



DÜNYA NÜKLEER ATIK RAPORU

2019

YÖNETİCİ ÖZETİ

Odak Noktası Avrupa



PAYDAŞLAR VE MALİ DESTEK SAĞLAYANLAR



Bu rapor, çeşitli arkadaşlar ve ortaklardan oluşan bir grubun cömert desteği olmadan hazırlanamazdı. Bu isimlerin başında –alfabetik sıraya göre– Altner-Combecher Stiftung, Bäuerliche Notgemeinschaft Trebel, Bund für Umwelt und Naturschutz (BUND), Bürgerinitiative Umweltschutz Lüchow-Dannenberg e.V., Avrupa Parlamentosu'ndaki Climate Core ve Greens/EFA MEPs grupları, Heinrich-Böll-Stiftung ile vakfın Berlin, Brüksel, Paris, Prag, Washington DC ofisleri, KLAR! Schweiz, Annette ve Wolf Römmig, ve Swiss Energy Foundation geliyor. Hepinize bu raporu mümkün kıldığınız için teşekkür ederiz.

Hazırlayanlar :

Proje lideri : Rebecca Harms

Proje takımı : Rebecca Harms, Wolfgang Neumann, Mycle Schneider, Gordon MacKerron, Anna Thurmann, Arne Jungjohann

Baş editör, proje koordinatörü : Arne Jungjohann

Eleştirmen ve düzeltmenler : Andrew Blowers, Craig Morris, Mycle Schneider, Marcos Buser, Gordon MacKerron, Johan Swahn, Markku Lehtonen, Silvia Weko

Tasarım ve Yerleşim : Andra Kradolfer, Renewable Energies Agency

Katkıda bulunanlar :

Manon Besnard : Nükleer Mühendis, WISE-Paris, Fransa

Marcos Buser : Yer bilimci ve sosyal bilimci İsviçre

Ian Fairlie : Radyasyon biyolojisi uzmanı, Birleşik Krallık

Gordon MacKerron : İktisatçı, Sussex Üniversitesi, Birleşik Krallık

Allison Macfarlane : Yerbilimci ve sosyal bilimci, George Washington Üniversitesi, ABD

Yves Marignac : Bilişim uzmanı, WISE-Paris, Fransa

Eszter Matyas : Siyaset ve çevre bilimci, Orta Avrupa Üniversitesi, Macaristan

Edvard Sequens : Enerji Mühendisi, Calla, Çekya

Johan Swahn : Fizik mühendisi ve nükleer politikalar uzmanı, MKG, İsveç

Ben Wealer : Endüstri Mühendisi, TU Berlin, Almanya



Creative Commons Lisansı altında yayınlanmıştır

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>

KAPAK FOTOĞRAFI

Sean Gallup / Getty Images News

Fotoğraf 8 Haziran 2011 tarihinde Almanya'nın Lubmin şehrinde kurulu Zwischenlager Nord Nükleer Atık Saklama Tesisindeki işletmeden çıkarılan nükleer güç santrallerinden gelen yüksek seviyeli nükleer atıklarla dolu castor tipi taşıma konteynerlerini göstermektedir.

Bilgi ve sorularınız için : info@worldnuclearwastereport.org

Rapor ve ilgili konularda eposta almak isterseniz aşağıdaki adrese gidip, epostanızı bırakabilirsiniz : <https://worldnuclearwastereport.org/#team>

Bu raporun Türkçe çevirisi aşağıdaki grubun gönüllü çalışması ile hazırlandı.

Çevirmen: Ayşen Eren

Editör: Özgür Gürbüz

Tasarım: Yusuf Üçay



YÖNETİCİ ÖZETİ

DÜNYA NÜKLEER ATIK RAPORU, hükümetlerin kapsamlı bir nükleer atık yönetim stratejisi geliştirmek ve uygulamak için onlarca yıldır nasıl uğraştıklarını gösteriyor. Yapılması gereken işin çoğu gelecek kuşaklara kalacak.



ATIK YÖNETİMİ KAVRAMLARI

Nükleer çağın başlangıcından 70 yıldan daha uzun bir süre geçmiş olmasına rağmen dünyada kullanılmış nükleer yakıtların saklandığı, kullanılır durumda derin jeolojik bir depoya (deep geological repository) sahip ülke yok. Halihazırda Finlandiya, nükleer atığın bu en tehlikeli türü için kalıcı depo inşa eden tek ülkedir. Finlandiya dışında

sadece İsveç ve Fransa atıkların ilk yalıtım sürecinde (early confinement process) yüksek seviyeli radyoaktif atıkların kalıcı bir şekilde saklanması için belli bir yer belirlemiştir. ABD, Atık Yalıtma Pilot Projesi'ni (The Waste Isolation Pilot Project, WIPP) yürütmektedir. Fakat bu atık deposu ticari reaktörlerden çıkan kullanılmış nükleer yakıtlar için değil, sadece nükleer silahlardan gelen uzun ömürlü transuranik¹ atıklar içindir.

Mevcut ulusal ve uluslararası yönetimler, birçok başarısız yer seçim sürecine ve terk edilen atık depolama alanı örneklerine rağmen jeolojik bertaraf yöntemini tercih etmeyi sürdürüyor. Bu yöntem yer seçimi, keşif ve onaylama süreçleri boyunca koşulların net olmasını ve istikrarlı kalmasını gerektirir. Buna rağmen derin jeolojik bertaraf yönteminin uygulanabilirliğinin garantisi yoktur. Böylesi atık depolama alanlarının araştırma süreci, endüstriyel uygulanabilirlik temelinde olağanüstü itina ile uygulanmalı, sürecin uygun şekilde izlenmesi süreçle birlikte yürütülmelidir. Bazı bilim insanları korunaklı bir ortamda gözlem altında tutulan uzun vadeli depolama çözümünün çok güvenilir ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir olduğunu düşündükleri için uygulanması gerektiğini kabul ediyor. Genelde ise araştırmaların, bilimsel tartışmaların ve politikacılar ile konuyla ilgili vatandaşlar arasındaki iletişimin bugünkü durumunun bu boyuttaki zorlu bir iş için yeterli olmadığı konusunda güçlü bir mutabakat var.

Nükleer enerji üreten tüm ülkeler için radyoaktif atığın işlenip kararlı hale getirilmesi (conditioning), taşınması, saklanması ve bertaraf edilmesi giderek büyüyen, önemli sorunlar oluşturuyor. Bütün bu gelişmeler **hükümetler ve yetkili kurumların geçici depolama ve bertaraf etme programlarının yönetimini iyileştirmek için baskı altında olduklarını gösteriyor.** Buna bağlı olarak planlama kalitesi ve güvenlik, kalite güvencesi, vatandaş katılımı ve güvenlik kültürü (safety culture) gibi konuları da içine alan standartların uygulamaya konması gerekiyor.

Kullanılmış nükleer yakıt ve yüksek seviyeli radyoaktif atıkların geçici depolara konulmasına yüz yıl veya daha uzun bir süre devam edilecek. Önümüzdeki on yıllar boyunca derin jeolojik depolar hazır olmayacağından **riskler artarak geçici depolara kaymaktadır.** Kullanılmış nükleer yakıt ve diğer kolayca yayılabilen orta ve yüksek seviyeli radyoaktif atıkları saklamaya yönelik günümüzdeki uygulamalar uzun dönem saklama için planlanmadı. Bu nedenle söz konusu uygulamalar, özellikle de dayanıklılaştırılmış tesislerdeki diğer seçenekler (katılaştırma - solidification, kuru depolama - dry storage) mevcut olduğunda artan yüksek riske işaret eder. Nükleer atığın depolanmasına devam edilmesi riskleri artırır, maliyetleri yükseltir ve bu yükleri gelecek nesillere aktarır.

¹ Transuranik atık (Transuranic waste, TRU waste) sadece ABD'de kullanılan bir atık sınıflandırma mevzuatıdır. Bu atık sınıflandırma mevzuatı, bu tip atığı, uranyumdan daha ağır olan elementlerin (atomik numarası 92'den daha yüksek olan elementler) bir gramı 3700 Bq'dan (Bekerel) daha fazla radyoaktivite içerdiği için, "trans-uranik" diye adlandırır (çevirmen notu).



NÜKLEER ATIK MİKTARI

Avrupa ülkeleri birkaç milyon metreküp civarında nükleer atık (uranyum madeni çıkarılması ve işlenmesi sırasında oluşan atıklar hariç) üretti. 2016 sonu itibarıyla **Fransa, Birleşik Krallık ve Almanya nükleer yakıt zinciri boyunca Avrupa'nın en büyük nükleer atık üreticileridir.**

Avrupa'da (Rusya ve Slovakya hariç) çoğu Fransa'da olmak üzere 60 bin tonun üzerinde kullanılmış nükleer atık depolanmıştır (Tablo 1). Avrupa Birliği içindeki kullanılmış nükleer yakıtın yüzde 25'inden Fransa sorumludur. Onu yüzde 15 ile Almanya ve yüzde 14 ile Birleşik Krallık takip ediyor.

TABLO 1: Avrupa'da 31 Aralık 2016 itibarıyla raporlanan kullanılmış nükleer yakıt miktarı ile soğutma havuzlarında bekleyen yakıt miktarı.

Ülke	Kullanılmış nükleer yakıt envanteri [ton]	Yakıt Demetleri*	Soğutma Havuzları [ton]	Soğutma havuzlarındaki kullanılmış nükleer yakıtlar [%]
BELÇİKA	501**	4,173	237	%47
BULGARİSTAN	876	4,383	788	%90
ÇEK CUMHURİYETİ	1,828	11,619	654	%36
FİNLANDİYA	2,095	13,887	2,095	%100
FRANSA	13,990	Yok	13,990	%100
ALMANYA	8,485	Yok	3,609	%43
MACARİSTAN	1,261	10,507	216	%17
LİTVANYA	2,210	19,731	1,417	%64
HOLLANDA	80***	266	80	%100
ROMANYA	2,867	151,686	1,297	%45
SLOVENYA	350	884	350	%100
İSPANYA	4,975	15,082	4,400	%91
İSVEÇ	6,758	34,204	6,758	%100
İSVİÇRE	1,377	6,474	831	%60
UKRAYNA *	4,651****	27,325	4,081	%94
İNGİLTERE	7,700	Yok	7,700	%100
TOPLAM	yaklaşık 60,500		yaklaşık 49,000	%81

Kaynak: Kullanılmış Yakıt İdaresinin ve Radyoaktif Atık İdaresinin Güvenliği Üzerine Birleşik Sözleşme altında hazırlanan raporlara dayanarak yazarların kendi tanımlamaları.

Notlar: * Kullanılmış nükleer yakıt envanter hesaplamaları yakıt demeti ağırlığı varsayımlarına göre değişir: Belçika ve Macaristan demet başına 120 kg varsayar; Litvanya 112 kg, Slovakya 119 kg ve Romanya 18.1 kg varsaymaktadır (Romanya yakıt demetlerini CANDU² demeti biriminde listelemektedir) **2011 yılı verileri (Belçika daha güncel veri yayınlamadı) *** 2010 yılı verileri (Hollanda daha güncel veri yayınlamadı) **** 2008 yılı verileri (Ukrayna daha güncel veriler yayınlamadı).

Kullanılmış nükleer yakıt yüksek seviyede radyoaktivite içeren atık olarak kabul edilir; nispeten
2 CANDU Canada Deuterium Uranium'un kısaltılmışıdır. Kanada tarafından tasarlanıp, geliştirilen bir nükleer enerji reaktörünü tanımlar. Bu reaktörler CANDU demeti denilen özel bir nükleer yakıt kullanır. Romanya'daki nükleer santrallerde CANDU reaktörleri kullanılmaktadır (çevirmen notu).

küçük hacimlerde bulunmasına rağmen oransal olarak atıklardan kaynaklı radyoaktivitede en büyük paya sahiptir. Örneğin Birleşik Krallık'ta yüksek seviyeli radyoaktif atık nükleer atık hacminin yüzde 3'ünden daha azını oluşturur fakat envanterdeki radyoaktivitenin neredeyse yüzde 97'sine tekabül eder. Kullanılmış nükleer atığın büyük çoğunluğu ısısının ve radyoaktivitesinin düşürülmesi için soğutma havuzlarına (ıslak depolama denilen - wet storage) taşınmıştır. 2016 itibariyle Avrupa'nın kullanılmış nükleer yakıtının yüzde 81'i soğutma havuzlarındadır. Kullanılmış nükleer yakıtın farklı tesislerdeki kuru depolara taşınması daha güvenlidir. Fransa ve Hollanda'da depolanan kullanılmış nükleer yakıtın büyük bir bölümünün yeniden işlenmesi planlanmaktadır. Avrupa'da diğer nükleer ülkelerin pek çoğu (Belçika, Bulgaristan, Almanya, Macaristan, İsveç, İsviçre ve son olarak Birleşik Krallık) yeniden işleme işlemini belirsiz bir tarihe kadar ya durdurmuş ya da sonlandırmıştır. Tüm ülkeler yeniden işlenen kullanılmış yakıt miktarını bildirmemektedir. Örneklerin çoğunda sadece yeniden işleme sonrasında ortaya çıkan, camlandırılmış yüksek seviyeli atıklar (vitrified high-level waste) raporlanmaktadır. Aynı durum, çok büyük miktarlardaki yeniden işlenmiş uranyum, plütonyum, orta seviyeli nükleer atıklar ve kullanılmış karışık oksit yakıt (mixed oxide veya MOX) için de geçerlidir. Bunların hepsi kapsamlı, ek uzun geçici saklama süresi ister.

Yaklaşık 2,5 milyon metreküp düşük ve orta seviyeli radyoaktif atık Avrupa'da üretilmektedir (Slovakya ve Rusya hariç). Bu atıkların yaklaşık yüzde 20'si (0,5 milyon metreküp) Avrupa'da saklanmaktadır ve nihai atık depolarına gönderilmeyi beklemektedir. Bu atık miktarı hiçbir yerde nihai atık depolama planı olmadığından sürekli artmaktadır. Bu atığın yaklaşık yüzde 80'i (2 milyon metreküpe yakın) bertaraf edilmiştir, ancak bu atığın gelecek yüzyıllara sorun bırakmaksızın başarılı bir biçimde yok edildiği anlamına gelmez. Örneğin; Almanya'da eski bir tuz madeninde bulunan Asse II adlı atık bertaraf alanında, depolama alanına sürekli akan yeraltı sularından dolayı sorun yaşanmaktadır. 220 bin metreküp bertaraf edilmiş atık ve tuz karışımının depolandıkları yerden çıkarılmaları gerekmektedir ki bu çok karmaşık ve maliyetli bir iştir. Atık tuz ve radyoaktif atık birbirine karıştığından bugünkü atık miktarı başlangıçtaki miktarın beş katıdır. Bu nedenle 'nihai ya da son depolama alanı' terimini kullanırken iki kere düşünölmelidir.

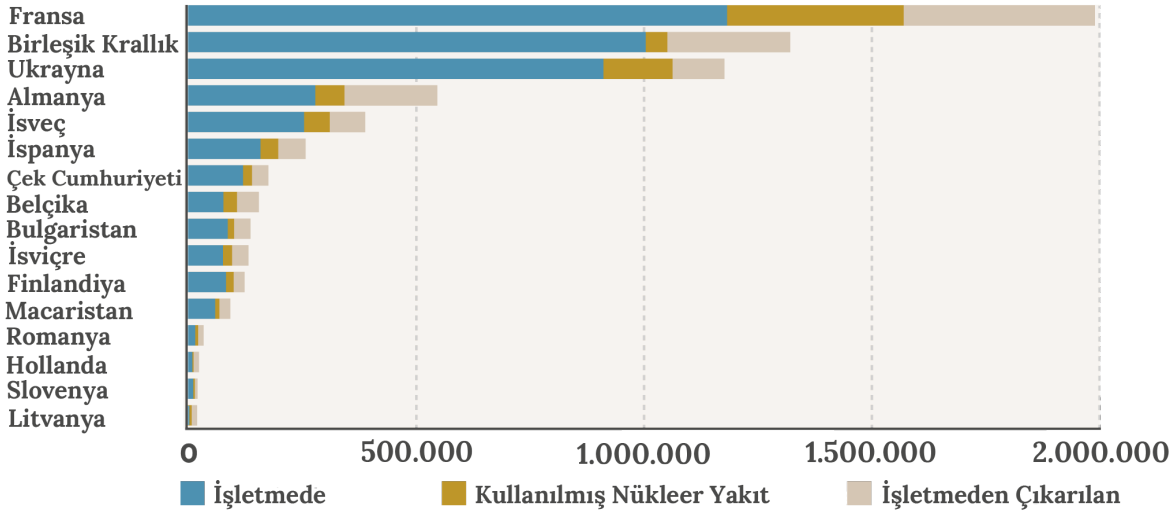
Nükleer tesislerin işletmeden çıkarılması (sökümü) çok büyük miktarlarda ilave nükleer atık yaratır. **Yakıt zinciri tesisleri hariç olmak üzere, sadece Avrupa'daki nükleer santral filosunun işletmeden çıkarılması işlemlerinden en az 1,4 milyon metreküp düşük ve orta seviyeli radyoaktif atık üretilcektir.** Bu muhafazakar bir tahmin çünkü işletmeden çıkarma işlemleriyle ilgili fazla deneyim yok. 2018 itibarıyla Avrupa'da (Rusya ve Slovakya hariç) 142 nükleer reaktör çalışabilir durumdadır.

Nükleer atığın süregiden üretimi, nükleer tesislerin yaklaşan işletmeden çıkarılma işlemleri giderek büyüyen zorlu bir iş ortaya koymaktadır. **Çünkü kullanılmış nükleer yakıtların depolandığı Avrupa'daki saklama tesisleri yavaş yavaş kapasitelerini doldurmaktadır.** Örneğin, Finlandiya'da kullanılmış yakıt saklama kapasitesinin yüzde 93'ü şimdiden kullanılmıştır. İsveç'in merkezi saklama tesisi CLAB'da doluluk oranı yüzde 80 seviyesindedir. Fakat bütün ülkeler saklama kapasitelerinin doluluk oranını bildirmemekte, bu nedenle tam bir değerlendirme yapmak mümkün olmamaktadır.

Avrupa'daki nükleer santral filosunun kullanım ömürleri boyunca yaklaşık 6,6 milyon metreküp nükleer atık üretecekleri tahmin edilmektedir (Şekil 1, Rusya ve Slovakya hariç). Eğer bu atıklar tek bir yerde, bir futbol sahasında istiflenseydi; bu atık miktarı bu futbol sahasının üstünde 919 metreye kadar yükselirdi ki dünyanın en yüksek binası Dubai'deki Burj Khalifa'dan 90 metre daha yüksek olurdu. Bu hesaplama, üretimde oluşan atıkları, kullanılmış nükleer yakıtları ve işletmeden çıkarılan reaktörlerden gelen nükleer atıkları içerir. Bu ve yukarda verilen diğer tahmini atık miktarları mütevazı varsayımlara

dayalıdır. Avrupa'daki gerçek nükleer atık miktarı büyük olasılıkla daha yüksektir. **Fransa yüzde 30'luk payı ile Avrupa'nın en büyük nükleer atık üreticisidir. Onu yüzde 20 ile Birleşik Krallık, yüzde 18 ile Ukrayna ve yüzde 8 ile Almanya takip eder.** Bu dört ülke Avrupa'daki nükleer atığın yüzde 75'inden fazlasından sorumludur.

ŞEKİL 1. Avrupa Nükleer Enerji Santral filosunun (işletmede olan ve kapatılan) 31 Aralık 2018 itibariyle işletimden, kullanılmış nükleer yakıt yönetiminden ve işletmeden çıkarılma işleminden kaynaklı m³ cinsinden tahmini nükleer atık miktarları.



Kaynak: Uluslararası Atom Enerji Ajansı'nın 2007 yılı ve ABD Enerji Bakanlığı'nın 1997 yılı atık üretim oranı varsayımlarına dayanılarak yapılan derleme ve tahminler.

Halen etkin uranyum üreticisi olan Rusya'yı bir tarafa bırakırsak, **Almanya ve Fransa Avrupa'da uranyum madenciliği kaynaklı en yüksek nükleer atık stokuna sahiptir.** Resmi rakamlara göre eski Fransız uranyum madencilik endüstrisi 50 milyon ton maden atığı üretti. Bağımsız uzmanlar ise bu miktarın çok daha yüksek olduğunu tahmin ediyor. Eski Alman Demokratik Cumhuriyeti³ (GDR) Fransa'dan çok daha büyük miktarlarda uranyum cevheri çıkardı. Madencilik mirası 32 kilometrekare tesis alanı, 48 adet düşük radyoaktiviteye sahip 311 milyon metreküp taş öbeği ve toplam 160 milyon metreküp radyoaktif sulu çamurun oluşturduğu dört maden atığı barajından oluşmaktadır. Bugün AB uranyumun çoğunu ithal etmekte, Avrupa dışında büyük miktarda nükleer atık yaratmaktadır.



MALİYETLER VE MALİ KAYNAKLAR

Neredeyse her hükümet, işletmecileri nükleer atığın yönetimi, saklanması ve bertaraf edilmesi maliyetlerinden sorumlu tutan 'kirleten öder' kuralını uyguladığını iddia eder.

Fakat aslında hükümetler kirleten öder kuralını uygulamakta istikrarlı bir şekilde başarısızdır. Ülkelerin çoğu bu kuralı sadece işletmeden çıkarma işlemleri için zo-

runlu tutar ancak işletmeden çıkarma sorumluluğunu da hükümetin üzerine aldığı bazı örnekler vardır (örneğin eski Doğu Almanya'daki nükleer santraller). Bulgaristan, Litvanya ve Slovak Cumhuriyeti eski Sovyet dönemi nükleer güç santrallerini kapatmaları karşılığında işletmeden çıkarma işlemleri için Avrupa Birliği'nden destek almaktadır. Ülkelerin çoğu, nükleer atığın bertaraf edilme işleminde santral işletmecilerine kirleten-öder kuralını uygulamamaktadır. Bu nedenle, ulusal otoriteler bir şekilde yasal yükümlülüğün yanında, uzun dönem atık yönetimi ve bertaraf işlemlerinin sorumluluklarını da kabullenmektedir. Bununla birlikte, işletmecinin uzun vadeli maliyetlerin karşılanmasına katkıda bulunması iste-

3 Doğu Almanya (çevirmen notu).

nir. Kirlenen öder kuralının hukuki bir zorunluluk olduğu ülkelerde bile bu kural eksik uygulanmaktadır. Bu duruma Almanya'daki Asse II bertaraf tesisi örnek gösterilebilir; nükleer santral işletmecisi kalıcı bertaraf tesisi kapatıldıktan sonra çıkan hiçbir sorundan maddi olarak sorumlu tutulmayacaktır. Burada bulunan büyük miktardaki atığın depolandığı yerden alınıp son depolama alanına taşınmasının maliyetlerini vergi mükellefleri karşılamak zorundadır.

Hükümetler, nükleer santrali işletmeden çıkarma, nükleer atığı saklama ve bertaraf etme maliyetlerini doğru tahmin etmede başarısız oluyor. Tüm maliyet tahminlerinde; sürenin uzun olması, maliyet artışları ve tahmini indirim oranlarından (finansal kaynak toplanmasından dolayı) kaynaklanan belirsizlikler vardır. Belirsizliğin ana nedeni özellikle işletmeden çıkarma ve atık bertaraf projelerindeki tecrübenin yetersiz olmasıdır. Sadece üç ülke; ABD, Almanya ve Japonya, santralin işletmeden çıkartma⁴ sürecini tüm söküm işlemi dahil olmak üzere tamamlamış ve bu sayede veri üretmiştir. 2019 yılının ortası itibarıyla, dünyada kapatılan 181 nükleer reaktörün sadece 19 tanesi tümüyle işletmeden çıkarılmıştır ve bunların sadece 10 tanesi "yeşil alan" (Green field) statüsündedir. Fakat bu sınırlı deneyimler bile çok geniş bir aralıkta (beş katına varan) belirsizlikler gösterir. ABD'de devre dışına alma maliyetleri santraller arasında kilovat başına 280 ABD Doları ile 1.500 ABD Doları arasında değişmektedir. Almanya'da bir santral kilovat başına 1.900 ABD Doları masraf ile, bir diğeri ise 10.500 ABD Doları masraf ile devre dışına alınmıştır.

Birçok hükümetin maliyet tahminleri eski verilere dayanır. Bu raporda gözden geçirilen Fransa, Almanya ve ABD gibi pek çok ülke, maliyet tahminlerini var olan gerçek verilere dayalı örnek vakalar yerine, 1970 ve 1980'lerden kalma çalışmalara dayandırmaktadır. Çoğu zaman santral işletmecileri, endüstri veya devlet kuruluşları tarafından hazırlanan ve güncel olmayan eski veriler kullanarak hazırlanan pek çok çalışma, büyük olasılıkla düşük maliyet tahminlerine ve aşırı iyimser sonuçlara yol açmaktadır.

Birçok hükümet aşırı iyimser faiz indirimleri uygular. Santrali işletmeden çıkarma ve nükleer atık yönetimindeki maliyetlerin olması gerektiğinden daha düşük tahmin edilmesine yol açan ana etken, sistemli olarak aşırı iyimser faiz oranları kullanılmasıdır. İşletmeden çıkarma ve atık yönetimine finansman sağlamanın temel özelliği, para kaynaklarının zaman içinde çoğalacağı beklentisidir. Örneğin, Almanya'da tüm atık yönetimiyle ilgili çalışmalar için kenara ayrılan 24 milyar avroluk fonun, 2099 yılına kadar büyüyerek dörde katlanıp yaklaşık 86 milyar avro olacağı beklenmektedir. Uygulanan faiz oranları birbirinden çok farklıdır; ülkelerin hepsi, genel enflasyon oranlarından büyük olasılıkla daha hızlı artacak maliyet artışlarını da hesaba katmaz (Tablo 2).

Santrali işletmeden çıkarma, atık yönetimi ve atık bertarafı için yeterli mali kaynağın bulunmasını garantilemek amacıyla, finansman planlarının mali kaynaklar için güvence altında tutma ve koruma altına alma şartlarını ("Ring-fencing") yaratması gerekir. Bu planlar aynı zamanda gerçek maliyetleri karşılamak için yeterli kaynağın bir kenara konulduğunu garantilemek zorundadır. Bazı ülkeler bir şartı yerine getirirken bir diğeri yerine getirmekte başarısız olmaktadır.

Nükleer atıkların yönetimi, saklanması ve bertaraf edilmesine para kaynağı sağlanmasının nasıl planladığı ülkeden ülkeye belirgin olarak değişir. Bütün nükleer ülkeler işletmeden çıkarma işleminin mali kaynaklarının işletmeci veya lisans sahibinden bağımsız, harici olarak yönetilmesini gerekli kılmamıştır. Ülkelerin çoğunda uzun vadeli atık yönetimi harici merciler tarafından yapılırken bazı örneklerde işletmeden çıkarma işlemi, halen ülkeler tarafından ayrılmış ve sınırlandırılmış para kaynakları ile finanse edilmektedir. İşletmeden çıkarma ve saklama çok karmaşıktır, genelde bir ülkede birden çok finansman sistemi kuruludur.

4 Kapatma (çevirmen notu).

TABLO 2: Fransa, Almanya ve ABD'de Aralık 2018 itibariyle nükleer atıkların bertarafı için kullanılan finansman yöntemleri.

	FRANSA*	ALMANYA	ABD
FİNANSAL YÖNTEM	İnşaat başladığında, Atık Yönetim Kurumu (ANDRA) devredilen, dahili, ayrılmış ve kullanımı kısıtlı mali kaynak	Harici, ayrılmış mali kaynak	Harici
BİRİKİM YÖNTEMİ	Elektrik fiyatına konan vergi	Mali kaynakların yatırımı	Daha önce elektrik fiyatına konan vergi, fakat artık toplanmıyor
TOPLAM TAHMİNİ MALİYET	34,9 milyar ABD Doları	19,8 milyar ABD Doları**	96 milyar ABD Doları
BİR KENARA AYRILAN MALİ KAYNAKLAR (TAHMİNİ MALİYETİN % CİNSİNDEN)	11 milyar ABD Doları (%32)	27,2 milyar ABD Doları (>%100)**	34,3 milyar ABD Doları (%36)

Kaynak: Yazarların kendi derlemeleri.

Notlar: * Sadece Fransa Elektrik Kurumu (Électricité de France) santralleri için geçerlidir ** Geçici depolamayı, düşük ve orta seviyeli atıklar ile yüksek seviyeli atıkların bertarafını da kapsar.

Farklı ulusal yaklaşımlar göz önüne alındığında, hükümetlerin "işletmeden çıkarma" işleminin tam olarak neyi kapsadığını her zaman tanımlamadıkları görülmektedir. Radyoaktif atık yönetimi, kullanılmış yakıt yönetimi gibi işletmeden çıkarma işleminin önemli bir parçasıdır. Fakat bu iki süreç her zaman "işletmeden çıkarma" altında tanımlanmaz. Bu da ülkeler arasında maliyetleri karşılaştırmayı güçleştirir. **İşletmeden çıkarma, saklama ve bertaraf etme işlemleri sıkı bir şekilde birbirleriyle bağlantılıdır. Bundan dolayı, bu süreçlerin gelecekteki maliyetlerini karşılamak için para kaynağı bulunmasında en uygun çözüm, bütünleşik, haricen biriken, kullanımı kısıtlı para kaynağı oluşturmaktır.** Sadece birkaç ülke bu çözümü tercih etmiştir. Bunlar başta İsveç olmak üzere, Birleşik Krallık ve İsviçre'dir. Aslında İsviçre'nin iki para kaynağı vardır. Biri nükleer santralleri işletmeden çıkarmak, diğeri radyoaktif atık yönetimi içindir. **Hiçbir ülke işletmeden çıkarma, radyoaktif atığı geçici olarak saklama ve bertaraf etme işlemlerinin tüm maliyetlerini karşılamak için gerekli parayı teminat altına almamıştır.** Bunu yapmak nükleer güç kullanan tüm ülkeler için zorlu bir iş olacaktır.

Günümüzde hiçbir ülke, ne maliyetleri tam olarak, bütünüyle tahmin edebilmiş ne de bu maliyet tahminleri ile teminat altındaki mali kaynak arasındaki farkı kapatabilmiştir. Genelde gereken para miktarının sadece küçük bir bölümü teminat altına alınmıştır. Örneğin, İsveç bugüne kadar işletmeden çıkarma ve atık yönetimi için tahmin edilen maliyetlerin sadece üçte ikisini bir kenara koydu. Birleşik Krallık sadece çalışan santralleri için tahmini maliyetlerin yarısından azını, İsviçre ise üçte birinden bile az bir miktarı ayırabildi (Tablo 3). Benzer durum, atık bertaraf işlemine ayrılan mali kaynaklarda da görülebilir. Fransa ve ABD tahmin edilen maliyetlerin yaklaşık üçte birini ancak karşılayabilecek bir mali kaynak ayırdı. Elverişsiz ekonomik koşullardan dolayı planlanandan daha önce kapatılan nükleer reaktör sayısı artarken, yetersiz mali kaynakların yaratacağı risk büyümektedir. Bu erken kapatmalar, mali kaynakların yetersiz kalması ve yükselen maliyetler, bazı nükleer güç santrali işletmecilerini, ek mali kaynak oluşturmak için diğer kapatma ve işletmeden çıkarma işlemlerini ertelemeye zorlamaktadır. ABD ve Japonya örneğinde olduğu gibi ülkeler aynı zamanda yüksek ücret, sübvans edilmiş fiyatlar ve işletim süresini uzatarak tesislerin maliyetlerini telafi etmelerini mümkün kılan yollar düşünmektedir.

TABLO 3. İsveç, İsviçre ve Birleşik Krallık'ta Aralık 2018 itibarıyla işletmeden çıkarma ve atık yönetimi birleşik finansman yöntemleri.

	İSVEÇ	İSVİÇRE	BİRLEŞİK KRALLIK*
FİNANSAL YÖNTEM	Bir harici, ayrılmış ve kullanımı kısıtlı mali kaynak	İki harici, ayrılmış mali kaynak (biri atık yönetimi, diğeri işletmeden çıkarma işlemi için)	Bir harici, ayrılmış ve kullanımı kısıtlı mali kaynak
BİRİKİM YÖNTEMİ	Elektrik fiyatına ek ücret koyarak (her santral için ayrı olarak belirleniyor)	İşletmeci tarafından yapılan ödemeler	İşletmeci tarafından yapılan ödemeler
TOPLAM TAHMİNİ MALİYET	10,7-11,8 milyar ABD Doları	24,6 milyar ABD Doları ***	26,5 milyar ABD Doları **
BİR KENARA AYRILAN MALİ KAYNAKLAR (TAHMİNİ MALİYETİN % CİNSİNDEN)	7,2 milyar ABD Doları **** (%61-67)	7,39 milyar ABD Doları (%30)	12,1 milyar ABD Doları (%46)

Kaynak: Yazarların kendi derlemeleri.

Notlar: * Sadece Fransa Elektrik Kurumu (Électricité de France) santralleri için geçerlidir ** 2018 itibarıyla *** 2019 yılı itibarıyla 50 yıllık işletim döneminin tahmini toplam maliyetleri **** 2017 itibarıyla.



TANIMLAMA VE SINIFLANDIRMA SİSTEMLERİ

Ülkeler radyoaktif atığı nasıl tanımladıklarına göre çok büyük farklılık gösterirler.

Kullanılmış nükleer yakıtın ve onun bazı ayrıştırılmış ürünlerinin (plütonyum ve yenisinden işlenmiş uranyum) nükleer atık mı yoksa bir kaynak mı olduğu konusunda ayrılırlar.

Bir örnek vermek gerekirse, plütonyumun ayrıştırma ve kullanımının yüksek maliyeti ve çok tehlikeli doğasından dolayı kullanılmış yakıt ve yakıtın içerdiği plütonyum pek çok ülkede atık olarak nitelendirilir. Buna rağmen Fransa, plütonyumu olası bir kaynak olarak tanımlar, yeniden işlenmesini yasal olarak zorunlu kılar. Yeniden işleme atık tartışmasını erteler, atık sorununu çok daha karmaşık ve maliyetli yapar.

Ülkeler nükleer atığı nasıl sınıflandırdıklarına göre de büyük farklılık gösterirler. Benzer sisteme sahip iki ülke yoktur. Almanya atıkları sadece ısı yarananlar ve yaratmayanlar diye ayırır. Birleşik Krallık nükleer atığı sınıflandırırken atığın radyoaktivite düzeyini kullanır. Fransa ve Çek Cumhuriyeti her ikisini de, atığın hem radyoaktivite düzeyini hem de radyoaktif bozunma süresini⁵ (half life) dikkate alır. ABD sistemi sınıflandırmayı, nükleer atığın niteliklerine değil, nükleer atığın kaynağına bakma esasına dayandığı için Avrupa ülkelerinden temelde çok farklıdır.

Ülkeler üretilen radyoaktif atık miktarlarını nasıl bildirdikleri konusunda çok farklılaşırlar. Tüm ülkeler ürettikleri radyoaktif atık miktarı ve ilgili yönetim planları ile ilgili bilgiyi düzenli olarak yayınlar. Yine de her ülkenin raporu kusursuz değildir. Bazı durumlarda (Slovakya da olduğu gibi) raporlanan bilgi atık hacmini tahmin etmede kullanılamaz. Bazı ülke raporlarında (Hollanda ve Belçika'da olduğu gibi) kullanılmış radyoaktif yakıtın güncel stok miktarı eksiktir. Rusya radyoaktif atık stokunun sınıflandırılması ve durumu hakkında çok az bilgi verir.

Ülkelerin radyoaktif atığı tanımlamaları, sınıflandırmaları ve raporlamalarında görünen bu farklılık ve uyumsuzluklar, veri toplamayı ve ülkeleri karşılaştırmayı çok güçleştirmektedir. Farklı ulusal yaklaşımlar,

5 Radyoaktif elementin yarılanma ömrü (çevirmen notu).

ülkelerin radyoaktif atık yönetimindeki tutarsızlıklarını yansıtır. Ortak güvenlik tedbirleri oluşturmak ve ülke uygulamalarının bağımsız denetim sürecini yaratmak için yürütülen uluslararası çabalara rağmen bunlar olmaktadır. Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) radyoaktif atığın sınıflandırılması için geniş bir çerçeve sağlamaktadır. Kullanılmış Yakıt İdaresinin ve Radyoaktif Atık İdaresinin Güvenliği Üzerine Birleşik Sözleşme (The 2001 Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management) ülkelerin çoğu için örnek bir durum oluşturdu, fakat bunların uygulanmasında büyük farklılıklar var. AB, 2011 Euratom Yönergesi ile üye ülkeler için radyoaktif sınıflandırma sistemlerini uyumlulaştırmaya teşebbüs etti, fakat bu çaba sınırlı ölçüde başarılı oldu.



ÇEVRE VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDE YARATTIĞI RİSKLER

Radyoaktif atık insan sağlığı için birkaç nedenden dolayı tehlike oluşturur. İlki nükleer tesislerden düzenli salınan gaz ve sıvı atıkların raporlanmış sağlık etkileridir. İkincisi atıkların yeniden işlenmesinden doğan küresel kolektif radyoaktivite miktarıdır.

Ve üçüncüsü halihazırda üretilmiş radyoaktif atığın çoğunun yetersiz ve istikrarsız durumudur. Kullanılmış nükleer yakıt halindeki yüksek seviyeli radyoaktif atık ve yeniden işleme nedeniyle ortaya çıkmış camlaştırılmış atık, nükleer atık kaynaklı radyoaktivitenin yüzde 90'ından sorumludur. Fakat dünyada yüksek seviyeli nükleer atıklar için ayrılmış tam randımanla çalışan bir son depolama sahası yoktur. Kullanılmış nükleer yakıtın nükleer güç santrallerinde, havuzlarda devam eden uzun süre saklama uygulaması (wet storage) halk sağlığı ve çevre için büyük bir risk oluşturmaktadır. **Özellikle kullanılmış nükleer yakıtın yeniden işlenmesi, daha çabuk etkileyen ve yayılan türden çok tehlikeli radyoaktif atıklar üretir ve giderek büyüyen sorunlar oluşturur.** Bunlar arasında nükleer silah yapımında kullanılabilecek maddelerin yayılma riskleri (proliferation risks), çalışan işçilerin ve halkın yüksek dozda radyoaktiviteye maruz kalması ve çevrenin radyoaktivite bulaşması yoluyla kirlenmesi sayılabilir.

Nükleer atığın oluşturduğu riskleri düzgün bir şekilde değerlendirmek ve tehlike sıralaması oluşturmak için kullanılabilecek bilgi sınırlıdır. Sadece birkaç ülke, atıklardaki nüklid miktarı gibi verileri yayınlamaktadır. Ulusal hükümetler veya devlet kurumları bu verileri toplamak ve yaymaktan öncelikle sorumludur. Bu veriler radyoaktiviteye maruz kalma ile insan sağlığına etkileri arasında, olası neden-sonuç ilişkisi düzgün bir şekilde değerlendirmek için gerekmektedir. Bugüne kadar radyoaktif atıklardaki radyonüklidler⁶ (radionuclides) için yapılmış kapsamlı tehlike sınıflandırması bulunmamaktadır.

Nükleer atığın oluşturduğu riskleri değerlendiren kapsamlı, yüksek kaliteli çalışmalar eksiktir. Epidemiyolojik çalışmalardan riskler tayin edilebilir fakat var olan birkaç belirli çalışmanın kalitesi sınırlıdır. Örneğin, bazı araştırmalar artan kanser oranlarını ileri sürmektedir, fakat istatistiksel olarak anlamlı sonuç alabilmek için her biri çok sınırlıdır. Meta-analizler küçük gruplarla yapılan araştırmaları birleştirip daha büyük veri kümesi oluşturabilir ki bunlar istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar üretebilir. Fakat nükleer atığın insan sağlığına etkileri üzerine meta-analizlerin gerçekte olmayışı dikkat çekmektedir. Buna ek olarak, riskleri değerlendirmek için, dozların doğru olarak ölçülmesi gerekir. Genel olarak, araştırma şaşırtıcı biçimde nükleer atıkla ilgili riskler üzerine kalitatif ve kantitatif bilginin olmadığını ortaya koyar.

YÖNTEM VE GENEL GÖRÜNÜŞ ÜZERİNE KOORDİNATÖRÜN NOTU

Dünya Nükleer Atık Raporu, ülkelerin nükleer atığı nasıl kontrol ettiğini, günümüzdeki durumlarının ve tarihsel eğilimlerinin ana hatlarını ortaya koyarak uluslararası bir karşılaştırma sunar. Avrupa'ya odaklı yaklaşımı ile önemli bir araştırma boşluğunu doldurmaya başlamaktadır. Avrupa dışında nükleer atık so-

⁶ Radyonüklid (İngilizce, radionuclide) terimi aşırı nükleer enerjiye sahip olduğundan istikrarsız olan atomları tanımlar (çevirmen notu).

runuyla uğraşan işletmecilerin ve hükümetlerin uygulamalarında çok daha büyük farklılıklar vardır. Bu özel sorunlu atıklar için mantıklı, uzun dönem çözüm bulma yolunda karşılaşılacak sosyal, politik, teknik ve finansal zorluklar çoktur.

Büyük miktarda, eksiksiz, gerçek ve rakamsal veriye dayanarak anlamlı bir genel bakış sunma amacı taşıyan, türünün ilk örneği olan bu rapor sayısız güçlüklerle karşılaştı. Ülkeler sadece nükleer atık tanımında dikkat çekecek şekilde ayrılmazlar, aynı zamanda nükleer atık tiplerini sınıflandırmada ve bunların nasıl raporlanacağı konusunda da birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Araştırma; aynı zamanda veri eksikliğini ortaya koydu, dil sorunu ile karşılaştı. Şöyle ki ülkelerde kullanılan terimler değişirken kaynaklarda da tutarsızlıklar vardı. Bütün bu bulgular bu değerlendirmeyi çok karmaşık hale getirdi.

Bu güçlüklerin üstesinden gelmek ve hatalardan kaçınmak için proje takımı; katkı koyanlar, editörler ve düzeltmenler için özel bir kalite yönetimi yaklaşımı geliştirdi. Bu yöntemin parçaları arasında Brüksel'de düzenlenen bir çalıştay (Şubat 2019), yazarlar için bir yazım stili şablonu geliştirilmesi (terim bilgisi içeren), ülke bölümleri için bir şablon oluşturma ve birkaç geri bildirim döngüsü olan başından sonuna kadar denetlenen bir sürecin uygulanması da vardı. Her bölüm taslağı konu üzerinde belli bir uzmanlığa sahip tek bir yazar tarafından yazıldı. Bazı yazarlar birden çok bölüm taslağı yazdı. Buna rağmen düzeltme sürecinde yüksek kaliteyi garantilemek için, bölümler yazarlara atfedilmedi. Her bölüm taslağı aşağıdaki dört basamaklı değerlendirme sürecinden geçti:

- İlk metin kontrolünün baş editör ve proje takımından iki kişi tarafından yapılması,
- Bölümün baş editör tarafından yeni baştan gözden geçirilmesi,
- Tüm metnin baş editör, proje takımından diğer üç üye ve iki takım dışı düzeltmen tarafından baştan gözden geçirilmesi,
- Yönetici özetini yazmak için son olarak gözden geçirme.

Bu raporun üretimi, bir buçuk yıl boyunca bu alanda uzman, yarım düzineden daha fazla sayıda kişinin muazzam çabası ile oldu. Bu süre, metnin önemli biçimde geliştirilmesine imkan tanıdı. Yazarlar, editörler ve düzeltmenler onaylayıp her şeyi iki kez kontrol ederken ellerinden gelen çabayı gösterdiler. Buna rağmen bu yoğun süreç, raporun hatasız olduğunu garanti edemez. Eğer hatalar var ise düzeltmeler ve iyileştirme önerileri için minnettar oluruz.

Dünya Nükleer Atık Raporu'nun bu ilk sayısının amacı gelecekte konu üzerinde yapılacak araştırmalar için bir temel oluşturmaktır. Rapor hazırlanırken bazı yeni sorular geldi. Bunların raporun bir sonraki sayısında irdelenmesi gerekecek. Bu sorular, uygun olmayan geçici depoların kullanımının uzatılmasının yaratacağı riskler ve geçici depolama kapasitesinin yetersiz kalacağının öngörülmesi, çoğalarak yayılma, nükleer gücün risklerini hesaplarken terörizm tehdidi ve diğer güvenlik konuları, uranyum madenciliği uygulamaları, farklı atık gruplarının bertarafı için yapılan değerlendirmelerin serbest ölçüme dayanması ve yer seçimi süreçlerine halkın katılımının rolü. Bir sonraki sayı coğrafi kapsamını nükleer diğer ülkelere genişletebilir. Bu ülkeler arasında Kanada, Çin, Finlandiya, Japonya, Rusya, Güney Kore, İspanya ve Ukrayna bulunmaktadır.