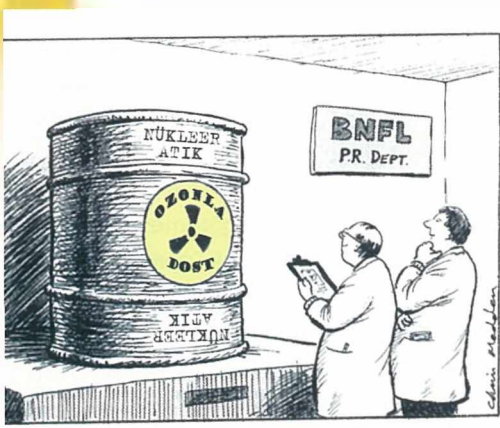


# Tehlike!

## Burada Radyasyon Var



Kaynak: ECO news, Aralık 1989, s1

*Dünyadaki radyoaktif atıklar büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Bunların bir an önce saklanması ve bunun için güvenli yolların bulunması gerekmektedir.*

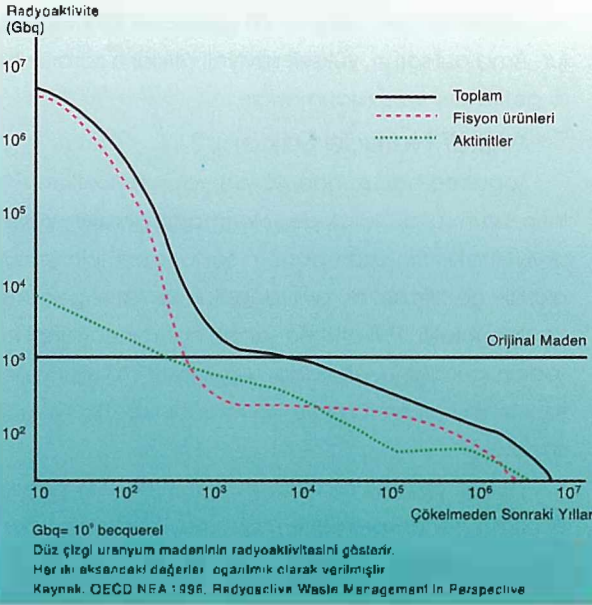
Ece Gökpınar  
Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğrencisi  
egokpinar@yahoo.com

**R**adyasyonun çevreye yayılmasının ana nedeni gezegenimizin su döngüsüdür. Göller, akarsular, denizler ve okyanuslar ile yeraltı suları bu döngünün parçalarıdır. Bunlar, buharlaşarak ve bitkilerin terlemesi ile atmosfere karışırlar. Bulutlar da yağmur veya kar şeklinde yeryüzüne geri dönerler.

Radyoaktif atıklar bu döngüye su ile karıştıklarında girerler. Su içerisindeki radyoaktif çekirdekler; bitkiler tarafından emilir ve denizlere karışarak oradaki canlıları etkilerler. Radyasyon, hava yoluyla da gelebilir. İnsanlar solunum yoluyla, içtikleri sudan ya da yedikleri yemeklerden de radyasyon alabilirler. Radyoaktif atığın etkisi, atığın suya karışma ve çevrede yol alma hızlarına, radyoaktif çekirdeğin yarı ömrüne ve insan vücudunda ne kadar kalacağına bağlıdır. Vücuttaki radyoaktif atom ve moleküllerin yarısının vücuttan atılma süresi, o elementin biyolojik yarı ömrüdür ve bir elementin tüm izotopları için bu süre aynıdır. İnsan vücudunda kaldıkları süre içinde yapacakları tahribat, bu süreye bağlıdır. Biyolojik yarı ömrü kısa olan izotoplar-biyolojik yarı ömrü bir hafta olan trityumda olduğu gibi- vücuttan çabuk atılırlar ve herhangi bir tahribata sebep olmazlar. Biyolojik yarı ömrü orta uzunlukta olan bir elementin vereceği zarar ise, o elementin radyoizotopunun fiziksel ömrüne bağlıdır. Örneğin sekiz gün fiziksel ömürlü <sup>131</sup>I (iyot) tehlikelidir. <sup>129</sup>I ise 17 milyon yıl yarı ömrüdür ve bu yüzden de vücuttan atılana kadar bozunmayacağı için zararlı değildir. Öte yandan biyolojik yarı ömürleri uzun olan Pu (plütonyum) ve Sr (stronsiyum) gibi elementler kemiklere yerleştiklerinden, fiziksel yarı ömürlerine bakılmaksızın tehlikelidirler.

ABD Ulusal Bilimler Akademisi tarafından 1983'de çıkarılan nükleer atıklarla ilgili bir rapora göre; Amerika'da saklanan radyoaktif atıkların yeraltında çürümesi için gereken zaman, 3 milyon yıldır. Bu,

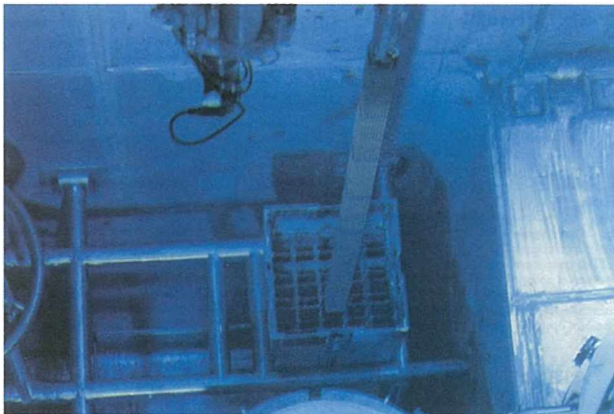
Kullanılmış bir tür PWR yakıtın yeniden işlenmesinden elde edilen yüksek seviyeli atığın radyoaktivitesinin düşüş grafiği:



insan ömrü, hatta insanlık tarihi göz önüne alındığında çok uzun bir zamandır. 1976 Ekim'inde İngiliz Parlamentosunun "Flowers Raporu"nda denildiği gibi, "Bu gibi atıkların güvenilirliğinin düzenlenmesi göz önüne alındığında insan kendi deneyiminin ötesinde bir zaman dilimiyle karşılaşır."

Radyoaktif atıkların saklanması, teknolojik olduğu kadar politik problemleri de beraberinde getirmektedir. Hiç kimse yakınında bunların saklanması istemez. Bu korku anlaşılabilir, ama güvenli saklama yeri bulunana kadar da depoların bir yere yapılması gerekmektedir.

Göller ve akarsular güneş ile temasta olduklarında temizlenebilmekte ve kısa sürede yenilenebilmektedir. Ancak yeraltı sularında bu süreç oldukça yavaştır. Eğer bu kirlenme devam ederse 2020-2030 yıllarında dünyanın en pahalı sıvısı su olacaktır.



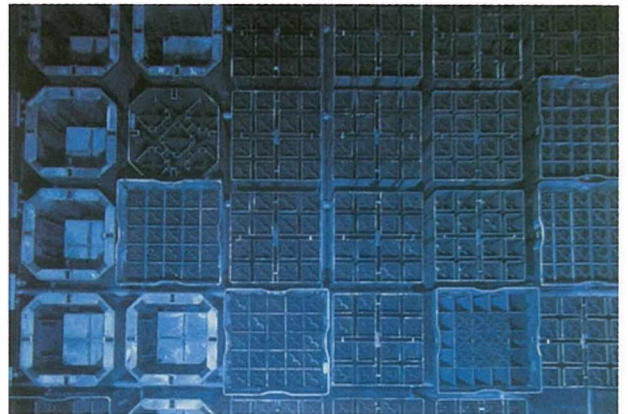
Yakıt çubuğunun varile sıkıştırılarak depolanması.

İdeal çalışan nükleer güç tesislerinden salınan çok az miktardaki radyoaktif gaz, havaya karıştığında oldukça hızlı ve etkili bir şekilde seyreltiğinden çevreye ve insanlara etkisi olmamaktadır. Zararsız hale getirilmiş radyoaktif atıkların depolanması sırasında meydana gelebilecek sızıntıların okyanusları, atmosferi ve yeraltını kirlenmeleri, seyreltme de dikkate alındığında, önemsenmeyecek miktardadır.

Radyoaktif atıklarda en önemli husus; radyoaktif maddelerin biyolojik organizmalarda yoğunluk kazanabilmeleridir. Örneğin DDT (tarım ilacı) su aracılığıyla balıklara, balıklardan da balık yiyen kuşlara geçinceye kadar milyon kere konsantre olur. Bundan dolayı radyoaktif atıkların zararsız hale getirilmesinde, radyoaktif maddelerin gıda zincirine geçmesini önleyecek tedbirlerin alınmasına önem verilmelidir.

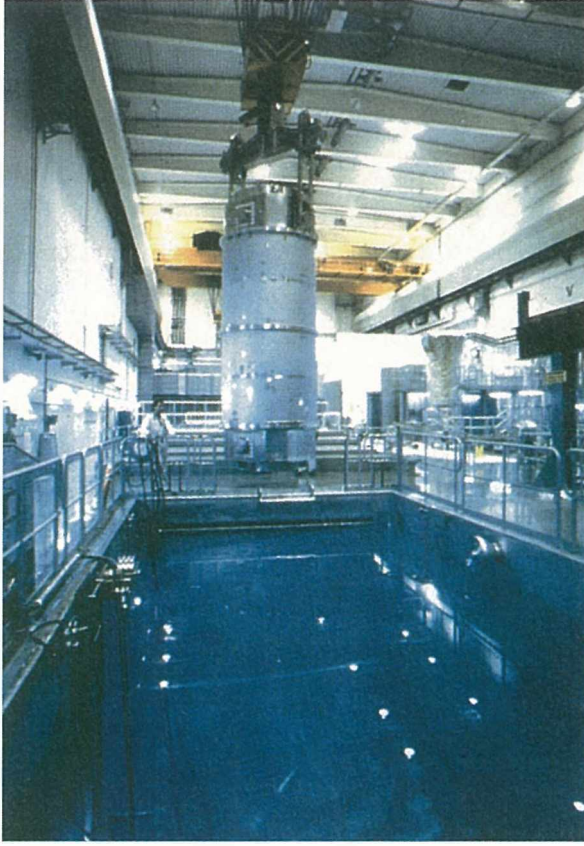
Nükleer enerji santralleri, milyarlarca yıl yarı ömürlü uranyumu (<sup>235</sup>U) reaktörde kullanarak azaltırken; 700 milyon yıl yarı ömürlü <sup>235</sup>U'ı, 24 bin yıl yarı ömürlü Pu (Plütonyum) ile 30 yıl yarı ömürlü Cs (sezyum) ile Sr (stronsiyum) gibi daha çok radyasyon yayan maddelere dönüştürürler (Radyoaktivite birim zamanda bozulan atom sayısıdır ve Bq (Becquerel) veya Ci (Curie) ile gösterilir. Radyoaktivite yarı ömür ile ters orantılıdır.

Yarı ömrü uzun olan radyoaktif atıkların yüksek oranlarda ortaya çıkması, bugünkü nükleer güç endüstrisinin en büyük problemidir. Önceleri, atıkların saklanmasıdaki güçlüklerin santral kurulmasını engelleyen bir etken olmadığı düşünülüyordu. Atık, bir şekilde yeniden işlenebilir, yakılabilir ya da başka bir çözüm bulunabilirdi. Maalesef radyoaktif atıkların saklanması güvenli yollarının bulunması ve çevredeki radyasyonun azaltılması, tahmin edilenden çok daha zordur.



Soğutma havuzunun yakından görünümü.





Soğutma Havuzu.

### Kaç Türlü Radyoaktif Atık Vardır?

Radyoaktif atıklar birkaç farklı formda olabilir. Bunlar; radyoaktiviteye maruz kalan işçilerin kıyafetleri, radyoaktif çekirdek deneylerinden arta kalan hayvanların artıkları, soğutma suyu, kullanılmış yakıt çubukları, eski araçlar ve nükleer santralin parçaları, uranyum zenginleştirilmesinden arta kalan fabrika atıkları, hastane atıkları ve hatta kullanılmış duman dedektörleridir (radyoaktif Amerikyum <sup>241</sup>Am içeriyor).

Radyoaktif atıklar; içerdikleri radyoaktif izotop miktarlarına bağlı olarak iki ya da üç gruba ayrılırlar. Ayrıca verdikleri zararlara göre de sınıflandırılırlar: Düşük-Orta-Yüksek veya Düşük-Yüksek seviyeli radyoaktif atıklar.

Kısa yarı ömürlü yüksek yoğunluklu radyoizotoplarla, uzun yarı ömürlü düşük yoğunluklular, "düşük seviyeli radyoaktif atıklar" grubunda; bir yıldan daha uzun yarı ömürlü yüksek yoğunluklu radyoizotopları içerenler de "yüksek seviyeli atıklar" grubunda yer alır.

Yüksek seviyeli radyoaktif atıklar, nükleer reaktör teknolojisi atıklarıdır ve bunlar; sivil nükleer reaktörler, askeri nükleer reaktörler ve nükleer gemilerden meydana gelir. Tıp, endüstri, tarım ve araştırmalardan ar-

ta kalan radyoaktif atıklar, düşük seviyeli radyoaktif atıklardır ve zararsız hale getirilmeleri kolaydır. Bunların, gömülüp üstü kapatılır ve üzerlerine işletme kuru- lur. Ama asıl sorun, yüksek seviyeli atıkların zararsız hale getirilmesi ve saklanmasıdır.

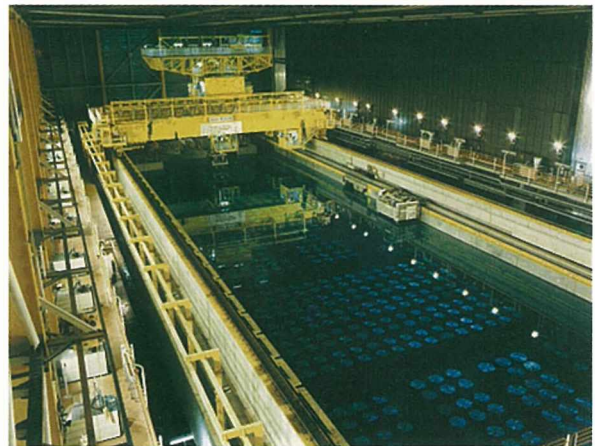
### Atıklar Nerede Saklanır?

Soğutma havuzunda 40 yıla yakın bekletilen atıkların, uzun süreli olarak depolanmaları gerekir. Yüksek seviyeli atıkların uzun dönem saklanması için jeolojik olarak geçirimsiz duraylı depolar ve atık geçirmez kaplar gerekir. Paketleme; atığın hacmine, hangi izotopları içerdiğine, ne kadar radyoaktif olduğuna, izotoplarının yarı ömrüne ve ne kadar ısı ürettiğine göre olmalıdır.

Yüksek seviyeli atıkların paketlenmesinin bir yolu da camla eritme ve eriyik malzemeyi de kaplara koymaktır. Kaplar toprakta veya kaya içinde yakıtabilir ve dolgu malzemesiyle, bariyer (engel) duvarı ile kaplanır. A.B.D.'de, 1990 yılında Enerji Bakanlığı Güney Carolina'daki üretim tesisinde yeni radyoaktif atıklarda test operasyonlarına başladı. Planlanan şey; radyoaktif malzemenin, dayanıklı cam içinde çeliğe enjekte edilmesiydi. Yüksek seviyeli atıkların iyileştirilmesi için başka bir teknik de; Tennessee'de Oak Ridge Ulusal Laboratuvarında, daha güvenli saklama için atığı eritme ve konsantre olması için mikrodalgaların kullanılması yoluyla test edilmesidir.

1940'dan 1960'a kadar radyoaktif atık tenekeleri çoğunlukla okyanusa atılıyordu.1970'de yani 10 yıl sonra EPA'nın bu tenekelerin yaklaşık dörtte birinin sızıntı yaptığını belirlemesiyle bu duruma son verilmiştir. Günümüzde atıkların uzun dönem okyanus altında saklanması için yeni yöntemler geliştirilmektedir.

Bir diğer atık saklama projesi ise atıkların kaya tu-



Soğutma Havuzu.



Varillerin şekillendirilmesi

zu formasyonlarının içinde yakılmasıdır. Doğal kaya tuzu formasyonları atık saklamak için ana jeolojik ortamlardır. Çünkü tuzun olması suyun olmadığını gösterir. Granit, sertleştirilmiş kül, bazalt, kil ve şeyi radyoaktif atık saklama için diğer uygun jeolojik formasyonlardır.

## Nükleer Atık Saklama Teknikleri Hakkında Bazı Görüşler

**Derin Jeolojik Saklama:** 1950'lerden 1970'lere kadar Amerikalı bilim adamları yüksek seviyeli radyoaktif maddelerin reaktörlerde ve ülke içindeki diğer yerlerde saklanması amacıyla yönelik olarak araştırma yaptılar. 1980'lerin başında çevresel faktörler ve diğer çalışmalarını takiben hükümet, Enerji Bakanlığı'nı sadece derin jeolojik saklama seçeneğini çalışması için yönlendirdi (bu yöntem, atıkların derin jeolojik formasyonların içerisinde saklanmasıdır).

Jeolojik saklama günümüzde atık saklamanın en popüler çözümü haline gelmiştir. 1980'ler boyunca A.B.D. hükümeti bu proje için, 2 milyar dolardan fazla para yatırmıştır. Bu saklama yönteminde uygun kazı teknikleri kullanılarak atık depoları için derin tüneller yapılır. İzleme

ve örnekleme için de gerekli çalışmalar çok daha kolaylıkla yürütülebilir.

**Çok Derin Deliklerde Saklama:** Bilim adamları tarafından sunulan bir diğer seçenek ise atıkların çok derin deliklerde saklanmasıdır. Bu yöntemde yüksek seviyeli radyoaktif atık kapları yer yüzeyinden 10 bin metre aşağı yerleştirilmesi, bu derinliklerde radyasyonun teorik olarak izole edilmesi ve zamanla istenen seviyeye düşürülmesi planlanır.

Radyoaktif atıklar derinlerde, yüzey sularının altında iken, onu çevreleyen kayanın, yüksek sıcaklık ve radyasyona maruz kaldığından yapısı değişebilir. Bilim adamları radyoaktif atığın bu gibi derin deliklerde, yüksek basınç ve sıcaklık altında nasıl davranacakları hakkında yeterli bilgiye henüz sahip değiller. Bu yüzden çok derin delik saklaması bir seçenek olarak reddedilmiştir.

**Uzaya Göndermek:** NASA ve Enerji Bakanlığı, uzayda saklamanın birkaç yöntemini de araştırmıştır. Olasılıklar atık kaplarının güneşe yollanması ya da Ay'ın üzerine bırakılmasıdır. Uzaya göndermenin, insanın atığı çevresinden anlık olarak uzakta tutma gibi bir cazibesi vardır. Fakat uzay saklamanın olumsuzlukları çok fazladır. Yükleme sırasında bir kaza olma olasılığı ya da radyoaktif atığın gönderilmesi sırasında düşünülen bu potansiyel, kabul edilemez bir seçenek olarak karşımıza çıkar. Ayrıca uzay saklaması, pratikten çok uzak görünmektedir. Çünkü bu işlem çok fazla maliyet gerektirir. Ayrıca böyle bir programın gelişmesi için de uluslararası anlaşmaların kurulması oldukça zordur.

**Buzullarda Saklama:** Bilim adamları radyoaktif atıkların kutup buzullarında yakılması için de araştırma yapmıştır. Kutup bölgelerindeki popülasyonun azlığı ile kutup buzulunun durağanlığı ve kalınlığı (binlerce metre) bu seçeneğin avantajlarıdır.

Bu seçeneğin bir sakıncası ise saklama veya alma işlemlerinin kesin olmamasıdır. Bir diğeri gelecek iklimlerin potansiyel etkilerinin kutup buzullarının durağanlığını ve kütle büyüklüğünü değiştirebilecek olmasıdır. Eğer küresel iklim kutup erimesini artırırsa radyoaktif atıklar çevreye yayılabilir. Ayrıca bu yöntem oldukça pahalı bulunmuş ve 1959 yılında imzalanan Antarktika Antlaşması'na göre de burada radyoaktif atıkların saklanması yasaklanmıştır.

**Kaya Eritme Saklaması:** Bir diğer saklama seçeneği de kaya eritmesidir. Bu işlem, kullanılmış nükleer yakıtın yeniden işlenmesiyle oluşturulan sıvı atığın derin yeraltı deliği veya yeraltı çukuruna (yeryüzünden 2000 metre aşağı-





Atık Saklama Deposunun yeraltı yapıları ve işlemlerinin model resmi

ği) gönderilmesini içerir. Çevreleyen kaya teorik olarak radyoaktif atığın çürüğünün ısısından dolayı eriyecektir. Eriyik, bin yıl sonra katılaşacak ve atık yeryüzünden derine kayacaktır.

Bu seçenek de reddedilmiştir. Çünkü Enerji Bakanlığı'ndaki bilim adamları Nevada test yerinde bu şekilde radyoaktif malzeme saklamanın çevreye radyoaktif malzeme sızıntısı olabileceğini açıklamışlardır. Kaya eritme seçeneğini yasaklayan diğer sebepler katılaşma işleminin çok uzun süre gerektirmesi ve izlemenin zorlukları ve gerektiğinde saklanmış maddenin geriye alınmasının zorluğudur.

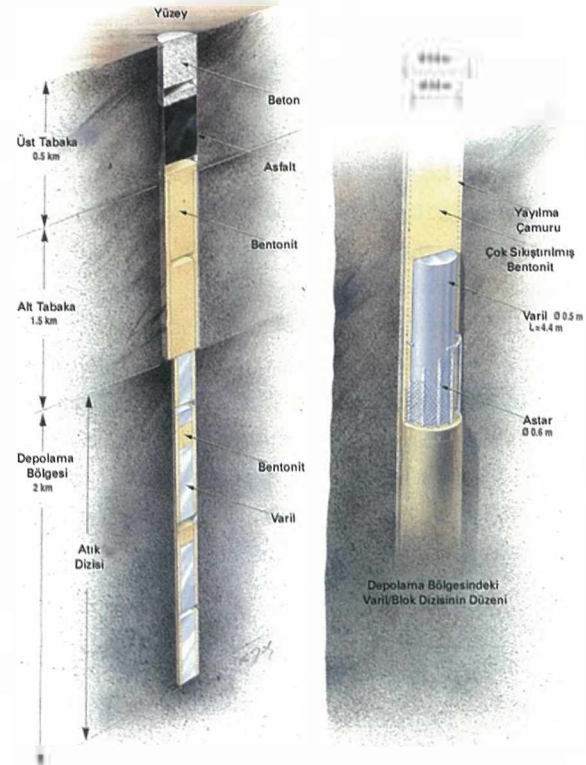
**Adalarda Saklama:** Bilim adamları uzak adaların

altında, derinlerde, radyoaktif atığın yakılmasını da araştırmışlardır. Adalar değerli kaynaklar içermemeleri ve kıtalardan çok uzakta olmaları nedeniyle potansiyel aday olarak kabul edilebilirler.

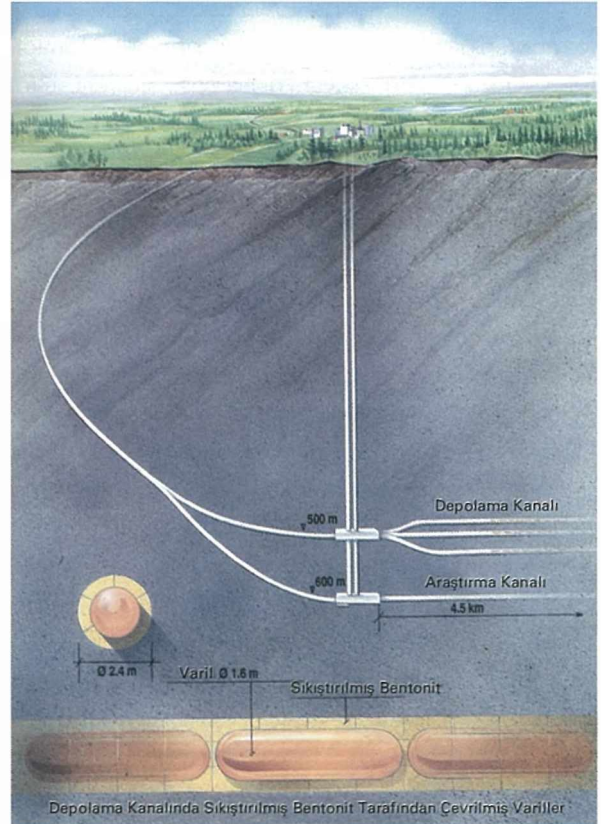
Ancak adaların jeolojik saklama yeri olarak kullanılmamasının nedeni; okyanus taşımacılığına getireceği risklerdir. Birçok ada depremler etkisinde ve volkanik aktiviteye sahiptir. Bazı adalar öyle bir jeolojik yapıya sahiptirler ki tatlı su gibi deniz suyunu da içerirler. Özellikle tuzlu su atık kabının aşınmasına yol açarak radyoaktif parçaların çevreye yayılmasına sebep olur. Yakın ülkelerin reddetmesi de ayrı bir problem oluşturabilir.

**Derin Enjeksiyon Saklaması:** Bu seçenek, sıkıştırılmış yüksek seviyeli radyoaktif sıvı atıkların, bin metre derinliğe pompalanmasıdır. Atık; teorik olarak geçirimsiz kaya formasyonlarından sızarak geçirimsiz bir kaya tabakası tarafından korunacaktır. Şeyl tarafından kaplanan kumtaşı, derin enjeksiyon saklaması için iyi bir seçenek olarak sunuluyor (Burada kumtaşı atık için rezervuar, şeyl ise geçirimsizliği sağlayan formasyondur).

Bu seçeneğin dezavantajı, atığın enjeksiyondan önce mekanik veya kimyasal olarak işlenmeye ge-



Derin saklama deposunun VDH düzeni (Very Deep Holes)



Derin saklama deposunun VLH düzeni (Very Long Holes)

Kaya Formasyonu	Laboratuvar Adı	Ülke	
Tuz	Yatak	Salt Vault (Kansas)	ABD
	Dom	Avery Island (Louisiana)	ABD
	Dom	Asse	Almanya
	Yatak	WIPP (New Mexico)	ABD
	Dom	Hope	Almanya
	Granit	Strippa	İsveç
	Granit	Grimsel	İsviçre
	Granit	Edgar Mine (Colorado)	ABD
	Granit	Tono Mine	Japonya
	Granit	URL	Manitoba
Kristalen Kaya	Granit	Climax Mine (Nevada)	ABD
	Granit	Fanay Augeres	Fransa
	Granit	Hard Rock Laboratory	İsveç
	Granit	Akenobe Mine	Japonya
	Granit	NSTF (Washington)	ABD
	Bazalt	G-Tunnel (Nevada)	ABD
Kıllı Kaya	Plastik Kil	Mol	Belçika
	Kil-Marn	Pasquasia	İtalya

Geçmişteki ve şimdiki ana yeraltı araştırma laboratuvarları

reksinim duymasıdır. Diğer bir olumsuzluk da sıvı atığın rezervuar formasyonu dışına sızma olasılığıdır. Bu, atığın çevreye yayılma ihtimalini de artırır.

**Dönüştürme(Transmutasyon):** Bir radyoaktif atık işleme yöntemidir.Yüksek seviyeli radyoaktif bir atığın, uzun ömürlü radyoaktif çekirdeklerinin kısa ömürlü olanlarına çevrilerek miktarının azaltılması olarak bilinir.

Transmutasyonun dezavantajı, yakıt üretimi masraflarının artması ve kısa süreli radyasyon tehlikesinin beraberinde getirme olasılığıdır. Ayrıca, kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işlenmesi ekonomik değildir.

## Yucca Dağı

Dünyanın çeşitli yerlerinden uzmanlar, yüksek dereceli atıklar için en güvenli yolun, onları yeraltında saklamak olduğuna karar vermişlerdir. Bu düşünceye dayanarak A.B.D. hükümeti, 1982'de Enerji Bakanlığı'na uygun bir yer bulup bunu düzenlemesi için yetki vermiştir. Bu yetkiye dayanarak 1983'den itibaren arazi araştırması başlamıştır. İlk başta depolama için uygun yer sayısı 9'du. 1987'ye kadar bu sayı 1'e indi: Yucca dağı. Yucca Dağı, Las Vegas'ın 160 km kuzeydoğusunda bulunmaktadır. 2010 yılında Yucca Dağı depolama çalışmalarının başlaması için 15 milyar dolara yakın harcama beklenmektedir.

Birçok bilim adamı Yucca Dağı'nın nükleer atık depolamak için uygun bir yer olduğunu düşünüyor. Uygunluk; buradaki kayaların atıkları binlerce yıl izole edebilecek bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Öyle ki radyoaktif madde, işlenmemiş uranyum yatağıyla aynı veya daha az risk taşır. Yucca Dağı'nın atık sak-

lama için uygun bir yer olmasının diğer nedenleri şöyle sıralanabilir: En yakın yerleşim alanından 100 mil uzaklıkta olması, oldukça kuru bir iklime sahip olması ( yılda 15mm'den daha az yağmur alıyor), su tablasının çok derinde olması (yer yüzünden derinlik: 240-300 metre).

Kayaların özellikleri ve su tablasının derinde olması birçok bilim adamının bu yerin atık saklama için uygun olduğunu düşünmelerine sebep olmuştur.

Ancak, atıkların hala yeraltı suyuna karışabilirliği tartışma konusudur. Eğer Enerji Bakanlığı buraya bir depo yaparsa yerin 200-425 metre altında ve su tablasının 175-365 metre üstünde olacaktır.

## Arka Bahçemizi Koruyalım

Kimse arka bahçesine atık atılmasını ya da yerüstüne, akarsulara ve denizlere atılmasını ya da havaya serbest bırakılmasını istemez!.. Fakat atık zararsızlaştırılarak dünyanın derinliklerinde depolanıp izole edilebilirse durum değişir. Farklı jeolojik formasyonlara sahip yeraltı laboratuvarları konusunda çalışan 10 ülke var; Belçika, Kanada, İtalya, Japonya, Almanya bunlardan birkaçı.

OECD için (Uluslararası Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı), Nükleer Enerji Ajansı (NEA) tarafından radyoaktif atıkların jeolojik saklanmasıyla ilgili bir rapor hazırlandı. Hazırlanan rapor 1998'de 17 ülkedeki gelişmelere göre yenilendi (Ülkeler arasında Kanada, Fransa, Almanya, Finlandiya, Japonya, İsveç, İsviçre ve İngiltere de var). Ayrıca IAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı) tarafından yapılmakta olan bir araştırma da, atık araştırma teknikleri programı ve kurumun şu anda yürüttüğü çalışmalar, radyoaktif atık işleme profilleri ve üye ülkelerin raporlanmış bilgilerine dayanıyor. Kurumun atık işleme veri tabanı, ulusal programlar ve Monaco'daki Deniz Çevre Laboratuvarı'nın denizlerde radyoaktivite izleme projesi hakkında detaylı bilgiler sunmaktadır.

Radyoaktif atıklarla mücadelede; atıkların işlenmesi, depolanması ve benzeri konularda uluslar arası işbirliği kaçınılmazdır. Nükleer atıklar konusunda özellikle gelişmiş ülkelerin kayıtsızlığı devam ettiği sürece, canlılar için en temel gereksinimler olan hava ve suyun tamamen kirlenmesi çok uzak bir olay değildir.

### Kaynaklar

- Deyley, M. J., 1997. Nuclear Power\Promise or Peril? Minneapolis: Lerner Publications Company.
- Galperin, A. L., 1992. Nuclear Energy Nuclear Waste. Newyork, Philadelphia: Chelsea Publishers.