

# **MEDİKAL JEOLJİ ve ÜLKEMİZ AÇISINDAN ÖNEMİ**

**Doç. Dr. Pırıl Önen**

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Öğretim Üyesi

Medikal jeoloji, doğal jeolojik etkenlerle, insan, hayvan ve bitkilerdeki sağlık sorunlarıyla veya bunların oluşumlarıyla arasındaki ilişkiyi ve jeolojik çevresel etkenlerin sağlık problemlerinin coğrafi dağılımı üzerindeki olası etkilerini araştıran bir bilim dalıdır. Çok geniş ve karmaşık bir araştırma alanı olmasından dolayı, jeologlar, tıp doktorları, biyologlar, veterinerler gibi değişik bilim dallarından araştırmacıların katılacağı multidisipliner bir araştırmayı gerektirir.

Doğal çevresel etkenlerin ve çevre kullanımının insan sağlığı üzerindeki etkisi eski Roma ve Peru- İnkâ uygarlıklarına kadar uzanırken son yıllarda, bulunduğumuz çevredeki ağır metaller ve bunlarla bağlantılı olumsuz sağlık etkileri gerek bilimsel çalışmalarda gerekse medyada geniş bir ilgi alanı oluşturmuştur. Arsenik, kadmiyum, cıva kursun gibi elementler ve ağır metaller potansiyel kirleticilerdendir ve birçok ülkede (Bangladeş, Çin, Hindistan gibi) yüksek oranda bulunan bu çeşit element veya ağır metaller pek çok çalışmanın konusu olmuştur.

Özellikle jeokimya yardımıyla tanımlanan jeolojik çevre ile insan, hayvan, ve bitki sağlığı arasındaki çok yakın ilişkinin fark edilmesi medikal jeolojinin yeni bir bilim dalı olarak ortaya çıkmasına yol açmış ve Medikal Jeoloji, “jeolojik etkenlerle insan, hayvan ve bitkilerdeki sağlık sorunları arasındaki ilişki ile ilgilenen bir bilim dalı” olarak tanımlanmıştır (Selinus, 2002; Finkelman ve dig. 2001).

## **Medikal jeoloji tarihi**

Jeoloji ve sağlık arasındaki ilişki binlerce yıldan bu yana bilinmektedir. Eski Yunan ve Çin’de, fizikçiler ve filozoflar jeolojinin sağlık üzerindeki etkisini fark etmiş oldukları halde modern tıp ancak 19.yy’ da bazı elementlerin sağlık için ne kadar gerekli olduğunu kabul etmiştir. Pek çok bilim adamınca medikal jeolojinin kurucusu olarak kabul edilen Hipokrat (400 M.O.) çevresel etkenlerin hastalık dağılımını nasıl etkilediğini fark etmiştir (Lag, 1990; Foster, 2002). M.O. 3.’ da

Çin’de Ag, Cu, Fe, ve Pb’ in zehirlenmeye neden olacağı bulunmuş (Liang et al., 1998), kayaç kırmaya bağlı olarak gelişmiş akciğer sorunları ve kurşun zehirlenmesi fark edilmiştir. Romalı mimar Vitruvius (M.O. son yy’ da) madencilikle ilişkili olabilecek sağlık etkilerini görüp, madenlerin çevresindeki suyun ve çevre kirliliğinin neden olabileceği tehlikelere dikkat çekmiştir (Nriagu, 1983). Kurşun, yaklaşık 5000 yıl önce Bakır, Bronz ve Demir Çağlarında gittikçe artan oranda zararlarının tam olarak farkına varılmadan üretilmiştir (Hong ve diğ., 1994). Yoğun kurşun kullanımı sonucu ortaya çıkan zehirlenmeler Orta ve Geç Asurlular dönemlerindeki (M.O.1550 -600 arası) kil tabletlerde ve eski Mısır yazıtlarında (3000 yıl önce) bulunmuştur (Nriagu, 1983). As, Cu, Hg gibi elementlerde Roma ve Roma öncesi dönemlerde kullanılmıştır. Örneğin, Hg, Ag ve Au Roma İmparatorluğu süresince, 12.yy’ da Mısır’da 16.yy’ da Orta ve Güney Amerika’da dişlerle ilgili yaygın olarak kullanılmıştır (Eaton & Robertson, 1994; Fergusson, 1990). Arsenik tedavi amaçlı olduğu kadar zehir olarak ta eski Yunan, Roman, Araplar ve Perulular tarafından kullanılmıştır (Fergusson, 1990).

1990’lu yılların başlarında, yüksek flor içeren içme suyundan kaynaklanan florozis tanımlanmıştır. Normal flor miktarı genellikle 0,1 ilâ 1ppm olarak kabul edildiği halde Afrika, Çin, Hindistan’ın bazı bölgeleri gibi yerlerde bu miktar 40 ppm e kadar çıkmakta ve buralarda çok ciddi dişle ilgili sorunlara ve iskelet florozisine neden olmaktadır (Selinus, 2002). Çin’de, 1930’larda görülen “ hastalığının bölgedeki düşük selenyumdan kaynaklandığı anlaşılmıştır (Selinus, 2002).

Sayısız çalışma sonucu çevresel etkenler ve çeşitli hastalıklar arasındaki bağlantının bulunması, 20.yy’ la birlikte iz elementlerin insan, hayvan ve bitki sağlığı açısından ne kadar önemli olduğunu çok açık bir biçimde ortaya koymuştur.

### **Medikal jeolojiye bazı yaklaşımlar**

Medikal jeoloji, çevreyi oluşturan kayaç, toprak, su, atmosfer gibi parçaları içeren sistemdeki işleyişi ve bunlar arasındaki etkileşimi anlamayı gerektirir. Elementlerin ve kimyasal maddelerin davranışı ve hareketliliği bunların doğasına ve buldukları ortamın fiziksel ve kimyasal şartlarına bağlıdır. Kayaç, toprak, yüzey suyu, yeraltı suyu, atmosfer gibi parçaları ve bunların çevreyle olan etkileşimini incelemek “mikro” seviyeden (iz elementlerinin, ağır metallerin kaynaklarını ve hedeflerini) “makro” seviyeye (kayaç döngüsü, hidrolojik döngü gibi doğal sistemdeki olayları) çok geniş bir araştırmayı gerekli kılar (<http://www.medicalgeology.org/PDF/MedGeo.pdf>).

Medikal jeolojiyle ilgili yaklaşımlar su şekilde özetlenebilir: 1) Vücudun içine giren yabancı maddelerin ve girdiği ortamın petrografik ve

mineralojik yöntemlerle çalışılması; 2) jeolojik çevre ve onun sağlıkla ilişkisinin çalışılması ve 3) antropojenik etkenlerin çalışması.

**Mineraller ve mineral tozları:** Kayaçların ve toprağın ana bileşeni olan mineraller doğal yollarla oluşmuş, inorganik, kristal yapıya sahip katılardır. Mineraller ve bunların sentetik benzerleri genellikle, aşındırıcı olarak, katalizör olarak, seramiklerde, doğal izolasyon malzemesi olarak, iyon-değiştirici, moleküllü elek, boya, yapı malzemesi, eczacılık gibi çok sayıda ve çok değişik endüstriyel alanlarda kullanılır. Günlük yaşantıda sürekli olarak minerallere maruz kalınırken, solunum yoluyla alındığında bazı minerallerin pnömokonyoz ve kanser gibi çeşitli akciğer hastalıklarına neden olduğu bilinmektedir. Özellikle 1900'lu yıllardan 1960'lara epidemiyolojik kanıtlar, asbest minerallerini solumanın fibrozis, akciğer kanseri ve mezotelyomaya neden olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda diğer bazı minerallerinde potansiyel akciğer için toksik olabilecekleri fark edilmiş ve gözlemler 1940, 1950 ve 1960'li yıllarda çeşitli mineral tozlarıyla ilişkili hastalıkların patolojisi üzerinde sayısız çalışmaya yol açmıştır (Guthrie & Mossman, 1993).

Trofosfer ve hidrosferde kaynakları yeryüzündeki çeşitli kayaçlar olan, doğal yolla oluşmuş, boyu yaklaşık 0.1- 30µm arasında değişen çok miktarda toz bulunur (Klein, 1993). Mineral tozlarıyla ilgili araştırmalarda mikroskopik özellikler, morfoloji, genel kimyasal kompozisyon, yapı çeşitleri ve mineral veya mineral gruplarının jeolojik oluşumu hakkındaki bilgiler çok önemlidir. Morfolojik ölçümler tane boyu, şekli ve dokuyu (uzunluğun çapa oranı ve/veya lifsi yapı) içerir ve optik mikroskobu, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) kullanılarak incelenir. Kimyasal kompozisyon genellikle TEM' e ve SEM' e bağlı Enerji Yayılım Spektroskopisi (EDS) ile yapısal bilgi ise TEM kullanarak elde edilir. Analitik Transmisyon Elektron Mikroskobu (ATEM), her bir toz tanesinin yarı- kantitatiften kantitative karakterizasyonunu, morfolojik gözlemler ve kimyasal analizle sağlar. Ayrıca Elektron Prob Analizleri, Analitik Elektron Mikroskobu, Tane İndüklenmiş X-Işını Salınımı (PIXE) ve İkincil İyon Kütle Spektrometrisi (SIMS) mineral kompozisyonunu bulmada kullanılan yöntemlerdendir.

'Minerallerin hastalığa neden olmasını sağlayan mekanizma nedir?' sorusunu cevaplamak amacıyla, 1980'ler ve 1990'larda minerallere bağlı patogeneze konusunda sayısız çalışma yapılmıştır (Guthrie & Mossman, 1993). Bu konudaki araştırmalarda biyolojik, biyokimyasal ve patolojik çalışmalar çok önemlidir ve yapılacak herhangi bir model, jeolojik ve jeokimyasal çalışmayı gerekli kılar, çünkü biyokimyasal olaylar mineral yüzeyinde veya yüzey yakınında oluşur. Dayanıklılık, çözünübilirlik, gerilme gücü, yüzey reaktivitesi, yüzey yapısı, yüzey yükü, mineral

kompozisyonu ve mineral yapısı gibi etkenler minerallerin morfolojileriyle ilişkili çok çeşitli biyolojik tepkilerini açıklamak için gereklidir.

Minerallerin patojenliği onların fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilişkilidir. Tipik olarak mineraller, mineral içeriği, mineral kompozisyonu, ve/ veya mineral yapısı açısından heterojendir, ve bu durum onların biyolojik özelliklerini etkiler. Bu heterojenlik mineralde önemli bir parçayı oluşturabilir; örneğin, çalışılan örnek %75 klinoptilolit (lifsiz olmayan zeolit minerali) ve %25 eriyonit (lifsiz zeolit minerali) içeriyorsa bu örneğin mezotelyomaya neden olma olasılığı %100 klinoptilolit içeren başka bir örnekten çok daha fazla olacaktır. Bununla birlikte çok küçük bir heterojenlik bile çalışılan örneğin özelliklerini önemli derecede etkiler; örneğin, az miktardaki asbestiform tremolit, krizotil madeni işçileri arasında mezotelyomanın nedeni olarak ileri sürülür. Küçük miktarlardaki metaller birçok zeolit mineralinin katalitik özelliklerini etkilerken mineralin ideal yapısındaki küçük sapmalar onun elektromanyetik özelliklerini değiştirebilir (Guthrie, 1993).

**Tehlikeli mineraller ve mineral tozları:** Doğal yollarla oluşan toz, direk olarak ortamın mineralojisini yansıtır. Yerkabuğunda yaygın olarak bulunan minerallerin tahmini hacim olarak yüzdesi %92 silikat mineralleridir. Minerallerin çoğu genellikle ince taneli ya da eşit büyüklükte, bazıları tabakamsı ve bazıları da diğerlerine göre kısa ve kalındır. Az sayıda ve diğerlerine göre daha seyrek bulunan mineral grupları, eğer ortamdaki toz içinde çok yüksek konsantrasyonda bulunuyorsa ve bunların çoğu lifsiz bir yapıya sahipse, sağlık açısından tehlike oluştururlar. Aşağıda böyle mineral gruplarından bazıları verilmiştir (Klein, 1993).

**Amfibol grubu** mineralleri genellikle uzun prizmatik ya da iğnemsiz kristal yapı gösterirken bazıları da seyrek jeolojik oluşumlarda asbestiform olabilir. Amfibol minerallerinin kompleks kimyası çok yoğun 'katı eriyik' göstermelerinin bir sonucudur. Rebekit ve bunun asbestiform çeşidi krosidolit sodyumca zengin amfibollerdendir. Ticari olarak kullanılan asbestiform amfiboller krosidolit (rebekite benzer kompozisyonda) ve amosit (gruneritin asbestiform çeşidi). Amosit ve krosidolit mineral isimleri sırasıyla kahverengi ve mavi amfibol asbeste karşılık gelir. Amosit ve krosidolit morfolojik ve mineralojik açıdan krizotile göre biyolojik olarak dirençli ve biyokimyasal olarak da daha reaktiftir (Gibbons, 1998). Çok az bir miktarı bile kanserojen olarak kabul edilen amosit ve krosidolit daha çok Güney Afrika'da Prekambriyan yaşlı, bantlı demir depositleri içinde, daha az olarak da batı Avusturalya'da bulunur ve sağlık açısından Güney Afrika için çok ciddi bir tehlikedir (Gibbons, 2000). Asbestiform olarak oluşabilecek diğer

amfibol grubu mineraller antofillayt, tremolit ve aktinolit. Tremolit ise tek başına mezotelyoma oluşumunda büyük bir risk oluşturur.

**Krizotil**, antigorit ve lizardit ile birlikte üç polimorf silika mineralinden biridir ve serpentin grubu minerallerini oluştururlar. Bu üç mineral arasındaki ana farklılık 1: 1 tabakalarının yapısından kaynaklanır. Lizarditte bu tabakalar düzlemsel; krizotilde 1: 1 tabakalar x- eksenine paralel dar tüpler şeklinde gelişen kovantrik olarak sarmal ve antigoritte 1: 1 tabakaları dalgalı-kıvrımlıdır. Ticari anlamda beyaz asbest diye tanımlanan krizotil, yaklaşık olarak tüm asbestlerin %95 ini oluşturur. Krizotil akciğerde krosidolit, amosite ve tremolite göre daha kısa süre kalır ve genellikle değişik oranlarda tremolitle birlikte bulunur. Amfibol lifleri krizotile göre çok daha kanserojendir (McDonald ve diğ., 1999; 2001). Güney Afrika'daki krizotil madeni çalışanlarında mezotelyoma görülmemesi, buradaki madenlerin Kanada'daki krizotil madenlerinde olduğu gibi büyük oranda tremolit içermemesiyle açıklanır (Rees ve diğ., 2001).

Derinlik ve başkalaşım kayaçlarının kimyasal alterasyonu sonucu oluşan **diğer tabakalı silikat minerallerinin** toprakta çok yaygın bulunanları kaolinit, montmorillonit ve vermikulittir; düşük derecede başkalaşım kayaçlarında ise talk sist, muskovit (serizit) sist ve klorit sistlerdir. Çoğu tabakalı silikat mineralleri çok küçük ( $\mu\text{m}$  seviyesinde) tane boylarındadırlar ve genellikle yapraksı dokuya sahiptirler.

**Silika grubu mineraller** içinde kuvars ve onun mikrokristalin çeşidi cort doğada en yaygın olanıdır. Kuvars hem parçalanmaya hem de kimyasal bozuşmaya karşı çok dayanıklıdır ve bu özelliği onu toprak, kum ve çakılların en önemli birleşeni yapar.

**Zeolit grubu minerallerden** sadece bazıları (natrolit, sabazit, heulantit ve stilbit) kayaç oluşturan minerallerdendir. İskelet yapısında çok fazla boşluk bulundurmaları zeolitlerin endüstride çok yoğun olarak kullanılmasına neden olur. Çoğu zeolit minerali tabakamsı, eş tane boylu veya lifsi morfoloji gösterirler. Sadece çok seyrek bulunan bazı zeolitler (rodingit, mazit, eriyonit ve mordenit) ince lifsi dokuya sahiptir ve bunların taneleri bazı durumlarda sağlık açısından tehlike yaratır. Fach ve arkadaşları çalışmalarında (2002) eriyonit ve mordeniti karşılaştırmışlar, eriyonit ve mordenit benzer fiziko-kimyasal özelliklere sahip olsalar da, eriyonitin mordenite göre çok daha fazla toksik olduğu,  $6\mu\text{g}/\text{cm}^2$  den daha fazla miktarının mutajenik risk taşıdığını ve bu riskin ferrous demirle ciddi olarak arttığını göstermişlerdir. Eriyonit dünyada çeşitli bölgelerde bulunur, fakat en ciddi sağlık tehlikesi Türkiye'de İç Anadolu'da bazı köylerde görülür (Barış, 1987).

**Mineral ve mineral tozları ile ilgili belli başlı hastalıklar:** *Asbest:* Asbest terim olarak, doğal olarak oluşmuş, dirençli ve eğilebilme özelliği olan lifsi ( $<1\mu\text{m}$  çapında) silikatlara denir (Gibbons, 1998). Bu özellikleri

nedeniyle yaklaşık 4500 yıldan bu yana işletilir ve bu durum insanların büyük oranda asbeste maruz kalmalarına neden olmuştur. Krizotil en yaygın asbest çeşididir. Bunu amosit ve krosidolit izler. Bu minerallerden ayrı, diğer bazı doğal minerallerde lifsi yapıya sahip olabilir (örneğin eriyonit gibi bazı zeolitler, vollastonit, palygorsgit [atapulgit], sepiolit), ve bunların çoğu endüstride kullanılır.

Antik çağlardan bu yana kullanılmakta olan asbest liflerinin, asıl endüstriyel kullanımı ise 1878'de Quebec' te krizotil madeninde başlamış, bunu 1910'da krosidolit madenciliği ve 1916'da Güney Afrika'da amosit madenciliği izlemiştir. Asbestle ilişkili hastalıkların ilk fark edilişi 1907'den sonradır ve 1920- 1950 arası asbest çalışanları arasında tanımlanan akciğerde fibrozis, kanser, malign mezotelyoma ile ilgili bilgiler rapor edilmiştir (Leman ve diğ. 1980). Yaygın olarak, asbest solumakla bu hastalıkların ilişkisinin kabulü ancak 1950'lerde ve 1960'larda bu çeşit vakaların asbest çalışanları arasındaki epidemiyolojik araştırmaları sonucunda mümkün olmuştur (Checkoway ve diğ. 1989). Asbestle ilgili hastalıklar asbestosis, plevral plaklar, diffüz malign mezotelyoma, ve özellikle sigara kullananlarda artan akciğer kanseri riskidir (Graighead ve diğ., 1982; Kane, 1993; Shukla ve diğ., 2003).

Çoğu maden işçisi, değirmenci, taş ocağı ve tünel gibi yerlerde çalışanlar, tarım işçileri mesleksi olarak, asbestten başka mineral tozlarına da maruz kalırlar. Bu işçiler eğer yeterli yoğunlukta ve sürede bu tozları solurlarsa, pnömokonyoz ve bazı durumlarda da malign neoplazmlar, özellikle akciğer kanseri oluşabilir.

*Silika mineralleri ve amorf silika:* kuvars (kalsedon dâhil), kristobalit, moganit, tridyemit, melanoflogit, koesit ve sistovit doğal oluşmuş kristalin silika mineralleridir ve iz miktarlarda Al, Fe, Mn, Mg, Ca, ve Na bulundurulur. Kristal olmayan silika (amorf silika), çeşitli volkanik kayalarda bulunan doğal cam ve sentetik cam (füme silika, fiber glass, mineral yünü gibi) içerir. Opal, doğal oluşan sulu silikadır; genellikle amorf ya da yaklaşık olarak amorfudur. Amorf silikadan oluşmuş tozlar (fiber glass dışında) insan sağlığı üzerinde tehlikeli değildir. Silika tozlarıyla ilişkili hastalıklar, silikosiz, silikotüberküloz ve kanserdir (Ross ve diğ. 1993).

*Kömür:* Alüminyum silikat, karbonatlar, sülfidler ve silika gibi çok sayıda değişik mineral gruplarını içerir. Kömür çeşidine, miktarına, ve mineralojik özelliklerine (metal içeriği, silika miktarı, ve silika tanelerinin killerle kaplanmış olup olmaması gibi) bağı olarak değişik sağlık sorunlarına neden olur (Finkelman ve diğ. 2002): Kömürün yakıt olarak kullanılması sonucu, özellikle Çin'de görüldüğü gibi, As, F, Se, ve Hg' nin neden olduğu sorunlar; Yeraltı sularının Pliyosen yaşlı linyitlerden toksik organik bileşikleri ayrıştırması sonucu gelişen ve Sırbistan, Romanya, Bulgaristan, Hırvatistan, Bosna ve Kosova' nın bazı

bölgelerinde görülen, bir böbrek hastalığı olan Balkan Endemik Nefropatisi (BEN); ve Kömür tozu solunması sonucu, kömür madencilerinde “Siyah akciğer hastalığı” olarak bilinen “Kömür İşçisi Pnömonyozu” ve silikozis hastalıkları gelişir. Madenciler arasında görülen mide kanseri, akciğer kanserine göre çok daha fazladır (Enterline, 1964; Rooke ve diğ., 1979; Ross ve diğ., 1993; Kuempel ve diğ., 1995).

**Jeolojik çevre:** Jeolojik çevreyi, 1) elementlerin jeolojik ortamlarda doğal olarak oluşması ile (örneğin, element eksikliği ya da fazlalığı ile ilgili olarak); 2) doğal afetler sonucu (örneğin, volkanik patlamalar, deprem, toprak kaymaları, seller) ortaya çıkan elementlerle ilişkili olmak üzere iki grupta tartışmak mümkündür.

Bölgesel element içeriği üzerinde doğrudan etkisi olan *bölge jeolojisi*, çevredeki toprak, su ve havadaki elementleri besler ve sonuçta bu durum, elementlerin yoğunluğuna ve çeşitliliğine bağlı olarak, aynı çevredeki insan, hayvan ve bitkiler üzerinde olumlu veya olumsuz etkilere neden olabilir. Günümüzde gelişmiş ülkelerde, gıdalardaki element dağılımı, çok değişik yerlerden gelen, jeokimyası tamamen farklı topraklarda yetişen gıdalar olması nedeniyle, çok çeşitlilik gösterir. Bu şekilde çok kompleks bir kaynak mekanizması olduğundan element azlığı ya da toksisiteye alınan gıdada seyrek olarak rastlanır. Ayrıca, genellikle topraktaki element dengesizliği, etkilerinin büyümesinden önce düzeltilir (Underwood, 1979; Plat ve diğ., 1998; Bowman ve diğ., 2003).

İnsan vücudunun %99’ dan fazlası oksijen, karbon, hidrojen, nitrojen, kalsiyum, ve fosfordan oluşur. Diğer pek çok element kayalarda olduğu gibi insan vücudunda da bulunur, fakat bunlar iz elementler olarak çok küçük konsantrasyonlardadır (yaklaşık 10- 100 ppm ya da daha az). Bu elementlerdeki çok az bir eksiklik bile ciddi hastalıklara neden olabildiği gibi çok az bir miktar zehirleyici olabilir. İnsan, hayvan ve bitki sağlığı; Ca, Cr, Cu, Fe, Se gibi hem çok gerekli olan, hem de As, Hg, Pb gibi toksik elementlerin alınmasını gerektirir. Bu çeşit elementler değişik konsantrasyonlarda ve formlarda atmosferde, litosferde ve hidrosferde bulunur. Gerekli her element için bütün organizmalar özel tolerans aralığına ve yeterli miktarda ve güvenli oranda bunlara almaya gereksinim duyarlar. Elementlerin konsantrasyon değerleri “doz tepkisi eğrisi” diye tanımlanan eğriyle temsil edilir ki bu, eksiklik ya da toksisite seviyelerini gösterdiği gibi, sağlık için gerekli olan elementlerin ideal miktarlarını da gösterir. Herhangi bir element için bu eğri, organizmadan organizmaya değişiklik gösterir, fakat eksiklik, ideal miktar ve toksisitenin temel prensibi aynı kalır. Örneğin, mavi-yeşil alglerin fotosentezi için gerekli olan V insanlar için çok toksiktir (Bowman, ve diğ., 2003).

*Doğal afetlerin* çeşidi sağlık üzerindeki etkilerinin boyutlarını da etkiler. Örneğin, volkanlar ve depremlerin, kul ve magmanın çıkmasıyla

canlılar üzerinde doğrudan etkisi vardır. Yer kaymalarının tetiklediği çevreye element girdisi ve elementlerin hareketliliği, toksik elementlerin miktarına ve yoğunluğuna bağlı olarak, kısa ya da uzun vadede sağlık problemlerine yol açabilir. Aynı zamanda doğrudan risk dolayı riske dönüşebilir; örneğin, volkanik kül organizmaların akciğerini doğrudan etkiler, fakat yerleşim yerinde çevreye yeni elementleri de ekleyeceği için olasılıkla gıda zinciri içine tehlikeli elementleri de sokacaktır. Volkanizma ve buna bağlı hidrotermal aktiviteler metallerin ve diğer potansiyel tehlikeli kirleticilerin yer yüzeyine çıkmasına neden olur. Açığa çıkan böyle elementlerin yıllık tahmini miktarı 9000 tondur (Hinkley ve dig., 1999). Volkanik patlamaların doğrudan etkisi solunum sistemi sorunlarından ölüme kadar her türlü etkiyi içerirken, dolaylı olarak da musonların tetiklediği yer kaymalarından toprak kirlenmesine kadar çeşitlilik gösterir.

Volkan patlamaları ve volkanik kül hem kısa dönemde hem de uzun dönemde çok ciddi akciğer sorunlarına yol açar, silikozise neden olur. Volkanik kül, volkanların kompozisyonuna ve patlamanın çeşidine göre kristobalit içerebilir. Kristalin silikaya uzun süreli maruz kalma silikozis ve malign akciğer hastalığı ile sonuçlanır (Baxter ve dig., 1999; Wakefield, 2000). Depremlerin de insan ve hayvan sağlığı üzerinde doğrudan ve özellikle medikal jeolojinin odaklandığı dolaylı etkileri vardır. Bunların çoğu depremlerin tetiklediği toprak kaymalarıyla, elementleri ve diğer potansiyel risk ajanlarını tekrar hareketlendirmesiyle olur.

**Antropojenik etkenler:** İnsanlar jeolojik çevreyi çok çeşitli nedenlerle (toprak, su, hava kirliliği, maden araması ve işletmesi, radyoaktivite gibi) bozarlar ve bunun sonucunda yeni sağlık riskleri ortaya çıkar. Bir çok çalışma hastalıkların (kardiyovasküler patoloji, malign neoplazmalar, travma, genetik anomaliler gibi) oluşumunda ve dağılımında kirlilik, kentleşme, bilimsel ve teknolojik ilerlemedeki olumsuz sonuçlarla ilişkili olduğunu göstermiştir. Yeryüzünde yaşam şartları olumsuz çevresel etkilerle (CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artış; ozon tabakasının delinmesi, dünyada çeşitli bölgelerde ciddi zarara yol açan asit yağmurları; doğal kaynakların dikkatsizce kullanımı; toprak, su, bitki ve hayvanlardaki pestisitler ve ağır metal radyonuklidlerin etkisi; ormanların yok edilmesi; erozyon ve çölleşmenin yaygınlaşması; biyo çeşitliliğin azalması gibi) sürekli bozulmaktadır. Bunların etkisi özellikle organizmaların genetik yapısında ve fizyolojik bütünlüğü üzerinde çok ciddi boyutlardadır (Komatina, 2004).

## **Elementlerin organizmaya geçiş yolları**

Vücuttaki iz elementlerin en önemli kaynağı yeryüzü, genellikle de kayaçlardır. Soluduğumuz hava da bazı elementlerin kaynağıdır. İz elementler vücut içinde çok değişik şekillerde kendilerine yol bulurlar ve bu yol boyunca iz element konsantrasyonu tekrar şekillenir. Kayaçlar bozularak toprağa dönüşürken çoğunlukla bazı kimyasal bileşenlerini kaybederler bazen de kazanırlar. Toprak ayrışma ile bazı elementlerini kaybederken tarımsal kimyasallar ve kirleticiler eklenebilir. Ekinler büyümeleri için gerekli olan elementleri seçerek topraktan alırlar; hayvanlarsa beslenmek için seçtikleri bitkiler aracılığıyla bu seçimden etkilenir. Yiyeceklerimizin daha sonraki işleme ve depolama yöntemleri de ayrıca bunların kompozisyonunda değişikliklere neden olur. İçtiğimiz suyun içindeki iz elementler de kayaçlardan ve topraktan ayrılmışlardır. Aynı zamanda da kirlenmiş olabilir ya da kimyasal olarak biz içmeden önce işlem görmüş olabilir.

## **Medikal jeolojide kullanılan bazı teknikler**

Özellikle batı Avrupa ülkelerinde bazı önemli hastalık grupları (kanseler, merkezi sinir sistemi ile ilişkili hastalıklar ve kardiyovasküler hastalıklar) haritalanmış, genetik özelliklerle veya genetik ya da diyetle bağlı farklılıklarla kolaylıkla açıklanamayan ve bölgeden bölgeye çok büyük değişiklikler gösteren hastalıklar rapor edilmiştir. Haritalamadaki yaklaşım su hipoteze bağlıdır: eğer çevresel ilişki bir bölgede pozitif ise bununla jeolojik olarak benzer başka bir yerde de pozitif olması beklenir. Eğer değilse neden olmadığı araştırılmalıdır (Davies ve diğ., 2005).

Günümüzde, coğrafi bilgi sistemleri (GIS), uzaktan algılama (Remote Sensing) uyduları ve diğer teknikler bilim adamlarına hastalıkların coğrafik ilişkisi ile hastalıkların oluşumu, hastalık ajanlarının değişik vektörleri, popülasyon içindeki oluşumu gibi konular arasındaki ilişkiyi açıklıkla görmelerinde birer araçtır. (Aronoff, 1989). Veritabanları arasında özellikle medikal jeoloji araştırmacılarının kullanabileceği veri çeşitleri, yerbilimleri/ yerle ilişkili veriler ve biyomedikal/sağlıkla ilişkili verilerdir. Bu tür bir araştırma medikal jeolojinin çok farklı, yenilikçi bir bilim dalı olmasını sağlar. Bu yaklaşım, daha önce fark edilmemiş olabilen, çevresel faktörlerle insan sağlığı ile ilgili bilgiler arasındaki bağlantıyı fark ederek yeni bakış açıları sunmaya yol açar ve sonunda yeni uygulamalara ve politikalara dönüşebilir, problemlerin çözümünde yeni yöntemlerin bulunmasına neden olabilir.

## Tehlikeli elementlerle çevresel etkileşime örnekler

Bazı elementler ve minerallerle ilişkili olarak, Türkiye’de çeşitli bölgelerde tehlikeli sonuçlar doğuran ya da ciddi sağlık riskleri taşıyan bölgelere ait çok sayıda örnek vardır (Atabey, 2005). Burada bunlardan bazıları medikal jeoloji çalışmalarının özellikle gelişmekte olan ülkeler ve Türkiye için ne kadar büyük bir önem taşıdığını vurgulaması açısından verilecektir.

Kütahya Emet civarında önemli bir bor rezervi ve işletmesi bulunmaktadır ve bölge jeolojisini oluşturan tüfler, tüfitler, kireçtaşları ve killerde yüksek oranda bor, arsenik, kükürt ve stronsiyum bulunmaktadır (Helvacı & Firman, 1977; Helvacı, 1986). Kullanılan sular Emet ilçe merkezine yıllarca arsenikçe zengin bir jeolojik yapıdan getirilmiştir. Bor yatağına çok yakın bir başka köyde de içme suyu hala arsenikçe zengin kayalardan elde edilmekte olup köy halkında el ayası ve ayak tabanlarındaki deri bozukluğu (keratozis) gözlemlenmiştir (Barış, 2003c).

Konya Sızma’ da terkedilmiş bir madenden sızan sular, yüzey ve yeraltı sularında demir, bakır, arsenik, cıva ve sülfat kirlenmesine neden olmuştur. Ağır metal kirliliği bölgedeki olağan dışı hayvan ölümlerine ve ayrıca köylülerde görülen duyma, körlük gibi sorunlara neden olmuş olabilir (Güzel ve diğ., 1998)

Türkiye’de Eskişehir Beylikova Kızılcaören köyü, Uşak Esme Güllü köyü, Isparta, ve Tendürek volkanı çevresi su alanları yüksek oranda flor içeren bölgelerdir (Atabey, 2005). Isparta’daki yaygın olarak görülen dişlerdeki lekeli yapıya sulardaki flor neden olur. Ancak 1995 yılından bu yana şehir merkezine gelen içme suyunun kaynağı değiştirilmiş ve Eğridir gölünden getirilmeye başlanmıştır (Oruç, 1983).

Sağlık Bakanlığına göre Türkiye’nin batı bölgelerinde hafif, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerine doğru gittikçe artan iyot eksikliği görülür. İyot eksikliği tiroid bezlerini etkileyerek hipotiroid (guatr) hastalığına neden olur, daha ileri aşaması ise kretinizmdir ve fiziksel ve zihinsel gerilik, sağırılık, dilsizlik gibi belirtiler gösterir (Atabey, 2005).

Tuz Gölü’ nde yapılan kimyasal analizlerde evsel ve endüstriyel atıklardan oluşan biyolojik kirlilik oluşmuş ve limitlerin üstündeki değerlerde nitrit, amonyum, fosfat ölçülmüştür (Atabey, 2005).

Türkiye genelinde derlenen analizlerin sonuçlarına göre Tersiyer yaşlı kömürlerde As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Se, Tl, U ve V dünya ortalamalarının üzerinde bulunmuştur (Tuncali ve diğ., 2002).

Lifsi minerallerin neden olduğu sorunlarla ilgili olarak, dünyada milyonda bir görünen mezotelyoma Türkiye’de özellikle bazı yörelerde (Tuzköy, Karain, Sarıhıdır) bin kat fazla görülmektedir. Bazı durumlarda plevral ve peritoneal mezotelyoma ile birlikte lenfoma, karaciğer kanseri, kemik sarkomu gibi mezotelyoma dışı tümörlerde görülmektedir (Barış,

2002, 2003a). Araştırmalar, kanser oluşmasındaki etkili faktörün eriyonit olduğunu gösterirken bununla birlikte genetik yatkınlığında etkili olabileceği belirtilir (Barış, 2003a).

### **Sonuçlar**

Medikal jeoloji insan ve hayvanların içinde bulunduğu doğal ve antropojenik çevreyi ve içinde bulunulan çevreyle ilişkili olabilecek sağlık sorunları arasındaki ilişkiyi anlamaya ve sorunları çözmeye çalışır. Medikal jeoloji tüm yer küreyi inceler ve ekosistem sağlığı ile ilgilenir. Günümüzde doğal evre ve sağlık arasındaki ilişki tüm dünyada kabul edilmiş durumdadır. Bölgesel jeolojiye bağlı insan ve hayvanlardaki sağlık sorunları hemen her kıtada görölür ve bu Bangladeş'te yeraltı suyundaki arsenik kirliliğinden Kanada'da sığırıldaki molibdenozis' e kadar çeşitlilik gösterir.

Medikal jeoloji çalışması iz elementlerin varlığı ya da yokluğunu inceler. Jeokimyasal verilerle hastalık dağılımı arasındaki uygunluk, bu ikisinin birbiriyle çok yakından ilişkili olduğunu gösterir. Belli hastalıkların oluşmasındaki sıklık bölgeden bölgeye değişir; bazı yerlerde çok yaygınken bir başka yerde olmayabilir. Medikal jeologlar bundan böyle çevresel faktörlerin ve hastalıkların bölgesel çakışmalarına dikkat çekmenin de ilerisine geçebilirler. Sürekli gelişen hesaplama yöntemleri ve kapasiteyle, çok gelişmiş istatistiksel yöntemler GIS' le birleştirilip, değişik metodların avantajları kullanılabilir ve yeni uygulamalar ve politikalarla sağlık sorunlarının çözümünde yeni yöntemlerin bulunması sağlanabilir.

### **Kaynaklar:**

1. Aronoff, S. 1989. Geographic information systems: a management perspective. WDL Publications, Ottawa, Canada.
2. Atabey, E. 2005. Tıbbi Jeoloji. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 88, 194s.
3. Barış, Y.I. 1987. Asbestos eriyonit related chest diseaes. Semih Ofset Matbaacılık Ltd. Ankara, Turkey, 169s.
4. Barış, Y.I. 2002. Türkiye'de asbest ve fibröz zeolit (eriyonit) ile ilgili akciğer hastalıkları. In: "Beslenme, evre ve Kanser Sempozyumu Bildiri özetleri", 31 Mart-3 Nisan, Ankara, 22-23.
5. Barış, Y.I., 2003b. "Anne bana kerpeteni getir" Anadolu'nun bilinmeyen akciğer ve karın zar kanseri. Bilimsel Tıp Yayınvevi, Ankara, 224s.
6. Barış, Y.I., 2003a. Let's this doctor as a hostage. Design and Production Amazon AB. Printed in Sweden , April, 2003. 128s.
7. Baxter, P.J., Bonadonna, C., Dupree, R., Hards, V.L., Kohn, S.C., Murphy M.D., Nichols, A., Nicholson, R.A., Norton, G., Searle, A., Sparks, R.S. & Vickers, B.P., 1999. Cristobalite in volcanic ash of the Soufriere Hills Volcano, Montserrat, British West Indies. Science, 283, 1142- 1145.

8. Bowman, C.A. Bobrowsky, P.T. & Selinus, O. 2003. Medical geology: new relevance in the earth sciences. *Episodes*, 270- 278.
9. Checkoway, H., Pearce, N. & Crawford-Brown, D.J., 1989. Research methods in occupational epidemiology. Oxford univ. Press., New York, 3-17, 46-71.
10. Craighead, J.E. Abraham, J.L., Churg, A., Green, F.H.Y., Kleinerman, J., Pratt, P.C., Seemayer, T.A., Vallayathan, V. & Weill, H., 1982. The pathology of asbestos-associated diseases of the lungs and pleural cavities: diagnostic criteria and proposed grading schema. *Arch. Pathol. Lab. Med.*, 106, 544-596.
11. Davies, B.E. Bowman, C., Davies, T.C. & Selinus, O., 2005. Medical geology: perspectives and prospects. In: "Essentials of Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health", O. Selinus, B. Alloway, J.A. Centeno, R.B. Finkelman, R. Fuge, U. Lindh & P. Smedley (Eds.), Elsevier, London, Paris, 1- 14.
12. Eaton, D.L. & Robertson, W.O., 1994. Toxicology. In: "Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine", L. Rosenstick & M.R. Cullen (Eds.), W.B. Saunders Company, 116- 117.
13. Enterline, P.E. 1964. Mortality rates among coal miners. *Am. J. Publ. Health*, 54, 758-771.
14. Fach, E. Kristovich, R., Long, J.F., Waldman, W.J., Dutta, P.K. & Williams, M.V., 2002. The effect of iron on the biological activities of erionite and mordenite. *Environ. International*, 1037, 1- 8.
15. Fergusson, J.E. 1990. The Heavy Elements: chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press, 614s.
16. Foster, H.D. 2002. The geography of disease family trees: the case of selenium. In: "Geoenvironmental Mapping: Methods, theory and practice", P.T. Bobrowsky (Ed), A.A. Balkema, 497- 529.
17. Finkelman, R.B. Skinner, H.C.W. Plumlee, G.S. & Bunnell, J.E, 2001. Medical Geology. *Geotimes*, 20- 23.
18. Finkelman, R.B., Orem, W., Castranova, V., Tatu, C.A., Belkin, H.E., Zheng, B., Lerch, H.E., Maharaj, S.V. & Bates, A.L., 2002. Health impacts of coal and coal use: possible solutions. *Intern. J. Coal Geol.*, 50, 425-443.
19. Gibbons, W., 1998. The exploitation and environmental legacy of amphibole asbestos: a late 20th century overview. *Environ. Geochem. Health*, 20, 213-230.
20. Gibbons, W., 2000. Amphibole asbestos in Africa and Australia: geology, health hazard and mining legacy. *J. Geol. Soc., London*, 157, 851-858.
21. Güzel, A., Nalbantçılar, M.T., Yıldırım, O.S., Murathan, A. & Gökay, M.K., 1980. Contamination around abandoned Sızma (Turkey) mercury mine. In: "1. International Workshop on Environmental Quality and Environmental Engineering in the Middle east Region", Bahadır & Burdurlu (Eds), Konya, 601- 608.
22. Helvacı, C., 1986. Stratigraphic and structural evaluation of the Emet borate deposits, Western Anatolia. Dokuzeylül Univ. Faculty of Eng. & Architecture Research papers, MM/JEO- 86 AR.008.
23. Helvacı, C. & Firman, R.J., 1977. Emet borat yataklarının jeolojik konumu ve mineralojisi. *Jeoloji Mühendisliği*, 2.
24. Hinkley, T.K., Lamothe, P.J., Wilson, S.A., Finnegan, D.L. & Gerlach, T.M., 1999. Metal emission from Kilauea, and suggested revision of the estimated worldwide metal output by quiescent degassing of volcanoes. *Earth Planet. Lett.*, 170, 315-325.
25. Hong, S., Candelone, J.P., Patterson, C.C. & Boutron, C.F., 1994. Greenland ice evidence of hemisphere lead pollution two millennia ago by Greek and Roman civilizations. *Science*, 1841- 1843.
26. [http:// www.medicalgeology.org/PDF/MedGeo.pdf](http://www.medicalgeology.org/PDF/MedGeo.pdf).
27. Jr. Guthrie, G.D. , 1993. Mineral characterization in biological studies. In: "health Effects of Mineral Dusts", Mineralogical Society of America, 28, 251- 273.

28. Jr. Guthrie, G.D. & Mossman, V.B.T., 1993. Merging the geological and biological sciences: an integrated approach to the study of mineral-induced pulmonary diseases. In: "health Effects of Mineral Dusts", Mineralogical Society of America, 28, 1- 5.
29. Komatina, M.M., 2004. Medical Geology: Effects of geological environments on human health. Serbian Geological Society, Belgrad, Paris, Oxford, 488s.
30. Kane, A.B., 1993. Epidemiology and pathology of asbestos-related diseases. In: "Health Effects of Mineral Dusts", Mineralogical Society of America, 28, 347- 359.
31. Klein, C., 1993. Rocks, minerals and a dusty world. In: "health Effects of Mineral Dusts", Mineralogical Society of America, 28, 7-59..
32. Kuempel, E.D., Stayner, L.T., Attfield, M.D. & Bruncher, C.R., 1995. Exposure response analysis of mortality among coal miners in the United States. *Am. J. Ind. Med.*, 28, 167-184.
33. Lag, J., 1990. General survey of geomedicine. In: "Geomedicine", J. Lag (Ed), CRC Press, 1-24s.
34. Lemen, R.A., Dement, J.M. & wagoner, J.K., 1980. Epidemiology of asbestos-related diseases. *Environ. Health Perp.*, 34, 1-11.
35. Liang, Y.X., Fu, H. & Gu, X.Q., 1998. Asian-Pacific Newsletter, 2, [www.occuphealth.fi/info/asian/ap298/Liang&Gu.htm](http://www.occuphealth.fi/info/asian/ap298/Liang&Gu.htm).
36. McDonald, J.C., McDonald, A.D. & Hughes, J.M., 1999. Chrysotile, tremolite and fibrogenicity. *Ann. Occup. Hyg.*, 43/7, 439-442.
37. McDonald, Amstrong, B.G., Edwards, C.W., Gibbs, A.R., Lloyd, H.M., Pooley, F.D., Ross, D.J. & Rudd, R.M., 2001. Case-referent survey of young adults with mesothelioma: I. Ling fibre analyses. *Ann. Occup. Hyg.*, 45/7, 513-518.
38. Nriagu, J.O., 1983. Lead exposure and lead poisoning, in lead and lead poisoning in Antiquity. John Willey & Sons, 309- 424.
39. Oruç, N., 1983. Doğu Beyazıt yöresinde bazı su kaynaklarında spektrometrik ve potentiometrik yöntemlerle florür miktarlarının araştırılması. *Doğa ve Çevre Bilim Dergisi*, 7.
40. Plant, J., Baldock, J., Haslam, H. & Smith, B., 1998. The role of geochemistry in environmental and epidemiological studies in developing countries. *Episodes*, 21, 19-27.
41. Rees, D., Phillips, J.I., Garton, E. & Pooley, F.D., 2001. Asbestos lung fibre concentrations in south African chrysotile mine workers. *Ann. Occup. Hyg.*, 45/6, 473-477.
42. Rooke, G.B., Ward, F.G., Dempsey, A.N., Dowler, J.B. & Whitaker, C.J., 1979. Carcinoma of the lung in Lancashire coal miners. *Thorax*, 34, 229- 233.
43. Ross, M., Nolan, R.P., Langer, A.M. & Cooper, W.C., 1993. Health effects of mineral dusts other than asbestos. In: "health Effects of Mineral Dusts", Mineralogical Society of America, 28, 360- 407.
44. Selinus, O., 2002. Medical geology: Method, theory and practice. In: "Geoenvironmental Mapping: Methods, theory and practice", P.T. Bobrowsky (Ed), A.A. Balkema, 473- 496.
45. Shukla, A., Gulumian, M., Hei, T.K., Kamp, D., Rahman, Q. & Mossman, B.T., 2003. Serial review: role of reactive oxygen and nitrogen species (ROS/RNS) in lung injury and diseases. *Free Radical Biology & Medicine*, 34/9, 1117- 1129.
46. Tuncali, E. Çiftçi, B. Yavuz, N., Toprak, S., Köker, A., Gencer, Z., Aycık, H. & Şahin, N., 2002. Türkiye tersiyer kömürlerinin kimyasal ve teknolojik özellikleri. MTA Yayınları, 401s.
47. Underwood, E.J., 1979. Trace elements and health: an overview. *Phil.Trans.*, Royal Society of London, 288, 5-14.
48. Wakefield, J. 2000. An eruption of Silicosis. *Environ. Health Perspectives*, 108, A300.

