

~~CAUTION~~

KENDİ ATIĞINI YİYEN REAKTÖR

~~RADIOACTIVE
MATERIALS~~

ÇOĞUMUZ YÜKSEK KULELERİ ve pamuk balyaları gibi buharları nükleer enerji santralleriyle ilintilendiririz. Nedeni, soğutmanın nükleer güç üretiminin önemli bir parçası olması. ABD’de yaygın olarak kullanılan su soğutmalı reaktörler, “termal reaktörler” denen bir sınıfa ait. Bir reaktör, metalik bir akışkanla da soğutulabilir. Bunlaraysa “hızlı reaktör” deniyor. 1950’lerde sıvı metallerle soğutulan reaktörlerin geliştirilmesinde, ABD dünyada başı çekiyordu. Bunlarda soğutma işini ya sodyum tek başına ya da yutektik (eutectic) diye tanımlanan, yani bir metal alaşımı için olası en düşük erime sıcaklığını veren orana sahip bulunan bir sodyum-potasyum karışımı yapardı. Bu yaklaşımla ABD 1950’lerde kullanılabilir elektrik üreten ilk nükleer güç santrali olan Deneysel Üretici Reaktörü ve ülkenin nükleer güçle çalışan ikinci denizaltısı olan *USS Seawolf*’daki reaktörü üretti.

Aslında ABD ilk metal soğutmalı reaktörlerde bir ağır metal olan kurşunu ya da kurşun-bizmut yutektiği (Lead-Bismuth

Eutectic - LBE) adlı bir başka bileşimi denedi; ama sonunda ısıyı daha iyi taşıma özelliği ve bir reaktör içindeki öteki malzemelerle daha iyi uyumu nedeniyle sodyumda karar kıldı. Bu ilk yıllarda sıvı metalle soğutulan reaktörlerin, nükleer yakıt “üretiminde” önemli bir rol oynamaları bekleniyordu. Ancak, uranyum arzının çoğalma-sıyla birlikte fiyatının da düşmesi üzerine ABD’de sıvı metalle soğutulan reaktörlere olan ilgi azaldı. Günümüzde ABD’de kullanımda olan metal soğutmalı bir reaktör kalmamış bulunuyor.

Sovyetler ise bu alanda daha ileri giderek ilk kez LBE-soğutmalı nükleer parçalanma sürecini, enerji üretiminde kullandı. Sovyetler Birliği’nin ağır metal programı 1950’lerde deney reaktörleriyle başladı ve dünyanın nükleer itkiyle çalışan en hızlı denizaltıları olan, titanyum gövdeli Alfa sınıfı saldırı denizaltılarında kullanılan reaktörlerle doruğuna ulaştı. Bugün içinde buldukları ekonomik dönüşüm süreci çerçevesinde Ruslar, şimdi bu Soğuk savaş askeri teknolojisini ticari kullanıma uyarlamaya

çalışıyorlar. Örneğin, kurşun-soğutmalı hızlı reaktörlerin adı, Rusya’nın İran’la olan tartışmalı nükleer işbirliğiyle birlikte anılıyor. Rusların BREST adı altında geliştirdikleri yeni bir LBE soğutmalı reaktör tasarımı, ABD’deki daha büyük reaktörlerle boy ölçüşebilecek ve 900.000 konutun gereksinimi karşılayabilecek 1200 megawattlık bir elektrik çıktısı öngörüyor. Rusya’nın hızlı reaktör teknolojisini pazara taşıma yolundaki adımları ABD’de de ağır metallerle soğutulan reaktörlere olan ilginin yeniden canlanmasına yol açmış bulunuyor.

Peki hızlı reaktör teknolojisini farklı kılan ne? Bu reaktörler, su-soğutmalı reaktörlere göre daha yüksek sıcaklıklarda çalışıyorlar ve reaktör içindeki tepkimelerde rol oynayan nötronlar görece yüksek hızlarda yol alıyorlar. Bu biçimde çalışan bir reaktör hem kendi atıklarını, hem de başka reaktörlerin atıklarını yakıt olarak tüketebilir. Teknik anlamda bir ağır metal fisyon (parçalanma) reaktörü, sürdürülebilir bir enerji kaynağından başka bir şey değil. Nükleer enerjinin siyasi açıdan zayıf nokta-

sı, yakıt atıklarının güvenli biçimde ortadan kaldırılması sorunu. Dolayısıyla yeni kuşak nükleer güç teknolojisinin bu soruna bir çözüm getirmesi gerekiyor.

Daha Güvenli Nükleer Enerjiye Doğru

Çok küçük bir iki istisna dışında yeryüzündeki tüm enerji, iki temel reaksiyondan birinden kaynaklanır: Birincisi, gökadalarda tüm yıldızların yaptığı gibi iki küçük atom çekirdeğinin birleşmesi demek olan *füzyon*; ikincisiyse ağır çekirdeklerin parçalandığı *fisyon*. Bu fisyon tepkimeleri, ABD’de kurulu bulunan 103 nükleer enerji santralinde gerçekleşiyor. Bu çekirdek tepkimelerinden, elektrik, ondan da hareket ya da başka yararlı enerji türleri elde ediliyor. Örneğin rüzgar enerjisi, Güneş’in içinde meydana gelen ve sonuçta atmosferimizi ısıtan füzyon tepkimelerinden kaynaklanıyor. Bir nükleer güç santralindeyse fisyon tepkimelerinden kaynaklanan ısı, elektrik üreten türbinleri çeviriyor.

Fisyon, belli bazı ağır atom çekirdeklerini, (çekirdeğin içinde bulunan ve elektrik yükü taşımayan parçacıklar olan) nötronlarla bombardıman ederek parçalamakla gerçekleşiyor. Sürec sonunda hepsi de sonunda elektrığe dönüştürülebilecek olan ısı enerjisi daha çok sayıda nötron, başka atom parçaları ve gama ışınımı serbest kalıyor. Bu tepkimelerin yan ürünleri, nükleer atık ya da kullanılmış yakıtı oluşturan, “parçalanma ürünleri” olarak tanımlanan kısa ya da uzun ömürlü radyoaktif izotoplar.

Nükleer bir bombanın muazzam gücü, hızla büyüyen bir zincirleme reaksiyondan kaynaklanır. Nükleer güç üretimindeyse tabii ki hedeflenen oldukça farklı: Kendini sürdüren kontrollü bir parçalanma tepkimesi. Kontrolü sağlamak için sistem içindeki nötronların sayısının ayarlanması gerekiyor. Yani reaktör içindeki nükleer yakıtla tepkimeye girebilmeleri için nötronların enerji ve hızlarının sınırlanması. İkincil bazı malzemeler, nötronlarla etkileşime girecek onları istenen bir enerji aralığında kalacak biçimde yavaşlatırlar. Kontrol çubukları gibi başka bazı ikinci malzemeler de nötronları kalıcı biçimde soğurarak nötron akısının durmasını sağlarlar. Parçalanma olasılığı, uranyum 235 çekirdeklerinin yavaş nötronlarla bombardımanı sürecinde daha yüksek olduğundan, suyla soğutulan reaktörlerde atom ağırlıkları düşük malzemeler kullanılarak nötronların çarpışmalar sonunda enerjilerinin önemli bir bölümünü aktarmaları sağlanıyor. Grafit içindeki karbon ve su içindeki hidrojen bu gereksinimi karşılıyor. Parçalanma sırasında nötronların kazandığı kinetik enerji, yavaşlatıcı malzemedeki moleküllerce alınıyor ve su tarafından taşıyor.



Resim 1: ABD’de 103 nükleer reaktörden çıkan ve büyük sorun oluşturan kullanılmış yakıtların farklı bir reaktörde yakılarak uzun süre depolanması gereken atık miktarının azaltılma olasılığı araştırılıyor. Yazar, radyoaktif atıkların bir kısmını yakarak elektrik üreten, sıvı metalle soğutulup aynı zamanda hidrojen üretiminde de yararlanabilecek bir reaktör öneriyor. Kurşunun yüksek kaynama noktası, yüksek sıcaklıkta çalışan “hızlı” bir reaktörün, kalp erimesi tehlikesi olmaksızın çalışmasına izin veriyor.

Bir kurşun-bizmut yutektikse (LBE), bir hafif su reaktörü soğutucusundan çok farklı. Daha yüksek özgül ısı, daha yüksek yoğunluk daha düşük nötron yutumu, daha fazla saçılma ve daha yüksek kaynama noktası, bu soğutucunun özelliklerinden. Bu özellikler LBE’ye, kalp erimesi deyimini günlük dilimizin sık kullanılan bir parçası haline getiren basınçlı su reaktörlerine kıyasla bazı güvenlik avantajları sağlıyor. Bir ağır metal sıvının yüksek kaynama noktası ve buharlaşma ısı, soğutucu kaybı ve bunun sonucu olarak reaktör kalbinin erimesi olasılığını çok büyük ölçüde azaltıyor ya da tümüyle ortadan kaldırıyor.

Kendisi de uranyum-aktinyum-toryum serisi elementlerin doğal radyoaktif bozunumunun ürünü, bol bulunan bir metal olan kurşunun özellikleri, onu reaktör soğutucu için özellikle çekici bir malzeme yapıyor. Herkesin bildiği gibi su, normal atmosfer basıncı koşullarında 100°C sıcaklıkta buhara dönüşür. Hafif su reaktörleriyse 140 kg /cm² basınç altında tutulurlar ve dolayısıyla 300 derece sıcaklıkta çalışırlar. Kurşunsa, atmosferik basınç altında 327,46 °C’ye kadar sıvı halde kalır ve 1.750 dereceden daha düşük sıcaklıklarda buharlaşmaz. Dolayısıyla

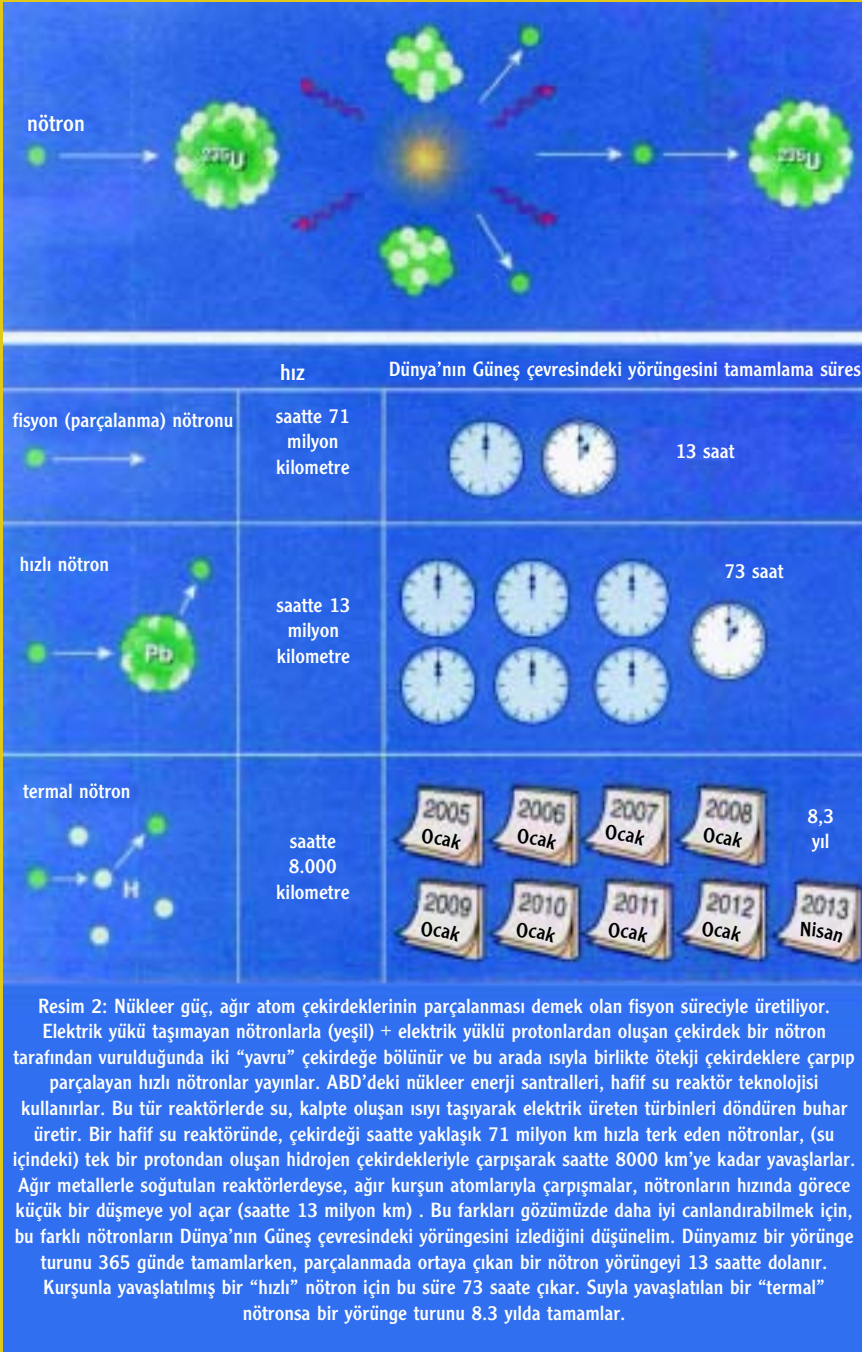
Kurşun soğutmalı bir sistem atmosferik basınçlarda işletilebilir ve bu da bir hafif su reaktöründe olağan sayılan kazaların meydana gelmesini önler.

Bir dış röntgeni çektiren herkes, kurşunun yoğunluğunun ışınımı geçirmediğini bilir. İşte bir reaktörde de kurşun bir yan-

dan soğutma işlevi görürken, bir yandan da tepkimelerde ortaya çıkan gama ışınlarını soğurur ve böylece reaktör kalbinin ilave ve kalkanlarla çevrilmesine olan gereği azaltır.

Nihayet kurşun insanlar için zehirleyici olmakla birlikte reaktörde tüketilmez. İşletme sırasında içindeki yabancı metalik maddelerden arınarak saflaşır. Reaktöre kurşun eklenmesi ya da kullanılmış kurşunun atılması gibi sorunlar yoktur. Bir reaktörün normal ömrü (30 yıla kadar olabilir) sonunda kurşun, reaktör kabı içinde kalbin çevresinde donarak katılaşır ve korozyona karşı direnç sağlar.

Bu tür reaktör tasarımları, pek çok ek güvenlik mekanizması içerirler. Örneğin, bir pasif artık ısı giderici sistem LBE’nin maksimum sıcaklığını, kaynama noktasının 600 derece altında kalacak biçimde sınırlayabilir. Bir LBE reaktöründe nükleer yakıt, soğutucu içinde kolayca çözülür. Soğutucunun yoğunluğuyca yakıtın yoğunluğundan fazladır. Böyle olunca da bu özellikler LBE’ye çekirdek tepkimelerini doğal yoldan sönümlendirme yetisi kazandırır. İlginç bir olanak da, bozulabilecek mekanik pompalara gereksinimi ortadan kaldıran, doğal dolaşım ile çalışan bir sistem. Bir doğal dolaşım sistemi, gelişmekte olan ülkelerde kullanılmaya özellikle uygun, kendine has pasif güvenlik mekanizmaları ve bağımsız çalışabilme yeteneğine sahiptir. Ayrıca, sodyumlu sistemlerin tersine hava, su ya da betonla enerjik tepkimeler ortaya çıkmaz ve bu da yangın olasılığını azaltır.



Büyük bir atom parçalandığında, ortalama üç nötron açığa çıkar. Çekirdekten fırlayan bu nötronlar parçalanma bölgesinden ışığınkine yakın bir hızla uzaklaşırlar. ABD'de kullanılan tipten bir nükleer güç reaktöründe parçalanma tepkimelerini sürdürebilmek için nötronların hızının 10.000 kez azaltılarak saatte yaklaşık 8.000 km'ye düşürülmesi gerekir. "İlmlama" ya da "termalleştirme" denen bu nötron yavaşlatma süreci büyük oranda, su molekülleri içindeki hidrojen atomlarıyla çarpışmalar yoluyla başarılır. Bilardo top- larının çarpışmasına benzer şekilde, atom- ların nötronların enerjisini soğuturlar. Yak- laşık 16 çarpışma sonunda nötron, parça- lanabilir bir atomla karşılaştığında tepki- meye girebilecek kadar yavaşlamış olur.

Çekirdekten fırladıktan hemen sonra bir nötronun Dünya'nın Güneş çevresindeki yörüngesine girip saatte 71 milyon km'lik hızıyla bir turu yalnızca 13 saatte yapabi- leceğini gözünüzün önüne getirirseniz, bu çarpışmaların frenlemedeki önemini daha iyi anlayabilirsiniz.

Bir hızlı reaktörün, "sert" nötronlar ürettiği söylenir. Bunlar, büyük kurşun atomlarına yüksek bir hızla vuran nötron- lar. Yüksek hızdaki nötronlar, radyoaktif atomların bir nötron yutup daha sonra bo- zunmak yerine iki büyük parçaya bölün- mesine yol açıyorlar. Sonuç, "transmutas- yon" (dönüştürme) dediğimiz olay: Büyük bir radyoaktif atom türü, daha az tehlike- li bir elemente, hatta kararlı atomlara dö- nüşüyor.

Peki Ya Atıklar?

ABD Başkanı Eisenhower II Dünya Sa- vaşı sonrasında "Barış İçin Atom" planını yürürlüğe koyduğunda, parçalanabilir ele- mentlerin güç üretimi ve öteki barışçıl amaçlarla kullanımı, bir nükleer savaş fe- laketini önlemenin yolu olarak görülüyordu. Bugünse dünya elektrik tüketiminin %17'si, faal durumda bulunan 440 nükleer güç santralince sağlanıyor.

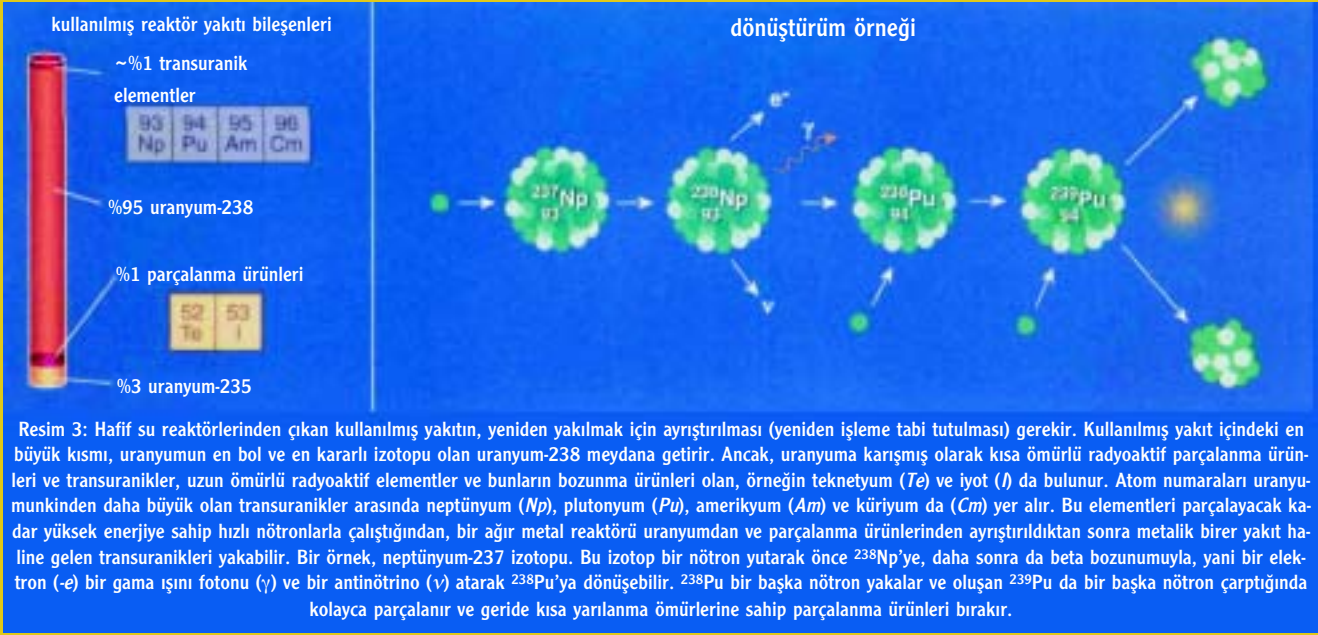
Günümüzün enerji politikaları, petrol rezervlerinin durumu ve petrol üretimi, ik- lim değişimi ve sürdürülebilir teknolojiler arayışı gibi konulara odaklanmış bulun- yor. 2002 yılında Güney Afrika'nın Johan- nesburg kentinde Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nde birçok katılımcı, uranyumun eninde sonunda tükeneceği ve nükleer güç üretiminin gelecek kuşakları büyük miktarda nükleer atığı ortadan kal- dırma sorunuyla başbaşa bırakacağına işa- ret ederek nükleer gücün sürdürülebilir ol- madığı görüşünü savundu.

Gerçekteyse, yalnızca bildiğimiz uran- yumun jeolojik rezervlerini düşünsek bile, dünyanın nükleer yakıt rezervlerinin öm- rü, günümüz tüketimiyle 1000 yılın üzerin- de hesaplanıyor. Bunun uzun mu, yoksa kısa bir ömür mü olduğu, kişisel perspekti- fe göre değişebilir. Ama her iki durumda da hem kaynakların dayanma süresini uza- tacak, hem de gelecek kuşakların sırtında- ki atık yükünü hafifletecek reaktör tasan- rımları geliştirilmenin yararları herhalde tar- tışılmaz. Nükleer güçse zaten her zaman yüksek yoğunlukta bir enerji kaynağı, tü- kettiği hammaddeye oranla göre çok daha fazla enerji üreten bir enerji kaynağı ola- rak kalacaktır.

Ekonomik ve teknik bakımdan yapılabi- lir olması koşuluyla en uygun reaktör tek- nolojisi, atık sorununa doğrudan çözüm getiren teknolojidir. İlk kuşak nükleer güç santralleri yararlı ömürlerinin sonuna yak- laştıkça, ABD'de güç üretiminden kaynak- lanan ve halen geçici depolarda bekletilen yüksek düzeyde radyoaktif atık, uzun dö- nemli bir çözüm bekliyor. Böyle bir çözüm- se transmutasyon (dönüştürme).

Birileri size dönüştürme sürecinin sim- yacılık olduğunu söylerse kızmayın; haklı- lar. Ortaçağ simyacıları başka metalleri altı- na çevirmeye çabalarken aslında kimyadan başka bir şey yapmıyorlardı. Kimyasal tepki- melerle ancak bir atomdaki elektronlarla oynayabilirsiniz; çekirdek içindeki proton ve nötronlarla değil. Kullanılmış nükleer yakıtı dönüştürmek ya da "yakmak", çekir- değin kendisinin değiştirilmesini gerektirir. Bu işi başarmayı hedefleyen dönüştürme sürecinin performansıyla, şimdiye kadar bi- lindiği tanımla simyanınkinden daha iyi.

Dönüştürmenin ilk pratik uygulaması, Sir James Chadwick'in 1932 yılında nötr- onu keşfetmesinden kısa süre sonra gerçek-



leşti. Radyoaktif bir uranyum-238 atomunun bir nötronla vurulması, bu çekirdeğin iki radyoaktif bozunum sürecinin ardından yeni bir elemente, plutonyuma dönüştürdü. Yeni atomun, orijinal atomdan daha kısa bir yarılanma ömrü vardı. Başka dönüştürme biçimlerinde de ağır bir çekirdeğin "fisyona uğradığı", yani daha küçük iki çekirdeğe parçalandığı görüldü.

Kullanılmış reaktör yakıtından oluşan atığın %95'i, uranyumdan oluşur. Uranyumun bu türünü uzun süreyle ya da sürekli olarak depolamak gerekmez; çünkü radyoaktivitesi, yer kabuğunda bulunan doğal materyelden fazla farklı değildir. Ancak, bu uranyuma karışmış durumda bazı kısa ömürlü radyoaktif parçalanma ürünleri (örneğin antimon ve ksenonun izotopları) ve uranyumdan daha büyük atom numaralarına sahip olup "transuranik" diye sınıflandırılan radyoaktif elementler de bulunur. (Transuraniklerin ilk dördü, neptünyum, plutonyum, amerikyum ve küriyum izotoplarıdır).

Günümüzde, bu üç bileşenden ayrıldıktan, kullanılmış yakıtın tamamı, yasa hükümleri gereği yüksek düzeyde radyoaktif yakıt olarak tanımlanmak zorunda. 2015 yılına gelindiğinde ABD nükleer güç endüstrisi bu yüksek düzeyli atıklardan yaklaşık 70.000 ton üretmiş olacak ve bunun 600 tonu plutonyumdan oluşacak. Yeniden elde edilebilecek enerji içeriğiyle bu atıklar, henüz açılmamış olan ve hâlâ siyasi ve hukuki tartışmaların odağında bulunan Yucca Dağı altında kurulan bir depoya nakledilmeyi bekliyor.

Ağır metal soğutmalılar gibisinden hızlı reaktörler, Yucca Dağı'nda sürekli depolanma gerektirecek yakıtın hem miktarını azaltacak, hem de ömrünü kısaltacak potansiyele sahipler. Neptünyum, plutonyum, amerikyum ve küriyumu bir ağır metal re-

aktöründe yakıt olarak yakmak, reaktör kalbi içinde vızır vızır gidip gelen hızlı nötronlar sayesinde olanaklı.

Tabii ki işler bu kadar basit değil. Önce kısa ömürlü (yakıt olmayan) parçalanma ürünlerinin, uranyumun ve transuranik elementlerin birbirinden ayrılabilmesi için bir atık yakıt işleme tesisinin kurulması gerekecek. Parçalanma ürünleri ve transuranikler daha sonra, toryum ve zirkonyumla karıştırılarak metalik bir yakıt haline getirilecek ve yakıt demetleri halinde şekillendirilip ağır metal reaktörüne yeniden yüklenecek. Böyle bir reaktörün kesiti, şekil 5'te gösteriliyor. Transuranik izotoplar kalbin içinde, hızlı nötronlar sayesinde parçalanacak. Yani bunlar tüketilerek enerji üretilecek. Parçalanmanın ortaya çıkardığı ısı, bir fincandaki kahvenin akışkanlığıyla dolaşan eriyik halindeki ağır metal tarafından uzaklaştırılacak. Reaktör odası içine daldırılmış bir ısı değiştirgeciyle bu ısı, elektrik üreten türbinleri çevirecek olan karbondioksit aktarılacak.

Enerji İçin Atık Yakmak

Nükleer atık yakmak da basit bir iş değil. Zaten öyle olsaydı her zaman uygulanmaz mıydı? Bunun yerine şimdi nükleer güç üretimi, yakıtın yeniden işlenmesinin getireceği maliyetlerden kaçınan "bir seferlik yakıt döngüsü" denen bir tasarım üzerine kurulu. Yakıtı ayrıştırıp dönüştürmenin maliyetiyle, kısa dönemli çevre, güvenlik ve nükleer silahların yayılmasıyla ilgili riskler göze alınmamış olmalı.

Geleneksel olarak nükleer reaktörler yakıt ağırlığının önemli bir bölümünü oluşturan "doğurgan" malzeme kullanırlar. Yani, bir nötronla vurulduğunda nükleer bir yakıtta dönüşen malzeme. Örnekler, uranyum "üreten" toryum ya da plutonyuma

dönüşen uranyum. Bunun nasıl gerçekleştiğini izotop numaraları açıklıyor. Toryum-232 bir nötron yakalayarak parçalanabilir bir izotop olan uranyum-233'e bozunuyor. Sıradan nükleer yakıtların en büyük bölümünü oluşturan uranyum-238 ise plutonyum 239 üretiyor. Bu doğurgan malzemeler, bir reaktörü beslemeye devam ederek parçalanabilir yakıtın azalmasını telafi ediyorlar. Aynı zamanda reaktör kontrolünü basitleştirebiliyorlar ve operatör için de yeterli düzeyde geribildirim sağlıyorlar.

Bununla birlikte, yakıt doğurgan izotoplar içerdiğinde, reaktör faal durumdayken yakılabilecek atıkların miktarında ciddi bir azalma olur. Nedeni, transuranik elementlerin (atom numaraları uranyumunkinden büyük olanlar) bazılarının yanarken bazı başkalarının ortaya çıkması. Örneğin atığın tümünün böyle değişim geçirmesiyle yakıt içinde doğurgan malzeme kalması durumunda yakıtın (genellikle 18 ay olan) ömrü süresinde reaktörün performansı önemli ölçüde değişir. Reaktörün kontrolü güçleşir ve reaktör yakıtı da daha çabuk tükendiğinden ekonomik zararlar oluşur. Dolayısıyla, doğurgan yakıt yüklemenin getirdiği avantajların, atık yakıt yakma oranının yükselmesiyle ortadan kalkması gibi bir durum söz konusu. Ama bu kazanç-kayıp dengesi, bir ağır metal reaktörüyle en üst düzeye taşınabilir.

Şekil 6, günümüzün atık yakıtlarında bulunan transuranik izotopları gösteriyor. Burada bizi ilgilendiren dört transuranik var: neptünyum-237, plutonyum-238, amerikyum-241 ve küriyum-242. İzotop numarası önemli. Bir atomun yarılanma ömrü, parçalanma ya da nötron yutma eğilimi, aynı elementin farklı izotopları arasında onlarca kat mertebesinde değişebilir ve büyük ölçüde parçalanmada kullanılan nötronların enerji düzeyine bağlı olur. Bir çe-



Resim 4: ABD’de kullanılmış reaktör yakıtları ülkenin her yerine dağılmış “ıslak” ya da kuru depolarda tutuluyor ve bunların uzun süre saklanması için Nevada eyaletindeki Yucca Dağı altında dev bir depo planlanıyor. Bu arada atık yakıtın başka amaçlar için kullanılması ya da farklı depolama yöntemleri geliştirilmesi için deneyler sürdürülüyor. Resimde, New York’taki West Valley Pilot Proje Tesisi’ndeki havuzda tutulan kullanılmış yakıt kapları görülüyor. Yazarın hesaplarına göre, uzun süreli saklanma gerektiren transuranik malzemenin miktarını %98 oranında azaltmak mümkün. Halen depolanmış durumda bulunan atıkların ağır metal reaktörlerinde yakılması, radyoaktivite düzeyi daha yüksek, ancak yarılanma ömürleri çok daha kısa ürünler ortaya çıkaracak. Bunlar da eskiden olduğu gibi binlerce yıl yerine yalnızca birkaç yüz yıl süreyle güvenli depolama gerektirecek.

kirdek hızlı bir nötronca vurulduğunda iki şeyden bir olur: çekirdeğin parçalanması ya da nötronun yutulması.

Bir nötron soğuran (yutan) element, aynı element olmayı sürdürür ama farklı bir izotop haline gelir. Orijinal elementle aynı sayıda protona, ama fazladan bir nötrona sahiptir. Yeni oluşan izotop, çekirdekteki fazladan nötron nedeniyle genellikle görece kararsız olur ve bir elektron, bir gama ışın fotonu ve nötrino adlı bir parçacık salımı anlamına gelen “beta bozunması” yoluyla daha kararlı bir elemente dönüşür. (Beta bozunumunun bu türünde salınan nötrino, aslında nötronun zıt elektrik yüklü karşı parçacığı olan antinötrindir; ama bu konumuz açısından fazla önem taşımıyor). Çekirdek, farklı olarak bir “alfa ışınımı” yoluyla da bozunabilir. Yani, iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı (helyum çekirdeği) salar. Alfa bozunumu sonunda, atom numarası orijinal elementin atom numarasından iki sayı daha düşük olan başka bir element ortaya çıkar.

Bir ağır-metal reaktöründe kullanılan hızlı nötronlar, parçalanma olasılığını, yutulma olasılığına kıyasla büyük ölçüde artırır ve parçalanma ürünlerinin üretimini hızlandırır ki, bu da transuraniklerin net olarak azalması anlamına gelir. Dolayısıyla, yüksek düzeyde radyoaktif atığın dö-

nüştürülmesi, daha radyoaktif olmakla birlikte yarılanma ömürleri daha kısa olan parçalanma ürünlerinin çoğunlukta olduğu bir atık türü üretir. Bu atık, yalnızca 300 yıl güvenli biçimde saklanmayı gerektiriyor. Buna karşılık, günümüzdeki hafif su reaktörlerinden çıkan atıklar için gereken güvenli saklanma süresiye 100.000 yıldan fazla!..Elimizdeki teknolojiyle 100.000 yıl dayanacak tesisler yapabileceğimize inanalım ya da inanmayalım, çevremizde 17. yüzyıl inşaat malzemeleriyle yapılmış olup da hâlâ ayakta duran binalara bakacak olursak, insan soyu, ortaya koyduğu yapıların 300 yıl dayanacağı konusunda rahat olabilir.

Nötron Fiziği

Artık bir ağır-metal reaktörünün transuranik elementleri nasıl “yakacağını” merak etmişsinizdir herhalde. Sürecin fiziği bir elementten diğerine hafifçe değiştiğinden dört önemli transuranik üzerinde kısaca duralım:

Neptünyum (Np): Periyodik Tablo’da 93 No.lu element olan neptünyum, ilk transuranik element. Yarılanma ömrü 2 milyon yıl olan neptünyum-237 bir nötron yuttuğunda, ^{238}Np ’ye dönüşüyor. ^{238}Np ’nin yarılanma ömrüye yalnızca 2 gün. ^{238}Np ise bir plutonyum izotopu olan ^{238}Pu ’ya bozun-

yor. Yani, ^{238}Np çekirdeğindeki bir nötron, beta bozunması yoluyla, bir elektron, bir gama ışını fotonu ve bir nötrino atarak protona dönüşüyor. Yeni oluşmuş olan ^{238}Pu da bir nötron yutarak, başka bir nötronca vurulduğunda kolayca parçalanabilen ^{239}Pu ’ya dönüşüyor.

İşte size kolayca akılda tutulabilecek basit bir kural: Tek sayıda nötrona sahip olan izotopların termal bir nötron yutmak yerine parçalanma eğilimleri, aynı elementin çift nötron sayılı izotoplarına kıyasla 10 ila 20 kat fazla. 2 milyon yıllık yarılanma ömrüne sahip neptünyum-237’nin bir ağır metal reaktöründe yakıldığında, yarılanma ömürleri 10-30 yıl olan sezyum, iyot ve kripton gibi kısa ömürlü radyoaktif elementlere dönüşmesinin nedeni bu.

Plutonyum: Periyodik Tablo’nun bir sonraki sırasında yer alan, hemen herkesin adını bildiği ve irrasyonel bir korku duyduğu 94. element olan plutonyum. ^{238}Pu , bu elementin bir izotopu. Bir hafif su reaktöründe ortaya çıkan plutonyumun birçok izotopu bulunur. Plutonyum-239 elektrik üretimi için mükemmel bir reaktör yakıtıdır. Plutonyumun tek sayılı izotopları kolayca daha küçük, çok kısa ömürlü çekirdeklere parçalanır. Çift sayılı plutonyum izotoplarıysa bir nötron yutarak tek sayılı hale gelirler ve kendilerine çarpan bir sonraki nötronla parçalanırlar. 88 yıllık yarılanma ömrüne sahip plutonyum-238, toplum için enerji üretirken işte bu yolla kendini tümüyle ortadan kaldıracaktır.

Amerikyum: Bir sonraki element, evlerdeki duman detektörlerinde yaygın olarak kullanılan, atom numarası 95 olan amerikyum. Nükleer atık içindeki ^{241}Am , bir başka plutonyum izotopu olan ^{241}Pu ’nun beta bozunumuyla oluşur. Hafif su reaktörlerinden çıkan atıkta, önemli miktarda ^{241}Pu bulunur. Plutonyum, reaktör atığının %1’ini oluşturur. Bu miktarın %20’siniyse ^{241}Pu meydana getirir. ^{241}Pu ’nun yarılanma ömrü 14 yıldır.

İlk ağır metal reaktörünün 2025 yılında devreye girebileceği varsayılacak olursa, dönüştürme süreci başlamadan önce ABD’deki atık yakıt stoklarının ^{241}Pu bozunumu sonucu önemli miktarda ^{241}Am içereceği ortaya çıkar.

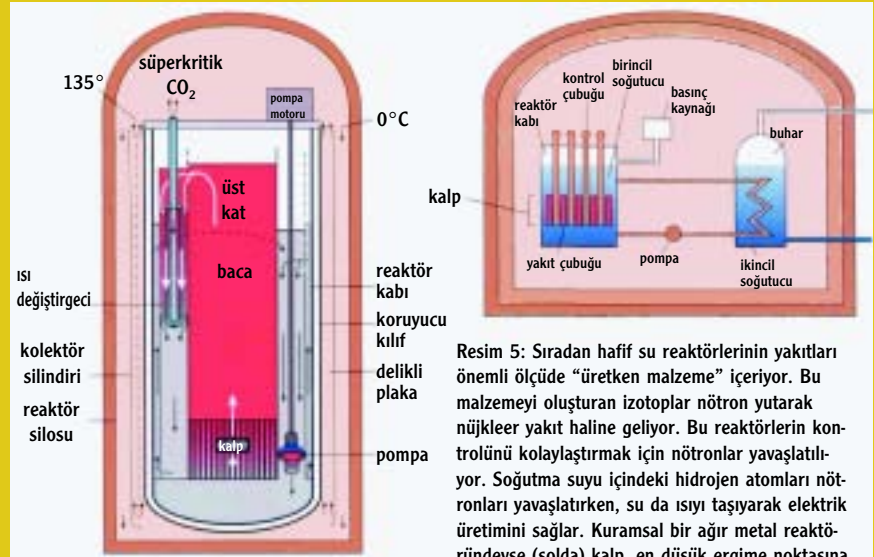
Amerikyum-241 çekirdeği bir nötron tarafından vurulduğunda, %80’i ^{242}Am ’a ve %20’si de ^{242m}Am ’a dönüşür. Buradaki “m”, orta kararlı (metastable) anlamına geliyor. Orta kararlılıkta amerikyum-242, uzun bir yarılanma ömrüne (140 yıl) ve reaktörün kalbinde birikme eğilimine sahip bir izotop. Ancak bu, bilinen en kolay parçalanabilir izotop. Bir nötron tarafından vurulduğunda ^{242m}Am tam ortadan bölünür ve reaktör gücünde önemli bir artış sağlar. Dahası, ^{242m}Am izotoplarının küçük bir bölümü de ^{238}Np ’ye bozunur ve

yukarıda açıklanan süreçle parçalanır. Tüm bunların anlamı, bir reaktör kalbini toplumun nükleer atık diye bildiği (ve bir kısmı ^{241}Am olan) malzemeyle doldurmak, daha iyi bir reaktör performansı; yani daha uzun bir reaktör ömrüyle daha çok enerji üretimi sağlar. Bu arabanızın deposunu, yol aldıkça verimliliği artan, yani bir depoyla daha fazla yol almanızı sağlayan bir tür benzinle doldurmaya benzer.

^{241}Am 'dan ortaya çıkan ^{242}Am 'un %80'i yalnızca 16 saatlik bir yarılanma ömrüne sahip olup, beta bozunumuyla kükürüm-242'ye dönüşür. 163 günlük yarılanma ömrü olan kükürüm-242'ye, alfa bozunumu süreciyle daha hafif olan plutonyum-238'e dönüşür. ^{238}Pu 'nun parçalanma olasılığı, ^{242}Cm 'ninkinden üç kat yüksektir ve ayrıca yukarıda açıklandığı gibi, bir nötron yutarak parçalanma olasılığı 8 kat daha fazla olan ^{239}Pu 'ya dönüşebilir. Dolayısıyla, ^{241}Am 'u nötronla bombardıman ederek, parçalanması 10 kat kolay başka bir çekirdek elde edebilirsiniz. Arabanızın petrol tankı benzetmesine dönecek olursak bu, yakıt veriminizin 10 kat artması anlamına gelir. Reaktör bu sürecin gerçekleşmesine uygun olarak tasarlanırsa, ^{241}Am , reaktörün performansının yükselmesine katkıda bulunur.

Kükürüm: Büyük transuranik elementler grubunun sonuncu üyesi, kükürümdür. Atık yakıt içinde bu elementin büyük bölümü, 163 günlük yarılanma ömrüne sahip olan ve sonunda plutonyumun şu ya da bu izotopuna bozulan ^{242}Cm formundadır. Ancak, nötron yutumu sonunda kükürüm daha büyük bir izotop numarası kazanır. Kükürüm-243, -244, -245 gibi izotoplar da ya bozunurlar ya da parçalanma yoluyla enerji salarlar. En uzun ömürlü kükürüm izotopunun yarılanma ömrü 29 yıldır.

Bir ağır metal reaktörünün içi, hafif su reaktörlerinin kullanılmış yakıtında bulunan ve günümüzde atık diye tanımlanan malzemeyi bu üç dönüştürme yoluyla tüketen yüksek enerjili nötronlarla kaynar. Bu yazıda sunulan vizyonda, kullanılmış nükleer yakıt bir yandan yararlı enerji üretimi için yüksek kaliteli "yeniden işlenmiş" yakıt kaynağı haline gelirken, bir yandan da 10.000 ila 100.000 yıl arasındaki yarılanma ömürlerine sahip olan bir radyoaktif atık dizisini, 10 ila 100 yıllık yarılanma ömürlü atık dizilerine dönüştürüyor. Bu yazıda sunulan çalışma, bir reaktör kalbinde yılda 660 kg transuranik çekirdek yakılmasıyla 1.800 megawatt termal güç enerji elde edilebileceğini göstermiş bulunuyor. (Alışılmış yöntemle nükleer güç üretiminde, kalpte üretilen termal gücün yaklaşık üçte biri kullanılabilir elektriğe dönüşüyor. Bu orandan hareketle, sıradan bir nükleer santralin güç üretiminin yılda 600 megawatt olacağı hesaplanabilir).



Resim 5: Sıradan hafif su reaktörlerinin yakıtları önemli ölçüde "üretken malzeme" içeriyor. Bu malzemeyi oluşturan izotoplar nötron yutarak nükleer yakıt haline geliyor. Bu reaktörlerin kontrolünü kolaylaştırmak için nötronlar yavaşlatılıyor. Soğutma suyu içindeki hidrojen atomları nötronları yavaşlatırken, su da ısıyı taşıyarak elektrik üretimini sağlar. Kuramsal bir ağır metal reaktöründe ise (solda) kalp, en düşük ergime noktasına sahip bir karışım olan kurşun-bismüt yutacağı ile doldurulur. Sıvı karışım reaktörün dibine pompalanır ve kalp içinde yükselerek parçalanmanın sıcaklığını emerek, yeniden döngüye girmeden önce bunu ısı değiştirgeçleri aracılığıyla süperkritik (basınç altında ve buharlaşma noktasının çok üzerindeki sıcaklıkta) karbondioksit aktarır. Karbondioksit de ısıyı taşıyarak türbinleri çevirir. Reaktör kabı, içinde hava dolaştırılarak sıcaklığın kontrol altında tutulduğu bir metal kılıfla çevrilidir.

Azalt, Yeniden Kullan, Dönüştür - Tabii Güvenli Biçimde...

Evdeki atıkların yeniden dönüştürülmesi nasıl kağıdı plastikten, camdan ayırmayı gerektiriyorsa, kullanılmış nükleer yakıtın yeniden kullanılması da farklı atık türlerinin ayrıştırılmasını, böylece uranyum, transuranikler ve kısa ömürlü parçalanma ürünlerinin ayrı ayrı işlenebilmesini gerektirir. Yine evsel atıkların dönüştürülmesi gibi bu da basit bir iş değil; ayrıştırma işlemini güvenli bir biçimde yürütmek gerekiyor. Bu işin güvenli biçimde yapılabileceği de ABD, Fransa ve İngiltere'de gösterilmiş bulunuyor.

Transuranikler ayrıştırıldıktan sonra, bir ağır metal reaktörü kullanılarak tek geçiş yakıt döngüsüyle yakılabilir. Bir başka yaklaşım, ağır metal reaktörünün kullanılmış yakıtının tekrar dönüştürüldüğü çok geçişli yakıt döngüsü. Bunda, "yakılabilir" yeni malzeme elde ediliyor ki, bunlar ağır metal reaktörünün faaliyeti sırasında "yerinde üretilen" uzun ömürlü transuranikler.

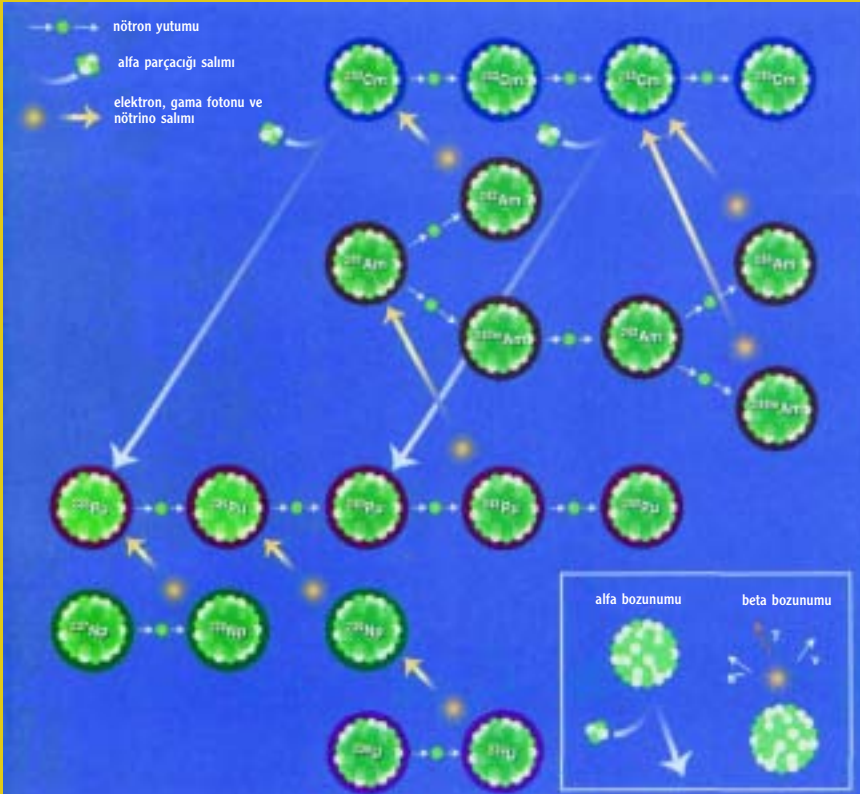
Tek geçişli bir döngü, kullanılmış yakıtın transuranik envanterini tümüyle yok etmeye bile önemli ölçüde azaltır ve plutonyum izotoplarını zayıflatır. Bu, nükleer silahların yapılmasının önlenmesi açısından önemli; çünkü bu dönüştürme yöntemi, silah yapımına uygun düzeyde malzemenin elde edilmesini ya da ayrıştırılmasını son derece güçleştirir. Ancak bu seçim, atılmak üzere santralden ilk kez çıkan nihai ürünün radyoaktif zehirlilik özelliğini ya da bozunma ısını azaltmaz. Uzun ömürlü

radyoaktivite, yüksek enerjili ve kısa ömürlü atığa çevrilmiştir, o kadar. Bir çevresel etki perspektifinden bakıldığında, düzeltilmeye muhtaç çok şey vardır.

Ama çok geçişli bir yakıt döngüsü modelinde, kalıcı olarak atılması ve güvenli bir depoda saklanması gereken toplam transuranik atığın miktarını %99,9 oranında azaltmak olası. Böylece ABD'de yüksek düzeyde radyoaktif atıkları uzun süre saklamak üzere Yucca Dağı'nın altında kurulması planlanan deponun sırtına binecek yük de büyük ölçüde azaltılmış olacak. Ayrıca, hem hafif su, hem de ağır metal reaktörlerinin kullanılmış yakıtlarında var olan transuraniklerin çok geçişli yöntemle yeniden kullanılması, nihai atık içeriğindeki radyoaktif maddelerin zehirlilik ölçüsünü (radyotoksitesite), aynı miktardaki bir uranyum cevherinin 300-600 yıl süreyle yayacağı toplam radyasyonun toksitesine indirecektir. Dolayısıyla eğer toplum uzun süreli atık depolarının sayısının artmasını istemiyorsa, çok geçişli yeniden işleme, uygun bir seçim olur.

Idaho Ulusal Laboratuvarı'nda görevli olan yazar ve meslektaşlarının, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden (MIT) nükleer mühendislerle üzerinde çalıştıkları dört ağır metal reaktör tasarımının biri, tek-geçişli yakıt döngüsüyle elektrik üretimi, öteki üçü ise atık yakmak (dönüştürmek) üzere tasarlanmış bulunuyor.

Önce ele alınan, *tek-geçişli yakıt döngüsü* üzerine kurulu olan tasarım. Seçenekler arasında bu tasarım, yakıtın yeniden işlenmesi ve yeniden kullanılmasının getirdiği ek maliyetler olmadığından daha ucuz elektrik üretti. Günümüz reaktörlerinin bu seçeneği kullanmalarının nedeni de, güç



Resim 6: Bir ağır metal reaktörünün işleyişi sırasında yüksek enerjili nötronlar kalp içinde her yana koşuştururken, doğal uranyum ve transuranik izotoplar, alfa ve beta bozunum süreçleriyle parçacık ve gama ışınları yayarak yeni biçimlere dönüşürler. Bu süreç parçalanma ürünlerinin ortaya çıkışlarında da devam eder. Bu bozunma zincirlerinin bir sonucu olarak bazı izotoplar reaktör içinde birlikte eğilimi taşıyor. Şekil 3'de görüldüğü gibi neptünyum, kolayca parçalanabilen plutonyum-239'a dönüşme eğilimindedir. Plutonyum-241 ve bunun en temel bozunma ürünü olan amerikyum-241, genellikle kullanılmış reaktör yakıtında önemli oranlar kazanırlar. ^{241}Am bir nötron yutup, biri kolayca parçalanabilen, biri de parçalanabilir ^{239}Pu üretiminde bir ara basamak olan ^{242}Am ya da ^{242m}Am izotoplarına dönüşerek reaktör verimini artırır. Kullanılmış yakıt içinde kuryumun büyük bölümü kısa bir yarılanma ömrüne sahiptir. Plutonyuma bozunabilir ya da bir nötron yutarak daha büyük bir izotop numarası kazandığında, bozunur ya da parçalanır.

üretimi için en ekonomik yol olması. Bu reaktör tasarımı, kalp içinde bir miktar yeniden parçalanabilir yakıt üretimine ve son derece güvenli işleme olanak veren görece daha sert (hızlı) bir nötron spektrumuna (enerji yelpazesine) sahip.

Bir sonra incelenen, **üretkenlerden arındırılmış transuranik yakıtı**. Bu reaktör tasarımının hedefi, transuranik atıkların olası en yüksek ölçekte yakılması (yok edilmesi). Transuraniklerden ve zirkonyum mineralinden oluşan yakıt, kalpte yakılıyor ve parçalanma ürünlerinden arındırılması için yeniden işleniyor. Geriye kalan transuranikler yeni yakıtın içerdiği yeni transuraniklerle birleştiriliyor ve yeniden reaktör kalbine yerleştiriliyor. Önerilen modelde yakıtın her yeni işlenişi 18 aylık sürelerle yapılıyor; ama bu süre bir ağır metal reaktöründe daha da uzatılabilir. Bu tasarım, güvenlik açısından bir avantaja sahip: Kullanılmış yakıt içinde yeniden döngüye sokulan plutonyumda nötron yutan, atom numaraları çift sayılardan oluşan izotopların sayısı daha fazla. Bu da atom silahları için parçalanabilir izotopların üretilmesini hemen hemen olanaksız kılıyor.

Üçüncü bir tasarım da **üretkenen arındırılmış küçük transuranikler yakıtı**. Burada bir ağır metal reaktörü, plutonyuma dokunmaksızın küçük transuraniklerin (kuryum-242, amerikyum-241 ve neptünyum-237) yok oluş hızını en üst düzeye çıkaracak biçimde tasarlanıyor. Hafif su reaktörlerinin kullanılmış yakıtı içinde bulunan plutonyum ayrıştırılarak yeniden bir hafif su reaktöründe yakılırken, küçük transuranikler bir ağır metal reaktöründe yakılıyor. Daha yavaş nötronları nedeniyle bir hafif su reaktörü plutonyumu yakabilir; ama küçük transuranikleri yakamaz. Bu melez tasarımda, halen mevcut bulunan ve gelecekte ortaya çıkacak olan küçük transuranikleri yakmak için daha az sayıda ağır metal reaktörü gerekecek. Hafif su reaktörlerinin kullanılmış yakıtları içinde plutonyumun oranı %8 iken, küçük transuraniklerin oranı %0.1'i geçmez.

Son olarak da zihnimizde **hem elektrik üreten, hem de kullanılmış hafif su reaktör yakıtı içindeki transuranikleri yakan bir reaktör** canlandırabiliriz. Yukarıda sözü edildiği gibi, sıradan reaktörler üretken elementleri kullanırlar. Toryum kullanan bu tasarım da öyle. Toryumun genellikle par-

çalanma eğilimi yüksek olmayan izotop 232 halinde var olmasına karşın, bir nötron tarafından vurulduğunda bu izotop uranyuma, daha kesin bir tanımla da nükleer güç üretiminde yaygın olarak kullanılan ^{235}U kadar kolay parçalanabilen ^{233}U izotopuna bozunur.

Üretken toryumun eklenmesi, ek yakıt anlamına gelir ve reaktör performansı, işletim kararlılığını artırır. Ayrıca, yer kabuğunda uranyumun üç katı düzeyinde zengin toryum yatakları bulunmakta. Önerilen tasarımın bir dezavantajıysa, toryumun da periyodik tabloda transuraniklerle aynı bölgede yer alması, dolayısıyla da aynı miktarda transuraniki yakmak için daha fazla ağır metal reaktörüne gereksinimin ortaya çıkması.

İncelenen tasarımlar arasında iki reaktör, birikmiş ve gelecek radyoaktif atığı yakabilecek en iyi potansiyele sahip görünüyor. Örneğin, 700 megawatt gücünde bir modüler (istenen sayıda yan yana konabilecek) termal reaktör, yılda 0,2 ton tutarında transuranik yakabilir. Bu miktar, 3000 megawatt (termal) gücünde büyük bir hafif su reaktörünün yıllık atık çıktısının üçte ikisi demek.

Peki, şimdiye kadar (ABD'de) birikmiş transuranikleri zararsız hale getirmek için kaç tane ağır metal reaktörü gerekir? Hangi tasarımın kullanılacağına bağlı olarak bu iş, bu küçük reaktörlerden 40 yıl süreyle çalışacak sayıları 35 ile 50'sinin varlığını gerektirir. Bu da oldukça iddialı bir hedef.

İncelenen dört ağır metal reaktör tasarımında da, kullanılmış yakıttaki uranyum içeriği ^{238}Pu ve ^{240}Pu izotopları bakımından zenginleşirken, bomba yapımına en uygun olan ^{239}Pu bakımından fakirleşiyor. Yukarıda da sözü edildiği gibi plutonyumun atom numaraları çift sayılı olan izotopları parçalanmaya fazla eğilimli değildirler ve uranyuma bozunduklarında daha fazla sıcaklık üretirler. Bu da nükleer silahlar için gerekli parçalanabilir malzemenin atık içinde çıkarılmasını güçleştirir. Kullanılmış reaktör yakıtı içinde ^{238}Pu ile ^{240}Pu 'nun ağırlık yüzdesi ne kadar fazla olursa, bir silah malzemesi kaynağı olarak çekiciliği o ölçüde azalır.

İncelenen bu tasarımlara hem işletim, hem de silahların yayılmasına karşı güvenlik açısından olumlu not verilmesinin başka nedenleri de var. Bir kere, üretken bir izotop bu reaktörlerden birinin kalbine yerleştirildiğinde, plutonyum üretmiyor. İşletme sırasında plutonyum, öteki transuraniklerce üretildiğindeyse, bunlar genellikle silah üretimi için uygun sayılmayan çift sayılı izotoplar oluyor. Ayrıca, daha uzun işletim döngüleri (reaktör yakıtını yerinde üretmek) ve santralde yakıtı yeniden işlemek, yakıtın taşınmasını ve yabancıların reaktör kalbine erişim olanağını bu

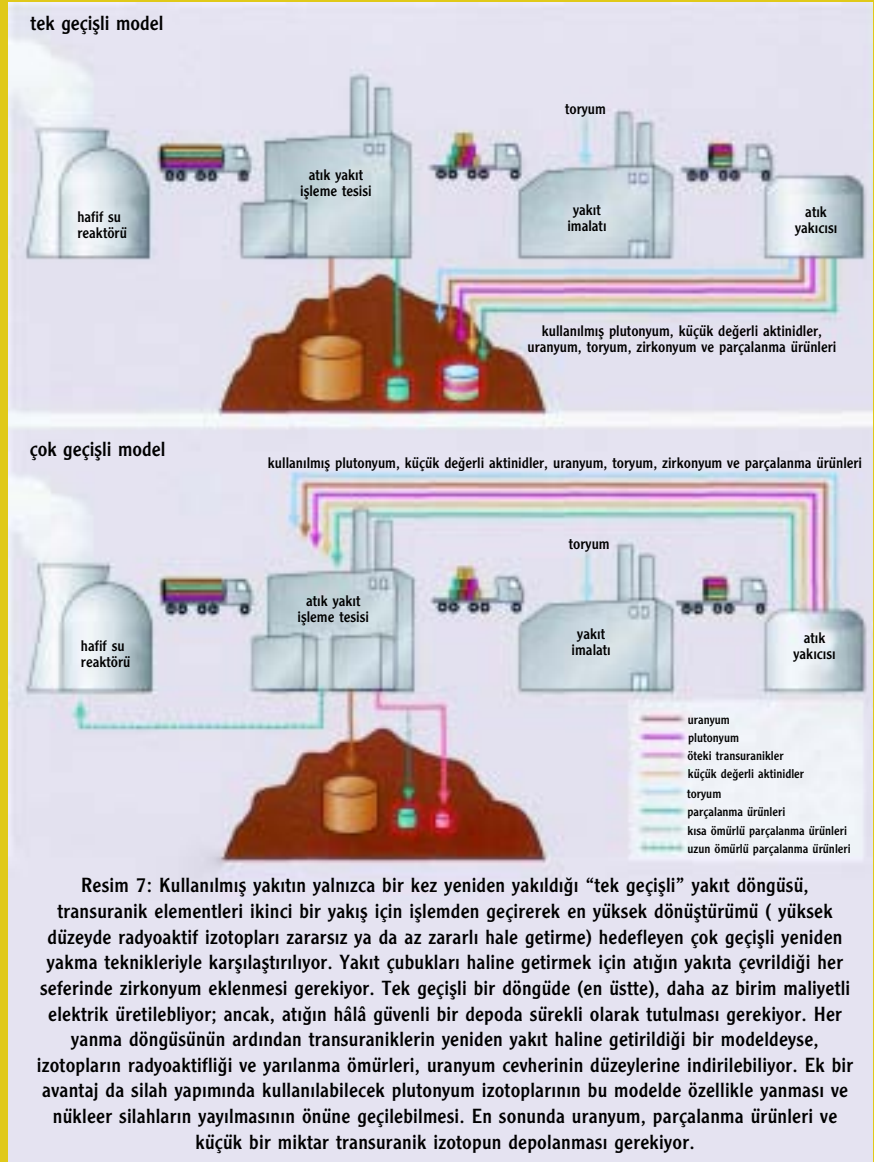
yük ölçüde kısıtlayarak radyoaktif malzemenin çalınması konusunda geliştirilen bazı senaryoların gerçekleşme olasılığını en aza indiriyor.

En güvenli reaktörler, tabii ki bir sorun olduğunda kendi kendilerini kapatabilenler. Yakıtında üretken malzeme olarak toryum (ve üretilen ^{233}U 'yu etkisizleştirmek için az biraz uranyum) içeren bir ağır metal reaktöründe, işletim kararlıdır ve transuranikler, güç üretimiyle birlikte görece hızlı biçimde yok edilirler. Yakıtın karışımı ve biçimi kadar, pasif bozunum ısıyı götüren tasarım sayesinde, geçici de olsa öngörülen değerlerin ihlalleri halinde, güvenli yakıt ve yapı sıcaklığı sınırları aşılmaksızın sistemin kapatılmasını sağlar. Bu günümüz reaktörlerinin sahip olmadığı bir güvenlik derecesi anlamına geliyor.

Hidrojen de mi Üretecek?

Bir ağır metal reaktörünün, ABD Enerji Bakanlığı'nın nükleer teknolojiye yeni kuşaklar arayışı çerçevesinde incelediği altı tasarımdan biri olması, üzerinde önemle durulması gereken bir nokta. IV. Kuşak Reaktör Programı, 2015 yılına kadar yüksek derecede sürdürülebilirlik, güvenlik, güvenilirlik, ekonomiklik ve silahların yayılmasını önleyebilirlik özelliklerine sahip bir reaktörün geliştirilip denemesini hedefliyor. Program, elektrik üretimini, atık yönetimini, hidrojen üretimini ve parçalanabilir malzeme yaratılmasını sağlayan sistemlere odaklı.

Bir ağır metal reaktörü, otomobil yakıtı olacak hidrojen üretebilir mi? Bu, heyecan verici bir olasılık. Hidrojen dünyamızın doğasında kendi başına bulunmadığından, temel bir enerji kaynağı olarak tanımlanamıyor. Ancak, nükleer güç büyük miktarda hidrojen üretimi için kullanılacak yüksek yoğunluklu bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkıyor. Hidrojen üretimi hedefiyse, seçilen sürece bağlı olarak 700-900 °C düzeyinde reaktör çıkışı sıcaklıkları üreten tasarımlarla gerçekleştirilebilir. Bu türden bir güç santrali ya yüksek sıcaklıkta elektroliz (suyun bileşenlerine ayrıştırılması) yoluyla hidrojen üretebilir, ya da doğrudan yakıt işleme sürecinde ortaya çıkan sıcaklığı kullanabilir. Ağır metalle soğutulan hızlı reaktörler, yüksek sıcaklıkta, ama çok düşük basınçta çalışmaları için hidrojen üretimi açısından özellikle uygun araçlar. LBE'nin kaynama noktası 1670 santigrad derece. Yani, günümüzde en yaygın olarak kullanılan metal soğutucu olan sodyumun 883 santigrad derecelik kaynama noktasının neredeyse iki katı. Oysa, yukarıda da belirtildiği gibi sıradan bir nükleer santralden çıkan basınçlı suyun sıcaklığı yaklaşık 300 santigrad derecedir.



Ağır metal reaktörlerinin geleceği var mı? IV Kuşak Programı için ABD Enerji Bakanlığı tarafından 100'den fazla sunuş arasından seçilen 6 rakip tasarım, final maçı için ilk hazırlıklara başlamış bulunuyorlar. Ortaya çıkacak deney reaktörlerinin herhalde küçük olmaları gerekiyor. Çünkü ABD, büyük hacimli yakıt ve malzeme testleri için yeterince hızlı bir nötron akısı üretme yeteneğini yitirmiş durumda. Ama, yazarca önerilen teknolojinin, günümüzdeki teknolojilerden biri kullanılarak, 30 megawatt termal güç üretecek bir deney reaktörüyle sınanması olanaklı. Bu arada şunu vurgulamakta yarar var: Bir ağır metal reaktörünün yüksek ısı transfer yeteneği yüksek güç yoğunluğuna sahip, günümüz hafif su reaktörlerindekiyle kıyasla çok daha küçük ve ekonomik kalplere izin verdiğinden, önerilen teknolojinin benimsenmesi durumunda küçük reaktörlerin istisna değil kural haline gelmesi beklenebilir.

Bu konuda Rusların tecrübelerinden yararlanmak önemli. Hatta ABD'de ağır

metal reaktörleriyle ilgili araştırma çalışmaları sürerken, BREST Projesi önerilen teknolojinin tam ölçekli ticari bir gösterimini oluşturuyor. Alfa sınıfı denizaltılar, Sovyet Donanması'ndaki en hızlı ve en derine dabalabilen denizaltılardı. Bu deneyim, malzemedeki korozyon ve sıvı kurşun içindeki oksijenin kontrolünün, bu tür reaktörler açısından önemli sorunlar olduğunu gösterdi. Önerilen tasarımın pilot deneylerinde bu sorunlara çözümler de aranabilir.

Yazar, tüm araştırmacı havuzunu harekete geçirerek ileride nükleer reaktör tasarımına tümüyle farklı bir yaklaşım getirilmesinin gerekebileceği görüşünde. Üniversite ve araştırma laboratuvarlarındaki uzmanların ortaklaşa çalışmasıyla, denenecek öncü sistemler geliştirilmeli. Yapmamız gereken tek şey, ağır metal müzikten hoşlanan fizikçileri bir araya getirip bir hızlı nötron konseri verdirmek...

Eric P. Loewen, "Heavy-Metal Nuclear Power" American Scientist, Kasım-Aralık 2004
Çeviri: Raşit Gürdilek