




NÜKLEER ATIKLAR NASIL YÖNETİLİYOR

TREND ANALİZİ HAZİRAN 2018



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.

 Murat BULUCU

1. GİRİŞ

Nükleer santraller dünyada olduğu gibi ülkemizde de gündemi sık sık meşgul eden bir konudur. Nükleer santraller kamuoyu tarafından yalnızca kazalara yol açma olasılıkları yüzünden değil, kullanımları süresinde ortaya çıkan nükleer atıkların yönetimi konusunda da sorgulanmaktadır.

Nükleer enerjinin üretim sürecinde ortaya çıkan radyoaktif atıkları, tiplerine göre farklı depolama ve bertaraf etme yöntemleri vardır. Bunların doğru uygulanması koşuluyla nükleer atıkların insan sağlığına ve doğaya etkisi minimum seviyeye düşürülebilir. Bu raporda değişik atık türleri ve nükleer santral sahibi çeşitli ülkelerin atık yönetimi konusunda aldıkları önlemler açıklanmaktadır.

2. NÜKLEER ATIKLAR VE YÖNETİMİ

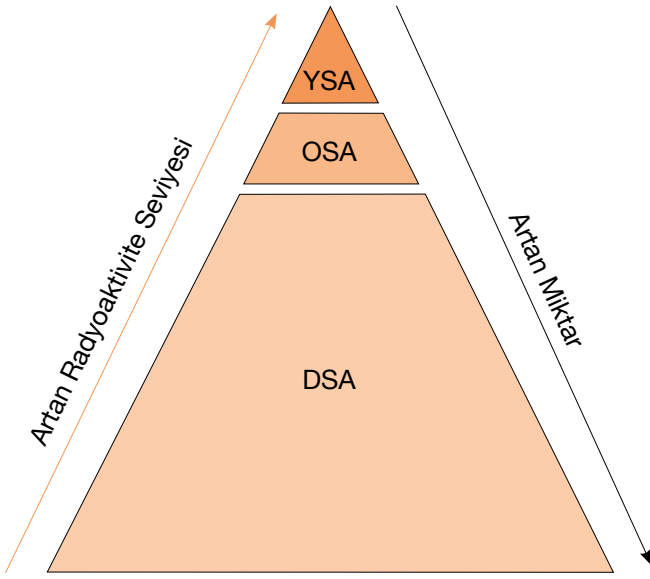
Radyoaktif atıklar, yalnızca nükleer santrallere özgü değildir. Tıp, tarım, imalat, tahribatsız malzeme testleri gibi birçok farklı alanda radyoaktif malzemeler kullanılmakta ve nükleer atıklar oluşmaktadır. Nükleer atık üreten tüm endüstriler düşünüldüğünde nükleer enerji santrallerinin çok küçük bir miktar radyoaktif atığın kaynağı olduğu görülür. Ancak tüm zehirli atıklar gibi radyoaktif atıkların da güvenli yöntemlerle saklanması ve/veya bertaraf edilmesi gerekmektedir. Nükleer santrallerin kullanımları boyunca ortaya çıkan atıklar doğrudan radyoaktif olan malzemeler olabileceği gibi, radyoaktivite bulaşmış malzemeler de olabilir. Dolayısıyla nükleer enerji santrallerinin faaliyette kaldıkları süre içerisinde ortaya çıkan atık çeşitleri, içerdikleri radyoaktivite sevi-

yesine bağlı olarak düşük, orta ve yüksek seviyeli olarak ayrılır.

Düşük seviyeli atıklar (DSA), düşük seviye radyoaktivite bulaşmış atıklardır. Bu tip atıkların idaresinde veya taşınmasında özel koruyuculara gerek yoktur ve yüzeye yakın depolama alanlarında tutulabilirler. Kâğıtlar, elbiseler, filtreler vb. malzemeler bu tip atıklara örnek olarak gösterilebilir ve bunların içerdiği radyoaktivite kısa sürelidir. DSA, hacim olarak tüm radyoaktif atıkların yüzde 90'ını oluşturmakla birlikte, toplam radyoaktivitenin yüzde 1'ini temsil etmektedir.

Orta seviyeli atıklar (OSA), DSA'ya göre daha yüksek seviyede radyoaktiviteye maruz kalmış, ancak yine de yüksek güvenli koruyuculara gerek olmadan saklanabilen atıklardır. Kimyasal atıklar, reçine, reaktörün kapatılması sırasında radyoaktiviteye maruz kalan malzemeler bu kategoriye girebilir. OSA, hacim olarak tüm radyoaktif atıkların yüzde 7'sini oluştururken, radyoaktivitenin yüzde 4'ünü temsil etmektedir.

Yüksek seviyeli atıklar (YSA), radyoaktivite seviyesi yüzünden ısı artan, bu sebeple soğutma ve koruyucu kap gerektiren atıklardır. YSA, uranyum yakıtının reaktörde yanması sonucunda oluşur. YSA, hacim olarak tüm radyoaktif atıkların yüzde 3'ünü oluşturmakla birlikte, toplam radyoaktivitenin yüzde 95'ini oluşturmaktadır. Yüksek seviyeli atıklar; atıktaki radyoaktivite seviyesinin insana ve çevreye zarar vermeyecek seviyeye inmesine kadar geçen süreye göre, uzun ve kısa ömürlü olmak üzere ikiye ayrılır. Uzun ve kısa ömürlü fizyon maddeleri birbirlerinden ayrılabilirdiğinde atık yönetimi daha kolay olmaktadır. Nükleer atık yönetiminde en çok dikkat verilmesi gereken tür YSA'dır^[1].

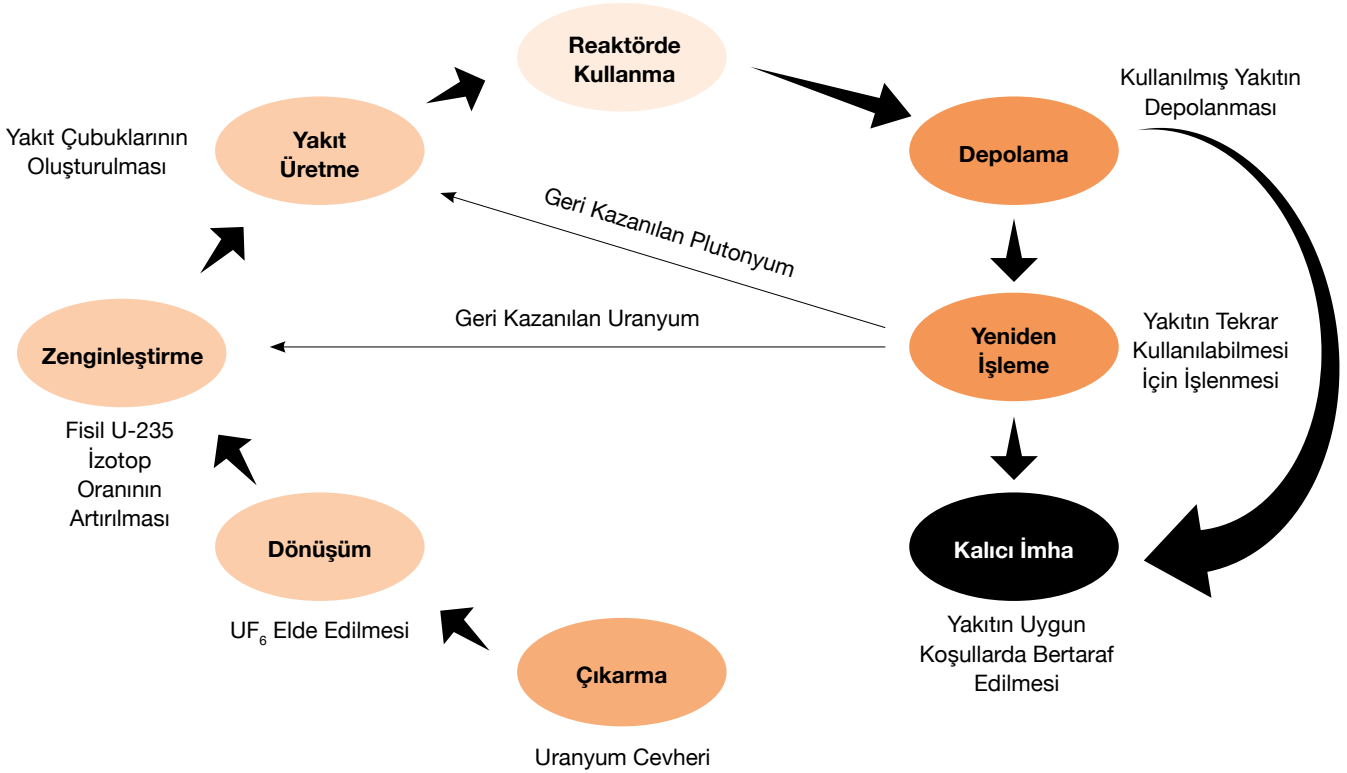


Şekil 1: Düşük, Orta ve Yüksek Seviye Atıkların Miktar ve Radyoaktivite Seviyeleri

Nükleer yakıtın çıkartılıp, işlenip, ömrünü tamamlamasına kadar geçen yaşam çevrimine “Nükleer Yakıt Çevrimi” denir. Yakıt çevriminin ön kısmı olarak adlandırılan süreç, Şekil 2’de gösterildiği gibi, uranyumun reaktörde kullanılmak amacıyla çıkartılması (mining), dönüştürülmesi (conversion), zenginleştirilmesi (enrichment) ve yakıt imalatı (fuel fabrication) aşamalarından oluşur. Santralin elektrik üretmeye başlamasından yaklaşık üç yıl sonra, kullanılan yakıtın reaktörden çıkartılmasını izleyen depolama (storage), yeniden işleme (reprocessing) ve kalıcı imha (disposal) da yakıt çevriminin arka kısmı diye adlandırılan süreci oluşturur.

Bu yakıt çevriminin her aşamasında, hatta uranyum cevherinin çıkartılması ve işlenmesi sürecinde bile radyoaktif atıklar ortaya çıkabilir. Ancak asıl yüksek seviyeli nükleer atık reaktörde yakıtın yakılması sürecinde oluşmaktadır.

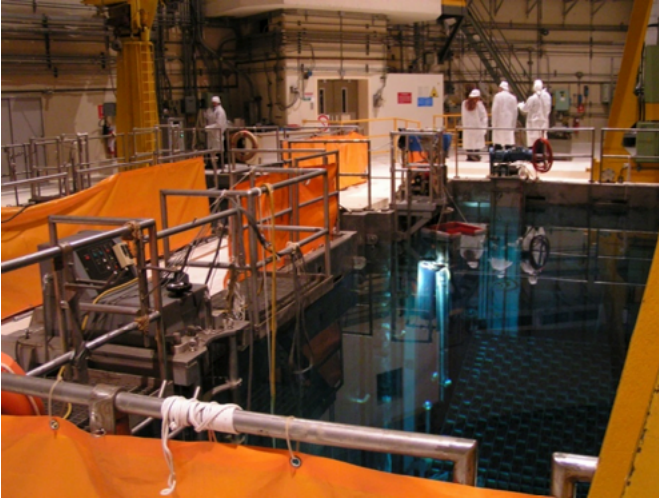
Kullanılmış yakıtın radyoaktivitesinin, uranyum cevherinin radyoaktivite seviyesine düşürülmesi için 100.000 yıldan daha uzun bir zamana ihtiyaç vardır. Oysa ticari



Şekil 2: Nükleer Yakıt Çevrimi^[2]

Atık Türü	Oluşum Sebebi	Miktar (1000 MW'lık reaktör için)	İmha Yöntemi
Düşük Seviyeli Atıklar (DSA)	Reaktör bakım çalışmaları sırasında ortaya çıkar.	50 m3/yıl (paketlenmesi dahil)	Varillere kapatma ve toprağa gömme
Orta Seviyeli Atıklar (OSA)	Reaktör çalıştırılırken ortaya çıkar.	50 m3/yıl (paketlenmesi dahil)	Varillere kapatma ve toprağa gömme
Yüksek Seviyeli Atıklar (YSA)	Kullanılmış nükleer yakıttan çıkan radyoaktif maddelerdir.	3 m3/yıl (paketlenmesi dahil)	Camlaştırılıp metal silindirlere ve derin yeraltı depolarında saklama

Tablo 1: Nükleer Enerji Santrallerinde Ortaya Çıkan Atık Çeşitleri



Şekil 3: Kullanılmış Yakıt Depolama Havuzu^[3]

nükleer santral kullanımı sonucu ortaya çıkan ilk kullanılmış yakıtın tarihi yalnızca 60 yıl öncesine dayanmaktadır.

Kullanılmış yakıtlar, ya ileride reaktörlerde yakıt olarak tekrar kullanılacak şekilde değerli aktinitler ve fisil/fertil izotoplar elde etmek üzere yeniden işlenir ya da kalıcı olarak uygun bir şekilde bertaraf edilir. Kullanılmış yakıtın ne şekilde işleneceği söz konusu ülke tarafından benimsenen stratejiye bağlıdır. Yeniden işleme pahalı ve zor bir süreç olmakla birlikte bu yöntem İngiltere, Fransa, Belçika, Rusya, Hindistan ve Japonya gibi birçok ülkede uygulanmaktadır. ABD’de ise, Carter yönetiminin kararıyla ticari nükleer santrallerde kullanılmış yakıtlar 1970’lerden beri yeniden işlenmemektedir.

Kullanılmış nükleer yakıtların depolanması ve taşınması için Şekil 3’te görüldüğü gibi özel tesis ve donanımlara ihtiyaç vardır.

Diğer bir seçenek ise yakıtın kalıcı olarak bertaraf edilmesidir. Bu yöntemde, kullanılmış yakıtlar reaktörle-

Seçenek	Örnekler
Yeryüzü seviyesinde veya yeryüzü seviyesinin altındaki mağaralarda (on metrelik derinliklerde) yakın yüzey atık bertarafı	<ul style="list-style-type: none"> - Çekya, Finlandiya, Fransa, Japonya, Hollanda, İspanya, İsveç, İngiltere ve ABD de dahil olmak üzere birçok ülkede DSA için uygulanmaktadır. - DSA ve kısa süreli OSA için Finlandiya ve İsveç’te uygulanmaktadır.
Derin jeolojik bertaraf (yeraltı depoları için 250 ila 1000 m derinliklerde, kuyular için 2000 ila 5000 m derinliklerde)	<ul style="list-style-type: none"> - Pek çok ülke yüksek seviyeli ve uzun ömürlü radyoaktif atıklar için resmi politika olarak derin jeolojik bertaraf sahalarını seçmektedir. - Savunma sektöründe ortaya çıkan OSA için ABD’de uygulanmaktadır. - YSA için Fransa, İsveç, Finlandiya ve ABD’de bu tür sahalar tercih edilmektedir. - İngiltere ve Kanada’da atıkların bertarafı için jeolojik depolama sahaları seçilmeye başlanmıştır.

Tablo 2: Yakın Yüzey ve Derin Jeolojik Bertaraf Örnekleri

Ülke	İzlenen Politika	Nihai Depolara Yönelik Tesisler ve İlerleme
Belçika	Yeniden işleme	<ul style="list-style-type: none"> - Dessel’de merkezi atık depolama yer almaktadır. - 1984 yılında Mol’de yeraltı laboratuvarı kurulmuştur. - Depo inşaatı yaklaşık 2035 yılında başlayacaktır.
Kanada	Doğrudan bertaraf	<ul style="list-style-type: none"> - 2002 yılında Nükleer Atık Yönetimi Kuruluşu kurulmuştur. - Atıkların geri alınabileceği derin jeolojik depolama politikası kabul edilmiştir. - 2009’da depolama sahasına yönelik çalışmalar başlamış, deponun 2025 yılında kullanımda olması beklenmektedir.
Çin	Yeniden işleme	<ul style="list-style-type: none"> - Lan Zhou’da kullanılmış yakıtlar için merkezi bir depo bulunmaktadır. - Depolama sahası 2020’ye kadar belirlenecektir. - 2020 itibarıyla yeraltı araştırma laboratuvarının çalışmaya, 2050 itibarıyla da bertarafın başlaması planlanmaktadır.
Finlandiya	Doğrudan bertaraf	<ul style="list-style-type: none"> - Program 1983’te başlatılmış olup, iki adet kullanılmış yakıt deposu mevcuttur. - Onkalo yeraltı araştırma laboratuvarı inşaat halindedir. - Olkiluoto yakınlarındaki depolama tesisinin 2023’te açılması planlanmaktadır.

Tablo 3: Ülkelerin Ulusal YSA Yönetim Politikaları^[5]

Ülke	İzlenen Politika	Nihai Depolara Yönelik Tesisler ve İlerleme
Fransa	Yeniden işleme	<ul style="list-style-type: none"> - Kil ve granit yataklarında yeraltı kaya laboratuvarları bulunmaktadır. - 2006 tarihli parlamento kararı gereğince derin jeolojik depolama tesislerindeki atık muhafazasının geri alınabilir olması gerekmektedir. - Bure kil depolama sahasının 2015 yılında lisans almasıyla 2025 yılında faaliyete geçmesi beklenmektedir.
Almanya	Yeniden işleme ancak doğrudan bertaraf yöntemine geçiliyor.	<ul style="list-style-type: none"> - Ahaus ve Gorleben tuz kubbelerinde kullanılmış yakıt depolanmaktadır. - 2025'ten sonra Gorleben'de jeolojik depolamaya geçilecektir.
Hindistan	Yeniden işleme	<ul style="list-style-type: none"> - YSA için derin jeolojik depolama araştırmaları devam etmektedir.
Japonya	Yeniden işleme	<ul style="list-style-type: none"> - Mizunami granit yataklarındaki yeraltı laboratuvarı 1996'dan bu yana faaliyettedir. - Rokkasho'daki kullanılmış yakıt ve YSA depolama tesisi 1995'ten beri faaliyettedir. - Mutsu'da kullanılmış yakıt deposu inşaatı sürmekte, 2018'de kullanıma alınacağı değerlendirilmektedir. - 2000'de kurulan NUMO'nun derin jeolojik depolama sahası seçimini 2025'te tamamlaması ve tesisin 2035 itibarıyla faaliyete geçmesi planlanmaktadır.
Rusya	Yeniden işleme	<ul style="list-style-type: none"> - Krasnoyarsk bölgesindeki granit veya gnays yataklarına kurulması planlanan yeraltı laboratuvarının depoya dönüştürülmesi söz konusudur. - Kola yarımadasındaki depolama sahalarıyla ilgili araştırmalar sürmektedir. - Zheleznogorsk'ta 1985'ten beri VVER-1000 yakıtı depolanmaktadır. - 2012'den itibaren Zheleznogorsk'ta kullanılan RBMK ve diğer yakıtlar için kuru depolama yapılmaktadır. - Çeşitli ara depolama tesisleri faaliyettedir.
Güney Kore	Doğrudan bertaraf, değiştirilmek isteniyor.	<ul style="list-style-type: none"> - Atık programı 1998'de kabul edilmiş, KRWM 2009'da kurulmuştur. - Merkezi ara depolamaya geçilmesi planlanmaktadır.
İspanya	Doğrudan bertaraf	<ul style="list-style-type: none"> - 1984'te kurulan ENRESA'nın planı 1999'da kabul edilmiştir. - 2016 itibarıyla Villar de Canas'ta merkezi ara depolamaya geçilmesi planlanmaktadır.
İsveç	Doğrudan bertaraf	<ul style="list-style-type: none"> - Merkezi kullanılmış yakıt depolama tesisi CLAB 1985'ten beri faaliyettedir. - YSA deposu için Aspö'deki yeraltı araştırma laboratuvarı kullanılmaktadır. - Osthhammar bölgesi 2028'de açılması planlanan depo sahası için seçilmiştir.
İsviçre	Yeniden işleme	<ul style="list-style-type: none"> - ZZZ Wurenlingen'de 2001'den beri kullanılmış ve YSA depolanmaktadır. - Beznau'da daha küçük bir kullanılmış yakıt deposu mevcuttur. - 1983'ten beri Grimsel'deki yüksek seviyeli atık deposu amaçlı yeraltı araştırma laboratuvarı faaliyettedir. - 2020 itibarıyla atık muhafazalarının geri alınabileceği derin depolama sahalarına geçilmesi beklenmektedir.
İngiltere	Yeniden işleme	<ul style="list-style-type: none"> - 1959'dan beri düşük seviyeli atık deposu faaliyettedir. - Yeniden işleme sonucu elde edilen YSA vitrifiye edilerek Sellafield'da depolanmaktadır. - Nihai deponun yeri halkın onayına sunulacaktır. - NDA bünyesinde jeolojik bertaraf birimi kurulmuştur.
ABD	Doğrudan bertaraf değerlendirilmektedir.	<ul style="list-style-type: none"> - Kullanılmış yakıtlar 1998'den beri Enerji Bakanlığının sorumluluğunda olup atık fonu 32 milyar dolara ulaşmıştır. - Nevada Yucca Dağı'ndaki tuf sahasında kayda değer Ar-Ge çalışmaları yürütülmüş, 2002'de jeolojik depolamanın Yucca Dağı'nda yapılmasına karar verilmiş ancak bu karar 2009'da kongre tarafından bozulmuştur. - Kullanılmış yakıtlar için merkezi ara depolama yoluna gidilmesi muhtemeldir.

Tablo 3: (Önceki sayfadan devam) Ülkelerin Ulusal YSA Yönetim Politikaları^[5]



Şekil 4: Depolanmak veya Bertaraf Edilmek Üzere Varile Konmuş Radyoaktif Yakıt

rin yanındaki depolama havuzlarında son derece sağlam variller içinde en az 10 yıl süreyle geçici olarak depolandıktan sonra özel olarak belirlenen coğrafi alanlarda bertaraf edilir. Bu durumda, kullanılmış yakıt yüksek seviyeli atık (YSA) olarak kabul edilir. Bertaraf edilmeyip yeniden işlenen atıklar da muhtemel bir YSA kaynağıdır. Sıradan bir 1000 MWe'lık hafif su reaktörü, 25-30 ton vitrifiye atık üretir. Bu, yaklaşık üç metreküp yapar. Burada Tab-

lo 2'de görüldüğü üzere yakın yüzey veya derin jeolojik bertaraf seçenekleri söz konusudur^[4].

3. SONUÇ

Görüldüğü üzere nükleer enerjiden faydalanmakta olan ülkeler, nükleer atık yönetimine de gereken ağırlığı vermektedir. Çevre ve canlıların sağlığı konusunda kritik önem arz eden nükleer atık yönetimi yüksek maliyetli bir süreçtir. Nükleer enerji üretimi, ortaya çıkan atıklarının sorumluluğunu da doğrudan üstlenen büyük ölçekli bir enerji üretim teknolojisidir. Santral inşası için yürütülen finansal çalışmalar radyoaktif atık yönetimini de kapsamaktadır. Bu atıkların yönetimi ve bertarafı için öngörülen maliyet üretilen tüm elektrik maliyetin yüzde 5'ine denk gelmektedir^[1].

Doğru yöntemlerin uygulanması, kullanılmış yakıtın reaktörden çıkartılıp öncelikle depolanması, ardından da bertaraf edileceği tesise taşınması sürecinde nükleer güvenlik yöntemlerinin bilinçli ve eksiksiz uygulanması, radyoaktif atıkların olası etkisini en aza indirecektir. Ülke-mizde kurulacak olan nükleer santrallerden her ne kadar yakın zamanda atık çıkmayacak olsa da bu konunun daha en baştan tesislerin işletimi sırasında alınacak güvenlik önlemleri kadar ciddiyetle ele alınması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] «Radioactive Waste Management,» World Nuclear Association, July 2017. <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-waste-management.aspx>.
- [2] World Nuclear Association, «The Nuclear Fuel Cycle,» <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/nuclear-fuel-cycle-overview.aspx>.
- [3] «Wikipedia,» https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Carso_Fuel_pool.jpg.
- [4] «World Nuclear Association,» <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/storage-and-disposal-of-radioactive-wastes.aspx>.
- [5] «World Nuclear Association,» March 2017. <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-waste-management.aspx>.



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

