

Son yıllarda hızlanan ve radikal bir iklim değişikliği tehdidini yakınlaştıran küresel ısınmanın, fosil yakıt kullanımından kaynaklandığını gösteren kanıtların çoğalmasa, ülkemizin gündeminden çıkmış görünen nükleer enerjinin yararları ve zararları konusundaki tartışmaları yeniden dünya gündemine taşıyor. ABD'nin endişelerininse nükleer enerjinin çevre ve iklim konusundaki olumlu ya da olumsuz etkilerinden çok, Kuzey Kore'nin ardından İran ve başka bazı ülkelerin de barışçı nükleer enerji programları maskesi altında atom silahları geliştirdikleri kuşkusu ve bu silahların bir gün teröristlerin eline geçmesi olasılığı üzerinde odaklandığı anlaşılıyor. Biz de bu sayıdan başlayarak, bu tartışmaları ve geliştirilen yeni tasarımları sizlere aktaracağız. Tabii, bu alandaki siyasal tartışmaların ve karşılıklı suçlamaların olabildiğince dışında kalmaya özen göstererek. Konuya, ülkemizde hâlâ şiddetli tartışmalara konu olan toryum santralleri ile ilgili olarak *American Scientist* dergisinin Eylül-Ekim sayısında yer alan bir makalenin kısaltılmış çevirisi ve toryum santrallerinin işleyiş biçiminin anlatımıyla girmenin uygun olacağını düşündük...

TORYUMA DÖNÜŞ MÜ?

TORYUM elementinin güç reaktörlerinde kullanılması, nükleer enerjinin kullanıma girdiği 1950'li yıllardan beri üzerinde düşünülen bir konu. Nedeni basit: Toryumun dünya kabuğu içindeki bolluğu, uranyumun üç katı. Ne yazık ki, toryum atomları kendiliklerinden bölünmeye yatkın değil. Oysa bu, nükleer güç reaktörleri için temel gereksinim. Ancak toryum 232'nin (bu elementin başlıca izotopu) belli bir miktarı bir nükleer reaktör kalbine konduğunda, hemen nötron soğurmaya başlar ve uranyum-233'e dönüşür. Bu izotop da, nükleer güç için en yaygın olarak kullanılan uranyum-235 gibi parçalanma zincir tepkimelelerini destekler.

Dolayısıyla toryum, parçalanabilir (fisil) olmaktan çok "doğurgan" bir madde olarak tanınır. Bu yönüyle de, reaktörlerde genellikle kullanılan yakıtın %95'ten fazlasını oluşturan uranyum-238'e benzer. Sıradan bir reaktör, u-238'den plütonyum elementinin çeşitli izotoplarını üretir ve bu plütonyumun bir kısmı da reaktör içinde parçalanmaya uğrayarak uranyum-235'in ürettiği güce katkı yapar.

Toryumu bir yakıt olarak kullanmanın sorunlu yanı, kendisinden enerji elde edilmeye başlamadan önce üreme sürecinin (uranyum-233'e dönüşme) gerçekleşmesi gereği ki, bu da ortamda nötronların varlığını gerektiriyor. Bazı mühendisler, gerekli nötronların parçacık hızlandırıcılarından sağlanmasını öneriyorlar.

Ama bu yöntem oldukça pahalı. Dolayısıyla günümüzde toryumdan yararlanmanın en pratik yolu, bunu plütonyumdan, zenginleştirilmiş uranyumdan ya da ikisinin karışımından oluşan ve parçalanmaları zincirleme tepkimeleri başlatacak olan sıradan reaktör yakıtlarıyla birleştirmek.

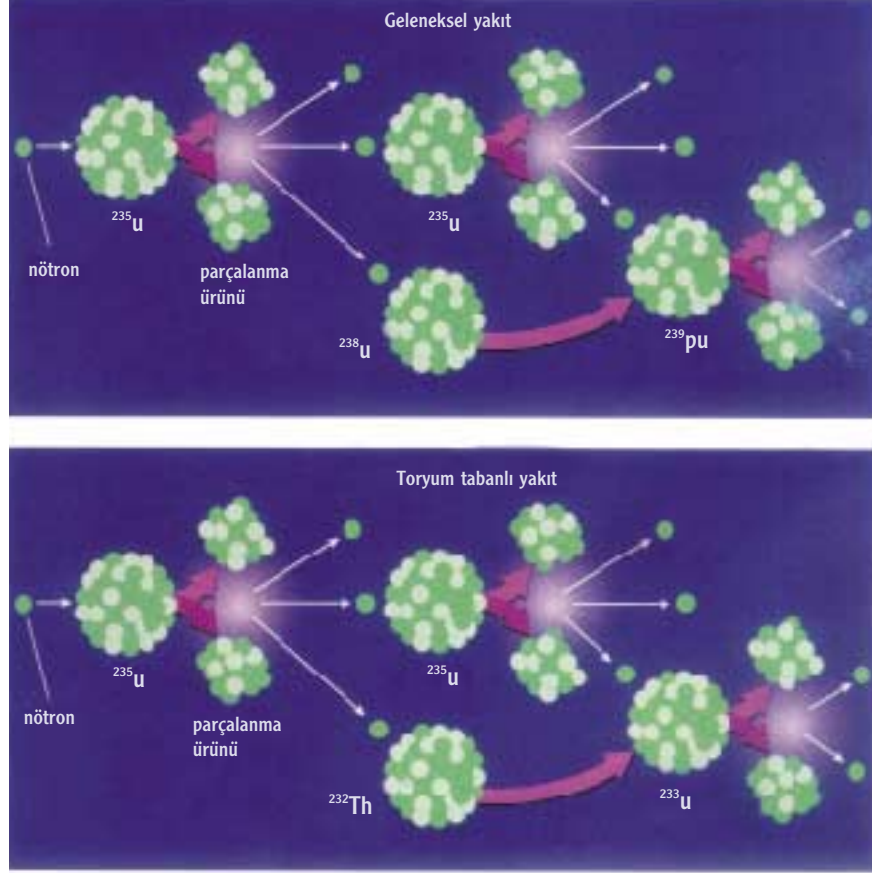
Uranyum-238'den plütonyum üretmek yerine, toryumdan uranyum-233 üretmek daha çok verim sağlıyor. Nedeni, süreç içinde ortaya çıkan çeşitli parçalanamaz izotopların sayısının daha az olması. Reaktör tasarımcıları, bu görece yüksek verimden yararlanarak üretilen birim enerji başına kullanılacak yakıtı azaltabilir, bu da saklanması gereken atık miktarını azaltabilir. Bunlar dışında toryum

kullanımının başka artıları da var: Örneğin, toryumun nükleer güç için kullanılan biçimi olan toryum dioksit, günümüzde reaktör yakıtlarında genellikle kullanılan uranyum dioksit göre daha kararlı bir bileşim. Böyle olunca da yakıt kapsüllerinin içine kondukları metal zarflarla, ya da zarfların yarılmaları halinde soğutma suyuyla termal tepkimeye girme olasılığı azalıyor. Ayrıca, toryum dioksitin termal iletkenliği, uranyum dioksitinkinden %10-15 daha fazla. Bu da ısının, reaktör kalbinde kullanılan ince yakıt çubuklarından daha kolay yayılmasını sağlıyor. Dahası, toryum dioksitin erime noktası, uranyum dioksitinkinden 500 °C daha yüksek.. Bu fark, geçici bir aşırı güç yüklenmesi ya da soğutucunun kaybı gibi durumlarda ek bir güvenlik marjı oluşturuyor.

Bu avantajların bilinmesi, nükleer mühendisleri bıkmış usanmadan güç için toryum kullanımına yönelik deneyler yapmaya yönlendirdi. Hatta bazı gruplar, toryum temelli yakıtlarla çalışan ticari santralleri işletme konusunda deneyim bile kazandılar. Örneğin, ABD'nin Pennsylvania eyaletinde Peach Bottom Nükleer Santral'i'nin birinci ünitesi olan gaz soğutmalı, grafit yavaşlatmalı bir reaktör, 1960'lı yıllarda yüksek ölçüde zenginleştirilmiş uranyumla, toryum bileşimi bir yakıt kullandı.

Colorado eyaletindeki Fort St. Vrain kasabasında başka bir gaz soğutmalı reaktör de 1976 ve 1989 yılları arasında benzer bir toryum temelli yakıtla çalıştırıldı. Toryum oksitle, yüksek düzeyde zenginleştirilmiş uranyumun görece basit karışımları ve su soğutmalı reaktörlerle deneyler de 1960'lı yıllarda yine ABD'deki "BORAX" ve Elk River nükleer tesisleriyle, Indian Point güç santralinde gerçekleştirildi. 1977-1982 yılları arasındaysa, toryumla, uranyum-235 ya da uranyum-233'ün daha karmaşık bileşimleri, tükettiğinden daha fazla parçalanabilir madde üreten bir yakıt geliştirme amacına yönelik bir deney çerçevesinde Shippingport'ta (Pennsylvania) su soğutmalı bir reaktörde kullanıldı.

Toryum tabanlı nükleer yakıt kullanımı yalnızca ABD ile sınırlı değil. Örneğin Alman mühendisler toryumla, yüksek düzeyde zenginleştirilmiş uranyum ya da toryum ile plütonyum karışımlarını hem gaz, hem de su soğutmalı güç santrallerinde kullandılar. Toryum tabanlı yakıtlar ayrıca İngiltere, Fransa, Japonya, Rusya, Kanada ve Brezilya'da da denendi. Ancak başlangıçtaki bu yoğun çabalara karşın, bu ülkelerin neredeyse hepsi nükleer enerji santrallerini çalıştırmak için toryum kullanma düşüncesini uzun süre önce terk ettiler. Bu yakıtı karşı ilgisini sürdüren tek ülkelerse, güç reaktörlerinden bazılarını 1990'ların ortalarında toryum içeren yakıt demetleriyle besleyen Hindistan. Toryum kullanmanın temel nedenlerinden birisinin, reaktör kalbindeki güç dağılımını eşitlemek olmasına karşın, Hintli mühendisler fırsattan yararlanıp toryumun bizzat bir yakıt kaynağı olarak nasıl çalışacağını da denediler. Elde ettikleri olum-



Geleneksel nükleer yakıt hem parçalanabilir (^{235}U) ve hem de parçalanamaz (^{238}U) izotopları içerir. ^{235}U çekirdeğinin bir nötron çarpması sonunda parçalanması 2 ya da 3 nötronun serbest kalmasına yol açar. Bunlar da bir başka ^{235}U çekirdeğini parçalar ya da ^{238}U atomlarının plütonyum-239'a dönüşmesine yol açarlar. Bu element de parçalanabilir olduğundan reaktörün güç üretme sürecine katkıda bulunur. Toryum tabanlı nükleer yakıtlarsa (altta) büyük ölçüde aynı biçimde işlev yapar. Aradaki fark, ^{238}U 'dan plütonyum üretilemesi yerine bir başka parçalanabilir uranyum izotopu (^{233}U) üretimi.

lu sonuçlar, günümüzde yapımı sürmekte olan daha ileri tasarımdaki reaktörlerde toryum tabanlı yakıt kullanma planlarına temel oluşturdu.

Toryum tabanlı yakıtların Hindistan'a çekici gelmesinin nedenlerinden biri, bu elementin ülkedeki bolluğu. Hindistan, 290,000 ton olarak hesaplanan toryum rezervleriyle, Avustralya'nın ardından ikinci sırada bulunuyor. Ancak Hindistan'ın bu yakıttan yararlanma konusundaki kararlılığının altında yatan temel nedenin, ülkeyi yabancı uranyum kaynaklarına bağımlı olmaktan kurtararak dış ticaret dengesini düzeltme isteği olmadığını öne sürenler de var. Hindistan, reaktörlerinden bazılarını atom bombaları yapmak üzere plütonyum üretmek için kullanıyor. Dolayısıyla Kanada gibi ticari uranyum satan ülkelerin şart koştuıkları yükümlülüklerle başlanmak istemiyor. Bu ülkeler uranyum satışını, alıcı ülkenin bunu ya da bundan üretilen plütonyumun nükleer silah yapımında kullanmadığını belirleyecek denetlemelere izin vermesi koşuluna bağlıyorlar.

Hindistan'ın dışındaki ülkelerdeyse daha önceki toryum deneylerinin bu elementin yakıt olarak benimsenmesini sağlamamasının başlıca nedeni, su soğutmalı reaktörlerdeki performansının beklentilerin altında kalması.

Neden bu olunca da, toryum tabanlı nükleer yakıtların yeniden ilgi çekmeye başlaması, üstelik nükleer silahların yayılmasını önleyecek bir araç olarak değerlendirilmesi hayli şaşırtıcı. Ancak toryumun, plütonyumun birikmesini önlemek için kullanımı, yakıtın geçmiş yıllardaki deneylerde kullanılandan daha farklı biçimde oluşturulmasını gerekli kılıyor. Geçmiş deneylerde yakıt bileşenlerden biri olarak zenginleştirilmiş uranyum kullanılmaktaydı ki, bugün nükleer silahların yayılmasına yol açacağı endişesiyle bu yöntem teşvik edilmiyor. Yine geçmiş deneyler, içindeki parçalanabilir malzemenin alınabilmesi için kullanılmış yakıtın yeniden işleneceği varsayımına dayalıydı. Günümüzde tasarlanmakta olan toryum tabanlı yakıt düzenekleri, başka yönlerden de eskilerden farklı. Örneğin, bir reaktörün kalbi içindeki sıcaklık ve ısınma daha dayanıklı olarak tasarlanıyorlar. Böylelikle, doğurgan toryum-232, daha büyük miktarlarda uranyum-233'e dönüşecek. Özetle bugün toryum tabanlı yakıt konusunda konuşulanların, eski uygulama ve deneyimlerle alakası yok.

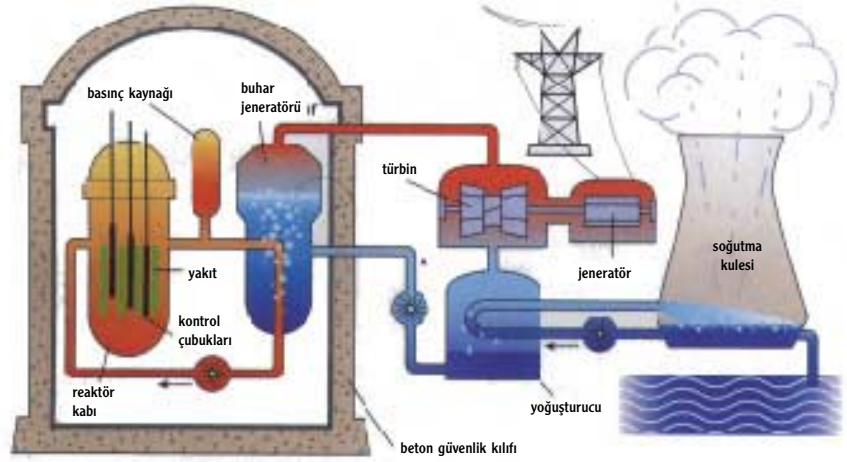
Daha önce de belirtildiği gibi, uranyum-233'ün doğada bulunmayışı, toryumla çalışan bir reaktörü harekete geçirmek için uranyum-235 (ya da plütonyum-239) gibi başka bir

parçalanabilir malzemenin varlığını gerektiriyor. Ancak, uranyum-235 bakımından fazlaca zenginleştirilmiş ticari yakıtların doğurduğu kuşku ve bu yakıtlara getirilen sınırlamalar da göz önünde tutulduğunda, tetikleyicinin arısına önemli miktarda parçalanamaz uranyum-238 eklenmesi gereği açık. Günümüzde bu miktarın alt sınırı %80, ama genellikle bu miktarın hayli üzerine çıkılıyor. Sıradan reaktörler için olduğu gibi, bu durum satın alınan reaktör yakıtını, teknik açıdan güç olan zenginleştirme aşamasını atlayıp doğrudan bomba yapımı için kullanmayı olanaksız kılıyor.

Bir toryum ve uranyum karışımını yakıt olarak kullanmanın temel avantajı, kullanılmış yakıttaki plütonyum oranının, alışılmış yakıt karışımıyla çalışan bir reaktörden çıkan artıktakine göre hayli düşük olması. Atık yakıttaki plütonyum oranı ne kadar düşüyor? Yanıt, uranyum ile toryumun nasıl karıştırıldığına bağlı. Örneğin, uranyum ve toryum her yakıt çubuğu içinde eşit miktarlarda karıştırılmış olabilir. Bu durumda, oluşacak plütonyumun miktarı aşağı yukarı yarıya iner. Ancak eşit miktarlarda karıştırmak, bu iki elementi bir araya getirmenin tek yolu değil.

Gerçekten de, bugün en çok incelenmekte olan yaklaşım, uranyumca zengin bir "tohum", toryumca zengin ne "battaniye" den ayırmak üzerine kurulu.

Bu yaklaşımın en hararetle savunucusu, 1950'lerde donanmanın nükleer reaktörler programının baş araştırmacısı olarak ABD'nin nükleer denizaltı filosunun kurulmasına yardımcı olan ve artık hayatta bulunmayan Alvin Radkowsky idi. Radkowsky 1960 ve 1970 yıllarında ticari nükleer endüstrinin gelişmesine de önemli katkılar yaptı. Daha sonra, nükleer silahların yanlış ellere düşmesini engelleyecek bir yol bulunmasına yardımcı olmasını isteyen eski hocası Edward Teller'in telkiniyle, zaten daha önce nükleer artıkların azaltılmasındaki potansiyelini keşfetmiş olduğu toryum tabanlı yakıtlar üzerinde yoğunlaştı. 1992 yılında Thorium Power Inc. adlı şir-



Toryum tabanlı yakıtlar, suyun hem kalpten ısı transferi için ve parçalanma tepkimesinde ortaya çıkan nötronları yavaşlatmak için kullandığı basınçlı su reaktörleri (üste), hem de ısı transferi için helyum gibi gazlar ve nötronları yavaşlatmak için de grafit kullanılan yüksek sıcaklık gaz reaktörleri (sağda) için uygun.

ketin kurucuları arasında yer alan Radkowsky, rüyasının gerçekleşmesini göremeden 2002 yılında 86 yaşında öldü.

Radkowsky'nin düşüncesi, çok küçük değişikliklerle sıradan su soğutmalı reaktörlerde kullanılacak özel yakıt üniteleri oluşturmaktı. Bu ünitelerin merkezinde, reaktör düzeyinde uranyum (yani, parçalanabilir uranyum-235 izotoplarının miktarı %20'yi geçmeyen) ile doldurulmuş bir "tohum" bulunuyor. Bu tohumun çevresindeyse, büyük ölçüde toryum ve bir miktarda uranyum doldurulmuş yakıt çubuklarından oluşan bir "battaniye bölgesi" yer alıyor. Battaniyede yalnızca uranyum-238 bulunması, birinin bu çubukları yerlerinden çıkarıp içinde zamanla oluşmuş parçalanabilir uranyum 233'ü kimyasal yöntemlerle ayırılmasına olanak tanımıyor.

ABD Enerji Bakanlığı'nın desteği ve Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'nın teknik yardımlarıyla Thorium Power şirketi, şimdi Moskova'daki Kurchatov Enstitüsü'yle işbirliği halinde bu stratejiyi daha ayrıntılı biçimde irdeliyor. Geliştirilen konsept, metalik bir bileşimin tohum yakıtı olarak kullanılması ve tohum üni-

telerinin, bir Rus reaktöründe üç yıl tutulması temelinde tutuluyor. Battaniye çubuklarıysa reaktörde 10 yıl süreyle kalacak. Ancak, elde edilen sonuçlar, öteki ülkelerin çoğundaki nükleer reaktörlere doğrudan uygulanabilecek gibi değil. Nedeni, hem yakıt malzemesinin Batı'da tercih edildiği gibi oksit formunda olmaması, hem de deneyde kullanılan Rus reaktörlerinde her yakıt ünitesi için altıgen biçiminde dizilmiş yakıt çubukları kullanılması. Batıdaki reaktörlerdeyse genellikle kare biçiminde dizilmiş çubuklar kullanılıyor..

Radkowsky ve meslektaşları, yöntemin aynı enerji çıktısını sağlayan sıradan bir reaktöre göre %80 oranında daha az plütonyum üreteceğini hesaplamışlardı. Ayrıca, "tohum" yakıtında zamanla oluşan plütonyum izotopu karışımının da askeri bakımdan fazla tercih edilemeyeceğini, çünkü bunlarla yapılacak bir bombanın fazlaca bir patlama gücü yaratmayacağını da keşfetmişlerdi. Dahası, çubuklarda oluşan plütonyum içinde öyle yoğun miktarda ²³⁸Pu bulunur ki, bunun bozunmasıyla ortaya çıkacak sıcaklık bir silah yapımında kullanılacak diğer malzemeleri eritir ya da hasara uğratar.

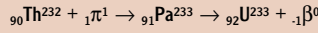
Enerji Yükseltici



Bu yazı Prof. Dr. Vural Altın'ın Bilim ve Teknik Dergisi'nin Mayıs 2003 tarihli sayısında yayımlanan makalesinden kısaltılarak alınmıştır.

Toryum-232 tabanlı yakıt kullanımıyla elde edilen parçalanabilir uranyum-233'ün güç üretimi için taşıdığı avantajların çekiciliği karşısında, Carlo Rubbia adında bir fizikçi, toryum temelli ve kendi

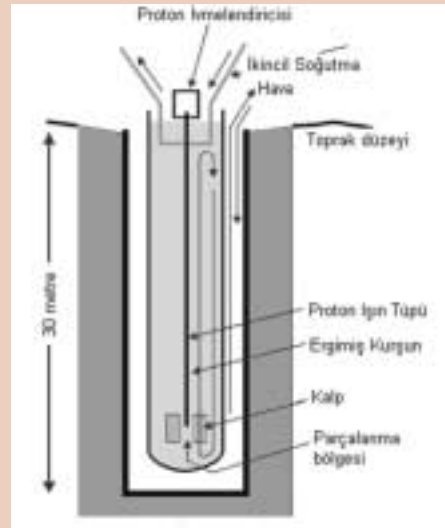
adıyla anılan bir enerji santrali tasarımı geliştirmiş. Bu tasarımda Th-232, nötron yerine yüksek enerjili proton bombardımanıyla U-233'e dönüştürülüyor:

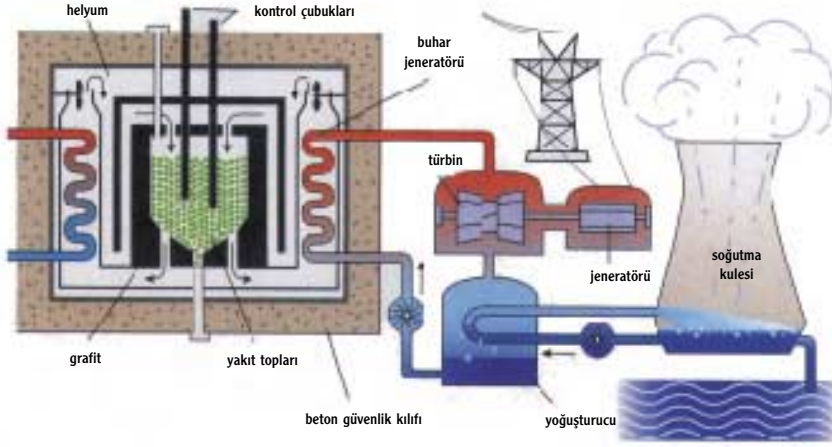


Tabii bir de, ortaya çıkan U-233'ü fisyona uğratabilecek nötronlar lazım. Rubbia'nın tasarımı bunu, hiç de değilse başlangıçta, kurşun gibi ağır çekirdeklerin, yine protonlarla bombardımanı sonucu parçalanarak nötron üretmesi temeline dayanarak başarmayı hedefliyor. Buna 'primerleme' deniyor ve proton ışını kesildiğinde, ortada dolaşan nötronlardan bazıları Th-232 çekirdekleri tarafından yutulularak bunları U-233'e dönüştürürken, diğer bazıları mevcut U-233'lere çarparak bunların fisyonuna yol açıyor. Ancak U-233 fisyonundan;



yalnızca iki nötron çıkıyor olmasının önemli bir sonucu var: Proton ışını kesildikten sonra, bir zincirleme reaksiyon devam edemiyor. Çünkü bunun





Bir terörist grubun battaniye plütonyumundan çok güçlü olmasa da, çok ürkütücü bir bomba yapmaya kalkışması halinde, bunu Radkowsky'nin herhangi bir toryum yakıtından elde etmesi, günümüz reaktörlerinden çıkan artıktan sağlamaktan daha zor. Kullanılmış battaniye yakıtı, uranyum-232 içerir ve bu da birkaç ay içinde yüksek enerjili gama ışınları yayan izotoplara dönüşür. Dolayısıyla plütonyumu atık yakıttan çekip almak, önemli ölçüde güçlendirilmiş radyasyon kalkanları ve yeniden işleme tesisinde iş görecek çok sayıda uzaktan kumandalı ekipman gerektirir ki, bu da zaten güç olan bir işi iyice içinden çıkılmaz hale getirir. Ayrıca, atık yakıtta uranyum-232 ve yüksek düzeyde radyoaktif ürünlerin yoğunluğu, (bomba yapımında kullanılabilir) uranyum-233'ü, uranyum-238'den ayırma girişimlerini engeller.

Nükleer atık miktarını düşürmek ve bomba yapımında kullanılabilir malzemenin yayılmasını önlemek konusundaki potansiyel göz önünde tutulduğunda, toryum tabanlı yakıtlara olan ilginin yeniden canlanması o kadar şaşırtıcı değil. Özellikle ABD Enerji Bakanlığı bu alandaki araştırmaları teşvik etmeye istekli. Radkowsky'nin şirketi ve ortaklarının Rus reaktörleriyle gerçekleştirdikleri deneylerin finansmanını üstlenmekle kalmayan Enerji Bakanlığı,

son zamanlarda başlatılan üç ayrı girişime de destek sağlıyor. Bunların biri, iki ABD resmi araştırma kurumunu, Idaho Ulusal Mühendislik ve Çevre Laboratuvarı ile, Argonne Ulusal Laboratuvarı'nı nükleer yakıt üreten iki büyük şirketi, Framatome Technologies (Fransa) ve Westinghouse'u (ABD) ve üç üniversiteyi, Florida Üniversitesi, Purdue Üniversitesi ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nü (MIT) bir araya getiren bir konsorsiyum. Hedef, reaktörlerde toryumun Radkowsky'nin önerdiği gibi tohum ve battaniye üniteleri için ayrı yakıt dizgeleri kullanmaya gerek kalmadan kullanılmasını sağlayacak bir yöntem geliştirmek.

Brookhaven Ulusal Laboratuvarı ve MIT'deki İleri Nükleer Enerji Sistemleri Merkezi (CANES) araştırmacılarını bir araya getiren bir başka çalışma da, ayrı tohum ve battaniye ünitelerinin tasarımını basitleştirmenin bir yolunu bulmaya yönelik. "Bölünmemiş Dizimli Tohum ve Battaniye Kalbi" adlı bu düzenekte farklı bileşimdeki yakıt dizgelerinin bir reaktör kalbi içine bir dama tahtası örüntüsünde yerleştirilmesini öngörüyor.

Üçüncü araştırma ekibindeyse Brookhaven Ulusal Laboratuvarı ile Purdue Üniversitesi'nden nükleer mühendisler, plütonyum tetiklemeli toryumun kaynar su reaktörlerinde yakıt

olarak kullanılmasını araştırdılar. Bu tür nükleer reaktörler, daha yaygın olarak kullanılan basınçlı su reaktörlerinden farklı. Basınçlı su reaktörlerinde soğutma suyu sürekli olarak yüksek basınç altında tutularak sıvı durumda kalması sağlanıyor. Bu sonucu araştırmanın hedefiye, silah üretiminden arta kalan plütonyumu, yeni kuşak bir plütonyum atığı sorunu yaratmadan ekonomik bir biçimde kullanmak.

MIT ve CANES araştırmacıları, toryum uranyum bileşimi yakıt kullanımı için öne sürülen tasarımlar üzerinde geçtiğimiz yıllarda yaptıkları incelemelerin sonuçlarını şöyle açıklıyorlar.

Tasarımlar Sınavda

Farklı tiplerdeki yakıt ünitelerinin kendi içlerinde homojen bir yapıya sahip oldukları Bölünmemiş Dizimli Tohum ve Battaniye Kalbi tasarımında bile yakıtın oluşturulması ve reaktör kalbi içinde kontrol edilmesinin, alışılmış yöntemlere kıyasla daha karmaşık olacağı açık. Tipik bir nükleer güç reaktöründe yakıt ünitelerinin yerleri belirli zaman aralıklarıyla değiştirilir ve böylece hepsinin ortalama olarak aynı ısı ve radyasyon koşullarına maruz kalmaları sağlanır.

Bir tohum ve battaniye kalbindeyse, tohumların ortalamanın oldukça üzerinde güç düzeylerinde kalması beklenirken, battaniye birimleri çok daha az stresli koşullar altında bulunurlar. Böylece, tohum çubukları içindeki yakıt daha yüksek sıcaklıklara tırmanır, gaz halindeki parçalanma ürünlerini, çubuk içinde kendilerine ayrılmış sınırlı alana daha büyük miktarlarda salar ve dolayısıyla da battaniye bölgelerinde kullanılan yakıtta göre daha fazla soğutma gerektirir.

Bu gereksinimler, çeşitli yollarla karşılanabilir. Örneğin, tohum düzenekleri içinde daha fazla soğutucu akmasını sağlayarak ya da yakıt malzemesini ısı akışına daha az dirençli biçimde üreterek.

Radkowsky-Kurchatov yaklaşımında, tohum çubukları Rus denizaltılarında denenmiş tase-

mükün olabilmesi için, iki nötronun birinin bir Th-232 çekirdeğini U-233'e çevirirken, diğerinin de mevcut bir U-233 çekirdeğini fisyonu uğratması; yani her iki nötronun da %100 verimle kullanılabilmesi lazım. Oysa bu olanaksız. Çünkü, nötronlardan bazılarının sistemin dışına kaçması, bazılarının da fisil olmayan çekirdekler tarafından yutulması kaçınılmaz. Dolayısıyla, proton ışını kesildiğinde, fisyonlar duruyor. Ancak bu arada meydana gelmiş olan çekirdek parçalanmaları sonucu, protonların ivmendirilmesi için harcanan enerjinin 60 katı kadar enerji elde edilmiş oluyor. Bu yüzden de Rubbia'nın tasarımına 'enerji yükseltici' deniyor. Hem de, tasarımda yakıt hammaddesi olarak sadece toryum kullanıldığından ve doğal toryum %100 Th-232 izoto-

pundan oluştuğundan, uranyumda olduğu gibi bir zenginleştirme işlemine gerek kalmıyor.

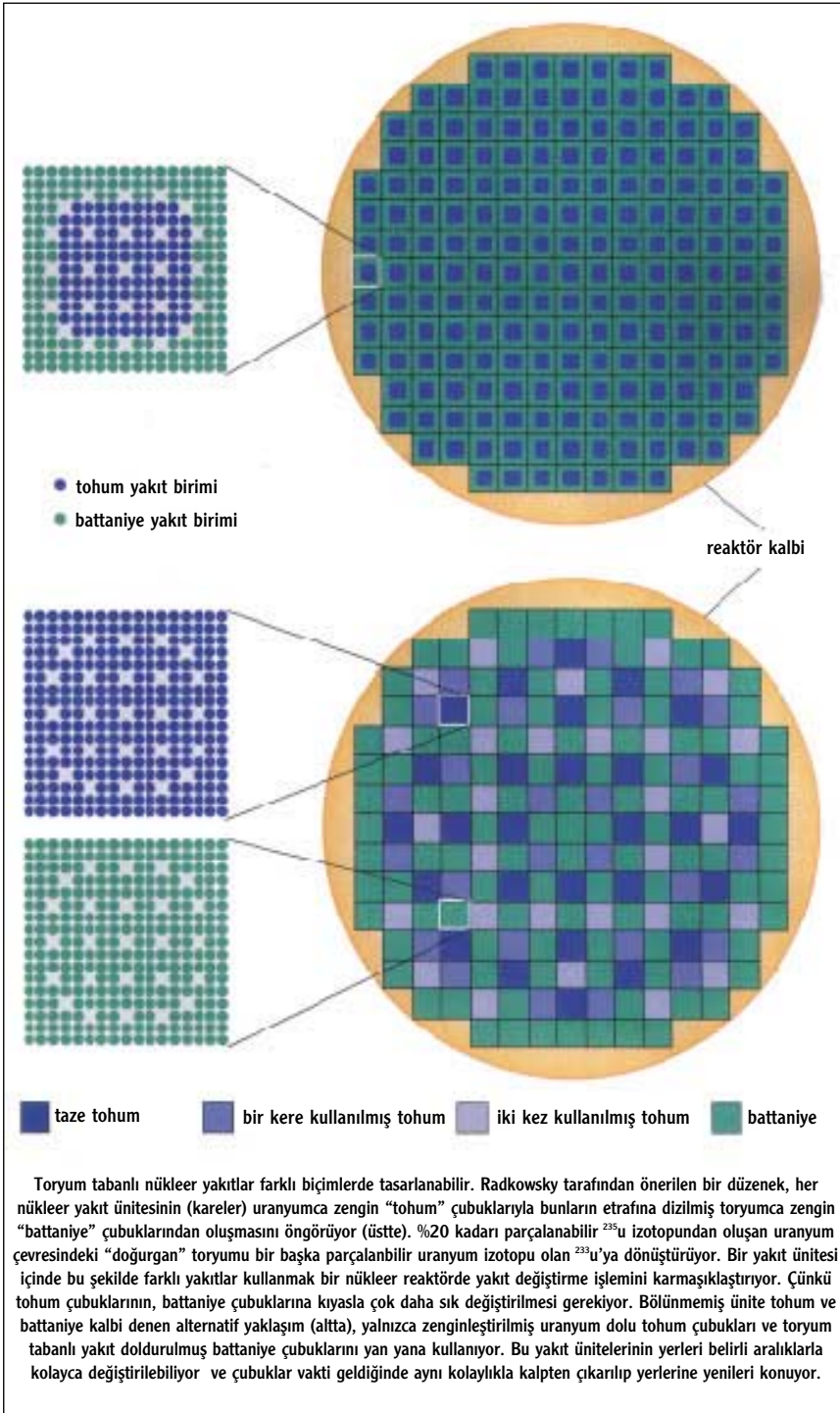
'Toryum Temelli Enerji Yükseltici'nin kalbi, şekilde görüldüğü gibi; toprak düzeyinin altına yerleştirilmiş, 30 m yüksekliğinde ve 6 m yarıçapında, çelik bir silindirik kap biçiminde tasarlanıyor. İçi yaklaşık 10,000 ton kurşunla dolu olan kabın alt kısmında, yakıt hammaddesini oluşturan toryum bulunuyor. Yukarıdan aşağıya, bu toryum malzemesine doğru, bir proton ivmendiricisi uzanıyor. Protonlar 'parçalanma bölgesi'ne vardıklarında, bir yandan Th-232'yi U-233'e çeviriyor, bir yandan da kurşun çekirdeklerini parçalayarak, U-233'ün fisyonu için gerekli nötronları üretiyor. Çoğunlukla fisyon ürünlerinin kinetik enerjisi olarak açığa çıkan ener-

ji, kurşunu ısıtıp eritiyor. Isınan kurşun, çelik kap içerisinde, doğal konveksiyonla yükseliyor. Dolayısıyla, bir yandan da soğutucu görevi görüyor. Kabin kendisiyse dışından, havanın zorlamalı konveksiyonuyla soğutuluyor.

Tasarım çekici görünmekle birlikte; örneğin çelik kabin, 1200 santigrad dereceye kadar ısınan kurşunun içinde erimesi gibi; ciddi bazı mühendislik problemlerinin aşılmasını gerektiriyor. Şimdilik, bilgisayar benzetişimleri ve küçük ölçekli bazı testleri yapılmış. CERN'den başka, ABD, Japonya ve Rusya'da da laboratuvar ölçeğinde çalışmalar planlanıyor. Ama sistem, çalışan bir prototip olarak henüz ortada yok. Ekonomikliği de meçhul...

Prof. Dr. Vural Altın

ÖZÜR: Geçen sayımızdaki, güneş otomobilleri hakkındaki kapak yazımızın, 46. sayfa orta sütununda, ivme hesabı yapılırken, 30,000m/saat'lik hız, m/sn'ye çevrilmeksizin, 5sn'lik ivmelenme süresine bölünmüş, bu hata sonucunda, 6,000m/sn² gibi çok yüksek, başarılması ve dayanılması imkansız bir ivme bulunmuştur. Doğrusu: 30,000(m/saat)/3,600(sn/saat)/5sn=1.67m/sn² olacaktı. Aceleden kaynaklanan, çok üzülüğüm bu hata için okuyucularımızdan özür dilerim.



rımlara uygun olarak metalik bir uranyum bileşiminden yapılıyor ve bu da termal iletkenliklerini artırıyor.

MIT-Brookhaven tasarımında, tohum çubuklarının içindeki uranyum oksit kapsüllerinin ortaları boş. Bu da sıcaklıklarının düşmesine yardımcı oluyor. Battaniye çubukları bu bakımdan daha az sorunlu olsa da, bunların da dış kılıflarının reaktör kalbindeki koşullara dayanabilmesi için titiz bir mühendislik ürünü olmaları gerekiyor. Çünkü bazı tasarımlarda bu çubukların kullanım ömürlerinin 13-14 yıl olması öngörülüyor.

Farklı tasarımları mühendislik ölçütlerine göre incelemenin dışında CANES araştırmacı-

ları, tohum-ve battaniye tasarımlarını, bomba yapımında kullanılabilecek malzemelerin yayılmasını ne derece önleyebilecekleri ölçütüne göre de değerlendirdiler. Çalışmada üzerinde durulan bir kıstas da, bunların ekonomik artı ve eksileri.

Sonuçlar, tohum-ve-battaniye tasarımlarının, uranyum ve toryumun rakip konseptlere kıyasla daha az plütonyum ürettiklerini ortaya koyuyor. Yine de sonuçlar, Radkowsky'nin daha önceki çalışmalarının beklentileri kadar iyimsiz değil. Radkowsky'nin tohum-ve-çekirdek düzeneklerinin plütonyum üretimini ne kadar düşüreceği konusundaki tahmini, %80. CANES sonuçlarıdaysa bu oran, bölünmemiş

tasarımdaki tohum-çekirdek düzeneği için %60, her yakıt ünitesinde tohum ve battaniye çubuklarının bir arada yerleştirildiği tasarımlar içinse, %70 olarak çıkıyor.

İnceleme ekibinin plütonyum üretimi konusundaki hesapları, Radkowsky'nin atık yakıtın, yüksek düzeyde bir radyoaktif izotop olan ve bu nedenle büyük ölçüde ısı üreten plütonyum-238'i önemli miktarlarda içereceği konusundaki öngörüsünü doğruluyor. Gerçekten de atık yakıttaki Plütonyum-238 miktarı, yaygın kullanımlı uranyum yakıtlarına göre üç-dört kat fazla. Bu durumda, Radkowsky'nin de belirttiği gibi bu izotopun yaydığı ısı, bir nükleer silah yapıp depolamayı son derece güç, hatta olanaksız bir girişim olmaya mahkum ediyor.

Plütonyum-238'in böylesine büyük miktarlarda çıkmasının nedeni, uranyumla çalışan geleneksel tasarımdaki reaktörlere kıyasla toryum santrallerinin daha fazla yakıt "yakmaları" yani enerjiye dönüştürmeleri.

Yalnızca uranyumdan oluşan bir yakıtla da aynı miktar plütonyum-238 oluşturmak tabii ki mümkün. Ancak, bunun için başlangıçtaki yakıttaki parçalanabilir uranyum-235 oranının, günümüzde benimsenmiş oranlardan daha yüksek olması gerekiyor. Bunun maliyetiyse, böyle bir yakıtı ekonomik olmaktan çıkartıyor.

Sonuç olarak, teknik açıdan ele alındığında inceleme, çeşitli mühendislik sorunlarının üzerinden gelinebileceğini ve reaktörleri toryumla çalıştırmanın nükleer atıklardan silah geliştirmeyi amaçlayan gizli programları boşa çıkartacağını doğruluyor.

Ancak toryumun ekonomik getiri ve götürüsü konusundaki sonuçlar o kadar net değil: CANES ekibinin hesaplarına göre toryum-tabanlı yakıtlar, sıradan nükleer yakıtların maliyetinin yüzde 10 üzerinde ya da altında olabilir. Aralığın genişliği, tohum olarak kullanılan yakıtın uranyum-235 içeriğinin, sıradan santoral yakıtındakinden dört kat fazla olmasının, yakıt üniteleri üretimini ve az atık üretiminin gelecekte depolama maliyetlerinde sağlayacağı düşüşün hesaplanmasındaki güçlüklerden kaynaklanıyor.

Toryum yakıtının benimsenip benimsenmeyeceği, elbette yalnızca maliyet hesaplarıyla belirlenecek bir şey değil. Önemli olan, değerlendirme yapılırken toryuma geçiş engelleyecek aşılabilir teknik sorunların olmadığı bilmesi. Gerçi toryuma geçiş için, eldeki ticari nükleer santrallerde bir takım değişiklikler yapılması zorunlu; ama yepyeni yeni bir teknoloji de gerekmiyor. Ayrıca, gerekli malzemenin (toryum ve zenginleştirilmiş uranyum) reaktörlerde uzun süre deneysel olarak kullanılmış olması da, siyasetçilerin nükleer endüstriye o yönü göstermeleri halinde toryum santrallerinin kısa sürede yaygın kullanım kazanabileceği görünümün inanılır kılıyor.

Mujid S. Kazimi, "Thorium Fuel for Nuclear Energy", American Scientist, Eylül-Ekim 2003

Çeviri: Raşit Gürdilek