

NÜKLEER

FİSYON, keşfinden sonra altı yıl içerisinde, nükleer bombaya dönüştürüldü. Aynı yıl, iki sivil hedefe karşı kullanıldı. Fakat bundan sonra bir daha, aradan 60 yıldan fazla geçmiş olmasına karşın, deneme amacı dışında kullanılmadı. Geliştirilen stratejiler ve yol boyunca varılan anlaşmalar dizisi, bu silahları tarihin belki de ilk, 'kullanılmamak üzere yapılmış' silahları haline koymuştu. Halbuki şu sıralar, bilindiği üzere, nükleer silahların yayılmasıyla ilgili kaygıların tekrar yoğunlaştığı bir dönemden geçiyoruz.

NPT ('Nuclear Non-Proliferation Treaty', aslında NNPT, fakat yaygın kullanımda böyle), nükleer

silah yeteneğinin, bu gücü halen elde etmiş olan ülkelerin dışına taşmamasını öngörüyor. Buna karşılık imzacılarına, nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanımına yönelik, teknolojik işbirliği imkanları sunuyor. İmzacı ülkelerin, yakıt çevrimi ve zenginleştirme teknolojilerini geliştirip uygulama hakkı var. Ancak bu çabalarını, nükleer silah yapımına yöneltmemeleri gerekiyor. Anlaşma hükümlerinin BM adına izleyicisi, üye ülkelerin temsilcilerinin yönetimindeki Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı ((Bknz. IAEA.) Üye ülkelerin, nükleer teknoloji alanındaki kayda değer etkinliklerini, kuracakları tesislerin planlarıyla birlikte bu kuruma bildirmeleri ve etkinliklerin yönü hakkında doğabilecek soru işa-

DOSYA

retlerini, tatminkar açıklamalarla gidermeleri gerekiyor. IAEA, üyelerinin kuşkulu bulunduğu etkinliklerini, yerinde denetim yetkisine sahip. İran, NPT'nin imzacılarından birisi. Geleceğe yönelik, kapsamlı bir nükleer enerji programı var ve bu alanda, 1980'li yıllardan itibaren yoğunlaşan çabalarıyla, çok yönlü mesafeler katetmiş durumda. (Bknz. İran Dosyası.) Yürüttüğü çalışmaların bazı bileşenlerinin içeriği ve bazılarının zamanında bildirilmemiş olması, kuşkuyla karşılanıyor. (Bknz. İmzalar) Bu yüzden, IAEA'nın yakın incelemesi altında. Ajans son olarak, 4 Şubat 2006 tarihinde, denetimler konusunda yeterli işbirliğinde bulunmadığı gerekçeyle, hakkında BM Güvenlik Konseyi'ne bildirimde bulundu. İran'ın böyle bir yeteneği ele geçirmesi halinde, bölgedeki diğer bazı ülkelerin de benzeri çabalara yöneleceğine kesin gözüyle bakılıyor. Bunun, zaten istikrarsızlık ve husumetlerle dolu olan bölgenin geleceği açısından olumsuz bir gelişme olacağı düşünülüyor. Ancak, durumun bazı 'ironik' yönleri de yok değil. Gelişmeleri en yakından takip eden iki ülke, ABD ve İsrail. ABD, tarihte nükleer silahları sivil hedeflere karşı kullanmış olan yegane ülke. İsrail ise, hükümlerinin uygulanmasına çalıştığı NPT'ye üye değil. Küçük de olsa bir nükleer güce sahip olduğuna inanılıyor ve bu alandaki çalışmaları denetim dışı. Öte yandan, İsrail gibi NPT'yi imzalamamış olan Pakistan ve Hindistan, nükleer silah geliştirip denemiş olmalarına karşın, halen IAEA'nın yönetim kurulu üyesi. İran'ı denetler durumdadır ve Pakistan çekimser kalırken, Hindistan, Güvenlik Konseyi'ne bildirim yönünde oy kullanan ülkelerden birisi. ABD bu

görüntüden rahatsız. Başkan G.W. Bush başka bir bağlamda, 11 Şubat 2004'te Ulusal Savunma Üniversitesi'nde yaptığı bir konuşmada, Pakistan'ın nükleer alandaki etkinlikleriyle ilgili olarak, NPT hükümlerini çiğneyen üyelerin IAEA'nın yönetiminde söz hakkının olmaması gerektiğini söyledi. "Kuralları aktif olarak çiğneyenler, kuralların uygulanmasıyla yetkilendirilmemelidirler" dedi. Ne kadar güzel bir söz!

URANYUM:

Uranyum doğadaki, fisil çekirdek içeren yegane elementtir. U^{235} izotopu, hızlı veya yavaş nötron bombardımanı altında parçalanabilir. Parçalanmadan açığa, orta ağırlıkta iki çekirdekle, iki veya üç nötron çıkar. Bu nötronlar, diğer U^{235} çekirdekleriyle çarpışarak, yeni fisyonlara (parçalanmalara) yol açabilir. Onlardan çıkanlar, başkalarına... Dolayısıyla, U^{235} içeren bir kütlede uygun geometri ve kompozisyon yakalanmışsa eğer, fisyon tepkimeleri nesilden nesile zincirlemesine sürdürülebilir. Bir nesildeki nötron sayısının bir öncekine oranına, 'etkin çoğalma faktörü' denir. Bu faktörün 1'den küçük, 1'e eşit veya 1'den büyük olması hallerinde, sistemin, sırasıyla; 'alt kritik', 'kritik' veya 'süperkritik' olduğu söylenir. Her fisyonun açığa parçacıklar ve fotonlar 200 MeV (Mega elektronvolt-milyon elektronvolt) kadar enerji taşır. Bu enerji çarpışmalar sonucunda, ısı olarak ortama aktarılır. Bir karbon atomu yandığında 4 eV ürettiğine göre, 1 gram U^{235} 2,5 ton kömüre eşdeğerdir. Böyle bir fisyon zinciri, kontrol altına alınarak elektrik üretiminde kullanılabilir gibi, alabildiğince koşuşturularak, nükleer bir bombaya dönüştürülebilir.



odun taşımaya benzer. Dolayısıyla, doğal uranyumla çalışan ağır sulu bir araştırma reaktörünün sırf bu amaca yönelik olarak sırfından inşası tercih edilebilir. Ki bu durumda başlangıç noktası, yine doğal uranyumdur.

Uranyum Madenciliği

Sarı pasta, ağırlıkça %70-80 oranında U_3O_8 'ten oluşmakla beraber; uranil hidroksit, uranil sülfat, sodyum para-uranat, uranil peroksit bileşiklerinin yanında, uranyumun UO_2 ve UO_3 gibi çeşitli oksitlerini de içeriyor. Fakat, oksitlerin en kararlı U_3O_8 bileşiği. Ki bu da, UO_2 ve UO_3 'ün, 2'ye 3 oranındaki mol karışımından oluşuyor. Sarı pasta ismi, aslında biraz yanıltıcı. Çünkü, yüksek fırınlama sıcaklıklarında elde edilen ürünün rengi, donuk yeşilden hakiye, neredeyse siyaha kadar değişebiliyor. Eldesi şöyle...

İlk aşama, cevherin parçalanması ve mineral parçacıklarını açığa çıkarmak amacıyla

öğütülerek toz haline getirilmesidir. İkinci aşamada bu toz, nitrik veya sülfürik asit çözeltisiyle yıkanır. Örneğin, Dünya'nın en büyük sarı pasta üreticilerinden olan Avusturalya'da, yıkama işlemi sülfürik asit çözeltisiyle yapılıyor. Ancak, nitrik asit kullanımı daha yaygın ve bu yöntemde, öğütülmüş cevher bir karıştırma tankında, amonyaklı suyla yıkanır. Cevherdeki U_3O_8 nitrik asitle, kaynama noktasının altında tepkimeye girerek, uranil nitrat $UO_2(NO_3)_2$ çözeltisi oluşturur. Seyreltik ve derişik nitrik asitin U_3O_8 'le tepkimeleri

$$3U_3O_8 + 20HNO_3 \text{ (seyreltik)} \rightarrow 9UO_2(NO_3)_2 + 2NO^+ + 10H_2O$$

$$U_3O_8 + 8HNO_3 \text{ (yoğun)} \rightarrow 3UO_2(NO_3)_2 + 2NO_2^+ + 4H_2O$$

şeklindedir. Nitrik asit uranyumu, düşük değerlikli halinden, +6 değerlikli hale oksitlemiş, arada NO ve NO_2 gazlarının bir karışımı oluşmuştur. Seyreltik asitte çoğunlukla NO, derişik asitte NO_2 oluşur. Çözeltme sırasında



her iki koşul da sağlandığından, gazların değişen oranlarda bir karışımı açığa çıkar ve tepkime tankından salınır. Asitte çözülmeyen maddelerin oluşturduğu tortu, filtrelenerek atılır. Bazı safsızlıklarsa asitte çözünmüştür. Bunlar $UO_2(NO_3)_2$ ile birlikte, bekleme tankına alınır.

Bundan sonra, uranyumun yoğunlaştırılıp saflaştırılması için iki yöntem var. Birinci-

Her Yerde Var

Uranyum, 'nadir toprak metalleri'nden olmasının gereği, yerkabuğunun her tarafında, değişen oranlarda var. Yeryüzünde homojene yakın bir dağılıma sahip. Okyanus sularında ağırlıkça milyarda 3, kayalarda ve toprakta milyonda 4'e varan oranlarda, mineral bileşiklerine bağlı halde bulunur. Birincil mineralleri, UO_2 halini içeren uraninit ve U_3O_8 halini içeren piçblenddir. İkincil mineralleri ise; karmaşık oksitler, silikatlar, fosfatlar ve vanadatlar şeklindedir. Piçblendin U_3O_8 içeriği, Avusturalya cevherlerinde %0,5, Kanada cevherlerindeyse %20'yi bulur. U_3O_8 aslında $U_2O_5 \cdot UO_3$ karışımından oluşan kararlı bir oksit kompleksi olup, uranyumun +5 ve +6 değerlikli hallerini içerir.

Mineral halindeki uranyum, en azından MS 76 yılından beri biliniyor. Doğal oksit haliyle, seramik sırlarına sarı renk vermekte kullanılırdı. Element olarak ilk kez, 1789 y-

92	4134
	1132
U	
Uranyum	18,95
	238,0289

ında Alman kimyacı Martin Heinrich Klaproth tarafından, piçblend mineralinde keşfedildi ve kendisinden 8 yıl önce keşfedilmiş olan Uranüs gezegeninin adıyla isimlendirildi. 1841 yılında Eugène-Melchior Peligot tarafından saf metal olarak ayrıştırıldı ve bu haliyle, 1850 yılından itibaren cam yapımında kullanılmaya başlandı. 1896 yılında Henri Becquerel, uranyum minerallerinin radyoaktif olduğunu keşfetti. Uranyum 1930'lara kadar, cam imalatının yanında, saat kad-

ranlarının ışıltayan gösterge boyalarında ve aslında hiç de sağlıklı olmayan 'sağlık uygulamaları'nda, az miktarlarda kullanılıyordu. Halbuki, özel alaşım imalatında kullanılan örneğin vanadyum gibi metallerin eldesi sırasında, bunlarla birlikte bulunduğu bol miktarda üretiliyor ve gereksinim fazlası atık olarak birikiyordu. 1939 yılında, fisyonu uğradığı keşfedilip de atom bombasının yapımına yönelik Manhattan Projesi başlatılınca, ABD hükümeti tarafından, 'tüp alaşımları'

kod adı altında, yüksek fiyatlarla alınmaya başlandı. Gerçi gizlilik gerekçesiyle uranyuma para ödenmiyor ve vanadyum satın alınıp, uranyumun da beraberinde teslimi şart koşuluyordu. Bu durum, uranyum aramalarını hızlandırdığı gibi, savaş sonrasında, elektrik üretimine yönelik nükleer santrallerin inşasına paralel olarak, uranyumun ticari formu olan U_3O_8 'in fiyatını, 1970'lerin başlarında 80 \$/kg'ın üzerine tırmandırdı. Fakat, 1974 petrol ambargosunun tetiklediği ekonomik kriz ve 1979 yılındaki Üç Mil Adası kazasından sonra nükleer enerji sektörü durgunlaşınca, fiyatlar gerilemeye başlayarak, 1981 yılında 25 \$/kg'a indi. 2000 yılında, 20 \$/kg'ın altındaki en düşük düzeyine ulaştıktan sonra, mevcut nükleer santrallerin süregiden talebinin rezervler üzerindeki baskısı nedeniyle, hızlı bir artış eğilimine girdi. 'Sarı pasta' olarak da adlandırılan U_3O_8 , halen 70 \$/kg civarında fiyatla satılıyor. (Bknz. Uranyum Madenciliği.) Uranyumun madenciliği, sarı pasta eldesi, metal ya da oksit yakıtı çevrilmesi, yakıtın zenginleştirilmesi işlemleri ve bu işlemlerle ilgili tüm tesisler, 'Nükleer Silahların Yaygınlaşmasına Karşı Anlaşma' gereği, 'Uluslararası Atom enerjisi Ajansı'nın denetimi altında...

si, örneğin polistiren köpüğünden boncuklara emdirilmiş amonyum tipi reçineler aracılığıyla gerçekleştirilen 'iyon değişimi' yöntemi. Diğeri ise, artık genel olarak kullanılan 'çözücüye çekme' ('solvent extraction') yöntemi. İkinci yöntemde kullanılan çözücü organik olup, %30 oranında tributil fosfat gibi 'üçüncü dereceden' aminlerin, parafin serisi (C₁₂H₂₆) kalın ve yağlı hidrokarbonlardan kerosen veya dodekanla seyreltilmiş halinden oluşur. Organik çözücü; derişik asit ortamında uranyum ve plutonyum gibi aktinidleri bünyesine çekmek, seyreltik asit ortamında da geriye vermek eğilimindedir. İlkinde organik çözücüye 'çekme' ('extraction'), ikincisine de organik çözücünden 'sıyırma' ('stripping') işlemi denir. Görece hafif olan organik çözücü fazı bu amaçla, bir tepkime sütununa alttan verilerek, üstten gelen ve yoğunluğu daha yüksek olan asitli mineral çözeltisiyle ters yönde akış halinde buluşturulur. Sütun, fazlar arasında daha verimli ve yakın bir temas sağlanabilmesi amacıyla 'itkili' ('pulsed') bir süttür.

Dolayısıyla, üçüncü aşamada uranil nitrat, saflaştırma sürecinin başlangıcı olarak, birinci itkili tepkime sütununa üstten verilerek, alttan gelen organik çözücüyle ters yönde akıntıya sokulur. Organik çözücü, uranyumu bazı safsızlıklarla birlikte asit çözeltisinden çekip ('extraction') almıştır. Dördüncü aşamada, sütunun üst kısmında toplanan doymuş organik çözücü, ikinci itkili tepkime sütunu-

nun alt tarafına verilir, asitli su çözeltisiyle, keza ters akıntıya sokularak yıkanır ('scrubbing'). İçerdiği safsızlıkların bir kısmından daha arındırılmıştır. Beşinci aşamada, doymuş organik çözücü bu haliyle, üçüncü itkili tepkime sütununa alttan verilir ve üstten gelen asitli su çözeltisiyle yine ters akıntıya sokularak, 'sıyırma' ('stripping') işlemine tabi tutulur. Uranyum, organik çözücünden geri alınmış ve uranil nitrat halinde, tekrar asit çözeltisine geçmiştir. Serbest kalan organik çözücü, geri kazanım için bir başka sütuna gönderilirken, asitli çözelti bekletme tankına alınır. UO₂(NO₃)₂ çözeltisi daha sonra, bir veya daha fazla aşamalı buharlaştırıcıda yoğunlaştırılır. Ardından, bir karıştırma tankına gönderilip, (NH₄)₂CO₃ ile tepkimeye sokulur. Çökeltme ürünü olan, amonyum uranil karbonat (AUC), son aşamada vakum filtrelerinde toplanıp fırınlanır. Bu, sarı pastadır.

YAKIT ÇEVRİMİ: Uranyum tetraflorid, uranyum hegzaflorid:

Ticari olarak satılan sarı pasta, hala bazı safsızlıklar içermektedir. Dolayısıyla, nitrik asitle yıkama sürecinden tekrar geçirilir. Elde edilen uranil hegzanitrat UO₂(NO₃)₂.6H₂O çözeltisi bir itkili sütunda, kerosende çözülmüş tributil fosfattan oluşan organik çözücüyle

ters akıntıya sokularak, uranyum organik çözücünün bünyesine alınır. Geride kalan asitli çözelti filtrelenip tekrar kullanılmak üzere uzaklaştırılırken, organik çözücü, ikinci bir itkili tepkime sütununda, seyreltilmiş nitrik asit çözeltisiyle ters akıntıya sokulup yıkana- rak, safsızlıklarından biraz daha arındırılır. Üçüncü bir itkili sütunda, asitli suyla yine ters akıntıya sokularak, içerdiği uranyumun asit çözeltisine geçmesi sağlanır. Bu çözelti buharlaştırma yoluyla yoğunlaştırıldıktan sonra, uçucu unsurlarından arındırılmak üzere yoğun ısıya tabi tutularak 'kalsine' edilir. 'Isıl denitrasyon'a uğrayan uranil nitratın geriye kalan, saf UO₃'tür. Nihayet, UO₃ bir fırında hidrojen veya ısı parçalanmış ('cracked') amonyak gazıyla tepkimeye sokulup UO₂'ye dönüştürüldüğünde, doğal uranyum yakıt malzemesi elde edilmiş olur. (UO₃+H₂→UO₂+H₂O, ΔH= -109 kJ/mole)

Ancak nükleer reaktörlerin çoğu, U²³⁵ açısından %2-5 oranında zengin yakıtla çalıştığından, yakıtın bir de zenginleştirilmesi gerekir. Doğal uranyumun zenginleştirilmesi, içerdiği U²³⁸ izotoplarından gereken kadarının adeta cımbızla ayıklanıp atılması ve böylelikle, geride kalan U²³⁵'lerin sayısal oranının artırılmasını gerektirir. Bu amaçla, iki izotopun kimyasal özellikleri hemen hemen aynı olduğundan, küçük de olsa aralarında var olan kütle farkından yararlanılabilir. Kütle farkının yol açtığı davranış farkına örnek olarak ilk akla gelen, eşit kinetik enerjiye sahip olmaları

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı, IAEA:

ABD, Manhattan Projesi'nin parçası olarak 16 Temmuz 1945'te gerçekleştirdiği 'Trinity' denemesiyle ilk nükleer güç olmuştur. Ardından, 29 Ağustos 1949'daki denemesiyle Sovyetler Birliği geldi. Manhattan Projesi'nde ABD ile birlikte çalışmış olan İngiltere, 3 Ekim 1952'de 'Hurricane' adlı operasyonu, kendi fisyon bombasını denedi. ABD 1 Kasım 1952'de Marshall Adaları'nda, ülke tarihinin en büyük radyasyon kazasıyla sonuçlanan, 'Mike' adını verdiği hidrojen denemesini yaptı. Sovyetler'in termonükleer yanıtı, 12 Ağustos 1953'te geldi. Çin şifeden çıkmıştı. Tekrar içeri sokulması zordu. Başkan Dwight D. Eisenhower, 8 Aralık 1953'te BM Genel Kurulu'nda yaptığı konuşmada, 'Barış için Atom' programını önerdi. Program, ülkeleri nükleer silahlardan uzak durmaya davet ediyor ve karşılığında nükleer teknolojinin barışçıl amaçlarla kullanımı için işbirliği vaat ediyordu. Programın takipçisi, BM çatısı altında kurulacak olan 'Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu' (IAEA) olacaktı. Kurum, Ekim 1956'da 81 üyenin oybirliğiyle onaylanan tüzüğüyle işe başladı. Ancak, yoğunlaşan Soğuk Savaş yüzünden etkinlik kazanamadı.

1957 yılında, İngiltere füzyon (hidrojen) bombasını denemişti. 1960 yılında Fransa, Charles De Gaulle'ün 'Çaydırıcı Güç' ('Force de Frappe') doktrini kapsamında gerçekleştirdiği fisyon denemesiyle nükleer kulübe

girdi. Çin Halk Cumhuriyeti 1964 yılında fisyon, 1967'de de füzyon bombasını denedi. Fransa'nın ilk termonükleer denemesi 1968 yılındaydı. Sovyetler Birliği, Çin'le ilişkilerinin bozulmaya yüz tutmasından sonra, nükleer silahların sınırlandırılması konusunda ABD ile işbirliği arayışına girdi. IAEA bu görüşmelerde önemli rol oynadı. 1 Temmuz 1968'de, NPT imzaya açıldı. Anlaşma, nükleer silahların, bu güce sahip bulunan 5 ülkenin dışına taşmamasını öngörüyordu. Halen 187 imzacısı var. Hindistan, Pakistan ve İsrail bunların dışında...

Hindistan nükleer teknolojisini, Sovyetler'in de yardımıyla geliştirdi ve 1974 yılında, 'barış amaçlı' olarak nitelendirip 'Gülümseyen Buda' adını verdiği ilk fisyon bombasını patlattı. Pakistan güvenlik krizine yakalanmıştı. Sovyetler'in Hindistan'a yardımı, bu ülkeyi, 1969'da Mançurya sınırında ciddi bir çatışmaya girdiği Çin'e karşı bir denge unsuru haline getirmeyi amaçlıyordu. Çin de buna karşılık, Pakistan'a yardım etmeye başladı. Urenco adlı bir ticari konsorsiyumun Hollanda'daki santrifüjle uranyum zenginleştirme tesislerinde uzun yıllar çalışıp deneyim kazanmış olan Pakistanlı mühendis Abdül Kadir Han, ülkesine dönüp nükleer silah programının başına geçti. 1980'lerde ortalığı, Pakistan'ın nükleer bomba yaptığı söylentileri sarıştı. Fakat, Başbakan Zülfikar Ali Butto'nun 'halkım ot yese de yapılacak' dediği bomba, 1998'de patlatıldı. Hindistan, füzyon bombasını da denemiş olduğunu iddia etmekle beraber, bu kanıtlanmış değil.

İsrail ise, bir nükleer silah programının varlığını da yokluğunu da kabul etmiyor. Ancak, küçük de olsa bir nükleer gücünün bulunduğuna inanılıyor. Güney Afrika'nın 1980'lerde 6 adet nükleer bomba ürettiği biliniyor. Hatta, 2-3 kiloton gücünde küçük bir bombayı 1979 yılında, İsrail'le birlikte denemiş olduğu sanılıyor. Fakat, olayla ilgili olarak ABD'nin Vela uydusu tarafından yapılan 'nükleer flaş' saptamasının, uydunun elektromanyetik atım sensöründeki bir arızadan kaynaklanmış olması olasılığı var. Durum her ne idiye, Güney Afrika 1990'lı yılların başlarında, elindeki nükleer silahları söküp NPT'yi imzaladı. Türünün ilk örneği...

Halbuki, NPT'yi daha önce imzalamış olan Kuzey Kore, 2003 yılında anlaşmadan çekildi. Şubat 2005'te de, 'patlatılmaya hazır' nükleer bombalara sahip olduğunu açıkladı. Deneme yapılmamış olması nedeniyle, bu açıklama kuşkuyla karşılanıyor. Keza NPT'yi imzalamış olan Irak, 1970-90 arası yıllarda nükleer silah yapmaya çalıştı. 1981'de Osirak reaktörünün İsrail tarafından bombalanıp kullanılamaz hale getirilmesinden sonra, elektromanyetik ayrıştırma yöntemine yöneldi. Bu girişim, 1991'deki I. Körfez Savaşı'yla durduruldu. Bir diğer NPT imzacısı Libya ise, 19 Aralık 2003'te beklenmedik bir açıklamayla, gizli bir nükleer silah programı yürütmüş olduğunu, fakat artık buna son verdiğini bildirdi. İran, özellikle Libya'nın bu açıklamasından sonra, IAEA tarafından yakın inceleme altına alındı. (Bknz. İran Dosyası.)

halinde, daha 'iri kıyım' olan U^{238} izotopunun daha yavaş koşabileceğidir. Dolayısıyla, iki izotop birbirinden, eşit koşullar altında bir yarıya sokulup, önden giden U^{235} 'lerin tercihli toplanması suretiyle ayrıştırılabilir. Bunun için uranyum atomlarının ortalıkta serbestçe dolaşabilir halde olması lazımdır. Halbuki uranyumun metalinin veya oksit halinin buharlaşma sıcaklığı çok yüksek olup, bu sıcaklıklarda çalışmak zordur. Dolayısıyla, uranyumun önce olağana yakın koşullar altında gaz halinde olabilen bir bileşik haline getirilmesi istenir. Halbuki, uranyum ağır bir çekirdek olduğundan, havalara kaldırılıp gezdirilmesi pek kolay değildir. Uranyumun +4 veya +6 değerlikli olduğu göz önünde bulundurulunca, bu amaç için akla hemen halojenler gelir. Bilindiği gibi halojen atomları, bir elektron alabilecekleri bir tepkimeye girdiklerinde, asal gaz elektron dizilimini yakalayarak, çok kararlı bir hale geçerler. Bu halde iken, civardaki atom ya da moleküllere karşı ilgileri azaldığından, kendilerine ek bir elektron sağlayana ek olarak başka bağlar kurmaya pek eğilimleri kalmaz. Sonuç olarak, oluşturdukları bileşiğin molekülleri arasındaki bağlar zayıftır ve bileşik, olağana yakın koşullar altında bile gaz haline geçebilir. Halojen özelliği en güçlü biçimde sergileyen 'oksitleyici' elementler, başta flor ve sonra klordur. Gerçi bu elementlerle çalışmak, şiddetli oksitleme eğilimleri nedeniyle zordur. Fakat yine de, uranyumun görece kolay buharlaşabilen bileşiklerinin eldesinde tercih edilirler. Özellikle flor. Çünkü, UF_6 ve UCl_6 'nın her ikisi de oda koşullarında katı kristal halde olmakla birlikte, uranyum hegzafloridin buharlaşma sıcaklığı ($56,5^\circ C$), uranyum hegzakloridinkinden ($75^\circ C$) daha düşüktür. Kolayca gaz haline getirilip zenginleştirme işleminde kullanılabilir.

Uranyum hegzaflorid eldesi için, UO_2 önce bir fırında hidrojen florid (HF) gazıyla tepkimeye sokularak, uranyum tetraflorid, UF_4 elde edilir. ($UO_2 + 4HF \rightarrow UF_4 + 2H_2O$, $\Delta H = -176$ kJ/mole). Tetraflorid bundan sonra bir akışkan yatakta flor gazıyla tepkimeye sokularak hegzafloride dönüştürülür. ($UF_4 + F_2 \rightarrow UF_6$). Ancak, üretilen UF_4 'ün saf olması gerekir. Aksi halde uranyum cevherinden kalma, başta molibdenyum olmak üzere ağır metaller, zenginleştirme sırasında vanalarda ve pompalarda yoğunlaşarak süreci engelleyecektir. Elde edilen hegzaflorid, buharlaşma ile yoğunlaştırılıp depolanır. Bir sonraki aşama, zenginleştirme değildir. Aslında, sarı pastadan UF_6 elde etmenin, buraya kadar anlatılmış olan 'organik çözücüye çekme'ye dayalı 'ıslak' yöntemine alternatif bir de 'kuru', 'florlama-damıtma' yöntemi var. O da, sarı pastayı nitrik asit sürecinin sokmaksızın, içindeki uranyumu doğrudan UF_6 'ya dönüştürdüktan sonra, iki 'aşamalı damıtma'ya ('fractional distillation') tabi tutarak saflaştırmak. Ancak, ıslak yöntem daha yaygın.

Gaz diffüzyonu veya santrifüj yöntemiyle zenginleştirme UF_6 buharıyla, elektromanyetik izotop ayırıştırma işlemiyse UCl_4 ile yapılır.

UCl_4 , saf uranyum dioksit UO_2 'nin $370^\circ C$ 'de, karbon tetrakloridde (CCl_4) tepkimeye sokulmasıyla elde edilir. Fakat, büyük ölçekli uranyum zenginleştirme tesislerinin hemen hepsi, girdi olarak UF_6 kullanırlar. Zenginleştirme işleminden sonra, UF_6 tekrar UO_2 'ye dönüştürülüp, seramik kapsüller haline getirilir. Reaktör yakıt elemanları bu kapsüllerin, zirkonyum alaşımından yapılmış silindirik tüplerin içine dizilmesiyle oluşur. Metal halindeki uranyum ise, ergimiş $CaCl_2$ ve $NaCl$ içinde çözülmüş olan UF_4 veya KUF_5 'in elektroliziyle üretilir. Üst düzeyde saf uranyumu, araştırma amacıyla az miktarlarda, uranyum halidlerinin akkor bir filament üzerinde ısı parçalanmasıyla elde etmek de mümkündür.

URANYUM ZENGİNLEŞİRME: Isıl diffüzyon:

Bir gaz ya da sıvı, herhangi bir bölgeden ısıtıldığında, molekülleri sıcak bölgeden daha soğuk bölgelere doğru harekete geçer. Bu sırada, hafif olan moleküller, ağır olanlardan daha hızlı hareket etmektedir. Dolayısıyla, soğuk bölgeye ulaşan moleküller arasında, hafiflerin oranı, az da olsa artmış olur. Bu ilkeye dayanan ısı diffüzyon tasarımında, her biri iç içe üç borudan oluşan sütun aşamaları kullanılır. Her bir sütundaki, en içteki birinci borunun içinden buhar, dış iki borunun arasından soğutma suyu geçirilirken, birinci ve ikinci boruların arasındaki boşluk UF_6 gazıyla doludur. Gazın sıcak iç yüzeyden, daha soğuk olan dış yüzeye doğru 'ısı diffüzyonu' sırasında, daha hafif olan U^{235} izotopunu içeren moleküller daha hızlı hareket ettiklerinden, dış yüzeye ulaşan gaz, görece zenginleşmiş olur. Ayrıca boruların altından verilen ısıyla oluşturulan konveksiyon akımları; iç borunun sıcak dış yüzeyinden yukarıya, ikinci borunun görece soğuk olan iç yüzeyinden de aşağıya doğrudur. Dolayısıyla, bu konveksiyon akımı sayesinde; gazın dıştan alçalan zenginleşmiş kısmı ayrılıp, bir sonraki sütunun girişine, içten yükselen fakirleşmiş kısmı da keza ayrılıp, bir önceki sütunun girişine verilir. Çok sayıda evre içeren, enerji yoğun bir süreçtir. Ayrıca, uranyumu bu yöntemle bomba düzeyine zenginleştirmek, pek mümkün değildir. Zenginleştirme sürecinin başka yöntemlerle devam ettirilmesi gerekir. Manhattan Projesi'nde bir ön aşama olarak kullanılıp, sonra terkedildi.

Gaz diffüzyonu:

Gaz diffüzyon yöntemi; ısı diffüzyona benzer şekilde, belli bir sıcaklıktaki gazın bileşimindeki hafif moleküllerin, ağır olanlardan daha hızlı hareket ediyorsa olmasına dayalı olarak çalışır. Ancak, molekülleri hareket ettirmek için, ısı diffüzyonda olduğu gibi doğal konveksiyonla yetinmek yerine, zorlamalı konveksiyon kullanılır. Şöyle ki; eğer bir gaz

bileşimi, üzerine basınç uygulanmak suretiyle, ince gözenekli 'yarı geçirgen' bir zardan geçmeye zorlanırsa; hafif olan moleküller, zarin gözeneklerinden sızıp diğer tarafa ulaşmakta, ağır olanlara göre daha başarılı olurlar. Dolayısıyla, zarin öte tarafındaki gaz, hafif molekül içeriği açısından az biraz zenginleşirken, geride kalan kısmı fakirleşir. Bu süreç, art arda evreler halinde devam ettirilir. Öyle ki; herhangi bir evredeki zenginleşmiş gazı, bir sonraki evreye sokup daha da zenginleştirmek, geride kalan fakirleşmiş gazı da bir önceki evreye geri gönderip, zenginlik oranını eski düzeyine yükseltmek mümkündür.

Oda koşullarında katı olan UF_6 $56,5^\circ C$ 'de buharlaştığından, gaz diffüzyonuyla zenginleştirme işlemine, UF_6 kristallerinin ısıtılmasıyla başlanır. UF_6 buharına, 'taşıyıcı gaz' olarak kuru hava ile nitrojenin ilavesi lazımdır. Aynı sıcaklıktaki $U^{235}F_6$ ve $U^{238}F_6$ molekülleri arasındaki hız farkı çok küçük (%0,4) olduğundan, tek bir evredeki ayırma miktarı azdır. Bu yüzden, işlem çok evreli ve yavaş, dolayısıyla pahalı olmak zorundadır. Her evrede başarılı zenginleştirme oranı düşük olmakla ve zenginleşen gazı daha da fazla zenginleştirmek giderek zorlaşmakla beraber, sonuç olarak; yeterli sayıda evre kullanıldığı takdirde, zenginlik oranı istendi-



ği kadar yükseltilebilir. Gazın zenginleşen kısmının hacmi, zenginleşme oranı arttıkça azaldığından; evrelerin hacmi giderek küçütülebilir. Görece zenginleşmiş gazı daha ileri, fakirleşmiş olanı geri pompalamak için, her evrede en az iki pompaya gereksinim vardır. Evre sayısı fazla ve pompaların güç gereksinimi yüksek olduğundan, ürettikleri atık ısıyı uzaklaştırılıp, soğutma kulelerinden alınması lazımdır. Ayrıca, böyle bir tesis yüksek miktarlarda elektrik enerjisi tükettiğinden, yanına güçlü bir elektrik santralının kurulması gerekir. Tasarımın en teknik kısmı, yarı geçirgen zarin imalatıdır. Çünkü zarin gözeneklerinin; boyutça 10^{-6} cm (Santimetrenin milyonda biri) düzeyinde ve homojen olması, fakat buna karşın, safsızlık biriktirip tutanmaması gerekir. Ayrıca, üst düzeyde paslandırıcı olan UF_6 gazının, yüksek basıncına ve kimyasal saldırısına karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Zar malzemesi olarak, çoğunlukla nikel ve alüminyum oksit kullanılır. Başta pompa bileşenleri olmak üzere, sistemin tümüyle, içeriye ve dışarıya karşı sızdırmaz olması lazımdır. UF_6 'nın aşırı oksitleyiciliği, temasta bulunduğu boru ve pompa bileşenlerinin nikel veya alüminyumdan yapılmış olmasını gerektirir. UF_6 , sızdırmazlık sağlayan contaların yağına bile saldırdığından,

Irak'ın İsrail tarafından bombalanan Osirak reaktörü.



gaz sızdırmayan ve yağ kullanmayan 'teflon' contalar kullanılır. Binlerce evreden oluşan sistemin, herhangi bir bakım onarım nedeniyle durdurulması halinde, yeniden çalıştırılıp 'denge hali'ne getirilmesi çok uzun zaman alır.

Sonuç olarak, böyle bir tesis; diffüzyon evreleri, büyük bir elektrik santrali ve dağıtım sistemi, soğutma kuleleri, florlama tesisi, buhar üretim santrali, zar imalat ünitesi, kuru hava ve nitrojen üretim tesisi içerir. Pahalı, envanter gereksinimi yüksek, durdurup başlatma süreleri uzundur. Kurulması ve işletilmesi kolayca farkedilebileceğinden, gizli silah yapımına uygun değildir.

Elektromanyetik izotop ayrıştırma (EMIS):

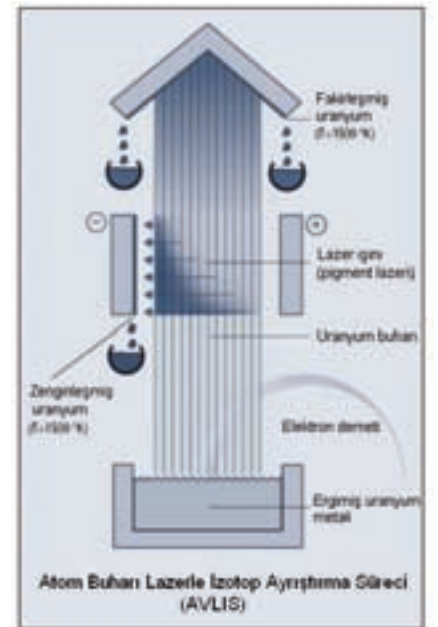
Elektromanyetik izotop ayrıştırma ('Electromagnetic Isotope Separation', EMIS) yöntemi, kütle spektrometresi aygıtında olduğu gibi; aynı kinetik enerjiyle doğrusal hareket halinde olan farklı ağırlıktaki iyonların, hareket yönlerine dik bir manyetik alana girdiklerinde, yarıçapları farklı birer dairesel hareket girmelerine dayanır. Süreç, vakumlanmış bir tankın içinde gerçekleştirilir ve girdi malzemesi olarak, oda koşullarında katı olan UCl_4 kullanılır. Elektriksel olarak ısıtılıp buhar haline getirilen UCl_4 molekülleri, elektron bombardımanına tabi tutularak + iyonlar haline getirildikten sonra, bir elektrik alanı boyunca ivmelenirler yüksek hızlara ulaştırılır. Ardından, tankın dışındaki bobinler tarafından üretilen güçlü, homojen ve iyonların hareket yönüne dik bir manyetik alana sokulurlar. Kütleleri daha büyük olan $U^{238}Cl_4^+$ iyonları, $U^{235}Cl_4^+$ iyonlarına göre daha büyük yarıçaplı bir dairesel harekete girer. İyonlar, 180° lik bir yay çizmelerinin ardından bir hedefe çarpılır ve ulaştıkları konumlar farklı olduğundan, ağır ve hafif olanları, iki ayrı cepte toplanır. Bu yöntemle, silah yapımının gerektirdiği %90'ın üzerindeki zenginleştirme düzeyine, yalnızca iki aşamada ulaşmak mümkündür. Fakat, her bir tankta üretilen

miktarlar çok küçük olduğundan, her iki aşama için de binlercesinin paralel olarak kullanılması gerekir. Ayrıca, UCl_4 girdinin ancak yarısı istenen iyonlara dönüştürülebilmekte, bu iyonların da ancak yarısı kadarı hedefte toplanabilmektedir. Dolayısıyla, buharlaştırılan girdinin dörtte üçü, tankın iç yüzeylerinde birikir. Bu yüzeylerin periyodik olarak temizlenmesi, hem de böylece, kaybedilen girdinin geri kazanılması, zahmetli ve zaman alıcı bir süreçtir. Sonuç olarak, mantıklı bir süre içerisinde, kilogram düzeyinde bomba sınıfı uranyumun elde edilebilmesi; her iki aşamada da onbinlerce aygıtın kullanılmasını ve bu da, büyük miktarlarda elektrik tüketimini gerektirir. Aygıt, D.H. Lawrence tarafından Kaliforniya Üniversitesi Berkeley'de geliştirilen bir kütle spektroskopunun tasarımına dayalıydı ve onun önerisiyle, Manhattan Projesi'nde kullanıldı. Aygıt, üniversitenin adına atfen 'Kalutron' denmişti. Fakat, basit olmakla beraber, emek ve enerji yoğun olan bu yöntem, iyi bir yöntem değildi ve nitekim, sonradan terkedildi. Irak, Osirak araştırma reaktörünün 1981 yılında İsrail tarafından bombalanarak kullanılmaması hale getirilmesinden sonra, bu yönteme yöneldi. Başta miktatsız malzemesi olmak üzere gerekli bileşenleri, teknoloji artık terkedilmiş ve hatta unutulmuş olduğundan, fazla kuşku toplamaksızın temin edebilmek, kısmi ilerlemeler kaydedebildi. Sonuç malum.

Lazerle ayrıştırma:

1970'li yıllarda geliştirilen bu yöntem, temel enerji durumundaki U^{235} ve U^{238} atomlarının hiperince düzeyleri arasındaki geçişleri sırasında soğurdukları fotonların frekanslarının biraz, milyonda bir oranında farklı olmasına dayanıyor. Uranyumun hangi kimyasal hali üzerinde çalışıldığına bağlı olarak ayrı isimlendirilen, iki farklı şekli var. Hedef malzemesi olarak buhar halindeki uranyum atomlarını kullanan birincisine AVLIS ('Atomic Vapor Laser Isotope Separation'), örneğin UF_6 gibi bir uranyum bileşiğinin moleküllerini kullanan diğerine de MLIS ('Molecular Laser Isotope Separation') deniyor.

AVLIS yönteminde; uranyum metalinin elektrikle ısıtılmasıyla buharlaştırılan atomlar, uygun bir açıklıktan geçerek demetler halinde ışınlama bölmesine gelir ve burada, U^{235} izotoplarının tercihli olarak soğuracağı frekansa ayarlanmış bir lazer ışınıyla ışınlanırlar. Soğurma sonucunda uyarılan U^{235} izotopları, birer elektron kaybedip, artı yüklü iyon haline gelir. Bu iyonlar bir elektrik alanıyla yönlendirilip ürün cebinde toplanırken, nötr kalan U^{238} izotopları yollarına devam edip, ayrı bir atık cebine ulaşır. Ancak, iki izotopun soğurma frekansları arasındaki fark çok küçük olduğundan, ışınlayan lazerin frekansının, atomların kinetik enerjilerinin farklı olması nedeniyle karşılaşacakları Doppler kaymalarının farklı olacağını da hesaba katabilecek şekilde, ince ayarlanmış olması gerekir. Bu amaçla, frekansı ayarlanabilen ('tunable') 'sıvı organik boya pigmentli' ('dye') iki lazer, biri diğerini pompalayacak şekilde kullanılır. Bu pigment molekülleri aslında, salınımlarının temel enerji düzeyiyle, birbirine yakın bir dizi uyarılmış salınım düzeyi arasında farklı geçişler yapma imkanına sahip olduklarından, 360-950 nm gibi geniş bir dalga boyu aralığında ışınlar üretebilirler. Çünkü, salınımlarının temel enerji düzeyinde iken, örneğin flaş lambası gibi çok renkli bir ışık kaynağı ile uyarıldıklarında; farklı moleküller, birbirine yakın frekanslardaki fotonları soğurarak, birbirine yakın ama farklı uyarılmışlık düzeylerine geçiş yapabilir, sonra da temel enerji düzeyine geri dönerken, birbirine yakın ama farklı frekanslarda fotonlar ışıyabilirler. Dolayısıyla, organik pigmentli bir lazerin, keskin frekanslı bir ışın üretmesi isteniyorsa, uygun ve tek frekanslı bir başka 'ana lazer' tarafından uyarılması, yani 'pompanması' gerekir. Bu ana lazer de keza, boya pigmentli bir lazerdir. Flaş lambasıyla uyarılır ve çok frekanslı ışın üretir. Ancak, çok renkli ışın çıktısının frekansları arasından istenilen birisi, açısı uygun şekilde ayarlanmış Fabry-Perot benzeri bir girişim aygıtıyla seçilip; istenen zamanlamayla, istenen yöne saptırılabilir. Ö-



neğin, uranyum atomlarını ışılayacak olan ikincil lazeri optik olarak pompalamak üzere... Ki bu ikinci lazer, hedeflenen keskin frekanstaki ışığı üretebilsin. Hatta, ana lazerin ışın çıktısı, ikincil lazere ulaşmadan önce, bir optik yükselticiden, yani kendisi gibi boya pigmentli üçüncü bir lazerden geçirilip güçlendirilebilir de. Toplam olarak, U^{238} atomlarının iyonlaştırılması için üç ayrı renk kullanılmakta.

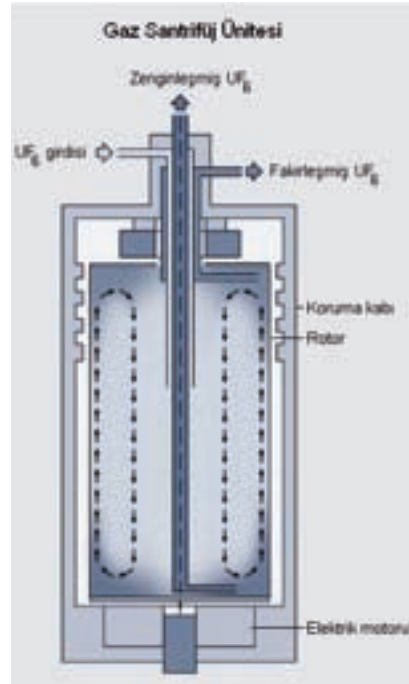
MLIS yönteminde ise, girdi olarak, UF_6 buharı içeren bir gaz karışımı kullanılır. Karışım, sıvılaştırma sıcaklığı UF_6 'nınkinden ($56,5^\circ C$) çok daha düşük olan iki gazdan oluşmaktadır. Birincisi, 'taşıyıcı gaz' niteliğindeki hidrojen gazı veya bir asal gaz, diğeri ise, 'çöpçü' işlevi gören, örneğin metan ya da benzeri bir diğer gazdır. Birinci aşamada, karışım süpersonik bir gaz memesinden ('nozzle') geçirilerek genleştirilir. Amaç, genleşme sonucunda gaz karışımının ansızın soğumasını sağlayarak, moleküllerin ısı kinetik enerjilerinin dağılım aralığını daraltmak ve böylelikle, lazer ışını fotonlarının karşılaşıcağı Doppler kaymalarını olabildiğince aynılaştırmaktır. Taşıyıcı gazın molekülleri bu sırada, diğer moleküllerle de çarpışıp durmakta ve UF_6 buharının sıvılaşmasına engel olmaktadır. Bu durumdaki karışım; $U^{235}F_6$ molekülleri tarafından tercihli olarak soğurulan, fakat $U^{238}F_6$ molekülleri tarafından aynı derecede umursanmayan $16 \mu m$ civarındaki dalgaboyunda çalışan bir kızılaltı, örneğin CO_2 lazeriyle ışınlanır. $U^{235}F_6$ molekülleri uyarılırken, $U^{238}F_6$ moleküllerinin çoğu aynı kalmış, birinci aşama tamamlanmıştır. İkinci aşamada, karışım bu sefer, uyarılmış olan $U^{235}F_6$ molekülleri tarafından tercihli olarak soğurulan ve bu moleküllerin, bir flor kaybederek 'fotoliz'e uğramalarına yol açan kızılaltı bir lazerle ışınlanır. Gerçi bu ikinci ışınlama için, örneğin XeCl 'egzimer lazeri' gibi, 308 nm dalgaboyunda çalışan morötesi bir lazer de kullanılabilir. Ancak, birinci aşamada kullanılan CO_2 lazeri kızılaltı bölgede çalıştığından ve henüz, kızılaltı ve morötesi lazerleri birlikte kullanılabilen bir optik sistem geliştirilememiş olduğundan, MLIS sistemlerinin hemen tamamı, halen kızılaltı iki lazer kullanılmaktadır. Sonuç olarak, oluşan UF_5 molekülleri, uranyum atomu +5 değerliğe düştüğünden, bağ oluşturmak eğilimindedir. Bir flor atomuyla karşılaşırsalar, onunla tekrar birleşeceklerdir. Fakat bu arada, çöpçü vazifesi gören metan gazının molekülleri, açığa çıkan flor atomlarının birleşip, onların UF_5 'lere yönelmesini önlemiştir. Dolayısıyla, açıkta kalan UF_5 molekülleri, kendi aralarında birleşip, oldukça sıkı bir bağ oluştururlar. O kadar ki, uranyum hegzafloridin ergime noktası $64^\circ C$ iken, pentafloridinki $348^\circ C$ 'dir. Katılarak toz haline gelen pentaflorid, gaz karışımından ayrılır. Filtrelenecek veya siklon etkisiyle toplanır. Ürün, süreç sırasında önce uyarılıp sonra fotolize uğramış olan bazı $U^{238}F_6$ moleküllerini de içerdiğinden, görece zenginleşmiş olmakla beraber, hala iki izotopun karışımından oluşmaktadır.

Yüksek zenginlik düzeylerine çıkartılabilmesi için, tekrar UF_6 'ya dönüştürüldükten sonra, aynı süreçten evreler halinde, defalarca geçirilmesi gerekir.

Lazerle ayırıştırmanın artıları arasında; tek bir aşamadaki zenginleştirme oranının yüksekliği, görece düşük enerji gereksinimi ve atık miktarının azlığı sayılabilir. Ancak, ilke temelinde basit görünmekle beraber, hassas donanım bileşenlerinin sert koşullar altında çalıştırılabilmesini gerektirdiğinden, teknolojik açıdan ileri ülkeler için dahi uygulaması zor bir yöntem. Nitekim; ABD, Fransa, İngiltere ve Almanya MLIS programlarına son vermiş durumda. Japonya'nın küçük ölçekli bir programı var. Güney Afrika ise, düşük zenginlikte uranyum için programının hazır olduğunu açıkladı.

Santrifüj Yöntemi:

Santrifüjle ayırıştırma, enerji gereksinimi açısından, bilinen en ekonomik yöntemdir. Gaz difüzyonunda olduğu gibi evreler halinde gerçekleştirilir ve her bir evredeki kısmi



zenginleştirme, gaz difüzyonunda olduğundan çok daha yüksektir. Yöntemde dikey konumlandırılmış silindirik şeklindeki bir 'rotor', koruyucu bir kabın içindeki boşlukta ve simetri eksenini etrafında, altındaki bir motor tarafından yüksek hızla döndürülmekte ve girdi olarak UF_6 buharı, dönme eksenini oluşturan borunun etrafından rotora içine verilmektedir. Yaklaşık olarak rotorla birlikte aynı hızda dönmeye zorlanan buhar molekülleri, maruz kaldıkları merkezî ivmeyi sağlayacak olan kuvvet desteğini alabilmek üzere, dönme ekseninden dışarıya doğru savrulur. Tüm moleküller, yüksek dönme hızı nedeniyle, duvara fırlatılan bir jöle gibi, rotora yan yüzeyine yapışık ince bir katman oluşturmuştur. Ancak, daha ağır oldukları için üzerlerindeki kuvvet daha büyük olan $U^{238}F_6$ molekül-

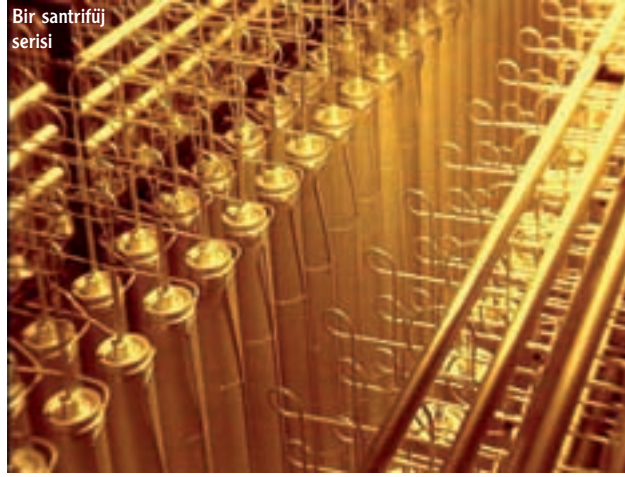
leri, katmanın dış kısmındaki konumlara kayarken, hafif $U^{235}F_6$ molekülleri, görece içeride kalır. Dolayısıyla, zaten ince olan gaz katmanı bir de, dışta görece fakir, içte daha zengin olmak üzere, iki alt katmana ayrılmış ve rotorun iç yan yüzeyinden dönme eksenine doğru gidildikçe hızla azalan bir basınç dağılımı oluşmuştur. Eksen civarındaki basıncın düşük olması, girdi buharının pompalamaya gerek kalmaksızın kendiliğinden rotora gelmesini sağlar. Ayrıca da içerdeki buharların, eksen etrafındaki açıklıktan kaçıp rotora koruyucu kabına dolmasını büyük oranda engelleyerek, aksi halde buhara karşı dönmeye kaynaklanacak olan sürtünme kayıplarını azaltır. Bu basınç farkı aynı zamanda, girdi buharı kendiliğinden akıp içeri girdikçe, rotorun içinde yarıçapsal yönde konveksiyon akımları oluşturur. Bu yarıçapsal konveksiyon akımı, rotorun alt kısmı ısıtılarak eksen borusu boyunca oluşturulan sıcaklık gradyentiyle güçlendirilir. Bu durumda, aynı sıcaklıktaki moleküllerden, daha hafif oldukları için daha hızlı hareket eden $U^{235}F_6$ molekülleri, konveksiyon akımına eşlik eden koşuda, önden gitmektedir. Sonuçta, yan duvara yapışık olan buhar katmanının, $U^{235}F_6$ bakımından fakir olan dış kısmı yukarıya, zengin olan iç kısmı da aşağıya doğru harekete geçerek, perdeler halinde ayrışır. Konveksiyon akımı duvara bitişik bölgede kapalı bir devre oluşturduğundan, bu tasarıma 'ters akımlı santrifüj ünitesi' de denir. En büyük zenginlik farkı, aynı zamanda görece yüksek basınçların da olduğu, yan yüzeyin üstü ile altı arasındadır. Bu konumlara uzatılan iki boru ucundan ('scoop'); alttakiyle zenginleşmiş ürün alınıp bir sonraki, üsttekiyle de fakirleşmiş ürün alınıp bir önceki santrifüj evresine gönderilir.

Dönme hızı dakikada 100.000 devire kadar ulaştığından, rotorun kendisi de büyük dönme kuvvetlerinin etkisi altındadır. Malzemenin dayanıklı, öte yandan kuvvetler yoğunlukla doğru orantılı olduğundan, hafif olması gerekir. Dolayısıyla, malzemenin seçim kriteri, dayanma gücünün yoğunluğa oranı oluşturur. Öte yandan, UF_6 buharlarıyla doğrudan temasa gelen yüzeylerin, oksitlenmeye karşı dayanıklı malzemeden yapılmış olması lazımdır. Yöntem Manhattan Projesi'nde denenip, sorunlarla karşılaşıncı terkedildi. Halbuki malzeme ve diğer tasarım sorunları, savaşın sonu Sovyetler Birliği tarafından Almanya'dan alınıp götürülen, Gernot Zippe liderliğindeki 60 kadar bilim insanı tarafından çözüldü. Geliştirilen tasarıma, grup liderinin adına atfen 'Zippe tipi santrifüj' deniyor. Sürtünme kayıplarını en aza indirmek için, rotor koruyucu kabın içindeki boşlukta döndürülüyor. Dönme ekseninin oturduğu üst yatak tümüyle manyetik olduğundan, eksen yalnızca alttaki yatakla temas halinde ve rotor, iğne ucuna benzeyen tek bir temas noktası üzerinde dönüyor. Dolayısıyla, alt yatak ve içerdiği süspansiyon sistemi önemli. Çünkü, rotor silindiri ne kadar uzun olur ve ne kadar hızlı dönerse, santrifüj ünitesinin zenginleş-

tırma kapasitesi o kadar yüksek oluyor. Halbuki, yüksek hızda döndürülen bir silindire, saz telininkine benzer şekilde, boylamasına salınımlar oluşur ve bu simetri bozulmaları, birbirini dengeleyemeyen kuvvetlere yol açar. Bu salınımların dengelenmesi, kusursuz dengeleme mümkün olmadığından da, alt yatağın bir miktar salınımı emebilmesi ve oluşan kuvvetlere dayanabilmesi gerekir. Denge açısından, rotorun dönmelerini sağlayan manyetik alanın kalitesi de önemlidir. AC motorlarında dönme hızı gerilimin frekansı ile doğru orantılı olduğundan, şebekeden çekilen gerilimin 50-60 Hz'lik frekansının, rotorların sürücü motorlarına verilmeden önce, 600 Hz veya yukarısına yükseltilmesi lazımdır. Kullanılan yükseltici, çıktı frekansını duyarlı bir şekilde yönetebilen, düşük harmonik bozulmalara yol açan ve yüksek verimle çalışan bir frekans değiştiricisi olmak zorunda. Dolayısıyla, bu da kritik bir bileşen.

Rotor malzemesi olarak, alüminyum veya titanyum alaşımları kullanılır. 1960'lardan sonra çok güçlü özel bir çeşit 'martensitli-eskitme' çeliğin kullanılmaya başlanmasıyla, rotorun duvar hızı 500 m/s'ye kadar çıkartıldı. Gerçi bazı türden cam veya elyaf elyafı, ya da 'kevlar' gibi 'aramid' yapılı elyaf desteklenmiş karma ('kompozit') malzemelerin kullanımıyla, daha da yüksek hızlara ulaşmak

Bir santrifüj serisi



mümkün. Ancak, karma malzemelerin yapımı yüksek teknoloji gerektiriyor ve ürünler bu yüzden pahalı. En fazla tercih edilen malzeme, martensitli-eskitme çelik. O kadar ki, uluslararası alanda güvenlik sorunu haline gelmiş durumda. Diğer alanlardaki kullanımı sınırlı olduğundan, büyük miktarlardaki siparişleri yakından takip ediyor.

Martensitli-eskitme çelik, demire dayalı, çok güçlü olmasına karşın kolay işlenebilen ve iyi cilalanabilen, paslanmaya ve çatlamaya karşı dayanıklı, özel bir sınıf 'düşük karbon' çeliği. Gücünü, karbon çeliklerinde olduğu gibi karbon atomlarının değil, metal bileşiklerinin çöktüklerinden alıyor. İlk zamanlar yapı-

mı %20-25 oranında nikel içeren çeliklere, küçük miktarda Al, Ti ve Nb metallerinin ilavesiyle yapılıyordu. Yaygın kullanılan kalitedeki türünün bileşimi, demire ek olarak; %17-19 nikel, %7-9 kobalt, %4,5-5 molibdenyum, %0,6-0,9 titanyum içeriyor. Yani demir, alaşım metallerinin atomlarıyla süper doyurulmuş bir halde. Alaşım önce yaklaşık 820°C'ye ısıtılıyor. Bu sıcaklıkta, ince parçalar için 15-30 dakika, büyük parçalar için de kalınlığın 2,5 cm'si başına 1 saat olmak üzere tutularak, tümüyle ostenitli bir çelik yapısı elde ediliyor. Ardından hava

akımıyla oda sıcaklığına kadar soğutulan malzeme, danelerinin kristal yapısı ağır şekilde bozukluklara (dislokasyon) uğramış olan yumuşak bir martensitli demir-nikel çeliğine dönüşüyor. Bundan sonra, yaklaşık 3 saat süreyle 480-500 °C'de 'eskitme' ('aging') işlemi uygulanıyor. Bu işlem sırasında, martensit dönüşümünden geriye kalan bozukluklar etrafında; Ni₃Mo, Ni₃Ti veya Ni₃(Mo,Ti) metal karışımlarının çöktüklerinin ('precipitation') ince bir dağılımı oluşuyor. Çeliğe olağanüstü sertliğini veren, bu çöktükler. Alüminyum, bakır ve demir dışı diğer alaşımlardaki çöktüklerle sertleşmeye benzediğinden, bu son işleme eskitme ('aging'), alaşımın başlangıçtaki

İRAN DOSYASI:

İran'ın halen kurulu elektrik gücü kapasitesinin dörtte üçü doğal gazla, kalanı hidroelektrik ve petrole dayalı. İddialı bir nükleer enerji programı var. Buşehr'deki santral alanında iki PWR reaktörü kuruluyor ve 1.000 MW'lık ilki tamamlanmak üzere. 25 yıl içerisinde toplam olarak 19.000 MW'lık nükleer kapasite kurulması planlanıyor. Şimdiki 1.000 MW'lık düzeyin; 2020'de 7.000, 2030'da 20.000 MW'a çıkartılmasını öngören programın amacı, petrol ve doğal gaz kaynaklarını, ihracata yöneltip döviz kazanmak.

İran'ın nükleer enerji programının başlangıcı, Şah Rıza Pehlevi zamanına dayanıyor. 1960'lı yıllarda, Tahran Üniversitesi'ne bağlı bir Nükleer Araştırma Merkezi ve bu merkezde 5 MW'lık ısı güce sahip ağır sulu bir araştırma reaktörü kurulmuştu. 1974 yılında, Buşehr'deki 1.000 Mw'lık basınçlı su reaktörünün inşasına, bir Alman firması tarafından başlandı. Aynı yıl Hindistan ilk nükleer denemesini yapmıştı. Ardından, Urenco şirketi için Hollanda'da çalışan Pakistanlı mühendis Abdül Kadir Han, santrifüj teknolojisi hakkında işinden edindiği gizli bilgileri Pakistanlı ajanlara aktarmaya başladı. Hollandalı yetkililer durumun farkına varmıştı. İki defasında belge aktarırken izlenmiş, fakat CIA'nın kendisini takip etmek istediklerini bildirmesi üzerine, faaliyetlerine müdahale edilmişti.¹

İran nükleer teknoloji alanındaki ikinci adımını, 1975 yılında Fransa'yla yaptığı işbirli-



ği anlaşmasıyla attı. İsfahan'ın güneydoğusunda, İsfahan Üniversitesi'ne bağlı bir Nükleer Teknoloji ve Araştırma Merkezi kurulacaktı. Merkezin amacı, Buşehr'deki reaktörü çalıştıracak personeli yetiştirmekti. Aynı yılın sonunda, Abdül Kadir Han, Hollanda'daki işini aniden bırakıp ülkesine döndü. Başbakan Zülfiqar Ali Butto tarafından, Pakistan'ın nükleer silah programının başına getirilmişti.

1977 yılında, İran'ın Fransa'yla işbirliği, üç yıl içinde İsfahan'da bir araştırma reaktörü ve bir yakıt işleme tesisinin de kurulmasını kapsayacak biçimde genişletildi. İran aynı yıl, 20 kg fakir U₃O₈ satın aldı ve alımı IAEA'ya bildirip, malzemenin güvenlik denetimlerinin dışında tutulmasını istedi. İstek kabul edildi.

Ancak, 1979 yılındaki İslam Devrimi sonrasında, bu program kesintiye uğradı. Alman firması İran'a uygulanan ambargo nedeniyle, Buşehr'deki santral inşasından çekilmek zorunda kaldı. Yeni yönetim İsfahan'daki merkezin amaçlarını gözden geçiriyordu.

Pakistan'da Abdül Kadir Han, adının verildiği Han Laboratuvarları'nda, nükleer silah

programını çeşitli yönleriyle geliştirmekteydi. 1980'li yılların başlarında, tasarımına dayalı santrifüjler imal etmeyi başardı. Aygıtlara Pak-1 adı verilmişti.

1982 yılında İran 531 ton doğal U₃O₈ satın aldı. Bu miktarda sarı pasta ile, yakıt işleme süreciyle ilgili kapsamlı deneyler yapılabildi. İsfahan Nükleer Teknoloji Merkezi'ndeki Yakıt İmalat Laboratuvarı'nda, yakıt kapsülü imalatı için, 'tezgah ölçüğü'nde kg düzeyinde UO₂ hazırlanmasına başlandı. Malzemenin bir kısmı da, Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'nde amonyum uranil karbonat (AUC) ve UO₃'e dönüştürülecek, zenginleştirme adımına girdi olan UF₄ ve UF₆ bileşiklerini üretelekti. Yakıt zenginleştirme işlemi için, Tahran'ın 15 km kadar güneydoğusundaki Natanz kasabasında bir pilot tesisin kurulması kararlaştırıldı. Natanz'da ayrıca, doğal uranyumla çalışan reaktör teknolojilerine yönelmek üzere, bir de ağır su üretim tesisinin kurulması fikri ortaya atılmıştı.

İran 1987 yılında 'yabancı bir arac'dan Urenco tasarımına dayalı santrifüjler temin etti. Bu aracın, Abdül Kadir Han olduğu ve 1986 yılında, nükleer teknoloji aktarma önerisiyle İran'ı ziyaret ettiği sanılıyor. Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'nin Radyokimya Laboratuvarları'nda üretilen UF₄'ün 9,43 kg'ı UF₆ üretimi için ayrılarak, tezgah ölçüğünde kg düzeyinde deneylere başlandı.

1988 yılında, İsfahan Nükleer Teknoloji Merkezi'ndeki 'Yakıt İmalat Laboratuvarı'nda, 1978'de denetim dışı tutulmuş olan fakir uranyumdan üretilen UO₂ preslenip fırınlanarak

yapısı martensit olduğundan da, üretilen çeliğe 'maraging' ('martensite-aging') çeliği deniyor.

Bir santrifüj evresinin başardığı zenginleştirme faktörü, diffüzyon evresinininkine oranla çok daha yüksek olmakla beraber, düşük düzeyde zenginlik oranları için dahi, birden fazla ünite seri olarak kullanılır. Öte yandan, ünitelerin çıktı hızı sınırlı olduğundan, yılda birkaç kilogramlık bomba düzeyinde zengin ürün eldesi için, onbinlerce santrifüj ünitesi gerekir. Dizi halinde çalıştırılan santrifüjlerin birinden fırlayan bir parçanın, yüksek hız nedeniyle yandakine, ondan fırlayan bir parçanın da bir diğerine çarpıp dengesini bozması ve bir 'domino etkisi'yle, kapsamlı hasara yol açması mümkün. Bu nedenle, koruyucu kabın, içindeki vakuma dayanıklı olmanın çok daha ötede güçlü olması gerekir. Aynı kabın içine birden fazla ünite koymak mümkündür. Bu geliştirilmiş santrifüj tasarımı, Almanya-Hollanda ticaret şirketi Urenco tarafından, nükleer santraller için zenginleştirilmiş uranyum üretiminde kullanılıyor.

Santrifüjle zenginleştirme; görece düşük enerji tüketimi, başlatma ve devreye sokma süresinin kısalığı, modüler yapısı nedeniyle, gelecekte de en fazla tercih edilen teknoloji olacağı benziyor. Elektrik tüketimi, bir gaz diffüzyonu tesisine göre çok daha az olduğundan, gaz diffüzyon tesislerine olduğu gibi kolayca farkedilebilen elektrik üretimi ve soğutma tesislerine gereksinimi yok. 2004 yı-

tabletlar hazırlanıyordu. Tahran Araştırma Reaktörü'nde, bu UO_2 tabletlerinin ışınlanmasına, ayrıca Radyokimya Laboratuvarı'nda, tezgah ölçeğinde kg düzeyinde UF_4 'ün, kuru ve yaş yöntemlerle üretimine başlandı.

Laboratuvar çalışmaları, üretim tesisi kurma aşamasına gelmişti. İran bu amaçla 21 Ocak 1990'da, Çin'le bir nükleer işbirliği anlaşması imzaladı. Natanz'daki yakıt zenginleştirme pilot tesisinin yanında, ticari ölçekli bir zenginleştirme tesisi kurulacaktı. İsfahan'daki yakıt kimyası ve imalatı laboratuvarları, birer yakıt çevrimi ve imalat tesisine dönüştürülecekti. Yakıt imalat tesisi, yakıt zarfı için zirkonyum alaşımı üreten bir de alt tesis içerecekti. Bu merkezde ayrıca, 27 kW'lık bir 'Minyatür Nötron Kaynağı Reaktörü'nün (MNKR) kurulması planlanıyordu. Çalışmalara kısa süre sonra başlandı. Çin bu sıralarda, Pakistan'la Kuzey Kore'ye de nükleer teknoloji transferinde bulunmaktaydı. Daha sonra saptandığı üzere, Han Laboratuvarları bir Çin şirketinden, santrifüj yapımında kullanılabilecek türden 5.000 adet özel mıknatıs satın almıştı. Abdül Kadir Han'ın bir ülke dışı seyahati sırasında gizlice yoklanan bagajında, ilkel bir bomba tasarımının çizimlerine rastlandı. ABD bunun üzerine, Pakistan'a yaptığı ekonomik ve askeri yardımı kesti. Pakistan nükleer programını dondurduğunu açıklamak zorunda kalmıştı. Abdül Kadir Han daha sonra, programın hiçbir aşamada durdurulmamış olduğunu bildirecekti.

İran 1991'de; 1005 kg doğal UF_6 , 402 kg doğal UF_4 , 401,5 kg doğal UO_2 ithal etti. Uran-

lında, Pakistan'ın nükleer silah programını yönetmiş olan mühendis Abdül Kadir Han, en az üç ülkeye bu santrifüjlerden temin etmiş olan bir gruba yardımcı olduğunu kabul etti.

Aerodinamik Ayırıştırma

Bu yöntemde girdi olarak, hidrojen veya helyum gibi bir taşıyıcı gazla karıştırılmış UF_6 buharı kullanılır ve karışım, önce basınçlandıktan sonra bir memenin ucundan, kavisi veya bombeli bir tüpün içine, yüksek hızla salınır. Taşıyıcı gazın işlevi, ağır UF_6 moleküllerini, aksi halde mümkün olandan çok daha yüksek hızlara taşıyabilmektir. Gaz molekülleri, tüpün kavisi iç yüzeyini yalayarak geçerken, yüzeyin eğrilik yarıçapıyla ters orantılı merkezi ivmelenmeye tabi kalırlar. Bu yüzden, görece ağır olan $U^{238}F_6$ molekülleri, daha dış yarıçap konumlarına doğru savrulurken, daha hafif olan $U^{235}F_6$ molekülleri, eğrilik merkezine daha yakın patikalar izler. Sonuç olarak, katmanlar arasında bir zenginlik farkı oluşur. Tüpün çıkışında bu katmanlar, tüp kavisiye düzlemsel, bombeliye silindirik şeklindeki bir 'bıçak' tarafından kesilip, farklı ceplere yönlendirilir. Yöntem aslında santrifüj tekniğinin, hareketli parça içermeyen bir biçiminden ibaret. Mekanik enerjiyle döndürme yerine, basınç farklarıyla güdümlenen diffüzyona dayanıyor. Meme biçimiyle Almanya'da, 'anafor tüpü' biçimiyle de Güney Afrika'da geliştirildi. Güney Afrika'da santral ya-

yum tetraflorid ve hegzaflorid, sadece zenginleştirme işleminde kullanılabiliyordu ve NPT üyelerinin buna buna hakkı vardı. Ancak, ilgili alımların ve süreç aşamalarının IAEA'ya bildirilmesi gerekirken, İran bunu yapmadı. 402 kg UF_4 'ün 9,4 kg'ından, Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'nde 6,5 kg UF_6 üretilecek, 376,6 kg'ı da, merkezdeki 'Cabir Bin Hayan Çok Amaçlı Laboratuvarları'nda (CHL) gerçekleştirilecek olan 113 deneyle uranyum metaline dönüştürülecekti. İlk üretilen metal örneklerinin, lazerle uranyum zenginleştirme (AVLIS) deneylerinde kullanılmasına başlandı. 401,5 kg doğal UO_2 'nin 44 kg'ı CHL'de, sarı pasta üretiminde kullanılan itekli sütunların denenmesinde ve yakıt tableti imalatında kullanılacaktı. Tabletler daha sonra ışınlanıp, ışınlanan örneklerin 1-2 kg kadarı, CHL'de ayrıştırılacaktı. 402 kg UO_2 'nin 2,7 kg'ı, UF_4 üretimine yönlendirilecekti.

Aynı yılın Eylül ayında, ABD uyduları İsfahan'daki inşaat etkinliklerini saptamıştı. Çin'in



Natanz Uranyum Zenginleştirme Tesisi (uydu görüntüsü)

ktı için %3-5, nükleer silah yapımı için %80-93 düzeyinde zenginleştirme amaçlarıyla kullanıldıktan sonra terkedildi. Çünkü, büyük miktarlarda elektrik enerjisi gerektirdiğinden, ekonomik bulunmuyor.

Kimyasal ve İyon Değiştirme

Her ne kadar, uranyumun 235 ve 238 izotoplarının kimyasal davranışları 'hemen hemen' aynı ise, de, tam olarak aynı değil. Bir kere, daha fazla nötron içeren U^{238} izotopunun yarıçapı daha büyük olduğundan, aynı sayıda proton daha büyük bir hacime dağılmış halde. Dolayısıyla, U^{238} 'in özellikle s yörüngelerindeki, merkez simetrik küresel dağılımlı elektronlar, çekirdekte daha seyreklik bir yük dağılımı görüyor. Öte yandan, U^{238} 'in çekirdek spini ve manyetik momenti sıfır iken, U^{235} 'inki, sırasıyla 7/2 ve -0,35 μ_N değerindedir (μ_N 'nükleer manyetik moment'). Öte yandan, yörünge hareketleri kapalı eğriler üzerindeki akımlara eşdeğer olan elektronlar, çekirdek bölgesinde, zayıf da olsa bir manyetik alan oluşturmaktadır. Bu manyetik alan, U^{235} çekirdeğinin manyetik momentiyle etkileştiğinden, oysa U^{238} için böyle bir etkileşme söz konusu olamadığından, iki izotopun elektronlarının enerji düzeyleri, az biraz farklıdır. Temel enerji durumunun hiperince düzeyleri



Bushehr Nükleer Güç Santrali (uydu görüntüsü)

kurmakta olduğu yakıt çevrimi tesisi özellikle dikkat çekerken, Natanz'daki uranyum hegzaflorid tesisinin inşası devam ediyordu. Bu tesisler de keza, IAEA'ya bildirilmemişti.

1992 yılında, Tahran Araştırma Reaktörü'ndeki UO_2 tabletlerinin ışınlanmasına son verildi. 1988'den beri, 6,9 kg fakir UO_2 ışınlanmıştı. Işınlanan hedeflerin 3 kg'ı, Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'nin Nükleer Güvenlik Binası'ndaki üç adet 'zırhlı eldiven kutusu'nda ayrıştırıldı. Ayırıştırma işleminin devamına gerek görülmedi. Elde edilen küçük miktardaki plutonyum CHL'de, kalan 4 kg ışınlanmış UO_2 hedef ise, kaplara konularak merkezin bir başka tarafında koruma altına alındı. Eldiven kutuları sökülüp, ilgili donanımın birlikte İsfahan Nükleer Teknoloji Merkezi'ne, atıklar da Kum'daki bir tuz bataklığına taşınıp depolandı.



Yakıt çubukları içinde uranyum dioksit kapsülleri

arasındaki ayrışma farklılığında olduğu gibi... Dolayısıyla, iki izotop, bazı kimyasal davranış farklılıkları sergiler. Örneğin U^{235} 'in, daha yüksek değerlikli bileşikler oluşturma eğilimi, U^{238} 'inkinden biraz daha yüksektir. Yani, iki izotopa aynı koşullar altında, örneğin uranil klorid U_2OCl_2 veya uranyum tetraklorid UCl_4 oluşturma imkanı sunulduğunda, U^{235} izotopu U^{238} izotopuna göre; +6 değerlikli uranil klorid oluşturma seçeneğini, +4 değerlikli uranyum tetraklorid oluşturma seçeneğine oranla, az bir farkla, daha fazla tercih eder.

Tercihler arasındaki bu küçük fark, zenginleştirme amacıyla istismar edilebilir.

Fransa'da geliştirilen 'kimyasal alışveriş' ('chemex') yöntemi, derişik hidroklorik asit çözeltisinden oluşan bir su fazında çözünmüş olan U^{+4} ve U^{+3} iyonları arasındaki alışverişten yararlanıyor. U^{235} izotopunun +4 değerlikli iyonlar arasındaki sayısal oranı, tercihi doğrultusunda artmış durumda. Bu yüksek değerlikli iyonlar, asitli çözeltide çözünmeyen bir organik çözücü aracılığıyla, çözeltiden çekilip alınıyor. Böylelikle, organik çözücüye

geçen uranyumdaki U^{235} 'in sayısal oranı, bir miktar artmış oluyor. Fransızların tercih ettiği organik çözücü, kerosen gibi bir aromatik çözücüyle seyreltilmiş tributil fosfat (TBF). Organik çözücü bir tepkime sütununun alt, daha ağır olan asitli su çözeltisiye üst tarafından veriliyor. Sütun, fazlar arasında daha verimli ve yakın bir temas sağlayabilmek amacıyla 'itkili' ('pulsed') bir sütun. Sütun çıkışındaki az biraz zenginleşmiş uranyum bileşimini daha fazla zenginleştirmek için, organik çözücünden sıyırdıktan sonra, tekrar asitli su fazında çözülüp, sütuna yeniden vermek gerekiyor. Ya da çok sayıda sütun, ardışık evreler halinde kullanılmak durumunda. Fazlar arasındaki temas ne kadar güçlüyse, belli bir zenginleştirme düzeyi için gereken işlem ya da evre sayısı o kadar az ve süreç süresi kısa oluyor. Bu amaçla, sürecin sonraki aşamalarında yüksek zenginleşme düzeylerine ulaşıldıkça, fazlar arası teması santrifüj desteğiyle artırmak suretiyle, evre sürelerini kısaltıp, uranyum envanterini azaltmak mümkün.

Japonya'nın Asahi Kimyasallar Firması tarafından geliştirilmiş olan 'iyon değişimi' yöntemindeyse, organik çözücünün işlevini, bir 'anyon değişimi reçinesi' üstleniyor. Bu sefer uranyumun +6 değerlikli uranil ve +4 değerlikli metal iyonlarını içeren sulu asit çözeltisi, reçineyle dolu bir sütunun içerisinden geçirilmektedir. Reçinede uranyumun emilmiş +6 değerlikli bir uranil bandı oluşur ve bu bant, sulu asit çözeltisiyle birlikte yüksek

1992 yılında, Rusya ile yapılan bir anlaşma kapsamında, Buşehr'deki santral inşaatına yeniden başlandı. Tasarımda bazı değişikliklere gidilmiş, santrale ikinci bir ünitenin eklenmesine karar verilmişti.

İran 1993'te 50 kg uranyum metali satın aldı. Bu arada, Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'nin Radyokimya Laboratuvarları'ndaki UF_6 üretimi başarıyla sonuçlanmış, çalışmalarında 9,43 kg UF_4 kullanılmıştı. Hagzaflorür üretimi bundan böyle İsfahan'daki çevrim tesisinde yapılacağından, bu laboratuvar sökülüp, donanımı Karaj Nükleer Tıp ve Tarım Araştırma Merkezi'ne taşınarak, burada depolandı. Sıra UF_6 'nın zenginleştirilmesi işlemine gelmişti. 1995 yılında, Tahran'daki Kalaye Elektrik Şirketi'nin atölyelerinde santrifüj bileşenleri imal

edilerek, montaj denemelerine başlandı. Aynı yılın eylül ayında, Çin İran'a uranyum zenginleştirme teknolojisi sattığını kabul etti. Ertesi yıl durumu IAEA'ya bildirdi.

ABD'nin baskısı üzerine Çin Ekim 1997'de İran'ın nükleer çabalarına yardımcı olmayacağını, fakat 'minyatür nötron kaynağı' niteliğindeki küçük araştırma reaktörüyle İsfahan'daki zirkonyum üretim tesisini tamamlayacağını açıkladı. Çin'in çekilmesi üzerine, İsfahan'daki yakıt çevrimi ve yakıt imalat tesisleriyle, Natanz'daki yakıt zenginleştirme tesisindeki inşaat etkinliklerini İranlı mühendisler devraldı.

1998 yılında IAEA devreye girmişti. İran'ın bu zamana kadar ithal etmiş olduğu uranyum, talebi üzerine denetim dışı bırakılmış olan alımlar da dahil olmak üzere, incelemeye alındı. İran'dan nükleer teknoloji alanındaki etkinlikleri hakkında bilgi isteniyordu. İran, 1977'de satın alınan 20 kg U_3O_8 'le, 1981-93 yılları arasında yakıt işleme deneyleri yapıldığını ve bunun 5,2 kg'ının, deneyler sırasındaki 'süreç kaybı' olduğunu bildirdi. Aynı bildirimde göre, yine 1977'de satın alınan 50 kg fakir UO_2 , 1985-93 yılları arasında yakıt imalat araştırmalarında kullanılmış ve bu deneyler sırasında da 13,1 kg'lık süreç kaybına uğranılmıştı. Halbuki bu UO_2 'nin 6,9 kg'ı, Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'ndeki araştırma reaktöründe ışınlama ve plutonyum ayrıştırma deneylerinde kullanılmıştı. 1982'de satın alınan 531 ton U_3O_8 'un ise; 1982-93 arasında, İsfahan yakıt çevrim tesisinde işleme tabi tutulduğu ve 45 kg'lık süreç kaybına uğranıldığı bildiriliyordu. Halbuki bu 45

kg'la, İsfahan'da 12,2 kg UO_2 üretilmiş ve diğer UO_2 malzemesiyle birlikte, 1989-93 arasında Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'nde kullanılarak 10kg UF_4 üretilmişti. IAEA bildirilen süreç kayıp düzeylerinin doğruluğunu saptamak amacıyla, ilgili tesislerin tasarım bilgilerini istedi.

1998 yılında, Pakistan ilk nükleer denemesini başarıyla gerçekleştirdi. Abdül Kadir Han, bir halk kahramanı olmuştu. İran bundan böyle, nükleer programını uluslararası ilişkilerle sürdürmekte zorlanacaktı. Zenginleştirilmiş yakıt temin edebilme olasılığı zayıflamıştı. Bu durumda, doğal uranyuma dayalı ağır su reaktörlerini de, nükleer program kapsamına almak lazımdı. İran kendi imkanlarıyla, Tahran'ın güneybatısındaki Arak kasabasında, ağır suyla çalışan doğal uranyum yakıtlı 40 MW'lık bir araştırma reaktörü (IR-40) ve yanında bir ağır su üretim tesisini kurma kararı aldı. Tesiste, radyoizotop üretiminde kullanılan 'sıcak hücre'ler de bulunacaktı. Bu adımı atmadan önce, İsfahan Nükleer Araştırma Merkezi'nde, biri grafit ve diğeri normal su yavaşlatıcılı alt kritik birer 'yığın' oluşturularak, yakıt imalatı konusundaki deneylerin sınanması kararlaştırıldı. Öteden beri sürdürülen doğal uranyum arama çalışmalarına, en yeni teknikler kullanılarak hız verilmiş ve ülkenin çeşitli bölgelerinde 3.000 ton UO_2 'ye eşdeğer rezerv belirlenmişti. Bu rezervin üçte birinden fazlası, Soghand ve Yezid madenlerindedi. Soghand'daki iki kuyu üzerinde yoğunlaşıldı. Çıkarılan cevheri işlemek için, Bandar Abbas'ta bir sarı pasta üretim tesisi kurulacak



İsfahan Uranyum Yakıt Çevrimi Tesisi (uydu görüntüsü)

Yol boyunca reçinedeki uranil iyonlarıyla çözeltideki uranyum iyonları arasında yer alan alışverişler sırasında, U^{235} iyonları, +6 değerlik tercihleri doğrultusunda, reçineye daha fazla geçiş yaparlar. Sonuç olarak, reçinedeki emilmiş uranil, kısmen zenginleştirilmiş olur. Emici 'anyon değişimi' reçinesi, Asahi firmasının yarı geçirgen zarlar üzerindeki 25 yıllık birikimini kullanarak geliştirdiği bir imalat tekniğiyle, gözenekli küresel boncuklar halinde üretilmiş. Kürecikler çok yüksek bir ayırıştırma verimine sahip ve bağırdıkları iyon değişimi hızı, ticari reçinelerinkinden 1.000 kat daha hızlı. Alt tarafı boncuk...

Plazma Ayırıştırması:

Bu yöntem, hızla gelişen süperiletken mıknatıs teknolojisini ve plazma fiziğini kullanarak, uranyumu daha yüksek verimle zenginleştirmek amacıyla üzerinde çalışılan bir yöntem. Süreç, içi vakumlanmış silindirik bir kabın içerisinde bulunan, bir uçtaki uranyum metalinden oluşan bir 'besleyici' plaka ile, diğer uçtaki 'toplayıcı' arasında yer almaktadır. Uranyum plakanın yüzey atomları, ağır iyon bombardımanı ile kopartılıp ('sputtering') buharlaştırılır. Aynı sırada, plakanın yanındaki bir mikrodalga anten, civardaki serbest elektronları hızlandırıp, buhar haline geçmiş olan uranyum atomlarıyla çarpıştırılmaktadır. Çarpışmaların etkisiyle uyarılıp kendi elektronlarından kaybeden uranyum atomları, U^{235} ve

U^{238} iyonlarının karışımından oluşan bir plazma oluşturur. Plazma, örneğin plakalar arasında uygulanan statik gerilim nedeniyle, toplayıcıya doğru harekete geçer. Silindirin eksenine boyunca, dışarıdaki süperiletken bir bobin tarafından üretilen güçlü bir manyetik alan bulunmaktadır. Uranyum iyonları, silindir eksenine dik yönlere hız bileşenlerine de sahip olduklarından, bir yandan eksene paralel olarak ilerlerken, bir yandan da manyetik alan çizgilerinin etrafında 'siklotron frekansı' ile ($qB/2\pi m$) dönerek, spiraller üzerinde ilerlemeye başlarlar. Daha hafif olan U^{235} iyonlarının siklotron frekansı, diğerlerine göre biraz daha yüksektir. Plazmanın yolu üzerinde bir de, salınımlı elektrik alanı üreten bir uyarma bobini vardır. Bobinin ürettiği elektrik alanı, silindir eksenine hep dik kalarak dönmektedir. Dolayısıyla, kah iyonlar üzerinde iş yaparak onları hızlandırmakta, kah da hareketlerine karşı çıkıp yavaşlatmaktadır. Ancak, alanın salınım frekansı U^{235} 'in siklotron frekansına ayarlanmışsa eğer, bu iyonlar üzerinde yaptığı ortalama iş pozitif olur. Bu iyonların spiral yarıçapı, giderek büyür. Halbuki U^{238} iyonları üzerinde yapılan ortalama iş sıfıra yakın olduğundan, onlar fazlaca etkilenmezsiniz, yollarına küçük yarıçaplı spirallerle devam ederler. Plazma nihayet toplayıcı plakaya ulaşmadan önce, jaluzi benzeri bir çıkıntılar dizisini aşmak zorundadır. Plazmadaki her iki tür iyon için de, bu çıkıntılara çarpıp kalma veya yoluna devam edip toplayıcı plakaya ulaşma

olasılıkları sözkonusudur. Ancak, birinci olasılığın ikinciye oranı, spiral yarıçapı büyümüş olan U^{235} iyonları için daha büyüktür. Dolayısıyla, çıkıntıların üzerinde biriken uranyum, toplayıcının üzerinde birikene göre, bir miktar zenginleşmiş olur. Sürecin evreler halinde tekrarlanması suretiyle, doğal uranyumu yüksek zenginlik düzeylerine ulaştırmak mümkündür.

ATIK YAKIT İŞLEME ve PLUTONYUM ELDESİ:

Üst düzeyde radyoaktif olan kullanılmış yakıt, kesilip parçalandıktan sonra, sıcak ve derişik nitrik asit içerisinde çözülür. Bu sulu asit çözeltisinde, uranyum ve plutonyum gibi aktinidlerle fisyon ürünleri, bir arada çözülmüş haldedir. İlk aşamada, çözelti itkili bir tepkime sütununda, organik bir çözücüyle ters akıntıya sokulur. Organik çözücü; %30 oranındaki tributil fosfatın, kerosen veya dodekan gibi bir 'hidrojenlenmiş propilen üçlüsü' içinde çözülmüş halinden oluşmaktadır ve derişik asit ortamında aktinidleri bünyesine çekmek, seyreltik asit ortamında da geriye vermek eğilimindedir. Birincisine organik çözücüyle 'çekme' ('extraction'), ikincisine de 'sıyırma' ('stripping') işlemi denir. Dolayısıyla bu ilk aşamada, derişik asit çözeltisindeki uranyum ile plutonyum, organik çözücünün bünyesine çekilir. Tributil fosfatla aktinidler

ti. İran aynı yıl, Kalaye Elektrik Şirketi'nin atölyelerinde imal edilen santrifüjleri keson gazıyla denedi. Ertesi yıl santrifüjlerin, 1991'de ithal edilmiş olan UF_6 ile denenmesine başlandı. Öte yandan, Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'nde, 1993'te alınan uranyum metaline AVLIS deneyleri yapıyordu. Buradaki lazer deneylerine 2000 yılında, 8 kg uranyum metali kullanıldıktan sonra son verildi. Çalışmalara, Laşkar Abad'da kurulacak olan 'Lazerle Uranyum Zenginleştirme Pilot Tesisi'nde devam edilecekti.

İran Temmuz 2000'de IAEA'ya, İsfahan'daki 'Uranyum Yakıt Çevrimi Tesisi'nin tasarım bilgilerini ilettiler. Verilen bilgiye göre, tesiste uranyum cevheri UF_6 'ya dönüştürülecek ve ülke dışında zenginleştirildikten sonra, tekrar tesise getirilip, düşük zenginlikte UO_2 'ye ve zengin veya fakir uranyum metaline dönüştürülecekti. Eylül 2002'de IAEA, İran'ın bildirimlerinin doğruluğunu saptamak için yerinde inceleme ve Arak'ta inşası planlanan ağır su üretim tesisi hakkında bilgi talebinde bulundu.

Ekim 2002'de Laşkar Abad'daki lazerle zenginleştirme pilot tesisinde AVLIS deneylerine başlandı. Kalaye atölyelerindeki santrifüj deneylerine ise, %1,2 zenginlik düzeyi başarıldıktan sonra son verildi. Aynı yıl, IAEA ekibinin İsfahan'daki Yakıt Çevrim Tesisi'nde yaptığı 'tasarım bilgileri denetimi' sırasında, fakir uranyum metali hattının, doğal uranyum metali üretim hattına dönüştürülmüş olduğu farkedildi. Fakir uranyum metali yalnızca radyasyon zırhı yapımında kullanılabilirken, doğal uranyum



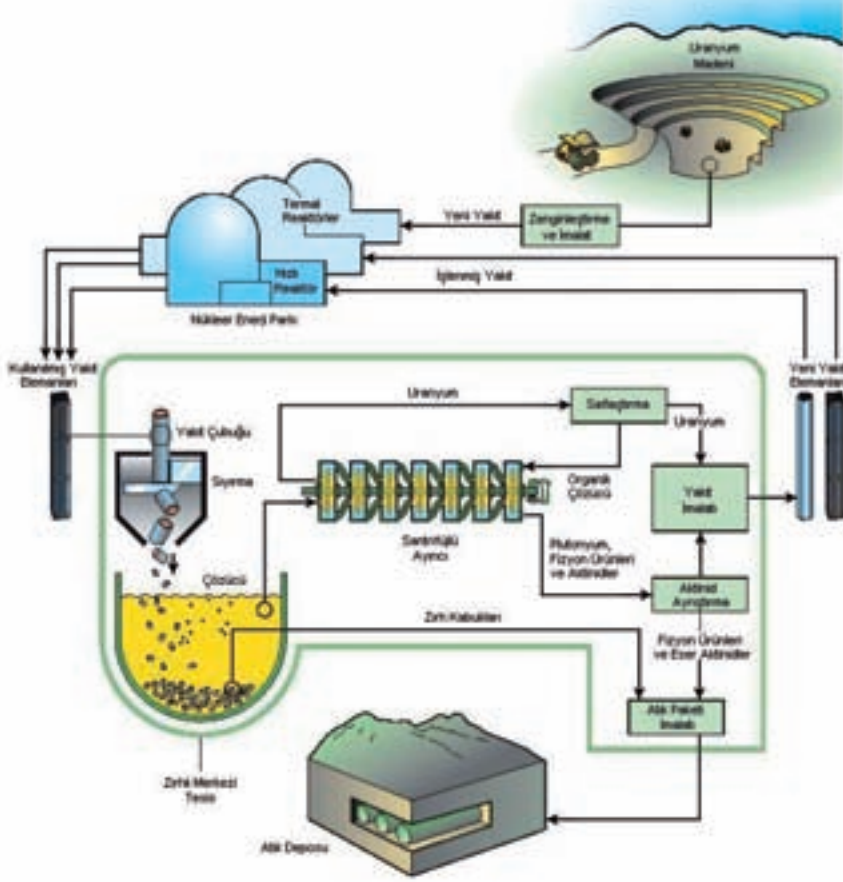
Arak Ağır Su Üretim Tesisi (uydu görüntüsü)

metalini, lazerle zenginleştirmek veya bir reaktörde ışınlayarak ya da uygun bir reaktör tipinde yakıt olarak kullanarak plutonyuma dönüştürmek mümkündür. Değişimin nedeni sorulduğunda İran, zırh malzemesi üretiminin planlandığını bildirdi. Öte yandan, yerinde yapılan incelemeler İran'ın envanterinde, olması gerekenden daha fazla işlenmiş doğal uranyumun bulunduğunu gösteriyordu. Kaynağı soruldu.

İran Şubat 2003'te, 22 kg uranyum metali kullandıktan sonra, Laşkar Abad'daki lazer deneylerine son verdi. Pilot tesis sökülecekti. Aynı ay içerisinde, 1991'de ithal etmiş olduğu doğal uranyumu IAEA'ya bildirdi. Bu malzemeyi kullanarak, yakıt çevrimi sürecinin; uranyumun çözünmesi, itkili kolonlarda saflaştırılması ve uranyum metali üretimi gibi bazı bileşenlerinin denenmesi için kullanıldığını kabul ediyor, fa-

kat süreç bileşenlerinden UO_2 'nin UF_4 'e ve UF_4 'ün UF_6 'ya dönüştürülme işlemlerinin denenmemiş olduğunu bildiriyordu. Halbuki, IAEA'nın teknik ekibi tarafından yerinde yapılan incelemeler sırasında alınan, 1991'de ithal edilmiş olan fakir UO_2 'nin örneklerinde fakir UF_4 bulunmuştu. Bu, İran'ın, stoklarında UF_4 görünmediğinden, doğal uranyumu zenginleştirmek amacıyla floride dönüştürme deneyleri yaptığı anlamına geliyordu. Nedeni sorulduğunda, İran 1991 yılında ithal etmiş olduğu UF_4 'ü bildirdi. Bu durumda, doğal uranyumdaki UF_4 , bir sızıntıdan kaynaklanmış olabilir. Bildirilen UF_4 'ün envanter incelemesi, stokların 1,9 kg eksik olduğunu gösterdi. İran buna, UF_4 'ün depolandığı silindir kapların vanalarından buharlaşma yoluyla sızıntının yol açtığını belirtiyordu. Halbuki, olağan koşullarda katı olan UF_4 'ün bu miktarda sızıntıya yol açacak derecede buharlaşması pek olası değildi. İran'ın zenginleştirme sürecine girmiş olduğu anlaşılıyordu. İlgili donanımın sorgulanmasına başlandı.

İran Atom Enerjisi Kurumu'nun başkanı Gulamrıza Ağazade, 10 Şubat 2003'te, IAEA'nın talebi üzerine; İran'ın iddialı bir nükleer enerji programı başlatmış bulunduğunu ve uranyum işlemeye hazır olduğunu açıkladı. Nantanz'daki 'Yakıt Zenginleştirme Pilot Tesisi'nin inşası devam ediyordu. Tesiste kullanılması planlanan 1.000 kadar santrifüj kabından 100'ü yerleştirilmişti ve kalanlar yıl sonuna kadar yerleştirilmiş olacaktı. İran IAEA'ya, Na-



arasında bir molekül kompleksi oluşmuştur. fisyon ürünleri ve diğer safsızlıklar ise, hala çözeltidedir. Organik çözücü ikinci bir itkili tepkime sütununda, bolca U^{4+} iyonu içeren bir seyreltik asitli su çözeltisiyle keza ters akıntıya sokulur. U^{4+} iyonları organik çözücüdeki plutonyumun yerini alırken, pluton-

yum seyreltik asit çözeltisine geçer. Plutonyumun çözeltiye geri alınmasını sağlayan bu işlemi, indirgeyici bir etken madde aracılığıyla plutonyumun oksitlenme düzeyini düşüren bir 'redox sıyırması' uygulayarak, daha da etkin hale getirmek mümkündür. Üçüncü aşamada, organik çözücü üçüncü bir itkili tepki-

tanz'da ayrıca, ticari ölçekte bir uranyum zenginleştirme tesisinin kurulması için çalışmalara başlandığını bildirdi. İsfahan'daki, yılda 200 ton kapasiteli uranyum çevrimi tesisinde üretilen UF_6 , buraya getirilip %4 düzeyine zenginleştirilecekti. Yılda 200 ton UF_6 'nın bu düzeye zenginleştirilebilmesi için, 54.000 santrifüje gerek vardı. Bunların yerleştirilmesine, pilot tesisteki santrifüjlerin denenmesinden sonra, yıl sonunda başlanacaktı. Bu, İran'ın daha önce ülke dışında yapılacağı bildirilen UF_6 zenginleştirme işlemini kendisinin yapacağı anlamına geliyordu. Kalaye Elektrik Şirketi atölyelerinde santrifüj bileşenlerinin imal edildiği açıklanıyor, teknolojinin yerli olduğu ve santrifüj denemelerinin vakumda veya simülasyonlarla yapıldığı, fakat Kalaye veya başka herhangi bir yerde zenginleştirme işlemi yapılmadığı bildiriliyordu. Arak'taki ağır su üretim tesisi hakkında verilen bilgiye göre; uranyum zenginleştirme programının başarısından emin olunamadığından, 1980'li yıllarda doğal uranyuma dayalı bir ağır su reaktörü kurma olasılığı üzerinde durulmuştu. Fakat zenginleştirme programı başarılı olduğuna göre, ağır su üretimine artık gerek yoktu. Tesisin inşa edilip edilmeyeceği belli değildi. IAEA 26 Şubat 2003 tarihli mektubuyla İran'dan, bu konuda ve ağır su reaktörleriyle ilgili olası planlar hakkında ek bilgi istedi.

Mart 2003'te İran, 1991 yılında ithal etmiş olduğu 1005 kg UF_4 'ün, daha önce silindir kaplarının vanalarından sızdığı belirtilen 1,9 kg'ıyla Kalaye Elektrik şirketi atölyelerinde santrifüj

testi yapıldığını kabul etti. 5 Mayıs 2003 tarihli mektubunda da IAEA'ya ilk kez, İsfahan'daki 'Yakıt Çevrimi Tesisi'nin yanına bir de 'Yakıt İmalat Tesisi' kuracağını açıkladı. Tesisin bildirilen amacı, IR-40 araştırma reaktörü ve Bushehr nükleer santrali için yakıt elemanları üretmektir.

6 Haziran 2003 tarihli IAEA raporu, İran'ın nükleer güvenlik anlaşması hükümlerine uymadığını ve daha önce varlığını kabul etmediği bir ağır su araştırma reaktörünü inşa etmekte olduğunu açıkladı. Raporda İran'dan, 1991'de ithal edilmiş ve akibeti bildirilmemiş olan malzemenin denetlenebilmesi için; İsfahan ve Tahran'da bu malzemenin işlendiği ve işlemde kaynaklanan atıklarla donanımın depolandığı tesislerle, Kum'daki atık tesislerine giriş hakkı talep ediliyordu. İran Haziran 2003'te verdiği yanıttan; 1991 yılında ithal etmiş olduğu 402 kg UF_4 'ün 376,6 kg'ının, 1990'ların başlarında CHL'de yapılan 113 deneyle uranyum metaline dönüştürülmüş olduğunu bildirdi. Ardından, 25 Haziran 2003'te, Yakıt Zenginleştirme Pilot Tesisi'ndeki ilk santrifüje, tekli deneme amacıyla UF_4 vermeye başladı.

12 Temmuz 2003'te Ajans yetkililerinin Tahran'ı ziyareti sırasında İranlı yetkililer, İran Nükleer Araştırma Reaktörü'nün (IR-40) teknik özelliklerini tanıtan bir sunum yaptılar. Arak'ta inşa edilecek olan reaktör, belirtildiğine göre yerli bir tasarıma dayanıyordu. Reaktörün amacı, araştırma ve geliştirme, tıpta ve sanayide kullanılmak üzere radyoizotop üretimi idi. Tahran'daki eski araştırma reaktörünün yerine ye-

me sütununda, keza seyreltik bir asit çözeltisiyle yine ters akıntıya sokularak, bünyesinde kalmış olan U^{4+} ve U^{6+} iyonlarının karışımı çözeltiye geri alınır. Bu işlemler dizisini, birkaç kez tekrarlamak gerekir. Çünkü ilk seferinde, asitli çözeltideki fisyon ürünlerinin yüksek radyoaktivitesiyle ışınlanan tributil fosfat hidrokarbon karışımında, bir miktar 'dibutil hidrojen fosfat' oluşur. Bu bozunma ürünü pek çok metali bünyesine çekmeye eğilimli olduğundan, organik çözücü fisyon ürünleriyle kirlenmiştir. İlk döngüden sonra fisyon ürünleri miktarının büyük oranda azalmış olması, ikinci döngüde organik çözücüdeki bozunmayı, dolayısıyla da fisyon ürünü kirlenmesini azaltır.

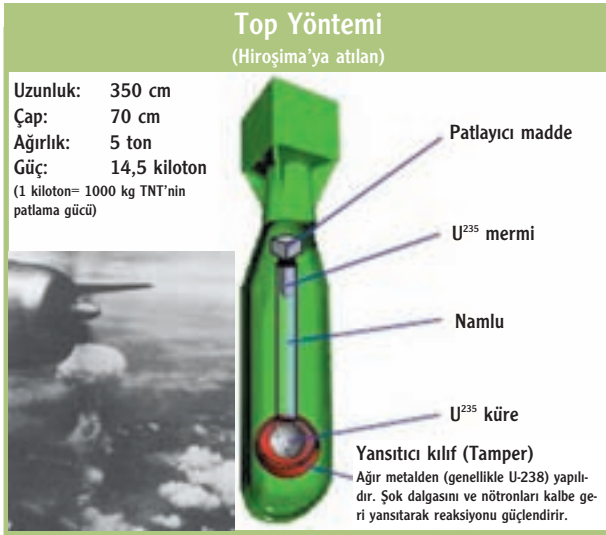
Elde edilen plutonyum nitrat, buharlaştırma yoluyla yoğunlaştırıldıktan ve oksalat çöktürme işlemine tabi tutulduktan sonra fırınlanır. Toz halinde PuO_2 elde edilmiştir. Uranyum nitrat da keza, bu iki işleme tabi tutularak, toz halindeki UO_3 'e ve ardından, hidrojenle indirgenerek UO_2 'ye dönüştürülür. Geri kazanılmış olan uranyum ve plutonyum oksitleri, gerekirse zenginleştirildikten sonra, ya da doğrudan birleştirilerek, 'karışık oksit yakıt' ('Mixed Oxide Fuel', MOX) haline konulabilir. Bu karışım nihayet, yakıt kapsülleri haline getirilip sinterlendikten sonra yakıt çubuklarının içine yerleştirilir.

Atık yakıt işleme sürecinin ilk aşamalarından, kullanılmış yakıtın tonu başına $5 m^3$

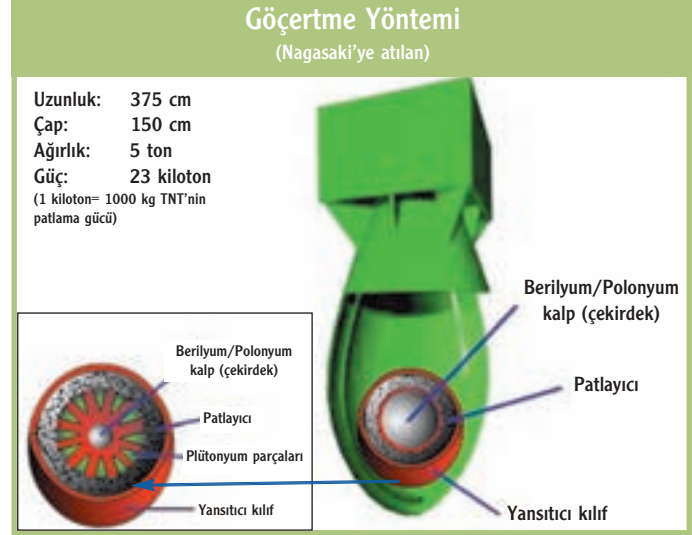
nisinin ithaline çalışılmış, fakat bu mümkün olmayınca, yegane seçeneğin, yerli üretim UO_2 ve zirkonyuma dayalı ağır sulu bir reaktör olduğu sonucuna varılmıştı. Yeterli nötron akısı için 30-40 MWt gücünde bir reaktör lazımdı. IAEA reaktörün tasarım bilgilerini istedi. 4 Ağustos 2003'te İran, IR-40 reaktörünün planlarını IAEA'ya ilettiler. Tasarımda sıcak hücreler yoktu. Sıcak hücreleri bulunmayan bir reaktörde, radyoizotop üretimi amacıyla malzeme örnekleri ısıtılıp, içlerinde oluşan izotopları ayırtmak mümkün değildi. Böyle bir reaktör ancak, araştırma ve plutonyum üretimi için kullanılabilir. IAEA tarafından, bu durumun açıklanması istendi.

19 Ağustos 2003'te İran AEK Başkan Yardımcısı E. Halilpur, IAEA'ya mektubunda, uranyum çevrim süreci hakkında daha önce verilmemiş bilgileri sunuyor ve laboratuvar ölçeğinde çalışmalar yapıldığını kabul ediyordu. 1981-93 arasında Ajans'a bildirilmeksizin ve kilogram düzeyinde olmak üzere; İsfahan Nükleer Araştırma Merkezi'nde de amonyum uranil karbonat, yanında UO_3 , UF_4 , UF_6 hazırlanmış olduğunu kabul etti. UF_4 üretimi, daha önce Yakıt İmalat Laboratuvarı'ndaki deneylerin süreç kaybı olduğu bildirilmiş olan fakir UO_2 ile yapılmıştı. İran aynı gün, Yakıt Zenginleştirme Pilot Tesisi'nde 10'lu bir santrifüj gurubuna, deneme amacıyla UF_6 vermeye başladı.

Ağustos 2003'te Abdül Kadir Han hakkında, İran'a 1989 yılında nükleer teknoloji satma teklifinde bulunduğu dair iddialar ortaya çık-



kadar, üst düzeyde radyoaktif sıvı atık oluşur. Bu miktar, buharlaştırma yoluyla yoğunlaştırma sonucunda 250-500 litre/ton'a indirilip, aktivitesinin azalması için birkaç yıl süreyle, zırhlanmış ve soğutmalı tanklarda bekletilir. Sonra fırınlanarak 35 kg kadarlık katıya dönüştürülüp, borosilikat camlarının bünyesine karıştırılır. Oluşan camda, %11 kadar radyoaktif oksit vardır. Paslanmaz çelikten ağır bidonlara konup, kapakları kaynaklanır. İngiltere'de, nihai atık yer ve yönteminin belirlenmesini beklemek üzere, yeraltı silolarında bekletiliyorlar.



NÜKLEER SİLAHLAR:

Fisil malzeme elde edildikten sonra bomba yapımı, görece kolay bir iş. İkel bir nükleer silah, bir araya geldiklerinde süperkritik olacak olan iki altkritik uranyum kütesini bir topun namlusuna yerleştirip, birini diğerine doğru ateşlemekle yapılabilir. Sonuç, büyük bir patlamaya yol açan süperkritik bir kütle ve açığa çıkan toplam enerjiye 'bombanın verimi' denir. Hiroşima'ya atılmış olan bomba böyle bir düzenekten oluşmuştu. Ancak 'top namlusu tipi bomba' fazla uranyum gerekti-

rir. Ağır ve hantal olup, hem de düşük verimlidir. Bir diğer yöntem; süperkritik bir fisil malzeme küresinin etrafına güçlü patlayıcılar yerleştirip, bu patlayıcıları fevkalade simetrik ve eşzamanlı biçimde patlatarak, küreyi homojen bir şekilde, çok daha süperkritik küçük bir küreye 'göçertmek'tir. Bu tip bir 'göçertme aygıtı'nda, Pu²³⁹ tercih edilmekle birlikte, U²³⁵ de kullanılabilir. Yöntemin, fisil malzeme temininden sonraki en zor tarafı, patlamaların eşzamanlılığını sağlayan elektronik devre elemanlarının yapımı veya ele geçirmesidir. Fakat, 'zahmetine değer'. Çünkü

ti. Pakistan bu iddiaları reddetmekle beraber, Devlet Başkanı Pervez Müşerref, artan baskılar karşısında Han'ı, adını taşıyan laboratuvarın yöneticiliğinden alıp, Devlet Başkanı bilim danışmanlığına getirdi. Han aslında terfi ettirilmişti.

IAEA, Ağustos 2003'te Kalaye Elektrik Şirketi'ne ait atölyeden çevre örnekleri aldı. 14-18 Eylül 2003 tarihleri arasında da Tahran Araştırma Reaktörü'nde ve Natanz'daki Yakıt Zenginleştirme Pilot Tesisi'nde güvenlik incelemelerinde bulundu. Envanter ve tasarım bilgileri kontrolü yapılmış, 1991'de ithal edilen doğal uranyumla ilgili, ithal UF₆ gazının sızdığı bildirilen silindirler incelenmişti. 16 Eylül'de İran temsilcileriyle buluşmada, Kalaye atölyelerinden alınan çevre örneklerinde fakir ve yüksek düzeyde zengin uranyuma rastlandığı bildirildi. İran'ın malzeme stoğunda bunların bulunması gerekiyordu. ABD ve AB tarafından uygulanan baskılar arttı. Bu arada, özellikle Kuzey Kore'nin, imzacısı olduğu NPT'ye açıkça aykırı düşen silahlanma çabaları karşısında, IAEA'nın kuruluş tüzüğündeki denetim yetkilerini genişleten bir Ek Protokol hazırlanmıştı. İran, bu ek protokolü halen imzalamamış olan birkaç üyeden birisiydi. Dolayısıyla İran'dan, nükleer programının tüm ayrıntılarını açıklaması ve ek protokolü imzalaması isteniyordu. 9 Ekim 2003 tarihli mektubunda İran, önceki açıklamaların aksine, uranyum çevrimi açısından önemli tüm malzemelerin, 1981-93 yılları arasında Tahran Nükleer Araştırma Merkezi ve İsfahan Nükleer Teknoloji Merkezi'nde, laboratu-

var ölçeğinde üretilmiş olduğunu açıkladı. 402 kg UF₄'ün, 376,6 kg'ının uranyum metaline dönüştürüldüğünü, 9,43 kg'ının da UF₆ eldesi için kullanıldığını kabul etti. IAEA'nın daha sıkı denetimlerine onay veriliyordu.

Bir teknik ekip, 4-12 Ekim 2003 tarihleri arasında İran'ın; uranyum çevrimi, lazer ve gaz santrifüj zenginleştirme etkinliklerini denetledi. Karaj'da depolanmış olan 6,5 kg UF₆, IAEA yetkililerine gösterildi. IAEA sonuçta, İran'ın Urenco tasarımına dayalı santrifüllerle uranyum zenginleştirme tesisi kurmuş olduğunu açıklıyordu. İran AEK Başkan Yardımcısı E. Halilpur, uranyum çevrimiyle ilgili araştırma etkinlikleri hakkında, yeni bilgiler sundu. 10 Ekim 2003'te iletilen mektubunda, 1998-2002 yılları arasında Kalaye atölyelerinde santrifüjlerin, 1991'de ithal edilen UF₆ kullanılarak denendiğini, 1991-2000 arasında lazerle zenginleştirme programının uygulandığını, bunun için IAEA'ya daha önce bildirilmemiş olan 30 kg uranyum metalinin kullanıldığını, 1988-92 arasında 7 kg UO₂ hedefin ışınlandığını ve küçük miktarlarda plutonyum üretildiğini bildirdi. İran hükümeti aynı gün, yakıt zenginleştirmeyle ilgili etkinliklerini askıya aldığı açıkladı.

16 Ekim 2003'de IAEA Başkanı Muhammed El-Baradai, İran hükümetinin daveti üzerine Tahran'da, İran Ulusal Yüksek Güvenlik Kurulu Sekreteri H. Ruhani ile görüştü. Görüşme; santrifüjlerin denenmesi, Kalaye atölyelerinde ve Natanz'da LEU ve HEU parçacıklarının varlığı, yakıt çevrimi sürecinin denenmesi, uranyum metali üretiminin amacı, lazerle zen-

ginleştirme deneyleri ve İran'ın ağır sulu reaktör programı hakkındaydı. Ruhani, tüm etkinlikler hakkında bilgi verileceğini, Ek Protokol'ü imzalamaya hazır olduklarını ve imzalayınca kadar da, hükümlerine uygun şeffaflıkta olacaklarını bildirdi.

İran'ın 21 Ekim 2003 tarihli mektubu, yapılan deneylerde; 1977-82 yılları arasında ithal edilmiş olup, ya güvenlik denetimlerinin kapsamı dışında tutulan ya da kapsamında olup sürece kaybı olarak bildirilmiş olan nükleer malzemelerin kullanılmasını ortaya koyuyordu. Mektup, UO₂'nin, kuru ve yaş yöntemlerle UF₄'e, UF₄'ün de UF₆'ya dönüştürme deneylerini kabul etti. Uranyum metalinin sadece zırh malzemesi için değil, aynı zamanda lazerle zenginleştirme için üretildiğini bildirdi. Tahran Araştırma Reaktörü'nde fakir UO₂ hedeflerin ışınlandığını ve ardından, Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'nin Nükleer Güvenlik Binası'ndaki 'eldiven kutuları'nda plutonyum ayrıştırma işlemlerinin yapıldığını kabul etti. Ayrıca, 1999-2002 arasında Kalaye atölyelerinde UF₆ gazıyla santrifüj denemeleri yapıldığı bildiriliyor, bunun için kullanılmış olan UF₆'nin, daha önce taşıyıcı silindirlerin vanalarından sızdığı bildirilen 1,9 kg'lık UF₆ olduğu kabul ediliyordu. IAEA'nın Yakıt Zenginleştirme Pilot Tesisi'nden ve Kalaye atölyelerinden aldığı örneklerde belirlenmiş olan LEU ve HEU'nun ise, ithal edilen donanıma bulaşmış olarak geldiği bildirildi. İran'ın bu açıklaması, bağımsız bir rapor tarafından doğrulandı. IAEA, donanımın ithal kaynaklarını sorgulayıp öğrendi. Kaynak Pakis-

bomba küçük, verimi yüksektir.

Füzyon olayıysa, hidrojen ya da hidrojenin izotopları olan döteryum ve trityum çekirdeklerinin birleşmesine dayalıdır. Bu çekirdeklerin kaynaşması, birim ağırlık başına fisyonun bile daha fazla enerji açığa çıkarır. O kadar ki, 1 gram hidrojen yaklaşık 50 ton kömüre eşdeğerdir. Ancak, çekirdeklerin kaynaştırılabilmesi için, çok yüksek hızlarla çarpıştırılmaları gerekir. Yeterince yüksek sıcaklıklardaki hidrojen gazında, her bir yöne doğru hareket etmekte olan atomlar, yeterince yüksek hızlarla çarpışıp kaynaşabilirler. Nitekim, Güneş'in merkezindeki sıcaklık 15 milyon °C'yi buluyor ve buradaki hidrojen çekirdekleri, yüksek basıncın da yardımıyla füzyona uğrayarak, Güneş'e ısıdığı enerjini sağlıyorlar. Ancak, yeryüzünde basınç çok daha düşük olduğundan, hidrojenin füzyonu için gereken sıcaklık çok daha yüksek. 100 milyon °C'nin üstüne çıkılması gerekiyor. Bu yüzden, 'hidrojen bombası'nın yapımında, füzyonu biraz daha kolay olan döteryumla trityum tercih edilir. Döteryum normal sudaki hidrojen atomları arasında, 1/666 oranında bulunuyor ve fizik-kimya yöntemleriyle ayrıştırılabiliyor. Trityumsa, lityum-6 izotopunun nötron bombardımanına tabi tutularak, helyum ve trityuma parçalanmasıyla elde edilebilir. Ancak trit-



yum normal şartlar altında, uçucu kaçıncı bir gazdır. Hem de görece kısa bir yarılanma ömrüyle kendiliğinden bozunur. Dolayısıyla, önceden üretilip saklanması yerine, kullanımının hemen öncesinde veya sırasında üretimi tercih edilir. Bu amaçla, döteryum lityumla karıştırılır ve her ikisi birlikte, strofor ambalaj malzemesiyle kaplanır. Patlama anı gelip de lityum nötron bombardımanına maruz kaldığında, trityum üretilir ve bu trityumlar, içerdeki döteryumlarla çarpışıp füzyona yol açarlar. Ancak; lityumun bombardımanı için nötronlar, füzyon için de yüksek sıcaklıklar gerekir. Bunlarsa, 'birincil' denilen bir uranyum ya da plutonyum bombasının patlatılmasıyla elde edilir. Bu birincil bombanın ürettiği ısınmaya etkisi, yani termal şok, görece yavaş yayı-

ılır ve füzyon düzeneğine ulaşana kadar, düzeneğin dağılması olasılığı belirir. Halbuki, yayınlanan gama ışınları ışık hızıyla hareket eder ve strofor bunları emerek, içindeki karışımın ısınmasını sağlar. Bir yandan da, birincil bombanın basınç şoku füzyon karışımını dışardan ve her yandan homojen bir şekilde sıkıştırarak, yaydığı nötronlara lityumu parçalayıp trityum açığa çıkarmaktadır. Karışımın sıcaklığı 100 milyon °C'nin üstüne çıktığında, 'ikincil' füzyon bombası devreye girer. Ya da, bir fisyon bombasının içine, bu

anlatılan çerçevede bir miktar füzyon malzemesi yerleştirmek suretiyle bomba 'verimi'ni yükseltmek ('boosting') mümkündür.

'Top namlusu' tipinde bir uranyum bombası, yapımı en kolay nükleer silahtır. O kadar ki, eline yeterli miktarda üst düzeyde zenginleştirilmiş uranyum (HEU) geçiren bir ülkenin böyle bir silahı yapmasını engellemek zordur. Aksine ikna için sabırlı bir siyasi uğraş gerekir, olmazsa siyasetin 'yaptırım aracı uzantıları'nın kullanımı gündeme gelir. Gerçi böyle bir silahın yapımından sonra, minyatürleştirilip, olası hedeflere isabetle nakil yeteneğinin de geliştirilmesi lazımdır. Fakat, anlamlı miktarlarda U²³⁵ temini etmeye veya uranyum zenginleştirme tesisi kurmaya yönelik

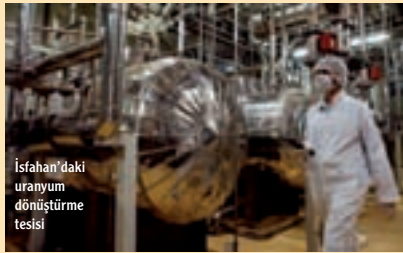
tan'dı. Arak'ta inşası planlanan ağır su reaktörü için sunulan tasarımda sıcak hücre bulunmayışıyla ilgili olarak; aslında iki sıcak hücrenin öngörüldüğü, fakat satın alınabilecek zırhlı pencerelerin ve manipulatörlerin özellikleri bilinmediğinden, sıcak hücrelerin boyutları ve tasarımı konusunda henüz elde bilgi olmadığı bildiriliyordu.

27 Ekim-1 Kasım 2003 toplantısında İran, ışınlama ve plutonyum eldesi deneyleri hakkında ek bilgi sundu. Deneylerin İsfahan Nükleer Teknoloji Merkezi'nde, 1978'de denetim dışı tutulmuş olan fakir uranyumu kullanarak preslenmiş ve sinterlenmiş UO₂ hazırlanması hakkında olduğunu açıkladı. Kapsüller Tahran Araştırma Reaktörü'nde molibden, iyot ve ksenon gibi fisyon ürünleri elde etmek üzere ışınlanmıştı. Toplam olarak 7 kg UO₂ ışınlanmış, bunun 3 kg'ı plutonyum eldesi için kullanılmıştı. Plutonyum ayrıştırma işlemi üç adet zırhlı 'eldiven kutusu'nda gerçekleştirilmiş, bu kutular 1992 yılında sökülüp İsfahan Nükleer Teknoloji Merkezi'nde depolanmıştı. Elde edilen küçük miktardaki plutonyum, Tahran'daki Cabir Bin Hayan Laboratuvarları'nda (CHL) koruma altındaydı. Kalan 4 kg ışınlanmış UO₂ hedef, kaplara konularak Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'nde depolanırken, atıklar Kum'daki bir tuz bataklığına konmuştu. Deneylerin amacı, nükleer yakıt çevrimi hakkında bilgi edinmek, yakıt işleme kimyası konusunda deneyim kazanmaktı. İran nükleer malzemeyle ilgili muhasebe raporlarını ve İsfahan Nükleer Teknoloji Merkezi'nin ve Tahran'daki laboratu-

varların (CHL) bu etkinliklerle ilgili tasarım bilgilerini sunacaktı.

30 Ekim 2003'te IAEA'nın teknik elemanları Natanz'daki 'Yakıt Zenginleştirme Pilot Tesisi'ni ziyaretlerinde, 164'lük bir santrifüj grubunun montajının tamamlanmış ve ilk santrifüjlere UF₆ gazı verilmekte olduğunu gördü. İnşaat ve montaj işleri devam ediyordu.

İran'ın 1 Kasım 2003'te IAEA'ya iletilen mektubu, Arak'ta inşa edilmesi planlanan ağır su reaktörü için, radyoizotop üretiminde kullanılmak üzere ayrı bir binada iki sıcak hücrenin



İsfahan'daki uranyum dönüştürme tesisi

yapımına dair geçici bir planın bulunduğunu ve bu bina ile ilgili ilk tasarım bilgilerinin iletileceğini bildiriyordu. Uranyum Çevrimi Tesisi'nin tasarımı ve inşasında yabancılarla işbirliği sağlanmış olduğu için, UF₄ ve UF₆ ile ilgili araştırma geliştirme çalışmalarından 1993 yılında vazgeçilmiş, ilgili tesisler sökülerek, donanım Karaj'daki bir atık deposuna nakledilmişti.

IAEA, İran'ın nükleer programının, uygulama aşamasındaki bir nükleer yakıt çevriminin; uranyum madenciliği ve öğütmesi, yakıt çevrimi, zenginleştirme, yakıt imalatı, ağır su

üretimi, hafif sulu bir reaktör, ağır sulu bir araştırma reaktörü, ilgili araştırma ve geliştirme tesisleri dahil; tüm ön cephe unsurlarını içerdiği kanaatine varmıştı. İran 18 yıldır uranyumu santrifüjle, 12 yıldır da lazerle zenginleştirme programı yürüttüğünü ve küçük miktarlarda LEU ürettiğini kabul ediyordu.

10 Kasım 2003'te IAEA, İran hakkında kapsamlı bir değerlendirme raporu açıkladı. Rapora göre, İran; 1999 ve 2002'de Kalaye Elektrik şirketine, ithal edilmiş UF₆ ile santrifüj testi yapararak, zengin ve fakir uranyum ürettiğini bildirmeyi ihmal etmişti. 1993'te doğal uranyum metali ithal edildiğini ve sonradan lazerle zenginleştirme deneylerinde kullanılarak zengin uranyum üretildiğini, bu işlemler sırasında nükleer malzeme kaybı olduğunu, atık üretilip taşındığını bildirmemişti. Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'ndeki ve Laşkar Abad lazer laboratuvarlarındaki üretilen atıkların işlendiği yerlerin, Karaj'daki atık depolama tesisi dahil olmak üzere, tasarım bilgilerini iletmemişti. Tahran Araştırma Reaktörü'ndeki plutonyum ayrıştırma işleminin yapıldığı eldiven kutularının ve merkezdeki atık işleme tesisinin tasarım bilgileri, keza bildirimlerde yoktu. Rapor İran'ın; İsfahan'da UO₂ hedeflerinin üretilip, Tahran Araştırma Reaktörü'nde ışınlanması, daha sonra bu malzemenin, plutonyum ayrıştırma da dahil olmak üzere, işleme tabi tutulması, açığa çıkan atıklar ve bunların taşınması, depolanması, artan ışınlanmış hedeflerin Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'nde depolanması hakkında bilgi vermeyi ihmal etmiş olduğunu

çabalar, nükleer güç edinme girişiminin erken bir göstergesi olarak algılanır. Ancak, bazı araştırma reaktörleri de HEU kullandığından, böylesi bir çaba sivil amaç taşıyor da olabilir. Bu yüzden, yüksek zenginlikte uranyum kullanan araştırma reaktörlerinin, silah yapımına yönltilmesi daha zor olan düşük zenginlikte yakıt kullananlarıyla değiştirilmesine çalışılıyor. Ancak, teknoloji ve sanayi altyapısı yeterince gelişmiş olan, yeterli doğal uranyum rezervine ve elektrik gücü üretim kapasitesine sahip bulunan bir ülke, nükleer silah edinmeye kararlı ise, doğal uranyumu kendisi üretip, kendi imkanlarıyla zenginleştirebilir. Buna engel olmanın yöntemi yok gibidir. Çünkü teknoloji özümsemiş ve ilgili temel bilgiler, birkaç bilim insanının tekelinden çıkıp topluma yayılmışsa eğer, o toplu, askeri bir operasyonla tesisler kurulursa dahi, yerine yenilerini kurabilir. Bazı çevreler, İran'ın bu eşiği aşmış olduğu kanaatinde.

İMZALAR:

Gaz difüzyonuna veya elektromanyetik ayırtırmaya (EMIS) dayalı, yeterince büyük, örneğin yılda birkaç bomba üretebilecek bir zenginleştirme tesisi, büyük miktarda güç gerektirdiğinden, civarında bir elektrik santraliyle birlikte kurulmak durumunda. Böyle bir santral ve atık süreç ısıyı atmosfere aktaran soğutma kuleleri, uydu görüntüleriyle belirlenebilir. Atık ısının, gizlilik amacıyla orta

büyükte bir akarsuya verilmesi halinde, akış hacmine ve rejimine bağlı olarak, suyun santral civarındaki sıcaklığı 0,1°C düzeyinde yükselir. Bu artışın da keza, kızılaltı algılayıcılarla belirlenmesi mümkündür. Ancak, eğer tesis küçükse veya enerji açısından daha verimli, örneğin santrifüj yöntemi, ya da sabit miktatslarla ve düşük ışın gerilimiyle çalışan bir EMIS tekniği kullanılıyorsa, ısı 'imza'sı daha az belirgin olur. Öte yandan, ısı çıktısı sivil amaçlara da hizmet ediyor olabileğinden, 'özgün bir imza' değildir ve nükleer bir etkinlikle ilişkilendirilebilmesi için, başka verilerle birlikte değerlendirilmesi gerekir. Fakat yine de, büyük ya da küçük miktarda ısı çıkışlarını izleyerek, bir tesisin 'açma-kapatma', yani çalışma düzenini belirlemek ve bu veriden hareketle, hangi amaçlarla kullanıldığını kestirebilmek mümkündür.

Gizli bir zenginleştirme veya diğer nükleer etkinlik tesisinin bir diğer işareti, etrafında açıklanamaz güvenlik önlemlerinin alınmış olması veya askeri destek unsurlarının bulunmasıdır. Bunlar, uydu aracılığıyla görüntülenebilir, olmazsa yerden izlenebilir. Tesise yeterince yaklaşıldığında, ortaya başka işaretler de çıkar. Örneğin, ufak bir santrifüj tesisi dahi, belirlenebilir düzeyde akustik veya radyofrekans gürültüsü yayar. Keza, lazerle izotop ayırtırmada kullanılan atımlı lazerlerin yaydığı, kilohertz frekanslarındaki özgün elektromanyetik sinyallerin belirlenmesi mümkündür. Nihayet, yerinde yapılacak inceleme-

ler sırasında alınan malzeme örnekleri, bomba malzemesi üretim potansiyeli hakkında çok daha net fikirler verir. Örneğin UCl₄ veya diğer uranyum klorid bileşenlerinin varlığı, EMIS veya Chemex zenginleştirme tekniğinin; UF₆, UF₄, HF veya metal haldeki uranyumun varlığı ise, lazer veya diğer zenginleştirme yöntemlerinin imzalarıdır. Tesis civarındaki toprak veya suların alınan örneklerde fakir ya da zengin uranyum örneklerine rastlanması, eğer dış kaynaklı değilse, zenginleştirme işleminin yapılmış olduğuna dair kesin kanıt oluşturabilirler. Öte yandan, tesislerin bildirilen planlarıyla gerçek yapıları arasındaki farklar, varsa eğer, bildirilen dışarıda amaçlara yöneltilmiş olduklarını gösterir. Ülkenin dış alım kalemlerinin bir listesi de, niyetleri hakkında önemli ipuçları verir. Örneğin; 'maraging' çeliği gibi yüksek güçlü yeni tip malzemeler veya bu malzemelerden yapılmış parçalar, santrifüj teknolojisine; büyük demir elektromagnetslar ve büyük hacimli vakum sistemleri, EMIS yöntemine yönelindiğini gösterir. Yüksek gerilim güç kaynakları ise, her ikisinde de kullanılır. Son olarak, yerli bir uranyum madenciliği girişimi, gizli bir uranyum veya plutonyum silah programının, varlığının değilse de olasılığının, kesine yakın kanıttır. Ağır su üretimine yönelik çabalar, kuşkuları pekiştirir.

Prof. Dr. Vural Altın
Bilim ve Teknik Dergisi Yayın Kurulu Üyesi

açıklıyordu. İran ayrıca, İsfahan Nükleer Teknoloji Merkezi ve Tahran Nükleer Araştırma Merkezi'ndeki, amonyum uranil karbonat (AUC), UO₂, UO₃, UF₄, ve UF₆ üretimiyle ilgili tesislerin tasarım bilgilerini de zamanında iletmemişti. Güvenlik önlemlerinin uygulanmasını kolaylaştırmaya yönelik işbirliği konusunda, pek çok aşamada, gizleme yoluyla kusur işlemişti.

Aralık 2003'te Han Laboratuvarları'nın üst düzey iki çalışanı, İran'a nükleer teknoloji satıkları kuşkusuyla tevkif edildi. Soruşturma sırasında Güney Afrikalı işadamı Aşer Kami'nin, Han'ın çalışma arkadaşlarına nükleer aygıtlar sattığı ortaya çıktı. Aynı ayın 19'unda, Libya beklenmeyen bir açıklamayla, geçmişte bir kitle imha silahları programının var, fakat artık sona erdirilmiş olduğunu bildirdi. Libya yetkililer, bazı nükleer bileşenlerin, aralarında Pakistanlı bilim adamlarının da bulunduğu karaborsacılar tarafından temin edildiğini söylüyordu. Libya'daki uranyum tesisleri incelendiğinde, kullanılan santrifüjlerin İran'dakilere çok benzediği saptandı: Pak-1'ler. 31 Ocak'ta, Abdül Kadir Han, skandalla ilgili soruşturmanın sağlıklı gerekçesiyle, başkanlık bilim danışmanlığından alındı. Fakat, Pakistan'ın geçmişteki nükleer etkinliklerinden, başta eski genel kurmay başkanı Mirza Aslan Bey olmak üzere, ordunun ileri gelenlerinin haberi olduğu sanılıyor. Abdül Kadir Han'a göre, etkinlikler Aslan Bey'in onayıyla yürütüldü. Halkı tarafından zaten aşırı ABD yanlısı olarak görülen Müşerref'in, konunun bir an önce kapanmasını istediği muhakkak.

Güney Afrikalı işadamı Aşer Kami, ABD'de hapiste, yargılanmayı bekliyor.

İran Şubat 2004'te IAEA'ya, İsfahan Uranyum Çevrim Tesisi'ndeki çalışmalara Mart ayında başlayacağını bildirdi. İran AEK Başkanı Gulamriza Ağazade bu sıralarda, tesisin deneme aşamasında olduğunu ve yakında deneme üretimine başlayacağını; uranyum hegzaför, uranyum metali ve uranyum oksit dahil olmak üzere, yakıt çevrimi etkinlikleri için gerekli hammaddelerin hepsinin üretileceğini açıkladı. AB devreye girdi. İran'dan; nükleer enerji programının, ağır sulu reaktör dahil olmak üzere, ek bileşenlerinden vazgeçmesini talep ediyordu. İran 12 Haziran 2004'te, bu talebi reddetti. IAEA'ya, İsfahan'daki Uranyum Çevrim Tesisi'nde UF₆ üretmek üzere sıcak denemelere başladığını bildirdi. Mayıs-Haziran 2004 arasındaki bir deneme, 30-35 kg UF₆ üretmişti. Ağustos 2004'te 37 ton sarı pastayı işlemek üzere yeni bir deneme başlatıldı. Ancak, İran'ın ürettiği UF₄'ün, başta molibdenyum olmak üzere ağır metal safsızlıklar içerdiği ve bu durumun zenginleştirme işlemini çıkmaza sokacağı düşünülmekte.

18 Haziran 2004'te IAEA yönetim kurulu, Fransa, Almanya ve İngiltere tarafından sunulan ve İran'a, Arak'taki ağır su reaktörünün yapımını ve İsfahan'daki uranyum çevrim işlemini durdurması yönündeki bir çağrını benimsedi. 19 Eylül 2004'te de yönetim kurulu, İran'ın zenginleştirmeyle ilgili tüm etkinliklerini durdurmasını talep eden bir karar aldı. İran ise, 21 Eylül 2004'te IAEA'ya, uranyumu zenginleştir-

mek üzere gaza dönüştürmeye başladığını bildirdi. İran AEK Başkanı Gulamriza Ağazade büyük miktarda ham uranyumu hegzaförde dönüştürmekte olduklarını açıkladı.

İran'ın 14 Ekim 2004 bildirimine göre; 37 ton sarı pastanın 22,5 tonu sürece sokulmuş, ara ürün ve atık olarak, 2 ton UF₄ ve 17,5 ton uranyum elde edilmişti. IAEA ise 11 Ağustos'ta; girdi malzemesi üretimi, İsfahan'daki Uranyum Çevrim Tesisi'ndeki denemeler ve üretim de dahil olmak üzere, zenginleştirmeyle ilgili tüm etkinliklere son verilmesini istedi. Ayrıca, ağır su yavaşlatıcı araştırma reaktörü inşası kararının gözden geçirilmesi isteğinin gözardı edilmiş olmasından rahatsız olduğunu bildiriyordu.

IAEA Yönetim Kurulu 4 Şubat 2006'da, İran'ın tartışmalı nükleer programını BM Güvenlik Konseyi'ne bildirme kararı aldı. Bir aylık bir bekleme süresinden sonra, Mart ayında Konsey'de görüşülecek. Bazı çevreler, izlenen diplomasi sürecinin çalışmakta olduğu kanaatiyle, "bundan birkaç yıl önce İran bomba yapımından 5 yıl uzak' diyoruz, şimdi hala aynı şeyi söylüyoruz. Demek ki süreç çalışıyor" diyor. İran ise, Rusya Federasyonu'nun, yakıt zenginleştirme işleminin birlikte Rusya'da yapılmasına yönelik önerisini değerlendiriyor. Teklifin kabulüyle krizin aşılması olasılığı var.

Kaynaklar:

'Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran', Başkan raporu, 10 Kasım 2005, IAEA.

'Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran, Resolution adopted on 24 September 2005, Board of Governors,' IAEA.

Dipnot: 1 Bu durum, eski Hollanda Başbakanı Ruud Lubbers tarafından Ağustos 2005'te açıklandı.