

Yüksek Radyoaktifiteli Nükleer Atıkların Güvenli Depolama Araştırmaları - Finlandiya Örneği

Yüksel Atakan, Dr.Fizik Y.Müh., ybatakan3@gmail.com, Almanya

Bu yazımızda nükleer reaktörlerden kaynaklanan yüksek radyoaktifiteli kullanılmış uranyumlu nükleer yakıtın, güvenli depolanmasında kalıcı çözüm uygulamalarıyla ilgili Dünya’da yapılan bilimsel araştırmalar gözden geçiriliyor ve Finlandiya örneği şekilleriyle açıklanıyor. Bugün tüm dünyada nükleer reaktörlerde ortaya çıkan uranyumlu yüksek radyoaktifiteli ,nükleer yakıt atıkları’nın 250.000 ton kadar olduğu ve bunun 90.000 ton’unun da ABD bulunduğu kestiriliyor /1/.

Radyoaktif atıklarla ilgili olarak, gelişmiş ülkelerde son Yarım Yüzyıl’dır (YY) yoğun bilimsel araştırmalar yapılıyor. Radyoaktif atıkların hacimleri küçültülüyor, orta radyoaktifiteli olanların camlaştırılarak biyolojik ortamla ilişkisinin kesilmesi, atık varillerinin belirli süreler sonunda durumlarının incelenerek gerekli onarım ve yenilemelerin yapıldığı biliniyor.

Nükleer reaktörlerde uranyumlu yakıt elemanları kullanıldıktan ve geri dönüşümleri yapıldıktan sonra arta kalan yüksek radyoaktifiteli uranyumlu (daha çok U 238) atıklar, gitgide radyoaktifiteli azalmalarına rağmen, binlerce, hatta milyonlarca yıl radyasyon saçıklarından, bunların çelik silindirlere kapsüllenerek güvenli bir şekilde 5.000 m derinliğe varan kayalar içinde dış ortamla ilişkilerinin kesilerek, hatta on milyonlarca yıl, çevreye bir etkisi olmadan gömülebileceğiyle ilgili çeşitli bilimsel araştırmalar yapılıyor /1,2/.

Örneğin ABD’deki tüm nükleer santrallerden ortaya çıkacak yüksek radyoaktifiteli nükleer yakıtın, 700 adet kapsül ya da çelik silindir içinde, her biri 5.000 m derinlikte kayalık ya da uygun jeolojik yapı içinde açılacak, derin kuyularda saklanabileceği ve böylelikle biyolojik ortamla ilişkisinin kesilmesiyle ilgili bir ,pilot çalışma’ bulunuyor. Bununla ilgili raporda tüm teknik ayrıntılar ve fiyatlar yer alıyor /2/.

Kullanılmış nükleer yakıt hangi maddelerden oluşuyor

Kullanılmış nükleer yakıt maddesinde % 95 U238, % 1 U235, % 1 Pütonyum ve reaktörde U235’in bölünmesinden oluşan (Cs 137 ve Sr 90 başta olmak üzere) 200 kadar fisyon ya da bölünme ürünleri (radyoizotopları) % 3 kadar bulunuyor. Kullanılmış yakıt özellikle bu bölünme (fisyon) ürünlerinin aşırı radyoaktifiteli sonucu ışın ve ısı yaymaları nedeniyle önce nükleer santrallerde genellikle 3-5 yıl havuzlarda bekletiliyor. Kısa yarılanma süreli radyoizotoplar bozunduktan (radyoaktifiteli düştükten) sonra, başka yerlere, yüksek güvenlik önlemleri altında taşınabiliyorlar (Örneğin geri kazanım tesislerine ya da atıkların saklanacağı depolara).

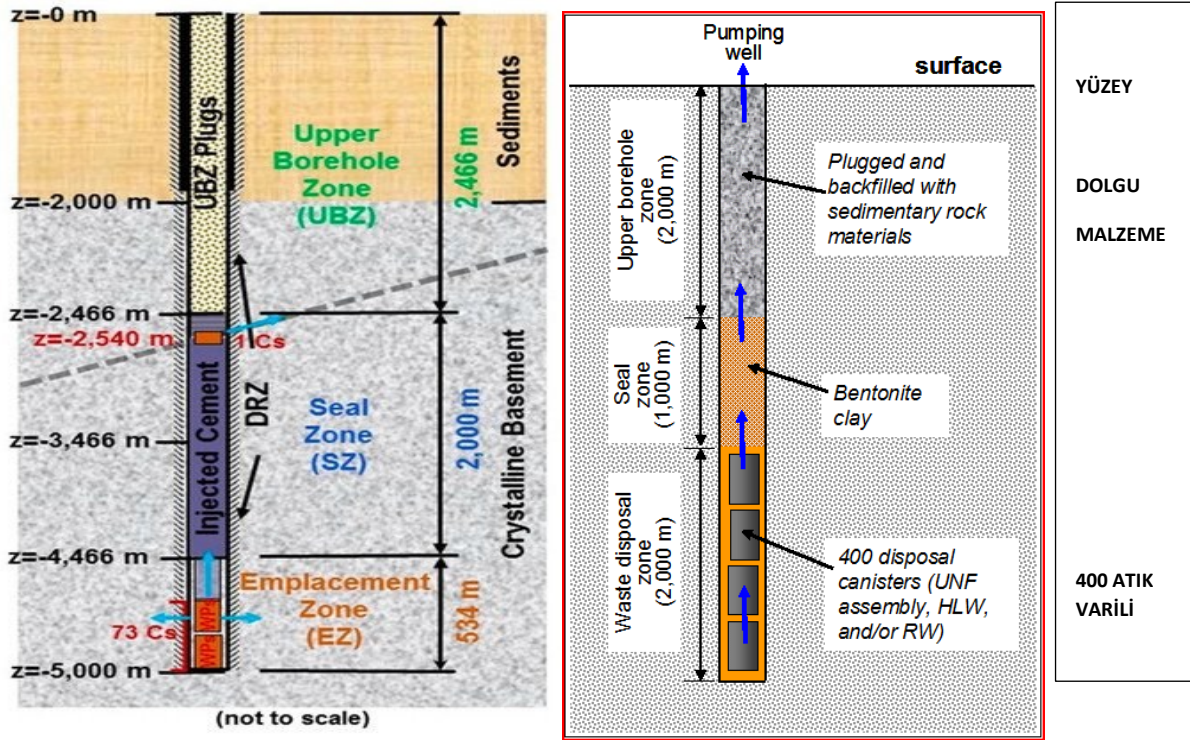
ABD’de nükleer atıkların güvenli depolanmasıyla ilgili çalışmalar

ABD’de yüksek radyoaktifiteli atıkların 5.000 m’lik derin kuyularda saklanmasıyla ilgili genel tasarım ve ayrıntılar Şekil 1’de (ölçeksiz) görülüyor. Kuyudaki geniş boru içinde 4.500-5.000 m derinliklere indirilen nükleer yakıtın üstüne betonit ve diğer malzeme pompalanarak sıkıştırılıyor. Çizelgede görüldüğü gibi, bir tek derin kuyunun 2011’deki maliyeti yaklaşık 40 milyon USD’dir. Bir kaç metre çapındaki bu derin kuyularda en büyük maliyet, kuyunun yapımını (27 milyon USD), kalanı ise atık varillerin fiyatlarını, bunların yüklenmesi ve izole edilmesini kapsıyor. Radyoaktif atıkları ‘Jeolojik gömme’ denebilecek, bu derin kuyu yönteminin uygulanabileceği alanlar ve oralardaki jeolojik yapı USA, Fransa ve İsveçte de araştırılıyor /3/.

ABD - BİR TEK DERİN KUYUNUN 2011’deki YAKLAŞIK YAPIM BEDELİ

Çalışmalar, malzemeler	Yaklaşık bedeli (Milyon USD)
Derin kuyunun açılması, içten metal kılıfla çevrilmesi ve diğer işler	27,3
Atık varillerin bedeli	7,6
Atık varillerin yerlerine konulması	2,8
Derin kuyunun kapatılma işlemleri	2,4
	40,1

Şekil 1: ABD’de nükleer atıkların kalıcı depolanmasıyla ilgili bilimsel araştırmalar



Almanya’da nükleer atıkların güvenli depolanmasıyla ilgili çalışmalar

Almanya Aşağı Saksonya eyaletinin, Salzgitter bölgesinde, ‘düşük ve orta düzeyde radyoaktif atıklar’ için hazırlanan kalıcı depo yerinin yapımı 850 metre derinlikteki ‘Konrad’ eski demir maden ocaklarında sürüyor. 2027 yılında işletmeye açılması öngörülen Konrad ocaklarında toplam 303.000 m³ hacminde radyoaktif atık depolanacak. Radyoaktif atık varilleri, yerlerine konulduktan sonra betonlanacak. Kalın kil tabakalı jeolojik yapı, hem suların girmesini hem de herhangi bir şekilde radyoaktivitenin dış ortama sızmasını ayrıca önleyecek.

Maket resim Almanya Salzgitter’deki Konrad radyoaktif atık depo yerini gösteriyor.



Almanya’da toplam 620.000 m³ düşük, orta ve yüksek radyoaktifiteli atık olduğu kestiriliyor. Bunun içinde yaklaşık 27.500 m³ kadar az miktarı yüksek radyoaktifiteli (toplamın % 5 kadarı) uranyumlu nükleer yakıt atıkları olmasına rağmen bunlar, tüm radyoaktifiteli atıkların toplam radyoaktifitesinin % 99’unu oluşturuyorlar. Bu yüksek radyoaktifiteli atıklara uygun olabilecek depolama yeri yıllardır araştırılıyor. Uygun yer bulunana ve işletmeye açılana kadar, uranyum nükleer yakıt atıkları, her bir reaktör alanındaki özel binada (depoda), güvenli Castor varillerde saklanıyor.



Castor varilleri 30-40 cm duvar kalınlığında demirden, 6 m yüksekliğinde ve 2 m çapında, yüklendiğinde 140 ton ağırlığında (kütlesinde) çok büyük silindirlerdir (Resimler). 40 yıl kullanılabilecek ve 800 derece C dayanabilecek şekilde projelendirilmişlerdir. Ayrıca Castor varilleri helikopterden bir kaç kez 200 m yüksekten düşürülme denemelerinde herhangi bir hasar görmemişlerdir /6,7/. Castor varillerinin toplam adedi: 1900 (Bir Castor varilin fiyatı: yaklaşık 1 Milyon Avro).

Finlandiya Onkalo derin tünel mağaralarında nükleer atık gömülme örneği

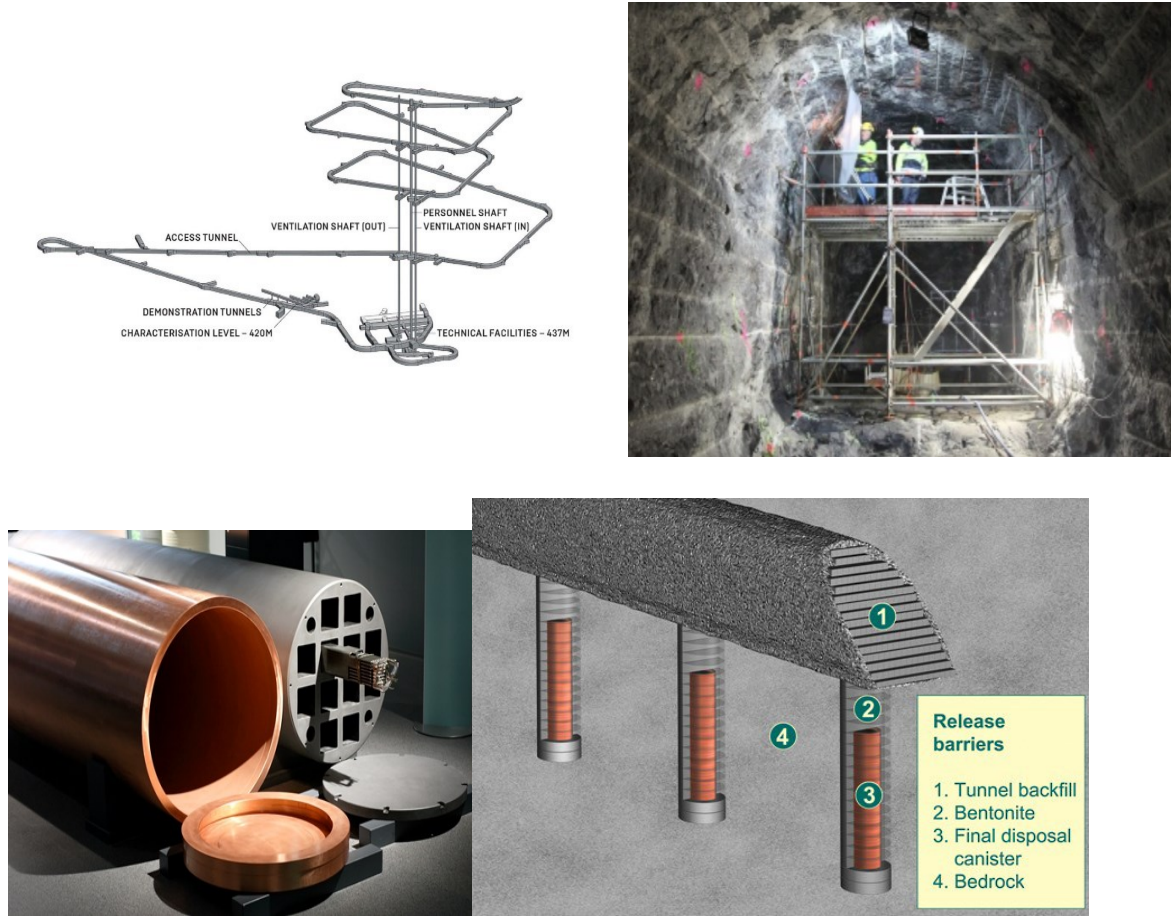
Finlandiya, çalışmakta olan nükleer reaktörlerinden ileride ortaya çıkacak kullanılmış nükleer yakıtı güvenli ve kalıcı olarak depolamak için Dünya’da ilk adım atan ülke oldu. Nükleer atıkların kalıcı bir şekilde depolanma zorunluluğu, Finlandiya parlamentosunca, yeni nükleer santrali Olkiluoto 3’ün yapımı için izin verilirken 2004 yılında onaylandı. Olkiluoto adasındaki nükleer santrallerin yanında kurulacak bu tesisin uygunluğunu belirlemek amacıyla 2004 ile 2014 yılları arasında yapılan jeolojik ve diğer araştırmalar olumlu sonuçlandı.

2019’dan beri yapılmakta olan bu deponun 2025’de bitirileceği açıklanıyor. 2 km x 2 km bir alanın altında 450 m derinlikteki toplam 42 km uzunluğundaki tünellerin kollarında (dehlizlerinde, mağaralarında) toplam 6.500 ton kullanılmış nükleer yakıt kapsüllenerek gömülecek. Nükleer atıklar 1 m çapında dışı kalın bakır, içi dökme demir yapımı, çift silindir varil içinde, kapsüllenerek gömülecek (Tünel krokisine ve varillerin şekillerine bkz).

Atık deposundan radyoaktivitenin yayılmasını ve dış ortamlarla ilişkiyi engelleyen 4 zırhlama şekilde görülüyor. Bunlar: 1: Tünelin, kil ile doldurulmasıyla oluşan kil blok zırhı, 2: Bentonit ile dolgu zırhı, 3: nükleer atık varilinin çift kılıflı zırhı ve 4: kayalık yapı zırhı. Resimde sağda varilin demirden iç silindiri ve solda da varilin 5 cm kalınlığında bakır dış kılıf silindiri görülüyor. Böylelikle korozyondan korunma sağlanacak. Variller yerleştirildikten sonra tüneller kil bloklarıyla kapatılacak. En sonunda da tüm kanal ve tünel kolları kapatılarak insanların ve suların girmesi, bu dört zırhlamayla engellenecek. Varillerin bu depoda 100 bin yıl kalabileceği hesaplanıyor /4,5/.

Finlandiya’daki bu depo, Dünya’da, ilk derin tünel mağaralarında atık gömülme yeri olacak. Bu depo 100 yıl kullanılabilecek ve maliyetinin de 3 milyar Avro’yu geçeceği kestiriliyor.

Şekil 2: Finlandiya nükleer atık derin tünel krokisi ve atıkların konulacağı silindirin dış ve iç yapısı



Türkiye’de durum

Türkiye’de bugüne kadar bir nükleer reaktör çalışmadığı için, uranyumlu nükleer yakıt atığı bulunmuyor. Tıp, endüstri, üniversiteler ve araştırma merkezlerinden kaynaklanan düşük ve orta düzeyde radyoaktiviteli atıklar bulundukları yerlerde geçici süre depolanıyorlar. Türkiye Atom Enerjisi Kurumundan: RADYOAKTİF ATIK YÖNETİMİ YÖNETMELİĞİ’ne göre sorumluluk ve denetim ilgili atıkları tesislerinde ya da arazisinde bulunduran kişi ve kurumlardadır (TAEK (Resmi Gazete Sayı 28582, 9 Mart 2013). Radyoaktif Atık Yönetimi, 2019 yılında TAEK Atık Yönetimi Şubesi Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir /9/.

Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde radyoaktif atıkları depolama olanağı bulunuyor: Örneğin: ‘Mevcut radyoaktif atıkların işlenmesi kapsamında /9/;

2019 yılında personelimiz ve atık taşıma aracımız ile toplamda 15 adet göreve çıkılarak farklı illerden radyoaktif atıkların Çekmece Yerleşkesine transferi gerçekleştirilmiştir. 2.185 adet Tc-99 jeneratörü, 289 adet radyoaktif kaynaklı paratoner ve 61 adet duman detektörü radyoaktif atık olarak teslim alınmıştır. İşlenen radyoaktif atık miktarı 1.200 adettir. 53 ton ağırlığındaki TENORM radyoaktif hurda kabulü yapılmış ve bu atıkların atık sahasında istiflenmesi tamamlanmıştır’.

Akkuyu andlaşmasında, nükleer yakıtın reaktörlere getirip götürülmesinde sorumluluk Rus Rosatom şirketindedir. Zaten nükleer yakıtın sahibi ve kullanıcısı da Rosatom’dur. Buna göre kullanılmış nükleer yakıt Türkiye’de depolanmayacak. Kullanılmış yakıt önce 3-5 yıl Akkuyu’daki yakıt bekletme havuzlarında kalacak sonra Rusya’ya taşınacaktır. Ancak kullanılmış yüksek radyoaktiviteli nükleer yakıtın en üst düzeyde güvenlik önlemleriyle Rusya’ya taşınması sağlanmalıdır. İleride, Akkuyu’da çalışacak dört reaktörden her biri için taşıma, her yıl ya da iki yılda bir olabilir.

Olasılığı çok az da olsa, bir kaza durumunda, kalıcı çok büyük hasarın ortaya çıkmaması, yüksek radyoaktivitedeki maddelerin çevreye, İstanbul'a yayılmaması için, çok önemli bir önlem olarak, İstanbul boğaz yolu seçilmemelidir.

Not: Bu yazı, Bilim ve Gelecek dergisinin Nisan 2022 sayısında yayımlanmıştır.

Kaynakça

- /1/ [As nuclear waste piles up, scientists seek the best long-term storage solutions \(acs.org\)](https://www.radyasyonyatakan.com/yazi/elektrik-uretiminde-nukleer-santrallerde-son-durum)
<https://www.radyasyonyatakan.com/yazi/elektrik-uretiminde-nukleer-santrallerde-son-durum>
- /2/ Sandia National Laboratories SANDIA REPORT SAND2011-6749, October 2011 Reference Design and Operations for Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste
- /3/ <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-waste/storage-and-disposal-of-radioactive-waste.aspx>
- /4/ <https://finland.fi/de/leben-amp-gesellschaft/finnland-baut-erstes-atomares-endlager/>
- /5/ Disposal of High-Level Nuclear Waste in Deep Horizontal Drillholes (deepisolation.com)
- /6/ <https://tes.bam.de/TES/Content/EN/Standardartikel/Containments/Radioactive-materials/examples-for-container-tests-radioactive.html>
- /7/ <https://www.endlagersuche-infoplattform.de/webs/Endlagersuche/DE/Radioaktiver-Abfall/A> (BASE Aktivität und Volumen).
- /8/ <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/03/20130309-4.htm>
- /9/ http://www.sp.gov.tr/upload/xSPRapor/files/Ljmmu+taek_2019_faaliyet_raporu_yayimlanan.pdf
- /10/ <https://www.radyasyonyatakan.com/yazi/elektrik-uretiminde-nukleer-santrallerde-son-durum>