Tülay BAK
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
e-posta: tulaybak@ktu.edu.tr

Tasarım/Mizanpaj

İlhan ULUSOY

Yazışma Adresi

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
PK. 464 Yenışehir, 06410 Ankara
Tel: (0312) 434 36 01
Faks: (0312) 434 23 88
E-Posta: jmo@jmo.org.tr
URL: www.jmo.org.tr

Yayın Türü

: Yaygın Süreli Yayın

Yayının Şekli

: Yıllık

Yayın Sahibi

: TMMOB JMO Adına Hüseyin ALAN

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

: Hüseyin ALAN

Yayının İdari Adresi

: Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara Tel: 0 312 432 30 85 Faks: 0 312 434 23 88

Baskı (Printed by)

: ERS Matbaacılık Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı No: 87/7 İskitler / Ankara Tel: 0 312 384 54 88

Baskı Tarihi

: Haziran 2024

Baskı Adedi

: 500

YAZARLAR / WRITERS

Nilgün OKAY
Güldemin DARBAŞ
Fatma GÜLTEKİN
Kıymet Deniz YAĞCIOĞLU
Hilal OKUR
Sibel TATAR ERKÜL



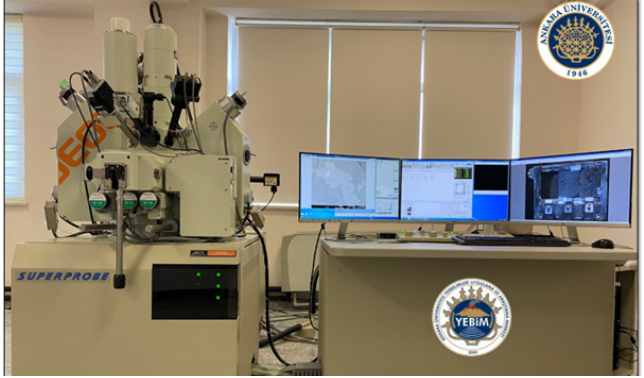
İçindekiler



İlk Kadın Petrol Jeologu

MEHLİKA İZGİ TAŞMAN RİBNIKAR (1912-2007)

5



Elektron Prob Mikro Analiz (EPMA) Tekniğindeki Yenilikler

43



Dünya ve Türkiye'de Afet Risk Azaltma Çalışmaları ve Bu Çalışmalarda Kadınların Yeri

13



Serbest Kum Madenciliği

53



SU'ya Dair Her Şey

25



Nükleer Atık Deposu Olarak Kullanılan Granitik Kayaçlarda Termal Isı Etkisi ile Mikro Çatlak Gelişimi

61

Sunuş

8 Mart, Birleşmiş Milletler tarafından “**Dünya Kadınlar Günü**” olarak kabul edilmiştir. Bugün insan hakları temelinde kadınların siyasi ve sosyal bilincinin geliştirilmesine, ekonomik, siyasi ve sosyal başarılarının kutlanmasına ayrılmıştır.

Yer bilimleri ile ilgili çalışmalara kadınlar 1700’lü yıllardan bu yana olağanüstü katkılarda bulunmaktadır. Jeoloji mühendisliğinden madencilik, petrol ve su aramalarına kadar kadın yer bilimcilerin sayısı gittikçe artmaktadır. Kadın yer bilimciler hem sahada hem laboratuvarında başarılı çalışmalar yaparak günümüz yer bilimlerinin gelişmesine olumlu katkılar vermektedir.

Mavi Gezegen Dergisi olarak biz de bugünün anısına özel bir sayı çıkarıyoruz. Bu Özel Sayı’daki yazarların tümü alanında başarılı çalışmalar yapmış yer bilimci kadınlardan oluşmaktadır.

“*Mehlika İzgi Taşman Ribnikar (1912-2007)*” ülkemizin ilk kadın petrol jeoloğunun ders alınacak yaşam hikayesi **Nilgün Okay** tarafından kaleme alındı. Cumhuriyetimizin en heyecanlı dönemlerinde MTA’da tercüman olarak kariyerine başlayan Mehlika İzgi Hanım’ın nasıl jeolog olduğunun hikayesi bu.

Yaşadığımız döneme damgasını vuran doğa olaylarının sonucudur afetler. Afet risk azaltma çalışmalarında kadının yerini **Güldemin Darbaş** kaleme aldı. Her ne kadar doğa kaynaklı afet meydana geldiğinde afetin tüm bireyleri eşit etkilediği düşünülse de pratikte toplumun en kırılgan kesimi olan kadınlar, çocuklar ve engelliler en fazla etkilenen gruplardır. Afet risk azaltma çalışmalarında toplumsal cinsiyet perspektifi ne olmalıdır?

Mart ayında aynı zamanda “Dünya Su Günü” de kutlanmaktadır. **Fatma Gültekin**, “*Su’ya Dair Herşey*” başlığı altında suyun kimyasından su döngüsüne, su kullanım-tüketimine ve su ayak izine kadar geniş bir perspektifte suyu ele aldı. Yaşamın olmazsa olmazı su tüm yönleriyle irdelendi.

X-ışını spektroskopisinin keşfedilmesinden sonra 1940’larda geliştirilen ilk mikro problemlerden günümüze mikro problemler yer bilimci ve malzeme bilimcilerinin vazgeçilmez cihazları oldu. **Kıymet Deniz Yağcıoğlu** sizler için elektron problemlerin çalışma prensipleri ile mikro prob analizlerinin nasıl yapıldığını kaleme aldı.

Dünya genelinde en çok tüketilen doğal malzemenin birincisi su ikincisi kumdur. **Hilal Okur** serbest kum madenciliğinin doğaya etkisini yazısında irdeledi.

Nükleer santraller önemli enerji sağlayan kaynaklardır. Nükleer santrallerden çıkan nükleer atıklar nerede ve nasıl depolanmalıdır? **Sibel Tatar Erkül**, nükleer atık deposu olarak kullanılan granitik kayalarda termal ısı etkisi altında çatlak gelişimini ele aldı yazısında.

8 Mart Dünya Kadınlar Gününüz kutlu olsun.

Editör Kurulu Adına

Dr. Tülay Bak



İlk Kadın Petrol Jeoloğu

MEHLİKA İZGİ TAŞMAN RİBNİKAR (1912-2007)

“Çağımızın mikropaleontologlarını, fosilleri tanıyıp içlerinde buldukları taşların jeolojik yaşlarını tayin etmenin dışında, daha pek çok görevler beklemektedir.”

Mehlika İ. Taşman-Ribnikar (1975)

Nilgün Okay
İstanbul Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
okayn@itu.edu.tr

1940'lı yıllarda araziye gönderilen ve kuyu alanlarında görev yapan jeologlar arasında en dikkat çeken, Türkiye'nin ilk kadın petrol jeoloğu Mehlika İzgi Taşman-Ribnikar'dır. Amerikan Petrol Jeologları Derneği'nin (AAPG) kuruluşunun 100. yılında kadın petrol jeologları ile ilgili bir kitap yayınlandı ve sergi düzenlendi. Bu kitapta geçtiğimiz yüzyıla damga vuran petrol jeolojisinin öncüleri ilk 100 kadın arasında Mehlika Taşman-Ribnikar da vardı (Şekil 1). 2017 yılında Amerikan Jeoloji Kurumu'nun (GSA) yıllık kongresinde düzenlenen “Petrol Jeolojisinin Öncü Kadınları Sergisi” sahadaki kadın jeologların inanılmaz mücadele ve başarılarını ortaya koymuştu.



Şekil 1. Amerikan Petrol Jeologları Derneği'nin kuruluşunun 100. yılında yayınlanan *Anomalies – Pioneering Women in Petroleum Geology: 1917 to 2017* adlı kitapta Robin R. Gries kadın petrol jeologlarının biyografisini yazmıştı. GSA Kongresinde düzenlenen sergide 100 kadın arasında *Mehlika Taşman*'a da (no 77) yer verilmişti [1].

Yirminci yüzyılın sonlarına kadar kadınların jeolojik alanlara ilgisi daha ortaya çıkmamış olsa da bilim tarihimizde yetenekli, meraklı ve cesaret sahibi kadınlar bulunmaktadır [2, 3]. Önceki kadın jeologların deneyimleri, zorlukların üstesinden gelerek gösterdikleri gayret incelenmeye değerdir. Bu kadınların ortak özellikleri, eğitime önem veren ailelerde yetişmiş ve karşılık beklemeden bilime katkı verebilecek kişiliğe sahip olmalarıydı. Cumhuriyet kurulurken Atatürk bu eğitimli ve inanan gençlerin katkısı ile gerçekleşebilecek bilimsel ve sosyokültürel değişimi amaçlamıştı. Bu yazıda, petrol jeolojisinin gelişiminde kadınların işbirliği ile yaptıkları katkının etkileri değerlendirilmektedir¹. Bu tarz çalışmalar toplumsal cinsiyet konusu olarak ele alınmakta, günümüz bilimsel araştırmaları için önemsiz görülse de durum saptaması için oldukça yararlı olabilir.

Mikropaleontolojinin yükselişi

Günümüzde altyapı ile ilgili mühendislik projeleri ile petrol ve maden jeolojisinden bölgesel jeolojiye kadar birçok çalışmada kullanılan mikropaleontoloji, 1920'lere kadar stratigrafik ve paleontolojik problemlerin çözümünde önemsiz bir rol oynamıştır [4]. Yirminci yüzyılın başında, petrol talebinin artmasıyla arama çalışmaların-

da, foram-devrimi diye adlandırılan mikropaleontolojinin yükselişi yaşanmıştır. Önemi fark edilen mikropaleontolojinin endüstride etkileri artan ve büyüyen bir alan oldu. Amerikalı mikropaleontolog Joseph A. Cushman'ın makalesi petrol arama çalışmalarında büyük atılımın gerçekleşmesine neden olmuştu².

Petrol şirketleri kuyularda aldıkları örnekleri sistematik bir şekilde analiz ettirmeye, jeolojik yorumlarını mikropaleontolojik etütlerden elde edilen bulgulara göre sondaj yapmaya başlamıştı. Özellikle Birinci Dünya Savaşı'nın ardından foraminiferlerin indeks-fosil olarak jeolojik etüt çalışmalarında kullanılmasının sondaj maliyetlerini etkilediği görüldü. İçinde petrol bulunan tabakaları korele etmeye yarayan bu yöntem kullanılmaya başlandı. Sondaj çalışmalarının neredeyse büyük bir çoğunluğu mikropaleontolojik sonuçlara dayanıyordu. Paleontologların çoğu, foraminiferlere odaklandı. Yöntemin ortaya atıldığı üç yıl içinde, mikropaleontolog istihdamı arttı. Kısa sürede üniversitelerde öğretilmeye başlanmıştı.

Daha yüzyılın başında, birçok üniversite kadınları kabul etmeye başlamıştı. Jeoloji eğitimi alan kadınlar doğa tarihiyle ilgili çocuk ve kadınlara yönelik eğitim kitapları yazıyor; arazide çalışan jeologlara kaya, fosil ayrıntılarını resmediyorlardı. Ancak bu, kariyer sağlamıyordu, kadınlar için uygun görülen işler genellikle düşük ücretli pozisyonlardı. Dünya savaşı, özellikle endüstride istihdam açığı ve sosyokültürel değişimler Amerika'da kadınların bu alanda yer almasını sağlamış, Teksas'taki petrol şirketlerinde kadın jeologlar da çalışmaya başlamıştı. Petrol içeren sahalardaki sedimenter kayalarda bolca bulunan mikron boyutlarında mikrofosil topluluklarının özel yöntemlerle toplanması, laboratuvarında hazırlanması, gözlem ve tanımlamaların yapılması sabır ve itina gerektiriyordu. Mikropaleontoloji kadınların jeolojinin diğer alanlarından daha fazla ilgisini çekiyordu.

Farklı petrol şirketlerinde çalışan Esther Applin, Alva Ellisor ve Hedwig Kniker Meksika Körfezi'ndeki petrol aramalarında ilk defa foramların kulla-

1 Bu makale, Mehlika Taşman'ın yayımlanmış çalışmaları ile kendisinden bahseden mevcut birincil ve ikincil kaynaklara dayanarak bir biyografisini sunmaktadır. Bu yazıda kullanılan bilgiler TPJD (1) ve 22. Paleontoloji Sempozyumunda (2) sunulmuştur.

2 Petrol aramalarında yaklaşım yaş belirleme yönteminden ziyade detaylı mikro-fosillerin incelenmesine dayalı kuyuların korelasyonunu gerektiriyordu: Cushman, J. A. 1924. The use of Foraminifera in geologic correlation. AAPG Bulletin, 8(4): 485-491.

nılabileceğini ortaya koymuştu (Şekil 2). Üç kadın mikropaleontoloğun işbirliği sonucunda yayınlanan makale ile Cushman'ın foraminifer biyostratigrafisinin yeraltı jeolojisinde nasıl uygulanacağı belgelenmişti [5]. 45 sayfalık bu makalede Teksas Körfezi'ndeki kuyu örneklerinde bulunan mikro-organizmaların dağılımı dikkatli bir şekilde incelenmiş, Tersiyer oluşumların denizel karakterine ilişkin önemli bilgiler sağlanmıştı. Görüşleri başlangıçta reddedilse de, geliştirdikleri bu yaklaşımın petrol endüstrisinde kullanımı hızla yaygınlaştı.



Şekil 2: 1920'lerde AAPG'de etkili bir makale yayınlandı. Farklı şirketlerde çalışan üç ev arkadaşı paleontolog Hedwig Kniker (B.A. 1916), Esther Richards ve Alva Ellisor (B.A. 1915) foram devriminin öncüleri olmuştu. Çalışmaları yeni petrol alanlarının keşfedilmesini sağlamıştır. Kuyu-korelasyonunda foraminiferlerin indeks-fosil olarak kullanılması mikropaleontologlar için petrol endüstrisinde iş imkanı yaratmıştı.

Türkiye'nin ilk petrol kuyusu açılıyor

Genç Türkiye Cumhuriyeti'nin ekonomik kalkınmasında madenlerin ve petrol potansiyelinin araştırılması ve işletilmesi oldukça önemliydi. Anadolu'da petrol arama çabaları bu dönemde hız kazanmıştı. ABD'den davet edilen jeolog Cevat Eyüp yürütücülüğünde 1930 yılında birçok bölgede araştırma yapılmıştır. Bu ön-çalışmalar sonucunda hazırlanan raporda petrolün çıkarılması ve işlenmesinin riskli ve oldukça maliyetli olduğu ve teknik malzeme ve eleman gerektirdiği belirtilmektedir .

Türkiye'nin petrol araştırmalarının gelişmesinde etkisi olan Cevat Eyüp [Taşman] (1893-1956) İstanbul Robert Koleji'nden 1910 yılında mezun olduktan sonra Cumhuriyet öncesinde Amerika'ya gönderilen ilk öğrencilerdendi [6]. New York Columbia Üniversitesi'nde maden mühendisliği eğitimi almıştı. Dünya savaşı çıktığı sırada Türkiye'ye dönememiş, bir maden şirketi olan Anaconda Copper'da çalışmaya başlamıştır. Daha sonra

Cities Service'e geçen Cevat Taşman, petrol jeoloğu olarak Amerika ve Meksika'da petrol arama sahalarında yaklaşık 17 yıl çalışmıştı.

1933 senesinde Petrol Arama ve İşletme Dairesi kurulunca yönetimine Cevat Eyüp Taşman getirilmiştir. Petrol arama ve sondaj için gerekli sistematik jeolojik etütler ve jeofizik araştırmalar başlanmıştır. Cevat Taşman ile birlikte Amerikalı jeolog Sidney Paige, Basel Üniversitesi'nden Türkiye'de çalışan ilk mikropaleontolog Louis Vonderschmidt, maden mühendisi İhsan Ruhi Berent ve petrol mühendisi Kemal Lokman Mardin ve Siirt civarında detaylı jeolojik haritalama yapmış, buna göre sondaj yeri belirlemiştir [7]. Amerika'dan satın alınan buharla çalışan kablolu-darbeleri ikinci el sondaj makinası ile Mardin-Batman sınırındaki Midyat yakınlarında bulunan Basbirin (Sarıköy) mıntıkasında 1934 yılında zor şartlar altında ilk derin sondaja başlanmış, ilk kuyu Basbirin-1 açılmıştır [8].

Ertesi yıl, Atatürk'ün talimatıyla Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) kurulmuş, Petrol Arama ve İşletme Dairesi de MTA'ya bağlanmıştı. Yabancı uzmanlardan oluşan arama ekibinde yer alan dönemin önemli jeologları H. M. Kirk, Kurt Schmid, Louise Jordan, Paul Arni ve Socco Walle Tromp 1930'ların sonları ve 1940'ların başlarında ağırlıklı olarak Güneydoğu Anadolu'da detaylı haritalama ve jeolojik etüdler yaptı [9]. Bu araştırmalarda foram çalışmalarına odaklanılmış ve Anadolu'da petrol aramalarında ilk defa mikropaleontoloji kullanılmıştı [7]. MTA'da çalışan yabancılar arasında Louise Jordan mikropaleontologtu (Şekil 3). Aynı zamanda Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) doktora yapan Jordan, Foram Araştırma Lab. kurucusu Prof. J. A. Cushman'ın öğrencisiydi. Yeni Gine'de Pliyosen yaşlı foraminiferler üzerine çalışmasıyla MIT'de yüksek lisansını tamamladıktan sonra İstanbul'a gelmiş, bir süre (1932-1933) Arnavutköy Amerikan Kız Koleji (ACG)/Robert Kolej'de fizik öğretmenliği yapmıştı [10]. MTA'nın kurulmasıyla Ankara'ya gelen Jordan, Güneydoğu Anadolu'da açılan kuyuların foraminifer biyostratigrafisi ile kuyuların bulunduğu bölgenin yeraltı jeolojik yapısını belirlemek üzere görevlendirilmişti. Kaldığı üç yıl içinde ikinci kuyu olan Hermis-1'i de incelemiş ve Basbirin-1 ile korelasyonunu ortaya

koymuştur [11]. Aynı yıl yabancı uzmanların İngilizce raporlarını tercüme etmek üzere Mehlika İzgi MTA'ya alınmıştı.



Şekil 3. Dr. Louise Jordan'ın babası maden mühendisiydi; çok seyahat eder, ailesini de yanında götürürdü. Jordan'ın jeoloji ilgisi daha çocukluk yıllarında başlamıştı. Kısa geçen yoğun kariyer hayatında petrol jeolojisine büyük katkıları olan Jordan'ın Applin ile birlikte Paleontoloji dergisinde yayınladıkları makale.

Türkiye'nin ilk kadın petrol jeoloğu Mehlika İzgi

1912 yılında İstanbul'da doğan Mehlika İzgi, mikropaleontolog Louise Jordan'ın öğretmenlik yaptığı yıllarda ACG'de eğitim almış, Artium Baccalaureus (AB) anlamına gelen eski BA-lisans derecesi ile mezun olmuştu. Kolej'de öğretilen fen bilimleri kapsamında jeoloji ve madencilik dersleri verilmekteydi. İki dönem verilen derslerde mineral ve madenler tanıtılıyordu. Jeoloji ders kitabının yanı sıra, Kolej'in zengin mineral, fosil ve kaya koleksiyonlarının bulunduğu müze-laboratuvarda uygulamalar yapılıyordu [12]. Kolej'in öğretmenleri Wellesley gibi önde gelen Amerikan okullarında eğitim görmüştü. Bu öğretmenlerin arasında mikropaleontolog Louise Jordan ve Büyükçekmece civarında çalışan *George Hubbard* gibi araştırmacılar vardı³. Seçme bilginin yanında, öğrencinin karakterini biçimlendirecek becerilerin de verilmesi amaçlanıyordu. Verilen eğitimin kalitesi dünya standartlarına ulaşmıştı. Mehlika İzgi'nin jeolojiye ilgisi daha Kolej yıllarında aldığı bu eğitimle başlamıştı; bu ilgi daha sonra kariyeri ve özel hayatıyla bütünleşmişti. Kurtuluş Savaşı gazisi askeri doktor olan babası Mustafa Fahri İzgi, Cumhurbaşkanı

3 Hubbard GD (1931). *New Mastodon finds in European Turkey*. *Science* 73 (1898): 527–528. Mağaranın çevresinde Mastodon-Geç Miyosen'den Pleyistosen sonuna kadar (5.3 milyon-11000 yıl önce) yaşamış, hortumlular ailesinden mammut- kemiklerine rastladığını belirtmiştir.

İsmet İnönü'nün özel doktorudur; kendisine gittiği yerlerde eşlik etmektedir [13]. 1935 yılında Türkiye'nin ilk petrol kuyusunun açılışı için İnönü ve Cevat Taşman ile aynı arabada Başbirin'e gitmiştir. Böylelikle Mehlika İzgi'nin MTA'daki kariyer yaşamı başlamıştır.

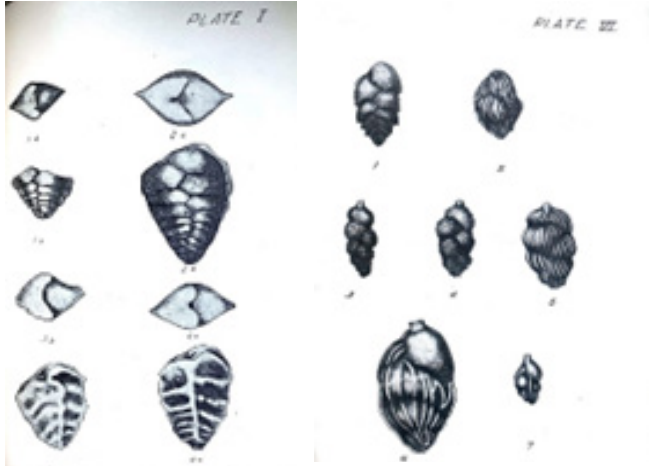
Tercüman olarak işe başladığı MTA'da Kolej'deki öğretmeni Louise Jordan laboratuvarda çalışmaktadır. Daha laborantın bile olmadığı yıllarda Mehlika İzgi, Louise Jordan'dan numunelerin nasıl yıkanacağını öğrenmiş, ince kesit yapılmasını kısa sürede kavramıştı [14]. Geç saatlere kadar laboratuvarda numune hazırlamakta, bir yandan Amerikalı uzmanların yazdıkları detaylı jeolojik raporları tercüme yapmaktadır. Fakat yeterli jeoloji bilgisi olmadığından tercümede zorlanıyor, takıldığı kısımları ve jeolojik terimleri raporları yazan jeologlara soruyordu. Böylece jeolojiye olan merakı giderek daha da artmıştı. Cevat Taşman, jeoloji raporlarını tercüme ederken çalışmalara katılan Mehlika İzgi'nin jeoloji eğitimi yapması gerektiği görüşündeydi.

ABD'de jeoloji eğitimi (1938-1940 yılları)

Petrol alanında uzmanların bir an önce yetişmesi için Atatürk öncelikle İngilizcesi olan gençlerin yurtdışında eğitim almasını düşünmüştür. 1938 yılında Mehlika İzgi sınavsız olarak ABD'ye jeoloji eğitimine gönderilmiştir. Mikropaleontolojinin ilk öğretilmeye başlandığı Austin'deki Teksas Üniversitesi'ne kabul edilmiştir. Bu arada 1939'da doktorasını tamamlayan Dr. Louise Jordan da Teksas'a gelmiş, Sun Oil'de çalışmaya başlamıştı⁴. Bu yıllarda Applin ile Florida'daki foramların tasnifi üzerine çalışıyordu (Şekil 3). Tersiyer ve Kretase formasyonlarında kırk adet foraminifer türü tanımlanmış ve aynı formasyonlarda yaygın olan diğer türleri de ortaya koymuşlardı. Mentörü olarak tez çalışmasında inceleyeceği örnekleri sağlayan Louise Jordan, Mehlika İzgi'ye destek oluyordu. Kısa sürede eğitimini tamamlayabilmek için Mehlika İzgi Michigan Üniversitesi Jeoloji Bölümü'nden de ek dersler almıştır. 1939-1940 yaz döneminde saha jeoloji dersi kapsamında Ann Arbor'da bulunmuş, sınıf ve laboratuvar çalışma-

4 Jordan L (1939). *A Study of Miocene Foraminifera from Jamaica, the Dominican Republic, and the Republics of Panama, Costa Rica and Haiti*, MIT (PhD).

ları ile günöbirlik kuramsal saha dersinden sonra Wyoming'de 8 hafta yoğun bir arazi çalışması tamamlamıştır. 1940 yılı sonunda Prof. Robert H. Cuyler'in danışmanlığındaki "Adana sondajları ile ilgili mikro-fauna etüdü" çalışmasını tamamlayarak mezun olmuştur ([15a ve b], Şekil 4).



Şekil 4. MTA'nın Adana Hocalı sondajından alınan örneklerde Cushman'ın sistematığını kullanarak adlandırdığı 6 adet foram. Soldaki Plate I: (1a,b) Spiroplectamina adanensis İzgi, (2a,b) Spiroplectamina cuyleri İzgi, (3a,b) Textularia jordanae İzgi, (4a,b) Textularia taşmanı İzgi; sağda Plate VI: (2) Uvigerina bullardi İzgi, (7) Angulogerina cuyleri İzgi olarak tanımlanmıştır.

Anadolu'da büyük Erzincan depremi ve üst üste gelen afetler, dışarda Dünya Savaşı tüm şiddeti ile sürerken Raman'da Maymune Boğazı adı verilen vadi içinde petrole rastlanmıştır [14]. Mehlika İzgi'nin biran evvel dönmesi ve beraberinde bir sondajcı getirmesi isteniyordu. Türkiye'den para gelmediği için maaşların verildiği Amerikan bankasından aldığı ödünç para ile yola çıkabildi. Atlantik Okyanusu'nda Alman denizaltıları Amerikan gemilerini batırıyorlardı; bu durumda Türkiye'ye ancak Pasifik Okyanusu tarafından ulaşılabilirdi. Kitapları, mikroskobu ve bir Amerikalı sondajcı ile birlikte gemiye bindikten kısa bir süre sonra Japonlar Aralık 1941'de Pearl Harbor'a saldırmıştı. Güç şartları altında Hindistan kıyılarında Basra'ya oradan da Bağdat üzerinden karlı bir kış gününde Ankara'ya varmıştı [14]. Bir hafta içinde Raman'a yeni başlayacak sondajın başına görevlendirilmişti (Şekil 5).



Şekil 5. ABD'de MTA adına jeoloji eğitimini tamamlayan Mehlika İzgi, Türkiye'nin ilk kadın petrol jeoloğu olarak Raman'da çalışmaya başlamıştır. Raman dağının hemen altındaki Maymuniye Boğazında kurulan rafineri, İstanbul'dan getirilen iki kazandan ibaret ikinci el bir tesisti; 14 yıl süreyle asfalt üretmişti [16].

Raman Dağlarında

Annesiyle Raman dağına gelen Mehlika İzgi, Garzan 1 kuyusunda çalışmaya başlamıştı. Cevat Taşman ile beraber araziye çıkan Mehlika İzgi kuyu paleontoloğu olarak, sondajdan çıkan örnekleri, foraminiferlerin yanı sıra diğer mikrofosil içeriklerine göre tanımlıyor, Ankara'ya rapor veriyordu. Garzan kampında zor koşullarda görev yapıyorlardı. Sondaj takımı sıkışınca büyük patlama yaşanmıştı [17]. Ayrıca herhangi bir saldırıya karşı bölgede yoğun güvenlik önlemleri altında petrol çıkarılırken çalışmalar hızlanarak devam ediyordu.



Şekil 6. Trende Maymune boğazına varırken evlenme tekliyi yapan Cevat Eyüp Taşman ile Raman dağında evlendiler⁵. Taşman'ların kaldığı Raman ahşap lojmanlar tek kat üzerine yapılmıştı. Barakanın zemini topraktı, üzerine hasır serilmişti.

5 Mehlika Taşman ve Cevat Eyüp Taşman hakkında kısa bir belgesel. https://www.youtube.com/watch?v=QG0_t_l6yZw&feature=share&fbclid=IwAR1Q0yqcaCep0wR1c-YSlhSqDKxw57xO2poJl1rVs8Ggn-FOB2ImB_9YvSVQ <https://www.batmancagdas.com>

Sondaj arama çalışmaları başladığında MTA'nın ilk petrol kampı Batman-Mardin il sınırındaki Sarıköy yakınlarında kurulmuştu [14]. Ahşap barakaların bulunduğu kampta Taşmanlar'la birlikte MTA'nın ilk jeologları ve yabancı mühendisler kalıyordu (Şekil 6). Yol koşulları da çok kötüydü. Yolların olmadığı bölgede çalışmalar atla ya da yaya olarak yapılırdı (Şekil 7). Uçakla Diyarbakır'a gelinir, Raman'a ulaşabilmek için mühendisler tahsis edilen arabalar bozulunca saatlerce yollarda kalınırdı.



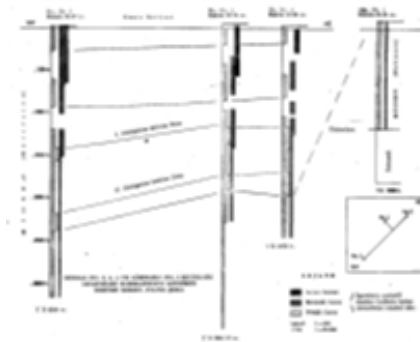
Şekil 7. Cevat Taşman, Amerikalı jeologlarla Hasanköy'den Savur ve Nusaybin'in çevresindeki petrol arama sahalarına giderken, Dicle nehrini salla geçmişti. Uzun yıllar arazi çalışmaları atlarla yapılmıştır. Raman'daki petrol sahalarına Mehlika Taşman, at sırtında gitmiştir [14].

Mehlika Taşman, zamanının büyük bölümünü geçirdiği Raman'da S. W. Tromp ile çalışmıştır (Şekil 8). Bu işbirliği ile 1940'lı ve 1950'li yıllarda güneydoğu Anadolu'nun Mesozoik ve Senozoik mikrofaunası ile ilgili yaptıkları çalışmalar, bu bölgenin Üst Kretase ve Tersiyer stratigrafisinin anlaşılmasına ışık tutmuştur [18]. Raman dağındaki Kuyu No. II'de Alt-Eosen ve Üst-Kretase (Senonien ve Üst Turonien) yaşlı birimlerde ilk olarak detaylı mikrofauna değişimlerine dayalı stratigrafik (Eosen–Kretase, Senonien–Turonien, Mestrichtien–Kampanien, Kampanien–Santonien) sınırlar tanımlanmıştır [19, 20a ve b]



Şekil 8. 1940'lı yılların sonunda üç kadın paleontolog Lütfiye Erüenal (Erentöz), Mehlika Taşman ve Cahide Ünsalner (Kırağlı), Socco Walle Tromp ile arazide. Adana bölgesinin petrol olanakları araştırılırken Tersiyer ve Kuaterner tabakaların stratigrafik bakımdan tayininde Lütfiye Erüenal, mercanların tanımlanmasında Cahide Ünsalner çalışmıştır [21].

Mehlika Taşman sondaj çalışmalarının aralıksız devam ettiği Adana ve İskenderun Neojen havzalarından çok sayıda örnek üzerinde inceleme yapmıştır [15, 22a ve b]. Raman'dan sonra zamanının çoğunu MTA'nın Adana yakınlarında işlettiği küçük arazi laboratuvarında geçirmiştir. Mehlika Taşman 1950 senesinden itibaren Adana'da açılan kuyulardan elde edilen foraminifer analizine dayanan korelasyon yapmıştır [22a ve b]. Hocalı'da derinliği 3000 metreyi aşan üç derin ve Ağzıkara'da derinliği 2000 metreye yaklaşan kuyular açılmıştı. Bu kuyu örneklerindeki foraminiferlerin kantitatif analizlerini yapmış, sondajlarda geçilen formasyonların ilişkisini şematik bir şekilde ortaya koymuştur (Şekil 9). Bulgularına göre bölgenin paleocoğrafyasını yorumlamıştır.



Şekil 9. Hocalı 2, 3 ve 4 numaralı kuyuları ile Ağzıkara No. 1 kuyusu kalın Miyosen tabakaları kesmektedir. Kuyulardaki örneklerde güvenilir sonuç veren fosil, Globigerina helicina bulunmuştu. Bu sahada bolca bulunan foraminiferlerin kantitatif analizi ile bu kuyuların ilişkisini ortaya koymuştur 22a ve b].

TPAO'nun 1954 yılında kurulmasıyla MTA petrol arama çalışmalarını bıraktıktan sonra Taşman'lar Batman'dan ayrılmıştır. Cevat Eyüp Taşman Türkiye'de 25 yıl petrol arama programını yönetmiş, sondaj ve işletmesinin geliştirilmesi için çeşitli görevlerde bulunmuştur. Cevat Taşman, eğitim hizmeti MTA kamplarında Türk mühendis ve teknik elemanların yetiştirilmesinde, sahada yapılacak çalışmalarda, petrol aramalarında kullanılacak makine ve ekipmanların işletilmesinde büyük katkı sağlamıştır [23]. Taşman'lar 1946'da kurulan Türkiye Jeoloji Kurumu'nun (TJK)'nin ilk kurucu üyeleri arasında yer almıştır. Cevat Taşman 1950-1951 yıllarında 2 kez başkan seçilmiş, Türkiye Jeoloji Bilimsel ve Teknik Kurultaylarının başkanlığını yapmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Taşman'ların yakın arkadaşlarından jeofizikçi Dr. Kazım Ergin ile İskenderun'da. Raman dağında arka sırada: MTA jeologları M. Taşman, L Erünel, C Taşman ile MTA için jeolojik haritalama çalışmalarında yer alan İstanbul Üniversitesi'nden AC Okay, Fuat Baykal; ön sırada İ Ketin ile MTA asistan mikropaleontologları Vecihe Ardor ve Berrin Özman yer almış. 1949 yılında Melika Taşman Midyat-Basbirin sahasında MTA çalışanları için kurulan yeni kampta [14].

Tatbiki Mikropaleontoloji

"Buna karşılık bu zenginliklere sahip oldukları halde, gerekli endüstrilerini kuramamış bulunan toplumlar ise, geri kalmışlığın her tür acı sonuçları ile kıvrınmaktadırlar. Bunun birçok nedenleri olmakla birlikte, en önemlisi hiç şüphesiz bu alanda yetişmiş yeterli nitelik ve sayıda bilgili elemanlardan yoksun bulunmalarıdır."

Sadettin Alpan (1975)

1956 yılında Meksika'da katıldığı XX. Dünya Jeoloji Kongresi'nden döndükten sonra Cevat Taş-

man'ın ani vefatıyla, Mehlika Taşman MTA'daki görevinden bir süre ayrılmıştır [23]. Esso Türkiye, Türk Körfez Petrol Şirketlerinde çalışmış, petrol şirketlerine danışmanlık yapmak üzere kendi özel paleontoloji laboratuvarını kurmuştu. Petrol şirketlerinin artık mikropaleontolojik çalışmalarını yürüttüğü yeraltı jeolojisi laboratuvarları yaygınlaşmaktaydı) [24]. Özellikle fasiyes değişiklikleri çok seri olan sahalarda mikrofosillerin araştırılması yeraltı yapısının anlaşılmasında önem kazanmıştı. Genel jeolojik haritalamada gereken paleontolojik çalışma ile petrol aramada kuyular arasında korelasyon için gerekli mikropaleontolojik çalışma arasında farklar vardı. Bu nedenle, Mehlika Taşman mikropaleontolojik laboratuvar tekniklerini öğretmeğe başlamıştı. Sahada kuyu örneklerinin hazırlanması, tanımı, arşivlenmesi, laboratuvar araçlarının kullanılması, çalışma sonuçlarının tablolandırılması konularında eğitimler vermiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Tatbiki Mikropaleontoloji kursları düzenlemiştir. Taşman Türkiye'nin dışında da, Kuzey Irak ve İran'daki petrol bölgelerini de gezmiş, kuyu örneklerinin laboratuvarında incelenmesini sağlamıştır.

Mehlika Taşman'ın yardımıyla TPAO'da küçük bir barakada laboratuvar kurulmuştu. Batman'da 1957 yılında kurulan bu laboratuvar da sadece bir mikroskop vardı. Mehlika Taşman, genç mikropaleontologların yetişmeleri için eğitimler vermiştir (Şekil 11). İstanbul Üniversitesi'nden yeni mezunlar Taşman'ın yanında çalışmaya başlamıştı. Değişen mikropaleontolojinin kullanımı ile ilgili genç meslektaşlarının çalışmalarında karşılaşılabilecekleri yeraltı jeolojisinin problemlerinde faydalı olabilecek bir el kitabı hazırlamıştır (2).



Şekil 11: Taşman yeraltı jeolojisi ve mikropaleontoloji konularında eğitimler vermiş, bir mikropaleontologun yapması gereken işlemlerle (örneklerin hazırlanması, mikroskopla tanımlanması, kayıt ve arşivlenmesi ile raporlanması) bir laboratuvar da alet ve gereçlerin kullanımı konularındaki tecrübelerini Tatbiki Mikropaleontoloji kitabında toplamıştı [3].

Bu çalışma kadınların mücadelesi ve başarılarını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Mehlika Taşman petrol jeoloğu olarak erkekler kadar başarılı olunabileceğini gösteren ilk örneklerdendir. Cumhuriyetin ilk döneminde kalkınmada iyi eğitilmiş kadınlara öncelikle yer verilmişti. Özellikle yeteneklerini göstermeleri için fırsat tanındığı, daha çok desteklendiği bu dönemde jeolojinin meslek alanında pek çok kadın yer alırken, dünya genelinde de pek çok ilki gerçekleştirdiler. Mehlika İzgi olarak yılmadan ilgi duyduğu alanda kısa sürede eğitimini başarıyla tamamladı, her bakımdan yoklukların yaşandığı, zor şartlarda çalıştı. Mehlika Taşman olarak kadın jeologlara tecrübeleri ile destek olmayı ihmal etmedi. Araziye gönderilmeyen kadın jeologlara mikropaleontolojiyi öğretti. Türkiye Jeoloji Kurumu'nda çeşitli yönetim komisyonlarında görev aldı; Mehlika Taşman Ribnikar olarak Türkiye Petrol Jeologları Derneği'nin başkanlığını yaptı.

Kaynakça

- [1] <https://explorer.aapg.org/story/articleid/37421/honoring-the-pioneering-women-of-geoscience>
- [2] Okay N. Jeoloji Bilim Tarihimizdeki Öncüler. Ustalara Saygı Mehlika Taşman Ribnikar Anısına. TP Ar-Ge Merkezi, 2019. http://www.tpjd.org.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=332:asbest-ve-riskleri-8&catid=31&Itemid=200&lang=tr
- [3] Okay N. Jeoloji Bilim Tarihimizde Öncü Kadınlardan Mehlika İzgi Taşman. 22. Paleontoloji Stratigrafi Çalıştayı, 2021.
- [4] Taşman-Ribnikar M. Tatbiki Mikropaleontoloji. MTA Enstitüsü Yayınları, Eğitim Serisi, No: 15, Ankara, 154 s., 1975.
- [5] Applin E.R., Ellisor A.E., Kniker H.T. Subsurface Stratigraphy of the Coastal Plain of Texas and Louisiana. AAPG Bull 9(1): 79-122, 1925.
- [6] <https://website.robcol.k12.tr/en/rc-quarterly/list/cevat-eyup-tasman-rc-1910-and-mehlika-tasman-ribnikar-acg-35>
- [7] Sarıgül V. A. Short History of Paleontology in Turkey, Part II: Paleontology in the Republic of Turkey. Earth Sciences History, 40(1): 202-243, 2021.
- [8] <https://www.batmancagdas.com/batmanin-fotoromani-1359>
- [9] Taşman C.E. Petrolün Türkiye'de Tarihçesi. MTA Bülteni, 39: 14-22, 1949.
- [10] Nicholson A. Louise Jordan (1908-1966): Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., 52, 2058-2060, 1968. http://archives.datapages.com/data/bull_memorials/052/052010/pdfs/2058.pdf
- [11] Jordan L. A study of the small Foraminifera in the Basbirin well No.1, Bull of MTA. 3; Jordan L 1937. Hermis No.1 ile Basbirin

No.1'in mukayeseleri. MTA Rapor No 256.

- [12] Acun F. ve Gürtunca E. Osmanlıdan Cumhuriyet'e Robert Kolejinde Eğitim. Tarih İncelemeleri Dergisi, 31(1): 1-34, 2016.
- [13] http://www.tpjd.org.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=228:mehlika-tasman&catid=41&Itemid=205&lang=tr
- [14] Özcan H.E. Fotoğraflarla Ulusal Petrol: 1929-1954 (Vol. 1). Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Arama Daire Başkanlığı, Arşiv ve Tarih Yayınları, 2006. <https://tpao-halitedipozcan.blogspot.com/>
- [15a] İzgi M. Foraminifera from test wells in Adana, Turkey. Thesis (MA) Univ. Texas at Austin, 1940. https://search.lib.utexas.edu/permalink/01UTAU_INST/9e1640/alma991025878999706011
- [15b] Taşman M. İ. Adana Strüktür Sondajları Mikro-Fauna'sının Etüdü. MTA Yayın Seri B No 15, Ankara, 1949.
- [16] Batman Çağdaş Gazetesi <https://www.batmancagdas.com/yasam/fotograflarla-petrol-hikayesi-14-h41680.html>
- [17] <https://www.batmancagdas.com/yasam/fotograflarla-petrol-hikayesi-14-h41680.html>
- [18] Özcan E. Preface and historical background to current research on foraminifera in Turkey. Micropaleontology 56(5): 409-411, 2010.
- [19] Tromp S.W. ve İzgi M. Ramandağ Kuyu no. iki'nin bazal-Eosen ve Üst-Kretase kısmı mikro-faunası (C. Ş. Türkiye). Maden Tetkik Araştırma ve Arama (MTA) Bülteni 26: 113-125, 1942.
- [20a] Taşman M. İ. Ramandağ Sahasına Dair Yeraltı Donelerine Müstenit Bazı Prelimer Obzervasyonlar. MTA Bülteni 40: 50-54, 1950.
- [20b] Taşman M. İ. Preliminary observations on Ramandağ field based on subsurface data. Bull of the Mineral Research and Exploration 40: 55-59, 1950.
- [21] Ternek Z. Bucu-Kılbaş (Adana) Bölgesinin Jeolojisi ve Petrol İmkânları. Türkiye Jeoloji Bülteni, 6 (2): 37-66, 1958.
- [22a] Taşman M. Foraminiferlerin Kantitatif Analizlerine Müsteniden Adana Kuyularının Korelasyonu. MTA Bülteni 49: 44-47, 1957.
- [22b] Taşman M. Correlation of Adana Wells by means of Quantitative Analysis of Foraminifera. Bull Mineral Research and Exploration 49: 56-59, 1957.
- [23] Lokman K. Cevat Eyüp Taşman (1893-1956): Türk Jeoloji Aleminin Büyük Bir Kaybı, 1958. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/972479>
- [24] Taşman M. Yeraltı Jeolojisi Laboratuvarları Hakkında. MTA Bülteni 46: 84-87, 1954.



6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerden sonra Şanlıurfa'da meydana gelen sel görüntüleri [1]

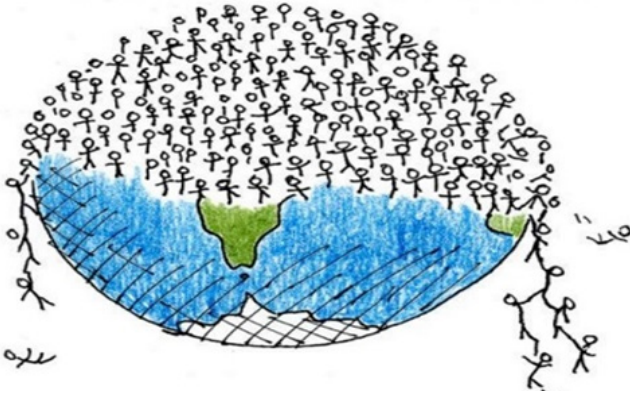
Dünya ve Türkiye'de Afet Risk Azaltma Çalışmaları ve Bu Çalışmalarda Kadınların Yeri

Küresel risklere açık hale gelmek bir ülkenin en büyük kâbuslarından biridir. Dünya Ekonomik Forumu'nun (WEF) 15-19 Ocak 2023'de Davos'ta yaptığı toplantıdan çıkan raporda, 2025 yılına kadar ülkeleri tehdit eden en büyük küresel riskin "yaşam maliyeti krizi" olduğu belirtiliyor. 2025 yılından sonraki küresel risklerin başında ise "iklim krizi ile mücadelede ve iklim değişimine uyumda başarısız olmak" yer alıyor. Sonraki sıralarda "doğal felaketler, aşırı iklim olayları, biyolojik çeşitlilik kaybı ve ekosistemin çöküşü" geliyor. O halde, küresel ya da bölgesel afet risklerine karşı önlemlerin alınması, dolayısıyla etkili bir afet yönetimi bir ülke için oldukça kritik bir konu.

Güldemin Darbaş
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
guldemin@ksu.edu.tr

Her yaşam kutsaldır. Yeryüzündeki her canlı'nın doğayla uyumlu biçimde yaşama hakkı vardır. Ancak 17. Yüzyıldan itibaren insanın Dünya'daki yaşamının merkezine kendini alması (homo-santrizm) ve sonrasında gelişen sanayi devrimi ile doğaya egemenlik kurma çabası, bu dengeyi insanlar lehine bozdu. İnsanın akli ve zekâsı Doğa'nın önündeydi. Bilimin ve teknolojinin ilerlemesi insan ömrünü uzattı, nüfus arttı. 8 milyarı aşkın bir insan nüfusu ile aynı gökyüzünü paylaşıyoruz (Şekil 1). Ancak bugünün dünya düzeninde kaynaklara ve fırsatlara eşit erişilememesi nedeniyle, bu in-

san nüfusunun bir bölümü çok zengin, çok daha büyük bölümü ise yoksullukla mücadele ediyor. Ekonomik anlamda kendi yeterliliğini sağlamış



Şekil 1. Dünya nüfusu giderek artıyor [2]

toplumlar ani gelişen toplumsal ya da doğal olaylarla daha kolay başa çıkabilirken, Dünya'daki nüfusun büyük dilimini oluşturan yoksullar ise bu konuda çok daha kırılgan. Birleşmiş Milletlerin bildirdiğine göre, son 50 yılda hava, iklim ve su kaynaklı 11 binden fazla afet yaşandı. Bu afetlerde 2 milyonu aşkın insan öldü ve 3,6 trilyon dolarlık ekonomik kayıp meydana geldi [3]. Afetlerin yıkıcı etkileri bunlarla sınırlı değil. Sağlık, eğitim, barınma ve çalışma haklarının kullanımı da afetle birlikte sekteye uğramakta. Derin ekonomik problemler toplumda sosyal çözümlerin, mutsuzlukların, intiharların, fiziksel şiddetin ve cinsel istismarın önünü açmakta, ülkeyi küresel riskler konusunda kırılganlaştırmaktadır. Özellikle küresel iklim değişikimine bağlı meydana gelen afetlerin, önümüzdeki süreçlerde insan yaşamları, ekosistemleri, ekonomiler ve toplumlar için büyük bir tehdit oluşturacağı açıktır (Şekil 2). O halde salgınlar, sel, heyelan, deprem, orman yangını gibi afet risklerinin azaltılması, sağlıklı ve



Şekil 2. Küresel iklim değişimlerine bağlı riskler Dünya'ya her geçen gün daha çok tehdit ediyor [4].

huzurlu bir toplum ile sürdürülebilir kalkınma için oldukça önemli. 1960'lı yıllardan beri Dünya'da afet risklerinin azaltılması konusunda çalışmalar sürdürülüyor. Afetlere dirençli ülkeler yaratmak maksadıyla başlatılan ve Birleşmiş Milletler öncülüğünde sürdürülen bu çalışmalara 2000'li yılların başından beri toplumsal cinsiyet perspektifi de eklendi. Amaç, toplumun en kırılgan kesimini, en kırılgan zamanda korumak ve dirençliliklerini arttırmak.

Dünya'da afet yönetimi

Dünya'da hala en çok ölüme neden olan şeylerin başında hastalıklar gelmektedir. BBC'nin raporuna göre, ölümlerin yüzde 70'ten fazlası bulaşıcı olmayan ve yavaş yavaş ilerleyen kronik hastalıklardan kaynaklanıyor [5]. Trafik kazaları, sigara, salgın, terör, savaş ve intiharlar da ölüm nedenleri arasında. Ancak kitlesel ölümlerin en büyük nedenleri arasında salgın, iklim değişikimine bağlı meydana gelen ani meteorolojik olaylar, orman yangınları ve depremler yer almakta. BM Afet Riski Azaltma Ofisinin (UNISDR) açıkladığı bir rapora göre son 20 yılda doğal afetlerde dramatik bir artış var. Birleşmiş Milletler Afet Riski Azaltma Ofisi, Birleşmiş Milletlere bağlı çok sayıda ülke ile birlikte kurulduğu günden beri Dünya'da afet risklerini azaltma çalışmaları yürütüyor (Şekil 3).



Şekil 3. Birleşmiş Milletler Afet Riski Azaltma Ofisi (UNISDR) logosu.

Dolayısıyla hem uluslararası hem de ulusal platformlarda afet etkilerinin azaltılması için resmî kurumlar tarafından ne türden çalışmalar yürütüldüğü merak ediliyor. Konuyla ilgili uluslararası politikalar 1960'larda Birleşmiş Milletler Genel Kurulunun çalışmalarıyla başlamış. Bu çalışmalarda, 1963 ve 1968 İran, 1963 Üsküp depremleri ile Karayip ülkelerinde yaşanan kasırganın

yol açtığı tahribatla ilgili olarak, afetlere karşı müdahale önlemlerinin alınmasına karar veriliyor [6]. Bunları sırasıyla; 1971’de BM Afet ve Yardım (UNDRO), 1991’de BM İnsani İşler Bölümü (DHA) ve 1998’de BM İnsani İşler Koordinasyon Ofislerinin (UN OCHA) kuruluşları takip ediyor [6]. Sonra arka arkaya konferanslar düzenlenerek afet risklerinin azaltılmasıyla ilgili görüşmeler devam ediyor. Bunlardan bazılarını hatırlatalım: 1972, BM İnsan Çevresi Konferansı (Stokholm); 1976, BM İnsan Yerleşimleri Konferansı-Habitat I (Vancouver); Habitat II (İstanbul, 1996); Habitat III (Quito, 2016); 1979, BM Dünya Meteoroloji Örgütü önderliğinde 1. Dünya İklim Konferansı; 1983, BM özel komisyonunun kuruluşu, ortak geleceğimiz raporu; 1985: BM Ozon Tabakasının Korunması için Viyana Sözleşmesi’nin kabulü; 1987 Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü’nün imzalanması; 1988: WMO ve BM Çevre Programı [6].

90’lı yıllardan itibaren afet azaltma konusunda daha sistemli çalışmaların yürütüldüğüne tanık oluyoruz: Birleşmiş Milletler 1990-2000 yılları arasındaki dönemi “Doğal Afet Zararlarının Azaltılması Uluslararası On Yılı” olarak ilan ederek, afet risklerinin azaltılması konusunda etkili adımlardan bir tanesini daha atıyor. 1994’de Birleşmiş Milletler Afet Risk Azaltma 1. Dünya Konferansı’nda Yokohama Stratejisi ve Eylem Planı’nı kabul ediyor. Ardından 2000’de Birleşmiş Milletler Afet Risk Azaltma Ofisinin (UNISDR) ilk adımları atılıyor. 2005’de BM Afet Risk Azaltma 2. Dünya Konferansı yapılarak, Hyogo Çerçeve Eylem Planı (2005-2015) kabul ediliyor. 2006’da Afet Risk Azaltma için Küresel Platform (GPDRR) kuruluyor. 2015’de BM Afet Risk Azaltma 3. Dünya Konferansı düzenlenerek, Sendai Çerçevesi (2015-2030) kabul ediliyor [6].

20. Yüzyılın önde gelen Alman sosyoloğu Ulrich Beck günümüz toplumlarını “risk toplumu” olarak ifade etmişti. Beck’e göre şu anda insan toplumlarını tehdit eden riskler de küresel ve herkes için eşit etkiye sahip [7]. Küresel riskler, Dünya üzerindeki bireylerin tümünü, mekân ya da sınıf farkı gözetmeksizin aynı ölçüde etkilemekte ve hiçbir sınır tanımamaktadır. Örneğin, temel besin zinciri insanları ve ülkeleri birbirine bağlamakta,

asit yağmurları, orman yangınları ya da diğer küçük tehditler ülke sınırlarını aşmaktadır (Şekil 4, [7]). Dolayısıyla riskin kontrolü ülkelerin kendi yeterlilik koşullarının çok daha fazlasını gerektiriyor ve ülkeleri bir araya getirerek zorunlu olarak çözüm üretimi konusunda ortak stratejik kararlar almaya zorluyordu. Afetler de küresel riskler listesinin başında, üstelik ülkelerin kalkınmasının önündeki en büyük engellerden bir tanesi. Afet risklerinin azaltılması ile ilgili çalışmalar ilk başladığında, alınan kararların büyük bölümü afet sonrası arama-kurtarma ve iyileşme çalışmalarıydı. Ancak özellikle 1980’lerden itibaren, yalnızca afet sonrası yardım politikalarının değil, aynı zamanda afet öncesi önlemlerin alınması konusu da tartışılmaya başlandı. Böylelikle afet risklerinin azaltılması, afete hazırlık ve müdahale tüm paydaşlar tarafından yürütülerek güçlendirilebilecekti. Bu durum özellikle kalkınmakta olan ülkeler bakımından oldukça önemliydi [9, 10].



Şekil 4. Ulrich Beck’e göre günümüz toplumları risk toplumlardır [8].

Bu kararlar ilgili ilk adım 1987 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulunda alındı. Doğa kaynaklı afetleri ve etkilerini azaltmaya yönelik olarak, 1990-2000 dönemi, “Doğal Afet Zararlarının Azaltılması Uluslararası On Yılı” olarak ilan edildi [6, 9, 10] (Şekil 5). Uluslararası işbirliği ile dayanışmayı arttırmayı hedefleyen bu on yılda amaç, ülkelerin afetle mücadele kapasitelerini yükseltmek, erken uyarı sistemleri geliştirerek, afete dayanıklı yapıların yapılmasını sağlamak, bilim teknolojiyi kullanarak ülkelerin kendi stratejilerinin belirlenmesini sağlamak, afetleri önlemede bilimsel faaliyetler yürütüp, bunları paylaşmak, hazırlık/zarar azaltma konusundaki tedbirleri geliştirmek, bilgilendirme için eğitim öğretim programı hazırlayıp, insanlara farkındalık yaratmak [9].

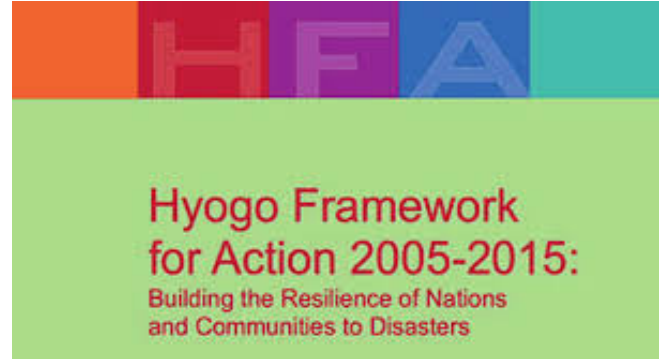


Şekil 5. Doğal Afet Zararlarının azaltılması on yılı 1990-2000 yılları arasında kapsar ve toplumsal cinsiyet farkındalığı konusunda önemli kilometre taşlarından biridir.

Ardından, 1994’de yine Birleşmiş Milletler önderliğinde ve “Doğal Afet Zararlarının Azaltılması Uluslararası On Yılı” çalışmaları kapsamında Japonya’nın Yokohama kentinde ilk Dünya Konferansı gerçekleşti. Bu konferans sonucunda “Yokohama Stratejisi ve Eylem Planı” kabul edildi. Bu çalışmalar, doğa kaynaklı afetleri önleme, hazırlık ve zarar azaltma amacıyla yapılacak çalışmalar için uluslararası düzeyde ilkeler niteliğindedi [9]. Amaçları arasında, kaynakların rasyonel kullanılması, risk değerlendirilmesinin yapılması, afet risklerinin azaltılması için önleme ve hazırlık çalışmalarına gereken önceliğin verilmesi, kalkınma ile ilgili yapılan plan ve stratejilerde afet önleme ve hazırlık çalışmalarını dâhil etme, erken uyarı sistemini planlama, afetleri önleme ve hazırlık aşamalarına toplumun dezavantajlı grupları da dâhil bütün kesimlerinin katılımını sağlama, ulusal ve uluslararası işbirliği sağlama bulunmaktaydı [9].

Yokohama Stratejisi ve Eylem Planı’nın ardından Birleşmiş Milletler liderliğinde 2005’de Japonya’nın Kobe şehrinde Birleşmiş Milletler Afet Risk Azaltma 2. Dünya Konferansı yapıldı. Bu konferansta Birleşmiş Milletler’e üye 168 ülkenin imzaladığı Hyogo Çerçeve Eylem Planı kabul edildi. 2005-2015 yılları arasındaki dönemi kapsayan Hyogo Çerçeve Eylem Planı’nda “Ulusların ve Toplulukların Afete Karşı Dayanıklılığını Oluşturmak” başlığı altında, afet risk azaltma süreçleri, farklı sektörlerde ve farklı ölçeklerde ayrıntılı olarak tanımlandı. Hyogo Çerçeve Eylem Planı (HFA) aynı zamanda afet risklerinin azaltılması ile ulusların ve toplulukların afetlere dayanıklılığının artırılması ve kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi arasındaki ilişkiye vurgu yapan temel ve öncü bir belge niteliğindedi (Şekil 6). Hyogo Çerçeve Eylem Planı’nda 3 strateji, 5 eylem ve 4 ortak konusu bulunmaktaydı. Stratejiler, afet risklerinin azaltılması konusunda yapılacak çalış-

maların kalkınma programlarına eklenmesi, afet dirençlilik için farkındalık oluşturulması, yasallaştırılması, yerel ve merkezi kurumların duyarlılıklarının artırılması ve afet ve acil duruma hazırlık, müdahale ve iyileştirme programlarına afet risklerinin azaltılması yaklaşımının eklenmesini kapsıyordu. Eylem planlarında da özellikle her türlü afet karşısında toplumsal dirençlilik oluşturabilmek için eğitim, bilim ve teknolojiyi kullanmak ve risk faktörlerini azaltmak için eylemler planlanmak, böylece, etkin mücadele için afete hazırlık sürecini güçlendirmek vardı. Ortak konular ise bütünleşik afet yaklaşımı, toplumsal cinsiyet perspektifi ve kültürel farklılık, toplum ve gönüllü katılımı, kapasite geliştirme ve teknoloji transferi içeriyordu [9].



Şekil 6. Hyogo Çerçeve Eylem Planı, 2005-2015 yıllarını kapsar.

Hyogo Eylem Planı 2015’de sona erdi. Aynı yıl Japonya’nın Sendai kentinde Birleşmiş Milletler Afet Risk Azaltma 3. Dünya Konferansı yapıldı. Burada da 2015-2030 yılları arasında kapsayacak şekilde yeni bir plan, Sendai Çerçevesi kabul edildi (Şekil 7). Hyogo Eylem Planı’nın devamı şeklinde olan Sendai Çerçevesi, Birleşmiş Milletlere bağlı 187 ülke tarafından kabul edildi. Amacı 2030 yılına kadar Dünya’yı tehdit eden afet risklerini kayda değer oranda azaltmak, mevcut risklerin azaltılması yanında yenilerinin oluşmasını önlemek ve afete karşı yüksek bir direnç geliştirmektir. Bu çerçevede; afet riskini anlamayı, yönetmeyi, kalkınma planlarında yer vermeyi ve afete hazırlığı güçlendirmeyi temel alan 4 öncelik hedef olarak belirlendi. Kapsam açısından karşılaştırıldığında Sendai Çerçevesi Hyogo Eylem Planına göre çok daha geniş kapsamlı oluşturuldu. Bu bağlamda uluslararası işbirliği, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi ve afetlerin yol açtığı kayıpların önlenmesi hedeflerine sahip bu

metinlerde tehlike, risk, kırılganlık/zarar görülebilirlik ve direnç/dayanıklılık gibi kavramlar tanımlanmakta ve bu kavramsal tercihlerin ardında yatan anlayış farklılıkları açıklanmaktadır [9].



Şekil 7. Sendai Çerçevesi 2015-2030 yılları arasında Dünya'daki afet riskini azaltmaya yönelik olarak imzalanmıştır [11].

Türkiye'de Afet Yönetimi

Türkiye afetler konusunda oldukça kırılgan bir coğrafyaya sahip. Bu topraklarda gerek Osmanlı İmparatorluğu döneminde gerekse Cumhuriyet tarihi döneminde oldukça yıkıcı depremlere şahit olundu. Sayısız can ve mal kaybı yaşandı. Ülkemizde afet azaltma çalışmalarının dört dönemde incelenebileceğini söyleyebiliriz: 1. Dönem: 1944 yılı öncesi -; 2. Dönem 1944-1958; 3. Dönem 1958-1999 ve son olarak 4. Dönem 1999 yılı sonrası dönem [9]. 1999 yılına gelene kadar Türkiye'de afet yönetimi, alınan tedbirler ve çıkarılan yasalar genellikle "afet sonrası iyileştirme" biçimindeydi [6]. Cumhuriyet tarihinde afetlerle ilgili ilk kanunun 1939 Erzincan'da Mw 7,8 büyüklüğünde meydana gelen Erzincan depreminden sonra, depremin yaralarını sarma amacıyla çıkarıldığını görüyoruz (Şekil 8). 17 Ocak 1940 tarihinde "3773" sayılı ile çıkarılan bu kanun "Erzincan'da ve Erzincan Depreminden Müteessir Olan Mıntıklarda Zarar Görenlere Yapılacak Yapılar Hakkında Kanunu'dur" [9]. Buna ilave olarak 14 Ocak 1943 tarihinde, o yıllarda çokça yaşanan sel ve su baskınlarına yönelik "4373" sayılı "Taşkın Sulara ve Su Baskınlarına Karşı Korunma" kanunu da çıkarılmıştır.



Şekil 8. 1939 Erzincan Depremi [12]

Türkiye'de 1950'li yıllarda yaşanan sanayileşme atakları, köylerden kentlere yoğun bir göçün başlamasına neden olmuştu. Göç, kentlerin kenarlarında gecekonduların oluşmasına, alt yapısız, imarsız konutların yükselmesine olanak verdi. Bu dönemde, bu sorunların çözümüne yönelik imar yasaları hazırlandı (1956 yılında çıkarılan 6785 sayılı "İmar Kanunu"). Bu kanunla afet riski altında bulunan bölgelerde yapılaşmanın gerçekleşmemesi, afet riski altında bulunan mevcut yapıların güçlendirilmesi planlanmıştı. Ayrıca yeni yapıların yıkılması durumunda uygulanacak yaptırımlar da kanun içeriğinde yer almaktaydı [9, 13]. Bu gelişmeleri takiben 9 Mayıs 1958 tarihinde çıkarılan 7116 sayılı kanunla İmar ve İskân Bakanlığı kurulmuştu. Bakanlığın görevleri arasında, afetlerden önce ve sonra gerekli önlemleri alarak, yerleşim planları hazırlamak, konut problemini çözmek, yapıyla ilgili belli standartlar oluşturmak ve bunların denetlenmesini ve geliştirilmesini sağlamak bulunmaktaydı. 1959'da halen değişikliklerle yürürlükte olan, 7269 sayılı "Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Alınacak Tedbirlerle Yapılacak Yardımlara Dair Kanun" çıkarıldı. Kanunun amacı, afetlerin (deprem, yangın, su baskını, kütle akmaları, çığ vs) tanımlanması, afet kavramının genişletilmesi, vatandaşların can ve mal güvenliği için yeni yerleşim yerlerinin düzgün seçilmesinin sağlanması, afet zararlarının azaltılması için genel bütçe dışında afet fonunun oluşturulması ve afet zararlarının azaltılmasına yönelik o güne kadar yürürlüğe giren yasaları tek çatı altında toplamış olmasıdır [9]. Ancak 7269 sayılı kanun yetersiz kalınca, 23 Temmuz 1995 tarihinde 4123 sayılı "Tabii Afet Nedeniyle Meydana Gelen Hasar ve Tahribata İlişkin Hizmetlerin Yü-

rütülmesine Dair Kanun" çıkarılmak zorunda kaldı. Böylece 1999 yılına kadar Türkiye'de afet mevzuatı oldukça karışık bir hal aldı [9].

Türkiye için 1999 yılında meydana gelen Gölcük ya da bir diğer adıyla Marmara depremi önemli dönemeçlerden biri oldu. 17 Ağustos 1999 yılında Mw 7,4 büyüklüğünde meydana gelen bu depremin ülkede ekonomik, fiziksel ve sosyal anlamda çok yönlü etkileri meydana geldi. Depremin ardından 27 Ağustos 1999 tarih ve 4452" sayılı "Doğal Afetlere Karşı Alınabilecek Önlemler ve Doğal Afetler Nedeniyle Doğan Zararların Giderilmesi İçin Yapılacak Düzenlemeler Hakkında Yetki Kanunu" olarak yeni bir kanun çıkarıldı. Daha sonra "Türkiye Acil Durum Yönetimi Başkanlığı" kurulmuş, sonrasında, başkanlık "Türkiye Acil Durum Yönetimi Genel Müdürlüğü'ne" dönüştürülmüştür [6, 9, 10].

Tüm bu gelişmelerin ardından hem eksiklikleri gidermek hem de tüm birimleri tek bir noktada birleştirmek için 29 Mayıs 2009 tarihinde 5902 sayılı "Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun" ile AFAD'ın kuruluşunu görmekteyiz (Şekil 9). Bu kanunun çıkartılma amacı; afet olmadan önce hazırlık, önleme, zarar azaltma, müdahalede bulunma ve bunlarla ilgili tüm faaliyetlerin tek merkezden yönetmesidir. Elbette Türkiye'de yapılan bu çalışmalar yukarıda sıralanan kanunlarla sınırlı değil. Afet önleme ve müdahale konusunda Belediyelere de çeşitli sorumluluklar verildi. Ayrıca afet riski altında bulunan alanların belirlenmesi, bu alanda bulunan yapıların güçlendirilmesi ya da bir standarta uygun hale dönüştürülmesiyle ilgili kanun nezdinde çeşitli tedbirler de alınmıştır.



Şekil 9. 2009 yılında kurulan AFAD ile Türkiye afet risk azaltma çalışmalarında önemli bir yol katetmiştir.

Tarihin tozlu sayfalarına baktığımızda AFAD'ın

kurulmasıyla ilk olarak kurumsal yapılanmaya ağırlık verildiğine tanık oluyoruz, sonrasında ise afet plan ve politikaları oluşturma sürecine girildi [13]. AFAD, Türkiye Afet Müdahale Planını çıkararak müdahaleye ve kriz yönetimine odaklandı. Şu anda ise çalışmalarını risk azaltma üzerine yoğunlaştırdı. Şekil 10'da bütünlük afet yönetimi aşamalarını görebilirsiniz [14].



Şekil 10. Bütünlük Afet yönetimi aşamaları [14].

Afet Dirençlilikte Kadınların Yeri

Her ne kadar bir doğa kaynaklı afet meydana geldiğinde, afetin toplumun tüm bireylerini eşit bir şekilde etkilediği düşünülse de pratikte öyle olmadığı hiçbir bilimsel kaynağa başvurmadan kolaylıkla söylenebilir. Ekonomik kendine yeterlilik, eğitim düzeyi, afet olaylarına duyarlılık, yaş, cinsiyet, engellilik gibi faktörler afet ile zarar görülebilirlik arasındaki ilişkiyi belirler [10, 16, 17, 18]. Toplumların en kırılgan kesimleri afetlerden etkilenen en kırılgan kesimle aynıdır. Listenin başında ise kadınlar, çocuklar, engelliler, yaşlılar ve marjinal gruplar bulunur [10, 16, 17, 18]. Bunların bilinmesi afet önleme ve zarar azaltma politikalarında stratejik öneme sahiptir. Elbette öncelikli plan afetin gerçekleşmeden önce önlenmesidir. Afet sonrasında arama, kurtarma, ilk yardım ve iyileştirme çalışmalarının olabildiğince hızlı gerçekleşmesi hayati önemdedir. Afet risk azaltma strateji ve planları sürdürülebilir kalkınma ve afet zarar azaltma politikaları açısından ülkedeki tüm kalkınma stratejilerine de eklenmelidir [9, 10, 16, 17, 18]. Afet farkındalık ya da afet okuryazarlık konusunda da etkili bir eğitim öğretim stratejisi belirlenmelidir ki bu stratejinin de her türlü eğitim öğretim çalış-

malarına entegre edilmesi gerekir. Afet süreç ve sonuçları birlikte değerlendirildiğinde ülkede yaşayan her vatandaşın afetten eşit şekilde etkilenmediğini görmekteyiz. Bu nedenle toplumdaki tüm dezavantajlı kesimlerin de yararlanacakları biçimde afet risk azaltma politikaları oluşturulmalıdır. Bunu gerçekleştirmek için de öncelikli olarak tüm afet risk azaltma politikalarına uyarlanacak toplumsal cinsiyet perspektifi düşünülmelidir [9, 10, 16, 17, 18].

Kadınlar neden daha çok etkileniyor?

Bu bölümde özne her ne kadar kadınlar olsa da bu gruba kız çocukları, engelliler, yaşlılar ve diğer marjinal grupları da eklemenin önemini vurgulamak gerekir. Onlar, toplumun eşitsizliklerden en çok etkilenen, en savunmasız topluluklarını oluştururlar. Afetler de bir toplumun en kırılgan hallerini yansıtır. Dolayısıyla afet dönemlerinde mevcut koşullar nasılsa, o koşullar afet sonrasında daha da derinleşir [9, 10, 16, 17, 18].

Literatür çalışmaları bize yoksulluk ile zarar görülebilirlik arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu gösteriyor. Bir ülkede iş gücüne en az katılım sağlayan kesimler, evde ücretsiz emek işçileri ev kadınları, çocuklar, engelliler ve yaşlılardır. 2021 verilerine göre Türkiye’de iş gücüne katılan kadınların ortalaması % 31,9’dur [19]. Dünya’daki iş gücüne katılım ise Uluslararası Çalışma Örgütü’nün (ILO) 2023 raporuna göre 2022’de kadınların % 47,4; erkeklerin ise % 72,3’tür [20]. Yani Dünya genelinde de kadınların erkeklere göre iş gücüne katılım oranları düşüktür. Afet dönemlerinde ciddi bir istihdam kaybının da yaşandığı kolayca tahmin edilebileceğine göre, kadınların ve diğer dezavantajlı vatandaşların afet sonrasında da derin bir yoksullukla mücadele etmek zorunda kalacağı açıktır (Şekil 11).



Şekil 11. Küresel riskler zengini daha zengin fakiri daha fakir yapmaktadır [21].

Kadınların ve kız çocuklarının bir diğer dezavantajları eğitim olanaklarına eşit bir şekilde erişememeleridir. Türkiye’de 4+4+4 eğitim sistemine göre zorunlu eğitim 12 yıldır. Ancak ilk 4 yıldan sonra ailenin rızasıyla öğrenciler örgün eğitimden alınıp, açık öğretim okullarına gönderilerek, eğitim-öğretim konusunda kısıtlanmayla karşı karşıya kalıyorlar. Her ne kadar Türkiye’de okullaşma oranı her geçen gün artsa da, çeşitli nedenlerle kız çocukları ev işleri ya da aile bütçesine katkı koymak gerekçesiyle örgün eğitimden uzaklaştırılabiliyorlar. Afet, salgın ya da ekonomik kriz gibi nedenlerle kız çocukları aile bütçesine getirdiği yük gerekçesiyle erken yaşta evliliğe zorlanabiliyorlar. Çocuklar yeteri kadar eğitim almadıkları için bazı temel becerilerden yoksun olarak büyüyorlar. Örneğin fiziksel anlamda güçsüz olduklarından kendilerini enkazdan çıkarmayı ya da güçlü bir sel olduğunda ayakta kalmayı başaramıyorlar. Yüzme bilmiyorlar ve çoğu zaman boğularak hayata veda etmek durumunda kalıyorlar [15, 16, 22].

Kadın, çocuk, yaşlı ve engellilerin bir diğer problemi her türlü şiddet (fiziksel, cinsel, ekonomik ve psikolojik) ya da ayrımcılık olayına maruz kalmaları. Hemen her gün her hangi bir gazetenin üçüncü sayfa haberlerinde eşleri ya da birlikte olduğu erkek arkadaşları tarafından darp edilen ya da öldürülen şiddet mağduru kadınlara ait haberleri okumak mümkün. Kendilerini savunmaktan yoksun çocuk, yaşlı ve engelliler de şiddet olaylarına kolaylıkla maruz kalabilmekte. Bu anlamda seslerini dahi duyuramamaktadırlar.

Sosyal çöküntünün olduğu toplumsal yapının bozulduğu afet, salgın gibi dönemlerde şiddet olayları sayıca artmakta [17, 18]. Elbette bu durum toplumsal cinsiyet eşitsizliğinin yaygın olduğu toplumlarda daha kaotik bir görünüm sunmaktadır. Afet sonrasında en sık rastlanan şiddet olayları, cinsel, psikolojik, fiziksel ve duygusal istismar; cinsel istismar, kaçakçılık ve fuhuş, erken yaşta ve zorla evlilik, aile içi şiddet, kaynaklara, fırsatlara ya da hizmetlere erişimde engellenmedir [17].

Toplumsal cinsiyet eşitsizliğinin bir diğer yansıması cinsiyete dayalı toplumsal rollerdir [15]. Toplumsal roller kadınları çocuklara, yaşlılara ve engellilerin bakımına zorladığından, afet sırasında bazı kadınların onları terk edip gidemediği, kendi hayatlarını kaybetme bahasına bakmakla yükümlü olduklarıyla kalmalarına zorladığını görüyoruz. Bir kısım kadının da toplumsal norm gereği, eş ya da babalara bağımlı olduklarından, afet sırasında onlardan bağımsız karar alamadıklarını ve bu durumun da kadınları pasif duruma düşürdüğünü gözlemliyoruz. Bazı topluluklarda kız çocuklarının yeteri kadar beslenmedikleri ve kimi kültürel norm ya da yapıların da kız çocukları ile kadınları erkeklere bağımlı hale dönüştürdüğü biliniyor. Zayıf beslenme ve zayıf zihinsel yeterlik afet sırasında kendini korumada dezavantaj, bu da kız çocukları ile kadınların daha çok ölümüne neden oluyor. Geleneksel kıyafet ya da dini geleneklerin de kadın ve kız çocuklarının önünde zaman zaman engel teşkil ettiğini listeye eklemek gerekir.

Toplumsal cinsiyet rolleri afet sonrasında da devam etmekte, afetten sonra kadınlardan çocuk, yaşlı ve engellilerin bakımı, yemek, temizlik gibi işleri yapmalarına devam etmeleri beklenmekte (Şekil 12). Bu konuda erkekler de görev almakla beraber, kadınlarla kıyaslandıklarında onlar kadar sorumluluk almadıkları gözlenmektedir. Kadınların afet sonrasında yerleştirildikleri konteyner ya da çadır kentlerde en büyük problemlerinden biri hiç tanımadıkları kimselerle aynı yeri paylaşmak zorunda kalmaları, buna bağlı olarak da bir diğeri ise konteynerlerde ya da çadır kentlerle kendilerine ait kilitli bir odanın bulunmaması. Üstlerini değiştirebilecekleri bir alandan mahrum olan kadınlar, doğal olarak güvenlik tehdidi ile de karşı karşıya kalmaktalar. Temiz su, besin, hijyenik

malzemeler de önemli sorunlardan biri [17, 23].



Şekil 12. Kadınlar afet sonrasında dahi toplumsal cinsiyet rollerine devam ediyorlar [23].

Kadınların önemli bir diğer problemi afet sonrasında yetersiz beslenme, temiz su ve hijyenik problemler nedeniyle yaşadıkları sağlık problemleri. Pek çok gebe kadının düşük ya da erken doğum yaptığı, sağlıklı doğan bebeklerin ise sağlıklı ortamlarda yaşama devam ettikleri gözleniyor. Böyle zamanlarda kadınlarda kalıcı sağlık problemleri baş gösterebiliyor ve bu durum doğurganlıklarını etkileyebiliyor [9, 10, 16, 17, 18].

Toplumların kadın, çocuk, yaşlı ve engellilere olan tutum ve davranışları da afet ile zarar görülebilirlik arasındaki ilişkiyi belirleyen faktörlerden biri. Toplumsal cinsiyet eşitliğinin yüksek oranda olduğu, ayrımcılığın olmadığı ülkelerde afetlerden etkilenme az oranda gerçekleşiyor. Böyle topluluklarda kadınlar kendilerini ilgilendiren konularda yüksek oranda temsil ediliyor, dolayısıyla afet zararlarını azaltma sürecinde etkili roller üstlenerek zararın azaltılması ve işlerin organize edilmesinde büyük işler çıkarabiliyorlar. Ancak eşitsizliklerin ya da ayrımcılıkların çok olduğu ülkelerde, bu durum tam tersi şekilde işliyor. Kadınlar çoğu yerde söz sahibi değiller ve onlarla ilgili kararların çoğu erkekler tarafından veriliyor. Oysa toplumsal cinsiyet eşitliğinin sağlandığı, kadınların kamusal ve siyasi kesimlerde yüksek oranda temsil edildiği, hukuk sisteminin yerleştiği gelişmiş toplumlarda kadınlar afetleri rahat bir şekilde tolere edebiliyor [9, 10, 16, 17, 18].

Afet Risk Azaltma Politikalarında Toplumsal Cinsiyet Perspektifi

Yukarıda da geniş bir biçimde özetlendiği gibi afetler bir toplumda bulunan hemen herkesi etkiliyor olmasına rağmen, etkileme derecesi o toplumun ekonomik gelişmişliğinden hukuk sistemine, eğitim kalitesinden toplumsal cinsiyet bakışına kadar pek çok parametrenin etkisi altında. Afet çalışmalarına toplumsal cinsiyet bakış açısının yerleşmesi ilk kez 1990'ların başında Birleşmiş Milletler tarafından Uluslararası Doğal Afet Azaltma On Yılı olarak ilan edilmesinin ardından gerçekleşti. 2000'li yıllardan itibaren Birleşmiş Milletler önderliğinde uluslararası strateji, politika ve planlarda ve akademik çalışmalarda toplumsal cinsiyet perspektifi başlığı altında afet konusunun irdelendiğini görüyoruz [10].

Daha sonra 1994'de Yokohama Konferansı ve Güvenli Bir Dünya İçin Eylem Planı, ardından, 1999'da Afet Zararlarının Azaltılması Uluslararası Stratejisi (ISDR) kabul edilmişti. 2000 yılında ise Binyıl Kalkınma Hedefleri ve ISDR Sekreterya'sının oluşturulduğunu görüyoruz. Bu arada 1995'de Pekin'de yapılan Dördüncü Dünya Kadın Konferansı'nda "Kadınlar ve Çevre" başlığı altında afetlerin yol açtığı sorunların kadınlar üzerindeki etkileri konuşuldu. 2000'de Pekin Eylem Platformu'nun Pekin+5 Bildirgesi'nde, toplumsal cinsiyet boyutunun afet risk yönetim sürecine dahil edilmesi gerekliliği vurgulandı [10].

18-22 Ocak 2005 tarihleri arasında Japonya'nın Kobe kentinde "Doğal Afetlerin Etkilerinin Azaltılması Konferansı" düzenlenmişti. Konferans sonucunda "Hyogo Bildirgesi" ile "Ulusların ve Toplulukların Afetlere Karşı Dirençlerinin Artırılması Eylem Çerçevesi (2005-2015)" imzalandı. Hyogo'nun afet risk azaltma politikalarında toplumsal cinsiyet perspektifini açıkça önelediğini söyleyebiliriz. Bu perspektifte Hyogo Çerçeve Eylem Planı'nda afetlerle mücadelede toplumsal cinsiyet eşitliğinin sağlanması ile kadının durumunun güçlendirilmesi gerektiği öne çıkarıldı. Hyogo Çerçeve Eylem Planı'nda bazı maddelerde kadına özellikle atıfta bulunulmuş; uygun eğitim ve öğretim fırsatlarına eşit erişim sağlamanın yanı sıra, toplumsal cinsiyet ve kültürel duyarlılık eğitiminin afet risk azaltma eğitim ve öğretiminin

temel bileşenlerinden biri olmasının teşvik edilmesi gerektiği vurgulanmıştı.

Kadınlar her ne kadar afet sırasında ve sonrasında erkeklerle kıyaslandığında çok daha kırılgan olsalar da, afet sonrasında çok hızlı toparlanmakta, hayatta kalma ve iyileşmeyle ilgili süreçlerde daha hızlı organize olabilmekteler (Şekil 13). Bu nedenle 2012'de Uluslararası Afet Zararlarının Azaltılması Gününün teması, "Kadınlar ve Kız Çocukları, Direncin Gizli Kuvvetleri" olarak ilan edilmişti [24]



Şekil 13. Kadınlar afet sonrasında hızla örgütlenip, afet azaltma çalışmalarına katılmaktalar [25]

2015 yılında Hyogo Eylem Planının süresinin dolmasıyla, Japonya'nın Sendai kentinde yine Birleşmiş Milletler önderliğinde 2015-2030 yıllarını kapsayacak şekilde Sendai Afet Risk Azaltılması Çerçevesi kabul edildi. Sendai Çerçevesi, III. Dünya Afet Risk Azaltma Konferansındaki müzakerelerin ardından afet risk azaltmaya yönelik yeni bir uluslararası çerçeve olarak kabul edilmişti [7, 10]. Bu çerçeve Hyogo eylem planının bir devamı ancak çok daha kapsamlıydı. Öncelikli hedefler ile kılavuz ilkeler bölümünde afet risklerini azaltmada toplumsal cinsiyet eşitliği vurgusu özellikle yapılmıştı. Örneğin önceliklerden biri "kadınların ve engellilerin toplumsal cinsiyet açısından eşit ve evrensel olarak ulaşılabilir afete müdahale, iyileşme ve rehabilitasyon ile yeniden yapılandırma yaklaşımlarına liderlik etmeleri ve teşvik edilmeleri yönünde güçlendirilmeleri" idi.

Kılavuz ilkelerde "...cinsiyet, yaş, engellilik ve kültürel perspektifin tüm politika ve uygulamalara entegre edilmesi gerektiği, kadınların ve gençlerin liderliğinin teşvik edilmesinin zaruri olduğu..." veya "kadınlar ve kız çocuklarının ilgili süreçlere katılımı, afet risklerinin etkin şekilde yönetilmesi ve cinsiyete duyarlı afet risk azaltma politika, plan ve programların hazırlanması, desteklenmesi ve uygulanması bakımından kritik önemdedir; kadınlar için afetlere hazırlık konusunda güçlendirici ve aynı zamanda, afet sonrasında alternatif geçim kaynaklarının sağlanması için gerekli kapasite artırma önlemleri alınmalıdır " şeklinde vurgulamalar yapılmıştır [7, 10]. Bu maddeler afet risk azaltma politikalarının kalkınma politikalarına eklenmesi, afet öncesi kadar afet sonrasında da kadınların özellikle ekonomik olarak güçlendirilmesinin kritik öneme sahip olduğunun ifade edilmesi bakımından önemlidir.

Sendai Çerçevesi Toplumsal Cinsiyet Eylem Planı ile ilgili olan belgeler aşağıda listelenmiştir [26]

- 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi, özellikle de "toplumsal cinsiyet eşitliğinin sağlanması ve tüm kadın ve kız çocuklarının güçlendirilmesi"ne yönelik SKA 5
- Kadınlara Karşı Her Türü Ayrımcılığın Önlenmesi Sözleşmesi (CEDAW) hükümleri
- CEDAW'ın iklim değişikliği bağlamında afet riskinin azaltılmasının toplumsal cinsiyetle ilgili boyutlarına ilişkin 37 sayılı Genel Tavsiye Kararı (CEDAW/C/GC/37) 2
- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)'nin Toplumsal Cinsiyete İlişkin Geliştirilmiş Lima Çalışma Programı ve Toplumsal Cinsiyet Eylem Planı 3
- Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi için Toplumsal Cinsiyet Eylem Planı 4
- BM Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi için Toplumsal Cinsiyet Eylem Planı 5

Türkiye Sendai Afet Risk Azaltılması Çerçevesinin imzalayıcıları arasında. 2015'de Birleşmiş Milletlere bağlı 187 ülke ile birlikte çerçeve metnini imzalayarak, afet risk azaltmaya ilişkin Sendai Çerçevesinde belirlenmiş hedefleri, Türkiye de taahhüt etmiştir. Afet yönetimi konusundaki çalışmalar Türkiye'de Afet ve Acil Durum Yöne-

timi Başkanlığı (AFAD) tarafından yürütülüyor. AFAD'ın afet azaltma konusunda Türkiye'de tek yetkili olduğundan daha önce bahsedilmişti. Ayrıca, AFAD, Sendai Çerçevesi'nin uygulamasından sorumludur. Bu çerçevede AFAD'ın Sendai çerçevesi uyarınca afet risk azaltma konusunda ulusal platformları kurması ve risk azaltma planları yapması gerekmektedir. Ulusal platformlar kurulmasa da, 2022 yılında Kalkınma Planında bahsedilen Türkiye Afet Risk Azaltma Planı (TARAP) hazırlanmış ve Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Ayrıca 81 ili kapsayan İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) ile İl Afet Müdahale Planı da (TAMP 81) yürürlüktedir [10]

Türkiye tarafından sunulan Sendai Çerçevesi Veri Hazırlığı İnceleme Raporu'nda Türkiye'nin afetlerde yaş, cinsiyet ve engelliliğe göre ayrıştırılmış verileri henüz tutmadığı görülebilir [28]. Raporla en önemli tespitlerden bir tanesi de Türkiye'de çoklu erken uyarı sisteminin bulunmadığıdır. Türkiye Afet Risk Azaltma Planı (TARAP) incelendiğinde plan hazırlanırken belirlenen temel stratejilerin Hyogo ve Sendai Çerçeve metinleri doğrultusunda oluşturulduğu, ancak her iki metinde vurgulanan toplumsal cinsiyet vurgusunun TARAP'ta yer almadığı anlaşılmaktadır [10]. Yine de 2023 yılında Cumhurbaşkanlığı tarafından hazırlanan TERRA (Türkiye Earthquakes Recovery and Reconstruction Assessment/ Türkiye Depremler İyileştirme ve Yeniden Yapılandırma Değerlendirmesi) raporuna, Sendai çerçeve metninde vurgulanan ve paydaş ülkelerin strateji ve eylem önerilerinde yer alması istenen, "kadın ve kız çocuklarının, afet öncesi, sırası ve sonrasında eşitlik ve hakkaniyetle haklarına erişebilmesi, desteklenmesi ve güçlendirilmesi maddesinin yer alması kıymete değerdir [10].

Son Söz

Afetler, toplumların en kırılgan zamanlarıdır ve bir ülkede afetlerden toplumun yine en kırılgan kesimleri diğerlerine göre daha fazla etkilenir. Afetlerden etkilenme, ülkeden ülkeye farklılık gösterse de, ülkelerin gelişmişlik düzeyleriyle yakından ilgilidir. 2000'li yıllardan beri Dünya'da afet risk azaltma politikalarında toplumsal cinsiyet perspektifinin yer aldığını görüyoruz. Ancak ülkemizde bulunan Türkiye Afet Risk Azaltma Planı (TARAP) incelendi-

ğinde, böyle bir boyutun dikkate alınmadığı, yani risk azaltma politikaları ile bu politikaları uygulama ve stratejilerinde başta kadınlar, çocuklar, yaşlılar, engelliler gibi kırılgan gruplara yönelik herhangi bir maddenin yer almadığı ortaya çıkıyor. Bu durum, kadınların, çocukların, yaşlıların, engellilerin, yükümlülerin, göçmenlerin ve diğer marjinal kesimlerin afetlerden daha fazla etkilenmelerine neden oluyor. Bu gruplar, afetten sonra daha çok yoksullaşmakta, şiddete daha çok maruz kalmakta, daha sağlıklı beslenmekte, daha sık hastalanmakta, mahremiyet, güvenlik ve hijyen gibi risklerle daha çok karşı karşıya kalmaktalar. Bu nedenle kadın ve diğer dezavantajlı kesimlerin afetlerden en az düzeyde etkilenmelerini sağlamak için afet risk azaltma politikalarına mutlaka toplumsal cinsiyet perspektifinin eklenmesi, kadınlara afet okur yazar eğitimlerinin verilmesi, kadınların afet öncesi güçlendirilmeleri kadar afet sonrasında da kadınlara gelir getirici alternatif geçim kaynakları için uygun politikaların hazırlanması gerekir [27, 28, 29, 30].

Kaynakça

- [1] <https://www.dunya.com/gundem/deprem-bolgesini-sel-vurdu-adiyaman-ve-sanliurfada-can-kaybi-ve-kayıplar-var-haberi-688374>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [2] <https://www.bilimkurgukulubu.com/genel/inceleme/nufus-artisi-devam-edecek/>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [3] <https://www.aa.com.tr/tr/dunya/bm-son-50-yilda-11-binden-fazla-dogal-afet-yasandi-2-milyon-kisi-oldu/2004518>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [4] <https://yesilgazete.org/iklim-degisikliginin-kuresel-ekonomiye-etkisi-belkis-gokbulut/>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [5] <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/olum-ve-olum-nedeni-2020-2021-yili-istatistikleri-aciklandi/2828689>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [6] Özmen, B. (Ed) Afet Yönetimi II. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları. E-ISBN: 978-975-06-3419-2, 256 s., Eskişehir, 2019.
- [7] Cuhacı, A. Ulrich Beck'in risk toplumu kuramı. Sosyoloji Dergisi, 3. Dizi 14. Sayı, 129-158, 2007.
- [8] <https://www.sosyalsbilimler.org/ulrich-beck-korku-risk-toplumu/>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [9] Değirmenci, B. Toplumsal Cinsiyet Eşitliği Ve Sürdürülebilir Kalınma Bağlamında Afet Mevzuatının Değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Afet Yönetimi Anabilim Dalı Afet Yönetimi Programı Yüksek Lisans Tezi, 126 s., İzmir, 2021.
- [10] Beşpınar, F. U., Beşpınar, Z. 6 Şubat Depremlerinin Ardından Toplumsal Cinsiyet ve Kadın Hakları Perspektifinden Bir Değerlendirme Ankara Barosu Dergisi Deprem Özel Sayısı, 1.. Cilt Kamu Hukuku, 467-502, 2023.
- [11] <https://deprem.istabip.org.tr/sendai-afet-risk-azaltma-cercevesi>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [12] <https://eksiseyler.com/cumhuriyet-tarihinde-olculmus-en-buyuk-deprem-1939-erzincan-depremi/>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [13] Ersoy Y. A. Afet Yönetimi I. İstanbul Üniversitesi, Acil Durum Ve Afet Yönetimi Uzaktan Eğitim Önlisans Programı, Ders Notları, 346 s., 2023.
- [14] <https://www.medak.org.tr/faydali-bilgiler/faydali-bilgiler/>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [15] Gündüz, F. Afetlerde Kadın ve Toplumsal Cinsiyet Perspektifi ile Çıkarılması Gereken Dersler (Haiti ve Japonya Depremi Örneği), IBAD Sosyal Bilimler Dergisi, (12): 440-461, 2022.
- [16] Ciampi, M. C., Gell, F., Lasap, L., Turvill. E. Toplumsal Cinsiyet ve Afet Risk Azaltma, Paradigma Akademi. Çeviri: Gül Yalçın, Ebru İnal, Nüket Paksoy Erbaydar, Edip Kaya, ISBN: 978-625-7881-05-0, 2020.
- [17] Düger, Y. ve Yaman, M. Doğal Afetler Bağlamında Kadına Yönelik Cinsiyet Temelli İnsan Hakları İhlalleri. KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi (KMUSEKAD), 24 (43): 931-952, 2022.
- [18] Aytaç, S., Sert Etman, F., Çetin Aydın, G., Reçber, B., Sezen, H.K. Kadına Yönelik Şiddetin Dünü, Bugünü, Yarını: Kestirim Tabanlı Bir Araştırma Sosyoloji Konferansları No: 54 (2016-2) / 275-297, 2016.
- [19] Koç, E., Yeniçeri, Z. COVID-19 Pandemi Sürecinin Toplumsal Cinsiyet Eşit(siz)liğine Etkileri. Akdeniz Kadın Çalışmaları ve Toplumsal Cinsiyet Dergisi <http://dergipark.gov.tr/ktc> Sayı IV (1) 80-102, 2021.
- [20] https://www.ilo.org/ankara/news/WCMS_865505/lang--tr/index.htm#:~:text=K%C3%BCresel%20%C3%A7apta%2C%20kad%C4%B1nlar%C4%B1n%20i%C5%9Fg%C3%BCc%C3%BCne%20kat%C4%B1%C4%B1,ise%20%72%2C%20oldu. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [21] Tuncer, F. F. Öngörülemeyen Bir Küresel Düzen ve Covid-19: Covid-19 Karikatürleri ile Yeni Düzen Okuması Gaziantep University Journal of Social Sciences 2020 Special Issue 42-58, 2020.
- [22] İlgin, H.Ö. ve Karagül, D. Afet Süreçlerinde Kadınlara Yönelik Toplumsal Cinsiyet Eşitsizliğinde Sivil Toplum Kuruluşu Çalışanlarının Deneyimleri: Çanakkale İli Örneği. Journal of Emerging Economies and Policy, 7(2), 85-103, 2022.
- [23] <https://esitlikadaletkadın.org/cadirdan-konteynere-depreme-icin-temel- ihtiyaclara-ulasim-hala-cok-zor/>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [24] <http://www.unisdr.org/2012/iddr>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [25] <https://mgm.gov.tr/FILES/Haberler/2012/afetzarar.pdf>. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.
- [26] <https://dogadernegi.org/wp-content/uploads/2024/02/Bil>

gi-Notu-5.pdf. Erişim Tarihi 2 Mayıs 2024.

- [27] Usta, E. Afet Yönetiminde Risk Azaltmanın Önemi, Tecrübeler ve Türkiye'deki Uygulama Örnekleri. DEU Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afet Yönetimi Anabilim Dalı, Afet Yönetimi Programı Yüksek Lisans Tezi, 156 s., İzmir, 2019.
- [28] Altıparmak, Ö. Türkiye'de Afet Risk Azaltma Politikaları ve Sivil Toplum Örgütlerinin Rolü. Hukuk, Doğa ve Toplum Vakfı – HUDO, Bilgi Notu-5, 2024.
- [29] Kurada, B. , Evren Tanrıverdi, E., Şen, M.F., Demirkol Kılıç, E., Yalçın, D. Türkiye Afet Risklerinin Azaltılması Platformuna Genel Bakış. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi 10(1), 24-29, 2023.
- [30] Okay, N. ve İlkaracan, İ. Toplumsal Cinsiyete Duyarlı Afet Risk Yönetimi. Resilience, 1-12, 2018.



SU'ya Dair Her Şey

SU, "tüm canlılar için vazgeçilmez yaşamsal bir kaynaktır" cümlesiyle başlar su ile ilgili bütün yazılar. Susuz bir yaşam düşünülemez elbette. Yaşamımızı sürdürebilmek için doğrudan vücudumuza aldığımız su dışında, yiyeceklerimizin yetiştirilmesinden soframıza gelmesine kadar her aşamada suya gerek vardır. Evcil hayvanınızın, saksınızdaki çiçeğinizin, üzerinde uzanmak istediğiniz çimlerin, dalından elma kopardığınız ağacın da yaşam kaynağıdır aynı zamanda su. Kirlenen elinizi, çamurlanan ayağınızı, tozlanan evinizi temizlemek için de gereklidir su. Bir yorgunluk kahvesi de suyu gerektirir. Bu sebeptir ki yüzyıllar boyunca bütün büyük uygarlıklar su kenarında kurulmuştur.

Fatma Gültekin
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
fatma@ktu.edu.tr

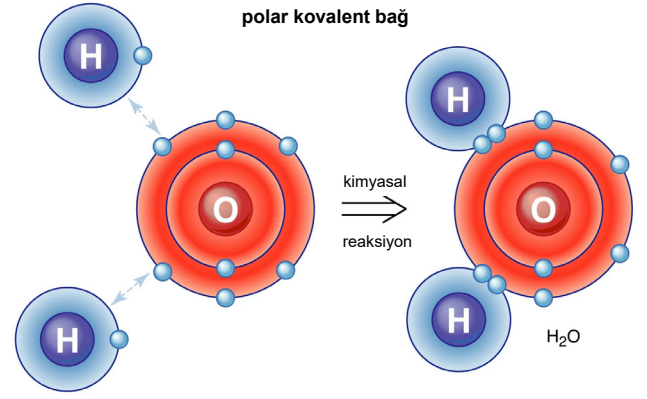
Dünya nüfusu özellikle son yıllarda hızla artarken Dünya üzerindeki tatlı su miktarı sabit kalmaktadır. Sanayi tesislerinin sayısının ve çeşitlerinin artması ile endüstriyel su tüketim miktarları da büyük oranda artış göstermektedir. Sınırlı olan tatlı su kaynakları, üzerindeki artan su talebi baskısına ek olarak tarımsal, endüstriyel ve evsel atık suların tehdidi altındadır. Su kaynaklarının zaman ve konuma göre talep edilen miktar ve kalitede bulunmaması, mevcut su kaynaklarının ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar içinde en verimli şekilde kullanımını gerektirmektedir. Bazı tahminler, 2025 yılından itibaren 3 mil-

yardan fazla insanın su kıtlığı ile yüz yüze geleceğini göstermektedir [1]. Bu nedenle su ile ilgili ilk çalışmalar yer kabuğunda suyun nerede, ne şekilde, hangi miktarda ve hangi kalitede olduğunu araştırmaya yönelik iken son yıllarda su kaynaklarının kalite açısından korunması ve sürdürülebilir kullanımına yönelmiştir.

Temiz suya sahip olmak bireysel sağlığımız, kolektif tarımsal ihtiyaçlarımız ve çevremizin ihtiyaçları açısından hayati öneme sahiptir. Tüm yaşamın temelidir ve sanitasyon, insan hakları, kentleşme, sürdürülebilirlik, ekonomik büyüme vb. açısından önemlidir. Bu nedenle bu yazıda suyun varoluşu, özellikleri, dağılımı, kullanım alanları ve korunması gibi su ile ilgili konulara değinilmiştir.

Suyun Kimyası

Dünya üzerinde bol miktarda bulunan su, kokusuz ve tatsız kimyasal bir bileşiktir [2]. Su molekülü, her biri tek bir kimyasal bağla bir oksijen atomuna bağlanan iki hidrojen atomundan oluşur (Şekil 1). Su molekülü doğrusal olmayıp özel bir şekilde bükülmüştür. İki hidrojen atomu oksijen atomuna 104,5° açıyla bağlanır. Bir oksijen atomu, hidrojen atomundan daha büyük bir elektronegatifliğe sahip olduğundan, su molekülündeki O-H bağları polardır ve oksijen kısmi negatif yüke ve hidrojenler kısmi pozitif yüke sahiptir. Oda sıcaklığında sıvı olan su, diğer birçok maddeyi çözme konusunda önemli bir yeteneğe sahiptir. Her ne kadar su molekülleri yapı olarak basit (H₂O) olsa da bileşiğin fiziksel ve kimyasal özellikleri olağanüstü derecede karmaşıktır. Örneğin, erime noktası olan 0°C (32°F) ve kaynama noktası olan 100°C (212°F) iken hidrojen sülfid ve amonyak gibi benzer bileşiklerle karşılaştırıldığında beklenenden çok daha yüksektir. Katı haldeki buz suyun yoğunluğu, sıvı haline göre daha azdır, bu da başka bir sıra dışı özelliktir. Sıklıkla renksiz olarak tanımlanmasına rağmen kızıl dalga boylarında ışığı hafifçe emmesi nedeniyle mavi bir renge sahiptir [2]. Bu anormalliklerin kökeni su molekülünün elektronik yapısından kaynaklanmaktadır.



Şekil 1. Oksijen atomuna 104,5 derecelik açıyla bağlanan iki hidrojen atomu ve hidrojen ve oksijen atomlarının yüklerini gösteren su molekülünün yapısı.

Su molekülünün polaritesi, sulu çözeltilerin oluşumu sırasında iyonik bileşiklerin çözünmesinde önemli bir rol oynar. Dünyadaki okyanuslar, harika bir doğal kaynak sağlayan çok miktarda çözünmüş tuz içerir. Ayrıca organizmaların hayatta kalabilmesi için her an gerçekleşen yüzlerce kimyasal reaksiyonun tamamı sulu sıvılarda gerçekleşmektedir. Yine yiyeceklerin pişirildikçe tat alması, şeker ve tuz gibi maddelerin suda çözünmesiyle mümkün olmaktadır. Maddelerin sudaki çözünürlüğü son derece karmaşık bir süreç olmasına rağmen, polar su molekülleri ile çözünen madde (yani çözünen madde) arasındaki etkileşim önemli bir rol oynar. İyonik bir katı suda çözüldüğünde, su moleküllerinin pozitif uçları anyonlara, negatif uçları ise katyonlara çekilir. Bu işleme hidrasyon denir. İyonlarının hidrasyonu, tuzun suda parçalanmasına (çözünmesine) neden olma eğilimindedir. Çözünme sürecinde katının pozitif ve negatif iyonları arasındaki güçlü kuvvetlerin yerini güçlü su-iyon etkileşimleri alır.

Dünyadaki Suyun Kaynağı

Peki, Dünya üzerinde bol miktarda bulunan bu su ilk nasıl oluştu?

Dünyanın suyunu nasıl elde ettiğine dair çok sayıda teori vardır. Bu teoriler genel olarak iki kategoriye ayrılır: (i) Dünya, suyun moleküler öncülleriyle birlikte doğmuştur, (ii) asteroitler ve kuyruklu yıldızlar gibi su yüklü uzay kayaları, gezegenin oluşumundan sonra buraya su getirmiştir [3]. Bu teorilerin birçoğu birbiriyle uyumludur. Bu da Dünya'nın suyunu birden fazla kaynaktan almış olabileceği anlamına gelir. Bu konuda bilim in-

sanları, Güneş Sistemi'nin ilk dönemlerinde neler olduğuna ve Dünya'nın suyunu nasıl elde ettiğine ilişkin modelleri sürekli olarak geliştirmektedir. Son araştırmalar, okyanusların oluşumunda Dünya'nın içindeki hidrojenin rol oynadığını göstermektedir [4]. Suyun Dünya'ya, asteroid kuşağının dış kenarlarındaki asteroitlere benzer bileşimdeki buzlu gezegenlerin çarpmasıyla ulaştığına dair kanıtlar da bulunmaktadır [5]. 2020'de araştırmacılar, gezegenin oluşumunun başlangıcından beri Dünya'da okyanusları doldurmaya yetecek kadar suyun bulunabileceğini ifade etmişlerdir [6, 7, 8]. Bilinen tüm yaşam formları için gerekli olan sıvı su, gezegenin Güneş'ten suyunu kaybetmeyecek kadar uzakta olması nedeniyle Dünya yüzeyinde varlığını sürdürmektedir.

Su Döngüsü

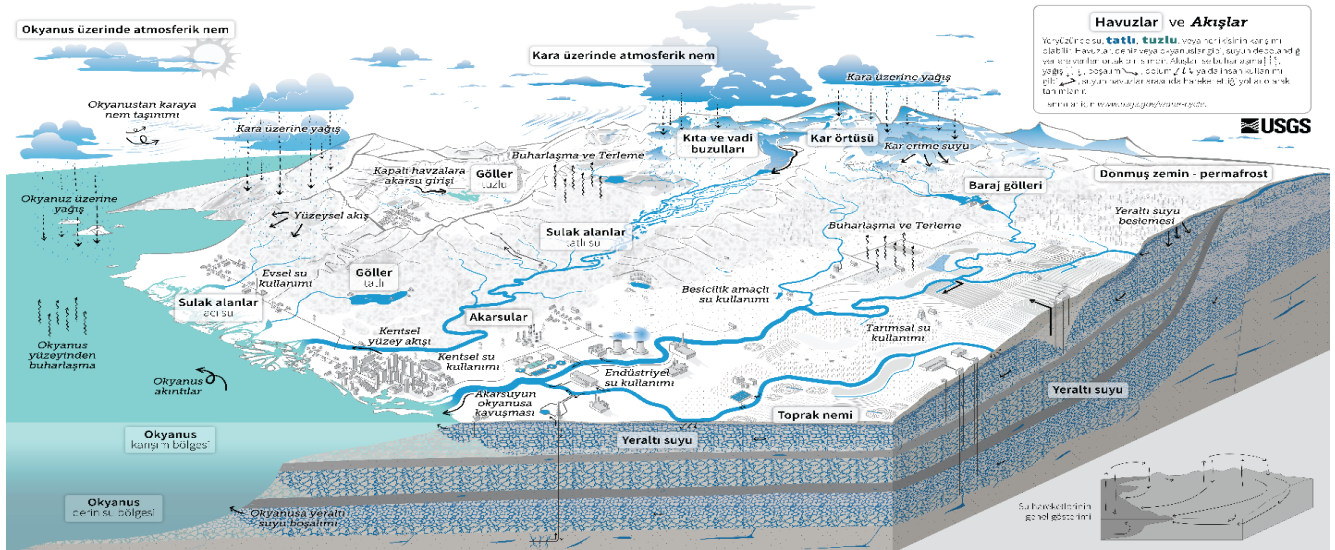
SU, doğada yer kabuğu ile atmosfer arasında devamlı hareket halindedir (Şekil 2). "Su döngüsü" ya da "hidrolojik döngü" denilen bu olay, suyun okyanus-denizlerden atmosfere, atmosferden yeryüzüne, yeniden okyanus-denizlere ulaşması şeklinde genel bir tur olup, bu döngünün bir başlangıcı veya sonu yoktur.

Su, nehirden okyanusa veya okyanustan atmosfere gibi bir rezervuardan diğerine, buhar-

laşma, yoğunlaşma, yağış, sızma, yüzey akışı ve yüzey altı akışının fiziksel süreçleriyle hareket eder. Bunu yaparken su, sıvı, katı (buz) ve buhar gibi farklı formlardan geçer (Şekil 2).

Su döngüsü aynı zamanda Dünya'da suyun nerelerde bulunduğunu ve nasıl hareket ettiğini tarif eder. Su, atmosferde, yerin yüzeyinde ve altında depolanır. Akışlar suyu havuzlar arasında hareket ettirir. Dolaşım, suyun deniz ve okyanuslarda çevrimini sağlarken su buharının atmosfere iletimini de sağlar. Su, atmosfer ve kara-deniz ara yüzeyinde buharlaşma, terleme ve yağış ile hareket eder. Kara yüzeyinde ise suyun hareketi kar erimesi, yüzey akışı ve akarsu akışı ile sağlanır. Suyun yeraltına hareketi, sızma ve yeraltı-suyu beslemesi ile gerçekleşir. Yeraltısu, akiferler içerisinde hareket eder ve yüzeye ve çevrime dönüşü ise doğal yollardan denize, nehirlere ve pınarlara deşarjı ile gerçekleşir.

Su döngüsü, sıcaklık değişimlerine yol açan enerji değişimini içerir. Su buharlaştığında, çevresinden enerji alır ve çevreyi soğutur. Yoğunlaştığında, enerjiyi serbest bırakır ve çevreyi ısıtır. Bu ısı değişimleri iklimi etkiler. Döngünün buharlaşma aşaması suyu arındırır ve daha sonra toprağı tatlı su ile doldurur. Sıvı su ve buz akışı dünyadaki mineralleri taşır. Ayrıca, erozyon ve sedimantas-



Su döngüsü

Su döngüsü, Dünya'da suyun en çok olduğu bolca bulunduğu ve hızlı hareket ettiği yerlerdir. Su, atmosferde, yerin yüzeyinde ve altında depolanır. Sıvı, katı ve gaz halinde bulunabilir. Sıvı haldeki su, katı, sıvı ya da gaz halindeki suya dönüşebilir. Su, buhar ve sıvı halde olduğu gibi, katı halde de bulunabilir. Su, buhar ve sıvı halde olduğu gibi, katı halde de bulunabilir. Su, buhar ve sıvı halde olduğu gibi, katı halde de bulunabilir.

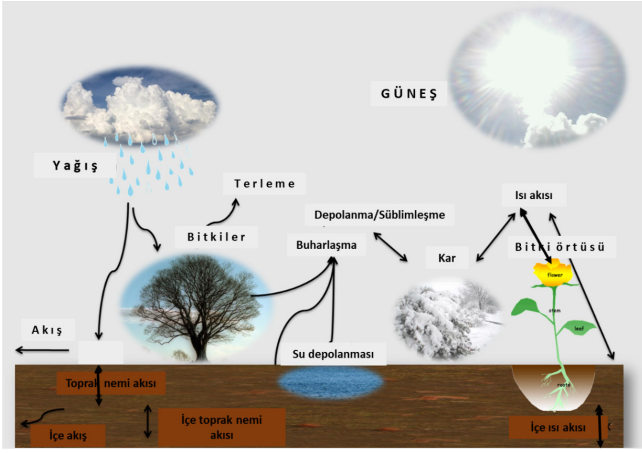
Havuzlar suyu depolayan alanlardır. Suyun %96'sı okyanus ve denizlerde depolanır ve turuncu alanlardır. Kara'da tuzlu su, **tuzlu göllerde** bulunur. Sıvı haldeki tuzlu su, **tatlısu göllerinde** ve **yağış rezervuarlarında** yani **baraj göllerinde**, **akarsularda** ve **sulak alanlarda** depolanır. Donmuş, ya da buhar halindeki su, **kutuplarda** **buza** **göllerinde** ve yüksek dağ karlıklarında saklanır. Ayrıca, donmuş suya yüksek dağlar ve dağ kuyruğu çevresinde **kar örtüsü** olarak saklanır. Su buhar bir gazdır ve deniz ile karaların üzerinde **atmosferde** nem olarak bulunabilir. Toprağın içinde su, donmuş halde **permafrost** alanlarda ve su buharı ile **toprak nemli** olarak bulunur. Yerin derinleştiğinin de tuzlu su kayalarının çıkarıldığı alanların diğer alanlar içerisinde **yeraltı suyu** olarak depolanır.

Akarsu suyu havuzları arasında hareket ettirir. Su hareket hızı değişir ve sıvı, katı ve gaz halinde değişebilir. **Dolaşım**, suyun deniz ve okyanuslara çevrimini sağlarken su buharının atmosferde hareketini sağlar. Su, atmosferde kara-deniz ara yüzeyinde buharlaşma, terleme ve yağış ile hareket eder. Kara yüzeyinde ise suyun hareketi **kar erimesi**, **yağış akışı** ve **akarsu akışı** ile sağlanır. Suyun yeraltına hareketi, sızma ve **yeraltı suyu beslemesi** ile gerçekleşir. Yeraltı suyu akiferler içerisinde hareket eder. Yeraltı suyu yüzeye ve çevrime dönüşü ise doğal yollardan denize, nehirlere ve pınarlara deşarjı ile gerçekleşir.

Buzlar su depolama değişimlerini sağlar. Nehirlerin yönlerini değiştirirler. Su depolama için barajlar yaparlar. Tuzun ve yeraltı suyu akiferlerini korur. Su, atmosferde kara-deniz ara yüzeyinde buharlaşma, terleme ve yağış ile hareket eder. Kara yüzeyinde ise suyun hareketi **kar erimesi**, **yağış akışı** ve **akarsu akışı** ile sağlanır. Suyun yeraltına hareketi, sızma ve **yeraltı suyu beslemesi** ile gerçekleşir. Yeraltı suyu akiferler içerisinde hareket eder. Yeraltı suyu yüzeye ve çevrime dönüşü ise doğal yollardan denize, nehirlere ve pınarlara deşarjı ile gerçekleşir.

Şekil 2. Su döngüsü [9].

yon gibi süreçlerle Dünya'nın jeolojik özelliklerinin yeniden şekillendirilmesinde rol oynar. Yeryüzündeki su kaynaklarını okyanuslar, denizler, göller ve yeraltı suları oluşturur. Dünya'daki su hareket eder, biçim değiştirir, bitkiler ve hayvanlar tarafından kullanılır, fakat gerçekte asla yok olmaz. Su döngüsü, yağış, buharlaşma-terleme (Evapotranspirasyon), yer üstü ve yer altı akışları olmak üzere üç temel aşamayı içerir (Şekil 3).



Şekil 3. Su döngüsünün ana bileşenleri [10], [11].

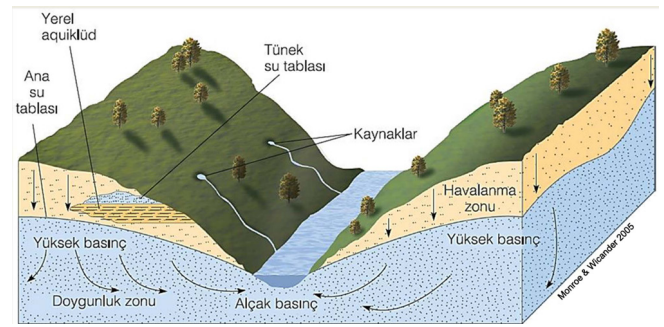
Yağış, Dünya yüzeyine düşen yoğunlaşmış su buharıdır. Yağışların çoğu yağmur olarak görülür, ancak kar, dolu, sis damlası ve karla karışık yağmur şeklinde de görülebilir [12]. Her yıl yaklaşık 505.000 km³ su yağış olarak yeryüzüne düşmektedir. Bunun 398.000 km³ okyanuslar, 107.000 km³'ü karalar üzerine düşerken, yılda sadece 1.000 km³ kar yağışı gerçekleşir [13]. Küresel yağışların %78'i okyanus üzerinde gerçekleşmektedir [14].

Buharlaşma, suyun yeryüzünden veya su kütlelerinden üstteki atmosfere geçerken sıvının gaz fazlarına dönüşümüdür [15]. Buharlaşma için enerji kaynağı öncelikle güneş ışınımıdır. Okyanuslar, göller ve nehirlerdeki su kütleleri ısındıkça buharlaşmakta ve su buharı olarak atmosfere doğru yükselmektedir. Aynı zamanda bitkiler ve ağaçlar, yapraklarından su kaybetmekte ve bu suyu buhar halinde atmosfere salmaktadır. Bu olay terleme olarak adlandırılmakta ve buharlaşma ile birlikte yeryüzünden kayıp olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla buharlaşma-terleme (evapotranspirasyon) olarak adlan-

dırılmaktadır. Toplam yıllık evapotranspirasyon yaklaşık 505.000 km³ sudur ve bunun 434.000 km³ okyanuslardan buharlaşmaktadır [12]. Küresel buharlaşmanın %86'sı okyanuslar üzerinde gerçekleşmektedir [13].

Yüzey akışı, suyun karadaki hareketini temsil etmekte ve hem yüzey akışını hem de kanal akışını içermektedir. Akarken, su toprağa sızabilir, havaya buharlaşabilir, göllerde veya rezervuarlarda depolanabilir veya tarımsal veya diğer insan ihtiyaçları için kullanılabilir.

Yeraltı akışı, vadoz (havalandırma) bölgede ve akiferlerde yeraltı su akışı olarak tanımlanmaktadır. Yeraltı suyunun aşağı yönlü hareketi için gereken enerji yerçekimi ile sağlanmaktadır. Yeraltına giren su havalanma kuşağından doygunluk kuşağına doğru hareket eder. Süzülen sular yeraltı su tablasına ulaştığında, su tablasının yüksekte olduğu alanlardan daha alçakta olduğu ırmaklar, göller ya da bataklıklar gibi yerlere doğru hareketini sürdürür. Sadece süzülen suyun bir kısmı doğrudan su tablasının eğimini izler. Çoğu ise düşey yönde büyük kavisli yollar olarak ırmağa, göle ya da bataklığa katılırlar. Bunun nedeni ise doygunluk kuşağı içindeki yeraltı suyunun yüksek basınçlı alanlardan düşük basınçlılara doğru hareket etmesidir (Şekil 4). Yeraltı suyu yavaş hareket etme eğilimindedir ve yavaşça yenilenir, böylece binlerce yıl akiferlerde kalabilir. Yeraltı suyunun hızı birçok faktöre bağlı olarak büyük oranda değişir. Bu hız oldukça geçirimli bazı malzemelerde 250 m/gün ile hemen hemen geçirimsiz malzemelerde birkaç cm/yıl arasında çeşitlilik gösterir. Birçok sıradan akifer için ortalama yeraltı suyu hızı birkaç cm/gün olarak ölçülmüştür.

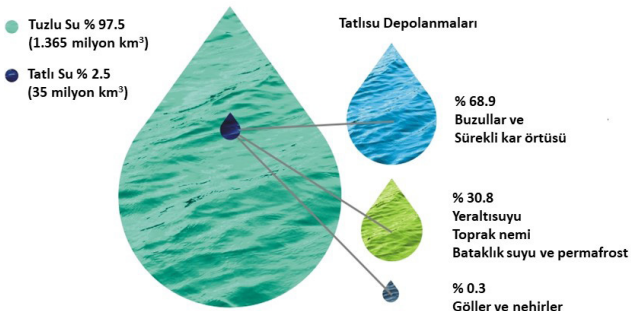


Şekil 4. Vadoz (havalandırma) bölgede ve akiferlerde yeraltı su akışı [16].

Dünyadaki Su Miktarları

Dünya yüzeyinin çoğunluğu okyanuslarla kaplı olsa da, bu okyanuslar gezegenin kütesinin yalnızca küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Dünya okyanuslarının kütesinin $1,37 \times 10^{21}$ kg olduğu tahmin edilmektedir [17]. Bu değer Dünya'nın toplam kütesinin ($6,0 \times 10^{24}$ kg) %0,023'üne karşılık gelmektedir. Buzullarda, göllerde, nehirlerde, yeraltı suyunda ve atmosferik su buharında ilave $5,0 \times 10^{20}$ kg suyun mevcut olduğu tahmin edilmektedir [17]. Ayrıca Dünya'nın kabuğunda, mantosunda ve çekirdeğinde de önemli miktarda su depolanmaktadır. Yüzeyde bulunan moleküler H_2O 'nun aksine, iç kısımdaki su, esas olarak hidratlı mineraller halinde veya susuz minerallerdeki oksijen atomlarına bağlı eser miktarda hidrojen olarak bulunmaktadır [18]. Yüzeydeki hidratlı silikatlar, okyanus kabuğunun kıtasal kabuğun altına daldığı yakınsak plaka sınırlarındaki mantoya su taşımaktadır. Sınırlı örnekler nedeniyle mantonun toplam su içeriğini tahmin etmek zor olsa da Dünya okyanuslarının kütesinin yaklaşık üç katı burada depolanmış olabileceği ifade edilmektedir [18].

Su döngüsünden geçmekte olandan çok daha fazla su "depodadır". Dünyadaki tüm suyun büyük çoğunluğunun depoları okyanuslardır. Hidrosferde mevcut toplam suyun %97.5'i tuzlu su, %2.5'i ise tatlı sulardan oluşmaktadır (Şekil 5). Tatlı su depolanmalarının %68.9'u buzullar ve sürekli kar kütlelerini, %30.8'i yeraltı suyu, toprak nemi ve bataklık sularını, % 0.3'ü ise göl ve nehirleri oluşturmaktadır (Şekil 5). Dünyadaki toplam su miktarının ($1.386.000.000 \text{ km}^3$), yaklaşık $1.338.000.000 \text{ km}^3$ 'ün okyanuslarda depolandığı tahmin edilmektedir [20] (Tablo 1). Okyanusların su döngüsüne giren buharlaştırılmış suyun yaklaşık %90'ını sağladıkları belirtilmektedir [19].



Şekil 5. Dünyadaki su miktarları [20].

Tablo 1. Dünyada depolanan su hacimleri ve yüzde-leri [20].

	Toplam Su Hacmi (km^3)	Toplam Su %si	Tatlı su %si
Okyanuslar	1,338,000,000	96.5	--
Buzullar ve Sürekli Kar	24,364,000	1.76	69.6
Yeraltı suyu	23,400,000	1.69	--
Tatlı	10,530,000	0.76	30.1
Tuzlu	12,870,000	0.93	--
Toprak Nemi	16,500	0.0012	0.047
Donmuş toprak ve Permafrost	300,000	0.022	0.86
Göller	176,400	0.013	--
Tatlı	91,000	0.007	0.26
Tuzlu	85,400	0.006	--
Atmosfer	12,900	0.001	0.037
Bataklıklar	11,470	0.00083	0.033
Nehirler	2,120	0.00015	0.0061
Biyolojik su	1,120	0.0001	0.003

Su Kullanımı- Su Tüketimi

"Su kullanımı", kullanılmak üzere kaynağından çekilen toplam su miktarını ifade etmektedir. Su kullanımına ilişkin ölçümler endüstriyel, tarımsal ve evsel kullanıcılardan gelen talep düzeyinin değerlendirilmesine yardımcı olur. Örneğin bir üretim tesisi, ekipmanlarını soğutmak, çalıştırmak veya temizlemek için günde 10.000 galon tatlı suya ihtiyaç duyabilir. Tesis bu suyun yüzde 95'ini havzaya geri gönderse bile tesisin çalışması için 10.000 galonun tamamına ihtiyacı var.

"Su tüketimi", su kullanımının, çekildikten sonra orijinal su kaynağına geri verilmeyen kısmıdır. Tüketim, suyun buharlaşma yoluyla atmosfere karışması veya bir ürün veya bitkiye (mısır sapı gibi) karışması ve artık yeniden kullanıma uygun olmaması durumunda meydana gelir. Su tüketimi özellikle su kıtlığı ve insan faaliyetlerinin su mevcudiyeti üzerindeki etkisi analiz edilirken önemlidir. Örneğin, sulı tarım dünya çapında su kullanımının yüzde 70'ini oluşturmaktadır ve bunun neredeyse yüzde 50'si ya atmosfere buharlaşarak ya da bitki yapraklarından geçerek kaybolmaktadır.

Tatlı su kullanımı, tüketen ve tüketmeyen (bazen "yenilenebilir" olarak da adlandırılır) olarak sınıflandırılabilir. Suyun başka bir kullanım için hemen mevcut olmaması durumunda su kullanımı tüketimdir. Bir ürüne (çiftlik ürünleri gibi) katılan su gibi, yüzey altı sızıntı ve buharlaşmadan kaynaklanan kayıplar da tüketim olarak kabul edilir. Kanalizasyon gibi arıtılıp yüzey suyu olarak geri döndürülebilen su, eğer bu su ilave olarak kullanılabiliyorsa, genellikle tüketilmeyen su olarak kabul edilir.

Suyun Kullanım Alanları

Su doğrudan ve dolaylı amaçlarla kullanılabilir. Doğrudan amaçlar arasında içmek ve yemek pişirmek, banyo yapmak yer alırken, dolaylı

amaçlara örnek olarak ahşabın kağıt yapımında ve otomobiller için çelik üretiminde kullanılması verilebilir. Dünyadaki su kullanımının büyük kısmı tarım, sanayi ve elektrik içindir.

Tarımsal Su Kullanımı

Tarımsal su, nehirler ve akarsular gibi yüzey suyu, kuyular aracılığıyla yeraltı suyu, yağmur suyu ve şehir ve kırsal su gibi belediye su sistemlerinden alınan, taze ürün yetiştirmek ve hayvancılığı sürdürmek için kullanılan sudur (Şekil 6). Pestisit ve gübre uygulamaları, mahsul soğutma (örneğin hafif sulama) ve don kontrolü için de kullanılan su da bu sınıfta yer alır. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırması'na (USGS) göre, sulama için kullanılan su, termoelektrik enerji hariç, dünyada



Şekil 6. Tarımsal amaçlı su kullanım alanları

çekilen tatlı su miktarının yaklaşık yüzde 65'ini oluşturmaktadır [21], [22]. Tarımsal su etkin ve güvenli kullanıldığında üretim ve ürün verimini olumlu yönde etkilenmektedir. Uygulanan suyun azalması üretim ve verimin düşmesine neden olmaktadır. Tarımsal su kullanımını iyileştirmek ve optimum üretim ve verimi sürdürmek için su verimi düşürmeden su kullanım verimliliğini artıran yönetim stratejilerini gerekmektedir. Bu stratejiler su ve enerjinin korunmasına olanak tanır ve yetiştiricinin maliyetlerini azaltır [23].

Dünya çapında su kullanımının %69'unun sulama amaçlı olduğu ve sulamadan çekilenlerin %15-35'inin sürdürülemez olduğu tahmin edilmektedir [22]. Dünyanın bazı bölgelerinde her-

hangi bir mahsulün yetiştirilmesi için mutlaka sulama gerekli iken bazı bölgelerde ise daha karlı mahsullerin yetiştirilmesine olanak veya mahsul verimini arttırmak için sulamaya gerek duyulmaktadır. Bu nedenle mahsul verimi, su tüketimi, ekipman ve yapıların maliyeti arasında farklı dengeleyen sulama yöntemleri tercih edilmelidir (Şekil 6). Karık ve yağmurlama sulama gibi sulama yöntemleri genellikle daha ucuzdur ancak suyun çoğu buharlaştığı, aktığı veya kök bölgesinin altına aktığı için genellikle daha az verimlidir. Daha verimli olduğu düşünülen damlama veya damlama sulama, dalgalanma sulama ve yağmurlama sistemlerinin daha pahalı olmasına rağmen genellikle yüzey akışını, drenajı ve buharlaşmayı en aza indirme konusunda daha büyük potansiyel-



Şekil 7. Endüstriyel uygulamalarda su kullanımı

leri vardır. Su israfına neden olmayacak şekilde uygun koşullar, uygun sulama zamanlaması ve yönetimi yüksek verimlilik sağlamaktadır.

Endüstriyel Su Kullanımı

“Endüstriyel su”, bir ürünün imalatı, işlenmesi, yıkanması, seyreltilmesi, soğutulması veya taşınması için kullanılan suyu ifade etmektedir [24]. Endüstriler, üretim sürecinde ya ürünlerini oluşturmak için ya da ürünlerini oluştururken kullanılan soğutma ekipmanları için su kullanırlar. Su endüstriyel olarak çoğunlukla petrol rafinerileri, kimyasal ürünler, gıda ve kağıt ürünleri üreten endüstriler tarafından kullanılmaktadır. Büyük miktarlarda su çoğunlukla gıda, kağıt ve kimyasal madde üretmek için kullanılmaktadır (Şekil 7).

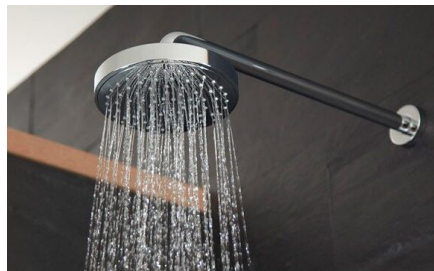
Dünya genelinde, yüksek gelirli ülkeler, sularının yüzde 59'unu endüstriyel amaçlar için kullanırken, düşük gelirli ülkeler, endüstriyel su kullanımı için daha düşük miktarlar kullanmaktadır [25]. Küresel ölçekte su kullanımının %22'sinin endüstriyel olduğu tahmin edilmektedir [26]. Başlıca endüstriyel kullanıcılar arasında suyu soğutma veya güç kaynağı olarak kullanan ener-

ji santralleri (örn. hidroelektrik santraller), suyu kimyasal işlemlerde kullanan cevher ve petrol rafinerileri ve suyu solvent olarak kullanan üretim tesisleri bulunmaktadır [26]. Endüstriyel su kullanımının tüketime yönelik kısmı büyük farklılıklar göstermektedir ancak genel olarak tarımsal kullanıma göre daha düşüktür. Endüstriyel birçok uygulama için temiz suya ihtiyaç vardır.

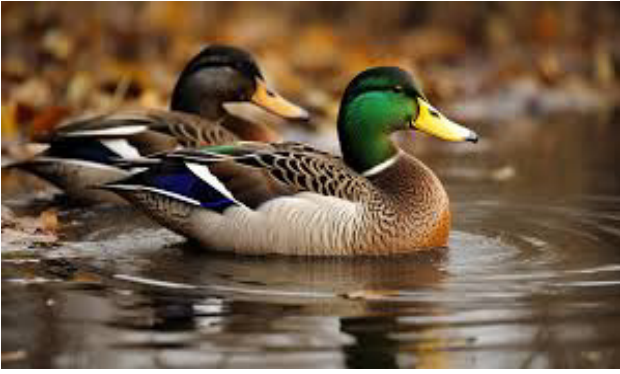
İçme-kullanma

Evsel su kullanımı, bir kamu su tedarikçisi tarafından hanelere sağlanan içilebilir ve içilemez suyu ve kendi kendine tedarik edilen suyu içerir. Kendi kendine sağlanan evsel su kullanımı ise genellikle kuyu gibi özel bir kaynaktan çekilir veya bir sarnıçta yağmur suyu olarak toplanır. Bu su kullanımı, konutlardaki iç ve dış mekan kullanımlarını ifade etmektedir ve içme, yiyecek hazırlama, banyo yapma, çamaşır ve bulaşık yıkama, tuvalet sifonunu çekme, çim ve bahçe sulama ve havuz bakımı gibi kullanımları içermektedir (Şekil 8).

Küresel ölçekte su kullanımının %8'inin ev amaçlı olduğu tahmin edilmektedir [25]. Bunlara içme suyu, banyo yapma, yemek pişirme, sanitas-



Şekil 8. Evsel su kullanım alanları



Şekil 9. Ekosistem için su kullanımı

yon ve bahçe işleri dahildir. Anında veya uzun vadede zarar verme riski olmaksızın tüketilebilecek veya kullanılabilir kadar yüksek kalitede olan suya genel olarak içme suyu denir. Çoğu gelişmiş ülkede, evlere, ticarete ve sanayiye sağlanan suyun tamamı içme suyu standardında olmasına rağmen çok küçük bir kısmı içerek tüketilmekte veya yiyecek hazırlamada kullanılmaktadır.

resel su kullanımı, yapay sulak alanları, yaban hayatı ortamı yaratmayı amaçlayan yapay gölleri, balık merdivenlerini ve balıkların üremesine yardımcı olacak şekilde zamanlanmış rezervuarlardan su salınımlarını içerir (Şekil 9). Çevresel kullanım tüketime yönelik değildir ancak belirli zamanlarda ve yerlerde diğer kullanıcılar için suyun kullanılabilirliğini azaltabilir.

Çevre- Ekosistem Su Kullanımı

Çevresel su kullanımı da toplam su kullanımının çok küçük ama giderek artan bir yüzdesidir. Çev-

Rekreasyon

Eğlence amaçlı su kullanımını içeren bu kullanım genellikle toplam su kullanımının çok küçük



Şekil 10. Rekreasyonel amaçlı su kullanımı

bir bölümünü içerir. Eğlence amaçlı su kullanımı çoğunlukla rezervuarlara bağlıdır. Bir rezervuarın rekreasyon amacıyla olması gerekenden daha dolu tutulması halinde, tutulan su eğlence amaçlı kullanım olarak sınıflandırılabilir. Birkaç rezervuardan suyun salınması hem eğlence amaçlı bir kullanım hem de akarsu kayıkcılığını geliştirmek için kullanılabilir. Balıkçılar, su kayağı yapanlar, doğa tutkunları ve yüzücüler eğlence amaçlı su kullanıcılarıdır (Şekil 10). Eğlence amaçlı kullanım genellikle tüketim amaçlı değildir. Ancak özellikle kurak bölgelerde golf sahaları gibi alanlarda aşırı miktarda su kullanılması dikkate değerdir. Rekreasyonel kullanım, belirli zaman ve yerlerde diğer kullanıcılar için suyun kullanılabilirliğini azaltabilir. Örneğin, yaz sonunda tekneyle gezilebilmesi için rezervuarda tutulan su, ilkbahar ekim sezonunda çiftçilerin kullanımına sunulmamaktadır. Rafting için salınan su, elektrik talebinin en yüksek olduğu dönemde hidroelektrik üretimi için kullanılamayabilir.

Su Ayak İzi

“Su ayak izi”, malların ve hizmetlerin üretiminde tüketilen doğrudan ve dolaylı su miktarlarını bütüncül bir şekilde ele alan “gerçek” su tüketiminin bir göstergesidir [28]. Bir kişinin, ürünün, sektörün, havzanın veya ülkenin birim zamanda üretim süreçlerinde harcadığı ve/veya kirlettiği toplam temiz su miktarını ifade etmektedir. Başka bir deyişle su ayak izi; su tüketimimizi, yani sebep olduğumuz su kullanımını ve kirliliğini ölçen en kapsayıcı göstergedir. Bu açıdan bakıldığında su ayak izinin yalnızca musluktan akan su, kaynaktan tarlaya alınan su ya da görünen su kullanımını olmadığını, aksine suyla ilgili doğrudan ve dolaylı; iç ve dış bütün tüketimlerin su ayak izine sebep olduğu net bir şekilde görülmektedir. Su ayak izi yalnızca su hacmini değil, aynı zamanda kullanılan suyun türünü (yeşil, mavi, gri), ne zaman ve nerede kullanıldığını da göstermekte olan çok yönlü bir göstergedir. Su ayak izi, aynı zamanda hem doğrudan su kullanımını hem de üretim sürecindeki dolaylı su kullanımını değerlendiren bir kriterdir. “Doğrudan su ayak izi” bir tüketicinin veya üreticinin su tüketimini ve su kullanımına bağlı kirlilik değerini ifade ederken “dolaylı su ayak izi” bir tüketicinin veya üreticinin tük-



Şekil 11. Su ayak izi bileşenleri (29).

ketilen veya üretilen ürünlerin üretimi için gerekli su tüketimine ve kirliliğe karşılık gelir. Örneğin et tüketiminde, tüketicinin doğrudan su ayak izi, eti hazırlarken ve pişirirken tüketilen ve kirlenen su hacmini ifade eder.

Su Ayak İzinin Bileşenleri

Su ayak izinin, su kullanımını ve kalitesini temsil eden mavi, yeşil ve gri su ayak izi olmak üzere üç bileşeni bulunmaktadır.

Mavi su ayak izi, bir malı üretmek için ihtiyaç duyulan toplam yüzey ve yeraltı tatlı su hacmidir. İçme-kullanma suyu, sulama suyu ve sanayi su tüketimleri mavi su ayak izi olarak değerlendirilmektedir. Mavi su ayak izi sulu tarım, sanayi ve evsel su kullanımları için, yüzey veya yeraltı suyu kaynaklarından su iletim şebekesine alınan brüt su olarak da tariflenebilir. Örneğin; sulu tarım için buharlaşma kaybı, bitkisel ürün tarafından kullanılan su ve drene edilen suların toplamı olarak ifade edilebilir. Sanayi ve içme-kullanma suyu sektörlerinde mavi su ayak izi ise, bir havzada mevcut yüzey ve yeraltı suyu kütlelerinden bu sektörler verilen su olarak tanımlanabilir.

Yeşil su ayak izi, bir malı üretmek için ihtiyaç duyulan toplam yağmur suyu hacmidir. Özellikle tarım, bahçe ve orman ürünleri için geçerlidir. Yeşil su ayak izi, akışa geçmeyen ve yeraltı suyuna karışmayan ancak toprakta depolanan veya geçici olarak toprağın veya bitkinin üzerinde kalan karasal yağış anlamına gelir. Tarlalarda ve orman alanlarında gerçekleşen yağmur suyu

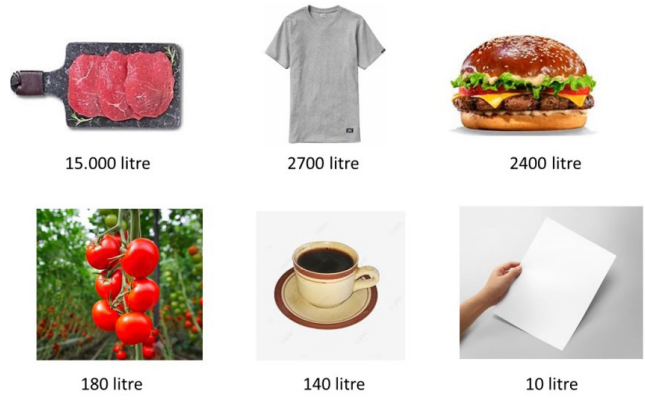
evapotranspirasyonu ile hasat edilen bitkiye dahil olan yağmur suyu toplamını ifade eder.

Gri su ayak izi, kirli suların arıtılarak su kalitesi standartlarının sağlanması için gereken tatlı su miktarıdır. Gri su ayak izi, noktasal ve/veya yayılı kirlilik kaynakları için hesaplanabilir.

Ayrıca kullanım alanlarına göre de "tarımsal su ayak izi" ve "evsel ve endüstriyel su ayak izi" ifadeleri kullanılmaktadır. Ülkemizin toplam su ayak izi 140 milyar m³/yıl'dır. Türkiye'nin toplam su ayak izinin %89'unu tarım sektörü, %7'sini evsel su kullanımı ve %4'ünü endüstriyel üretim oluşturmaktadır. Tarım sektörünün önemli bir parçası olan bitkisel üretimde kullanılan suyun %66'sından fazlasını yeşil su oluşturur. Bu sektörde yer alan otlatmanın su ayak izi ise büyük ölçüde yeşil sudan oluşur. Bu oranlar tarım sektörü için yağışın ne kadar önemli olduğunu ve bu sektörün kuraklık koşullarından kaçınılamaz ölçüde etkileneceğini göstermektedir. Bitkisel üretimde kullanılan suyun yaklaşık %20'sini ise mavi su oluşturur [30].

Evsel ve endüstriyel su ayak izinde gri su ayak izi ön plana çıkar. Ülkemizde evsel su ayak izinde gri su ayak izi %87; endüstriyel su ayak izinde gri su ayak izi %92 gibi bir orana sahiptir. Türkiye'de endüstriyel ve evsel su ayak izinde gri su ayak izinin baskın olması, ülkedeki ekonomik büyüme ve nüfus artışı tahminleriyle birleşince, gelecekte su kalitesi açısından gri su ayak izinin risk oluşturacağı görülmektedir [30].

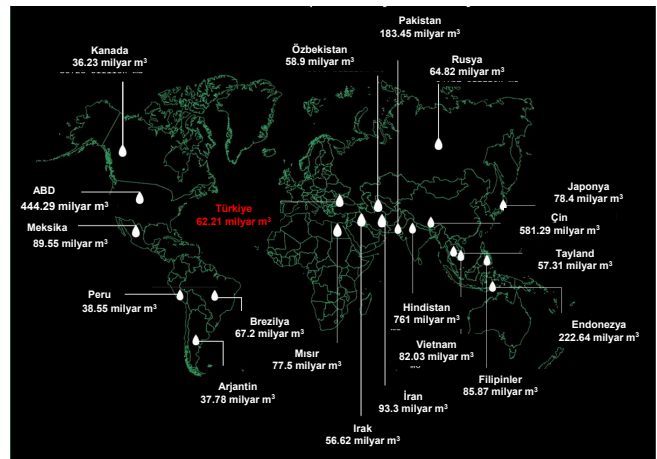
Su ayak izini daha iyi anlamak için bazı ürünlerin üretilmesi için gerekli su miktarları verilmiştir (Şekil 12). 1 kg et üretmek için 15.000 L, bir adet pamuklu tişört üretmek için 2700 L, 1 kg domates üretmek için 180 L suya gereksinim vardır.



Şekil 12. Bazı ürünlerin su ayak izi

Dünyada ve Türkiye'de Su Kullanımı

Küresel ölçekte tatlı su tüketimi her yıl 4,3 trilyon m³ olarak belirtilmiştir [31]. İnsani tüketime yönelik küresel su miktarı 6.217.438.741.710 tondur. Bu rakam hem doğrudan hem de dolaylı su tüketimini kapsamakta olup, insan faaliyetlerinin dünya su kaynakları üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Tatlı su tüketiminin küresel dağılımı, hem coğrafi eşitsizlikleri hem de nüfus büyüklüğünün su kullanımı üzerindeki etkisini yansıtan keskin bir tezat sunmaktadır. Mevcut en son verilere göre ilk yirmi arasında en az tatlı su tüketimine sahip ülkeler Kanada, Arjantin ve Peru'dur (Şekil 13). Her ülke yılda yaklaşık 36 ila 39 milyar metreküp su kullanmaktadır. Buna karşılık Hindistan, Çin ve ABD, sırasıyla 761 milyar, 581,29 milyar ve 444,29 milyar metreküp su tüketim oranlarıyla en büyük tüketiciler olarak ortaya çıkmaktadır [31].



Şekil 13. Ülkelere göre su kullanımı [31].

Yeraltı Suyu Kullanımı

Yeraltı suyu, dünyadaki mevcut sıvı tatlı suyun %99'unu oluşturur ve insanlığın su tüketiminin yaklaşık dörtte birinin kaynağıdır. Özellikle tarım sektörü, tüm yeraltı su kaynaklarının %72'sinden yararlanan birincil kullanıcıdır. Evsel kullanım, bu soyutlamaların %22'sini oluştururken, endüstriyel amaçlar da %9'unu oluşturmaktadır. Dünyadaki kentsel nüfusun neredeyse yarısı su temini için artık yeraltı suyu kaynaklarına bağımlıdır [31].

Endüstriyel ve Tarımsal Su Kullanımı

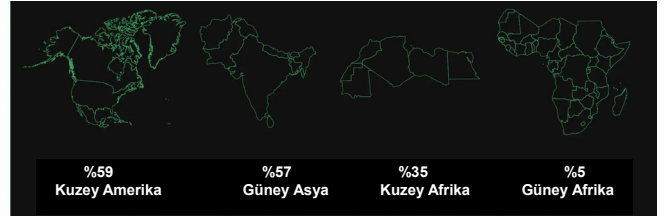
İmalat, madencilik, petrol ve gaz, enerji üretimi, mühendislik ve inşaat dahil olmak üzere çeşitli endüstriler yeraltı suyuna bağımlıdır. Bu önemli su kullanımı genellikle üretimin sonunda kapsamlı temizlik işlemlerine duyulan ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. Sanayi ve enerji sektörleri küresel tatlı su çekiminin yaklaşık %19'unu oluşturmaktadır. Dünyadaki tatlı su kullanımının ve kirliliğinin önemli bir kısmı (yaklaşık %70) gıda, tekstil, enerji, sanayi, kimya, ilaç ve madencilik olmak üzere yedi ana sektöre aittir. Yüksek gelirli ve düşük gelirli ülkeler arasında endüstriyel su çekiminde dikkate değer eşitsizlikler mevcuttur (Şekil 14). Yüksek gelirli ülkelerde endüstriyel su çekimi toplam su tüketiminin %17'sini oluştururken, düşük gelirli ülkelerde bu oran yalnızca %2'dir.



Şekil 14. Endüstriyel su tüketimi [31]

Tarımsal Su Tüketimi

Yeraltı suyu, küresel tarımsal üretimde çok önemli bir rol oynamaktadır. Tüm yeraltı suyunun çekilmesinin yaklaşık %72'si gıda mahsullerinin, liflerin, besi hayvanlarının ve endüstriyel mahsullerin büyümesinin sürdürülmesine tahsis edilmektedir. Sulama amaçlı yeraltı suyu kullanımında sulanan alanların %59'unun yeraltı suyu kaynaklarından yararlandığı Kuzey Amerika öne çıkmaktadır (Şekil 15). Sulanan topraklarının %57'sinin geçim için yeraltı suyuna bağımlı olduğu Güney Asya da onu yakından takip etmektedir.



Şekil 15. Sulama amaçlı kullanılan yeraltı suyu [31].

Suya Yönelik Tehditler

Suyu miktar ve kalite açısından tehdit eden başlıca etkenleri iklim değişikliği, kirlilik, aşırı yeraltı suyu çekimi ve habitat tahribatı - kentleşme oluşturmaktadır.

İklim değişikliği, küresel ısınmayı (küresel ortalama sıcaklıkta devam eden artışı) ve bunun Dünya'nın iklim sistemi üzerindeki etkilerini tanımlar (Şekil 16). İklim değişikliği, yağış düzenlerini değiştirebileceği, kuraklık ve taşkınların sıklığını ve yoğunluğunu artırabileceği ve su sıcaklığında değişikliklere neden olabileceği için suyun durumu açısından önemli zorluklar doğurmaktadır [32]. Bu etkiler su mevcudiyetinin azalmasına, su kalitesinin bozulmasına ve ekosistemlerin bozulmasına neden olabilir. İklim değişikliği aynı zamanda farklı kullanıcılar ve sektörler arasındaki su kaynakları rekabeti gibi mevcut su yönetimi sorunlarını da doğurmaktadır.

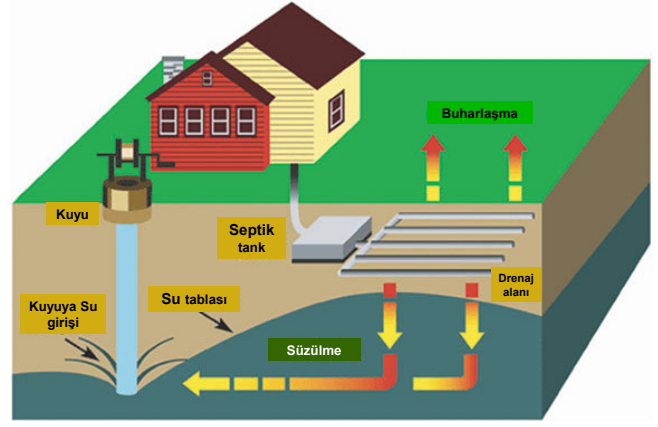


Şekil 16. (a) Doğada gözlenen iklim değişikliği etkileri



Şekil 16. (a) Doğada gözlenen iklim değişikliği etkileri

İklim değişikliğinin etkilerinden birisi olan kuraklık, koşulların normalden daha kuru olduğu bir dönemdir. Kuraklık günler, aylar ya da yıllar sürebilir ve genellikle etkilenen bölgelerin ekosis-



Şekil 18. Septik sistemlerin yeraltı suyuna etkisi [35].

temleri ve tarımı üzerinde büyük etkileri olur, yerel ekonomiye zarar verebilir.

Su kıtlığı, standart su talebini karşılayacak tatlı su kaynaklarının bulunmamasıdır. Fiziksel ve ekonomik su kıtlığı olmak üzere iki tür su kıtlığı vardır [33]. Fiziksel su kıtlığı, ekosistemlerin çalışması için gerekli olan su da dahil olmak üzere tüm talepleri karşılayacak yeterli suyun olmadığı durumdur. Ekonomik su kıtlığı, parayla ilgili nedenlerden dolayı nüfusun taleplerini karşılayacak yeterli su olmadığına ortaya çıkar. Su, insanların



Şekil 17. Su kaynaklarının kirlenici kaynaklarından bazıları

karşılayamayacağı kadar pahalı olabilir ve/veya kirli suyun temizlenmesi çok pahalı olabilir.

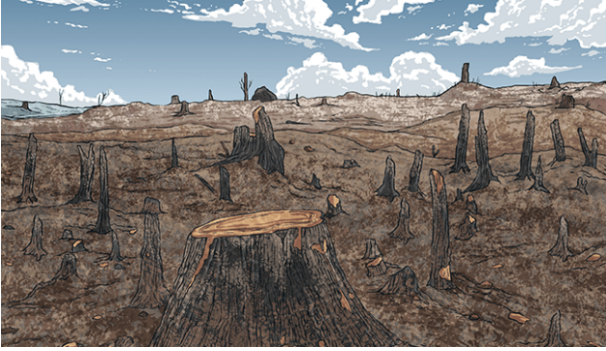
Su kirliliği, kimyasallar, atık malzemeler veya kirlenici maddeler gibi zararlı maddelerin su kütlelerine girmesi ve su kalitesini bozması durumudur. Yaygın kirlilik kaynakları arasında endüstriyel atıklar, tarımsal akıntılar, kanalizasyon ve yağmur suyu akıntıları yer alır (Şekil 17). Kirlenici maddeler su yaşamına zarar verebilir, ekosistemleri bozabilir ve içme, banyo yapma veya dinlenme amacıyla kirli suya bağımlı olan insanlar için sağlık riskleri oluşturabilir [34].

Yeraltı suyu kirliliğinin başka bir potansiyel kaynağı ise septik sistemlerdir. Septik sistemler (Şekil 18) yanlış kurulur veya bakımı yanlış yapılırsa, birçok ev temizleyicisinde bulunan bakteriler, virüsler, nitrat, fosfor, klorürler ve organik çözücülerin yanı sıra "temiz" septik sistemlere satılan ürünlerin tümü yeraltı suyuna karışabilir. Septik sistemlerinin kötü inşası veya bakımının bir sonucu olarak, kırsal kesimdeki ev sahipleri sıklıkla kendi kuyularının

kirlenmesine neden olmaktadır.

Diğer kirlilik sorunları arasında hassas kıyı sularına aşırı azot bileşikler deşarjı, iç yüzey sularında alg gelişimini artıran ve çözülmüş oksijen seviyelerini düşüren fosfor kirliliği ve tarımsal kirlilik yer alır. Önemli kabuklu deniz hayvanı yataklarının ve yüzülebilen plajların patojenler tarafından kirlenmesi bazı kıyı bölgelerinde bir endişe kaynağıdır [35]. Tarım, dünyadaki erişilebilir tatlı suyun %70'ini kullanmakta ancak bunun yaklaşık %60'ı, sızdıran sulama sistemleri, verimsiz uygulama yöntemleri ve yetiştirildikleri çevreye fazla susayan mahsullerin yetiştirilmesi nedeniyle israf edilmektedir. Tarımsal faaliyetler aynı zamanda hem gübreler hem de pestisitler yoluyla, hem insanları hem de diğer türleri etkileyen önemli miktarda tatlı su kirliliği yaratmaktadır.

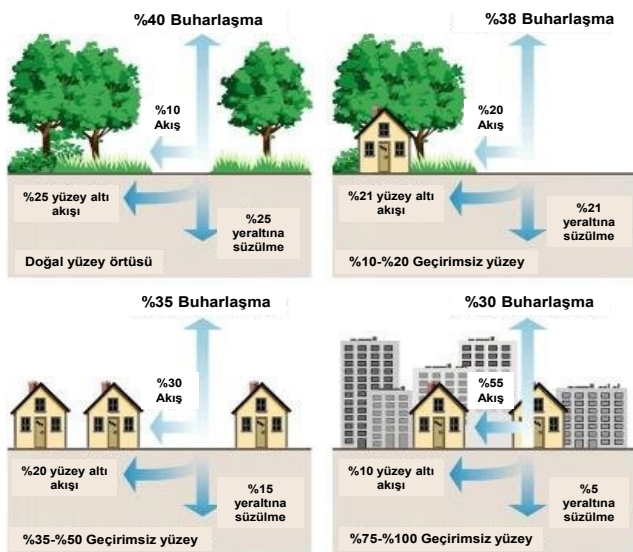
Ormansızlaşma, sulak alan drenajı ve kentleşme gibi habitat tahribatları suyun durumunda değişikliklere yol açmaktadır. Bu faaliyetler, sızma, buharlaşma ve besin döngüsü gibi su kalı-



Şekil 18. Suyu tehdit eden bazı habitat tahribatları

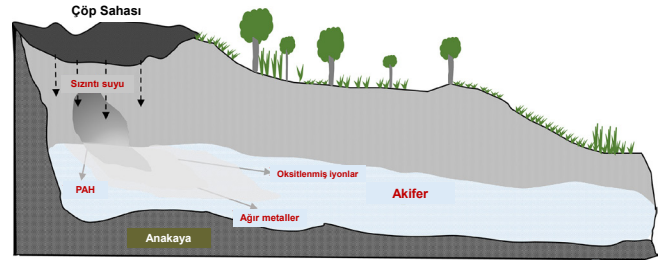
tesinin ve miktarının korunmasına yardımcı olan doğal süreçleri bozmaktadır. Habitat tahribatı aynı zamanda önemli habitatları ortadan kaldırarak, erozyonu artırarak ve su akış düzenini değiştirerek su ekosistemlerine de zarar vermektedir (Şekil 18).

Kentleşme aynı zamanda bir tür habitat tahribatıdır. Bitki örtüsünün yok olmasıyla birlikte artan birçok insan faaliyeti ve arazi kullanım uygulaması yeraltı suyunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Örneğin mezarlıklar bile yeraltı suyunu kirletebilir. Kentleşmenin bir etkisi de doğal akış yollarının değişmesi ve veya değiştirilmesidir. Geçirimsiz yüzeylerle (çatılar, otoparklar veya sokaklar) kaplanmış topraklar yağışın yeraltına süzülmesini engellemektedir. Böylece yağmur ve kar erimesinden kaynaklanan suyun büyük bir kısmı doğrudan akarsulara ulaşır ve hiçbir zaman yeraltı suyunu besleyemez (Şekil 19). Kentlerdeki fazla insan yoğunluğu daha fazla gereksinimine dolayısıyla akiferlerin aşırı tüketilmesine ve akiferde su seviyesinin düşmesine neden olmaktadır. Kentlerde kanalizasyon arıtma tesisi atıklarının daha yüksek konsantrasyonları nedeniyle akış suyu kalitesi zarar görmekte, artan nüfusla birlikte sanayileşme ve çoğu potansiyel olarak yeraltı suyunu kirletebilecek endüstriyel faaliyetlerin miktarı ve çeşitliliği de artmaktadır. Hem endüstriyel tesislerdeki hem de benzin istasyonlarındaki sızıntı yapan depolama tanklarının yeraltı suyunu kirlettiği de rapor edilen diğer etkilerdir [37]. Kentleşme ayrıca yağmur suyunun, binalardan, kaldırımlardan, otoparklardan, çimlerden ve diğer kentsel alanlardan toplanarak kentsel akış oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 19. Kentleşmenin yeraltı suyu beslenimine etkisi [36]

Suları tehdit eden diğer unsurlar ise atık bertarafı (Şekil 20) ve aşırı su çekimidir. Yeraltı suyu kirliliğinin en iyi bilinen kaynağı olan atık depolama alanlarıdır. 1988'de yeni düzenlemelerin yürürlüğe girmesinden önce mevcut olan hem belediye hem de endüstriyel atık depolama alanları bu konuda önemli tehdit unsurlarıdır [37]. Ülkemizde de özellikle vahşi depolama alanları yeraltı suları için ciddi tehdit oluşturmaktadır.



Şekil 20. Atık depolama alanının yeraltı suyu etkisi [38].

Yeraltından aşırı su çekilmesi veya suyun nehirlerden, göllerden aşırı çekilmesi, mevcut su kaynaklarında azalmaya yol açabilir. Bu genellikle nüfus artışı, tarımsal genişleme ve endüstriyel gelişme nedeniyle artan su talebinden kaynaklanmaktadır. Aşırı su çekme, nehir akışlarının azalmasına, yeraltı suyu seviyelerinin düşmesine ve sulak alanların kurummasına neden olabilir ki; bu durum da ekosistemleri, su mevcudiyetini ve su kalitesini olumsuz yönde etkiler.

Su Kaynaklarının Korunması

Su Kaynaklarının Korunması, içme suyu kaynaklarını aşırı kullanıma ve kirlenmeye karşı korumak için yerel su kuruluşlarının yanı sıra bölgesel veya ulusal hükümet kurumları tarafından yürütülen bir planlama sürecidir. Bu süreç, su kaynaklarının tanımlanmasını, bilinen ve potansiyel kirlenme tehditlerinin değerlendirilmesini, halkın bilgilendirilmesini ve kirliliğin ortadan kaldırılmasına yönelik adımları içerir. Göllere, nehirlere ve yeraltı sularına uygulanan bu süreçte her ülke yerüstü ve yeraltı suları için kendi yönetmeliklerini oluşturmuştur. Yerüstü suları için önleme, arıtma ve ekosistem onarımı olmak üzere genellikle koruma için üç temel strateji mevcuttur. Önleme, evsel, endüstriyel veya tarımsal kullanımdan kaynaklanan atıkların, kirlenici maddelerin veya arıtılmamış

suyun boşaltılmaması; besinlerin su sistemlerine girmesini engellemek için tarımda su kullanımı ve uygulamaların optimize edilmesini gerektirir. Arıtma, kirli suyun deşarj edilmeden önce arıtılması; yağmur suyu yönetimi, akışın kirleticileri su kütlelerine ulaşmasını önlemeyi gerektirir. Ekosistemlerin onarımı ise doğal rehabilitasyon süreçlerini etkinleştirmeyi ve desteklemeyi gerektirir.

Ülkemizde su kaynaklarının korunması amacıyla ilgili birimler tarafından yerüstü suları için 29797 No.lu "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği", Yeraltı sularının korunması için ise 29363 sayılı "Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" oluşturmuşlardır. Su kullanımı ile ilgili çalışmalar bu yönetmelikler doğrultusunda yürütülmektedir.

Türkiye'nin Su İstatistikleri

Ülkemiz 783.562 km²'lik bir yüzey alanına sahip olup ılıman orta iklim kuşağında ve deniz seviyesinden ortalama 1.132 m yükseklikte yer almaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre, ortalama yağış miktarı 574 mm, en yüksek yağış Doğu Karadeniz Bölgesi'nde (2.200- 2.400 mm/yıl), en düşük yağış ise İç Anadolu'nun orta kesimlerinde (200-400 mm/yıl) olarak gözlenmektedir.

Artan nüfus, ekonomik büyümeye bağlı olarak sanayinin gelişmesi, yoğun tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirilmesi gibi nedenler mevcut su kaynakları üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır. Ayrıca iklim değişikliğinin özellikle suyun hidrolojik çevrimine, mekânsal ve zamansal dağılımına etkisi gün geçtikçe daha da artmaktadır. Bilindiği üzere ülkemiz genelinde yağış miktarı ve su kullanımları dengeli dağılmamakta olup özellikle yağışın düşük ve su kullanımlarının yoğun olduğu havzalarda su stresi yaşanmaktadır [1]. Bu havzalarda buharlaşma ile su kaybı da fazla olup yağışlar da bitkilerin su ihtiyacının yüksek olduğu yaz ayların da değil de kış aylarında görülmektedir.

Ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli toplamı yıllık 112 milyar m³'tür. Ülkemizde, toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesinden sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşlarının günümüz itibarıyla geliştirdikleri projeler sonucu çe-

şitli amaçlara yönelik yıllık su tüketimi, toplam su potansiyelinin %52'sine yani 57,44 milyar m³'e ulaşmıştır. Bu suyun 44,6 milyar m³'ü (%77,3) sulama, 13,1 milyar m³'ü (%22,7) ise içme - kullanma ve sanayi suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır. Tüketilen suyun 40,68 milyar m³'ü (%70) yerüstü sularından, 17,03 milyar m³'ü (%30) ise yeraltı sularından sağlanmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Ülkemizde yağış, nüfus ve su potansiyeline ait genel bilgiler [1].

Ülkemiz Yüzölçümü	78 milyon ha
Yıllık Toplam Yağış Miktarı	450 milyar m ³
Yıllık Ortalama Alansal Yağış Miktarı	574 mm
Yıllık Ortalama Yüzey Akış Miktarı (Doğal Akım)	185 milyar m ³
Yıllık Kullanılabilir Yerüstü Suyu Miktarı	94 milyar m ³
Yeraltı Suyu Emniyetli Rezerv Miktarı	18 milyar m ³
Yıllık Toplam Kullanılabilir Su Miktarı	112 milyar m ³
Ülkemiz Nüfusu (2023)	85,372 milyon
Kişi Başına Düşen Yıllık Su Miktarı	1.311 m ³

Nüfusun su kaynakları üzerindeki baskısını ortaya koyabilmek için çeşitli indeksler kullanılmaktadır. Bu amaçla için yaygın olarak kullanılan Falkenmark Su Stresi İndeksi bir yılda kişi başına düşen su miktarıdır. Bu indekse göre Türkiye'nin 2023 yılı nüfusu 85.372.377 olup, kişi başına düşen yıllık su miktarı 1.311 m³/kişi/yıldır. Falkenmark Su Stresi İndeksine göre (Tablo 2) Türkiye su stresi (su sıkıntısı) çeken bir ülke konumundadır.

Tablo 3. Falkenmark Su Stresi İndeksi

Su (m ³ /kişi/yıl)	Sınıflandırma
>1.700	Su baskısı yok
1.000 – 1.700	Su sıkıntısı
500 – 1.000	Su kıtlığı
<500	Mutlak su kıtlığı

Ülkemiz 25 Akarsu havzasına sahiptir. Havzalardaki su stresi durumu için 2021 yılı ve 2050 yılı için hesaplanmıştır (Şekil 21). Çalışmalara göre günümüzde 3 havzamızda "mutlak su kıtlığı" yaşanırken 2050 yılında 5 havzamızda "mutlak su kıtlığı" yaşanacağı görülmektedir.



Şekil 22. Havzalardaki su stresi mevcut durum ve 2050 yılı için öngörülen durum

Sonuç

Dünya genelinde mevcut su miktarı sabittir ve bunun büyük çoğunluğu tuzludur. Tatlı sular toplam suyun sadece %2.5'i kadardır. Bunun da büyük kısmı buzullardadır ve günümüz şartlarında kullanılacak tatlı su miktarı oldukça azdır. Dünya nüfusu giderek artmaktadır ve sabit su miktarının her geçen gün daha faydalı kullanılması gereklidir. İnsanların her türlü faaliyeti su kaynaklarını olumsuz etkilemektedir. Gerek bireysel gerekse toplumsal yaşantımızda suyun önemi çok büyüktür. Bu değeri unutmadan yapacağımız her türlü faaliyeti “yaşam için vazgeçilmez olan su”ya etkisini düşünerek gerçekleştirmemiz son derece önemlidir.

Kaynakça

- [1] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. 1. Su Şurası. Su Şurası. <https://susurasi.gov.tr/Sayfa/Detay/1497>. Erişim tarihi 1 Mart 2024
- [2] Zumdahl, S.S. Fact-checked by The Editors of Encyclopaedia Britannica, <https://www.britannica.com/science/water>. Erişim tarihi 1 Mart 2024
- [3] The Planetary society. <https://www.planetary.org/articles/how-did-earth-get-its-water>. Erişim tarihi 5 Mart 2024.

- [4] Taylor R. N. “Where did Earths water come from”. Astronomy.com. <https://www.astronomy.com/science/where-did-earths-water-come-from>. 2019. Erişim tarihi 5 Mart 2024.
- [5] Pepin, R.O. “On the origin and early evolution of terrestrial planet atmospheres and meteoritic volatiles”. *Icarus*. 92 (1): 2–79. Bibcode:1991Icar...92....2P. doi:10.1016/0019-1035(91)90036-s. ISSN 0019-1035, 2019.
- [6] Piani L. “Earth’s water may have been inherited from material similar to enstatite chondrite meteorites”. *Science*. 369 (6507): 1110–1113, 2020.
- [7] Washington University in St. Louis, Meteorite study suggests Earth may have been wet since it formed, <https://www.eurekaalert.org/news-releases/800546>. Erişim tarihi 5 Mart 2024.
- [8] American Association for the Advancement of Science “Unexpected abundance of hydrogen in meteorites reveals the origin of Earth’s water”. <https://www.eurekaalert.org/news-releases/716256>. Erişim tarihi 18 Mart 2024.
- [9] USGS, (<https://www.usgs.gov/media/images/su-dongusu-water-cycle-turkish-png>). Erişim tarihi 12 Aralık 2023.
- [10] Koren, V., J. Schaake, K. Mitchell, Q. Y. Duan, F. Chen, J. M. Baker. A parameterization of snowpack and frozen ground intended for NCEP weather and climate models. *J. Geophys. Res.*, 104, 19 569–19 585, 1999.
- [11] Ek, M. B., K. E. Mitchell, Y. Lin, E. Rogers, P. Grunmann, V. Koren, G. Gayno, J. D. Tarpley. Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. *J. Geophys. Res.*, 108, 8851, 2003.
- [12] NASA SCIENCE. Water Cycle | Science Mission Directorate. <https://science.nasa.gov/earth-science/oceanography/ocean-earth-system/ocean-water-cycle>. Erişim tarihi 7 Mart 2024.
- [13] Chahine M. T. The hydrological cycle and its influence on climate, *Nature* 359, 373–380, 1992.
- [14] Gleick, P.H. Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security. *International Security*, 18, 79, 1993.
- [15] National Snow and Ice Data Center, University of Colorado Boulder. <https://nsidc.org/home>. Erişim tarihi 5 Mart 2024.
- [16] https://www.kursatozcan.com/ders_notlari/fiziksel_jeoloji/12_yeralti_sulari.pdf. Erişim tarihi 5 Mart 2024.
- [17] Genda, H. “Origin of Earth’s oceans: An assessment of the total amount, history and supply of water”. *Geochemical Journal*. 50. 27–42, 2016.
- [18] Peslier, A. H. Schonbachler, M; Busemann, H; Karato, S. “Water in the Earth’s Interior: Distribution and Origin”. *Space Science Reviews*. 212 (1–2): 743–810, 2017.
- [19] Washington University in St. Louis. <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/08/200827141334.htm>. 2020. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [20] Shiklomanov, I. A. “World fresh water resources” in Peter H. Gleick (editor), 1993, *Water in Crisis: A Guide to the World’s Fresh Water Resources* (Oxford University Press, New York).
- [21] U.S. Geological Survey. Estimated Use of Water in the US in

2000. <http://pubs.usgs.gov/circ/2004/circ1268/htdocs/text-ir.html>External. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [22] Environmental Protection Agency. Protecting Water Quality from Agricultural Runoff: Clean Water is Everybody's Business. Nonpoint Source Control Branch, 2005.
- [23] California Department of Water Resources. Agricultural Use Program: California's Irrigated Agriculture. <http://www.owue.water.ca.gov/agdev/External>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [24] U.S. Geological Survey. Industrial Water Use. <https://www.usgs.gov>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [25] Commission for Environmental Cooperation. North American Environmental Atlas: Water Use in the U.S. http://nationalatlas.gov/articles/water/a_wateruse. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [26] "WBCSD Water Facts & Trends". <https://www.wbcds.org/>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [27] "Water Development and Management Unit - Topics - Irrigation". <https://www.fao.org/land-water/en/>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [28] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Water_footprint. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [29] <https://e-circularcanarias.es/?k=what-is-a-water-footprint-water-footprints-explained-figbytes-pp-DwwmMDcD>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [30] WWF, Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu, Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi. 2014.
- [31] Water Consumption Statistics. <https://irrigreen.com/pages/water-consumption-statistics>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [32] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [33]. WHO-UNICEF (2010) "Coping with water scarcity, an action framework for agriculture and food security"FAO water reports no. 38, 2008.6. "Progress on Sanitation and Drinking Water Report", WHO-UNICEF.
- [34] EPA, US Environmental Protection Agency, Septic Systems and Drinking Water. <https://www.epa.gov/septic/septic-system-impacts-water-sources>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [35] Groundwater contamination from septic tanks. <https://www.ec.gc.ca/eauwater/default.asp?lang%En&n%6A7FB7B2-1>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [36] Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FIS-RWG). Stream corridor Restoration: Principles, Processes and Practices (10/98), 1998.
- [37] West Virginia Conservation Agency. <https://www.wvca.us/environthon/a15.cfm>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [38] Abiriga, D. Vestgarden, L.S., Klempe, H. Groundwater contamination from a municipal landfill: Effect of age, landfill closure, and season on groundwater chemistry, Science of the Total Environment, 737 (2020) 140307, 2020.



Elektron Prob Mikro Analiz (EPMA) Tekniğindeki Yenilikler

Elektron Prob Mikro Analiz (EPMA) ile elde edilen veriler düşünüldüğünde başta yerbilimleri olmak üzere pek çok bilim dalına uzun yıllar hizmet edeceğine hiç şüphe yok. Kullanımından büyük keyif aldığım muhteşem bir sistem.

Kıymet Deniz Yağcıoğlu

Ankara Üniversitesi M
ühendislik Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü ve
Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi
(YEBİM), 06830, Gölbaşı-Ankara/Türkiye
kdeniz@eng.ankara.edu.tr

Giriş

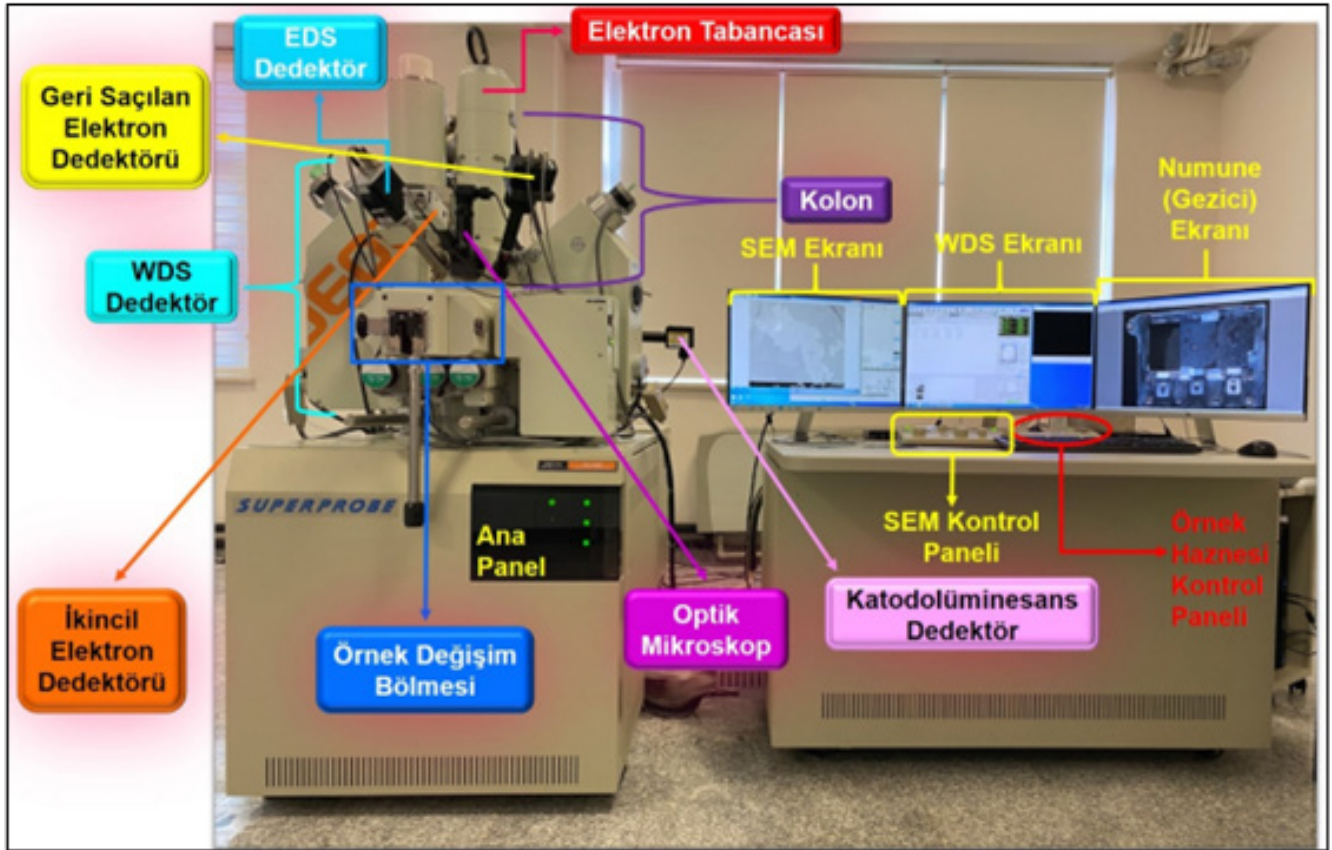
İnsanoğlu, yeryuvarını oluşturan katmanları, özelliklerini, oluşumlarını ve kökenlerini anlayabilmek ve açıklayabilmek amacıyla katmaları oluşturan kayaların ve bu kayaların içerisinde yer alan minerallerin kimyasal kompozisyonlarını tespit etmek için değişik enstrümental analiz teknikleri kullanılır. Söz konusu bir magmatik, metamorfik, sedimentar kayanın içerisindeki bir mineralin kimyasının, açık formülünün, mineralin olduğu basınç

(P), sıcaklık (T), derinlik (D), oksijen fugasitesi (f_{O_2}) gibi fizikokimyasal koşulların belirlenmesi olduğunda kullanılan analiz tekniği Elektron Prob Mikro Analiz'dir (EPMA). EPMA dünyada yalnızca yer bilimlerindeki problemlerin çözümüne yönelik kullanılan bir sistem olmayıp pek bilinmese de uzun yıllardır malzeme karakterizasyonu, kontrolü vb. gibi nedenlerle elektrik-elektronik, malzeme ve metalurji, fizik, kimya gibi pek çok bilim dalında da kullanılır [1]. EPMA, odaklanmış elektron demetinin bir numunenin yüzeyine gönderilip o yüzeyden görüntü, kimyasal analiz ve kimyasal yaşlandırmaya olanak sağlayan bir çeşit elektron mikroskobudur [1-13]. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) veya Geçirimli Elektron Mikroskobu'ndan (TEM) farklı olarak birden fazla Dalga boyu Dağılımlı Spektrometre (WDS) (gaz dedektörü) içermesiyle diğer elektron mikroskoplarından ayrılır [1-15]. EPMA'da bulunan Dalga boyu Dağılımlı Spektrometre (WDS) sayesinde standart numuneler kullanılarak oluşturulmuş metot ile yüksek hassasiyette doğru analitik verilerinin eldesi mümkündür [1]. EPMA'da yüksek büyütmede yüksek çözünürlükte görüntü elde etmek birincil amaç

olmadığı için diğer (SEM ve TEM) elektron mikroskopları kadar örneği büyütme imkânı söz konusu değildir [14-15]. Örneğin, SEM'de örnek 2 milyon kat büyütülebilirken EPMA'da en fazla 1 milyon kat büyütülebilir. EPMA, 1958'den beri jeolojik numunelerin kantitatif kimyasal analizi için kullanılmaktadır. 1977 yılından itibaren de kimyasal yaşlandırma için kullanılmaya başlanmıştır. EPMA tahribatsız, yerinde, yüksek çözünürlüklü, kolay erişilebilir ve uygulanabilir bir yöntemdir. Teknolojinin gelişimi ile birlikte EPMA'daki yenilikler genellikle elektron tabancaları ve dedektörler özelinde olmakta ve bunların uygulamasının geliştirilmesine yöneliktir [1].

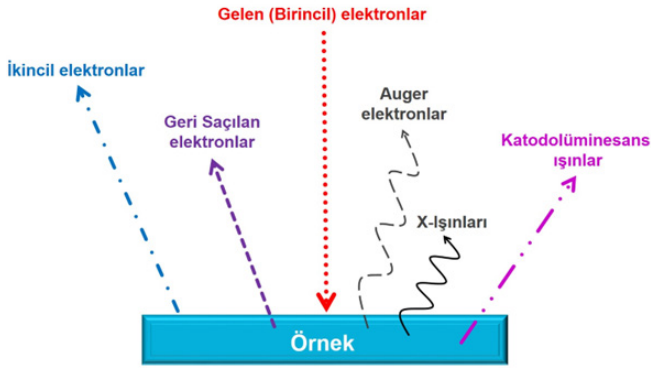
Çalışma Prensibi

EPMA esas olarak bir elektron tabancası, elektron kolonu, bir ikinci elektron (SE) dedektörü, bir geri dağılımlı elektron (BSE) dedektörü, bir ile beş adet arasında değişen Dalga boyu Dağılımlı Spektrometre (WDS) (gaz dedektörü), bir Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS) (katı hal dedektörü) ve bir analizciden oluşur (Şekil 1) [1-13]. EPMA, bünyesinde bulunan elektron tabancasında üretilen elektronlar ile numunenin bombardıman edi-



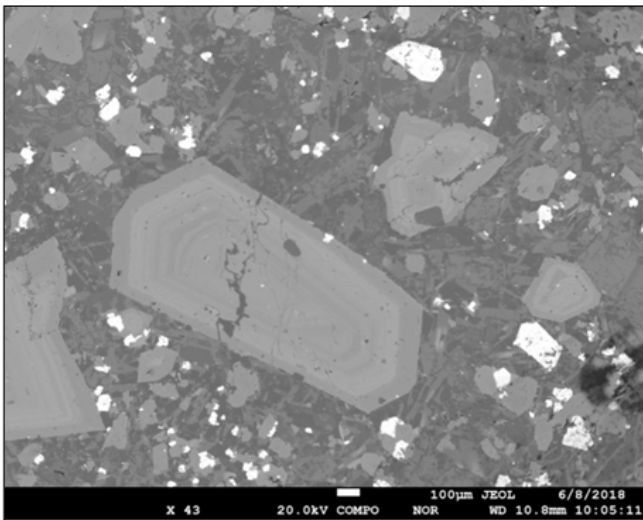
Şekil 1. Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (YEBİM) bulunan Jeol marka JXA-8230 süperpropun ve EPMA'nın kısımlarının görüntüsü

lerek, numuneden bir elektron koparılıp onun karakterize edilmesini sağlayan bir tekniktir [1-13]. Elektronlar numuneyi oluşturan atomlar ile etkileşerek değişik sinyaller/elektronlar/ışınlar üretir (ikincil elektronlar (SE), geri saçılan elektronlar (BSE), Auger elektronlar, X-ışınları, katodoluminesans ışınlar) (Şekil 2) [1-15].

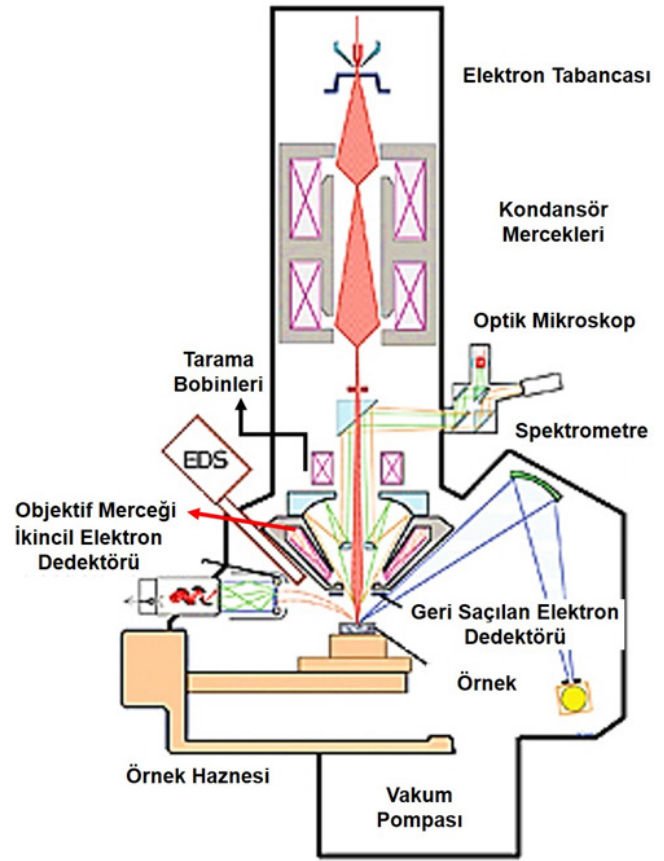


Şekil 2. Elektron tabancasında üretilen birincil elektronlar ile örneğin bombardıman edilmesiyle örnekten yayılan elektronlar ve ışınlar

Bu sinyaller farklı dedektörler (ikincil elektron dedektörü, geri saçılan elektron dedektörü, katodoluminesans ışın dedektörü, Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS), Dalga boyu Dağılımlı Spektrometri (WDS)) tarafından kaydedilerek, örneğin yüzey topografyasını, kompozisyonunu veya içsel yapısını karakterize eden görüntü ve/veya kimyasal bileşimi hakkında bilgi elde edilir (Şekil 1 ve Şekil 3) [1-15].



Şekil 3. Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki (YEBİM) Jeol marka JXA-8230 model süperpropda alınmış BSE görüntüsü



Şekil 4. EPMA'nın kısımlarını gösteren şematik diyagram [38]

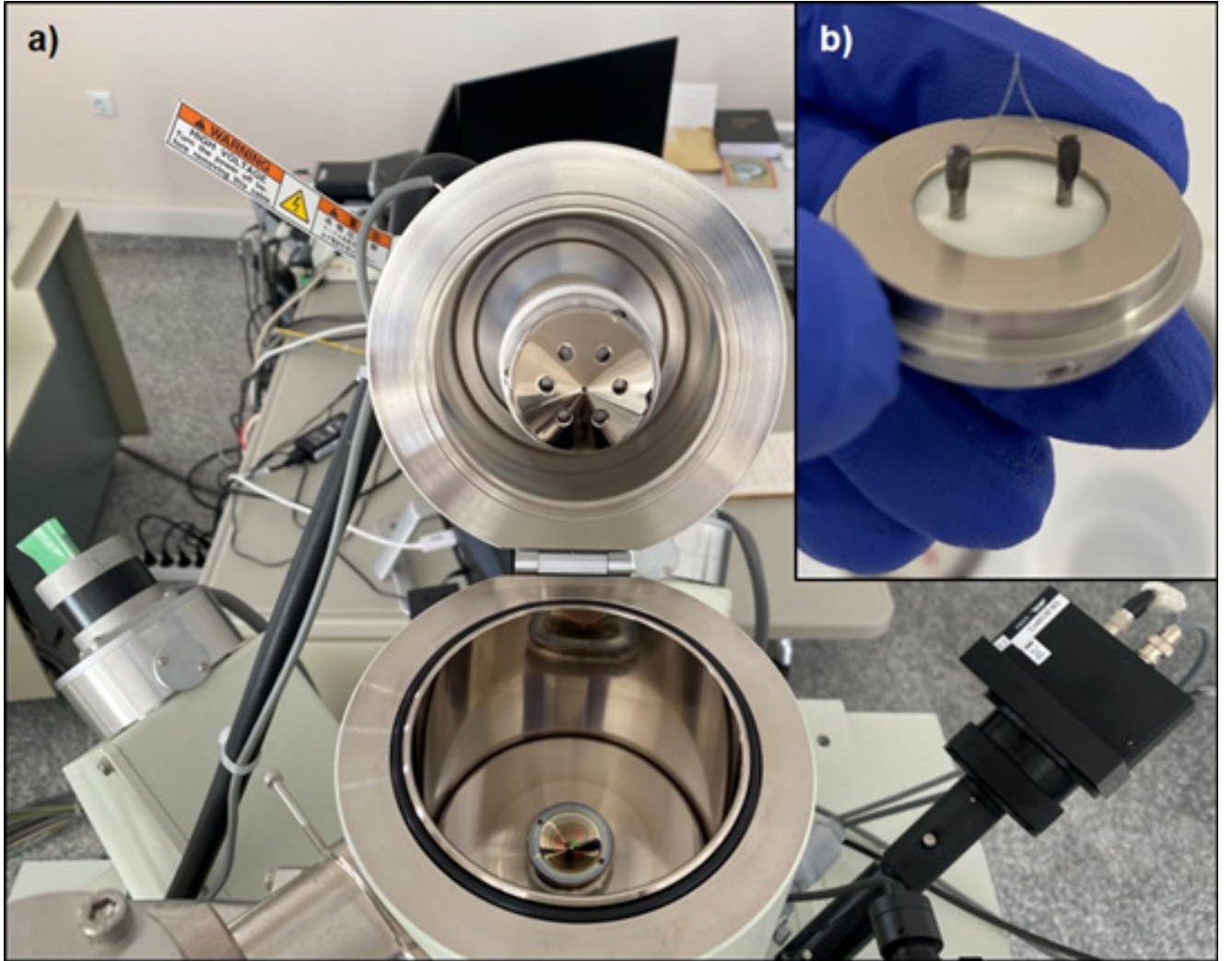
EPMA'nın en üst kısmında elektron tabancası bulunur (Şekil 4). Elektron tabancası monokromatik elektronların akımının üretildiği kısımdır. Elektron tabancasında elektron üretebilmek için tungsten (W) filaman, LaB₆ filaman veya alan emisyonlu bir kaynak gerekir (Şekil 5). EPMA'lar da çoğunlukla tungsten filamanlı elektron tabancası kullanılır (Şekil 6). Elektron tabancasında üretilen birincil elektronlar örneğe ulaşmaya kadar bir dizi mercek ve kolimatör sisteminin yer aldığı kolondan geçer (Şekil 4). Elektron akımı birinci kondansör mercek tarafından yoğunlaştırılır yani elektron demeti şekillendirilir ve demet akımının miktarı sınırlandırılır. Kondansör açıklığı ile birlikte yüksek açılı elektronlar demetten ayıklanır. Yüksek açılı elektronları kondansör açıklığı ortadan kaldırırken, elektron demetini de daraltmış olur. İkinci kondansör merceği elektronları ince, dar ve koherent bir şekle sokar. Bir bobin seti yardımıyla elektron demeti numune üzerinde düşürülür. Objektif merceği numunenin istenen bölgesinde elektron demetini odaklamayı sağlar. Örneğe çarpan elektron demeti yaklaşık 1 pm çapında olabilmekte ve çap analiz ve örnek



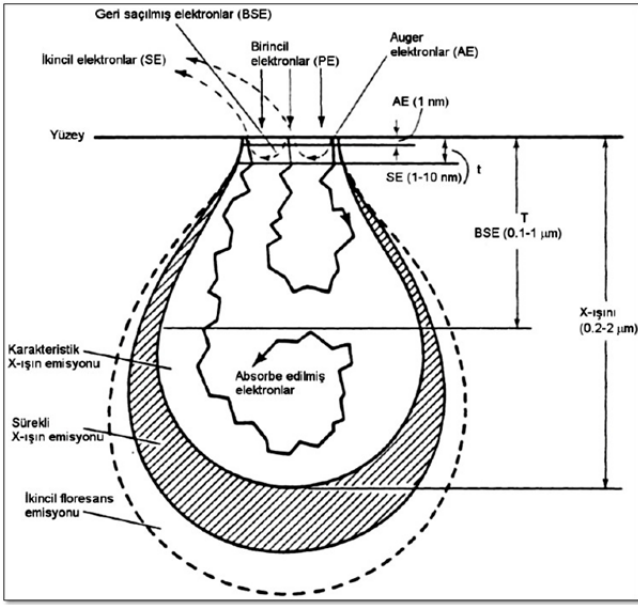
Şekil 5. Elektron tabancasında kullanılan (a) tungsten (W) filaman, (b) LaB6 filaman ve (c) alan emisyonlu elektron kaynaklarının görüntüleri [14]

cinsine bağlı olarak değiştirilebilir. Elektron demeti örneğe çarptığında ve birkaç mikro saniye örnek yüzeyinde kaldığında, numune atomlarının elektrostatik alanları ile etkileşir ve bu atomların yörüngelerindeki elektronlarla çarpışır. Numunenin içinde meydana gelen etkileşimler sonucunda değişik sinyaller/elektronlar/ışınlar (ikincil elektronlar (secondary electrons, SE), geri saçılan elektronlar (backscattered electrons, BSE), Auger

elektronlar, X-ışınları, katodoluminesans ışınları) üretilir (Şekil 2). İkincil elektronlar (SE), enerjileri düşük olduğu için numune yüzeyine yakın yerlerden, geri saçılan elektronlar da (BSE) enerjileri yüksek olduğundan daha derinden çıkar (Şekil 7). Birincil elektronlar numuneyi oluşturan atomların dış yörüngelerindeki elektronlarla çarpıştığında (Şekil 8). Bu elektronların sökülebilmeleri için az bir enerji yeterli olur. Bu elektronlara



Şekil 6. Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki (YEBİM) Jeol marka JXA-8230 model süperprobun (a) elektron tabancasının ve (b) tungsten (W) filamanının görüntüsü



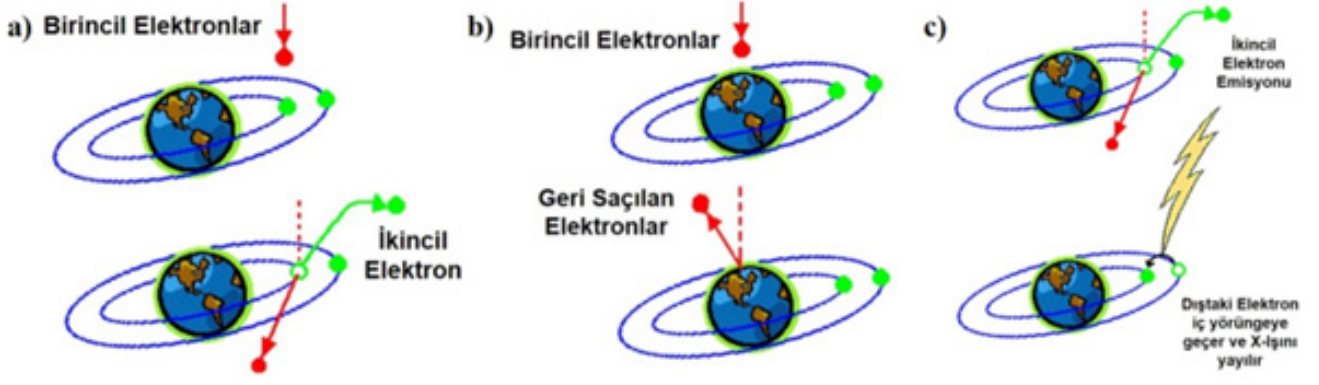
Şekil 7. Numune ile etkileşime uğrayarak saçılan elektron ve ışınların numune yüzeyinden etkileşim derinliklerini gösteren şekil [14]

ikincil elektronlar (SE) denilir (Şekil 8a). Enerjileri oldukça düşük olan bu elektronların ancak yüze yakın olanları numuneyi terk edebilir (Şekil 7). Birincil elektronlar numune elektronlarının elektrostatik alanları ve yörünge elektronları ile çarpıştıklarında enerjilerinin bir kısmını veya tamamını kaybeder. Bu tip saçılmaya inelastik saçılma denilir. Geri saçılan elektronların bir kısmı ile ikincil elektronların tamamı bu şekilde oluşur. Birincil elektronlar elektrostatik alanla yön değiştirirlerken, elektron hızı değişmediği için enerjisi de değişmez ve bu şekilde numune yüzeyinden geri çıkabilir. Bu tip saçılmaya elastik saçılma denilir. Enerjileri birincil elektronlarla aynı olan veya enerji kaybetmiş ancak birincil elektron enerjisine yakın enerjiye sahip olan elektronlara geri saçılmış elektronlar (BSE) denilir (Şekil 8b) [1-15].

İç yörüngedeki elektronlarla birincil elektronların çarpışması sonucunda, bu yörüngedeki elektronlar da yerlerinden sökülebilir (Şekil 8a) [1-15]. İç yörüngede sökülen elektronların meydana getirdiği boşluklar, dış yörüngedeki elektronlar tarafından doldurulduğunda ise iki konum arasındaki enerji farkı X-ışını olarak yayımlanır (Şekil 8c). Yörüngeler arası enerji farkı sabit olduğu için ve yörüngeler arasında yüksek olasılıklı transferler de kısıtlı olduğundan, yayımlanan X-ışınlarının büyük bir kısmı belirli enerjilerde orta-

ya çıkar. Bunlara karakteristik X-ışınları adı verilir (Şekil 7). X-ışını yayımlanması yerine enerji farkı dış yörüngeden bir elektronun serbest kalması ile karşılanırsa, bu elektrona Auger elektronu (AE) denilir (Şekil 8c) [1-15].

Farklı sinyaller farklı dedektörler tarafından kaydedilir (ikincil elektron dedektörü, geri saçılan elektron dedektörü, katodoluminesans ışın dedektörü, Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS), Dalga boyu Dağılımlı Spektrometre (WDS)) (Şekil 1, 4). İkincil elektron dedektörü, geri saçılan elektron dedektörü ve katodoluminesans ışın dedektöründe kaydedilen elektronlar ve ışınlar görüntü elde edilmesini sağlarken, Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS) ve Dalga boyu Dağılımlı Spektrometre'de (WDS) kaydedilen X-ışınları ile kimyasal kompozisyon tespit edilir [1-15]. WDS içerisinde farklı elementlerin dalga boylarını tespit eden talyum hidrojen ftalat (TAP), pentaeritrit (PET) ve lityum florür (LIF) gibi farklı kristaller bulunur (Şekil 9). Bunlardan dalga boyu yayılımı spektrometresi (WDS) bir kaç elektron volt ve daha yüksek enerji çözünürlüğüne sahipken, enerji yayılımı spektrometresi (EDS) ise 150 eV ve daha düşük enerji çözünürlüğüne sahiptir [1-16]. Birbirine çok yakın enerji ve/veya dalga boyuna sahip olan elementlerin ayrımı WDS ile mümkündür (Şekil 10) [1-17]. Bu nedenle bazı elementlerin güvenilir kantitatif analizleri EDS ile gerçekleştirilememektedir [1-17]. Minör ve iz elementlerin analizlerinde WDS'nin dedeksiyon limitleri EDS'ye kıyasla çok daha düşüktür (Çizelge 1). WDS'nin analitik doğruluk derecesi EDS'ye göre daha yüksektir (Çizelge 1). İki tip detektör arasındaki diğer bir fark ise hafif elementlerin analizlerinde ortaya çıkar. Atom numarası 4 (Be) ve daha yüksek elementlerin kantitatif analizi WDS ile yapılabilirken, EDS ile atom numarası 11 (Na) ve daha yüksek elementlerin kantitatif analizleri gerçekleştirilebilir (Çizelge 1). WDS ile bir spektrometrede aynı anda sadece bir elementin analizi yapılabilirken, EDS'de ise tüm enerji spektrumu elde edildiği için aynı anda örneğin içerisindeki tüm elementler tespit edilebilir [1-16]. Analiz süresi WDS'de ölçülecek element sayısına ve o elementlerin kaç farklı spektrometrede okunacağına ve sayım sürelerine bağlı olarak değişirken, EDS'de bir noktanın



Şekil 8. Birincil elektronlarla bombardıman edilen örnekte (a) ikincil elektronların, (b) geri saçılan elektronların ve (c) X-Işınlarının oluşumunu gösteren şematik görsel [14]

analizi 60 saniyede yapılmaktadır. EPMA'larda en az üç ila dört adet WDS olduğu için aynı anda spektrometre sayısı kadar elementin analizi yapılabilir. Her bir WDS birden fazla kristal içerebilir ve kristal pozisyonları değiştirilerek arka arkaya farklı elementlerin analizi yapılabilir. Geleneksel EDS'lerin Be pencereleri Na'dan daha hafif elementlerden gelen radyasyonları absorbe ettiği için hafif elementlerin EDS ile analizleri mümkün değildir [16].

Örnek Hazırlama

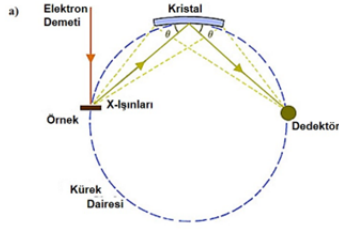
EPMA'da mineral, cam, seramik, metal alaşımlar, polimer gibi katı örneklerin niteliksel ve niceliksel karakterizasyonu yapılabilir [1]. EPMA'da karbon kaplanmış, yüzeyi parlatılmış, üstü açık bırakılmış ince kesitler veya bakalite/epoksiye alınmış numunelerin analizi yapılır (Şekil 11). Numune öncelikle kesiti/analizi yapılacak yüzey ve yön dikkate alınarak taş kesme makinesi ile küçük parçalar halinde kesilir [18]. Kesilen parçaların bir yüzü düzeltme diski üzerinde önce 220'lik aşındırma tozu (kaba), daha sonra 600'lük aşındırma tozu (ince) ile pürüzsüz temiz bir hale getirilir [18]. Bu işlemler sulu ortamda yapıldığı için numune dört-beş saatliğine etüvde bekletilerek kurutulur [18]. Kurutulan numunenin pürüzsüz hale getirilmiş yüzeyi bir yüzü düzeltme diskinde matlaştırılmış camın üzerine (lam) 4/5 oranında araldite, 1/5 oranında rently (sertleştirici) karışımından elde edilen yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılır [18]. Numune cam üzerine yapıştırıldıktan sonra tekrar inceltilerek 220'lik aşındırma tozuyla düzeltme diskinde, 600'lük aşındırma tozuyla cam üzerinde düzeltilir ve 1 mm'lik kalınlığa kadar inceltir [18].

Bakalite/epoksiye alma işlemi için uygun boyutlarda kesilmiş numune örnek kabının boyutları ile uyumlu kalıba konulur ve belirli oranlarda karıştırılmış epoksi ve sertleştirici dikkatli bir şekilde kalıba dökülür. Epoksi sertleşinceye kadar beklenir. Sertleşen örnek kalıptan çıkarılarak yüzeyi parlatılır. İstenilen inceliğe/kalınlığa ulaşan örneklerin yüzeyi alüminyum oksit ve/veya elmas macun ile otomatik parlatma makinalarında parlatılır. Yüzeyi parlatılan örneklerin parlatmaları üstten aydınlatmalı mikroskopta kontrol edilir.

Yüzeyi parlatılmış üstü açık bırakılmış ince kesitler veya bakalite/epoksiye alınmış numunelerin yüzeyleri, elektronlar ile daha iyi etkileşmesini sağlamak amacıyla kaplama makinası kullanılarak karbon ile kaplandıktan sonra ilgili örnek haznesine yerleştirilerek ölçüme hazır hale getirilir (Şekil 12).

EPMA ile Kimyasal Analiz

EPMA ile hassas nokta analizi, çizgi analizi ve alan analizi (haritalama) yapılabilir. EPMA, diğer birçok analiz yönteminde olduğu gibi kimyasal kompozisyonu bilenenler ile bilinmeyenlerin karşılaştırılması yöntemine göre sonuç verir. Albit, ortoklaz, jadeyit, wollastonit, diyopsit, ojit, forsterit, olivin, kalsit, anhidrit, fluorit, apatit, beril, almandin, barit, willemit, zirkon, selestin, spesartin, rodonit, kyanit gibi doğal veya yapay mineraller ile metal standartlarından hazırlanan kalibrasyonlardan, bilinmeyen numune içerisindeki Na, Ca, Si, Al, K, Fe, Mg, Ti, Cr vb. elementlerin konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak hesaplanır. Analiz sonuçları genellikle majör ve minör elementler için oksit cinsinden hesaplanır. Elde



b)	2d (nm)	Atom Numarası											
		6	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	
TAP	2.576	80P	15P	24Cr	41Nb	46Pd	79Au						
PET	0.8742	13Al	25Mn	36Kr	65Tb	70Yb							
LIF	0.4027	19K	37Rb	48Cd									

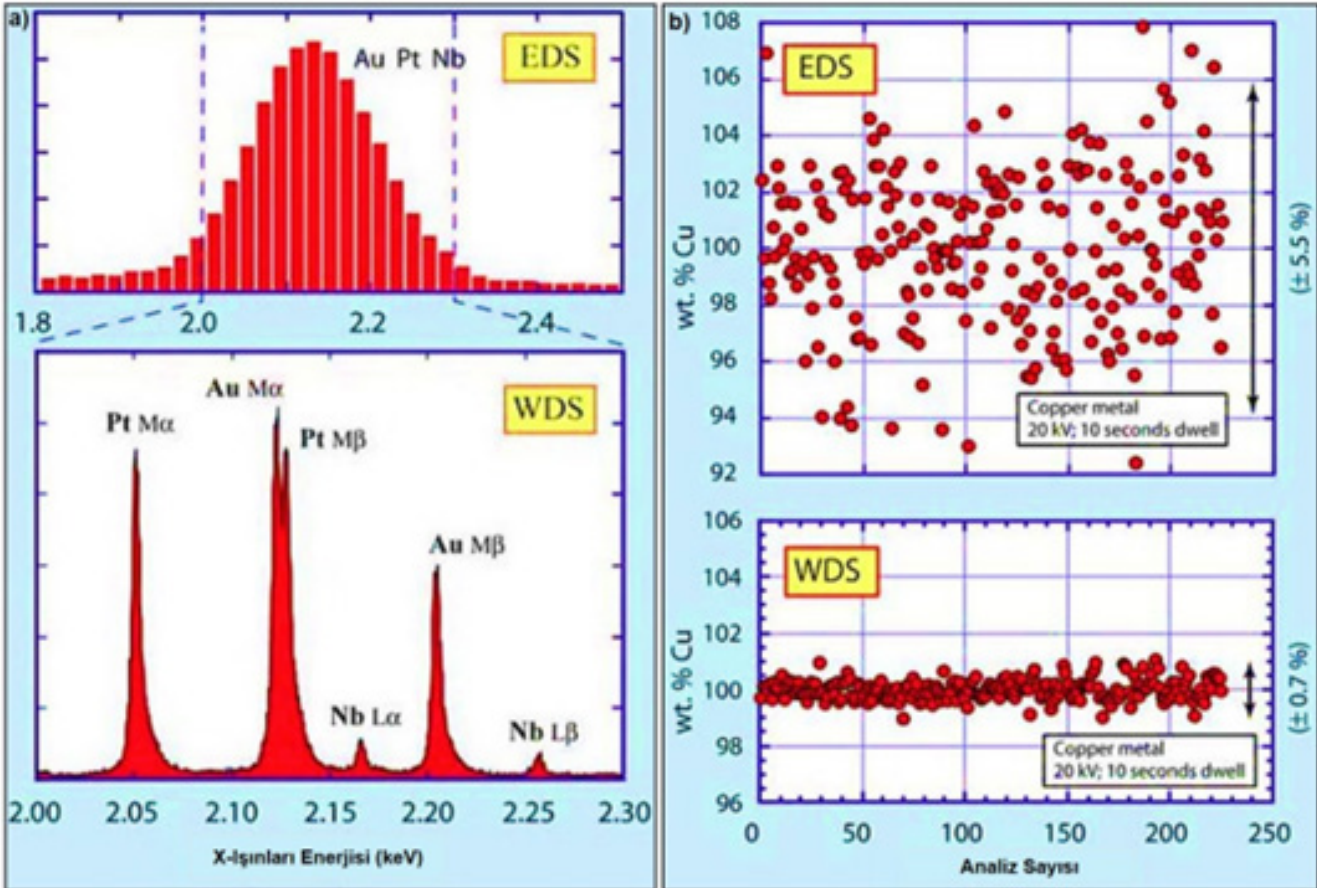
Şekil 9. (a) WDS'nin iç yapısını ve çalışma mekanizmasını gösteren şematik görsel ve (b) TAP, PET ve LIF kristalleri ile tespit edilebilen elementlerin atom numaraları

Edilen rakamsal değerlerden analizi yapılan mineralin kristal kafes yapısındaki oksijen sayısına göre katyon miktarları hesaplanır. Hesaplanan katyonlar ilgili mineralin kristal kafes yapısındaki odacıklara yerleştirilerek mineralin açık formülü elde edilir. Böylelikle mineralin türü tespit edilir.

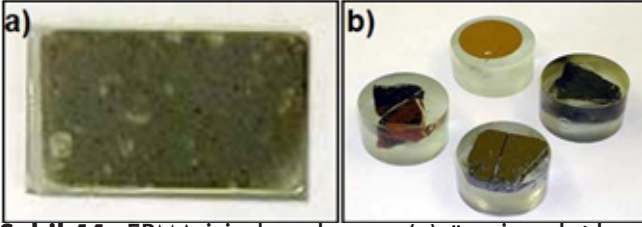
Elde edilen veriler kullanılarak basınç (P), sıcaklık (T), derinlik (D), oksijen fugasitesi (f_{O_2}) gibi mineralin oluşum koşulları bulunabilir. Mineralojik tanımlamalarda nokta analizi tercih edilse de çizgi analizleri ile mineraldeki zonlanma ve bileşimsel farklılıklar ortaya konulmaktadır. Alan analizleri veya haritalama ile belirlenen bir bölgedeki elementel farklılaşma belirlenmektedir.

EPMA ile Kimyasal Yaşlandırma

Yerkabuğunu oluşturan magmatik, metamorfik, sedimanter kaya birlikteliklerinin oluşumu veya metalojenik süreçler gibi jeolojik araştırmalarda doğru yaşlandırma çok önemlidir [12]. Göreceli stratigrafik yaşlandırma tekniklerinin yetersiz kalması ve mutlak yaşlandırmadaki radyometrik tekniklerin gelişimi neticesinde yüksek hassasiyette doğru analitik yaş verilerinin elde edilmesi mümkün olmuştur [12]. EPMA'da kimyasal yaşlandırma U-Th elementlerini içeren uranit, monazit, ksenotim, zirkon, badeleyit, torit, torianit, huttonit, keralit, brabantit, apatit gibi minerallerde



Şekil 10. (a) EDS ve WDS'nin enerji ayırım hassasiyetini gösteren diyagram ve (b) EDS ve WDS'nin analiz sayılarına karşı konsantrasyonu gösteren tekrarlanabilirlik diyagramları [17]



Şekil 11. EPMA için hazırlanmış (a) üzeri parlatılmış ince kesit ve (b) bakalite alınmış kaya ve mineral örnekleri

yapılır [12, 19-24]. Bu minerallerde Pb, Th ve U elementlerinin haritalamaları yapılarak elde edilen PbO, ThO₂ ve UO₂ miktarları ile söz konusu elementlerin moleküler ağırlıkları ve izotoplarının bozunma sabitleri önerilen formüller kullanılarak yaş verisi hesaplanabilmektedir. (Şekil 13) [12, 19-20]. Günümüzde mikroprob üreticileri kendi bilgisayar yazılımlarında yaş hesaplarını yapan programlar oluşturmuşlardır. Literatürde belirtilen yaş hassasiyeti yaklaşık olarak 7-30 My arasındadır ve ölçüm şartlarına bağlı olarak değişebilmektedir [12, 19-20].

EPMA ile kimyasal yaşlandırma minerallerde hızlı ve etkili bir yöntem sağlamaktadır. EPMA ile kimyasal yaşlandırma İzotop Seyreltme Termal İyonizasyon Kütle Spektrometresi (ID-TIMS), Lazer Ablasyon Endüktif Olarak Bağlı Kütle Spektrometresi (LA-ICP-MS), İkincil İyon Kütle Spektrometresi (SIMS) ve Hassas Yüksek Çözünürlüklü İyon Mikro Prop (SHRIMP) gibi izotopik yaşlandırma yöntemlerine göre nokta boyutunun çok küçük olması çok küçük boyuttaki minerallerde, minerallerdeki kapanımlarda, zonlu minerallerde ve birden fazla mineralleşmenin olduğu kayalar-

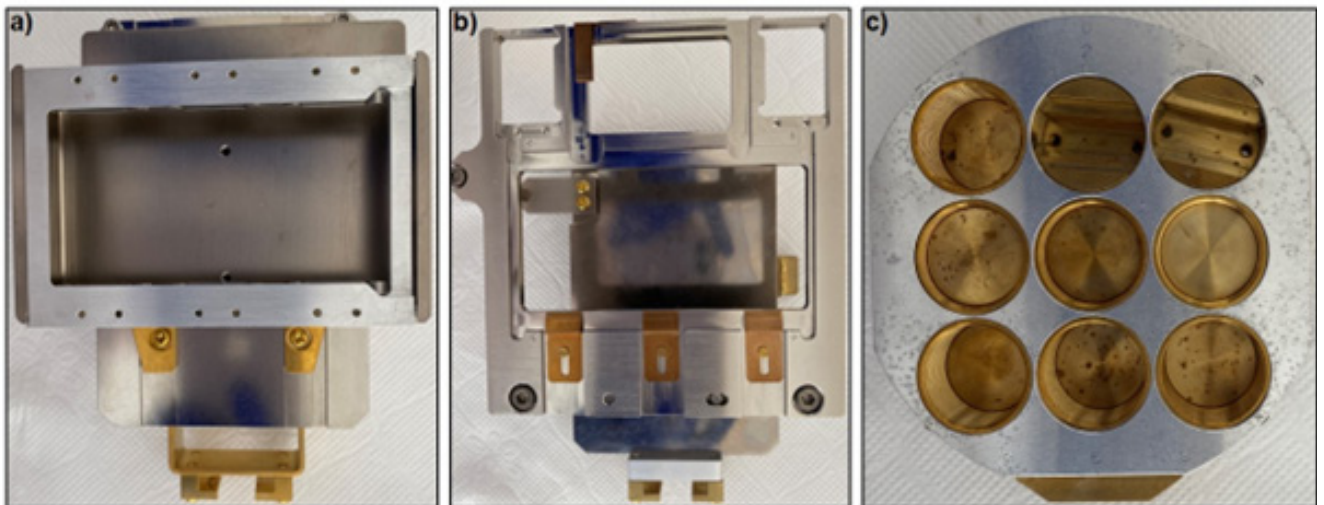
da yaşlandırma yapılmasına imkan vermektedir. EPMA, kimyasal zonlama yapan ve birden fazla jeolojik süreci kaydeden mineraller için çok kullanışlı bir yaşlandırma tekniğidir. Mineral ayırımına gerek olmadan kayanın petrografik incelemesinin yapıldığı ince kesitler üzerinden ölçümler yapılabilmektedir. Teknik 100 My'dan eski kayalar tarihlendirme için daha uygun olsa da 50 My'dan daha genç kayalar için de uygulanmaktadır.

EPMA'nın Kullanım Alanları

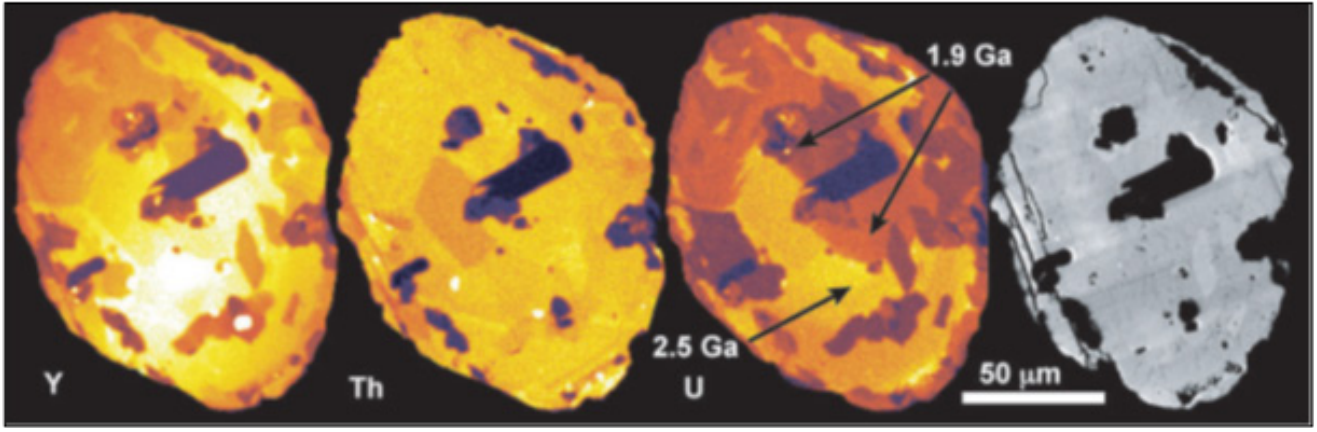
EPMA günümüzde yer bilimlerinin dışında elektrik-elektronik, malzeme, biyoloji gibi pek çok alanda da kullanılır [1-2]. Ülkemizde ise çoğunlukla jeoloji alanında kullanılır [25-28]. Özellikle mineralojik incelemelerde çok doğru ve başarılı sonuçlar elde edilir. Elde edilen kimyasal analiz sonuçları literatürde önerilen formüller kullanılarak minerallerin oluştuğu fizikokimyasal koşullar hesaplanabilir [29-36]. Günümüzde bahsi geçen hesaplamalar yapay zeka kullanılarak da yapılmaktadır [37]. Mineral tayinine yönelik olarak kullanılan bu yöntemle mineralin kimyası, açık formülü, mineralin oluştuğu basınç (P), sıcaklık (T), derinlik (D), oksijen fugasitesi (fO_2) gibi fiziko kimyasal koşullar belirlenerek kayanın ve kayayı veya cevherleşmeyi oluşturan ergiliğin oluşum, kristalleşme süreçleri hakkında bilgi sahibi olunabilir [25-28].

Sonuçlar

EPMA çok yönlü kullanımı sayesinde birçok bilim dalına hizmet etmektedir. Yerbilimlerinde mineral



Şekil 12. Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki (YEBİM) Jeol marka JXA-8230 model süperpropda kullanılan (a-b) ince kesit ve (c) bakalit örnekleri için örnek haznelerinin görüntüleri



Şekil 13. Legs Gölü (Saskatchewan) Snowbird Tektonik Zonu'ndaki monazitlerin bileşim haritası ve BSE görüntüsü [21]

tanımlama, jeotermobarometre, modal analiz, deneysel mineraloji ve petroloji, yaş tayini, faz analizi, difüzyon çalışmaları, nadir bulunan fazların tespiti gibi farklı konulara ışık tutulabilmektedir. Mineral kimyası belirlemede sıklıkla kullanılmasına rağmen yaşlandırma amacıyla kullanımı oldukça sınırlıdır. EPMA ile kimyasal yaşlandırma radyometrik tekniklere göre nispeten daha ucuz olması, kolay örnek hazırlaması ve çok küçük boyutlu örneklerle uygulanabilir olması ile alternatif oluşturmaktadır.

Dedektörlerin ve ölçüm koşullarının teknolojik gelişimiyle birlikte birçok malzemenin bileşimsel tespiti EPMA ile mümkün olmuştur. Yerbilimcinin mineralin bünyesinde tespit ettiği kritik bir elementi, madencinin zenginleştirilmesi ve sonrasında malzeme, elektrik-elektronik ve makine gibi mühendislik dallarının uç ürüne dönüştürmeleriyle elde edilen ürünün bileşimsel kontrolü her üretim aşamasında EPMA'nın kullanımıyla mümkün olmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Sayın Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU tarafından kurulan Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) laboratuvarlarında bulunan EPMA cihazının kullanımı sırasında edinilen bilgi ve tecrübeler ile literatürdeki çalışmalarla oluşturulmuştur. Araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek çalışmalarımı yönlendiren, YEBİM'de bulunan laboratuvarlardaki cihazların ve özellikle de EPMA'nın kullanımını öğrenmeme ve ça-

lıştırmama imkân sağlayan, akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişme katkıda bulunan, maddi manevi her konuda destekçi olan doktora danışman hocam, meslektaşım Sayın Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Değerli görüş ve önerilerinden dolayı makaleye katkı koyan ismi belirtilmeyen saygıdeğer hakemlere çok teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] Llovet, X., Moy, A., Pinard, P. T., Fournelle, J.H. Electron probe microanalysis: A review of recent developments and applications in materials science and engineering. *Progress in Materials Science* 116, 100673, 2021.
- [2] Goldstein J.. The Electron Microprobe as a metallographic tool. *Metallogr. Pract. Tool Correl. Struct. Prop. Mater.*, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959: ASTM International, 86–136,1974.
- [3] Mackenzie, A. P. Recent progress in electron probe microanalysis. *Reports Prog Phys.* 56, 557–604, 1993.
- [4] Lifshin, E. Electron microprobe analysis. In: Lifshin E, Cahn RW, Hassen P, Kramer EJ, editors. *Mater. Sci. Technol.* Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 351–421, 1997.
- [5] Rinaldi, R., Llovet, X. Electron probe microanalysis: a review of the past, present, and future. *Microsc. Microanal.* 21.1053–69, 2015.
- [6] Packwood, R. A. Comprehensive theory of electron probe microanalysis. In: Heinrich KFJ, Newbury DE, editors. *Electron Probe Quantitation.* New York: Springer; 1991. p. 83–104, 1991.
- [7] Reed, S. J. B. *Electron Microprobe Analysis.* 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- [8] Scott, V. D., Love G, Reed S. J. B. 1995. *Quantitative electron-probe microanalysis.* Cambridge University Press & Assessment, London and New York (Ellis Horwood), 311 s.
- [9] Reimer, L. *Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis.* vol.45. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998.
- [10] Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., Joy, D. C. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray*

- Microanalysis. 4th ed. New York, NY: Springer New York, 2018.
- [11] Reed, S. J. B. Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology. Cambridge University Press the Edinburgh Building, Cambridge CB2 2RU, UK, 232 pp, 2005.
- [12] Deniz, K. Elektron Mikroprob ile Yaşlandırma Tekniği. 1st Geochronology and Mass Spectrometry Workshop (GEOMSWSHWP) Abstracts and Proceedings Book, 49-52, 2022.
- [13] Deniz Yağcıoğlu, K. ve Kadioğlu, Y. K. Elektron prob Mikro Analiz. 3. Meteorit Araştırmaları Çalıştayı, 12-13 Haziran 2023, Ankara-Türkiye, 2023.
- [14] Alkan, A. Taramalı elektron Mikroskopisi (SEM). 22. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi (EMK2015), 1 Eylül 2015, Kocaeli, Türkiye, 2015.
- [15] Alkan, A. Enerji Dağılım X-Işını Spektrometresi (EDX). 22. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi (EMK2015), 1 Eylül 2015, Kocaeli, Türkiye, 2015.
- [16] Paktunç, D. Yerbilimlerinde Mikroanalitik Yöntemler, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 46, 41-49, 1996.
- [17] Zinin, P. Microanalysis in Electron Microscopy (EDS and WDS), GG 711: Advanced Techniques in Geophysics and Materials Science Lecture notes, 2011.
- [18] Erkan, Y. Kayaç Oluşturan Önemli Minerallerin Mikroskopta İncelenmeleri. T MMOB. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 42, 438 s., 2007.
- [19] Montel, J. M., Foret, S., Veschambre, M., Nicollet, C., Provost, A. Electron microprobe dating of monazite. Chemical Geology 131, 37-53, 1996.
- [20] Dutch, R. A. Monazite chemical dating via electron probe microanalysis. MESA Journal 53, 34-40, 2009.
- [21] Williams, M. L., Jercinovic, M. J., Hetherington, C. J. Microprobe Monazite Geochronology: Understanding Geologic Processes by Integrating Composition and Chronology. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 35, 137-75, 2007.
- [22] Ning, W., Wang, J., Xiao, D., Li, F., Huang, B., Fu, D. Electron Probe Microanalysis of Monazite and Its Applications to U-Th-Pb Dating of Geological Samples. Journal of Earth Science 30, 5, 952-963, 2019.
- [23] Scherrer, N. C., Engi, M., Gnos, E., Jakob, V., Liechti, A. Monazite analysis; from sample preparation to microprobe age dating and REE quantification. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 80, 93-105, 2000.
- [24] Cocherie, A. ve Legendre, O. Potential minerals for determining U-Th-Pb chemical age using electron microprobe. Lithos 93, 288-309, 2007.
- [25] Görmüş, M., Kadioğlu, Y. K., Deniz, K. The importance of EPMA and RAMAN data from Foraminiferous Shells. 19. Paleontoloji – Stratigrafi Çalıştayı, 27-29 Ekim 2018, Zonguldak / Türkiye, 59-60, 2018.
- [26] Koralay, T., Kadioğlu, Y. K., Deniz, K., Güllü, B. Mineral Chemistry Of Ophiolitic Gabbros Within Central Anatolia: Hirfanlı Dam Gabbros. 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference & Expo (SGEM 2019), 335-343, 29 Haziran-07 Temmuz 2019, Bulgaria, 2019.
- [27] Orhan, A. ve Deniz, K. Geochemistry of the Çelebi Granitoid Associated with the Kaman Fe-skarn Deposit, Mineral Chemistry and Crystallization Conditions (Kırşehir, Central Anatolia). 73rd Geological Congress of Turkey with international participation, 6-10 Nisan 2020, Ankara, Türkiye, 2021.
- [28] Akpınar, İ., Çiftçi, E., Demir, Y., Deniz, K., Kadioğlu, Y.K. Ore Mineralogy and Mineral Chemistry of Cerattepe Cu-Au Deposit Artvin, NE Turkey: A Genetical Approach. The International Online Engineering and Natural Sciences Conference (IOCENS'21), 05-07 July 2021 Gümüşhane, Turkey, 2021.
- [29] Lindsley, D. H. Pyroxene thermometry. Am. Mineral. 68, 477-493, 1983.
- [30] Henry, D. J., Guidotti, C.V., Thomson, J.A. The Ti-saturation surface for low-to medium pressure metapelitic biotites: implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms, Am. Mineral. 90, 316-328, 2005.
- [31] Putirka, K. Thermometers and barometers for volcanic systems: Reviews in Mineralogy and Geochemistry 69, 61-120, 2008.
- [32] Luhr, J. F. Carmichael, I.S.E., Varekamp, J.C., The 1982 eruptions of El Chichón volcano. Chiapas. Mexico: mineralogy and petrology of the anhydrite-bearing pumices, J Volcanol Geotherm Res 23, 69-108, 1984.
- [33] Uchida, E., Endo, S., Makino, M. Relationship Between Solidification Depth of Granitic Rocks and Formation of Hydrothermal Ore Deposits, Resource Geology 571-1, 47-56, 2007.
- [34] Ridolfi, F., Renzulli, A., and Puerini, M. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: An overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes: Contrib Mineral Petrol. 160, 45-66, 2010.
- [35] Holland, T. ve Blundy, J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. Contrib Mineral Petrol. 116, pp 433-447, 1994.
- [36] Anderson, J.L., ve Smith, D.R. The effects of temperature and fO₂ Al-in-hornblende barometer: Am. Mineral 80, 549-559, 1995.
- [37] Li, X., Zhang, C., Behrens, H., Holtz, F. Calculating biotite formula from electron microprobe analysis data using a machine learning method based on principal components regression. Lithos 356-357, 2020.
- [38] URL-1: <https://www.jeol.co.jp/en/science/epma.html>'dan alınarak Türkçeleştirilmiştir



Serbest Kum Madenciliği

Dünya genelinde en çok tüketilen doğal malzemenin birincisi su, ikincisi ise kumdur. Kum, "21. yüzyılın en önemli, ancak bununla birlikte önemi en az vurgulanan hammaddelerinden biridir.

Hilal Okur

Gebze Teknik Üniversitesi,
Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü
hilalokur@gtu.edu.tr

Giriş

Akarsular, tatlı su taşıyıcı ve karaların en önemli şekillendiricisidir. İnsanlar varoluşlarından bu yana akarsuların yakınında olmuşlardır çünkü akarsular yaşam pratiklerinin en önemli destekçisi olmuştur. Akarsular, doğdukları noktadan denize döküldükleri yere kadar geçirdikleri yolculuk boyunca farklılaşan kanal geometrisi, jeoloji, iklim şartları ve enerji değişimlerine bağlı olarak aşındırma ve biriktirme yaparlar. Örneğin nehirlerin dağlık alanlarda doğduklarını bölgelerde ana kaya içerisinde yüksek kanal eğimi ve yüksek debi değerleriyle yol aldığını söyleyebilirken, nehrin daha aşağı kotlarında düşük kanal eğimi ve düşük debi ile birlikte aktığını söyleyebiliriz. Nehir, kanal eğimi düştükçe kendi çökellerinden oluşturduğu taşkın ovası dediğimiz düşük eğimli düzlükte akar. Nehirler taşkın ovası adı verilen bu düzlüğü, belki binlerce yılda kendi taşkınlarıyla veya kanal göçleriyle oluşturmuş olur.

Akarsular ve onların taşkın ovaları günümüzde pek çok şekilde insanlığa faaliyet ve yaşam alanı sunmaktadır. Hızla büyüyen şehirler ve yaygınlaşan tarımsal faaliyetlerin enerji ve sulama ihtiyacı; akarsuların akış rejimini, barajlar ve çeşitli türlerde hidroelektrik enerji santralleriyle (HES) kontrol altına alarak değerlendirilmiştir.

ılmaktadır. Bunların yanı sıra çoğunlukla gözardı edilen serbest kum madenciliği faaliyetleri, dünya ve Anadolu nehirlerinin üzerindeki en belirgin doğrudan insan kaynaklı streslerden birisini oluşturmaktadır [1].

Çakıl ve kum, binlerce yıl süren aşınma- taşınma süreçleri ile oluşan, inorganik ve endüstriyel ham maddelerdir. Kum- çakıl-mıcır, inşaat ve yapı sektöründe agrega olarak adlandırılır. Kırma ve doğal olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu malzemeler başta boyut ve hacim olmak üzere çeşitli sınıflandırmalarla birbirlerinden ayrılırlar. Kökenleri, üretim şekilleri ve tane büyüklüklerine bağlı olarak, ülkeler ve bölgeler arasında önemli standart ayrılıkları ve isimlendirme farklılıkları mevcuttur. Kum, en geniş haliyle yapı malzemesi ve endüstri için kullanılmak üzere ikiye ayrılabilir [1].

Serbest Kum Madenciliği olarak tanımlanan madencilik faaliyetleri; serbest halde bulunan nehir kumlarının nehir kenarı, taşkın ovası ve nehir kanalından direkt elde edilen kum olarak tanımlanabilir. Taş ocaklarından, deniz tabanı veya kıyısından elde edilen agrega malzemesi kırma, yıkama gibi ek faaliyetleri gerektirdiğinden daha maliyetli bulunur.

Dünya genelinde en çok tüketilen doğal malzemenin birincisi su, ikincisi ise kumdur [2]. Kum, “21. yüzyılın en önemli, ancak bununla birlikte önemi en az vurgulanan hammaddelerinden biri” olarak kabul edilir [3]. Kumun yüzlerce endüstriyel kullanımı [4], ve işletilme faaliyetleri, Dünya’daki tüm inorganik maden faaliyetlerinin yaklaşık % 85’ini kapsadığı tahmin edilmektedir [5]. Özellikle şehirlere yakın yerlerde yer alan nehir ve taşkın düzlükleri, taşıma maliyetlerinin düşük olması sebebiyle kum ve çakıl madenciliği için ekonomik olarak önemli alanlardır. Akarsu çökellerinin madenciliği özellikle sektör için ideal malzemeyi sunar çünkü nehir sistemi kendi hidrolik enerjisiyle büyük kayaları parçalayarak çakıl ve kum haline getirir. Akarsu taşkın ovalarının işletilmesi, taş ocaklarından üretime kıyasla, öğütme ve boylama gibi ek maliyetli adımlara gerek duymadan serbest kuma ulaşmayı mümkün kılar [6, 7, 8].

Serbest kum yeryüzünde son derece kısıtlı kaynak alanlarında depolanmaktadır. Günümüzde ise bu kaynaklar, doğal olarak yenilenmesinden daha yüksek oranlarda işletilmektedir. Doğal ola-

rak zamanla kum çok daha az bulunur hale gelecektir [9]. Bu nedenle, kum, yenilenebilir olmayan bir hammadde olarak kabul edilir [10]. Kum madenciliğinin birçok şekilde nehir ekosistemini olumsuz ve geri dönüşü olmayan şekillerde değiştirdiği bilinmektedir (Tablo 1), bunlar arasında taşkın ovalarının yok edilmesi [11] (Şekil 1, 2) nehir kanal içi işletmesi, yapay çökel kapanlarının kurulması (Şekil 1, 2) gibi bir çok faaliyet yer alır [12]. Bu yoğun işletme yaklaşımı ve binlerce yıldır insanlar tarafından kullanım sonucu, nehir taşkın ovası ortamları artık dünyanın en kırılgan ekosistemlerinden biri olarak kabul edilmektedir [13].

Tablo 1. Kum madenciliğinin etkileri. Bu alanlar bugün çağın en tartışmalı ve en hızlı büyüyen madencilik sektörlerinden biri olan kum madenciliği ile tehdit altında.¹

Kum Madenciliğinin Etkileri	Açıklamalar
Nehir Kanalı ve Leve	Kazılma, duraysızlık, daralma/genişleme [14] derin çukurlar, eğim kırılma noktalarının (nick points) nehir yukarı göçü [8, 15].
Çökel	Yatak yükü çökellerinin kabalaşması, yatak ve asıl çökel yükünün artması, sıçrayan yükün azalması [7, 16].
Su Miktarı	Akışın kontrol edilmesi, yeraltı su tablasının derinleşmesi [17] kuraklığın sıklık ve şiddetinin artması [18].
Su Kalitesi	Türbülan akışın ve kirliliğin artması, pH değerlerinde artış [19].
Biyçeşitlilik	İlişkili ekosistemlere etkisi, sucul ve riparian (ırmak kıyısı) habitatın tahribatı, orman örtüsünün artması/azalması [7, 8]. Makro omurgasız ve balık popülasyonlarında nüfus ve çeşitliliğin azalması, istilacı türlerin artması [7]. Göçmen kuşların doğal habitatlarının tahribi [20].
İklim	Doğrudan: Bölgede işletim ve transfer sırasında yüksek yakıt kullanımı ve ilişkili emisyon artışı; Dolaylı: Çimento/beton imalatının artışı ile ilişkili emisyon [12].
Arazi Değişimi	Çökel kapanları ve kum üretimi nehirlerin kıyı alanlarına çökel getirimini doğrudan etkiler ve depolanmalı/aşınmalı kıyılarda kıyı gerilemesine yol açar [8].
Tarım	Verimli topraklar ve tarım arazileri ortadan kaldırılır; tarımı ve gıda yollarını etkiler [21].
Ekstrem Olaylar	Doğal yapının bozulması nehir kanalları ve çevresinde taşkın, kuraklık olaylarına karşı korunmasını düşürür, taşkın frekansı ve etkisini artırır [22].
Kentsel Altyapı	Kanal boyunca leve erozyonu sonucu köprü, istinat duvarı ve su şebekesine ait yapıları doğrudan etkiler [18].



Şekil 1. Sakarya Nehri serbest kum işletmelerine örnek bir alanın havadan görünümü. Nehir kanalının değiştirildiği, genişletildiği ve taşkın ovasının üzerinin çıkarılan malzemelerden oluşturulan kum-çakıl tepeleri ile örtüldüğü görülmektedir.

Kum madenciliği küresel olarak artmasına rağmen, jeomorfolojik, çevresel ve sosyal etkileri yeterli derecede belgelenmemektedir [23, 24]. Kum çıkarma, kullanımı ve ticareti, özellikle düşük-orta gelir düzeyine ve gelişmekte olan ülkelere özgü madencilik uygulamaları arasında kontrolün en az olduğu sektör olarak tanımlanır [4]. Dünya genelinde toplam kum üretiminin miktarı ve çevresel etkileri net olarak bilinmemekle birlikte, ancak beton üretimi ve tüketimi gibi antropojenik malzeme üretimi/tüketimi verilerinden yola çıkarak yalnızca tahmin edilebilmektedir [1]. Küresel olarak bu denli kullanım alanı olan ve ne kadar kullanıldığı bilinmeyen başka bir maden daha yoktur [4]. Kum ve çakıl madenciliği saptanamayan ölçütlerde olunca, artan insan nüfusu, kentleşme ve refah seviyesi ile doğru orantılı artarak, riskleri ve biyolojik tehditleri de o oranda artırmaktadır [23].

Dünya Serbest Kum Üretimi Verileri ile Türkiye'nin Genel Yaklaşımı ve Durumu

2015-2019 yılları arasındaki 5 yıllık ortalamalara göre Çin dünya genelinde en fazla çimento üreten ülke konumundadır ve yılda tahmini olarak 2.4 milyar ton üretim gerçekleştirmiştir, onu Hindistan (270 milyon ton (MT)), ABD (86.3 MT), Vietnam (79 MT), Türkiye (71.6 MT) takip etmektedir [25, 26].

Çimento üretimi 2012 yılında 150 ülke tarafından verilen raporlarla, yıllık toplam 3.7 milyar ton olarak hesaplanmıştır [27]. Bu rakam 2019 yılı itibarıyla yılda 4.1 milyar tona yükselmiştir [28]. Her ton çimentonun, beton üretimi için yaklaşık altı ile yedi katı kadar kum ve çakıl ihtiyacı vardır [29]. Bu nedenle, dünyanın beton için agrega kullanımı, yalnızca 2012 için yılda 25.9 milyar ila 29.6 milyar ton olarak tahmin edilebilir

[27]. Kıyı düzenlemeleri, arazi ıslahı, yol setleri gibi çimento kullanılmayan yoğun kullanım alanlarında ise, miktarla alakalı bir tahmin yürütmek mümkün olmamaktadır.

Tüm bu tahminleri dikkate alarak, dünya çapında toplam tüketim için iyimser bir tahmin ile kum ve çakıl kullanımının yılda 40 milyar tonu aştığı gözlenebilir. Bu, dünyanın tüm nehirleri tarafından taşınan yıllık çökel miktarının iki katıdır [16].

Türkiye’de uluslararası düzeyde geçerli olan probleme paralel olarak, kum madenciliğinin ulusal düzeydeki yıllık kullanım miktarları direkt olarak tespit edilememektedir. Bu bilinmezliğin en önemli nedenlerinden biri, bu madencilik türüne yönelik yönetmelik karmaşasıdır, 2004 yılına kadar sektörün iki ayrı mevzuata bağlı hükümler ile çalışması ve sektörün büyük bir bölümünün yıllık faaliyetlerine ilişkin bir beyanda bulunmamasıdır. 2004 yılı itibari ile agrega üretimi maden kanunu kapsamına alınmıştır. Ancak bu durum da ülkemizde agrega madenciliği verilerinin tespiti için yeterli olmamıştır.

Kum madenciliği, yasal çerçeveye göre I (A) grubu kapsamındaki; inşaat ile yol yapımında kullanılan ve tabiatta doğal olarak bulunan kum ve çakıl olarak tarif edilmektedir. Bu madenlerin doğadaki fonksiyonlarına, yoğun işletmeler sonucu karşılaşılabilecek çevresel veya sosyal herhangi bir probleme değinilmemektedir. Tespiti zorlaştıran bir diğer etken ise; bu madencilik türünde ruhsatlı kum ocaklarının sayısından çok daha fazlası kaçak işletmelerdir. Ülkemizde agrega sektörünü tanımlayacak bir envanter çalışması bugüne kadar bu sebeplerle maalesef ki yapılamamıştır. Dolayısıyla sektörün teknik verileri toplanarak içinde bulunulan durum tespiti yapılamamıştır.

Bu madencilik türüyle alakalı ulaşılabilen veriler bazı yıllarda mevcuttur. Bunlardan ilki, Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) verilerine dayanır. Bu verilere göre, Türkiye’de maden gruplarında en büyük payı % 45 ile kum çakıl sektörü oluşturmaktadır. Bu payda en büyük söz sahibi olan il ise yaklaşık % 18’lik bir dilimle Sakarya’dır [30]. Türkiye’deki kum ve çakıl madenciliğine yönelik sınırlı veriler, 2000 yılı için mevcut olarak, 90 milyon ton kum ve çakıl; 30 milyon ton kırma taş + mıcır üretildiği yönündedir. 90 milyon ton

kara taş ocaklarını da içine alan, yalnızca serbest kum, ya da tatlı su madenciliği kavramlarını sınırlayan bir veri değildir. Sakarya’da serbest kum üretimine, üretim miktarı hesaplanmasına, çevresel ve sosyal etkilerine odaklanmış Türkiye’den tek bir çalışma mevcuttur ve aşağıdaki bölümde ayrıntıları bahsedilmiştir [1].

Türkiye inşaat sektörünü gelişiminde öncü kuvvet olarak kullanan ülkelerden biridir. Bu da çimento üretimi yoluyla da olsa hesaplanan dünyanın beşinci büyük çimento, dolayısıyla agrega üreticisi olmasını açıklar durumdadır. Dünya’da yapılan yüzlerce çalışmanın ardından, inşaat sektörünün agreganın en büyük kullanıcısı olduğu tespit edilmiştir. Türkiye’nin bina stoğu 2012, TÜİK verilerine göre 20 milyon olarak açıklanmıştır, bu stok içerisindeki 5 milyon bina 1999 depremi sonrasında yapılmış binalardır. Deprem bina stoğunun yenilenmesini hem zorunlu kılmış hem de eski binaların yenilenmesi gerekliliğini gözler önüne sermiş on binlerce insanın ölümüne sebep olmuş bir doğal afetdir [1].

Türkiye’nin kentleşme ile birebir ilişkili 4 ayrı inşaat fazı söz konusudur. ‘Cumhuriyetin Kuruluşu Sonrası, Yavaş Kentleşme, 1923-1950’ (1), ‘Göç sonrası, Hızlı ve Plansız Kentleşme, 1950-1980’ (2), ‘Liberalleşme sonrası, Parçalı Kentleşme, 1980-2000’ (3) ve ‘Deprem sonrası, Kentsel Dönüşüm, 2000 sonrası’ (4). Türkiye’nin inşaat atılımları denklemi 1980 sonrasındaki; 1981 ve 1984 toplu konut kanunu, 1984 imar affı kanunu, 1985 imar kanunu gibi çeşitli şekillerde kurulmuştur. 1980 sonrası devlet politikası kentlerin çekiciliğini artırma yönünde olmuştur. Benzer politika 2000 sonrasında da devam etmiştir. Büyük ölçekli gayrimenkul yatırım projeleri, toplu konut projeleri yapılmıştır. 2000 sonrası konut üretimi ve sektörde yer alan aktörler ölçek değiştirmiş, her bir aktör kendi işlem mekanizması içerisinde büyümüştür. Konutun anlamı barınılacak, içinde yaşanılacak bir ev olma özelliğinden, her an paraya dönüşebilecek mülk anlamına gelmeye başlamıştır [31]. Bu durum kullanımda bir işlevi olmayan aşırı bina tasarımlarını beraberinde getirmektedir. Kum ve çakıl madenciliği sektörü yukarıda bahsedilen günden güne büyüyen inşaat sektörü aktörlerinden biridir.

Avrupa ülkeleri, kalkınma ve altyapı inşaatına



Şekil 2. Sakarya Nehir Kanalı ve serbest kuma sahip tüm nehir basamaklarının işletilmesine ait fotoğraf. Her büyük kum ocağının yakınında mutlaka eleme sistemleri kuruluyor ve hemen o bölgede temel bir tane boyu ayrıştırması ile nehir kenarına istifleniyor. Tarım arazileri ile kum ocakları oldukça dar ve yoğun bir sınırı paylaştığı ve kanal içerisindeki işletmenin son 20 yılda tüm güncel taşkın ovasını yok ettiği görülüyor. Güncel nehir kanalı yapay levelerle düzenlenmiş durumdadır.

yanıt olarak benzer endüstriyel gelişim süreçleri yaşamıştır. Bazı ülkeler kum ve çakıl madenciliğinin zararlı etkilerini 1950'lerden itibaren fark etmiştir. Bu konuda dikkat çeken bir örnek, büyük ölçekli madenciliğin İtalya'nın kuzeyindeki geniş otoyol ağı için gerekli ham maddeyi sağladığıdır [32]. Fransa'da, çakıl ve kum madenciliğinin etkileri 1970'lerin sonlarında zararlı olarak görülmüş, ardından 1980'lerde sürdürülemez olarak kabul edilmiş ve kanal içi madencilik 1990'ların başlarında yasaklanmıştır [32].

Sakarya Nehri Kum Ocaklarından Örnekler, Uygulama Esasları

Türkiye'nin agrega üretiminin neredeyse beşte birini karşılayan il Sakarya'dır. Bunun sebepleri;

- Sakarya Nehri taşkın ovası çökelleri serbest kum rezervi oluşturur. Adapazarı Ovası'nın güneyinden başlayan yoğun kum ocağı işletmeleri, Sakarya şehir yerleşimine kadar devam eder.
- İstanbul'a ve ana yollara yakınlığı ile ulaşımı oldukça kolaydır.
- Deprem sonrası hem Sakarya hem de Düzce, Yalova gibi illerdeki konut ihtiyacına yönelik yoğun kum ihtiyacı söz konusu olmuştur.
- Sakarya İli'nin büyümesi, göç alan bir şehir olması sebepleri ile artan konut ihtiyacı şeklinde özetlenebilir [1].

Sakarya'da en yoğun kum işletmesi yapılan

bölge Adapazarı Ovası'nın güneyinde kalan 20 km uzunluğunda bir alanda gerçekleşmiştir. İşletmeler bugün bölgede aktif işletme yapmıyorlar çünkü son 40 yıldır mevcut bulunan bütün kumu farklı tekniklerle işletmiş durumdadır. Sakarya Nehri ve doğal ekosistemi, bu bölgede geri dönüşü çok zor şekilde tahrip edilmiştir (Şekil 2). Tanımlanan bölgede bulunan tarım arazilerinin % 35'i (174 hektar alan) tamamen ortadan kaldırılmıştır. Nehirde ve taşkın ovasında doğal kalmış hiçbir alan bulunmamaktadır ve nehir kanalı kum işletmelerinin ihtiyacı doğrultusunda genişletilmiş ya da daraltılmıştır ki bunun asıl sebebi nehir kanalını işletmek içindir (Şekil 3). Sakarya Nehri bölgede aynı zamanda Hidroelektrik Enerji Santralleri (HES) ile de değiştirilmiştir. HES inşası sırasında nehir kanalı, kendi taşkın yatağı yüzeyine ve doğal kanalın altına doğru yaklaşık 10 m derine gömülmüştür. Bu durum bölgede iki olumsuz etkiye neden olmuştur. İlk olarak, su tablası önemli ölçüde düşmüş tarım arazilerinin kısmen terk edilmesine neden olmuştur. İkinci olarak, taşkın yatağı sedimanlarının yapay olarak açığa çıkarılması, daha yıkıcı madencilik uygulamalarını yoğunlaştırarak şiddetli erozyona neden olmuştur. Madencilik faaliyetleri kalıcı yapay göller oluşturmuştur ve bu göllerde 20 yıl boyunca yeni bir ekosistem gelişmiştir. Ancak bölge ko-

runmamaktadır ve muhtemelen gelecekte tekrar madencilığe maruz kalacaktır (Şekil 2). Bölgede 1980 yılından bu yana 970 hektar alan tahrip edilmiş ve yaklaşık 80 milyon ton serbest kum çıkarılmıştır (Şekil 3) [1]. Bölgedeki kum madenciliği önemli ölçüde arazi kaybına, toprak erozyonuna ve su tablasının değişmesine neden olmuş, tarım arazilerini ekime elverişsiz hale getirmiş ve hatta köyleri destekleyen tarım arazilerinin çoğunu yok ederek binlerce yıldır uygulanan geleneksel tarımı ortadan kaldırmıştır. Ayrıca madencilik faaliyetleri sürekli gürültüye, ağır araç trafiğine ve kirliliğe neden olmaktadır. Sakarya Nehri çevresinden kum çıkarılması, Karadeniz'deki deltasına çökel taşınmasını önemli ölçüde azaltmıştır; nehrin kıyıya ulaştırması gereken çökeller kum ocaklarınınca kapanlardan işletildiği için (Şekil 3) kıyı çökel beslenmesini azaltmıştır ve bölgesel olarak kıyı erozyonunu hızlandırmıştır. Sakarya Nehri'ndeki uygulama ve sonuçlar; (1) nehir ortamını tahrip eden insan faaliyetlerinin daha iyi denetlenmesi ve (2) kum madenciliğinin uzun vadeli çevresel ve sosyal etkilerine ilişkin düzenlemelere duyulan ihtiyacı göstermektedir [1].

Çevremizin Geleceği ve Sürdürülebilirlik için Düzenlemeler

Nehirlerden kum işletmesi yapmanın belki de en



Şekil 3. Fotoğraf, kum madenciliği işletmeleri sonucu oluşturulan çakıl ve blok yığma tepeleri (yt), kumu kapatarak (kk) nehrin aktif olarak taşıdığı çökelin biriktiği ve ardından bu alanların işletilmesini göstermektedir [1].

önemli, onu farklı maden işletmelerinden ayıran özelliği; yaşayan bir ekosistemi, hala taşınmakta olan suyu, çökeli hapsedmesi ve işletmesidir. Bu yalnızca işletme yapılan alanı değil nehrin hem aşağı hem de yukarı havzasında pek çok değişikliğe sebep olur.

Serbest kum, çıkarılması ucuz, işlenmesi basit ancak taşınması pahalı bir malzemedir. Bu durum kum madenciliği alanlarının genellikle kumun gerektiği yerlere yakın olmasını açıklar. Aynı zamanda, tedariğin yerel oluşunun ve kum için tek bir küresel pazarın olmamasının nedenidir. Şu anda, Orta Doğu'da -özellikle Türkiye, İran ve Mısır- yanı sıra Hindistan, Malezya ve Endonezya'da kum üretiminde liderlik yapan ülkelerin sayısı artmaktadır. Bileşmiş Milletler, kum için yıllık bir pazar ihtiyacının 50 milyar ton olduğunu, bu da kişi başına günlük ortalama 18 kg kuma ihtiyaç duyulduğunu duyurmaktadır [26]. Kum ihtiyacı trendinin durma belirtisi göstermediği görülmektedir. Serbest kum madenciliğini denetlemek ve takip etmek için uygun çevresel prosedürlerin ve bilimsel metodolojinin eksikliği, plansız uygulamalara neden olmuş [18]; bazı durumlarda ise, zayıf yönetim ve yolsuzluklar geniş çapta yasa dışı madenciliğe yol açmıştır [19].

Nehir ve taşkın ovası ortamları sadece serbest kumun bir kaynağı değildir. Dünya genelindeki bu flüviyal ortamlar birçok önemli fonksiyonu sürdürmeye devam eder ve belki en önemlisi tarımsal üretimi sürdürmek için kritiktir [21]. Bu nedenle serbest kum madenciliğinin nasıl daha iyi düzenlenebileceğini, «ekstrem serbest kum madenciliği»nden kaçınmak ve çevre üzerinde geri dönüşü olmayan zararlı etkileri önlemek önemlidir. Bu alanların doğal jeomorfolojisi karmaşıktır ve nehir akışı, nehir eğimi, çökel kaynağı ve tane boyutu arasında dinamik bir dengeyi yansıtır. Artık insan etkisinin doğal çevreyi ne ölçüde ve nasıl değiştirdiğinin çok önemli bir bileşen olduğu bir döneme girdik. Ekstrem serbest kum madenciliği doğal çevresel dengeyi çok ciddi miktarlarda bozar ve doğal jeomorfolojik ve ekolojik sistemleri önemli ölçüde sarsar.

Katkı Belirtme

Metni okuyup bana destek veren Doç. Dr.

Mehmet Korhan Erturaç'a ve Prof. Dr. Raif Kandemir'e teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] Okur, H., Erturaç, M. K., Nicoll, K. Geomorphic changes and socio-environmental impacts of recent sand mining in the Sakarya River, NW Turkey. *The Anthropocene Review*, DOI: 10.1177/20530196231218480, 2023.
- [2] Courland, R. *Concrete Planet: The Strange and Fascinating Story of the World's Most Common Man-Made Material*. Amherst, NY: Prometheus Books, p.396, 2011
- [3] Beiser, V. *The World in a Grain: The Story of Sand and How It Transformed Civilization*. New York, NY: Riverhead Books, 2018.
- [4] Torres, A., Brandt, J., Lear, K. et al. A looming tragedy of the sand commons. *Science* 357(6355): 970-971, 2017.
- [5] United Nations Environmental Program (UNEP) Sand, rarer than one thinks. UNEP Global Environment Alert Service (GEAS), 2014. Available at: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8665>. Erişim tarihi: 11 Aralık 2023.
- [6] Koehnken, L. *Impacts of Sand Mining on Ecosystem Structure, Process & Biodiversity in Rivers*. Gland: World Wildlife Fund. 2018.
- [7] Koehnken, L., Rintoul, M. S., Goichot, M. et al. Impacts of riverine sand mining on freshwater ecosystems: A review of the scientific evidence and guidance for future research. *River Research and Applications* 36(3): 362-370, 2020.
- [8] Kondolf, G. M. PROFILE: Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management* 21(4): 533-551, 1997.
- [9] Filho, W., Hunt, J., Lingos, A. et al. The unsustainable use of sand: Reporting on a global problem. *Sustainability* 13(6): 3356, 2021.
- [10] Harvey, P. Cementing relations. *Social Analysis* 54(2): 28-46, 2010.
- [11] Mossa, J., McLean, M. Channel planform and land cover changes on a mined river floodplain. *Applied Geography* 17(1): 43-54, 1997.
- [12] Peduzzi, P. Sand, rarer than one thinks. Article reproduced from United Nations Environment Programme (UNEP) Global Environmental Alert Service (GEAS). *Environmental Development* 11: 208-218, 2014.
- [13] Winarso, G., Budhiman, S. The potential application of remote sensing data for coastal study. In: *Proc. 22nd. Asian Conference on Remote Sensing*, Singapore, pp. 1-5, 2001.
- [14] Surian, N., Rinaldi, M. Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology* 50(4): 307-326, 2003.
- [15] Isik, S., Dogan, E., Kalin, L., et al. Effects of anthropogenic activities on the Lower Sakarya River. *CATENA* 75(2): 172-181, 2005.
- [16] Syvitski, J., Ángel, J. R., Saito, Y., et al. Earth's sediment cycle during the anthropocene. *Nature Reviews Earth and Environment* 3(3): 179-196, 2022.
- [17] Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C.G., et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403(6772): 853-858.4, 2000.
- [18] John, E. The impacts of sand mining in Kallada River (Pathanapuram Taluk), Kerala. *Journal of Basic and Applied Biology* 3: 108-113, 2009.
- [19] Saviour, N. Environmental impact of soil and sand mining. *International Journal of Environmental Science and Technology* 1(3): 125-134, 2012.
- [20] Lai, X., Shankman, D., Huber, C., et al. Sand mining and increasing Poyang Lake's discharge ability: A reassessment of causes for lake decline in China. *Journal of Hydrology* 519(B): 1698-1706, 2014.
- [21] Allan, J.D., Castillo, M.M. *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*, 2nd edition. New York: Chapman and Hall. DOI: 10.1007/978-1-4020-5583-6, 2007.
- [22] Sreebha, S., Padmalal, D. Environmental impact assessment of sand mining from the small catchment rivers in the southwestern coast of India: A case study. *Environmental Management* 47(1): 130-140,

2011.

- [23] Sutherland, W.J., Barnard, P., Broad, S., et al. A 2017 horizon scan of emerging issues for global conservation and biological diversity. *Trends in Ecology & Evolution* 32(1): 31–40, 2017.
- [24] Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., et al. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics* 68(10): 2696–2705, 2009.
- [25] USGS. Mineral commodity summaries. Reston: U.S. Geological Survey 200. <https://doi.org/10.3133/70194932>, 2018. Erişim tarihi: 11 Aralık 2023. [26] United Nations Environmental Program (UNEP). Sand and Sustainability: Finding New Solutions for Environmental Governance of Global Sand Resources. Geneva: GRID- Geneva, United Nations Environment Programme, 2019.
- [27] USGS. Cement, Statistics and Information. Reston: U.S. Geological Survey, 2013a.
- [28] USGS. Mineral commodity summaries. Reston: U.S. Geological Survey 200. <https://doi.org/10.3133/mcs2020>, 2020. Erişim tarihi: 11 Aralık 2023.
- [29] USGS. Sand and gravel (construction) statistics. In: Kelly TD and Matos GR (eds) *Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States*. Reston: U.S. Geological Survey Data Series 140, 2013b.
- [30] Alp, S. Sand, clay and quarries industry report. İstanbul Chamber of Commerce, 2004.
- [31] Koca, D. Türkiye’de Çağdaş Konut Üretimini Yeniden Okunması. *Tasarım + Kuram* 11(19): 19–19, 2016.
- [32] Bravard, J.P., Goichot, M., Gaillet, S. Geography of sand and gravel mining in the lower Mekong River. *EchoGéo* 26: 0–20, 2013.



Nükleer Atık Deposu Olarak Kullanılan Granitik Kayaçlarda Termal Isı Etkisi İle Mikro Çatlak Gelişimi

Çok az miktar uranyumdan büyük miktarda enerji üretilmektedir. Bir kg U235'in gücü 1 ton kömür veya 17000 metre küplük doğalgazın enerjisine eşittir. Bununla birlikte, nükleer enerji sıfır karbon emisyonuna sahip temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilse de özellikle nükleer atık sızıntıları çevre ve insan sağlığını ciddi bir şekilde tehdit etmektedir.

Sibel Tatar Erkül
Akdeniz Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
statar@akdeniz.edu.tr

Giriş

Dünyada artan enerji talebi nedeni ile ülkeler nükleer ve yenilenebilir enerji gibi petrol dışında alternatif enerji arayışlarına yönelmiştir. Petrol alternatifleri enerji kıtlığı sorununu çözebilecek kapasitededir, ancak bu kaynakların oluşturulmasının da belirli bir bütçe gerektirmektedir [1]. Çok az miktar uranyumdan büyük miktarda enerji üretilmektedir. Bir kg U²³⁵'in gücü 1 ton kömür veya 17000 metre küplük doğalgazın enerjisine eşittir. Bununla birlikte, nükleer enerji sıfır karbon emisyonuna sahip temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilse de özellikle nükleer atık sızıntıları çevre ve insan sağlığını ciddi bir şekilde tehdit etmektedir. Son yıllarda alternatif enerji

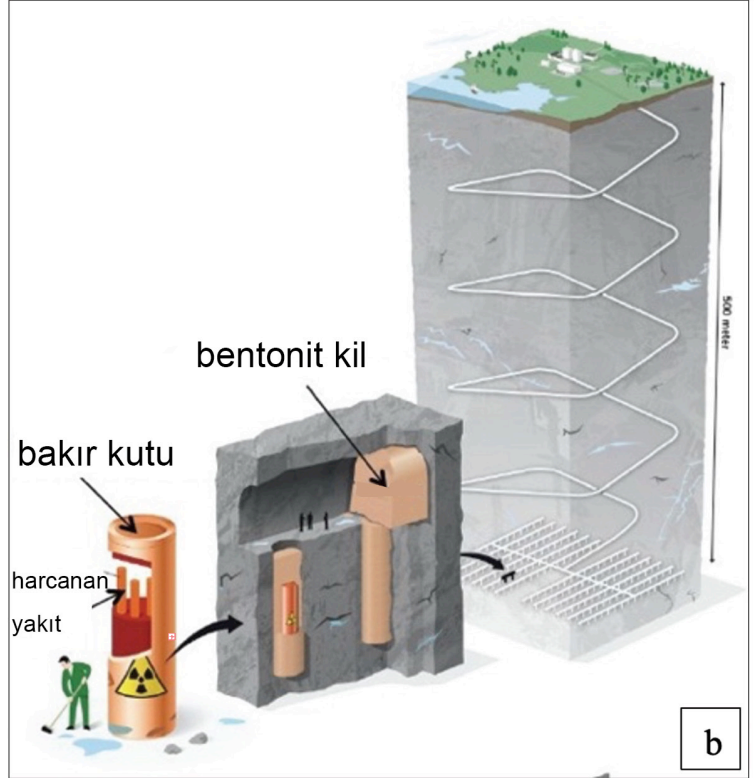
kaynaklardan birisi olarak kabul edilen nükleer atıkların derin jeolojik ortamlarda depolanması/bertaraf edilmesi ile ilgili çalışmalar oldukça fazladır ve yüksek seviyeli radyoaktif atık sorununu çözenin en uygun ve ekonomik yollarından biri olarak kabul edilmektedir [2]. Bu faaliyetler, nükleer atıkların yerin 500-1000 m altındaki jeolojik yapıların içerisine gömülmesini ve bunların insanların yaşadığı ortamdan kalıcı olarak izole edilmesi için mühendislik ve doğal bariyer sistemlerinin kullanılmasını içerir. Çeşitli ısıtma ve yakma işlemlerinden sonra aniden soğutulmuş ısıtma maruz kalan kayaçların mekanik ve kimyasal özelliklerinden yola çıkılarak nükleer atık depolama sistemleri geliştirilmeye başlanmış ve depolama için kullanılması önerilmiştir. Termal değişimlere uğrayan kayaçlarda, farklı bileşimleri, mekanik, kimyasal, fiziksel özellikleri ve termal alan dışındaki dış faktörlerin etkisi nedeniyle oldukça karmaşık değişimler görülmektedir [3].

Yüksek seviyeli radyoaktif atıklar için derin jeolojik depolama alanları, yüzlerce metre derinlikteki ana kayaya kazılan tünellerin içerisine radyoaktif nükleer atık kutularının yerleştirilmesi süreçlerini kapsamaktadır [4] (Şekil 1). Bu alanların inşası, yeraltı suyunun kirlenmesini önlemek

amacı ile yeraltı suyu seviyesinin üzerine yerleştirilmesi gereken çok bariyerli bir sisteme dayanmaktadır [2]. Çoklu bariyer sistemi, tasarlanmış bir bariyer ile doğal bir ana kayadan oluşan jeolojik bariyerden oluşmaktadır. Bu nedenle jeolojik bariyer oluşturacak kayaçların yüksek sıcaklık altında dayanıklılığı son derece önemlidir (Şekil 2a). İsveç'te yapılan derin jeolojik depolarda nükleer atıklar, 5cm kalınlığında bakır kutularla çevrelenmiş dökme demir çerçevelerde 500m. derinlikteki granitik ana kaya içerisine yerleştirilmiş ve yüksek oranda sıkıştırılmış bentonit ile kaplanmıştır [4] (Şekil 2b).



Şekil 1. Morsleben, Almanya'da 500 metre derinliğinde bir jeolojik nükleer atık deposu [5].



Şekil 2. (a) Nevada test alanında granitlerde atık imha alanları [6]; (b) İsveç'te çok bariyerli derin jeolojik nükleer atık deposu [7].

Çin'deki yüksek seviyeli atık deposunda granitler nükleer atıkların depolanması için bariyer görevini görmektedir. Granitler yüksek mukavemet ve düşük geçirgenlik özellikleri nedeni ile atık depolama için ideal bir bariyerdir. Nükleer bozuma süreçlerinde oluşan nüklidler önemli miktarda ısı açığa çıkarmakta ve bu da depolama görevi gören kayaçta termal çatlamlara yol açmaktadır. Sıcaklık ne kadar yüksek olursa termal hasar da o kadar şiddetli olur. Kayacın gözenek yapısı da artan sıcaklıkla birlikte değişime uğrar, gözenek kanalları genişler ve geçirgenlik artar. Geçirgenlikteki bu potansiyel artış, atık deposunun uzun vadeli güvenliği ve istikrarı için bir tehdit oluşturur. Bu nedenle, nükleer atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi için yüksek sıcaklıktaki işlemlerden sonra kayaların geçirgenlikleri mutlaka incelenmelidir [8].

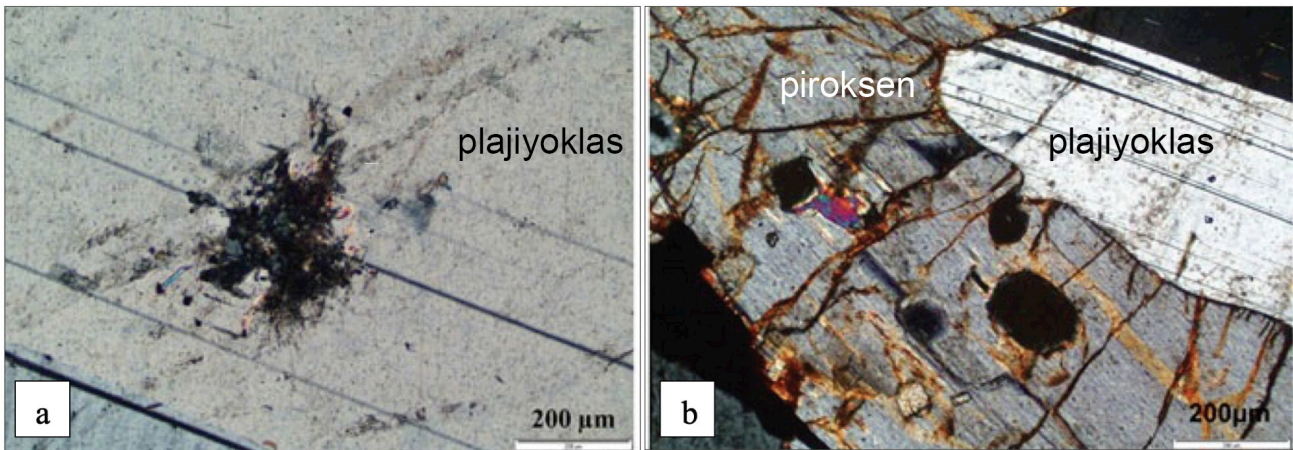
Kayaçlarda Termal Isı Etkisi

Kayaçların yüksek sıcaklıklar altındaki davranışları normal koşullardakilerden oldukça farklı olabilmektedir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayaçları oluşturan mineraller termal genişlemeye uğrar. Termal gerilmelere ve kimyasal reaksiyonlara maruz kayaçta mikro çatlaklar oluşabilir ve kayacın mikro yapısında hasar meydana gelebilir [9]. Kayaçların termal bozunması çeşitli şekillerde meydana gelebilir. Termal bozunmanın en yaygın biçimi mikro çatlakların ortaya çıkması, minerallerdeki kapanımlarının patlaması veya oksidas-

yon gibi kimyasal reaksiyonlardır [9, 10, 11, 12] (Şekil 3).

Kayaçlar termal etki nedeniyle renk değişimi sergilerler. Örneğin, demir oksitlerin varlığı kayacın renginin kırmızısı olmasına neden olabilir [13]. Kayaçların termal davranışı ve mikro çatlakların yayılma mekanizması kayacın mineralojik bileşimine, dokusuna ve elastikiyetine bağlıdır. Kristalin kayaçlardaki sıcaklık değişimlerine bağlı minerallerde gelişen termal genişleme nedeni ile oluşan gerilmeler kayacın tüm yapısına yayılır ve mikro çatlaklar oluşur. Termal genişleme mineral boyutuyla doğru orantılıdır ve ayrıca kristal yönelimi, şekli ve anizotropisi gibi diğer faktörlere de bağlıdır. Mikro çatlaklar, kayaçların yapısındaki termal dalgalanmalar nedeniyle oluşan bir tür deformasyondur. Polarizan ve floresan mikroskop teknikleri kullanılarak kolayca ayırt edilebilirler. Bir kayadaki mikro çatlakların yayılması, geri dönüşü olmayan deformasyonlar yaratarak kayacın petro-fiziksel özelliklerini etkileyebilmekte ve bunun sonucunda kayanın dayanıklılığını azaltabilmektedir [14].

Termal genişleme katsayısı α , bir malzemenin sıcaklıkla uzunluk değişiminin ölçüsüdür ve aynı zamanda sıcaklık ile de doğrudan ilişkilidir. Hacimsel termal genişleme katsayısı, termal olarak indüklenen değişikliklerin niceliksel bir ölçüsü olarak kullanılabilir [13]. Farklı minerallerin termal genişleme katsayıları Tablo 1'de özetlenmiştir.



Şekil 3. Yüksek sıcaklıklarda (a) kapanımların patlaması ve (b) mikro çatlaklar ve çatlaklarda gelişen oksidasyon oluşumlarının çift nikoldeki görünümü [11]

Tablo 1. Kayaç oluşturan minerallerin termal genişleme katsayıları [13].

Mineral	Hacim Genişleme (α_v)	$\alpha//c$	$\alpha//b$	$\alpha//a$
kuvars	37.0	7.70	13.3	13.30
albit	14.1	0.38	4.38	11.30
mikroklin	15.8	0.49	0.49	14.96
ortoklas	6.13	0.00	0.00	6.13
muskovit	35.4	13.80	9.9	11.10
biyotit	36.6	17.30	9.65	9.65
hornblend	23.8	6.25	7.50	6.25
hedenberjit	29.8	6.00	17.6	7.20
diyopsit	33.3	6.50	20.5	7.80
enstatit	25.0	-	-	-
bronzit	44.7	16.80	14.5	16.40
olivin	27.1	10.40	8.06	5.93
granat/pirop	20.7	6.90	6.90	6.90
hersinit	27.0	-	-	-

$\alpha//c$: c doğrultusuna/yönüne bağlı genişleme katsayısı

$\alpha//b$: b doğrultusuna/yönüne bağlı genişleme katsayısı

$\alpha//a$: z doğrultusuna/yönüne bağlı genişleme katsayısı

Genel olarak, minerallerin doğrusal termal genişmeleri arasında büyük farklar gözlemlenebilir. Yani kristalin uzun eksen ve kısa eksen boyunca genişleme arasındaki fark dolayısıyla minerallerin çoğu anizotropik termal genişleme katsayıları gösterir. Kuvars, mikroklin ve biyotit anizotropik mineraller olarak kabul edilir. Tablo 1’de kuvars, c eksenine (uzun eksen) paralel olarak en küçük termal genişleme değerine ($\alpha = 7.7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), ona dik olan eksen boyunca ise en yüksek termal genişleme değerine ($\alpha = 13.3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) sahiptir. Biyotit uzun eksenine paralel $17.3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ve ona dik $9.65 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ısıl genişlemeye sahiptir. Albit minerali anizotropik bir termal davranışa sahiptir. Daha fazla anortit içeren plajiyoklazlar ise nispeten daha az anizotropik termal genişleme sergilerler [13].

Granitoidler, mukavemetleri, yüksek dirençleri ve çok düşük geçirgenlikleri nedeniyle nükleer atık depoları için en uygun kayaçlar olarak

kabul edilmektedir [4]. Ancak, granitoidlerin termal özellikleri, çok bileşenli, yani birden fazla mineral türünden oluşması, tane boyu, dağılımı vb. parametrelere göre farklılık sergilemektedir [12]. Sıcaklığın granitin geçirgenliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Sıcaklık arttıkça granitin iç yapısında ciddi hasarlar meydana gelir ve bu da geçirgenliğin sürekli artmasına neden olur. Granitin geçirgenliği efektif gerilmenin artmasıyla azalır. Düşük sıcaklıklarda kayadaki çatlaklar yalnızca deformasyona uğrar. Yüksek sıcaklıklarda, termal stresin neden olduğu çatlak uzaması, mineral parçacıkları arasındaki bağı zayıflatır, bu sadece çatlakların deformasyonuna değil aynı zamanda mineral parçacıklarının ayrılmasına ve kayaçlarda geçirgenliğin azalmasına neden olur. Granit geçirgenliğindeki değişim hem sıcaklıktan hem de efektif stresten etkilenir [8].

Mineralojik Bileşimin Kayaçın Termo-Mekanik Davranışına Etkisi

Kayaçların mineralojik bileşimi ve kristalografik yönelimi, yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayaçların termo-mekanik davranışlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Minerallerin farklı termal genişleme katsayıları nedeniyle, yüksek sıcaklıklarda kayanın mikro yapısında geniş bir aralıkta termal gerilimler oluşmaktadır. Bu nedenle kayalardaki termal ısı sonrası gelişen hasarın mekanizması kayaçın mineralojisi ile doğrudan ilişkilidir (Tablo 2). Tek bileşenli kayaçlarda sıcaklık değişimi sırasında oluşan taneler/kristaller arası termal gerilimler, kristallerin anizotropisine ve heterojenliğine bağlı iken, granitler gibi farklı minerallere sahip kayaçlarda, farklı mineral kristalleri arasındaki termal genişleme uyumsuzluğundan dolayı termal çatlakların oluşumu karmaşık bir hale gelmektedir [12, 15].

Kayaçlarda Termal Isı Nedeni İle Gelişen Mikro Çatlakların Sınıflandırılması

Kayaçlarda mikro çatlaklar,

- (1) önceden var olan süreksizliklerin genişletilmesi (bölünme düzlemleri gibi),
- (2) önceden var olan mikro çatlakların yayılması ve
- (3) yeni mikro çatlakların çekirdeklenmesi şeklinde gelişir.

Tablo 2. Kayaç oluşturan yaygın minerallerin termal özellikleri ve davranışları [1, 8, 10, 12, 13, 19].

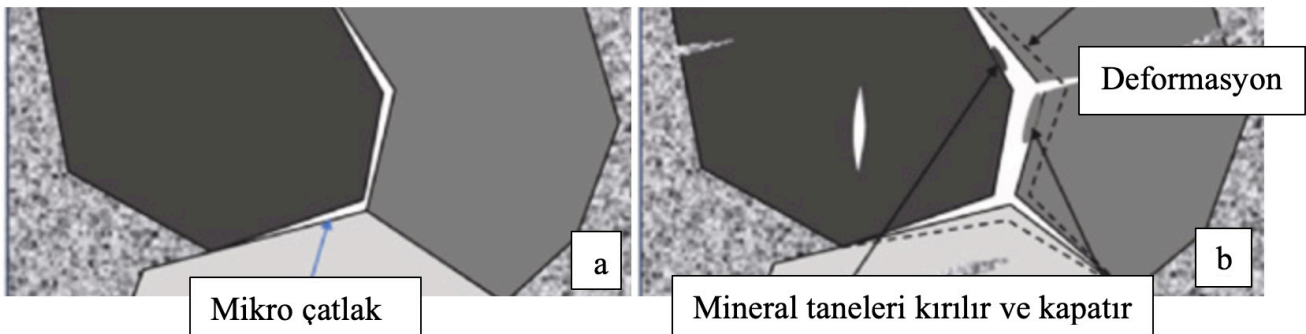
Kuvars+kalsit	Feldispat	Plajiyoklaz	Mika
* Kuvars ve kalsit, çok yüksek anizotropik termal genişmeleri nedeniyle kayaçların termal bozunmasını kontrol eden ana minerallerdir.	* Feldispatların düşük ve izotropik termal genişmeleri nedeniyle termal bozunmaya katkısı nispeten düşüktür.	* Plajiyoklaz mineralleri K-feldispatlara göre daha fazla mikro çatlak içerir.	* Mika mineralleri ısınma sırasında temel gerilmelerin artmasına neden olur, kayaçlar ciddi şekilde çatlak ve hasar görür.
* Kuvarsın yüksek ve anizotropik termal genişmesine rağmen, büyük miktarda kuvarsın bir kayaçın mikro yapısında mutlaka büyük gerilmelerin oluşmasına neden olmayacağı simülasyonlarla kanıtlanmıştır.	* Feldispatlarda tane içi mikro çatlaklar, ikiz lamel ve yarıma düzlemleri gibi zayıf bölgeler boyunca yayılır.	* 400°C'nin altındaki sıcaklıklarda plajiyoklazın termal genişme katsayısı K-feldispatlara göre daha yüksektir.	* Artan sıcaklıkla birlikte, biyotit minerallerinin dilinim düzlemleri açılır, mika minerallerinin sınırları boyunca çok yüksek gerilmelerin yoğunlaşmasına neden olur, bu durum mika minerallerinin kendisini değil çevresindeki mineralleri etkiler.
* Kuvars çoğunlukla düzensiz tane içi mikro çatlaklar sergiler çünkü artık gerilmeler kristallerinde yoğunlaşır.	* Feldispatların dayanıklılıklarının düşük olması nedeniyle genellikle transkristalin mikro çatlaklar görülür.		
* Kuvarsın termal genişme katsayısı feldispatlardan çok daha yüksektir.			

Söz konusu mekanizmaların etkisi ile gelişen mikro çatlaklar üçe ayrılır:

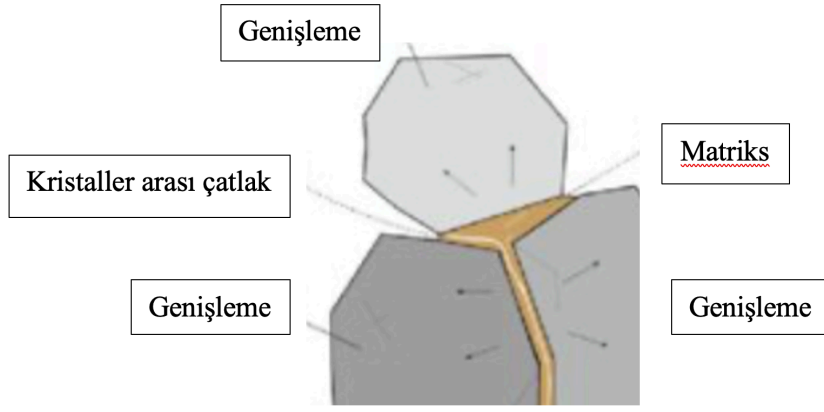
(1) Kristal içi çatlaklar: Kristalin kendi içinde mikro çatlak oluşmasıdır. Genel olarak, kristal içi çatlakların yayılması, plajiyoklaz ve biyotit durumunda olduğu gibi, kristalin ikiz lamelleri ve bölünme düzlemleri gibi zayıf bölgelerini takip eder. Öte yandan, mineralin kuvars gibi zayıf bölgeleri veya düzlemleri yoksa, kristal içi çatlaklar belirli

bir yol izlemeden kristal içinde rastgele yayılacaktır [8, 14] (Şekil 4),

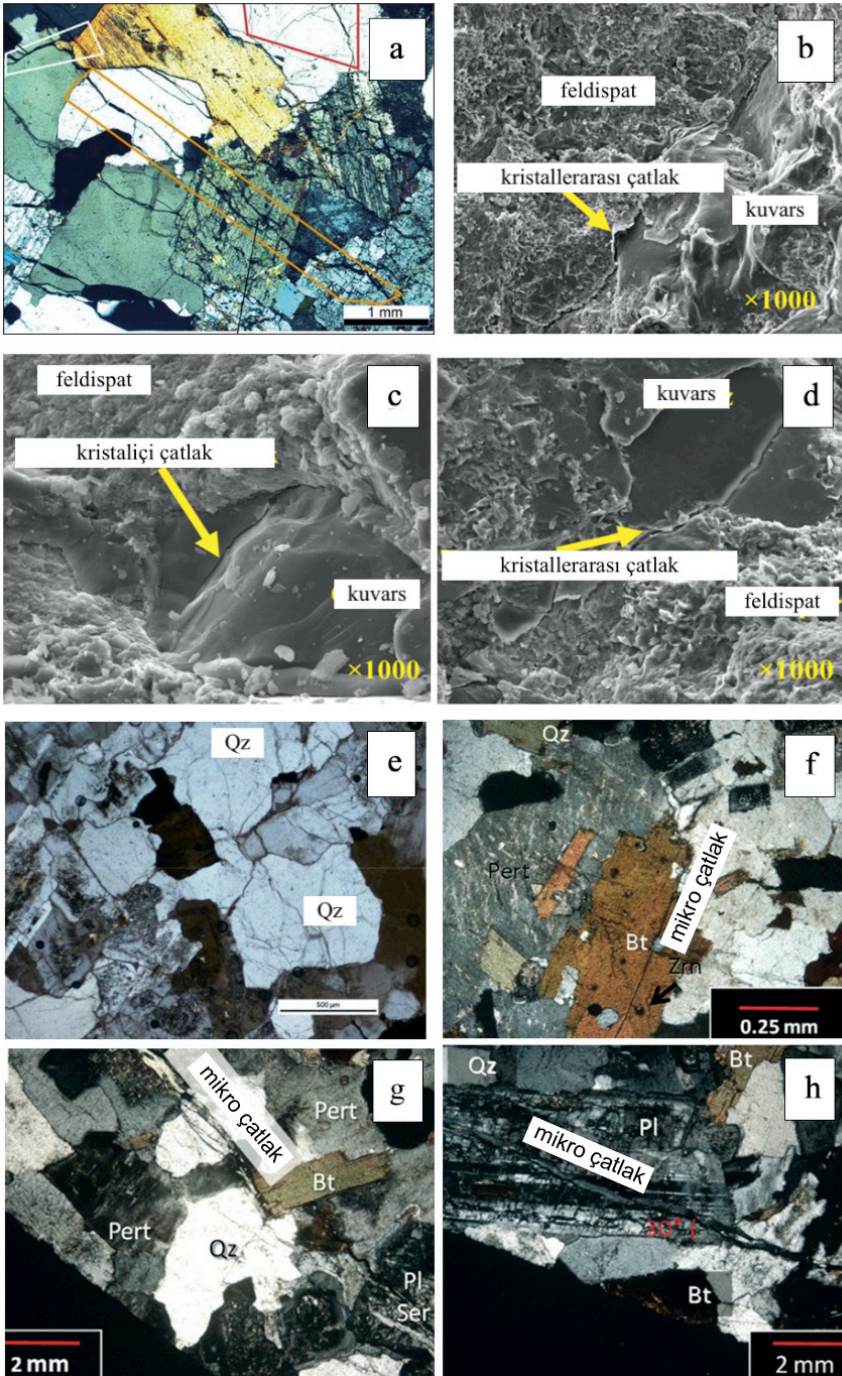
(2) Kristaller arası çatlaklar: Kristaller arası çatlaklar, farklı minerallerin kristalleri arasında veya aynı minerale ait kristaller arasında ortaya çıkar. Kristallerin sınırları boyunca yayılırlar ve ayrıca birbirleriyle birleşerek çokgenler oluşturabilirler [14] (Şekil 5).



Şekil 4. Farklı basınç koşullarında granitlerde gelişen kristal içi çatlakların şematik görünümü (a) 25 °C, 4.5 MPa, (b) 600 °C, 29.5MPa [8].



Şekil 5. Granitoidlerde gelişen iki çatlak modeli. Kristaller arası çatlak gelişimi [16].



Şekil 6. (a) Kristal içi (beyaz alan), kristaller arası (kırmızı alan) ve transkristalin (turuncu alan) mikro çatlaklar [13]; (b-d) Kumtaşı örneğindeki mikro çatlak türlerine ait SEM görüntüleri [17]; (e-h) Silezya granitinde (Çek Cumhuriyeti) kristal içi ve arası süreksizlikler ve mikro çatlakların çift nikoldeki görünümü (700°C'ye kadar ısıtılmış numune). Qz: kuvars, Bt: biyotit, Pert: (3) Transkristalin çatlaklar: Bir çatlak birden fazla kristalden geçerek yayıldığında transkristalin çatlak olarak adlandırılır (Şekil 6a-h). peritit, Pl: plajiyoklas [18].

Sonuçlar

Nükleer atıkların derin jeolojik ortamlarda depolanması/bertaraf edilmesi yüksek seviyeli radyoaktif atık sorununu çözenin en uygun ve ekonomik yollarından biri olarak kabul edilmiş ve ısı işlem görmüş kayaçların mekanik ve kimyasal özelliklerinden yola çıkılarak nükleer atık depolama sistemleri geliştirilmiştir.

Derin jeolojik depolama alanları, yüzlerce metre derinlikteki ana kayaya kazılan tünellerin içerisine atıkların yerleştirilmesini kapsar. Atıkların saklandığı kapların geometrisi, malzemesi, jeolojik depo alanlarındaki kayacın bileşimi son derece önemlidir.

Kayaçların bileşimi termal olaylardan etkilenmektedir ve termal etkilere bağlı olarak kayaçta fiziksel ve mekanik etkiler meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayaçları oluşturan mineraller termal genişlemeye uğrar ve bunun sonucunda mikro çatlaklar, minerallerdeki kapanımlarının patlaması veya oksidasyon gibi kimyasal reaksiyonlar gelişebilir.

Granitoidler, nükleer atık depolama ve bertarafı için en uygun depolama alanları olarak kabul edilmektedir ancak termal özellikleri, polijenik bileşenleri, tane boyu, dağılımı vb. parametrelere göre farklılık gösterirler. Termal etkiler sonucunda kayaçlarda meydana gelen mikro çatlaklar ve kimyasal reaksiyonların doğru bir şekilde tespiti ve doğru bir şekilde yorumlanması son derece önemlidir.

Katkı Belirtme

Bu derlemeye katkı veren Nawaf Al-MURISH ve Fuat ERKÜL'e teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] Tiskatine, R., Eddemani, A., Gourdo, L., Abnay, B., Ihlal, A., Aharoune, A., Bouirden, L. 2016. Experimental evaluation of thermo-mechanical performances of candidate rocks for use in high temperature thermal storage. *ACS Appl. Eng. Mater. ACS.* 171, 243-255.
- [2] Rogers, K.A. 2009. Fire in the hole: A review of national spent nuclear fuel disposal policy. *Prog. Nucl. Energy* 51 (2), 281-289.
- [3] Plevová, E., Vaculikova, L., Kozusnikova, A., Ritz, M., Martynkova, G.S. 2016. Thermal expansion behaviour of granites. *J. Therm. Anal. Calorim.* 123 (2), 1555-1561.
- [4] Gautam, P.K., Dwivedi, R., Kumar, A., Kumar, A., Verma, A.K., Singh, K.H., Singh, T.N. 2021. Damage characteristics of jalore granitic rocks after thermal cycling effect for nuclear waste repository. *Rock Mech. and Rock Eng.* 54 (1), 235-254.

- [5] Wolf, J. 2011. Alamy. <https://www.alamy.com/stock-photo-stacks-of-yellow-barrels-stand-in-the-500-metre-deep-underground-nuclear-58108096.html>.
- [6] Patrick, W.C. 1986. Spent-Fuel Test-Climax: An evolution of the technical feasibility of geologic storage of spent nuclear fuel in granite. UCLR-53762. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California.
- [7] Ozharovsky, A. 2016. BELLONA. <https://bellona.org/news/nuclear-issues/radioactive-waste-and-spent-nuclear-fuel/2016-08-21710>.
- [8] Wang, L., Wu, Y., Huang, Z., Lin, J., Wang, Y. 2024. Effects of temperature and confining pressure on the permeability of Beishan granite from high-level radioactive waste disposal repository. *Case Stud. Therm. Eng.*
- [9] Tian, H., Mei, G., Jiang, G. S., Qin, Y. 2017. High-temperature influence on mechanical properties of diorite. *Rock Mech. Rock Eng.* 50 (6), 1661-1666.
- [10] Freire-Lista, D.M., Gomez-Villalba, L.S., Fort, R. 2015. Microcracking of granite feldspar during thermal artificial processes. *Periodico di mineralogia* 84 (3A).
- [11] Keshavarz, M., Pellet, F.L., Lorent, B. 2010. Damage and changes in mechanical properties of a gabbro thermally loaded up to 1000 C. *Pure Appl. Geophys.* 167 (12), 1511-1523.
- [12] Vázquez, P., Shushakova, V., Gómez-Heras, M. 2015. Influence of mineralogy on granite decay induced by temperature increase: experimental observations and stress simulation. *Eng. Geol.* 189, 58-67.
- [13] Siegesmund, S., Sousa, L., Knell, C. 2018. Thermal expansion of granitoids. *Environ. Earth Sci.* 77 (2), 1-29.
- [14] Freire-Lista, D.M., Fort, R., Varas-Muriel, M.J. 2016. Thermal stress-induced microcracking in building granite. *Eng. Geol.* 206, 83-93.
- [15] Luque, A., Leiss, B., Alvarez-Lloret, P., Cultrone, G., Siegesmund, S., Sebastian, E., Cardell, C. 2011. Potential thermal expansion of calcitic and dolomitic marbles from Andalusia (Spain). *J. Appl. Crystallogr.* 44 (6), 1227-1237.
- [16] Shen, Y.J., Hou, X., Yuan, J.Q., Wang, S-F., Zhao, C. 2020. Thermal cracking characteristics of high-temperature granite suffering from different cooling shocks. *Int. J. Fract.* 225, 153-168.
- [17] Ni, X., Shen, X., Zhu, Z. 2019. Microscopic Characteristics of Fractured Sandstone after Cyclic Freezing-Thawing and Triaxial Unloading Tests. *Adv. Civ. Eng.* 2019, 6512461.
- [18] Kožušniková, A., Konecny, P., Plevova, E., Králová, I. 2017. Changes of Physical Properties of Silesian Granite Due to Heat Loading. *Procedia Eng.* 191, 426-433.
- [19] Yang, S. Q., Ranjith, P. G., Jing, H. W., Tian, W. L., Ju, Y. 2017. An experimental investigation on thermal damage and failure mechanical behavior of granite after exposure to different high temperature treatments. *Geothermics* 65, 180- 197.

Mavi Gezegem



tmmobjmo



tmmobjmo



jeolojimuhendisleriodasi



tmmob-jeoloji-muhendisleri-odasi



www.youtube.com/c/JeolojiMuhendisleriOdasi



**TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**

Meşrutiyet Cad. Hatay Sokak No. 21 Kocatepe/ANKARA

Tel: (+90) 312 432 30 85

Faks:(+90) 312 434 23 88

www.jmo.org.tr

e-posta: jmo@jmo.org.tr