

ZEOLİTLER

M. Bahadır ŞAHİN*

1. GENEL BİLGİLER

“Zeolit nedir?” sorusunu sormak cevabını vermekten çok daha kolaydır (Eyde, 1978). Zeolit kelimesi ilk kez İsveçli bir mineralog olan Cronstedt tarafından 1756’da boraks incisi testi⁽¹⁾ (borax bead test) uygulanmış, belirli silikat minerallerinin davranışlarını ifade etmek amacıyla kullanılmıştır (eski Yunan’da; zeo: kaynama, lithos: kaya, zeolithos: kaynayan taş) (Coombs vd., 1998).

Zeolitler, çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle endüstriyel hammadde kaynakları içerisinde kullanım alanları hızla yaygınlaşan, son yıllarda teknolojik gelişmelerin paralelinde ileri teknoloji ürünlerinin

üretiminde de önemli bir yer kazanan, ekonomik değere sahip mineral türleridir. Bir zeolit minerali, üç boyutlu kafes yapısına sahip kristalin halde bulunan bir alüminosilikat olarak tanımlanabilir. Bu kafes yapısı ile zeolit mineralinde moleküler çapta eş boyutlu gözenekler oluşmakta ve olağanüstü bir yüzey alanı ortaya çıkmaktadır (Cejka vd., 2007). Gözenekli yapı ve geniş yüzey alanına sahip üç boyutlu bu kafes yapısı zeolit minerallerine teknolojik ve ticari önem kazandıran özelliklerin başında gelmektedir.

Zeolit mineralleri, magmatik kayaların ve çoğunlukla da bazaltların boşluk, kırık ya da çatlaklarında dolgu şeklinde bulunabilmekte, çeşitli türden sedimanter kayalar ile düşük dereceli metamorfik kaya türlerinde ise kayayı oluşturan mineral bileşenleri arasında yer alabilmektedir. Bazaltlarda gözlenen zeolit mineralleri müzelerde sergilenecek kadar iri boyutlara ulaşabilirken (Şekil 1), özellikle sedimanter kökenli zeolit mineralleri çok ince taneli ve sadece mikroskop altında gözlene-



Şekil 1- Bazalt içindeki boşlukta gelişmiş stilbit kristalleri (Japonya).

*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı

(¹) Boraks incisi testi (borax bead test): Boraks renksiz kristaller halinde bulunan katı bir bileşiktir. Yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldığında kabarak beyaz köpüklü bir kütle, soğuyunca da renksiz, camsı bir katıya dönüşür. Tuzlardaki bazı metallerin varlığını belirlemek için laboratuvarlarda “boraks incisi” deneyi yapılır. Bu deneyde, çözümlenecek olan tuz öğütülmüş boraksla karıştırılır; platin telden yapılmış bir halka bu karışıma daldırılarak aleve tutulduğunda, halkanın içinde inci tanesi gibi camlaşmış, küçük bir boraks boncuğu oluşur. Bu boncuğun rengi tuzda hangi metalin bulunduğunu gösterir. Örneğin kobalt tuzları boraks incisini koyu maviye, krom tuzları ise yeşile boyar. Boraks eritildiği zaman metal oksitleriyle birleştiği için, kaynak ya da lehim yapılacak metallerin yüzeyindeki oksit katmanını temizlemek amacıyla da kullanılır (<http://www.nuveforum.net/1716-genel-kultur-b/64161-bor-boraks/>).

bilen boyutlarda (Şekil 2) bulunmaktadır (Hay ve Sheppard, 2001).

Kullanım alanlarına bakıldığında, uzay teknolojisi, madencilik ve metalürji, çeşitli enerji üretim ve tüketim aşamaları, sağlık ve inşaat sektörleri ile tarım ve hayvancılık, kağıt sanayi, deterjan sanayi ve kirlilik kontrolü gibi alanlarda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Özellikle radyoaktif maddelerin arıtılmasındaki kabiliyetlerinden dolayı nükleer enerji santralleri ve diğer nükleer uygulama alanlarında ciddi bir öneme sahip olan hammadde kaynakları olarak da değerlendirilmektedir.

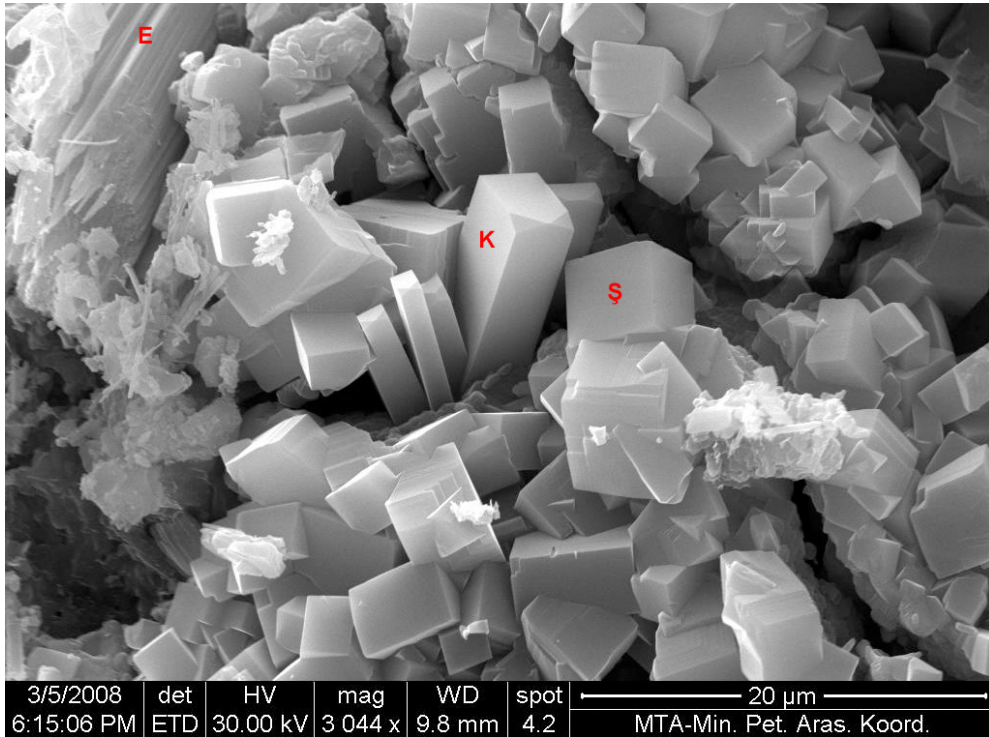
Çevresel kaygıların gündemde olduğu günümüzde, karşılaşılan çevre sorunları ve gelecekte de ortaya çıkabilecek olumsuz çevresel etkilerin önlenmesi yönünde çözümler aranırken, zeolitlerin bu arayışlara çare olabilecek doğanın sunduğu en elverişli malzemeler olduğu anlaşılmaktadır. İçme sularından soluduğumuz havaya kadar birçok yaşamsal ortamın kirlilik tehdidi altında oldu-

ğu günümüzde, özellikle enerji üretiminde ortaya çıkan çevresel etki ya da risklerin en aza indirilmesi amacıyla çözümler aranmaktadır. Düz mantıkla bakıldığında çevresel sorunların çözüm yolunun faaliyetlerin durdurulması olabileceği düşünülebilir. Ancak, bu durumun mühendislik misyonuyla bağdaşmayacağı da son derece açıktır. Bu bağlamda mühendisliğin çözüm üretme sanatı olduğu dikkate alınmalı, çevresel etkileri en aza indirebilecek ya da bütünüyle ortadan kaldıracabilecek çareler aranmalı, tasarlanmalı ve uygulamaya geçirilmelidir.

Zeolitlerin çözüm arayışlarındaki yeri ve önemi, kristal yapıları ile sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, doğayı koruma amacına yönelik olarak geliştirilmeye çalışılan çevre teknolojisi uygulamalarına son derece elverişli olmasından kaynaklanmaktadır.

2. DOĞAL ZEOLİTLERİN KRİSTAL YAPILARI

Zeolit mineralleri için Coombs vd. (1998)



Şekil 2- Taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında incelenebilen mikron boyutundaki şabazit (Ş), klinoptilolit (K) ve eriyonit (E) mineralleri (Akviraçarsak Köyü şabazit sahası, Bala-Ankara).

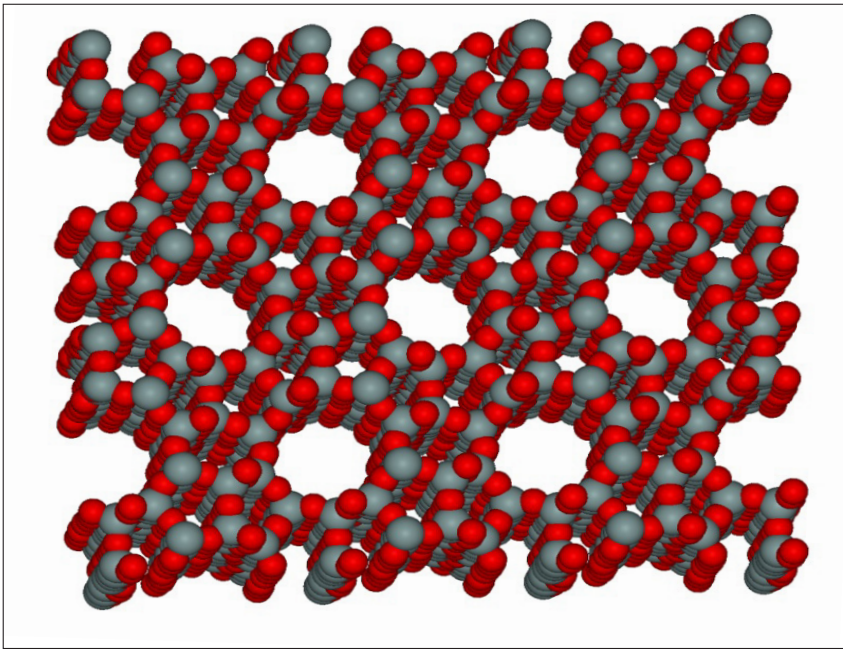
tarafından önerilen sınıflamaya göre 82 farklı zeolit türünün varlığı kabul edilmektedir. Jeolojik olarak diğer silikat mineralleri gibi bol ve yaygın olarak bulunmalarına karşın, diğer mineral gruplarına göre çok daha ilginç kristal yapılarına sahip oldukları görülmektedir (Armbruster ve Gunter, 2001).

Zeolitlerin anlaşılmasında büyük önem taşıyan ilkelerden birincisi “yük dengesinin sürdürülebilir olması (yani, kimyasal formüldeki iyon yüklerinin formal değerlikleri toplamının sıfıra eşit olması)”, ikincisi ise “oluşum koşulları altında duraylı bir yapının meydana gelmesi için atomların birbirine geçmesi ya da birbiriyle uyumlu olmasıdır”. Zeolitler, suyun (H₂O) varlığına bağlı olarak düşük basınç ve sıcaklıklarda oluşur, boşluklu-kanallı bir yapı kazanır. Diğer silikat minerallerine göre çok daha açıklıklı bir kafes yapısı ve buna bağlı olarak da daha düşük bir yoğunluk meydana gelmiş olur (Armbruster ve Gunter, 2001). Kuvars, feldispatlar ve zeolitler tetrahedral (dört yüzlü) kafes yapıları olarak sınıflandırılır. Her bir TO₄ dörtyüzlüsü (tetrahedronu) [burada T çoğunlukla silisyum (Si) ve alüminyumdur (Al)] her oksijeni (O) bitişindeki diğer tetrahedron ile paylaşır. Zeolitlerin kimyasal

formüllerinde de feldispatlara benzer şekilde, T'nin oksijene (O) 1/2 oranı korunmuş olmalıdır (tamamlanmamış kafesler hariç). Silisyumun (Si) yerine daha fazla alüminyumun (Al) geçmesi durumunda ortaya çıkan büyük ölçüdeki yük eksikliği, yapıya giren katyonlar tarafından karşılanmış olmalıdır (Armbruster ve Gunter, 2001).

Bir alüminosilikat kafesi, $[Al_{nx}Si_{(4-x)}O_{8n}]^{nx-}$ genel formülüne sahiptir. Burada birim hücreyi doldurmak için gereken temel yapı birimi “n” bazen birden büyük olabilir. Sözü edilen bu tetrahedral yapılar, yük dengesi için giren ve kanal ya da ek yapı (extraframework) olarak adlandırılan katyonların içine doğru kanallar, boşluklar ya da kafeslerden oluşur (Armbruster ve Gunter, 2001) (Şekil 3).

Gözenekler, çapı çok büyük olan moleküller dışında kalan diğer molekülleri yüzeylerinde tutar (absorbtion) ya da emer (adsorbition). Bu moleküller gözeneklerin içini güvenli bir şekilde doldurarak, moleküler çapta elektrik olarak davranan zeolitlerde moleküler eleklerin bir alt dizisini oluşturur (Cejka vd., 2007). Kristalin silika (SiO₂) kafesi sayesinde önemli bir dayanıma sahip olan tetrahedral bir zeolit



Şekil 3- Çok sayıda kanal, boşluk ve kafeslerden oluşan bir zeolit tetrahedral yapısı. (<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/Zeolite-ZSM-5-3D-vdW.png>)

oldukça rijid ve duraylıdır (Cejka vd., 2007) (Armbruster ve Gunter, 2001). Bazı durumlarda kafesteki Al^{+3} ile Si^{+4} yer değiştirmiş olabilir. Bu durumda, kafes negatif bir yük taşıyabilmekte ve boşluklar içerisinde yerleşen, gevşek halde tutulmuş katyonlar zeolitinin elektriksel olarak nötr halini (elektronötrallite) korumaktadır. Bu katyonların bazıları katyon değişimine uygundur ve bu sayede zeolitler poler moleküllerin adsorbe edilmesini tersine çevirebilme özelliği de kazanır. Bu özellikler zeolitlerin ticari değer kazanmasına oldukça önemli katkılar sağlamaktadır (Cejka vd., 2007).

3. KRİSTAL YAPISI TEMELİNDE ZEOLİT TANIMI

Yukarıda değinilen bu kafes veya yapı tanımları oldukça karmaşık gibi görünmesine rağmen, bir zeolit mineralinin tanımlanmasında gerekli olan özelliklerdir. Coombs vd. (1998) tarafından yapılan tanımlamaya göre;

“Bir zeolit minerali, bir katyon etrafında dört oksijen atomunun yer aldığı dörtyüzlülerin (tetrahedr) bağlanmasıyla meydana gelen kafes yapı özelliğindeki kristalin bir maddedir. Bu yapı sistemi, kafesler ve kanalların oluşturduğu açık boşluklara sahiptir. Bu boşluklar genellikle su molekülleri ve ilave yapı katyonları tarafından doldurulmuş halde bulunurken, bunların değiştirilebilmesi de çoğunlukla mümkün olabilmektedir. Kanallar misafir türlerin geçişine izin verebilecek kadar yeterli genişliğe sahiptir. Sulu fazlarda, dehidratasyon ya da su kaybı çoğunlukla 400 °C'nin altında gerçekleşir ve genellikle geri dönüşümlüdür. Yapı sisteminin OH, F grupları tarafından kesilmiş olması durumunda, bunlar tetrahedronun tepe noktasında (apeks) yer alır ve diğer bir dörtyüzlü (tetrahedr) ile paylaşılmaz.”

4. ZEOLİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Zeolitler için güncel olarak kullanılan üç ayrı sınıflama söz konusudur. Bunlardan ikisi özel olarak tanımlanan “kristal yapı görünüşü” temeline dayanırken, çok daha tarihsel bir temele sahip olan üçüncü sınıflamaya

göre, benzer özelliklere (morfoloji gibi) sahip olan zeolitler benzer gruplar içinde yer alır. Çünkü bir mineralin fiziksel özellikleri onun kristal yapısıyla ilgilidir ve bu üçüncü yöntem de dolaylı olarak zeolitinin kristal yapısını esas almaktadır (Armbruster ve Gunter, 2001).

Zeolitlerin yapısal sınıflamalarından ilki, üç harften oluşan bir kod alan belirli kafesler ile kafes topolojisi temeline dayanır (çizelge 1; Meier vd., 1996). Örneğin klinoptilolit ve höylandit mineralleri özdeştir ve kafes kodu her iki zeolit için de “HEU” olarak verilmiştir. Höylandit minerali klinoptilolitten daha önce adlandırılmış olduğundan bu adlamada da höylandite öncelik verilmiştir. Natrolit, mezolit, skolesit ve gonardit mineralleri özdeş mineraller olup, bu dört minerali tanımlamak için “NAT” kullanılmaktadır. Burada da natrolit minerali grup içerisinde ilk olarak keşfedilen mineraldir ve grubun adlamasında rumuz olarak kullanılmıştır. Kanal dolgularının değişebilir olması nedeniyle sınıflamanın kafes topolojisi temeline dayanması mantıklıdır. Bu türden bir sınıflama şeması, katyon değişimi ve sentetik zeolitlerle ilgilenen araştırmacılar için oldukça kullanışlı olabilmektedir. Ancak bu şekilde bir kodlamanın güncel mineral isimleriyle (Meier vd. 1996) karıştırılmaması gerekmekte olup, jeologların zeolit minerallerini adlandırmaları için kullanılması uygun değildir (Armbruster ve Gunter, 2001).

Zeolitlerin sınıflandırılması için kullanılan ikinci yöntemde “ikincil yapı birimleri [secondary building units (SBU)]” olarak adlandırılan bir kavram temel alınmaktadır. Zeolitler için birincil yapı birimi dörtyüzlüdür (tetrahedron). SBU'lar ise dört yüzlünün (tetrahedrin) geometrik olarak düzenlenmiş halidir. Silikat minerallerinde dört yüzlü (tetrahedr), halkalar, zincirler, levhalar veya kafesler şeklinde dizilmiş olabilir. Buradan hareketle, silikat minerallerinde her bir ikincil yapı birimi (SBU) göz önünde bulundurulur. Ancak bu türden bir basitleştirme, silikat minerallerinin SBU modelinde dikkate alınmayan, çoğunlukla ilave çokyüzlü (polyhedral) birimlerin bulunması nedeniyle uygun değildir. Zeolitlerdeki tetrahedr gruplaması kafes yapısında ortaya

Çizelge 1- Zeolitler için kafes kodları ve ortak mineral isimleri (Meier vd. 1996)

ANA (ammonioleucite, analcime, hsianghualite, leucite, pollucite, wairakite)	MAZ (mazzite)
BEA (tschernichite)	MER (merlinoite)
BIK (bikitaite)	MFI (mutinaite)
BOG (boggsite)	MON (montesommaite)
BRE (brewsterite)	MOR (mordenite)
CHA (chabazite, willhendersonite)	-MOR (maricopaite)
-CHI (chiavennite)	NAT(gonnardite, mesolite, natrolite, parnatrolite, scolecite)
DAC (dachiardite)	NES (gottardiite)
EAB (bellbergite)	OFF (offretite)
EDI (edingtonite, kalborsite)	-PAR (parthéite)
EPI (epistilbite)	PAU (paulingite)
ERI (erionite)	PHI (harmotome, phillipsite)
FAU (faujasite)	RHO (pahasapaite)
FER (ferrierite)	-RON (roggianite)
GIS (amicite, garronite, gismondine, gobbsite)	STI (barrerite, stellerite, stilbite)
GME (gmelinite)	TSC (tschörtnerte)
GOO (goosecreekite)	TER (terranovalite)
HEU (clinoptilolite, heulandite)	THO (thomsonite)
LAU (laumontite)	VSV (gaultite)
LEV (levyne)	WEI (weinebeneite)
LOV (lovdarite)	YUG (yugawaralite)
LTL (perliaite)	no framework code (cowlesite, tvedalite)

çıkarak ve daha sıklıkla da SBU'lar zeolitin morfolojisini kontrol etmeye yöneliktir (Armbruster ve Gunter, 2001). Breck (1974) tarafından SBU geometrisi temeline dayanan 7 ayrı zeolit grubu tanımlanmıştır (çizelge 2).

Örneğin Meier vd. (1996) sınıflamasındaki NAT yapıları Breck (1974) tarafından bir T_5O_{10} SBU'su ile Grup 5'e dahil edilmiştir. Bu grubun en etkili kristalografik bileşeni c eksenine paralel tetrahedr zincirlerine bağlıdır ve bu durum grupta yer alan minerallerin morfolojik olarak c eksenine paralel büyümesine ve bazen lifsi bir görünüm kazanmasına neden olur. Grup 7 zeolitleri ($T_{10}O_{20}$) ise höylandit (HEU), klinoptilolit (HEU), stilbit (STI) ve brewsterit (BRE) gibi levhamsı yassı mineralleri içermektedir. Bu minerallerin biçimleri, sahip oldukları kanallar ve SBU'larının oryantasyonu ya da konumlanmasıyla açıklanabilir. Örneğin höylandit minerali c eksenine paralel kanallara sahiptir ve mineral (010) boyunca çok kolay kırılabilir ya da mükemmel bir şekilde levhalara ayrılabilir. Dolayısıyla mineralin kristal yapısı kadar, mineralin dış görünümünün anlaşılmasında SBU'lar da yardımcı ola-

bilmektedir (Armbruster ve Gunter, 2001).

Genel anlamdaki üçüncü sınıflama şeması SBU'ya benzer olup, geçmişte keşfedilmiş ve adlandırılmış zeolitleri de kapsamaktadır. Zeolit grup isimlerinin bir kombinasyonunu kullanan bu şema, birçok jeolog tarafından yaygın olarak kullanılan özel SBU'lara sahiptir. Bu şema Gottardi ve Galli (1985) tarafından hazırlanan sınıflama şemasıdır (çizelge 3). Zeolit araştırmalarına yeni başlayanlar için bu türden sınıflamalar oldukça karmaşık gelebilmektedir. Her şema belirli bilim insanları tarafından kullanılmakta, yapı kodları ve SBU'lar hem kristalografya ve hem de mineralogların büyük çoğunluğu için çok daha kullanışlı olabilmektedir (Armbruster ve Gunter, 2001).

5. ZEOLİTLERİN KİMYASAL YAPILARI

Bir zeolitin genel formülü $M_xD_y[Al]_{x+2y}Si_{n-(x+2y)}O_{2n+m}H_2O$ olarak ifade edilmekte, M tek değerlikli ve D ise çift değerlikli katyonlardan oluşmaktadır. Bu formül, Lowenstein kuralı ($Si \geq Al$) geçerli olmak kaydıyla, geniş bir kimyasal çeşitliliğe izin verebilmektedir. Kimyasal bileşimdeki çeşitlilikten dolayı, ze-

Çizelge 2- Breck (1974) tarafından geliştirilen ve SBU temeline dayanan zeolit sınıflaması

<p>Group 1 (S4R - single 4-ring) analcime harmotome phillipsite gismondine paulingite laumontite yugawaralite (P)</p> <p>Group 2 (S6R - single 6-ring) erionite offretite levynite sodalite hydrate (T, omega, losod)</p> <p>Group 3 (D4R - double 4-ring) (A, N-A, ZK-4)</p> <p>Group 4 (D6R - double 6-ring) faujasite chabazite gmelinite (X, Y, ZK-5, L)</p>	<p>Group 5 (T₅O₁₀) natrolite scolecite mesolite thomsonite gonnardite edingtonite</p> <p>Group 6 (T₈O₁₆) mordenite dachiardite ferrierite epistilbite bikitaite</p> <p>Group 7 (T₁₀O₂₀) heulandite clinoptilolite stilbite brewsterite</p>
---	--

Çizelge 3- Zeolit sınıflama şeması (Gottardi ve Galli, 1985).

<p>Fibrous zeolites (T₅O₁₀) natrolite, tetranatrolite, paranatrolite, mesolite, scolecite thomsonite edingtonite gonnardite</p> <p>Single connected 4-ring chains (single 4-ring) analcime, wairakite, viseite, hsianghualite, laumontite, leonhardite, yugawaralite, roggianite</p> <p>Doubly connected 4-ring chains gismondine, amicite, gobbsite, phillipsite, harmotome merlinoite garronite, mazzite paulingite</p> <p>6-ring (single and double 6-ring) gmelinite, chabazite, willhendersonite levyne erionite offretite faujasite</p> <p>Mordenite group (T₈O₁₆) mordenite dachiardite epistilbite ferrierite bikitaite</p>	<p>Heulandite group (T₁₀O₂₂) heulandite, clinoptilolite stilbite, stellerite, barrerite, brewsterite</p> <p>Unknown structures cowlesite goosecreekite parthéite</p>
--	--

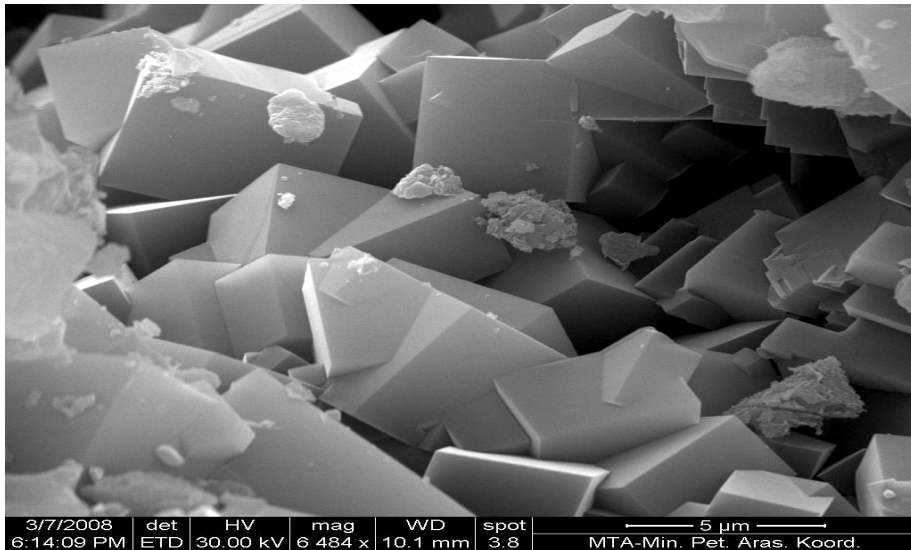
olitler için güvenilir bir sınıflama sadece yapısal özelliklere dayalı olarak yapabilmektedir. Daha önce de değinildiği gibi, zeolitler gibi kafes yapısına sahip olan silikatlarda (tek-silikatlar) temel yapı birimi (TO_4 tetrahedri: dörtyüzlüsü), iki tetrahedr tarafından paylaşılan oksijenlerin üç boyutlu bir ağ oluşturarak bağlanmasıyla meydana gelmektedir. Kimyasal bileşimlerinin en yaygın özelliği, O, Si, Al, Ca, Mg, Ba, Na, K ve H'nin esas elementler, Fe, Sr, Li, Be, Cs, Cu ve Pb'nun ise ikincil ya da rastlantısal elementler olmasıdır (Passaglia ve Sheppard, 2007).

6. ZEOLİTLERİN BAZI NİTELİKLERİ

Zeolit grubu minerallerin yukarıda genel kapsamda sözü edilen fiziksel ve kimyasal yapıları bazı özel niteliklere sahip olmalarını sağlamaktadır. Bunlar, teknolojik uygulamalarda ve endüstriyel kullanımda büyük yararlar sağlamakta ve zeolitlere ekonomik bir önem de kazandırmaktadır. Genel bir bakış açısıyla değerlendirildiğinde, ısı davranışları, asitlere karşı duraylılık özellikleri, nem ya da su tutma ve salıverme, yüzeyde tutma (absorbsiyon) ve emilim (adsorbsiyon) özellikleri, iyon değiştirme kapasiteleri ve olağanüstü yüzey alanına sahip olmaları bazı önemli nitelikleri olarak sayılabilir.

Zeolitlerin termal duraylılığı geniş bir sıcaklık aralığında değişim göstermektedir. Düşük silis içeriğine sahip olan zeolitlerin parçalanma ya da bozuma sıcaklığı yaklaşık $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındadır. Silikalit gibi tamamıyla silisli zeolitler ise $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar duraylı kalabilmektedir. Düşük silis içeriğine sahip zeolitler asitte duraylı değildir. Yüksek silisli zeolitler ise bazik çözeltilerde duraysız olmalarına rağmen kaynar mineral asitlerinde duraylıdır. Düşük silis içeriğine sahip zeolitler hidrofilik yani nem tutucu özelliği taşırken, yüksek silis içerikli zeolitler hidrofobik yani su tutmama ya da suyu uzaklaştırma özelliğine sahiptir. Emilim (adsorbtion), kataliz ve iyon değiştirme uygulamalarında önemli bir rol oynayan katyonların derişimi, konumlanması ve değiştirilmesindeki seçicilik, önemli ölçüde Si/Al oranlarına bağlı olarak çeşitlilik kazanır. Si/Al oranındaki artışla asit bölge (acid site) derişimi azalmasına karşın, alüminyum içeriğindeki azalmaya bağlı olarak asit direnci ve proton aktivite katsayıları da artış gösterir (Payra ve Dutta, 2003).

Zeolitlerin eşsiz özelliklerinden birisi de sahip oldukları iç yüzeyleridir. Bu yüzeyler toplam yüzey alanının % 98'den fazlasını oluşturabilmekte, yüzey alanları tipik olarak $300\text{-}700\text{ m}^2/\text{g}$ gibi olağan üstü değerlere sahip olabilmektedir (Şekil 4) (Payra ve Dutta, 2003).



Şekil 4- Taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında izlenen mikron boyutundaki şabazit mineralleri (Akvirançarsak Köyü şabazit sahasından, Bala-Ankara). Şabazit minerallerinden oluşan bir zeolit örneğinin 1 gramı yaklaşık 700 m^2 yüzey alanına sahip olabilmektedir. Yüzey alanı kristal yüzeyleri ve mineralin sahip olduğu gözeneklerin yüzey alanları toplamından oluşmaktadır.

Zeolit asitliği hidrokarbon dönüşüm reaksiyonları için önem taşımaktadır. Bronsted ve Lewis asit bölgeleri ortaya konulmuş, asiditeyi tanımlamak için birkaç yöntem geliştirilmiştir. Zeolitlerdeki iyon değiştirme süreçlerinin termodinamik ve kinetik yönleri araştırmaların etkin olarak sürdürüldüğü alanlardandır (Payra ve Dutta, 2003).

DEĞİNİLEN BELGELER

Armbruster T. ve Gunter M. E., 2001, Crystal Structures of Natural Zeolites. Reviews in Min. And Geochem. Vol. 45. Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications, 1-116.

Breck , D. W., 1974, Zeolite Molecular Sieves. Structure, Chemistry and Uses, John Wiley & Sons, New York, 313-320 and 731-738.

Boraks incisi (borax bead test) testi. <http://www.nuveforum.net/1716-genel-kultur-b/64161-bor-boraks/>

Cejka J., van Bekkum H., Corma A. ve Schüth F. (Editors), 2007, Introduction to Zeolite Science ve Practice. ISBN: 978-0-444-53063-9, ISSN: 0167-2991. Elsevier Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands.

Coombs D. S. (Chairman), Alberti A., Armbruster T., Artioli G., Colella C., Galli E., Grice J. D., Liebau F., Mandarino J. A., Minato H., Nickel E. H., Passaglia E., Peacor D. R., Quartieri S., Rinaldi R., ROSS M., Sheppard R. A., Tillmanns E. ve Vezzalini G., 1998, Recommended nomenclature for zeolite minerals:report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. Mineralogical Magazine, August 1998, Vol. 62(4), 533–571.

Eyde, T. H., 1978, Bowie Zeolite An Arizona Industrial Mineral. Fieldnotes from The State of Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology. Earth Sciences and Mineral Resources in Arizona. Vol. 8, No 4.

Gottardi, G. ve Galli, E., 1985, Natural Zeolites, Springer-Verlag, Berlin, Germany. 409 p.

Hay, R. H. ve Sheppard, R. A., 2001. Occurrence of Zeolites in Sedimentary Rocks: An Overview. Reviews in Min. And Geochem. Vol. 45. Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications, 217-234.

Meier, W.M., Olson, D.H. ve Baerlocher, C.,1996, Atlas of zeolite structure types. Zeolites, 17, 1 230.

Passaglia, E. ve Sheppard, R.A., 2007, The Crystal Chemistry of Zeolites. Reviews in Min. And Geochem. Vol. 45. Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications, 69-116.

Payra, P. ve Dutta, P., K., 2003, Zeolites: A Primer Handbook of Zeolite Science and Technology. Edited by Auerbach, S.; Carrado, K.; Dutta, P. Marcel Dekker, Inc., 270 Madison Avenue, New York. ISBN: 0-8247-4020-3.

Zeolitin tetrahedral yapısı. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/Zeolite-ZSM-5-3D-vdW.png>

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE ANLAYIŞIYLA JEOTERMAL KAYNAK ARAMA ÇALIŞMALARINDAN SONDAJLI ARAMALAR VE ALINACAK ÖNLEMLER

Arzu ÇAĞLAYAN*

İnsan ve doğa ilişkisinde bilim; elde edilen deneyimlerin sistematize edilmesi, ön yargısız düşünme, anlama ve doğrulama metodudur. Mühendislik ise; doğa olayları ve temelinde yatan yasaların araştırılıp insan ve toplum yararına kullanılmasını sağlar.

İnsan, çevre ve kaynak etkileşimlerini dikkate almadan sosyal kalkınmanın tam olarak sağlanıp sürdürülebilmesi olanaklı değildir.

Çevre, şehirciler tarafından insanın yeryüzünde yaptığı faaliyetlere tepki gösteren ve yer yüzünde bulunan unsurlar biçiminde tanımlanarak bir anlamda yeryüzü ile özdeşleştirilirken; ekologlar tarafından, dünyanın canlı varlıkları ile bu varlıkların yaşadığı ortamdaki hava, su, toprak ve doğal kaynaklardan oluşmuş bir sistem olarak tanımlanmaktadır.

Mühendislik ise, bilimsel esaslar çerçevesinde, topluma yarar sağlayacak bir yapının, eşyanın ya da sistemin; planlanması, tasarımı, inşaatı ya da işletmesinin uygulaması olarak tanımlanabilir. Tam da burada belirtmek gerekir ki mühendislik, doğaya rağmen değil, doğayla uyumlu ve insanı merkez alan çalışmaları esas almalıdır.

Hava, su, toprak gibi doğal kaynakların en iyi biçimde kullanılması, kirlenmelerine neden olan etkenlerin kaynaklarında kontrolü ve giderilmesi çevre kirliliğini önleyerek sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması konusunda çalışmalar yürüten mühendisler, kaynak,

yapı, malzeme ve sistemlerin ekonomik ve sosyal kalkınma açısından planlama, tasarım, işletme yöntem ve stratejilerini belirlerler.

Bilimin ve mühendisliğin ışığında, kaynak arama çalışmalarının;

- *Büro çalışmaları,
- *Saha çalışmaları,
- *Laboratuvar çalışmaları,
- *Değerlendirme ve modelleme çalışmaları,
- *Sondaj çalışmaları,
- *Üretim çalışmaları,

şeklinde yürütüldüğünü söylemek mümkündür. Ancak, kaynak türü ve özelliğine göre özel bazı çalışmaların da bu çalışmalara ek olarak yürütülmesi gerekebilir.

Kaynak arama çalışmalarının tamamına değinmeden bu çalışmanın konusunu oluşturan sondajlı arama çalışmalarının insan ve çevre açısından değerlendirilmesi ele alınacaktır.

Mühendisler ve çevre bilimciler; planlama aşamasından başlamak üzere ekonomik ve sosyal kalkınmayı sağlayacak projeler hazırlarken bir yandan da, ekosistem ve tüm canlılar için kalkınmaya paralel şekilde büyüyen çevre sorunlarının da eş güdüm çalışmalarını yürütürler.

İnsanlık tarihiyle başlayan çevre ve doğa kirliliğini salt üretim sürecinin doğal bir sonucu olarak görmek kadar günümüzde çevre sorunlarını kirlilik üzerinden tartışmak da elbette indirgeyici bir yaklaşım olur.

60'lı yılların sonlarından itibaren doğal kaynakların israf edilmesi, çevrenin kirlenmesi ve tahrip edilmesine karşı çıkan ekolojik harekete eş zamanlı olarak, uluslararası alanda 'Çevre Hak ve Hukuku'ndan söz edilmeye başlanmıştır.

*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara.

Çevre hukuku; insanın, tekniğin ve endüstriyel medeniyetin zararlarını engellemeli, insanın doğal çevresine ilişkin beklentilerini güvence altına almalı, ekosistemi korumalıdır. Ayrıca, yaşama zarar veren müdahaleleri kaynağında önlemeyi amaçlamalıdır.

Türkiye’de çevre politikalarını belirleyen temel kanunlar; 11.08.1983 tarihli Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 2872 sayılı Çevre Kanunu, 23.07.1983 tarihli 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu ve 2873 sayılı Milli Parklar Kanunu’dur. 2872 sayılı Çevre Kanunu bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlar.

Son yıllarda canlı hayatını tehdit eden çevre kaygıları oldukça anlaşılır. Çünkü, insanlık dünya ekolojik dengesini tüketen ülkelerin yarattığı bambaşka bir dünyada yaşam savaşı vermektedir. Artan yoksulluk, çevre kaynakları üzerindeki baskıyı artırmakta ve giderek daha çok sayıda insan o kaynaklara doğrudan bağımlı yaşamak zorunda kalmaktadır.

Gelecek kuşakların ihtiyaç duyacağı kaynakların varlığını ve kalitesini tehlikeye atmadan, tüm çevresel değerlerin sosyal, ekonomik, fizikî alanda ıslahı, korunması ve geliştirilmesi açısından sürdürülebilir çevre anlayışı önemlidir. Günümüz ve gelecek kuşakların, sağlıklı bir çevrede yaşamasını güvence altına alan çevresel, ekonomik ve sosyal hedefler arasında denge kurulması esasına dayalı kalkınma ve gelişme, ülkelerin temel bakış açısı olmalıdır.

Teknolojik gelişmeler; insan ve canlı yaşamını kolaylaştırıcı özelliklerinden dolayı son derece önemli olup, hemen tüm teknolojik ürünler enerjiyle çalışmaktadır. Artan enerji ihtiyacı insanların geleceğe ilişkin kaygılarını da beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtların yaratmış olduğu çevre sorunları, doğalgaz, petrol, kömür, nükleer enerji gibi kaynakların yanında yeni ve yenilenebilir enerji kaynakla-

rını öne çıkarmıştır. Bu durum, ülkemizde de su, rüzgar, güneş, jeotermal, dalga ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. Ülkemiz için alternatif enerji kaynağı olan jeotermal enerji; arama, araştırma, geliştirme ve uygulama çalışmaları da bu anlamda hız kazanmıştır.

Canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde buldukları biyolojik, fiziksel, sosyal, ekonomik ve kültürel ortamı olan çevre; çevresel değerlerin ve ekolojik dengenin tahribini, bozulmasını ve yok olmasını önlemeye, mevcut bozulmaları gidermeye, çevreyi iyileştirmeye ve geliştirmeye, çevre kirliliğini önlemeye yönelik çalışmalarla korunur.

Gerçekleştirilmesi plânlanan projelerin çevreye olası etkilerinin belirlenmesi, önlenmesi ya da çevreye zarar vermeyecek ölçüde en aza indirilmesi için alınacak önlemler, seçilen yer ile teknoloji alternatiflerinin değerlendirilmesi, proje uygulamalarının izlenmesi ve kontrolünde yürütülecek çalışmaların tamamı çevresel etki değerlendirmesi kapsamında ele alınır.

Ülkemizde plânlanan projelerin çevreye olası etkileri başta Çevre Kanunu olmak üzere çok sayıda yönetmelik ile belirlenip önlenmeye çalışılmaktadır.

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Gürültü Kontrol Yönetmeliği, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Atık Pil Ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği, Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği, Büyük Endüstriyel Kazaların Kontrolü Hakkında Yönetmelik, Çevre Denetimi Yönetmeliği, Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği örnek olarak verilebilir.

Bütün bu yasal zorunluluklar; sondaj çalışmalarının planlanması, yürütülmesi ve işle-

tilmesi süreçlerine kadar çevreye olan etkileri azaltmada önemlidir. Aynı zamanda sürdürülebilir çevre ve kalkınmanın sağlanmasının önemli araçlarıdır. Sondajlı kaynak arama çalışmalarının planlama aşamasından itibaren, sondaj çalışması sırasında ve sonrasında çevre ve canlı yaşamına duyarlı, sürdürülebilir çevre anlayışıyla yürütülmesi gereklidir.

JEOTERMAL KAYNAK ARAMA ÇALIŞMALARINDAN SONDAJLI ARAMALAR VE ALINACAK ÖNLEMLER

Arama ve araştırma yöntemlerinden biri olan sondajlı aramalar; arama aşamasının en son ve en pahalı aşaması olup, 4857 sayılı yasa ile sanayi işkolunda, ağır ve tehlikeli işler sınıfında yer almaktadır.

Metalik madenlerden endüstriyel hammadde aramalarına, enerji hammaddelerinden sıcak ve soğuk su kaynaklarının aranmasına, zemin ve kütle hareketlerinin tanımlanmasından mühendislik yapıları ve binalar için temel, zemin parametrelerinin belirlenmesine kadar insanın üzerinde yaşadığı yerküreye ilişkisinde, jeoloji mühendisliğinin uygulama alanlarına ilişkin veri sağlamada, temel arama çalışmalarından biri kuşkusuz sondajlı arama çalışmalarıdır.

Dünya ülkelerinin giderek büyümeleri ve gelişmeleri enerji gereksinimini hızla arttırdığından ülkeler bir yandan alışılmış enerji kaynakları yerine alternatifler ararken, öte yandan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek bu kaynaklardan kapsamlı biçimde yararlanma yollarını araştırmaya ve kullanmaya başlamışlardır (Çağlayan, 2012).

Jeotermal kaynak, yer altından üretilen diğer kaynaklardan farklı olarak dinamik bir yapıya sahiptir. Bu özelliği nedeniyle arama süreci sonunda, bulunan kaynak üç boyutu belirlenmiş durağan yapıdaki kömür, metalik madenler, endüstriyel hammaddeler vb. diğer yer altı kaynaklarından farklı biçimde üretilerek işletilmektedir. İşletilmesi sırasında bile dinamik özelliğinden dolayı kaynağın

davranışlarının sürekli izlenmesi ortaya çıkabilecek sorunların jeolojik anlamda çözümü için etüt yapılmasına ihtiyaç duyulduğu bilimsel, teknik ve pratik bir gerçekliktir. Yine arama-araştırma, üretim ve geliştirme amaçlı açılan kuyuların jeolojik takibi, kuyu logunun oluşturulması, bu enerji kaynağını oluşturan sistemin jeolojik modellemesinin yapılması gerekmektedir (Akkuş, 2011).

Jeotermal sistemlerde, alternatif arıtma seçenekleri pahalı olduğundan atık suyun yeniden yer altına basılması (reenjeksiyon) benimsenmiştir. Reenjeksiyon atık suların çevreyi korumak açısından önemli olduğu kadar reenjeksiyon suyunun hazne kayaç tarafından ısıtılması nedeniyle ek enerji eldesi açısından da önemlidir.

Etüt çalışmalarıyla başlayan kaynak arama çalışmalarının belirlenen lokasyonda başarılı bir sondaj çalışması ile tamamlanabilmesi; konusuna hakim, çalışmaları yürütme ve yönlendirme becerisine sahip mühendislerce sağlanabilir. Çalışmaların güvenli bir şekilde, kesintisiz sürdürülebilirliğinin sağlanması için alınması gerekli teknik önlemler kadar çalışanların teknik kapasitesi ve eğitim nitelikleri de önem taşımaktadır. Özellikle jeotermal sondajlarda bilimsel ve teknik çalışma esaslarına uygun çalışılmadığında; soğuk su akiferinin kirlenmesi, kuyuya soğuk su girişi, kontrolsüz ve ani kuyu gelişi gibi problemler yaşanabilmektedir (Aydoğdu, 2011).

Sondaj lokasyonunun tespiti, sondajın planlanması, sondajın delinmesi, takip edilmesi ve kontrol edilmesi aşamaları yapılacak sondajdan olumlu sonuç alınabilmesi açısından ne denli önemli ise çalışma sonuçlarının sadece üretim parametreleri açısından değerlendirilmesi de o denli eksikli bir yaklaşım olur.

Sondajların planlanması, ilerlemesi, durdurulması, bitirilmesi aşamalarından jeoloji mühendisleri sorumludurlar. Doğal kaynakları korurken aynı zamanda onlardan en verimli şekilde yararlanmak ve çalışmalar sırasında

yaşanabilecek olası problemlerin çözümü mühendislik açısından önemlidir.

Çalışmalar sırasında atık üretimini azaltmak, oluşacak atıkları bertaraf etmekten önce düşünülmelidir. Yürürlükteki çevre mevzuatlarına uymanın yanında, çevresel etkileri azaltmaya odaklı çalışma sistematiği, çevre sağlığı ve güvenliğini sağlama bilinci oluşturulması yaşadığımız yerküre açısından da kaçınılmazdır.

Sondajcılık açısından değerlendirildiğinde; yer seçimi, kaynak arama çalışmalarının ilk aşamasını oluşturması bakımından çok önemlidir. Her saha ayrı özelliklere sahip olduğundan sondajcılıkta karşılaşılan sorunlar da sondajın yapılacağı zemin özelliklerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

Sondaj yeri seçimiyle başlayan titizlik sondaj çalışmaları boyunca devam etmelidir. Çalışmalar başlangıç aşamasından itibaren sondaj çalışmaları süresince kullanılan ekip ve ekipmandan, üretim teknolojileri ve çevresel sorunların önlenmesi ve bertarafına kadar aynı titizlikle yürütülmelidir.

Sürdürülebilir kalkınma ve çevre anlayışı dünyada giderek daha önemli hale gelirken bu durum;

- * Teknolojik alt yapıyı genişletmek,
- * Kirlenme yaratmayan teknolojilerin kullanımı,
- * Enerji kaynaklarından kaynaklanan güvenlik risklerini bertaraf etmek,
- * Enerji tasarrufuna ilişkin tedbirleri yaygınlaştırmak,
- * Kamu sağlığını korumak,
- * Kaynakta enerji kayıplarını önlemek gibi konuları öne çıkarmaktadır.

Ülkemizin 9 ve 10. Kalkınma Planlarına bakıldığında;

- *Doğal ve kültürel varlıklar ile çevrenin

gelecek kuşakları da dikkate alan bir anlayış içinde korunması temel esaslardan biri olarak kabul edilmiştir.

*Ekonomik kalkınmanın ve sosyal gelişmenin ihtiyaç duyduğu enerjinin sürekli, güvenli ve asgari maliyetle temini temel amaçtır. Enerji talebi karşılanırken çevresel zararların en alt düzeyde tutulması, enerjinin üretimden nihai tüketime kadar her safhada en verimli ve tasarruflu şekilde kullanılması esastır ifadesi yer almaktadır.

* Sanayide çevre dostu tekniklerin uygulanmasıyla hammadde kullanımındaki etkinliğin artırılarak daha verimli üretim gerçekleştirme ve atıkların azaltılması

* Mevcut su sağlama tesislerinde kayıp ve kaçakların azaltılarak ülke su kaynaklarının etkin kullanımının sağlanacağı,

* Yer altı ve yer üstü su kaynaklarının kirlenmeden korunmasının sağlanacağı ve atık suların arıtıldıktan sonra tarım ve sanayide kullanımının teşvik edileceği,

* Evsel nitelikli olmayan atıkların üretiminin azaltılacağı,

* Çevre bilincinin geliştirilmesine yönelik eğitim ve kamuoyu bilgilendirme çalışmalarının yapılacağı ifade edilmektedir.

Aynı şekilde, enerjinin tüketiciye sürekli, kaliteli, güvenli, asgari maliyetlerle arzını ve enerji temininde kaynak çeşitlendirmesini esas alarak; yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarını mümkün olan en üst düzeyde değerlendiren, israfı ve enerjinin çevresel etkilerini asgariye indiren, ülkenin uluslararası enerji ticaretinde stratejik konumunu güçlendiren bir enerji sistemine ulaşılması temel amaç olarak benimsenmiştir.

Madencilik sektörünün iş güvenliği ve çevre mevzuatına uyumunun geliştirileceği ilkesel olarak benimsenmiştir.

Arama, araştırma, üretim gibi çok ve farklı amaçlar için yapılan sondaj çalışmaları çevre ve canlılar açısından önlem almayı gerektirecek işlerdendir.

- * Sondaj çalışmasıyla ilgili gerekli izinler alınmış olmalıdır.
- * Sondaj çalışmaları sırasında karşılaşılabilecek sorunlarla ilgili risk analizi yapılmalı ve alınacak tedbirler belirlenmelidir.
- * Sondaj lokasyonu olabildiğince yerleşim yerlerinden uzakta seçilmelidir.
- * Yer seçimi yüksek gerilim, heyelan gibi her tür risk faktörü dikkate alınarak yapılmalıdır.
- * Ağır ve tehlikeli işler sınıfında yer alan sondaj çalışmasını başarılı ve güvenli çalışma koşullarında yürütmek bir ekip işi olduğundan, çalışmalar takım ruhuyla gerçekleştirilmeli, birbiriyle uyumlu, ekip çalışmasına uygun kişilerden oluşturulmasına özen gösterilmelidir.
- * Çalışmalar alanında uzman kişilerce yürütülmelidir.
- * Sondaj çalışmalarına katılacak kişilere çalışmalar başlamadan önce eğitim verilmelidir.
- * İyi bir etüt çalışması yapılmış olmalı ve karşılaşılabilecek olası teknik ve bilimsel sorunlar hakkında bilgi sahibi olunmalıdır.
- * Sondaj alanında yasaklayıcı işaretler ile ilk yardım ve acil çıkış işaretleri olmalıdır.
- * Sondaj alanında gerekli aydınlatma önlemleri alınmalıdır.
- * Sondaj çalışması; yetkin, yönlendirici, uzman kurum ve disiplinlerle planlanmalı, yapılacak işin niteliğine uygun eğitim almış meslek disiplinleri tarafından yürütülmelidir.
- * Koruma ve güvenlik önlemleri kapsa-

mında çalışma alanının etrafı çevrilerek çalışma alanına kontrolsüz giriş çıkışlar önlenmelidir.

- * Çalışmalar süresince yüksek teknolojik ürünler kullanılmalı, kullanılacak ekip ve ekipmanlar güvenli ve kaliteli olmalıdır.
- * Sondaj ekipmanlarının bakım ve temizliği zamanında ve sürekli olarak yapılmalıdır.
- * Sondaj makinesinin bakımları zamanında yapılmalı, tehlikeli kısımları koruyucu içine alınmalıdır.
- * Sondaj çalışmaları sırasında kullanılan ekipmanın ekonomik ömürlerine, kullanım süre ve miktarlarına uygun kullanımı sağlanmalıdır.
- * Çalışmalara katılan bütün ekip ve sondaj işçilerinin yaptıkları işe uygun iş elbisesi ve ekipman (baret, iş elbisesi, tulum, eldiven, gözlük, çelik ayakkabı) kullanımı sağlanmalıdır.
- * Elektrik tesisatının kontrolleri aksatılmamalıdır.
- * Sondaj çalışmaları sırasında ihtiyaç duyulacak enerji, su, vb ihtiyaçları karşılamak üzere döşenecek iletim hatları güvenli olmalı ve özellikle enerji hattı açıkta bırakılmamalıdır.
- * Sondaj çalışmaları sırasında açılan çamur havuzu ya da atık havuzlarının etrafı çevrilerek insan ve hayvan düşmeleri önlenmelidir.
- * Sondajlı aramalarda dünya standartlarındaki yöntemler uygulanmalıdır.
- * Çalışmalar zaman ve maliyet kaygısıyla yürütülmemelidir.
- * Acil durumlar için ulaşılabilecek kişiler ve iletişim numaraları belirlenmelidir.
- * Katı ve sıvı atıklar kontrolsüzce doğaya, alıcı ortama bırakılmamalı, ilgili mevzuata göre toplanmalı ve bertaraf edilmelidir.

* Sondaj çalışması tamamlandığında kuyu ağızı açılmayacak şekilde emniyete alınarak kapatılmalıdır.

* Özellikle jeotermal sondajlarda reenjektasyon sondajlarının yapılması sağlanmalıdır.

* Enerji üretim sahalarında, çevreye etkileri azaltan teknolojiler takip edilmeli ve kullanılmalı, enerji üretimi, taşınması, dönüştürülmesi çalışmalarında ise çevresel etki faktörü dikkate alınarak çalışmalar yürütülmelidir.

* Sondaj çalışmasının bitiminde çağdaş restorasyon, çevre düzenleme projeleri ve uygulamaları hayata geçirilmelidir.

Büyük ekonomik maliyetlerle yürütülen sondaj çalışmaları aynı zamanda büyük emek ve özveriyle çalışmayı gerektirmektedir. Bu anlamda çalışmaların güvenli yürütülebilmesi için belirtilen önlemlerin alınmış olması hem çalışanlar açısından hem de çevre açısından çok önemlidir.

Gelecek kuşakların ihtiyaç duyacağı kaynakları tehlikeye atmadan, hem bugünün hem de gelecek kuşakların çevresini oluşturan tüm çevresel değerlerin her alanda (sosyal, ekonomik, fizikî vb.) korunması ve geliştirilmesi süreci olarak özetlenebilecek olan sürdürülebilir çevre anlayışını kaynak arama çalışmalarında da hayata geçirmek mümkündür.

Günümüzde ve gelecekte sağlıklı bir çevrede ve teknolojik olanakların kolaylığını duyarak yaşamayı güvence altına alan, çevresel, ekonomik ve sosyal hedefler kurmak, insanı merkez alan bir yapı içerisinde zor olmayacaktır.

DEĞİNİLEN BELGELER

Akkuş, İ. 2011. Türkiye'nin jeotermal kaynak potansiyeli, karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası*, Jeotermal Eğitim Semineri. (yayımlanmamış).

Aydoğdu, Ö. 2011. Jeotermal kaynak arama çalışmalarında sondajın planlanması, yapılması ve kontrolü. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası*, Jeotermal Eğitim Semineri. (yayımlanmamış).

Çağlayan, A. 2012. Jeotermal kaynak arama çalışmalarında Jeoloji Mühendisinin Görevi ve sorumlulukları. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası*, Jeotermal Eğitim Semineri. (yayımlanmamış).

İş Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetmeliği, 9 Aralık 2003 Tarih ve 25311 sayılı Resmi Gazete.

Ortak Geleceğimiz, Eylül 1987, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını,31-67.

Özdek, E.Y. 1993. İnsan Hakkı Olarak Çevre Hakkı. *Türkiye ve Orta Doğu Amme İdaresi Enstitüsü, Ankara, 23-51.*

2872 sayılı Çevre Kanunu

Dokuzuncu Kalkınma Planı

Onuncu Kalkınma Planı

2863 sayılı Kültür Ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu

2873 sayılı Milli Parklar Kanunu

<http://enve.metu.edu.tr>

250 °C TERMİK PROB ARAŞTIRMA VE GELİŞTİRME PROJESİ KAPSAMINDA TERMİK PROB ÜRETİMİ

Ali İŞERİ*

GİRİŞ

Yer altı araştırmaları sırasında açılan sondajlarda uygulanan Jeofizik kuyu ölçüleri yöntemleri, 20. yüzyılın başlarından itibaren öncelikle petrol araştırmaları için kullanılmış ve daha sonra gaz, kömür, yer altı suyu ve diğer madenler için kullanılmaya devam edilmiştir. Kullanma alanı ve amacına yönelik olarak birbirinden farklı özellikte yöntemler uygulamakta fayda vardır. Başlıca yöntemler şunlardır; Termik(Sıcaklık), SP-Rezistivite, Doğal Gamma Ray, Neutron, Density, Caliper, Sonic, CBL (Çimento Logu) vb. Kullanılan ortama göre bu metotların önem sırası değişmektedir.

Jeofizik Kuyu Ölçüleri uygulamasında, kullanılan proplar kuyu içerisine bir iletken kablo ile indirilir ve yüzeydeki kayıt ünitesi ile metraja bağlı olarak ölçüler kaydedilir. Bu işlemler, proplar kuyu tabanına inerken ya da çıkarken yapılabilir (Bazı yöntemler hariç).

Termik (Sıcaklık) ölçüsü, jeotermal araştırma sondajlarında vazgeçilmez bir yöntemdir. Termik (Sıcaklık) ölçüsü için kullanılacak ekipmanın, yüksek basınç ve sıcaklıkla karşılaşılması ihtimaline karşı çok dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Elektrik enerjisi üretilen bu tip yüksek sıcaklıklı sahalarda kuyu sıcaklığının sağlıklı ölçülebilmesi için ortam sıcaklığına ve basıncına dayanabilecek hassas problar kullanmak zorunludur. Ülkemiz yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalar açısından son derece zengin bir ülkedir. Bu durum göz önüne alınarak Jeofizik Etütleri Dairesi Kuyu Ölçüleri Laboratuvarımızda 2009 yılında çalışmalar başlatılmış ve ilk çamur sıcaklık ölçüm cihazı geliştirilmiştir. 2010 yılında yeni bir proje oluşturularak sığ kuyularda sıcaklık ölçümü yapabilen sistem geliştirilmiştir. Sistemin tamamı, içerisinde, programlı işlemci sayesinde dijital sinyal üreten 1 adet termik prob, visual basic tabanlı çalışan yüzey programı, vinç sistemi ile haberleşmeyi sağlayan enkoder programı ve devresi, vinç kumanda paneli olmak üzere, jeofizik kuyu log laboratuvarlarında tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir (Şekil 1-2).

İki yıllık ön araştırmalarımız ve gerçekleştirdiğimiz başarılı üretimler sonucunda 250°C'ye dayanabilecek Termik probun üretilbileceği saptanmıştır. 2012 yılında proje çalışmalarına başlanmıştır. Termik probun oluşturulması için gerekli olan basınca dayanıklı dış kılıfının



Şekil 1- Jeofizik kuyu log laboratuvarları.

*Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi – Ankara.



Şekil 2- Visual basic tabanlı çalışan yüzey programı, vinç sistemi ile haberleşmeyi sağlayan enkoder programı

mekanik dizaynı tasarlanmış, yapılan çizimler CNC tezgâhlarında üretilmiştir (Şekil 3-4).

Prob içerisinde kullanılacak olan devrenin dizaynı yapılarak protatip devre oluşturul-

muş, test ortamında olumlu sonuçlar alınmasının ardından prob içerisinde kullanılacak devrenin üretimine başlanmıştır. Termik probumuzda pt1000 filim sensör kullanılmıştır. Sensör için çizimleri yapılan ve krom çelik



Şekil 3-Termik Prob kılıfı dizaynı



Şekil 4- Termik Prob adaptör ve kılıf dizaynı.

malzemeden üretilen basınca dayanıklı kılıf içerisine iletim sıvıları ile birlikte yerleştirile-

rek kapatılmıştır (Şekil 5). Yüksek kalitede üretilen baskı devre üzerine gerekli elektro-



Şekil 5-Termik Prob sensörleri.

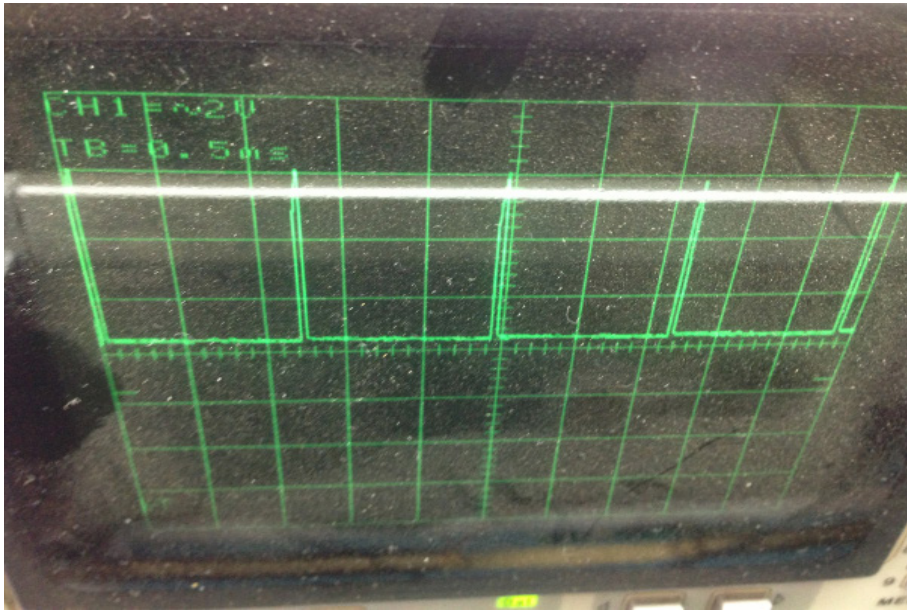
nik parçaların montajı ile termik prob içi kart üretimi tamamlanmıştır (Şekil 6).

Prob içerisine yerleştirilen devre, bazı kimyasal maddeler ile dış ortam sıcaklığından izole edilmiştir. Baskı devre üzerine devre elemanlarının montajı yapıldıktan sonra devreye gerekli voltaj verilerek devrenin ürettiği sinyaller gözlenmiştir (Şekil 7).

Kuyu log ölçümlerinde kullanılan termik problemlerin hiçbirisinde olmayan yeni bir özellik geliştirilmiştir. Bu geliştirdiğimiz özellik sayesinde termik probun sıcaklıktan zarar görmesi önlenmiştir. Geliştirdiğimiz termik probun içerisinde prob iç sıcaklığını ölçen farklı bir sensör daha bulunmaktadır. Yüzeide prob iç sıcaklığını kontrol edecek olan modül dizaynı başarı ile tamamlanmıştır. Prob içerisine yerleştirilen pt100 sensörü sayesinde dev-



Şekil 6- Termik prob kartları.



Şekil 7- Devre sinyalleri.

renin ısınması gözlenerek sınır değerlerine ulaşılması halinde, prob hasar görmeden ölçümün durdurulması için yüzeydeki modül tarafından sesli olarak uyarı sinyalleri verilmektedir (Şekil 8).

Sistemin çalışma prensibi şöyledir; kuyu içerisine indirilen probun iç sıcaklığı 30°C civarına geldiğinde pt100 sensörünün gönderdiği sinyaller yüzeyde bulunan programlı işlemci içerisine yazılan program sayesinde işleme alınarak sıcaklık verileri lcd ve hyper terminal aracılığı ile bilgisayara iletilir. Sıcaklık değeri 35 °C'ye ulaştığında sistem otomatik olarak peltier soğutucusunu aktifleştirir soğuma işlemi iç sıcaklık 95°C'ye kadar devam eder. Yaptığımız testler sonucunda

peltier soğutucusu ortamın sıcaklığını eksi yönde 10 °C düşürmektedir. Yapılan bu işlem bize zamandan büyük bir kazanç sağlamıştır. Sistem 95°C ile 110°C arasında kesikli alarm sistemini devreye alır. İç sıcaklık değeri 110°C'yi geçtiğinde alarm sinyali sürekli hale gelir ve 125°C'ye kadar devam eder. Prob iç sıcaklığı 125°C'ye ulaştığı zaman her ne koşulda olursa olsun mutlaka yüzeye çekilmelidir. Matematiksel grafikler ile iç sıcaklık 125°C iken dış sıcaklık takribi olarak 260-265 °C'dir. Takribi olması tamamen kuyuda kalma süresi ile doğru orantılıdır.

Bu işlemlerin tamamlanması ile birlikte maksimum 250°C'de ölçüm yapabilen termik prob üretilmiştir (Şekil 9). İlk etapta üretimi 5



Şekil 8- Prob iç sıcaklığını kontrol eden modül.



Şekil 9- 250°C' de ölçüm yapabilen termik prob.

adet yapılan prob, yurt dışı eş değerlerinin yaklaşık olarak 10 katı daha az maliyetle imal edilmiş olup daha gelişmiş özelliklere sahiptir.

Jeofizik Etütleri Dairesi Laboratuvarlarında üretimi gerçekleştirilen termik prob için laboratuvarımızda bulunan sıcaklık kalibrasyon tankında maksimum sıcaklık dayanım testleri yapılmış, prob tankın dayanma sıcaklığına kadar ısıtılmış, 246°C'de 15 dakika bekletilmiştir. Alınan sonuçlarda probun bu yüksek sıcaklıklarda beklemesine rağmen hiçbir deformasyona uğramadığı saptanmıştır (Şekil 10).

Bununla birlikte üretimi yapılan probun bilgisayar donanımlı ve vinç sistemli kuyu log aracına bağlantı noktasında kullanılan 7 ve 4 iletkenli erkek ve dişi konnektörleri için kalıp tasarımı yapılarak her birinden elliser adet üretimi yapılmıştır. Yurt dışı fiyatları 1 adet için 150-200 TL arasında değişen bu konnektörler, yapılan kalıplar sayesinde ülkemizde 5 TL civarında bir maliyetle üretilmiştir (Şekil 11).

SONUÇ

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesi Laboratuvarlarında imal edilen 250°C termik problemlerimiz yurt dışından alınan termik problemlerle kıyaslandığında elektronik ve mekanik kapsamında birçok yenilikler içermektedir. Elektronik olarak baskı devre kalitesi ve yüzeyden prob içi sıcaklığının gözlenmesi ile devrenin etkileneneceği yüksek sıcaklıkların önceden fark edilerek probun zarar görmesi engellenmiştir. Mekanik anlamda ise yurt dışından alınan problemlerden farklı olarak kritik noktalarda kullanılan bazı parçaların seçiminde, özellikle sıcaklığın en az düzeyde iletimini sağlayacak olan karbon fiberler kullanılmıştır. Buna ek olarak devrenin sıcaklıktan etkilenmemesi için farklı karışımlarda reçineler kullanılarak, devre ortamdan izole edilmiştir. Ayrıca üretimi yapılan problemler yurt dışı alım fiyatlarından yaklaşık on kat daha ucuza üretilmiştir.



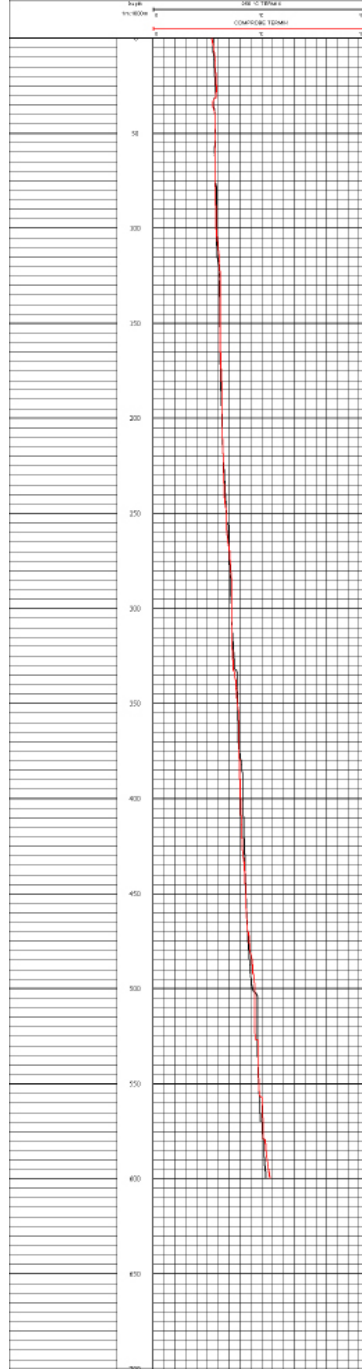
Şekil 10- Termik prob yüksek sıcaklık testi.



Şekil 11- 7 ve 4 iletkenli konnektör kalıbı.

Laboratuvar test çalışmaları başarı ile tamamlanan termik problemler arazi ortamında test çalışmalarına gönderilmiştir. İlk olarak Ankara-Yenikent civarında açılan sondajda ölçümler alınmış, üretimi yapılan termik prob

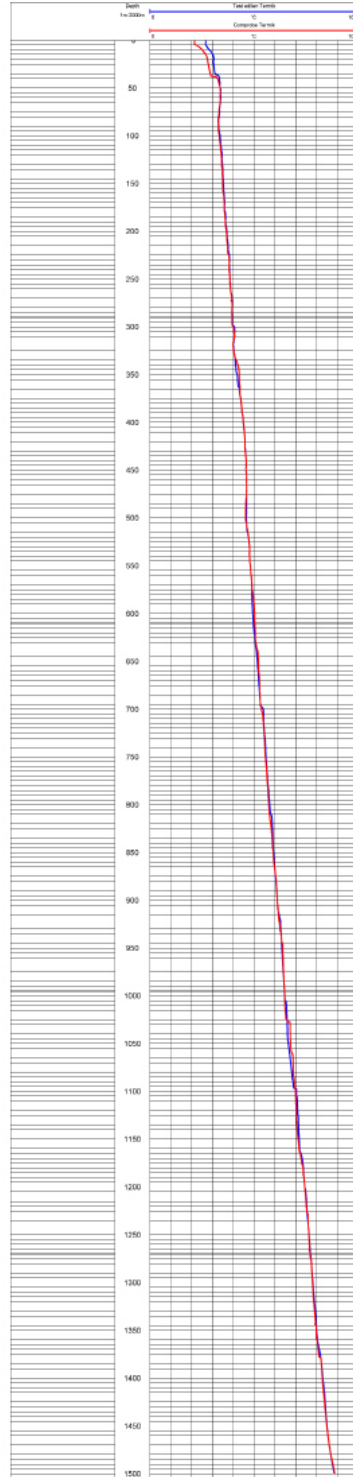
ile diğer termik problemler karşılaştırıldığında ölçümlerin her aşamasında çok yakın benzerlik gösterdiği gözlenmiş ve kayda alınmıştır. Siyah renkli grafik ölçümü projede kapsamında üretimi yapılan proba aittir (şekil 12).



şekil 12- Ankara-Yenikent 600 m termik prob karşılaştırılması ls.

İkinci olarak Kızılcahamam bölgesinde açılan sondajda denenmiş ölçüm sonucunun başarılı olduğu saptanmıştır. Mavi

renkli grafik ölçümü proje kapsamında üretimi yapılan proba aittir (Şekil 13).



Şekil 13- Kızılcahamam 1.500 m termik prob karşılaştırılması ölçüsü.