

# SİMYANIN DÖNÜŞÜ

Glasgow'daki Strathclyde Üniversitesi'nden Ken Ledingham, geçtiğimiz yaz ortalarında gururla açıklıyordu: "Geçen gün bir deney gerçekleştirdik ve altını cıvaya dönüştürdük!.." İskoç lazer uzmanı marifetini ortaçağda duyursaydı, loncasından kovulacağından kuşku olmazdı. Çünkü simyacıların yüzyıllardır yapmaya çalıştıkları bunun tam tersiydi ve bu hedef bir türlü gerçekleştirilemediği için meslek zamanla gözden düştü ve sonunda tümüyle yok oldu.

Şimdiyse simya, sürpriz bir dönüşün işaretlerini veriyor. Günümüz simyacıları artık bodrumlardaki atölyelerde engizisyon soruşturmacılarından kaçmak ya da halktan büyücü damgası yemek korkusu şöyle dursun, pahalı aygıtlarla donatılmış devlet laboratuvarlarında büyük bütçelerle çalışıyorlar. Üstelik simyayı gerçek anlamında uygulayarak.

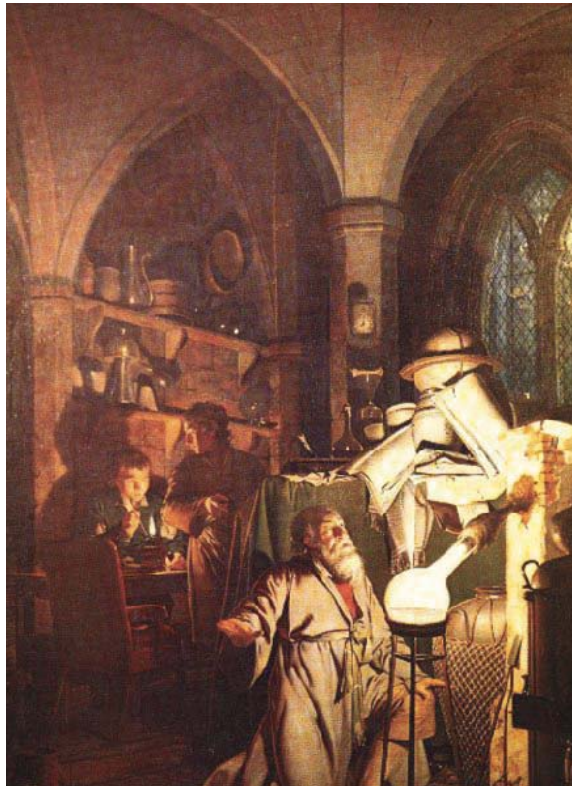
Geçmişteki simyacılar, tüm çabalarına karşın altın elde edemezlerdi. Nedeni basit: Yap-

tıkları simya değil kimyaydı!.. Kimyaya, yalnızca atomların yüzeyindeki elektronları etkiler. Gerçek simya, yani bir elementi başka bir elemente dönüştürmek ya da doğada bulunmayan yeni

bir element yaratmaksa, atomların çekirdeklerini değiştirmeyi gerektiriyor. Yani, çekirdeklere ya fazladan proton ya da nötron eklenecek, ya da bunlardan bazıları çekirdekten koparılıp çıkartılacak. Çekirdekdeki protonların sayısını değiştirmek, bir elementi başka bir elemente dönüştürür. Nötronların sayısıyla oynamaksa, atomların kararlılık derecelerini etkiler, yani kararlı bir izotopu kararsız hale getirir ya da bunun tam tersini yapar.

İşte çağdaş simyanın yıldızının parlamasına yol açan da vadettiği büyük potansiyel. Altın külçeleri, simyacıların ağır metalleri başka ağır metallere dönüştürmeleri için kesenin ağzını açmaya başlayan hükümetlerin akıllarındaki belki en son şey. Asıl hedeflenen, dönüştürme (transmutasyon) denen modern simya yöntemleriyle tehlikeli nükleer atıkları bir çırpıda zararsız hale getirmek.

Atıkları bu derece önemli bir sorun yapan, bazılarının tehlikeli ışınım yayma özelliklerini çok uzun yıllar sürdürmeleri. Örneğin, tekneyum-99: Bu izotop, uranyu-



mun parçalanmasıyla ortaya çıkan radyoaktif bir yan ürün. Dünyadaki reaktörler bu izotoptan her yıl toplam altı ton üretiyorlar. Yarılma ömrü (taşdığı ışınım düzeyinin yarıya inmesi için gereken süre) 200.000 yıl. Suda çözüldüğünden gıda zincirine de hızla bulaşabiliyor. Nükleer endüstri yüzünden okyanuslardaki birikimi, 1960'lardan bu yana 100 kattan fazla artmış.

Bunların dışında nükleer silahlar için üretilen, ya da silahsızlanma antlaşmaları sonucu devreden çıkarılan silahlardan alınıp depolanması gereken plütonyum ve uranyum gibi binlerce ton yüksek düzeyde radyoaktif madde var. Başta ABD olmak üzere birçok ülke ellerindeki bu atıkları yeraltında inşa edilecek depolarda saklamanın planlarını yapıyorlar. Uzmanlara göre bu atıkların saklanması gereken süreleri, yarılma ömürlerinin yüzlerce katıyla çarpmanız gerekiyor. Örneğin, Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı CERN'de dönüştürme uzmanı Robert Klapisch, "Eğer elinizde yarılma ömrü 10.000 yıl olan bir şey varsa, bir kere bunu 1 milyon yıl güvenli biçimde saklamanın yollarını bulmanız gerekir" diyor. "Üstelik, bunların yeniden biyosfere (yaşam küreye) dönmelerini istemiyorsanız, deprem olasılığını da ciddi biçimde hesaba katmalısınız."

Ağır çekirdeklerin kısa ömürlü radyoaktif ürünlere bölünmeleri, uzun ömürlü izotopların da kararlı elementlere dönüştürülmesiyle bir yeraltı atık saklama deposunun dayanması gereken süreyi birkaç milyondan, birkaç yüz yıla indiriyor.

Modern simyanın büyük potansiyeli ni daha iyi anlamak için teknyum-99'a geri dönelim. Dizginlenemez gibi görünen bu canavarın hakkından gelen, tek bir nötron. Teknyum-99'a bir nötron ilave edince teknyum-100 elde ediyorsunuz. Bu izotopun yarılma ömrü sadece 15,8 saniye! Yani siz daha radyoaktivite düzeyini ölçmeye fırsat bulamadan tümüyle kararlı ve zararsız bir madde olan rutenyum-100'e bozunuyor. Dönüştürmenin bir yolu da, elementlere ilave bir nötron yutturup başka bir elemente dönüştürmek yerine, ağır ve kararsız çekirdekleri ki, bunlara aktinid ya da trans-uranik elementler (TRU) deniyor (Ör: plütonyum, uranyum, amerikyum), bir nötronla parçalayıp kararlı, daha küçük



**Dönüştürme:** Teknyum 99 son derece uzun ömürlü ve tehlikeli bir parçalanma ürünü. Ancak, bir nötron eklenmesiyle tümüyle zararsız hale geliyor. Bu işlem, sıvı kurşunla soğutulan dönüştürme reaktöründe gerçekleştiriliyor (sağda).

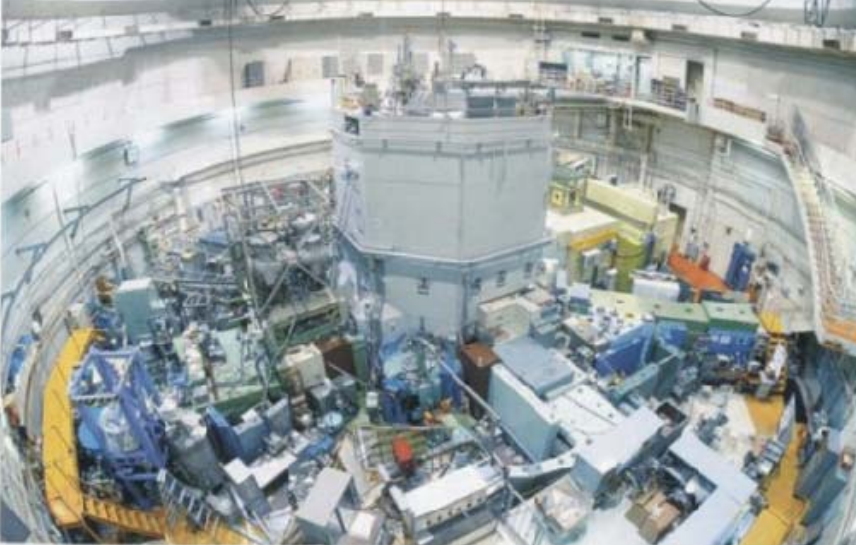
çekirdeklere bölmek.

Bu yöntem, nükleer enerjinin istenmeyen yan ürünlerini ortadan kaldırmanın çekici bir yolu olarak bir süredir gündemde. Elektrik enerjisinin %80'ini nükleer güç santrallerinden sağlayan Fransa'da araştırma kurumları, yasayla dönüştürme teknolojisini incelemekle yükümlü kılınmış bulunuyorlar. ABD de, bu tür bir simya programını aktif biçimde sürdürüyor. İngiltere de böyle bir program başlatıp başlatmama konusunda karar aşamasında. Ayrıca Avrupa'da ve Japonya'da da dönüştürme araştırmaları yürütülüyor ve yenileri planlanıyor.

Nükleer yakıt atıklarındaki bazı radyoaktif zehirler	
İZOTOP	YARILANMA ÖMRÜ
Hidrojen-3 (trityum)	12 yıl
Berilyum-10	1.600.000 yıl
Karbon-14	5.700 yıl
Fosfor-32	14 gün
Potasyum-40	1.000.000.000 yıl
Kobalt-60	5 yıl
Selenyum-79	65.000 yıl
Rubidyum-87	47.000.000.000 yıl
Strontiyum-90	29 yıl
Niobyum-94	20.000 yıl
Molibdenum-93	3.500 yıl
Teknyum-99	200.000 yıl
Rutenyum-106	1 yıl
Yot-129	15.700.000 yıl
Sezyum-135	2.300.000 yıl
Hafniyum-182	9.000.000 yıl
Tantalum-182	100 gün
Renyum-187	50.000.000.000 yıl
Kurflun-205	14.300.000 yıl
Polonyum-210	138 gün
Radyum-224	37 gün
Radyum-226	1.600 yıl
Aktinyum-225	10 gün
Toryum-228	2 yıl
Toryum-231	1 gün
Toryum-232	14.000.000.000 yıl
Uranyum-233	200.000 yıl
Uranyum-234	200.000 yıl
Uranyum-235	700.000.000 yıl
Uranyum-236	23.000.000 yıl
Uranyum-238	4.000.000.000 yıl
Neptünyum-237	2.000.000 yıl
Plütonyum-238	88 yıl
Plütonyum-239	24.100 yıl
Plütonyum-240	6.500 yıl
Plütonyum-241	14 yıl
Plütonyum-242	400.000 yıl
Amerikyum-241	400 yıl
Amerikyum-242	100 yıl

## Çetrefil Bir Sorun

Nükleer atık sorununa çözüm, özellikle ABD için acil. Nedeni 2003 yılı itibariyle ülkedeki nükleer enerji santrallerinde 40.000 ton kullanılmış atık yakıt birikmiş olması. Bu miktarın 2035 yılında 105.000 tona yükselmesi bekleniyor. Hükümetin, katı yakıt çubukları biçimindeki bu atıkları depolamak için bir yol bulması gerekiyor. Çünkü bu atıklar geçici olarak nükleer santrallerin soğutma havuzlarında tutuluyor ve ülkede bulunan 131 nükleer santralin soğutma havuzu da hemen hemen dolmuş gibi. Ülke nüfusunun yaklaşık yarısı, bu nükleer tesislere 120 kilometreden daha yakın yerleşim birimlerinde yaşıyor. Ticari santral atıklarına ek olarak ABD'nin güvenli bir biçimde saklamak zorunda olduğu yüksek düzeyde radyoaktif atıklar da var. 1970'li yılların sonlarından itibaren ABD, nükleer silah yapımında kullanmak üzere, resmi kurumlarınca işletilen nükleer reaktörlerin atık yakıtlarını yeniden işlemekteydi. Yeniden işleme, kullanılmış nükleer yakıtı kimyasal işlemlere tabi tutarak içindeki parçalanabilir uranyum ve plütonyumu ayırma işlemine deniyor. Yeniden işlemenin yan ürünüyse, oldukça yüksek düzeyde ışınım yayan, cıvık çamur kıvamında bir atık. Bunların ancak özel olarak hazırlanmış, paslanmaz çelikten varillerde depolanmasına izin veriliyor. Ayrıca, devre dışı kalmış nükleer silah fabrikalarından, ya da silahsızlanma antlaşmaları gereği yok edilmiş ya da edilecek savaş başlıklarından gelen yüksek düzeyde atık da var. Bunlar, güvenli ve



Japonya'nın Kyoto Üniversitesi'nde bir proton hızlandırıcısı eklenmekte olan emektar reaktör (en üstte). Projenin yöneticisi Kaichiro Mishima (üstte solda) ve tesisin dıştan görünüşü (sağda).

uzun süreli depolanmayı gerektiren 22.000 varil dolusu tehlikeli atık anlamına geliyor. ABD'de üretilen tüm nükleer atıkları bir araya getirip depolamaya kalksanız, bunlar bir futbol sahası büyüklüğünde bir alanı kaplar ve yaklaşık 5 metre yüksekliğinde bir yapı oluşturur.

Bu nükleer atıkların, patlama tehlikesi yok. Örneğin, bunları taşıyan bir trende ya da tankerde bir patlama meydana gelse bile, bunların bir zincirleme tepkime oluşturmaları mümkün değil. Ayrıca, çoğu metal formunda olduğu ve uzun dönemli saklama için seramik ya da cam haline getirildiği için yanma tehlikesi de yok. Asıl tehlike, bunların içinde tutuldukları kalın beton, çelik ve kurşun kılıfları aşındırarak ya da bunların kaza eseri parçalanması sonucu yer altı sularına ve dolayısıyla ırmaklara, denizlere, hatta içme suyu şebekelerine sızmaları.

Nükleer mühendisler ve hükümet yetkilileri, bu atıkların güvenli biçimde ortadan kaldırılması için çeşitli seçenekler üzerinde durmuş, ancak sonunda tek çözümün, yeryüzünün derinliklerinde, kaya katmanlarının altında saklamak olduğu toprak altında saklanması gerektiği üzerinde birleşmiş bulunuyorlar. (Bkz: Çerçeve).

Dönüştürme tekniği, toprak altında saklanma zorunluluğunu ortadan kaldırmıyor. Ancak tehlikeli atıkların miktarını ve yarılanma ömürlerini kısaltıyor.

## Umut Kaf Dağının Ardında mı?

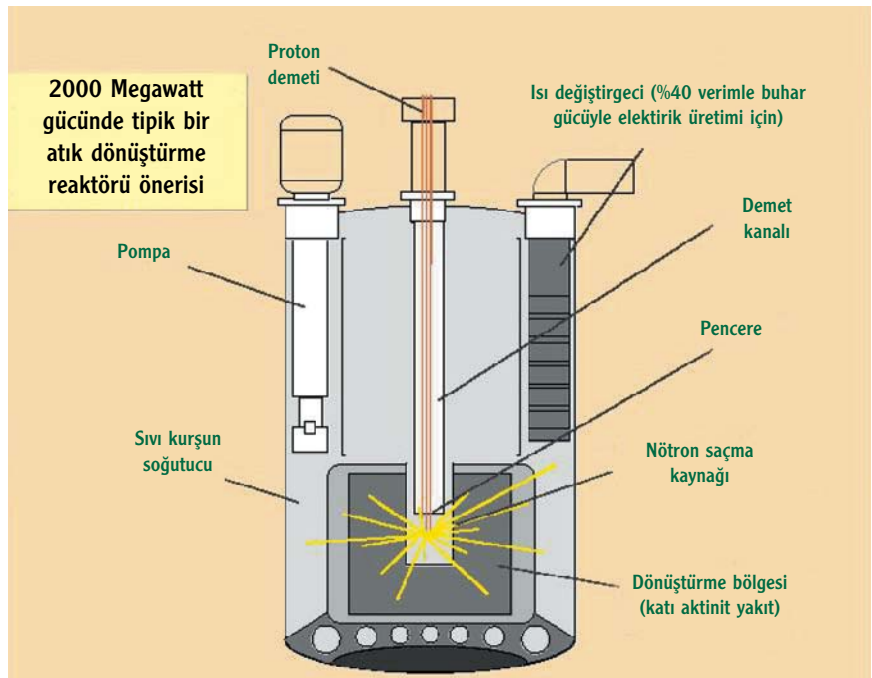
Dönüştürmenin ilk olumlu deneyleri bir süredir gerçekleştiriliyor. Ancak, teknoloji henüz deneme aşamasında. Ayrıca ölçek ve maliyet sorunlarının aşılmasına çalışılıyor. Dönüştürme alanındaki araştırmalar iki rakip kulvarda yürüyor: Birincisi, lazer teknolojisi; ikincisiyse radyoaktif atıkların proton ya da nötronlarla bombardımanı.

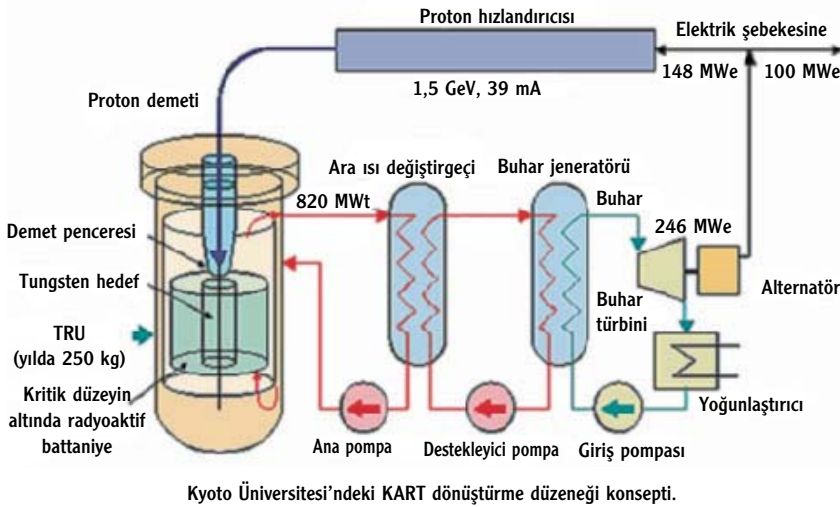
Her iki yöntemin de sorunları var. Genel bir sorun, uzun ömürlü parçalan-

ma ürünlerinin bir nötron yakalayıp dönüşüme uğramalarının rastlantıya bağlı olması. Ama her izotopun sahip olduğu rezonans denen yüksek enerji düzeylerinde nötron yakalama ve dönüşüm geçirme şansı daha yüksek olduğundan, araştırmacılar bu rezonans düzeylerini tetiklemenin yollarını arıyorlar.

Ledingham ve ekibi, lazer yolunu seçenlerden. Ekip, milyonlarca yıl radyoaktif kalan iyot-129 izotopunu, yalnızca birkaç dakika içinde kararlı bir hale bozulan iyot-128'e dönüştürmeyi başarmış. Ancak, sorun bu işin en azından şimdilik güçlü lazerler gerektiriyor olması. Nitekim Strathclyde ekibinin deneylerde kullandığı, Oxfordshire'eki Rutherford Appleton Laboratuvarı'nda bulunan dünyanın en güçlü lazeri Vulcan. Boyutları, bir otelin boyutları kadar! Dönüştürmeyi gerçekleştirmek için araştırmacılar bir pikosaniye (saniyenin trilyonda biri) süreli lazer atımını altın bir hedef üzerine göndermişler. Lazer demetinin yoğun enerjisi altın atomlarını, serbest çekirdeklerden ve elektronlardan oluşan bir plazma haline getiriyor. Bu parçacıklar da hedefin geri kalanı içinden geçerken gama ışınları yayıyorlar. Bu yoğun gama ışınları iyot-129 atomlarıyla çarpışıyorlar ve çekirdeklerini öyle şiddetli bir biçimde sarsıyorlar ki, çekirdek içinden bir nötron dışarı fırlıyor.

Ledingham ve ekip arkadaşları lazerle dönüştürme konusunda iyimserler. Lazer teknolojisinin hızla ilerledi-





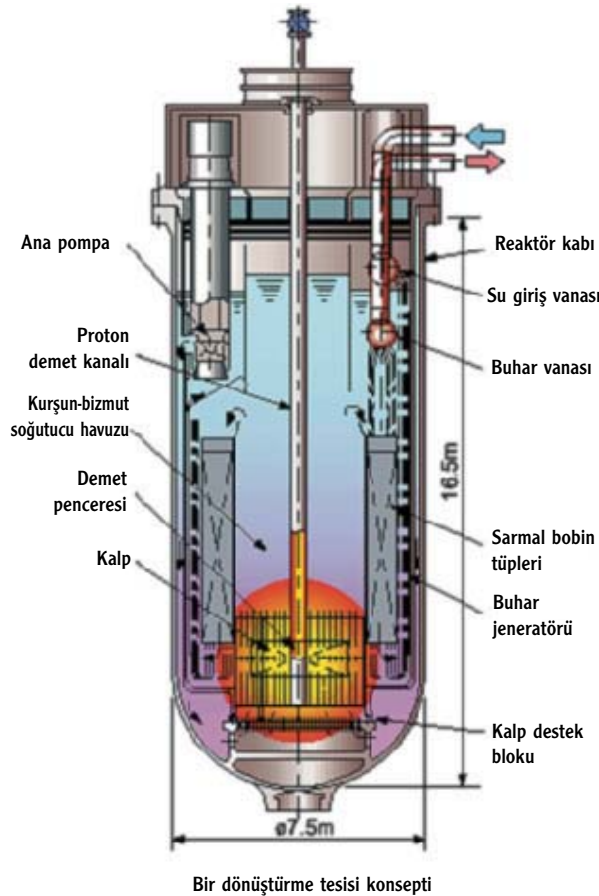
ğini ve beş yıl içinde koskoca Vulcan kadar güçlü lazerlerin, bir masa üstüne yerleştirilebilecek kadar küçüleceğini söylüyorlar. Ama sorun, yalnızca ölçek sorunu değil: Lazer ışığının önce gama ışınlarına dönüştürülmesinin gerekmesi, bunların da ancak çok küçük bir bölümünün hedef atomlarıyla çarpışması nedeniyle Ledingham'ın uyguladığı yöntem son derece verimsiz. Deneylerde yalnızca 3 milyon kadar iyot-129 atomu iyot-128'e dönüşmüş. Bu miktar, bir mikrogramın milyarda birinden daha az. Deneyde kullanılan ve yalnızca 2 cm genişliğindeki hedefin tümünü dönüştürmek için, saatte tek bir atım yapabilen Vulcan'ın 100 katrilyon kez ateşleme yapması, bunun için de muazzam miktarda enerji harcaması gerekiyor. Londra Imperial College'dan lazer fizikçisi ve Ledingham'ın ekip arkadaşı Karl Krushelnick, bu enerjiyi sağlamak için büyük bir güç santrali kurulması gerektiğini kabul ediyor.

## Şimdilik İş Nötronlarda

Buna karşılık dönüştürme için lazer dışında önerilen teknolojilerin ayağı daha çok yere basar durumda. Bunlardan biri, halen kullanımda olan bir nükleer reaktörde değişiklikler yaparak, atomun parçalanması (filyon) sürecinde ortaya çıkan nötronların

istenmeyen izotoplarla çarpışarak bunları dönüştürmesi. Ancak, prototipleri üzerinde çalışılan bu yöntemin sorunu da, nükleer enerji karşıtlarınca, nükleer enerjiyi canlandırmak için bir hile olarak değerlendirilmesi.

Yine de, parçacık bombardımanı ile dönüştürme araştırmaları hızlanarak ve yeni önerilerle zenginleşerek sürüyor. Bu önerilerden bir tanesi de dönüştürme için parçacık hızlandırıcılarından dolayı yolla yararlanmak. Ancak, bu iş için gerekli olan parçacık



hızlandırıcılarını, temel fizik araştırmalarında kullanılan milyarlarca dolarlık, kilometrelerce uzunlukta halka biçimli tüneller ve dev süperiletken mıknatıslara sahip parçacık çarpıştırıcılarıyla karıştırmamak gerek. Bunlar daha küçük ebatlı, örneğin, bir odaya, hiç olmazsa bir laboratuvara sığabilecek ölçeklerde hızlandırıcılar.

Bir de, bu tür dönüştürme için, kritik olmayan (zincirleme tepkimeye olanak tanımayan) bir reaktör gerekiyor.

Dönüştürmede hükümetlerin temel önceliği, atıklarda oran bakımından daha büyük yer tutan ve dolayısıyla depolanma sorununa çözüm gereği daha acil olan TRUlar. Bunlar, yukarıda gördüğümüz gibi bir nötron yakalayıp dönüşüm geçirmek yerine daha kararlı çekirdeklere bölünerek radyoaktif özelliklerini yitiriyorlar ya da azaltıyorlar. Bunları parçalanmaya "teşvik eden" de yüksek enerjili nötronlar. 1990'lı yılların sonuna doğru ortaya çıkan ve eskilerine göre daha küçük ve daha güvenli olan yeni kuşak parçacık hızlandırıcıları, enerji nötron üretme gücünün üzerinden gelmiş görünüyorlar. Eski hızlandırıcılar, elektrik şebekesinden sağladıkları gücün ancak %5'ini bir parçacık demeti haline dönüştürebilirken, yeni modeller bu oranı %50'ye yükseltmiş bulunuyorlar.

Yine 1990'ların sonunda geliştirilen tasarımlarda, dönüştürme makinelerinin şöyle çalışması öngörülmekteydi. Radyoaktif izotoplar uzun borulara doldurulacak ve bunlar da büyük bir kurşun blok içinde hazırlanmış yuvalara indirilecek. Daha sonra bir parçacık hızlandırıcısından gelen yüksek enerjili proton demeti kurşun blok üzerine nişanlanacak. Çarpışan protonlar, TRU'ları parçalayacak kadar yüksek enerjilerde nötron yağmuruna yol açacak. Nötronlar da kurşun çekirdekleriyle çarpıştıklarında enerji yitirecek. Enerji düzeyleri tek netyum-99 gibi izotopların rezonant enerji düzeylerinden geçerken, nötronlar büyük olasılıkla dönüşüme yol açacak.

Kurşun blokta, sisteme nötron üretmesinin yanı sıra, soğutucu işlevi de görecektir. Çe-

kirdek parçacıklarının yaratacağı ısı, kurşunu eriterek reaktör kalbi içinde yükselmesini sağlayacak. Yükselen kurşun, bir ısı değiştirgecinden geçerken soğuyarak tekrar aşağıya çökecek. Atık ısıysa elektrik enerjisine dönüştürülecek.

Tasarımcılar, bu yöntemin etkin soğutma yeteneğine karşılık taşıdığı önemli bir sorunu da daha o tarihlerde Ruslar sayesinde aşmışlardı. Kurşunun olumsuz yanı, son derece aşındırıcı bir metal olması. Ruslar kurşunla çalışmaya alıştılar ve soğutucu olarak kurşun kullanan reaktörlerle çalışan bir nükleer denizaltı filoları vardı. Sorunu şöyle çözmüşlerdi. Kurşuna basınçlı oksijen karıştırıyorlar ve böylece reaktör duvarlarında, sürekli olarak kendini tamir eden bir oksit tabaka oluşmasını sağlıyorlardı. Ruslar teknik yardım karşısında bu sınırları Batı'ya açmışlardı.

ABD'nin Los Alamos Ulusal Laboratuvarı mühendisleri, kurşun sorununun böylece giderilmesinden sonra, dönüştürme işlemini yapacak makine için bir tasarım geliştirdiler. Makine, santral atıkları ve plütonyumdan oluşan yükünü üç yıl süreyle "pişirecek". Bu işlemden sonra radyoaktif özelliklerini sürdürebilen atıklar, "pyrochemical separation" (sıcak kimyasal ayrıştırma) denen bir teknikle yeniden işlenecekleri yerlere gönderilecek. Bu ikinci süreçte atık erimiş bir elektrolit haline getirilecek ve parçalanmamış TRU parçacıkları, son derece yüksek sıcaklıktaki bir elekt-

rotta toplanacak. Kapandan kurtulabilen TRUlar, eriyikte kalmış olabilecek uzun ömürlü izotoplar ve yeni atıklarla bileştirilerek yeniden pişirilmek üzere dönüştürme makinesine gönderilecek. Böylece her turda radyoaktif izotopların en az %20'sinin yokedileceği hesaplanmaktaydı. Sonuçta geriye kalan kısa ömürlü radyoaktif izotoplarınsa yeraltı depolarında saklanması öngörülmekteydi.

Amerika bu tasarım üzerinde çalışırken, Avrupa'da Carlo Rubbia tarafından geliştirilen "enerji yükseltici" projesi üzerinde durulmaktaydı.

2000'li yıllarda, nükleer enerjinin yeniden ciddi bir alternatif olarak gündeme gelmesiyle birlikte dönüştürme makineleri için çalışmalar da hız kazandı. Yeni yaklaşımların ortak görünen özelliği, hızlandırıcıların reaktörlerle birlikte kullanılması.

Örneğin Japonya'nın Kyoto Üniversitesi'nde 30 yıllık bir araştırma reaktörüyle birlikte çalıştırılmak üzere bir proton senkrotronu inşa ediliyor. 2005 yılı sonbaharında bitirildiğine senkrotron, reaktör kalbine proton gönderecek. Protonlar, nükleer yakıtla sarılmış bir ağır metal silindirin eksenini boyunca hedefle etkileyecek. Hedeften fırlayan nötronlar da yakıttaki atomlara çarparak bunları parçalayacak. "Hızlandırıcıyla Çalışan Sistem" (accelerator-driven system -ADS) denen düzeneğin çeşitli türleri, farklı merkezlerde deniyor.

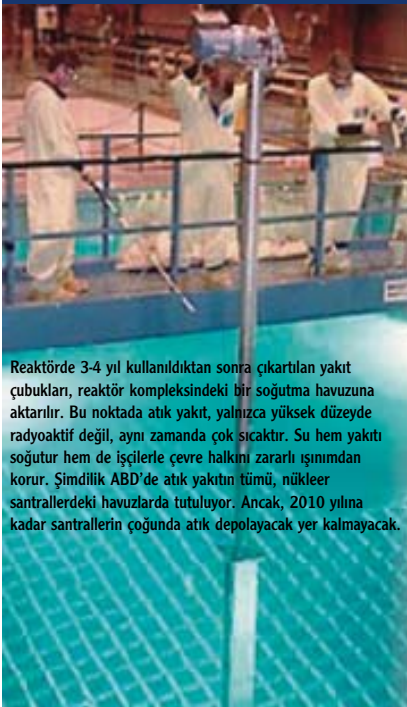
Örneğin, 10 milyon dolara malolması beklenen Kyoto Üniversitesi'ndeki

Kumatori Hızlandırıcıyla Çalışan Reaktör Deney Tesisi'nin (KART) ardından, Rusya'nın Dubna kentindeki Ortak Nükleer Araştırmalar Enstitüsü de (JINR), halen faaliyette olan bir proton hızlandırıcısında nükleer tepkimeler için 1,75 milyon dolarlık bir deney odasının inşaatına girişiyor. İtalya'nın "Yeni Teknolojiler Ulusal Ajansı" (ENEA), Fransa Atom Enerjisi Komisyonu (CEA) ve Almanya'nın Forschungszentrum Karlsruhe araştırma kurumu, 22 milyon dolar fiyat etiketli TRIGA Hızlandırıcıyla Çalışan Deney (TRADE) adlı araştırma için güç birliği yapmış bulunuyorlar. Üç araştırma kurumu, bu parayla ENEA'nın Roma'daki Casaccia Araştırma Merkezi'ndeki deney reaktörüne bir proton hızlandırıcısı ekleyecekler. Avrupa'dan bu yıl içinde beklenen ek fonlarla inşaatın 2005 yılında başlaması bekleniyor. Bu arada tasarım çalışmalarına katılan ABD'nin Los Alamos Ulusal Laboratuvarı'nın da katılımını resmileştirmesi bekleniyor.

İlk plandaki bu girişimlerin ardından ufukta yeni projeler de var: Japon araştırmacılar, halen Tokai'de inşaatı süren Japonya Proton Hızlandırıcı Araştırma Kompleksine bir reaktör odası eklenmesi için siyasetçileri sıkıştırıyorlar. Avrupa'da da araştırmacılar, TRADE'in ardından bağımsız bir hızlandırıcıyla çalışan deney sisteminden söz etmeye başladılar.

Hızlandırıcı Temelli Sistemler geliştirilmesi için harcanan paralar, maliyetleri yüzlerce milyon, hatta milyarlarca doları bulan büyük fizik projeleriyle

## Nükleer Atık Sorununun Çözümü İçin Öneriler



Reaktörde 3-4 yıl kullanıldıktan sonra çıkartılan yakıt çubukları, reaktör kompleksindeki bir soğutma havuzuna aktarılır. Bu noktada atık yakıt, yalnızca yüksek düzeyde radyoaktif değil, aynı zamanda çok sıcaktır. Su hem yakıtı soğutur hem de işçilerle çevre halkını zararlı ısımandan korur. Şimdilik ABD'de atık yakıtın tümü, nükleer santrallerdeki havuzlarda tutuluyor. Ancak, 2010 yılına kadar santrallerin çoğunda atık depolayacak yer kalmayacak.



1986 yılından bu yana bazı ABD nükleer santralleri, atık depolama kapasitelerini yer üstü kuru depolama tesisleriyle genişletme yoluna gittiler. Bu tesislerde atıklar, çelik, beton ve kurşundan yapılmış ağır konteynerlere yerleştiriliyor. Bunlar da ya kalın beton platformlar üzerine dikey olarak yerleştiriliyor, ya da kalın beton depolarda yatay olarak saklanıyor.



Nükleer atıkların okyanus tabanına gömülmesi, akla yakın bir seçenek. Çünkü, tabanın derinliklerinde radyasyon insanları ya da çevreyi etkilemez. Sorun, gerektiğinde yakıtı yeniden yüzeye çıkarmanın güçlüğü. Ayrıca, 1993 Londra Sözleşmesi 2018 yılına kadar denizlere radyoaktif atık bırakılmasını yasaklıyor.



Atıkların Antarktika ya da Grönland'da buza bırakılması: Atık varilleri, sıcaklıklarıyla buzu eriterek dibe inecekler. Varillere bağlanacak kablolarla atıklar gerektiğinde geri alınabilir. Sorun, gelecekteki iklim değişikliklerinin buzları eritmesi ve atıkların çevreye saçılması. Yöntem ayrıca pahalı ve 1959 Antarktika Antlaşması'na aykırı.

karşılaştırılınca şimdilik oldukça önem-  
siz kalıyor. Ancak, deneyler sırtlarını  
sağlam ve devamlı bütçelere dayanmış  
görünüyorlar. Bunda en azından Avru-  
pa'da nükleer enerjinin kıta çapında  
kabulünün, nükleer atık sorununa bağ-  
lı olmasının önemli rolü var.

Nitekim, Japonya'daki KART ve  
Dubna'daki kritik düzey altı düzenek  
(2006 yılında devreye girecek) hızlan-  
dırıcı temelli sistemlerin temel fiziği ile  
ilgili deneyler yürütürken, bu düzenek-  
lerin en kapsamlısı olan TRADE, daha  
da öteye giderek geniş çaplı nükleer  
atık dönüştürümüyle ilgili pratik sorun-  
ları ve çözümleri üzerinde yoğunlaş-  
acak. KART ve Dubna düzeneği, son  
derece düşük güçle çalışırken, TRADE  
yüzlerce kilowatt güç üretecek. Bu da,  
araştırmacılara reaktör kalbindeki ısı  
düzeyini artırmanın tepkimeyi nasıl etkilediğini inceleme olanağı sağlayacak.  
Araştırmacılar ayrıca, hedefi soğutmak,  
başlatma, kapatma ve düzenli yanma  
aşamalarında tepkimeyi izlemek ve  
kontrol etmek gibi pratik sorunlarla il-  
gili deneyler de yürütecekler. Bunlar,  
2015 yılı için planlanan, yüzlerce mil-  
yon dolar maliyetli büyük ölçekli bir  
atık dönüştürme gösteri projesi için ge-  
reken ilk adımlar.

Hızlandırıcı temelli dönüştürme sis-  
temleri, tüm bu sınavları başarıyla geç-  
seler bile, bu uygulama için para mus-  
luklarının sonuna kadar açılacağı anla-  
mına gelmiyor. Örneğin, ABD TRADE  
projesine katılım konusunda istekli gö-  
rünmekle birlikte, yüksek düzeyde rad-  
yoaktif atık sorununu tümüyle, Neva-

da'daki Yucca Dağı altında hazırlamak-  
ta olduğu atık depolama tesisiyle çö-  
meye karar verebilir.

## Yan Ürünler

Gerçi hızlandırıcı temelli çözümler,  
nükleer atık sorununun çözümü için  
mevcut seçeneklerden bir tanesi. An-  
cak, etkinliğinin yanısıra önemli bir  
ekonomik avantaj taşıdığı da kuşku-  
suz. Tam ölçekli bir hızlandırıcı atık  
dönüştürme tesisi, önemli miktarda  
termal güç oluşturacaktır. Bu yan ü-  
nü elektrik ya da hidrojen üretmek için  
kullanmak isteyecek hükümetlerin ya  
da şirketlerin sayısıysa herhalde az ol-  
mayacaktır.

Yan ürünler konusunda lazerli sim-  
ya teknolojisi de iddialı. Genel kulla-  
nımlı yan ürünler için arananlar liste-  
sinin baş sıralarında da, eski simyacılar-  
ın da geliştirmeye çalıştıkları hastalık  
sağaltım araçları geliyor. Modern sim-  
ya, tıp kullanımlı radyoizotopların üre-  
timi için özellikle uygun bir araç. Bu  
ürünler, genellikle tıbbi görüntüleme-  
de kullanılıyor. Örneğin flor-18, pozit-  
ron denen bir karşımadde (elektronun,  
+ elektrik yükü taşıyan karşıtı) yayın-  
layarak bozunur. Pozitron da bir  
elektronla çarpışınca, her iki parçacık  
enerjik bir patlamayla yok olur. Bu  
olay eğer vücut içinde meydana gelirse,  
dışarıda dizilmiş olan detektörler,  
yayınlanan fotonları saptayarak flor  
izotopunun yerini belirleyebilir. Bu  
teknik, Pozitron Yayın Tomografisi ya  
da PET taraması olarak adlandırılıyor

ve genellikle tümörlerin aranmasında  
kullanılıyor.

Flor-18 ve tıpta kullanılan öteki rad-  
yoizotopların hem tarama sırasında be-  
lirlenebilmesi, hem de vücutta fazla kal-  
maması için hızla bozunmaları gereki-  
yor. Bu da, kullanımdan birkaç saat ön-  
ce yapılmalarını gerekli kılıyor. Ancak,  
bunları üretmek için gereken küçük  
parçacık hızlandırıcıları sınırlı sayıda  
hastanede bulunuyor. Ayrıca, hastaların  
ve hastane personelinin üretilen radya-  
syondan korunabilmesi için bu hızlandı-  
rıcıların kalın beton duvarlarla çevrili  
mahzenlerde tutulması gerekiyor.

Lazerli simyanın taşıdığı potansiyel  
de burada ortaya çıkıyor. Ledingham,  
5 yıl içinde ortaya çıkmasını beklediği  
güçlü "masaüstü" lazerlerin, radyoizotop  
üretim işini çok daha ekonomik ko-  
şullarda parçacık hızlandırıcılardan  
devralacağına inançlı. İskoç simyacılar,  
Vulcan gibi dev bir lazer kullanmış ol-  
salar da ilk sınavı başarıyla geçmişler.  
Ledingham ve ekibi oksijeni flor-18'e  
dönüştürmüş ve radyoizotop Manches-  
ter'deki Patterson Kanser Araştırmaları  
Enstitüsü'nde hastaların tedavisinde  
kullanılan şekerli bileşimlere aşılana-  
mış. Ledingham, şimdilik Vulcan'ın tek  
bir ateşlemesiyle, bir doz için gerekli  
florin-18 miktarının onda birinin elde  
edildiğini söylüyor

Raşit Gürdilek

Kaynaklar  
Science, 17 Ekim 2003  
New Scientist, 23 Ağustos 2003  
New Scientist, 16 Ocak 1999  
<http://www.ocrwm.doe.gov/factsheets/doemp0338.shtml>  
<http://inisjp.tokai.jaeri.go.jp/ACT95E/11/1103.htm>



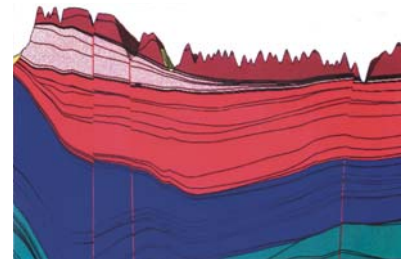
Atıkların, üzerinde insan yaşamayan uzak  
adalara gömülmesi de sorunlu: Bir kere  
atıkların okyanuslarda, özellikle kötü  
havalarda taşınması riskli. Ayrıca, bu adalarda  
birçoğunda yoğun deprem ve yanardağ  
faaliyeti görülüyor. Bir sorun da adalarda  
sıkça görülen jeolojik yapıda deniz suyunun ve  
tatlı suyun yüzey altındaki kaya katmanlarına  
sızması. Suyun varlığı atık varillerinin  
paslanmasına ve sonunda radyoaktif  
parçacıkların ortama sızmasına yolaçabilir. Bir  
başka sorun da, ada yakınındaki ülkelerin  
buna karşı çıkması.



Atıkların, uzaya bırakılmasının avantajı bunları  
insanlı ortamdaki kalıcı biçimde uzaklaşması.  
Ancak, dezavantajlar daha büyük. Fırlatılış  
sırasında, radyoaktif maddeleri çevreye saçacak  
bir kaza olasılığı bu seçeneği kabul edilemez  
yapıyor. Ayrıca, çok sayıda fırlatmanın  
gereksinmesi ve bu konuda uluslararası bir  
anlaşma sağlamanın güçlüğü, yöntemi pratik  
olmaktan çıkarıyor.



Yeniden işleme ve dönüştürme giderek  
benimsenen yöntemler. Yeniden işlemede,  
plütonyum ve parçalanabilir uranyum  
kullanılmış yakıt çubuklarından  
ayıklanıyor. Bu süreç, atık nükleer yakıtın  
hacmini azaltıyor. Dönüştürme  
yönteminde radyoaktif elementler daha  
kısa ömürlü maddelere dönüştürülüyor.  
Bu yöntemlerin ikisi de atıkların sonunda  
güvenli bir yeraltı deposuna nakledilme  
gereksinimini ortadan kaldırmıyor.  
Yeniden işlemeden arta kalan artık ürün,  
uzun ömürlü ve camlaştırılarak saklanmak  
zorunda. Yöntemin avantajı, atık miktarını  
düşürmesi. Dönüştürme, gömülme  
süresini büyük ölçüde azaltacak.



ABD, elindeki nükleer atıkları, en  
erken 2010 yılında hizmete girecek  
olan bir yeraltı deposuna nakletmeyi  
planlıyor. Tartışmaları bitmeyen  
proje, Nevada'daki Yucca dağı altında  
bir depo inşasını içeriyor. Yer  
seçiminde etken, iklimin kuraklığı ve  
topraktaki su tablasının derinliği.  
Depo, yüzeyden 300 m derinde ve su  
tablasının 300 m yukarısında inşa  
ediliyor. Suyu doymamış kaya  
katmanları gibi doğal engellerin  
yanısıra, beton tüneller gibi yapay  
engellerin de atıkların suya ve  
atmosfere sızmasını önleyeceği  
umuluyor.