

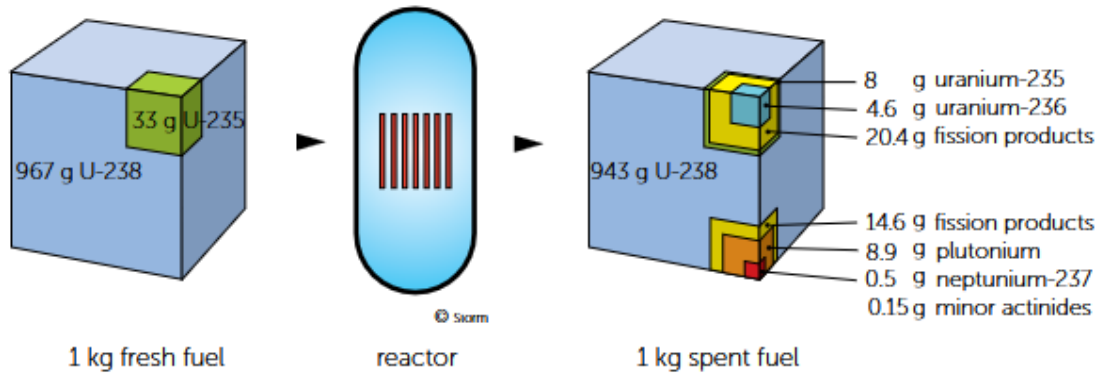
NÜKLEER REAKTÖRLERDE KULLANILMIŞ URANYUM YAKITLARI SONRA NE YAPILYOR? DÜNYA ve TÜRKİYE’de DURUM?

Yüksel Atakan, Dr.Radyasyon Fizikçisi, Almanya, ybatakan4@gmail.com

Yeniden İşleme (Reprocessing) Teknolojisinin Kökenleri

Yeniden işleme teknolojisi, 1940'ların sonlarında ve Soğuk Savaş döneminde özel askeri reaktörlerden elde edilen kullanılmış yakıttan plütonyum geri kazanmak ve nükleer silah üretimi için geliştirilmiştir. 1960'lı ve 1970'li yıllarda, askeri yeniden işleme teknolojisinin sivil uygulamaları da geliştirildi; bu süreçte hızlı üretken reaktör (breeder) konsepti ortaya çıktı.

Fransa'daki **La Hague** ve Büyük Britanya'daki **Sellafield** tesislerinde kurulan sivil yeniden işleme tesislerinin temel amacı, hafif su reaktörlerine (LWR) sahip geleneksel nükleer santrallerin kullanılmış yakıtlarından plütonyum ve kullanılmamış uranyumu geri kazanmaktır. Bu, üretken reaktör döngüsünde (LMFBR: Sıvı Metal Soğutmalı Hızlı Üretken Reaktör) uranyum ve plütonyum geri dönüşümünün yakın zamanda sivil nükleer enerjinin temeli olacağı umuduna dayanıyordu.



Şekil Açıklaması

Sol yanda (Taze yakıt: 1 kg)

967 g U-238

33 g U-235

Ortada (Reaktör)

Reaktör (reaksiyon süreci)

Sağ yanda (Kullanılmış yakıt: 1 kg)

943 g U-238

8 g U-235

4.6 g U-236

20.4 g fisyon ürünleri (bölünme ürünleri)

14.6 g fisyon ürünleri

8.9 g plütonyum

0.5 g neptünyum-237

0.15 g İz miktarda aktinitler

Şekil 1 Açıklaması (Alt Yazı)

Taze ve kullanılmış nükleer yakıtın kütle bileşimi, termal nötron reaktöründe üç yıl sonra, yaklaşık 33 GigaWatt gün/Megagram yanma oranına karşılık gelmektedir. Cohen 1977] Q214, [CNRS/EDP 2017] Q744 kaynağı da hemen hemen aynı sayıları vermektedir. En yeni LWR (hafif su reaktörleri) türlerinde U-238 dışındaki bileşenlerin miktarı daha büyük olabilir, çünkü daha yüksek bir yakıt yanması söz konusudur.

Bugünkü en gelişmiş enerji reaktörleri, doğal uranyumdaki çekirdeklerin % 0,5'inden fazlasını fisyonu (U 235 çekirdeklerinin bölünmesine) uğratamaz. Nükleer endüstri, kapalı döngü bir reaktör sistemi (üretken reaktör) ile doğal uranyumdaki çekirdeklerin 50 ila 100 kat daha fazlasını fisyonu uğratılabileceğini ve dolayısıyla 1 kg uranyumdan, hafif su reaktörlerine (LWR) dayalı geleneksel tek kullanımlık sistemden 50 ila 100 kat daha fazla enerji üretilebileceğini gösteriyor.

Fransa ("tümüyle elektrik, tümüyle nükleer") ve Birleşik Krallık ("ölçülemeyecek kadar ucuz") 1970'lerin başlarında **üretken reaktör** tasarımıyla yaşama geçirme yoluna girmiş ve bu teknolojilerden birkaç on yıl içinde enerji sağlanmasıyla, büyük ölçüde fosil yakıtlardan bağımsız duruma gelinebileceğini tasarlamışlardır.

Dünyada, kullanılmış yakıt yeniden işleme kapasitesi yılda 1 Mg (Megagram = 1 Milyon Gram = 1000 Kg = 1Ton) kullanılmış uranyumdan, yaklaşık 3000 Mg U/yıl'ya (3 bin Ton U/yıl)'a kadar değişen, yaklaşık 30 yeniden işleme tesisi bulunmaktadır ([ENS 2016] Q667 ve [nucl-reproc-wiki 2016] Q668 kaynaklarına göre). Bu tesislerin çoğu, Soğuk Savaş döneminden kalma askeri tesisler veya 1960'lardan kalma deneysel tesisler olup kapanmış durumdadır; ancak henüz hiçbirisi tümüyle sökülmemiştir. Günümüzde yaklaşık 12 yeniden işleme tesisi işlemektedir.

Yeniden İşleme Tesisleri Dünya Geneline

ABD'de Yeniden İşleme Yasağı

1977'de Başkan Jimmy Carter, ABD'de ticari reaktörlerin kullanılmış nükleer yakıtlarının yeniden işlenmesini yasakladı. Bu politikanın temel gerekçesi, sivil yakıt döngüsünden plütonyum saptırılması yoluyla nükleer silahların yayılma kaygısıydı. Aynı zamanda, diğer ülkeleri de ABD'yi izlemeye özendirmek amaçlanmıştı. Başkan Reagan 1981'de yasağı kaldırdı, ancak ticari yeniden işlemenin başlaması için gerekli olan büyük sübvansiyonları sağlamadı. Günümüzde ABD'de sivil nükleer yeniden işleme çalışmaları yürütülmemektedir; ancak askeri yeniden işleme tesisleri bugün hâlâ çalışıyorlar.

Bazı nükleer enerji santrali işleten ülkeler nükleer yakıtı yeniden işleme yolunu seçmiş olsalar da, sivil kullanılmış yakıtın ne ölçüde yeniden işlendiği belirsizdir. Avrupa'da iki büyük yeniden işleme tesisi çalışıyor: Birleşik Krallık'taki Sellafield ve Fransa'daki La Hague. Çin, Hindistan, Japonya, Pakistan ve Rusya'nın da kendi yeniden işleme tesisleri bulunmaktadır.

Buna karşılık, Kanada, Finlandiya, Almanya, İspanya ve İsveç gibi bazı ülkeler, kullanılmış yakıtın doğrudan depolanması yolunu seçmişlerdir.

Türkiye'de bugün ve yakın gelecekteki durum

Bilindiği gibi Türkiye'de 4 nükleer reaktör Akkuyu'da yapılıyor. Bunların işletmeye sırasıyla açılıp ticari olarak (ilk reaktörün 2026 yılından başlayarak) elektrik üretmeleri bekleniyor. İleride yaklaşık her 1,5 yılda bir kullanılmış nükleer yakıt elemanları önce bir kaç yıl havuzlarda bekletilecek. Akkuyu Andlaşması gereği daha sonra Rusya'ya yollanacak ve oradan taze yakıt elemanları getirilecek. Bu nedenle Türkiye'de yeniden işleme (reprocessing) tesisleri yakın gelecek için gerekmiyor.

Buna rağmen bu konuda Türkiye'deki yetkili denetim kurumlarının iki önemli görevini titizlikle yapmaları gerekmektedir:

1. Yaklaşık her iki yılda bir 4 reaktörden her birinin bekletme havuzlarına aktarılması gereken yaklaşık 170 kadar kullanılmış çok yüksek radyoaktiviteli / radyasyonlu yakıt elemanlarının güvenlik önlemleri alınarak bu havuzlara aktarılması ve bekletilme süresince denetlenmesi,
2. Bu çok yüksek radyoaktiviteli kullanılmış yakıt elemanlarının Rusya'ya güvenli bir yolla ve yüksek güvenlik önlemleri alınarak taşınması ve olabilecek, hatta akla gelmeyen, bir kazaya ya da teröre karşı riski ortadan kaldırmak için özellikle İstanbul boğazı güzergahının seçilmemesi önemle vurgulanır (Akkuyu'daki 4 reaktör için reaktörlerin yaklaşık 60 yıllık ömürlerinde Rusya'ya her iki yılda bir toplam $60/2 \times 4 = 120$ kez yüksek radyoaktiviteli kullanılmış yakıtlar taşınacağından kaza ya da terör riski az değildir. Bir kaza durumunda ise 16-20 milyon nüfuslu İstanbul'un çok uzun yıllar bu yüksek radyoaktivitenin etkisinde kalacağı açıktır. Yetkililerin dikkatine önemler sunulur.

Yeniden İşleme Teknolojisinin Geleceği

Üretken reaktör döngüsünün teknik olarak uygulanamaz olduğu anlaşıncı (ancak nükleer endüstri bunu resmen kabul etmemiştir), yeniden işleme büyük ölçüde gereksiz duruma gelmiştir. Genellikle, yeniden işleme tesislerine yapılan on milyarlarca avro değerindeki büyük yatırımları şöyle gerekçelendiriliyor:

- Kullanılmış yakıttan geri kazanılan uranyumun yeni nükleer yakıt üretiminde kullanılması,
- Kullanılmış yakıttan plütonyumun geri kazanılarak hafif su reaktörlerinde (LWR) MOX yakıtı olarak kullanılması ve böylece belirli bir uranyum kütlesinden elde edilebilecek enerji miktarının artırılması,

- Yüksek düzeydeki nükleer atık hacminin camlaştırma yöntemiyle azaltılması,
- Kapalı döngü reaktör sistemlerinin, belirli bir uranyum miktarından yaklaşık 50 kat daha fazla enerji üretebileceği savı,
- Uzun ömürlü tehlikeli radyoaktif izotopların kısa yarı ömürlü izotoplara dönüştürülmesi (bölme ve dönüştürme - P&T), özellikle küçük aktinitler (MAs),
- Toryum-232 / Uranyum-233 döngüsünde toryumun verimli bir yakıt olarak kullanımı.

Kullanılmış Nükleer Yakıtını Yeniden İşleyen Ülkeler

Bazı ülkeler, değerli malzemeleri geri kazanmak ve radyoaktif atıkları azaltmak amacıyla kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işleme politikalarını hayata geçirmiştir. İşte bu ülkelerin listesi:

Fransa FR: Fransa, Orano Group tarafından işletilen La Hague tesisinde köklü bir yeniden işleme programına sahiptir. (Kaynak: statista.com)

Rusya RU: Rusya, ticari yeniden işleme tesisleri işletmekte ve kullanılmış nükleer yakıtın yeniden işlenmesini destekleyen politikalara sahiptir. (Kaynak: iaea.org)

Birleşik Krallık GB: Birleşik Krallık, Sellafield tesisinde yılda 1.500 metrik ton kapasiteyle kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işlemiştir. (Kaynak: statista.com)

Japonya JP: Japonya, kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işleme politikaları geliştirmiş ve bu alanda tesisler kurmuştur. (Kaynak: world-nuclear.org)

Çin CN: Çin, nükleer enerji stratejisinin bir parçası olarak yeniden işleme programlarını geliştirmektedir. (Kaynak: world-nuclear.org)

Hindistan IN: Hindistan, kullanılmış nükleer yakıtın yeniden işlenmesini destekleyen politikalara sahiptir. (Kaynak: world-nuclear.org)

Hollanda NL: Hollanda, kullanılmış nükleer yakıtın geri dönüştürülmesini tercih etmektedir. (Kaynak: orano.group)

İtalya IT: İtalya, kullanılmış nükleer yakıtın geri dönüştürülmesini tercih etmektedir. (Kaynak: orano.group)

Avustralya AU: Avustralya, kullanılmış nükleer yakıtın geri dönüştürülmesini tercih etmektedir. (Kaynak: orano.group)

Bu ülkelerin yeniden işleme politikaları ve kapasiteleri değişkenlik gösterebilir. Bazı ülkeler geçmişte kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işlemiş ancak zamanla bu politikalarını değiştirmiştir.

Buna karşılık, Kanada, Finlandiya, İsveç ve Amerika Birleşik Devletleri gibi birçok ülke, kullanılmış yakıtı yeniden işlemeyip, derin jeolojik depolama yöntemini tercih etmiştir. (Kaynak: iaea.org)

Yeniden işleme politikaları ve uygulamaları, teknolojik gelişmeler, ekonomik faktörler ve siyasi kararlar doğrultusunda değişebilir.

Kullanılmış Nükleer Yakıtını Yeniden İşlemeyen Ülkeler

Bazı ülkeler, kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işlemek yerine doğrudan bertaraf veya uzun vadeli depolama stratejilerini tercih etmiştir. Bu kararın başlıca nedenleri arasında ekonomik faktörler, nükleer silahların yayılma riski ve politika tercihleri yer almaktadır.

Kullanılmış Nükleer Yakıtı Yeniden İşlemeyen Ülkeler

Amerika Birleşik Devletleri US

ABD, nükleer silahların yayılma riski ve ekonomik nedenlerden dolayı ticari olarak kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işlememektedir.

Kullanılmış yakıt, reaktör sahalarında soğutma havuzlarında veya kuru varil depolama sistemlerinde saklanmaktadır.

Yucca Dağı kalıcı depolama projesi durdurulmuştur.

Kanada CA

Kanada, ekonomik ve teknik zorluklar nedeniyle kullanılmış yakıtı yeniden işlememektedir.

"Tek kullanım" yakıt döngüsü uygulanarak, kullanılmış yakıt kuru varil depolama sistemlerinde saklanmaktadır.

İsveç SE

İsveç, nükleer yakıtı yeniden işlememeye karar vermiştir ve bunun yerine doğrudan bertaraf stratejisini benimsemiştir.

Forsmark derin jeolojik depolama tesisi, nihai depolama için geliştirilmektedir.

Finlandiya FI

Finlandiya, yeniden işleme yerine doğrudan bertaraf politikasını benimsemiştir.

Onkalo derin jeolojik depolama tesisi, dünyanın ilk kalıcı nükleer atık tesisi olması beklenmektedir.

Almanya DE

Almanya, geçmişte Fransa ve Birleşik Krallık'a nükleer yakıt göndererek yeniden işlemiş ancak 2005 yılında yeniden işlemeyi yasaklamıştır.

Kullanılmış yakıt, nihai jeolojik bertaraf sağlanana kadar geçici depolama tesislerinde saklanmaktadır.

İsviçre CH

İsviçre, yeniden işleme faaliyetlerini durdurmuş ve doğrudan bertaraf politikalarını benimsemiştir.

Fransa ve Birleşik Krallık ile yapılan eski yeniden işleme sözleşmeleri tamamlanmıştır.

İspanya ES

İspanya, kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işlememektedir.

Kullanılmış yakıt, reaktör sahalarında veya geçici depolama tesislerinde saklanmaktadır.

Litvanya LT

Litvanya, nükleer reaktörlerini kapattıktan sonra kullanılmış yakıtı yeniden işlememeye karar vermiştir.

Yakıt, geçici depolama tesislerinde saklanmaktadır.

Güney Kore KR (Sınırlı Yeniden İşleme)

Güney Kore, ABD ile yaptığı anlaşma nedeniyle şu anda kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işlememektedir.

Alternatif olarak pyroprocessing adı verilen bir teknoloji üzerinde araştırmalar yürütmektedir.

Brezilya BR

Brezilya, kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işlememekte ve kuru varil depolama tesislerinde saklamaktadır.

Güney Afrika ZA

Güney Afrika, "tek kullanım" yakıt döngüsünü takip etmekte ve kullanılmış nükleer yakıtı yeniden işlememektedir.

Özet

Yeniden İşleme Yapan Ülkeler: Fransa, Rusya, Japonya, Çin, Hindistan, Hollanda, İtalya, **Avustralya**

Doğrudan Bertaraf Yapan Ülkeler: ABD, Kanada, İsveç, Finlandiya, Almanya, İspanya, İsviçre,

Litvanya

Alternatif Teknolojileri Araştıran Ülkeler: Güney Kore (Pyroprocessing araştırmaları yapıyor)

Kullanılmış nükleer yakıtın yeniden işlenmesi, ülkelerin enerji politikalarına, ekonomik durumlarına ve nükleer güvenlik politikalarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Özetle kullanılmış nükleer yakıtı:

Yeniden İşleyen Ülkeler: Fransa, Rusya, Japonya, Çin, Hindistan, Hollanda, İtalya, Avustralya
(Kaynaklar: statista.com, world-nuclear.org, iaea.org, orano.group)

Doğrudan 'Nükleer Atık' olarak depolayan Ülkeler: ABD, Kanada, İsveç, Finlandiya, Almanya, İspanya, İsviçre, Litvanya (Kaynak: iaea.org)

Alternatif Teknolojileri Araştıran Ülkeler: Güney Kore (Pyroprocessing araştırmaları yapıyor)
(Kaynak: iaea.org)

Kaynaklar

/1/ <https://www.stormsmith.nl/Resources/m20reprocessing20190914F.pdf>

/2/ IAEA, Word.Nuclear.org, Statistica, orano.group

