

# Tortul Kayalardaki Zeolitler (\*)

RICHARD A. SHEPPARD

U.S. Geological Survey Denver, Colorado, ABD.

Zeolitler (alkali ve toprak alkali metallerin kristal hidrate alüminasilikatları) tortul kayalarda kayayı oluşturan önemli maddelerdir ve endüstri minareleri içerisinde önemli bir potansiyel değere sahiptir. Zeolitler birbiri ile ilişkili katyonlar ve su molekülleri tarafından doldurulan birbirine bağlı boşlukların çevrelediği kafes sisteminde bir yapıya sahiptirler. Katyonlar, özellikle sodyum, potasyum, kalsiyum ve su yapı içerisinde önemli oranda hareket serbestliğine sahiptir. Bu durum zeolit katyon değişimi ve geriye dönebilen dehidratasyon özelliğini sağlar. Bazı zeolitler önemli derecede baryum, stronsiyum ya da magnezyum kapsarlar. Zeolitlerin tümü (Si, Al)<sub>4</sub> dört yüzeylerinin (tetrahedralarının) kapsadığı bazik yapıya sahiptirler. Yapıdaki her oksijen iki dört yüzeyli arasında paylaşılır. Böylece O: (Si+Al) = 2 atomik oranı oluşur. Yapıdaki net eksi yük katyonlarca dengelenir. Zeolitlerin gözenekli kafes yapısı molekül bileşiklerinin büyüklüğü ve şekline göre molekül karışımlarının ayrımında "moleküler elek" olarak çalışmasını sağlar.

Doğa'da 30'dan daha çok değişik zeolit türü vardır. Ayrıca çok sayıda zeolit yapay yolla elde edilmiştir. Fakat bunlardan bazılarının doğada eşdeğerleri yoktur. Zeolitlerin çoğunun özgül ağırlığı 2,0 - 2,3 ve kırılma indeksleri 1,44 - 1,52'dir.

Zeolitler baryum ve stronsiyumca zenginleşer genellikle daha yüksek özgül ağırlığa ve kırılma indeksine sahiptirler. Zeolitler benzer fiziksel özelliklere sahip olduklarından bunların tanınmaları için genellikle x-ray difraksiyon tekniği kullanılmaktadır.

Yapay zeolitler 1950 yıllarından beri Birleşik Devletlerde ticari olarak üretilmektedir. Bu yapay zeolitler genellikle katalist, ayırıcı, yüze soğurucu ve nem tutucu olarak kullanılmaktadırlar. Bunlar petrolün parçalarına ayrılma işleminin %90'ında uygulanmakta ve benzin elde edilmesini büyük oranda artırmaktadır. Doğal zeolitler, Amerika'da sınırlı bir şekilde kullanılmaktadır. Klinoptilolit sezyumun radyoaktif atıklardan alınmasında kullanılmaktadır (Brown, 1962) ve şabazit hafif asidik doğal gazlarda nemi almada kullanılmaktadır. Zeolitik tüf çimentoda puzolan olarak kullanılmaktadır.

Öte yandan zeolitlerin 1949'da tortul kayalarda bulunduğu anlaşıldığından beri Japonya'da çok miktarda çıkarılmakta ve yararlanılmaktadır. Japonya'da şu anda zeolitlerden klinoptilolit ve mordenit maden olarak elde edilmekte olup, daha çok tarımsal alanlarda ve hayvan sağlığında kullanılmaktadırlar. Minato ve Utada (1969) aşağıdaki kullanımları tanımlamışlardır: Gazlardan nem alınması, havanın oksijeninin ayrılması, çiftliklerde hoşa

gitmeyen kokuların tutulması, kagıt için dolgu ve beyazlatma maddesi olarak ve kimyasal gübrelerin etkisini artırmada bir toprak düzenleyicisi olarak. Klinoptilolit Japonya'da listede belirtilen son kullanım için ötekilerden daha çok miktarda elde edilmektedir.

Doğal zeolitlerin bazıları kirlilik denetlenmesinde uygulama alanı bulabilir. Örneğin, Kuzey batı Pasifik Laboratuvarı ve Battelle Memorial Institute, Richland, Wash laboratuvar ve plot fabrikasında yapılan çalışmalar (Mercer ve diğer ark., 1970), artık sulardan amonyak alınmasında etkili olduğunu göstermiştir. yakın zamandaki çalışmalar bacalardan çıkan gazlardan SO<sub>2</sub>'nin tutulmasında mordenit'in uygun olabileceğini göstermektedir.

Amerika Birleşik Devletleri başlangıç aşamasından şu ana kadar zeolit endüstrisi konusunda kendine yeterli durumdadır. Birleşik Devletler, çeşit, çeşit zeolit mineraleri ve kaynakları bakımından geniş gizile sahip olması nedeniyle yeni, önemli pazarlama gelişmeleriyle yalnız kendine yeterli olmakla kalmıyacak olasılıkla büyük bir zeolit dışsattıcısı olacaktır.

## İŞLETME

Birleşik Devletlerde doğal zeolitler için üretim sayıları yayımlanmamıştır. Fakat Senozoyik tüflerden küçük tonajlar halinde çıkarılmaktadır. Bir kaç yüz ton şabazit, kli-

(\*) Industrial Minerals and Rocks. de Ieford, S.J., editor: A.I.M.E. New York P. 1257 - 1262'den Yusuf Z. GÜRESİNLİ, (Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü, Erzurum) tarafından türkçeleştirilmiştir.



noptilolit ve eriyonit 1960 yılı ortalarından beri her yıl işletilmektedir. İşletilen yataklar Arizona'da Bowie yakınında, Kaliforniya'da Hector yakınında ve Nevada'da Persey vadisinde dirler.

Zeolit yataklarının işletilmesi ve örnek alınması ticari kuruluşlar tarafından 1950'lerin sonlarından beri Arizona, Kaliforniya, Nevada, Oregon, Teksas ve Wyoming'de etkin şekilde sürmektedir. Yapay zeolitlerle doğal moleküler elek tipi zeolitlerin yarışabileceğinin düşünül- düğü 1960 yıllarından beri buluş iş- lemleri hızlanmıştır. 1970 yılından sonra bu buluşlar daha da hızlan- mıştır. Bu kez de önem kirlilik de- netleme işlemi için yararlı zeolit yataklarının yerlerinin saptanması üzerindedir.

Japonya doğal zeolit üretimin- de Dünya'da öndedir. 1960 yılı or- talarından beri Japonya'nın yıllık üretimi 100.000 ton dolayındadır. Bu üretimin yarısı İtalya, Honshu'daki bir madendendir. Klinoptilolit ve mordenit şimdilerde Japonya'daki madenlerden sağlanan zeolitlerdir.

## JEOLOJİK ÇEVRE

Zeolitlerin 1750'lerin ortalarından beri litoloji ve jeoloji yönünden farklı yaştaki kayalarda bulundukları bilinmektedir. Murray ve Renard (1891)'in, derin deniz yataklarında filipsiti tanıtmayla, zeolitlerin tortul yataklarda bulunduğu anlaşılmıştır. 1950 yılından önce zeolitlerin püskürtük kayaların, özellikle bazaltik kayaların boşluklarında ve çatlakları arasında birikmekte oldukları çokça rapor edildi. Geniş albeniye sahip müze koleksiyonlarındaki örneklerin çoğu iç püskürtük kayalardan elde edilmiştir. Yakın yıllarda zeolitlerin değişik tortul kayaların ve düşük derecede metamorfik kayaların kayayı oluşturan önemli öğeleri olduğu anlaşılmıştır. (Hay, 1966). Tortul kayalardaki zeolitler çok ince kristal yapıdadırlar ve mineral koleksiyoncuları için çekici değildir. Fakat bu tür yataklar çok oylumlu ve büyük ekonomik gizile sahiptirler. Bu bölümün geri kalan kısmında tortul kayalardaki zeolit kaynaklarının özetlenmesi yapılacaktır.

Bütün dünya'da 400'den çok yayınlanmış rapor tortul kayalarda-

ki zeolitleri tanımlamaktadır. Bunların %75'i son yıllarda yayınlandı. Bu raporların son zamanlarda artmasının temel nedenleri: 1) İnce zerreli tortul kayalarda c-ışınları difraksiyon tekniğinin geniş alanda uygulanışı 2) ticari kullanmaya uygun zeolit yataklarının araştırılması 3) Coombs ve arkadaşları (1959) ve Deffeyes (1959)'un her ikisi tarafından daha önce yayınlanmış olan makalelerin gözden geçirilmesi ve her ikisinin de tortul kayalardaki diajenetik ve otijenik zeolitlerin yaygın ve göreceli yaygın oluşumları üzerinde durmalarıdır.

Tortul kayalar içerisinde bulunan zeolitler en yaygın otijenik silikat mineralleridir ve onlar litolojik yönden değişik yaşta yataklanma koşullarında oluşmuşlardır. Tablo 1'de tortul kayalarda saptanan zeolitler verilmektedir. Mamafih, faujasite, gismondine gonnardite, Scolecite ve thomsonite gibi bazı zeolitler genellikle az miktarda ve ender olarak rapor edilmiştir. Yalnız dokuz çeşit zeolit genellikle büyük çapta zeolitik kayaları oluşturur. Bunlar analisim, şabazit, klinoptilolit, erionit, hölandit, lomantit, mordenit ve filipsit. Analsim ve klinoptilolit tortul kayalarda daha çok bulunan zeolitlerdir.

Tortul kayalar içinde yaygın olarak bulunan bu dokuz zeolit önemli miktarda farklı Si : Al oranı ve

kasyon kapsamı gösterirler. Hölandit ve lamontit dışındakiler genellikle alkali mafik iç püskürtük kayalarda oluşan eşdeğerlerinden daha çok silisyum kapsarlar. Onların kimyası hakkında özetler, Deer, Howie ve Zussman (1963) Hay (1966), Sheppard (1971) ve Utada (1970) tarafından verilmiştir.

Tortul kayalardaki zeolitlerin çoğu, tortulların gömülmesinden sonra, alüminasilikatların gözenek suyu ile tepkimesi sonucu oluşurlar. Silisik volkan camları zeolitleri oluşturan en uygun alüminasilikatlardır. Bunun dışında kil mineralleri, feldispatlar, feldispatoidler ve Al-Si jelleri de uygun koşullarda zeolitlere dönüşebilirler. Hay (1966), otijenik zeolitler ve birleşik silikat minerallerinin aşağıda gösterilen etkenle denestirilebileceğini göstermiştir: 1) Bileşimi, ince daneli oluşu, gözenekliliği ve yerli kayaların yaşı 2) gösterdiği pH'da gözenek suyunun bileşimi, tuzluluğu ve iyon değişimi oranı ve 3) yerli kayaların gömülme derinliği. Lamantit ve olası hölandit dışındaki öteki yaygın zeolitler genellikle derine gömülmemiş veya hidrotermal gözeltillerle karşılaşmamış tüflü tortul kayalar içinde bulunur.

Farklı zeolitik tortul kayaların sınıflandırılması zordur. Fakat Jeolojik yerleşim durumu göz önüne alınarak ve öteki incelemeler için

Zeolit	Formülü
Analcime	$Na Al Si_2 O_6 \cdot H_2O$
Chabazite	$(Ca, Na_2) Al_2 Si_4 O_{12} \cdot 6H_2O$
Klinoptilolite	$(Na_2, K_2 Ca)_3 Al_6 Si_{30} O_{72} \cdot 24 H_2O$
Epistilbite	$(Ca, Na_2)_3 Al_6 Si_{18} O_{48} \cdot 16 H_2O$
Erionite	$(Na_2, K_2, Ca)_5 Al_9 Si_{27} O_{72} \cdot 27H_2O$
Faujasite	$(Na_2, Ca)_2 Al_4 Si_9 O_{24} \cdot 16H_2O$
Ferrierite	$(K, Na)_2 (Mg, Ca)_2 Al_6 Si_{30} O_{72} \cdot 18H_2O$
Gismondine	$(Ca, Na_2, K_2)_4 Al_8 Si_8 O_{32} \cdot 16H_2O$
Gonnardite	$Na_2 Ca Al_4 Si_6 O_{20} \cdot 5H_2O$
Harmotome	$(Ba, Na_2)_2 Al_4 Si_{12} O_{32} \cdot 12H_2O$
Heulandite	$(Ca, Na_2)_4 Al_8 Si_{28} O_{72} \cdot 24H_2O$
Laumontite	$(Ca_4 Al_8 Si_{16} O_{48} \cdot 16H_2O$
Mordenite	$(Na_2, K_2, Ca) Al_2 Si_{10} O_{24} \cdot 7H_2O$
Natrolite	$Na_4 Al_4 Si_6 O_{20} \cdot 4H_2O$
Phillipsite	$(K_2, Na_2, Ca)_2 Al_4 Si_{12} O_{32} \cdot 12H_2O$
Scolecite	$Ca_2 Al_4 Si_6 O_{20} \cdot 6H_2O$
Stilbite	$(Ca, Na_2)_4 Al_8 Si_{28} O_{72} \cdot 28H_2O$
Thomsonite	$Na Ca_2 Al_3 Si_5 O_{20} \cdot 6H_2O$
Wairakite	$Ca Al_2 Si_4 O_{12} \cdot 2H_2O$
Yugawaralite	$Ca Al_2 Si_6 O_{18} \cdot 4H_2O$

Tablo 1: Tortul Kayalarda Saptanan Zeolitler



Bir temel olarak aşağıdaki duyarlı sınıflandırma yapılır: 1) Hidrotermal 2) metamorfik gömülme 3) dış koşullar 4) açık sistem ve 5) kapalı sistem. Utah'ın doğu bölgesindeki metalitik yatakları ve sınırlı olarak sıcak yağmur yataklarıyla birlikte bulunan zeolitler hidrotermal tiptedirler (Lovering ve Sheppard). Son olarak iyi bilinen örnekler Wyo'da Sarıtaş ulusal parkında (Fenner, 1936; Honda ve Muffer, 1970); Yeni Zelanda'da Wairakei (Steiner, 1953, 1955) ve Japonya'da Onikobe (Seki ve arkadaşları, 1969). Jeotermal alanlarındaki zeolitler genellikle düşey yönde zonlaşma gösterirler ve aşağıya doğru sıcaklıktaki artışla birbirini izleyen mineral grupları görülür. Wairakei ve Onikobe'de örnek olarak aşağıya doğru birbiri arkasından mordenite, laumontite ve sonrada Wairakite şeklindedir.

Gömülme metamorfik tipi zeolitler ilk olarak Coombs (1954) tarafından Yeni Zelanda'nın güney tarafındaki Trias tortul kayalarda ortaya konmuştur. Coombs ve arkadaşları (1959) mineral biriklerinin aşağıya doğru düşey olarak bölgeleşmesinin birbiri ardısıra clinoptilolit - heulandite-analcime, Laumontite-albite ve sonra prehnit-pumpellit-albit şeklinde olduğunu göstermişlerdir. Prehnit ve pumpellit'ce zengin kayaların aşağıya doğru derinleşmesinin en tipik metamorfik özellikli yeşil şist formasyonlarındandır. Yerel olarak Wairakite'ce zengin zon Laumontite-albite ve prehnite-pumpellit - albite zonları arasında bulunur veya bu zonların içine girer. Zeolitler ve gömülü metamorfik tipteki silikat mineraleri genellikle 10.000 ft'ten daha kalın deniz volkanit tabakaları içerisinde ve yerine göre 40.000 ft'ten daha çok olarlarda bulunurlar. Mineral gruplarının birbiri ardı sıra düşeyde oluşması, hidratasyonun derinlikle azalması ve genellikle sıcaklığa bağlı olduğu düşünülmektedir. Ne varki, kimyasal değişkenlerin de eşit derecede önemli olduğu gösterilebilir. Yeni Zelanda'da bulunanlar dışında Avustralya'da (Pacham ve Crook, 1960) Puerto Rico (otalora, 1964), SSCB (Kossovskaya ve Shutov, 1963), Japonya (Seki, 1969; Utada, 1970), Kolombiya,

Kanada (Surdam, 1968) ve Birleşik Devletlerde gömülme metamorfik tipteki zeolitik kayaların bulunduğu anlaşılmıştır. Merkezi Oregon'da bulunan gömülme metamorfik tip kayalar Lamontit kapsarlar (Dickinson, 1962; Brown ve Thayer, 1963) Mount Rainier ulusal parkında, Wash (Fiske ve ark, 1963) ve Califerniya yakınındaki Cache nehrinde (Dickinson, 1969). Dış koşullarla (iklimsel değişmeler) oluşan zeolit tipleri oylum olarak oldukça azdır. Fakat olasılıkla birçok yatak gözden kaçmış olabilir. Analsime Califerniya'nın doğu tarafındaki San Joaquin vadisinin alkali tuzlu topraklarında son zamanlarda rapor edilmiştir. (Baldar ve Whittig, 1968), Analsime 4 ft derinlikte bulundu ve kapsamı derinlikle azaldı. Hay (1963'a), analsim şabazit, natrolit ve filipsiti Tanzaniya'daki Olduvai çukurunda alkali ve tuzlu toprak kesitlerinde görmüştür. Analsimin yüzey değişimi, yine Kenya'nın kırmızımsı kökizli Luboi ovasındaki kil taşlarında rapor edildi (Hay, 1970).

Çokça oranda ve gizildeki değerli zeolit yatakları açık ve kapalı sistem tipinde oluşmuşlardır. "açık sistem" ve "kapalı sistem" süreçleri termodinamik anlamdan daha çok hidrolojik anlamda kullanılmaktadırlar. Açık sistem tipindeki yataklar, volkan camlarının kökeni meteorik olan yeraltı suyu ile tepkimesiyle oluşmuştur. Türdümce volkanik gereç genellikle deniz ya da tatlı su ortamlarında ya da saha yüzeyinde havanın biriktirmesiyle oluşur. Kapalı sistem tipi yatakları tuzu alkali göllerdeki çökeltme sırasında arada kalan su ile volkanik camın tepkimesi ile oluşmuştur.

Açık sistem tipindeki yataklar genellikle kalın tüf formasyonları içerisinde ve otijenik silikat minerallerinin düşey zonlaşması şeklinde oluşur. Hay (1963'a), merkezi Oregon'daki Tersiyer John Day formasyonunun alt tabakalarındaki tüf ve tüflü kil taşlarındaki silisli camın yeraltı suyu tarafından hidrolizi ve çökeltmesi sonucu klinoptilolit oluştuğunu belirtmektedir. Foruygun olduğunu göstermektedir. masyonun daha yukarı kısmı bozul-

mamış volkanik camlar ya da monmorillonit kapsar. Nevada Test Site'de Tersiyer tüflerindeki otijenik minerallerin zonlaşması daha komplekstir (Hoover, 1968). Kil mineraleri ve şabazitin yerel konsantrasyonu ile değişikliğe uğramamış camlar daha yukarı bir zonu oluşturur. Zeolitik tüfler aşağıya doğru 6000ft'e kadar sürer ve aşağıya doğru tabakaların sıralanmasında klinoptilolit, mordenit ve bundan sonraki analsim zonundan daha zengindir. Açık sistem tipindeki zeolit tabakaları genellikle stratigrafik sınırları keserler.

Kapalı sistem tipindeki zeolit yatakları genellikle çeşitli sodyum karbonat ve bikarbonatın alkali-tuzlu göllerde diyajenez sürecinde oluşurlar.

Kapalı sistem tipindeki zeolit yatakları genellikle çeşitli sodyum karbonat ve bikarbonat içeren alkali ve tuzlu göllerde diyajenez sürecinde oluşmaktadır. Bu bileşimdeki tuzlu suyun genellikle 9'dan daha yüksek PH'ye sahip olması, gerecin daha büyük olması ve görelî hızlı çözülmesi ve zeolitlerin çökmesinin nedenidir. Kapalı sistem tipindeki yataklarda tuzlulukta otijenik silikat mineralojisi arasında denestirme kurulabilmektedir. Tecopa gölünün Pleystosen yatakları Kaliforniya'da kapalı sistem tipini karakterize etmektedir (Sheppard ve Gude, 1968). Camı gereç tüflerin tatlı suda depo edildiği veya göl kıyısı ile nehir ağzlarında depo edildiği yerlerde ya hiç değişikliğe uğramamıştır veya kısmen kil mineralerine dönüşmüştür. Bununla birlikte az tuzlu yerlerde depo edilen tüfler zeolit kapsarlar ve daha çok tuzlu ve alkali suların bulunduğu havzanın merkezi kısımlarındaki yataklar ise potasyum feldispat kapsarlar. Böylece bu tüfler havzanın ortasına doğru önce değişikliğe uğramamış volkanik camlar, zeolitler ve daha sonra potasyum feldispat şeklinde yanıl bir zonlaşma gösterir. Tecopa gölündeki zeolitik tüfler başlıca filipsit, klinoptilolit ve eriyonit kapsarlar. Tecopa gölündeki tüfler en az şabazit kapsarlar. Fakat şabazit yerel olarak öteki tuzlu göl yataklarındaki zeolitik tüflerde büyük çap.



ta bulunur. Kapalı sistem tipindeki bazı yataklarda Kaliforniya'nın Mi-yosan Barstow formasyonu gibi (Sheppard ve Gude, 1969) ve Wyoming'in Eosen Green nehri formasyonu (Surdam ve Parker, 1972) öteki zeolitleri potasyum feldispattan ayıran bir analsim zonu kapsarlar. Kil mineralleri, zeolitler ve potasyum feldispatlara ek olarak kapalı sistem tipi yatakları yerel olarak otijenik kökenli opal yahut kalsedon, sirlisit ( $\text{NaB Si}_2 \text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) florit ( $\text{CaF}_2$ ) veya davsonit ( $\text{Na Al Co}_3(\text{OH})_2$ ) kapsarlar.

### TEKNİK TANITIM

Tabakalı zeolit yataklarının belirlenmesi zeolitlerin ince kristalli ve sahada tabakalı diatomit, feldispat yahut bentonite benzemesi nedeniyle zordur. Zeolitler genellikle toprağa benzer özelliğe ve dirence sahiptirler. Bunlardan başka bazı zeolitik tüfler donuk sarı, kahverengi, kırmızı yahut yeşil bazen beyaz veya açık gri renktedirler. Zeolitik tüf eğer hemen hemen tek mineral yapıdaysa kayanın kabaca fiziksel özelliklerinin arazide tanınmasına gerçekten yardımcı olabilir. (Sheppard ve Gude, 1969). Zeolitlerin iyon değişim ve moleküler elektrik özelliklerinden yararlanılarak zeolitlerin tanınması için bir saha testi planlanmıştır (Helfferich testi zeolitleri kil mineralleri, feldispatlar ve volkanik camlardan ayırt eder. Fakat test zeolit türlerini birbirinden ayıramaz, Helfferich'in düzeltme yapmış olduğu deneyler bu testin laboratuvar koşullarına daha

Tortul kayalarda zeolitlerin tanınması için genellikle kabaca alınan örneklerde x-ışınları difraksiyon tekniği uygulamaktadır. Bu yöntem keza, zeolitlerin ve onlarla bulunan minerallerin miktarının ölçülmesinde yarı yarıya tahmin yürütmeye yarar. Tüf tabakalarından örnekler alınmakta ve sonra bu örnekler x-ışınları difraksiyon yöntemiyle detaylandırma için laboratuvara getirilmektedir. Taze tüfler genellikle sahada bozmuş tüflerden ayırt edilebilir, böylece düşey ve yatay yönün herikisinde tüf kayalarının değişikliğe uğramış parçaları örneklenir. Zeolitlerle birlikte bulunan otijenik minerallerin miktarı ve dağılımının araştırılması için gerekli

olan ölçümlerin ayrıntılı bir şekilde toplanmasında ve özellikle zeolitlerin tanınmasında x-ışınları difraksiyon yöntemi uygulanmaktadır. Laboratuvar x-ışınları çalışması için ölçümlerde çok bir değişim olmamalıdır. Sahada kullanılmak için uygun olanı elverişli bir araba üzerine monte edilen x-ışınları difraktometredir. Hedefe ulaşmak ve ölçüm programını değerlendirmek için rehberlik sağlar.

### OLASILIK KAYNAKLAR

Yatakların tanımı, büyüklüğü ve derecelendirilmesi üzerindeki bilginin azlığı zeolit kaynaklarının değerlendirilmesi engellenmektedir. Bunun dışında Birleşik Devletlerdeki tortul kayalarda 100'den çok zeolit oluşumları kaydedilmiştir (Sheppard, 1971). Zeolitik kayaların böyle düşey ve yatay boyutları, mineralojisi ve derecelendirilmesi gibi bilgi için birkaç yatağın incelenmesi zor olan kalınlığınca geniş olarak açıklanmasına gereksinim vardır. Zeolitlerin gerçekten tortul bir kitlede oluştuğu yalnız bir örneğin denetlenmesinden genellikle anlaşılmaktadır. Bununla beraber Birleşik Devletlerin batısındaki ve Gulf Coastal ovasındaki Senozoyik yataklardaki zeolitik tüflerin çok geniş tonajlarda ve yüksek safılıkta oldukları bilinmektedir.

Birleşik Devletlerdeki zeolit kaynakları ilk kez Deffeyes (1968) tarafından yayınlandı. Aynı yazar tarafından havzanın yüzeye yakın kısmında 120 milyon ton klinoptilolit, şabazit, eriyonit, mordenit ve filipsitin olduğu yayınlandı ve alan değerlendirildi. Bu belge havzanın ve değerlendirilme ortamının zeolit yataklarının korunmasını içermekte, Birleşik Devletlerin olası zeolit kaynakları ve yaklaşık önemli ve bunlardan daha büyük olan birkaç madenini tanıtmaktadır. Derinlik ve derecesi sınırlanmış çok güçlükle karşılaşılmadı. Kuramsal olarak Birleşik Devletlerde tahmin edilen toplam zeolit kaynaklarının 10 trilyon ton olduğu anlaşılmaktadır. Listedeki dokuz zeolit genellikle miktarındaki azalma sırasına göre klinoptilolit (hölandit kapsayan) analsim, mordenit, eriyonit, filipsit, şabazit, lomontit ve ferri'tir. Birleşik Devletler Dünya'nın yaklaşık en

geniş, olabilecek en yüksek derecede şabazit, eriyonit ve filipsit kaynaklarına sahiptir. Dünya'da en yüksek derecede ferrierit merkezi Nevada'da rapor edilmiştir (Regis, 1970).

Amerika Birleşik Devletlerindeki zeolit kaynakları hakkında bir karara varmak zordur. Dünya'nın öteki ülkelerinin zeolit kaynakları için de bir karar vermek olası değildir. Zeolitler öteki birkaç ülke tarafından tortul kayalarda rapor edilmektedir ve oluşumları Hay (1966), Lijima ve Utada (1966) tarafından açıklanmıştır. Bununla beraber anlaşılmayan kaynakların mevcut olduğu da yayımlanmaktadır. Bu çalışmalarda öteki ülkelerdeki zeolit yatakları bulundu ve bu kısmında yüksek derecede zeolit yataklarının var olduğu Fransa (Esteoule ve ark. 1971), Almanya (F.A. Mump-ton, 1972), İtalya (Sersale, 1960; Alietti ve Ferrarese, 1967; Alietti, 1970), Yugoslavya (Stojanovic, 1968), Macaristan (Nemecz ve Varju, 1962) ve Bulgaristan (Alexiev, 1968) gibi yabancı ülkelerle ilişkisi ortaya kondu. Zeolit oluşumları daha çok tüfik kayalarda ve en çok klinoptilolit şeklindedir.

Birleşik Devletlerin batı tarafındaki, ve Dünya'nın öteki ülkelerindeki zeolit yataklarının bulunmuş olacağı kuşkusuzdur. Zeolitler alüminasilikat gereçlerinin çeşitli şekillerinde olabilirler. Oluşum süreci boyunca ara yerde su bulunması koşuluyla yüksek pH ve yüksek alkali derişimiyle ilgilidirler. Nitekim, en saf zeolit yatakları volkanik kül ve kristal ve kaya parçalarından oluşur. Batı yarım küresinde, Birleşik Devletlerin güney tarafındaki ülkelerde, örneğin Arjantin, Şili ve Meksika'da zeolitler rapor edilmiştir. Üst Mesozoyik ve Senozoyik tüf taşlarının incelenmesinden yaklaşık birkaç geniş zeolit yataklarının Meksika'da ve merkezi Amerika ve Güney Amerika'da olduğu yayınlanmıştır (Mumpton, 1973). Gelecekteki araştırmalar güney Avrupa, batı Afrika ve güney Asya'da volkanik formasyonlardaki zeolit yataklarını ortaya çıkaracaktır.

### GEREKSİNİM DUYULAN ARAŞTIRMALAR

Zeolitlerin tortul kayalarda oluştukları genel çizgileri içersinde



anlaşmıştır. Bununla beraber çalışmaların tamamlanması bir çok sorunu çözer. Genç deniz gibi yataklarında belli başlı zeolitler flip-sit ve klinoptilolittir. Fakat bunların oluşumunda ara yerde bulunan su ile gercin geleceği arasındaki önemli ilişki bilinmemektedir. Tuzlu göl karakterindeki alkali yataklarda ilksel bileşimi riyolitik olan tüfler zeolit minerallerinin bir çeşidini kapsarlar. Fakat zeolit zerrelerinin şekillenmesini sağlayan etken-

ler yeterli anlaşılammıştır. Düşük ısıdaki örnek çalışmalarla Holosen tüflerindeki zeolitler ve arayerdeki sıvıların mevcut değişmeler altında birleşmesiyle ilgili çalışmaların tamamlanması bazı yanıtlar ortaya koyabilir. İncelemelere dayanarak olan başka bir sorun yerli kayaların jeolojik yapısına göre zeolit çeşitlerinin gerçekten kimyasal bir ilişkisinin varlığıdır.

Dikkate değer olan öteki ileri bir teknolojik araştırma 1) zeolit-

lerin örtü tabakasından ayrılması için tekniğin geliştirilmesi 2) Bir zeolit diğer birinden ayırt edilmesi için tekniğin geliştirilmesi 3) doğal zeolitlerin kimyasal ve yapısal oluşumlarından yararlanılmasını arttırmak. Doğal zeolitler ve zeolitik kayalar kuşkusuz bir çok endüstri ve tarım amacıyla kullanılmış olacak. Bununla beraber bu hedeflere ulaşmakta başarı göstermek için araştırma verilerinin toplanması gereklidir.

## DÜNYADA ZEOLİT

### Dünya Doğal Zeolit Satışları

	Miktar (1.000 ton)	Değer (Milyon dolar)
1965	12	1
1970	80	8
1975	180	21
1979	280	35

Kaynak: Industrial Minerals

### Dünya Doğal Zeolit Potansiyeli

Genel Uygulama	Potansiyel değer (Milyon dolar)	
	Düşük	Yüksek
Tarım	420	770
İyon değişimi	380	750
Adsorpsiyon	250	450
Tüketilen ve şekli de- ğiştirilen zeolitler	150	330
<b>Toplam</b>	<b>1.200</b>	<b>2.300</b>

Kaynak: Industrial Minerals

### Doğal Zeolitlerin Japonya'daki kullanımları (ton/yıl)

Kağıtta dolgu maddesi olarak	39.600	48.000	%63-65
Öteki endüstriyel kullanımlar	9.600	12.000	%16
Balık yetiştirilmede	2.400	4.800	%4-6
Beslenmede gıda rejimi tamamlayıcısı olarak	4.800	6.000	%8
Toprak düzeltici olarak	4.800	6.000	%8
<b>Toplam</b>	<b>61.200</b>	<b>76.800</b>	

Kaynak: Industrial Minerals

## Karbonatlı Kayaçlardaki Stratiform Pb-Zn Yatakları (\*)

D. F. SANGSTER

Karbonatlı kayaçlardaki Pb-Zn yatakları, bu iki metalin dünyadaki en büyük kaynaklarından biridirler. Avrupa ve Amerikanın başlıca kaynağı olan bu tip yataklanmalar: Appalachian, Tri-State, GD Missouri, yukarı Mississippi vadisi, Avrupa ile Büyük Britanya'daki Alpler, Merkezi İrlanda düzlüğü ve Pennin bölgelerinde görülürler.

Bu iyi bilinen maden yataklarının bazılarının ayrıntılı açıklamaları daha sonraki kısımlarda sunulacaktır.

Karbonatlı kayaçlardaki Pb-Zn yataklarının bir gurubu skarn ve raplasman tipi yataklanmalardır. Bu tip yataklanmalar kendine yakın mağmasal kayaçlarla ilintili olup bu gurubun diğer Pb-Zn yataklarıyla karıştırılmaması gereklidir. (Birgham ve Utah'taki Pb-Zn yatakları.)

Karbonatlı kayaçlardaki Pb-Zn yataklanmalarının büyük kısmı dolomit içerisinde bulunabilir. Kalın bir karbonat istifinin olduğu yerlerde genellikle Pb-Zn yataklanmaları bulunabilir. Bu tip yataklanmaların geli-

şimi için esas faktör: Resifler, fasiyes değişimleri, bazen kenar ve taban topoğrafyası gibi geniş ölçekli tortul özelliklerdir.

Bununla birlikte şeyllerdeki ince karbonat düzeyleri bu tipin önemli yataklanmalarını ender de olsa içerebilir. Tabiki karbonat tortullarının oluşumu, uygun iklim koşulları ve özellikle sıcak su ile artırılır. Kullanılabilen paleotopografik haritalar üzerindeki önemli Pb-Zn yataklarının dağılımı alçak topoğrafya içinde görülmektedir.

(\*) Carbonate - hosted Lead - Zinc deposits. In: Ed. K.H. Wolf., 1976 Handbook of Strata -bound and stratiform Ore deposits. Vol. 6 s. 447-456 Erdal Şenöz (A.Ü.F.F. Mineraloji Kürsüsü) tarafından özetlenerek Türkçeleştirilmiştir.