

NÜKLEER ENERJİNİN DÜNYADAKİ SON GÖRÜNÜMÜ : SORUNLAR VE SEÇENEKLER

Doç. Dr. Tolga YARMAN
İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü

"Nükleer Enerji" deyimi, 1960 lardaki (bizim kuşağın lise öğrencilik yılları) telaffuzuyla birlikte uyandırdığı sihirden soyundu. Kulağa olağan gelen deyimlerden biri artık.

Bununla beraber çok patırdıya sebep olmakta. Dünya sanki, nükleer enerji üretimini isteyenlerle istemeyenler olarak ikiye bölünmüş.

Sokaktaki insanın kafası karışık. Bir sürü teknik olgunun karmaşıklık perdesini aralayıp tutarlı bir yargıya varması zor.

Ya uzman çevreler?

Doğrusu onların da kafalarının karışık olmasını gerektirecek çok neden var. Bir yığın seçeneğin teknik ayrıntılarına iyice egemen olduktan sonra, dönüp üst düzeyde tercihli yollar saptamak.. Bunlardan birine, ikisine revan olmak hiç o kadar kolay değil. Yollardan birine çıktuktan sonra orta yerde pişmanlıklar duymama, ileri-geri demarşlar yapmama garantisi de yok. Ülkesel boyutlarda bütçeleri sarsacak harcamalarla, hem de...

Buna temci neden nükleer enerji üretiminin birçok biçiminde mümkün olması. Doğa nükleer anlamda yetkin (kritik) olabilecek birçok karışımı sunmuş insanoğluna.

Doğal uranyum oksit + Ağır su (D2O)

Doğal uranyum metal + Grafit (C)

Hafif zenginleştirilmiş (% 2-3) uranyum oksit + Su (H₂O)

Kaba bir anlatımla, doğanın bağrından çıkarılacak doğal uranyumu, UO₂ bileşiğinde olarak ağır su ile uygun surette bir araya getirerek nükleer enerji üretimini sağlamak mümkün. Doğal uranyum doğadan çıkıyor, ama ağır su çeşmeden akıyor. Eldesi külfetli. Onun yerine yine doğanın bağrından küreklenebilecek kömürü kullanmak mümkün. Ne var ki o takdirde doğal uranyumu UO₂ bileşiğinde olarak değil, daha da işlenmiş olarak, metal halinde kullanmak gerek.

"Nükleer teknoloji" evriminde işte hemen karşımıza çıkacak bir soru: Ağır su teknolojisi mi benimsenmeli, yoksa metal uranyum teknolojisi mi?

Nükleer enerji üretiminde mevcut seçenekler bildiğimiz gibi, bu ikisinden ibaret değil.

Ağır su, ya da karbon (grafit) yerine, içtiğimiz suyu da kullanmak mümkün. Hem suyun, ısı taşıması açısından üstün nitelikleri var. Yalnız, o zaman, doğal uranyumu bir parça zenginleştirmek gerekiyor. Doğal uranyum içinde % Tden az U²³⁵ izotopu bulunuyor. % 99'dan çok da U²³⁸ izotopu. Asıl fisil (i) (fisyonu yapabilir) izotop, kıt olan U²³⁵ izotopu. Doğal uranyumu su ile yetkin kılmak üzere, dolayısıyla, U²³⁵ izotopunu zenginleştirmek gerekiyor.

Zenginleştirme başlı başına bir mesele. Ağır suyu birbiriinden çok az farklı uranyum çekirdeklerini birbirlerinden ayırmayı gerektiriyor.

İşte önemli ikinci soru :

Yapmalı mı? Bu yola gitmeli mi?

Anageldiğim üç yetkinlik (kritiklik) seçeneği, nükleer enerjinin yaşamakta olduğumuz ilk evresinde, üç ayrı teknolojiye can vermiş. Doğal uranyum oksit + Ağır su, kanadalılar'ın CANDU(2) teknolojisinin kökeni. Bu teknolojiyi Fransızlar da bir süre araştırmışlar. Doğal uranyum-metal + Grafit, Fransızlar ile İngilizler'in Gaz Soğutmalı Grafit Reaktörleri'nin ana malzemesi. Bu teknolojiye Fransızlar, kavga gürültü, devam etmemişler. Muhafazakâr İngilizler ise dört elle sarılmışlar. Yukarıda andığımız son seçenek, Hafif zenginleştirilmiş uranyum oksit + Su seçeneği ise dünya nükleer enerji üretimine çoğunlukla egemen basınçlı su reaktörleriyle ("pressurized water reactor": PWR) kaynar sulu reaktörlere ("boiling water reactor": BWR) kimlik vermiş.

Temel nükleer seçenekler yelpazesini tam taramak üzere iki kavramdan sonra söz etmek gerek: üretkenlikle yakıt sıyırma ("reprocessing").

Nükleer üretkenlik doğanın insanoğluna bir lütfü olarak anılabilir. Üretkenliğin iki ana örneği doğada bulunan fisil izotoplar Pu²³⁹ ile U²³⁵'ün, Pu²³⁹'ün, hem de U²³⁵'ün "üretkenlik zürriyeti" sürdürmek gibi bir özel-

likleri var. Başka bir deyimle, uygun bir düzende Pu²³⁹ v akıtırken, aynı zamanda, yakılan Pu²³⁹ kadarını üretmek imkân dahilinde. Pu²³⁹ y_a k_{an} sözcüğü 1000We'lik bir reaktör, ömrü boyunca (30 yıl) ikinci aynı boyutlu bir reaktörü yüklemeye yetecek kadar Pu²³⁹ üretebiliyor. "Yavruluyor", yani! U²³⁵ de, Pu²³⁹'e oranla daha "müşkülpesent" olmakla birlikte aynı "damızlık" özellikte. Böylesi bir sürecin yürürlükte bulunması, insanoğluna pratikçe bitmez bir enerji kaynağı sağlıyor: Bu tür bir süreçle tüm dünya enerji gereksinimi karşılanmak gerekse, bilinen uranyum ve toryum yatakları kabaca bir yıl yetecek zenginlikte görünüyor.

Ne var ki üretkenlik süreci sorunlarla dolu :

Bir defa Pu²³⁹ çevrimi, etkin üretkenlik sağlamak üzere hızlı nötronlarla çalışmayı gerektiriyor. "Hızlı Reaktörler" sınıflarını buradan alıyorlar. Hazır bir teknoloji mevcut, ancak birikmiş deneyim yeterli sayılamayabilir henüz. Nükleer dünyada görüşler bu noktada ayrılıyor. Örneğin A.B.D. Pu²³⁹ çevrimine şimdilik pek iltifat etmiyor. Durum, Avrupa ile Sovyetler Birliği'nde A.B.D.'deki tersi. Onlar hızlı üretken reaktörlerle nükleer enerji üretim programlarını yürürlüğe koymuş bulunmaktalar.

Üretkenliğe paralel olarak anmamız gereken kavram "yakıt sıyırma".

Reaktörlerden çıkan "yanmış" yakıtlar, bir miktar yanmamış U²³⁵ nükleer olaylar sırasında vücut bulmuş ve fakat yanmamış U²³⁵ çekirdekleri bulunduruyor. Yakıt sıyırma işlemi, işte reaktörden çıkıp gelen yakıt içinde mevcut fisil çekirdekleri ayıklama işlemi olmaktan. Yanmış yakıt şiddetli derecede radyoaktif olduğu için, uzaktan kontrollü sistemlerle çalışılmasını gerektiriyor. Reproses o nedenle çok karmaşık ve pahalı bir teknolojiyi zorunlu kılmış. O ayrıcalık endüstriyel boyutta, ancak ileri birkaç ülkenin elinde bulunmakta.

Yakıt sıyırma işlemi, görüldüğü gibi mutlaka, hızlı üretken reaktörlere yakıt olacak U²³⁵ biriktirmeyi kapsıyor değil. Aynı zamanda fisil madde israfını önlemeyi amaçlıyor. Yakıtta tasarruf sağlıyor.

O halde işte, can alıcı sorunlardan biri :

Planetimizde "yeterince" uranyum var mı? Nükleer yakıtta hovardalık edebilir miyiz?

Yakıt bol değilse, belli ki reproses zahmetine katlanmalı.. Hatta yakıt yavrulama demek olan üretkenlik sürecine de başvurmalıyız. Yok eğer yakıt yeterince çoksa, o takdirde çok külfetli iki teknoloji, pahalı ve sorunlu iki oyuncağı, yakıt sıyırma ve hızlı üretken reaktörlerle eğlenme amatörlüğünden kaçınmalıyız.

Reproses, bir başka olgunun, yeterli yakıt olmayabileceğine ilişkin bir nüansın da almaşığı sayılabilir :

(j) U²³⁸ fisyon veremez değil. Hızlı (enerjileri Mev mertebesindeki) nötronlarla fisyon verilebilir. Ne var ki, U²³⁸ salt bu nötronlarla yetkin olamıyor.

(L) "Canada Deuterium Uranium"

Halen dünya reaktörlerinin % 80'i, PWR + BWR. Başka bir deyimle hafif zenginleştirilmiş uranyum gerektiren reaktörler. Zenginleştirilmenin külfeti az önce zikredilmişti. Eğer mevcut tesislerin zenginleştirme kapasitesi, isteme cevap vermeyecek düzeydeyse.. Bu tesislerin kapısında istenildiği kadar çok doğal uranyum yığılı dursun.. Reproses aracılığıyla sınırlanacak yakıt yine de gerekiyor olacaktır. Reproses o nedenle zenginleştirilmenin bir amaç, ya da tamamlayıcısı olarak gözetilebilmekte.

Reposes bir başka anlamda da zikredilmek gerekiyor:

Reposes fabrikaları çıkışında, nükleer enerji üretimine dönük asıl hissi çekim nükleer artıklar bulunuyor. Bu artıkların boğulanıp gömülmesi, üzerinde duyarlılıkla çalışılan sorun. Nükleer artıkların; içeriklerindeki radyoaktif çekirdeklerin bozunup kararlı çekirdeklere dönüşmesi, ya da "tehlikeli" olmaktan çıkma özelliklerine bağlı olarak.. Yaklaşık bin yıl kadar, bir yerlerde, çevreye zarar vermemeleri güvence altında tutulmak koşuluyla saklanmaları gerekiyor.

Kimse, doğallıkla, şimdiye kadar bir yerlerde bin yıl süreyle güvenli olarak birşeyler saklamış değil. Ancak bunun tamamen sorunsuzca sağlanabileceği umulmakta. Mesele bu değil. Mesele; reposese başvurulmaması halinde, yani yanmış yakıtı (yakıt hovardalığına cevaz bulunduğu varsayımıyla) reaktörden çıkışında doğrudan boğçalayıp gömme seçeneğinin benimsenmesi halinde, güvenli saklama süresinin, cenaze yakıtındaki Pu239-ün bozunum özelliğinden dolayı, bin yıldan yüzbin yıla uzaması!

Cenaze yakıtın bu süre zarfında çevreye hiçbir zarar vermeksizin korunabileceğini bugünden iddia etmek bilimsel olarak mümkün değil.

Reposes, anılan sorun çerçevesinde olarak da gündemde yer almak durumunda.

Başka bir deyimle, yanmış yakıtı yüzbin yıl mı, yoksa bin yıl mı saklamayı yeğlemeli?

Üretkenlik ve reposes kavramlarına ilişkin bahsimizi kapamadan önce, nükleer enerji üretimi seçenekler yelpazesindeki diğer önemli bir seçeneği de zikretmeliyiz: Torium çevrimi.

Th²³² doğada çok. Fisil değil. Ancak, örneğin bir reaktörde nötron bombalamasıyla ²³³Lu doğuruyor*. Bu çekirdek yalnız fisil değil.. Aynı zamanda da "damızlık". Yani öylesi bir düzenek kurulması mümkün ki, U²³³ bu düzeni baz alan reaktörde yanarken, yeni bir reaktöre yetecek kadar ²³³Lu birikmesine de olanak veriyor.

Hızlı üretken reaktörlerden sonraki nesil olarak bakılan torium çevrimli reaktörlerin temelindeki ilke bu işte.

Nükleer enerji üretimi planlamasında (genelde, herhangi

* Aslında Th²³², U²³³'ün "anneannesi". U²³³'ün "annesi" ise, Th²³²'in "kızı", olan Pa²³³. (Bunun "babası" nötron! Th²³³'de gebe kalmış Th²³².)

diğer bir enerji planlamasında olduğu gibi) temel iki kısıt; enerji istemiyle alması sunusu. Bu noktada haliyle dünya enerji sorunu boyutları oluşur ki, bu boyutlar bil-dirimizin çerçevesini kat kat aşar niteliktedir. Bununla beraber aşağıda özetleyeceğimiz sorun ve seçenekler arasında sağlıklı bir yol saptanmasındaki temel veri, dünya enerji istemi karşısında nükleer enerjiye yüklenecek işlev olmaktadır.

Hemen belirtmekte yarar var: Bu işlev belirsizliklerle doludur. Bunun en kestirme kanıtı yapılagelen nerdeyse tüm öngörülerin mağlup çıktığıdır. 1970'lerde ortaya konan 1980 öngörülerini yarı yarıya fiyaskoyla sonuçlanmış bulunmaktadır.

Hiç hesapta bile bulunmayan enerji kaynaklarının, skop-lara girip tüm tahminleri alt üst etmesine şaşmamak gerekir. Önemli olan, tahminde buna hazırlıklı durmaktır.

1973 krizi sonrası, enerji tasarrufunun %30'u bulan marj-larla, sanki yeni bir enerji kaynağı imişcesine devreye gir-mesi buna ilginç bir örnek olarak anılabilir.

İstem projeksiyonlarına, o nedenle, "tanrı kelâmı" olarak değil de.. Bugünkü gidiş hakkında bir fikir veren..O fikirden dolayı da üstünde mutlaka oynanacak (dolayı-sıyla da tamamen değişebilecek) grafikler olarak bakmak, deneyimlerin öğrettiği bir ders olmak gerekir.

Geleceği öngörme iddiasındaki projeksiyonlara ilişik olarak ise belirsizlik eğrileri istemek, o projeksiyonları yorum-layacak olanların hakkı sayılmalıdır.

Dünya enerji gereksinmesi alanında nükleer enerjiye yük-lendiği ileriye sürülen işlev, işte öylesi bir perspektifle ele alınmak durumundadır.

Nükleer enerjiye yüklenecek işlevin belirlenmesine koşut temel veri ise nükleer kaynakların zenginliğidir. Tabii burada da belirsizlikler olacaktır. Tahminlerin değişmesi, varılmış teknolojik yargı ve kararlar hükümsüz kılabil-cek niteliktedir.

Nükleer enerji seçeneğinin (ya da zorunluluğunun).dün-ya enerji üretim yelpazesinde yükleneceği işlevle, nükleer hammadde gizillerinin bolluk ve zenginliği (bunlara iliş-kin belirsizliklerle) belli olunca, günümüzdeki görünüm iti-bariyle ortaya çıkan sorunlar tablosunu şöyle özetleyebi-liriz:

- 1- Hangi teknolojiyle nükleer enerjiyi üretmeli?
- 2- Dünya doğal uranyum gizili, yakıt sıyırma olmaksızın isteme cevap verebilecek mi?
- 3- Hafif zenginleştirilmiş uranyum gerektiren reaktörler itibariyle, zenginleştirme tesislerinin kapasitesi yeterli mi?
- 4- Doğal uranyum gizilleri yeterince zengin değilse, reposesle yakıt tasarrufu kaçınılmaz olmaktadır. Reproses ihtiyacına karşılık, o takdirde, reposes fabrikalarının kapasitesi yeterli mi?
- 5- Reproses, "yanmış yakıttan", ²³³Lu ile Pu²³⁹ kazanıl-masını sağlamaktadır. Bu çekirdekler klasik santrallerin taze yakıtlarına dahil edilerek, bir yakıt tasarrufu gerçek-

lenebilir. Ne var ki yakıt tasarrufundaki asıl köklü eylem, hızlı üretkenlik teknolojisine başvurmak olmaktadır. Nükleer enerji üretimine düşecek görev hacmi, bu teknolojiye başvurmayı gerektirecek boyutlarda olmaktadır mıdır?

6- Eğer böyleyse, bu teknoloji hazır mıdır?

7- Bunun da ötesinde, acaba toryum çevrimine gerek kalacak mıdır? Ya da toryum çevrimi, acaba ne ölçüde hızlı üretkenlik teknolojisine gidilmeyi kısımlabilir?

8- "Toryum teknolojisi" hazır mıdır?

9- Reproses fabrikaları öncesi, ya da sonrası, nükleer artıklar sorunu doyumsuz derecede çözülmüş müdür?

10- özetle; teknolojisi, yakıtı ve işletmesiyle yeterli, ekonomik ve güvenli bir nükleer enerji üretimi mümkün mü?

Aşağıda bu sorulara yanıt arayacağız.

Görüldüğü gibi, yalnız sokaktaki adamın değil, uzman çevrelerde bulunanların da kafalarının karışık olması için yeterince neden birikmiş oluyor.

O açıdan örneğin yukarıda sorduğumuz ilk soru konuya nisbeten aşına olanlara bile ters görünebilir. Oysa, bugün dünya reaktörlerinin % 80'ni oluşturan basınçlı ya da kaynar sulu reaktörler teknolojisinin gerçekte yanlış bir seçim oluşturduğunu ileriye süren teknik çevreler mevcuttur. Onlara göre, bu reaktörler askeri amaçla (denizaltılar için) geliştirilen hazır bir teknolojiye dayanılarak kurulmuştur. Oysa 1000 MWe çapındaki bir santralin her yıl yakıt yükleme nedeniyle bir ayı bulacak kadar uzun bir süre devreden çıkartılması kolay onaylanabilecek bir kusur değildir. Bu reaktörler zenginleştirilmiş uranyum gerektirmektedir. Zenginleştirme külfetli bir işlem olmaktadır.

A.B.D.'de bu teknolojinin benimsenmesinden sonra, söz konusu seçimin en iyi seçim olmadığı varsayılrsa dahi.. Parasal ve beynsel olanaklar bu teknolojinin daha iyi yönlendirilmesi için iyi kullanılamamış.. Olanaklar öteki alanlarda "hercaice", adeta "çarçur" edilmiştir(19).

Kısaca, A.B.D.'de egemen olduktan sonra, tüm dünyaya % 80 oranında bulaşan ve öteki seçenekleri önemli ölçülerde baltalayan nükleer teknolojinin şimdi, gerek işletme, gerek ekonomiklik, gerekse de güvenlik açısından "sakat" olduğunu ileriye süren nükleer uzmanlar bulunmaktadır (2). Bunlar daha da öteye giderek, sayılan nedenlerle, nükleer enerji üretiminin planetimizdeki birinci devrini tamamladığını iddia etmektedirler.

Bundan birkaç yıl öncesine oranla nükleer enerjinin, giderek artan dünya enerji gereksinmesini gidermeye hazır tek seçenek ve zorunlu bilinmekliğine karşılık.. Günümüzde nükleer enerjinin üzerine çarpı işareti konmasına meydan verecek bir seçenek bulunmamakla birlikte, bir takım almasıklardan bahsediliyor olması.. Nükleer enerjinin devrini tamamladığını iddia edenleri, nükleer enerjiyi istemeyenlerin gözünde "havari" kılıyor.

Sokaktaki adam yanısıra teknik adamın kafasının karışması için başka nedenler de var:

Fransızlar, örneğin, Gaz Grafit Reaktörleri ile çıktıkları nükleer arenaya, (Bir ara ağır sulu sistemleri de araştırdılar.) Sonra bunun bir yanığı olduğunu onaylayıp (az önce bazı çevrelerce kınandığını gördüğümüz) A.B.D. sistemini benimsediler. Ama Fransa'da bugün, asıl yanığın ulusal sistemlerinden sapsmış olmağuna inanan birçok uzman mevcuttur.

Tutucu İngilizler ise Gaz Grafit Reaktörleri'nde ısrar edegeldiler. Hatta ulusal sistemlerini, yakıtı hafif zenginleştirerek iyileştirmeyi de amaçlayıp başardılar. Ancak orada da, derhal, A.B.D. patentine (basınçlı su reaktörleri) geçilmesini savunup önerenler mevcuttur!

A.B.D., ticari reposesi Carter Yönetimi sırasında yasakladıydı. Birçok nükleer uzmanın hızlı üretken reaktörlere gidilmeksizin nükleer teknolojinin başını bir çıkmaz duvarına vuracağını iddia etmesine karşılık; hızlı üretken teknolojinin yoğun bir biçimde yürürlüğe girmesini geciktirdi. Nükleer enerji Yeni Dünya'da "prestij" kaybetmekteydi. (Birazdan, Tablo 3'de, göreceğiniz gibi geçen yıl A.B.D.'de on kadar reaktör siparişi iptal olundu.)

Avrupa ve Sovyetler Birliği ise, yukarıda da değinildiği gibi tamamen ters bir strateji yeğlemiş görünüyorlar. Reproses de, hızlı üretken teknoloji de gözde bulunuyor!

Öte yandan hem A.B.D.'de, hem de Avrupa'da toryum reaktörleriyle toryum çevrimine bir ara büyük ilgi gösterildiği (3). Ne var ki araştırma ve deneme projelerinin birçoğu iptal olundu. Anladığım kadarıyla, doğru dürüst

gerekçeler de gösterilmeyerek! (Bu koşullarda insanın akli nasıl karışmasın ki?..)

Toryum alanında Kanada ile Japonya'nın sürdürdüğü çalışmalar da zikredilmelidir. Belki, özellikle KanarV-m doğal uranyum - ağır sulu sistemler çerççe"z>mde olarak toryum çevrimine dönük amaç ve gayretleri dikkatimize değer olacaktır.

Şimdi ortaya koyduğumuz soruların yanıtlarına geliyorum.

1. HANGİ TEKNOLOJİYLE NÜKLEER ENERJİ?

Bu soruya yukarıda biraz girdim. Bugün egemen teknolojinin sanık sandalyesine oturtulduğunu belirttim. Ne var ki o teknoloji gerçekten de mahkumiyeti haketsen bile, olan olmuştur. Yollar açılmış, o yollarda hayli mesafe katedilmiştir. Aynı yollarda da şimdilik seyre devam etmekten başka çare yoktur. Nedir ki, günümüzde egemen nükleer teknolojiyi mahkum edenler, bu yüzden nükleer enerjinin devrini tamamladığını iddia etmektedirler. Bu gerçekten böyle midir? Bu sorunun cevabını zaman verecektir. Bununla beraber, nükleer denizler» yelken açmak zorunluluğunu duyan geri kalmışların demir toplamazdan önce söz konusu sorunun cevabını, karınca kararınca da olan, düşünceleri gereği artık doğmuştur sanıyorum. Öte .i.HJan üüoya ciddi karar kavşaklarıyla karşı karşıyadır.

Tablo -1 Nükleer Enerji Üretim öngörüsü (Kurulu Güç :GWe)*(1)

Blok	1980			1985			1990		
	Toplam Güç	Nükleer	%	Toplam Güç	Nükleer	%	Toplam Güç	Nükleer	%
OECD - Kuzey Amerika	710	57	8	890	130	15	1065	150	14
OECD - Avrupa	440	45	10	580	105	18	835	150	20
OECD - Uzak Doğu	180	15	8	255	25	10	340	50	15
Sosyalist Blok - Avrupa	370	16	4	545	35	6	745	75	10
Gelişmişler Toplamı	1700	133	8	2270	295	13	2885	425	15
Asya	130	3	2	235	10	4	400	20	5
Latin Amerika	100	0.3	0.3	130	2	2	180	10	6
Afrika ve Orta Doğu	65			80	2	3	120	3	3
Gelişmektekiler Toplamı	295	3	1	445	15	3	700	33	5
Dünya Toplamı	1995	136	7	2715	310	11	3585	458	13

* OECD - "Organization for Economic Cooperation and Development", Japonya'yı da içine alan 24 ülkeden oluşuyor. OECD - Uzak Doğu deyimlemesiyle, Avustralya, Japonya ve Yeni Zelanda kastediliyor. Sosyalist Blok - Avrupa, merkezi planlamalı 13 Avrupa sosyalist ülkesini kapsıyor.

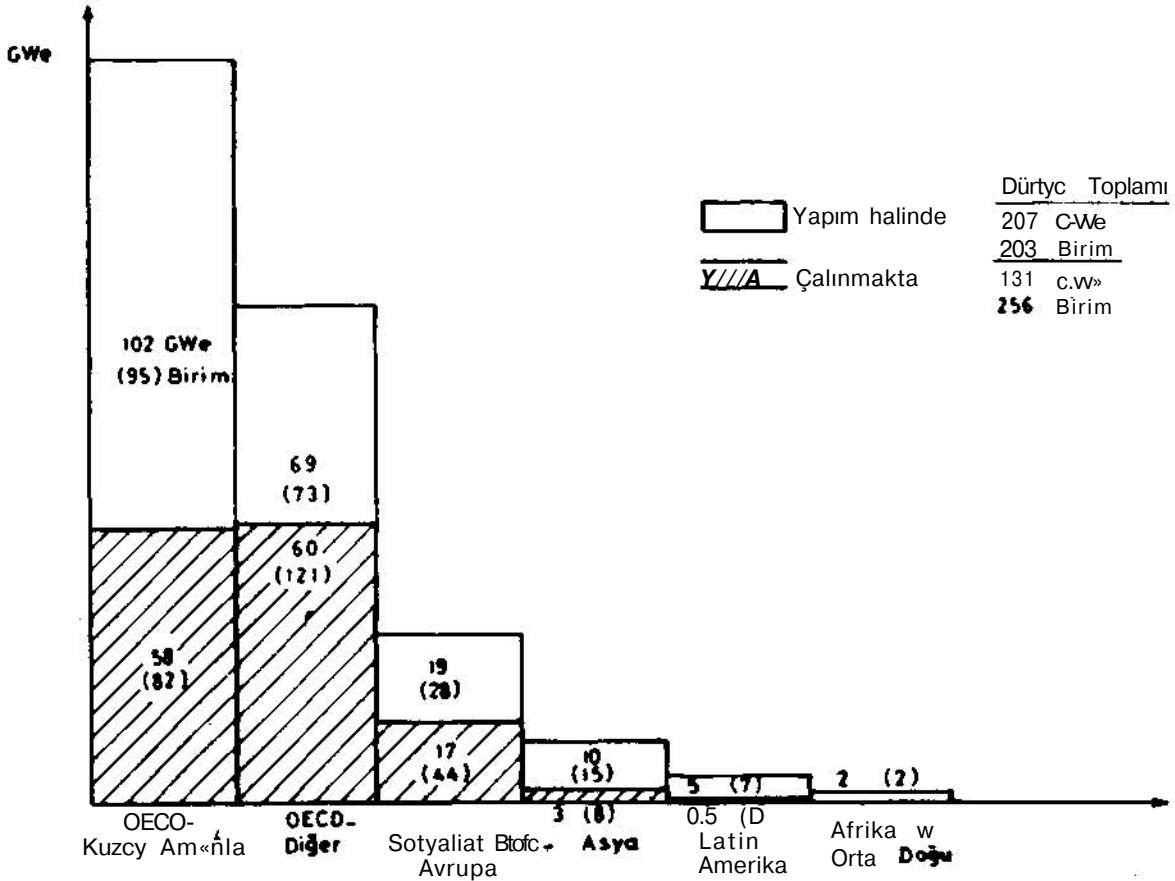
"Gelişmektekiler" olarak ise; OECD, ya da Sosyalist Blok'a dahil olmayıp Birleşmiş Milletler'den yardım gören ülkeler anılıyor.

Tablo - 2 Nükleer Enerji Üretim öngörüsü (milyar kilovatsaat/yıl) (1)

Blok	1980			1985			1990		
	Toplam Güç	Nükleer	%	Toplam Güç	Nükleer	%	Toplam Güç	Nükleer	%
OECD - Kuzey Amerika	2760	290	11	3455	800	23	4230	885	21
OECD - Avrupa	1780	215	12	2280	640	28	2890	885	31
OECD - Uzak Doğu	725	60	8	1070	150	14	1430	315	22
Sosyalist Blok - Avrupa	1780	80	5	2620	225	9	3575	450	13
Gelişmişler Toplamı	7045	645	9	9425	1815	19	12125	2535	21
Asya	665	15	2	1060	65	6	1815	100	6
Latin Amerika	375	2	0.5	485	15	3	695	50	7
Afrika ve Orta Doğu	225			320	10	3	480	15	3
Gelişmektekiler Toplamı	1295	17	1	1865	90	5	2990	165	6
Dünya Toplamı	8340	662	8	11290	1905	17	15115	2700	18

Tablo - 3 1980 Boyunca Reaktör Siparişleriyle Sipariş İptalleri (1)

	Siparişler		İptaller	
	Reaktör Sayısı	Güç (GWe)	Reaktör Sayısı	Güç (GWe)
OECD - Kuzey Amerika	-	-	12	13
OECD-Avrupa	12	12	-	-
OECD - Uzak Doğu	4	4	-	-
Sosyalist Blok - Avrupa	1	0.6	-	-
Asya	2	2	-	-
Latin Amerika	-	-	-	-
Toplam	19	18.6	12	13

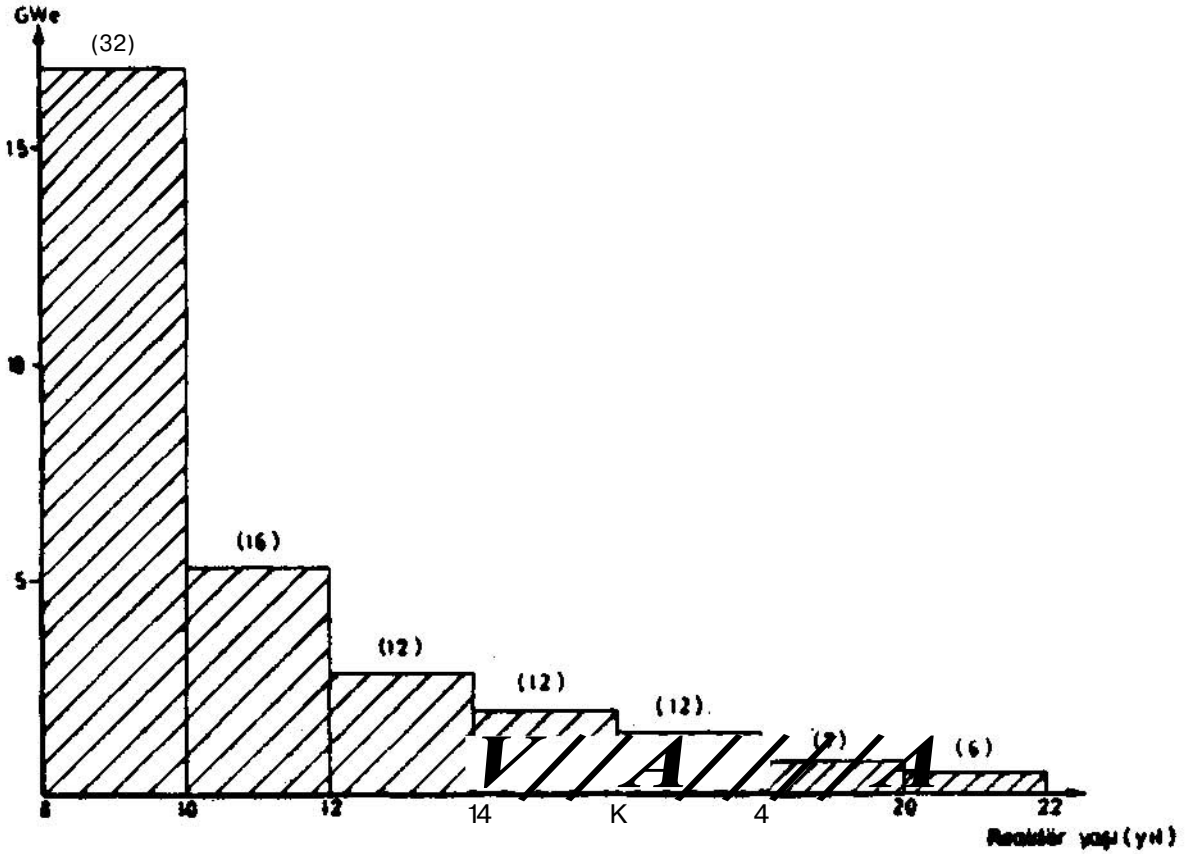


Şekil - 1 Çalışmakta ve yapım halinde olan reaktörler (Şubat 1981) (I) Parantez içindeki sayılarla reaktör birimleri, ötekilerle de kurulu ya da kurulacak güçler (GWe) alınmaktadır.

Tablo -4 > iikler Enerji Üretimi Bölgesel öngöröleri* (GWe) (4)

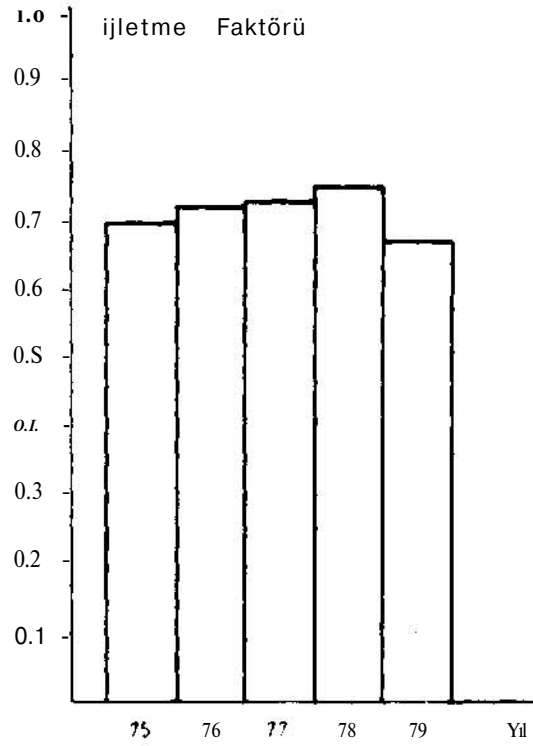
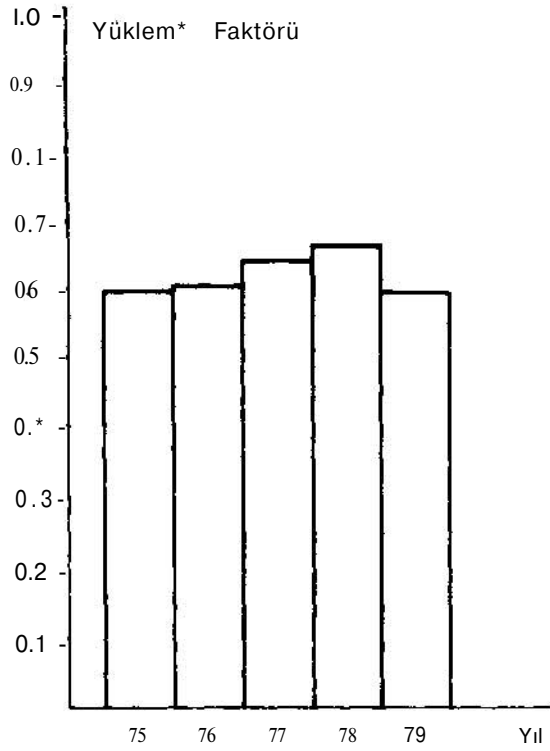
	1979	1985	2000	2020
OECD Ülkeleri	109(13)	235 (14)	610 (23)	1390 (23)
Gelişmektekiler	4 (5)	15 (9)	80(17)	390 (27)
Sosyalist Blok	12 (4)	30 (5)	200 (9)	770 (9)
Dünya Toplamı	125 (22)	280 (28)	890 (49)	2550 (59)

* Parantez için.de, ilişik üretimi sağlayan ölkö sayısı belirtilidir.

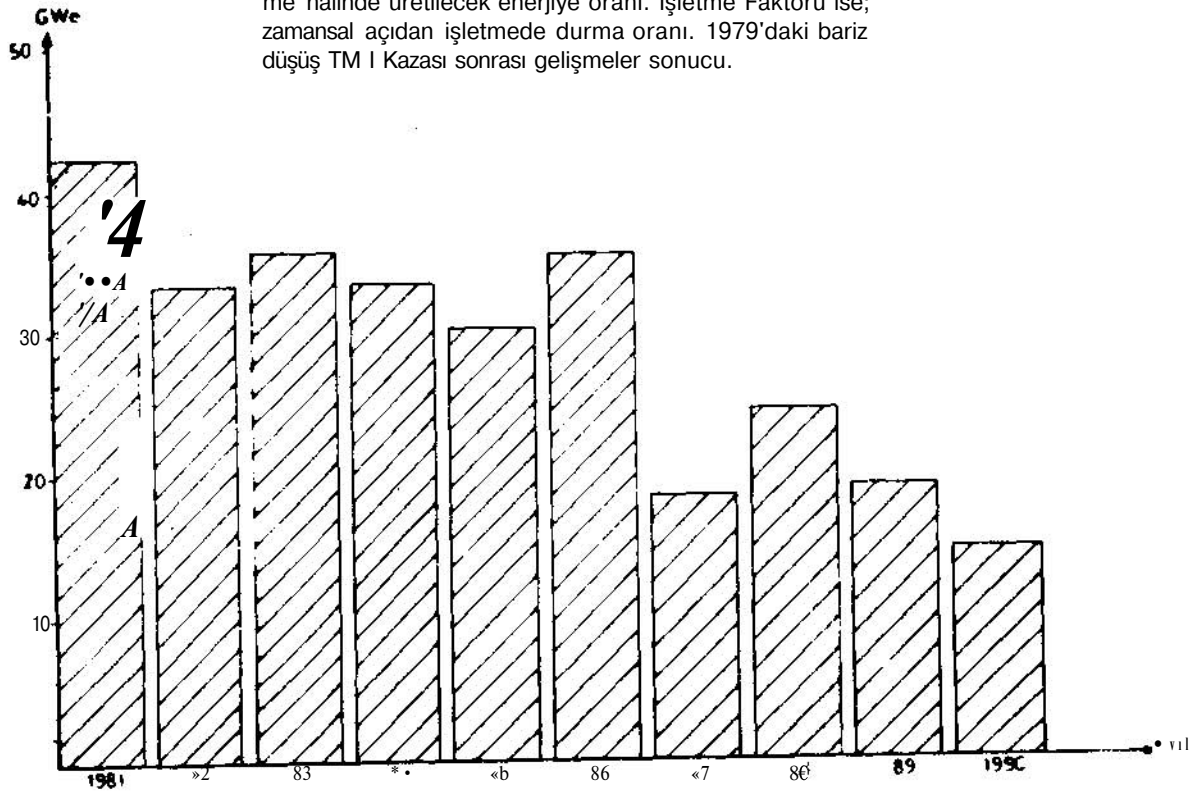


Şekil - 2 Sekiz yıldan daha yaşlı reaktörlerin yaş dağılımı* (1) Parantez içinde reaktör birim sayıları verilmektedir.

* Sekiz yıldan daha fazla işletmede kalmış reaktör sayısı: 97. (8 ila 10 yıl arası çalıştırılmış reaktör sayısı ise 32.) Dünyada işletilmekte bulunan 256 reaktörün (bkz. Şek. 1) 159'u demek ki, 8 yaşmdan küçük. 6 reaktör de 20 yıldan fazla süreyle çalıştırılmış. Yaklaşık 2200 reaktör x yıllık bir deneyim birikmiş.



Şekil - 3 Ortalama Yüklenme ve İşletme Faktörleri (i).
Yüklenme Faktörü; üretilen enerjinin, tam zaman yüklenme halinde üretilecek enerjiye oranı. İşletme Faktörü ise; zamansal açıdan işletmede durma oranı. 1979'daki bariz düşüş TM I Kazası sonrası gelişmeler sonucu.

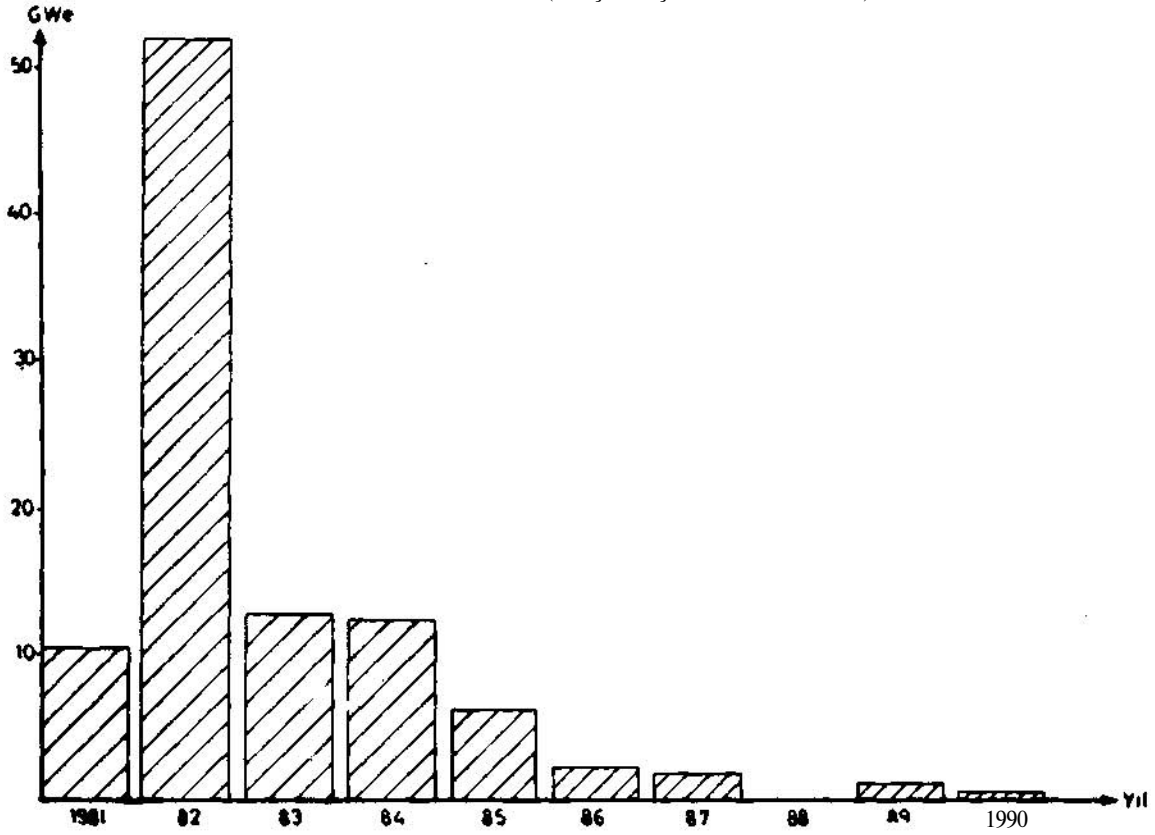


Şekil - 4 Reaktör işletmeye açılış tarihleri (i)

Tablo-5 Reaktör Türlerinin Dağılım Öngörüsü (GWe) (4)

Yıllar	LWR	BWR	AGR*	Toplam
1985	255	12	13	280
2000	813	53	24	890
2020	2285	200	65	2550

* "Advanced Gas Reactor" (Geliştirilmiş Gaz Grafit Reaktörü)



Şekil - 5 Reaktör yapım-başlama tarihleri* (1)
(1983 ve sonrası Sosyalist Blok projeksiyonlarını kapsamaktadır.)

* Ülkelerin reaktörlerini dikmedeki başarıları farklı olmaktadır. Şek. 4 ve 5'in yorumlamasında, o açıdan, aşağıdaki bilgi yararlı olabilir (1). Orada görülen farklar, ilgili ülkeler lisans otoriteleri arasındaki anlayış ayrılıklarının bir göstergesi olmaktadır.

Ülke	Yapım aşama- sındaki reaktör sayısı	Öngörülü inşa süresi (reaktör/ay)
Japonya	8	61
Fransa	29	63
Federal Almanya	10	82
A.B.D.	85	129

Hızlı üretkenler alanında A.B.D.'nin tereddütlerini yukarıda andıydım. Toryum reaktörleri sorunu da henüz havada görünmektedir.

Nihayet füzyon santralleri gerçekten de umulduğu gibi yüzyıl dönemecinden hemen sonra devreye girmeye koyulursa, durum ne olacaktır? örneğin göbeğinde füzyon, kuşağında fisyon gerçekleştirme hünerinde olacak melez ("hybrid") reaktörler gün ışığına yaklaşırsa, hızlı üretken reaktörlerin pabucu dama atılır mı? Bütün bu sorulara cevap vermek ne kadar zorsa, onların bilincinde olmak da o kadar gerek sayılmalıdır.

Yolumuza devam edebilmek üzere dünya nükleer enerji üretimindeki gelişim çizgisiyle öngörüsünü önümüze almak zorundayız (tabii, bunun, yukarıda belirtildiği gibi Tanrı kelâmı olmadığını anımsayarak). Bu amaçla, çalışmalarımızı Tablo 1 -3'le Şek. 1 -5'e çeviriyoruz.

Söz konusu bilgiler çok yeni ve güvenilir bir kaynaktan (i) olmakla beraber, Tablo -1 ve 2'ye XI. Dünya Enerji Konferansı'na sunulan Tablo -4ve5'deki bilgileri (4) eklemek isteriz.

Bu verilere göre nükleer enerji, 2020 dolayında tüm dünya elektrik enerjisi gereksinmesinin % 40'dan fazlasını karşılıyor olacak. (Bu oranın, birkaç yıl öncesine kadar, 2020'ye de değil, 2000 yılına ilişkin olarak % 50 dolayında verildiği kayda değerdir.) 2020 için öngörülen nükleer enerji üretimi, bugün tüm dünyanın kömürden sağladığı üretimin iki katı dolayında...

2. DÜNYA URANYUM GİZİLİ YETERLİ Mİ?

Bu soruya cevap verebilmek üzere..

- Dünya uranyum gizilinin hangi zenginlikte olduğunu..
- Mevcut senaryolar çerçevesinde kümülatif olarak ne kadar uranyuma gerek bulunduğunu bilmemiz gerekiyor.

İlk sorunun cevabı; bilindiği kadarıyla, ekonomik nitelikteki kaynaklar 5 milyon ton tutarında. Yeri bilinmemekle birlikte, bu tutarın 2-3 katı kadar daha uranyumun orda-burda saklı olacağı öne sürülüyor (6).

Diğer çok önemli bir kaynak, tabii eğer dünyanın aklı başına gelirse, atom silahlarının çözülmesiyle sağlanabilecektir.

Görüldüğü gibi, kaynak sorunu da bir belirsizlik çerçevesinde ele alınmak gerekiyor. Yeni kaynakların keşfi, kaynakların sınırlı olduğu varsayımına dayandırılacak yargı ve strateji seçimlerini, elbette yıkabilecek nitelikte olarak ortaya çıkabilir.

Peki, az önce ortaya koyduğumuz ikinci sorunun cevabı ne?

Yakıt sıyırmadığımızı onaylarsak, bu sorunun cevabı Tablo - 6'da. Bu topluya ilaveten, Tablo - 7 ile Şek. 6 ve 7'ye de danışabiliriz.

Tablo - 6 Reposes Varsayılmaksızın Dünya Uranyum İstem Öngörüsü (4)

Yıllar	Dünya Uranyumu		Yanmış Yakıt	
	İstemi (10 ³ ton/yıl)	Toplam (10 ³ ton)	10 ³ ton/yıl	10 ³ ton (Kümülatif)
1985	41	304	7	48
2000	132	1420	25	256
2020	352	6090	75	1225

Şimdi eğer bugün, emin, 5 milyon ton tutarındaki uranyumu esas alacaksak, o takdirde 2020 dolayında reposesiz nükleer enerji üretiminin dünya (halen bilinen) üran-

Tablo - 7 Uranyum Çıkartma Yetenek Öngörüsü* (1)

	1980		1985		1990	
	Ülke Sayısı	Yetenek ktU/yıl	Ülke Sayısı	Yetenek ktU/yıl	Ülke Sayısı	Yetenek ktU/yıl
OECD - Kuzey Amerika	2	30	2	30	2	42
OECD - Avrupa	3	4	3	5	5	1
OECD - Uzak Doğu	2	2	2	14	2	21
Afrika	4	14	5	18	6	23
Latin Amerika	1	< 1	3	3	4	5
Asya	2	< 1	2	< 1	3	2
Toplam	14	50	17	70	22	100

* Bu tablodaki sayılar Şek. 6'daki sayılardan hayli büyük olup, işlenebilir durumdaki gizil kapasitesinin uranyum endüstrisine dahil edilmesiyle, teknik olarak ulaşılabilecek üretim tavanlarını göstermektedir. Ne var ki (Şek. 6'nın dipnotundan da anlaşıl-

ğı gibi), uranyum pazarlarındaki "durgunluğun" dağılmasına rağmen, uranyum endüstrisinin yeni üretim merkezleri açıp geliştireceği kuşkuyla sayılmak gerekir.

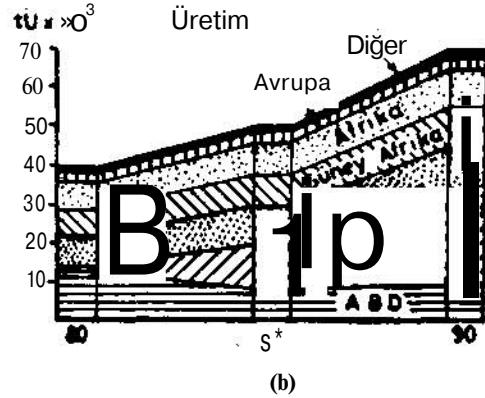
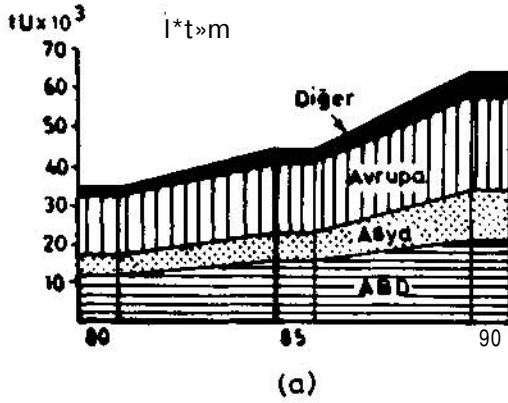
yum gizillerini kurutacağını ileri sürebiliriz. Bununla yetinebilir miyiz? Ya da 2020'den sonra emrimize başka uranyum kaynaklarının amade olabileceğini varsayarak reposes eylemine hiç girmemeyi yeğler miyiz?

Bu her iki seçenek de, nükleer enerji üretiminin yerini, önümüzdeki yüzyıl ortasından önce başka bir kaynağının alacağını öngörüyor olmakta. Gerçekten de böyle olmasını diliyor, ya da böyle olabileceğini güvenceli görebiliyor muyuz?

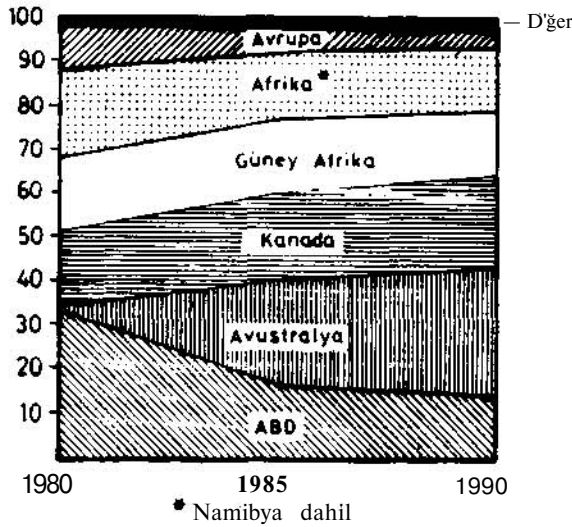
Yoksa, nükleer enerji üretimine, giderek artan paylarla devam mı etmeli? O takdirde dereceli olarak reposesle hızlı üretken reaktörler gerekiyor olmakta.

Görüldüğü gibi, karar kavşaklarında kumar adeta kaçınılmazlaşmakta!

Dünya uranyum gizilinin yetip yetmeyeceği yolundaki sorumuzun cevabı olarak, sayılan nedenlerle, "müteredit" bir hayır diyebiliriz.



Şekil - 6 Dünya uranyum istem ve üretimi* (I)



Şekil - 7 Uranyum üretimine çeşitli bölgelerin göreceli katkısı * (i)

3. ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİNİN KAPASİTESİ YETERLİMİ?

Zenginleştirmenin, doğal uranyumu, bileşenleri olan (^{238}U 'le ^{235}U ikilisinin ikincisinden yana zenginleştirme işlemi demek olduğunu, konuyla nisbeten az tanışan okur için anımsatalım. Dünya kurulu reaktörlerinin 4/5' ini oluşturan hafif sulu reaktörlere yakıt, bu işlem aracılığıyla hazırlanmak gerekiyor. Bu uğurda, ^{235}U 'ten yana % 2-3 zenginlik yetmekte.

Zenginleştirmeye dönük üç değişik teknik kullanılmakta ya da denenmekte. Gaz difüzyon, ultrasentrifüjasyon ve lazer teknikleri. Her üç teknik de, doğallıkla, ^{238}U 'le ^{235}U çekirdekleri arasındaki "minik" kütle farkını esas almış.

Gaz difüzyon tekniği, uranyumun önce UF_6 gaz bileşiğine getirilmesini gerektiriyor. Teknik en önceleri bomba yapımı sırasında geliştirilmiş. Buna ilişkin teknoloji, A.B.D., İngiltere, Çin, Fransa ve Sovyetler Birliği'nde mevcut. A.B.D.'nin üç, diğer ülkelerin birer tane gaz di-

* Uranyumun 1981 fiyatı 65 \$/kg. Bu fiyat üç yıl öncekinin yaklaşık yansı. Gerçi Uranyum istemiyle üretiminin başabaş gittiği izlenmekte. Ne var ki, bu durumun nükleer endüstri alanına yansıttığı belirsizliklerle beraber duraksayan nükleer iştahın (adeta ters bir tepkiyle), uranyum fiyatlarının düşmesine yolaçtığı söylenebilir. (Üretimin nisbeten rahatlamasıyla fiyatlardaki son çizginin değişmemesi beklenebilir.)

Uranyum gizillerinin aranmasına son yıllarda akıtılan kaynak : 500×10^6 \$/yıl. Öylelikle 1977'den bu yana keşfedilen yeni gi-

zillerin zenginliği, söz konusu süre zarfında çıkartılan uranyum toplam miktarının yaklaşık 10 katına denk (6).

önemli uranyum üreticileri : Avustralya, Kanada, Fransa, Gabon, Namibya, Nişer, Güney Afrika ve ABD.

* Uranyum üretimi, yeni madenlerin geliştirilmekte olduğu Avustralya ve Kanada'da artıyor. Buna karşılık ABD ve Güney Afrika'da göreceli olarak azalıyor.

füzyon tesisi bulunuyor.

Bu tesislerin yanısıra anılması gereken iki önemli müessesese var:

EURODIFF VE URENCO.

EURODIFF: Belçika, İspanya, İtalya ve Fransa'nın işti-rakiyle Tricastin - Fransa'da bir zenginleştirme tesisi kur-muş bulunuyor. Tesis dört birimlik ve toplam 3600 MWe gücünde bir nükleer santralle beslenecek. Buradaki yıllık elektrik enerjisi tüketiminin ülkemiz aynı zaman birimin-deki elektrik tüketimine denk olduğu kayda değerdir. Tesis henüz tam kapasitede çalışmaya geçmiş değil.

URENCO ise, İngiltere, Hollanda, Federal Almanya ve İsveç'in işti-rakiyle oluşturulmuş bir müessesese.

URENCO ultrasantrifigasyonla* çalışacak bir tesis proje-sinin sahibi. Tesisin 1985'de devreye girmesi bekleniyor.

Ültrasantrifigasyon teknolojisi üzerinde çalışmalar sür-dürülmekte. Bu teknolojinin, gaz d ifüz yon teknolojisine oranla daha az enerji yiyeceği öngörülmekte.

EURODIFF ve URENCO'yla Avrupa'nın zenginleştirme açısından "muhtariyet" ilân edeceği dikkate değer ol-maktadır.

Son olarak, henüz geliştirilme aşamasında bulunan lazer tekniği ile zenginleştirmeden söz etmeliyiz. Çekirdek-le-rindeki kütle farkından dolayı U^{238} 'le U^{235} elektron-la-rının bağlanma enerjileri birbirinden "çok az" da olsa, farklı. Bu kadar küçük bir enerji farkını lazerle görmek mümkün. Dolayısıyla atomlardan birini ionlaştırıp, öteki-

* Bu teknik, UFG gazının, hızla dönen bir silindirden geçiril-mesini kapsıyor. Silindirin yüzeyine yakın, U^{235} 'den yana zen-ginleştirme sağlanıyor. % 2-Ş'lik zenginlik oranına çıkılması mümkün. (Teknik, AJ3.D.'de İkinci Dünya Savaşı yıllarında de-nenmiş, sonra terkedilmişti.)

ni nötral halde bırakmak kabil, ionları bir elektrik alanı eleğinden eleyerek, zenginleştirme sağlanabilmekte.

Teknik henüz ekonomiklik çizgisine getirilebilmiş değil. İsrail'in bu alanda çalışmaları mevcut.

Zenginleştirme, kendine özgü bir birimle ölçülüyor: ayrış-tırma işi birimi ("separative work unit") ya da swu. U^{235} 'le U^{235} 'i birbirinden ayırmanın bedeli, son top-lamda bir enerji sarfı, haliyle. Bu enerjiyle ayrıştırma işi gerçekleşiyor. İşte, kabaca, bu enerjinin birimi, swu.

1 kg doğal uranyumu % 3 kadar bir zenginliğe çıkartmak için, parmak hesabıyla 1 swu'e gereksinme var.

Dünya zenginleştirme tesislerinin kapasitesini Tablo 8'de sunmaktayız.* Tablo - 1 'deki sayıları esas alırsak, 1980' de 458 GWe'lik bir nükleer kurulu güç söz konusu olacak demektir. Yaklaşık 450 GWe diyelim. Bunun tamamı bi-le hafif sulu reaktörlerden oluşsa (Tablo 8 dipnotunda belirtildiği gibi, 1 GWe'lik bir LWR için yılda 110×10^6 swu gerekeceği hesabıyla), 1990'da çok çok 50000×10^6 swu tutarında bir zenginleştirme kapasitesine ihtiyaç du-yulacağı ortaya çıkıyor.

Tablo 8, üretim itibariyle bu tutarın daha 1985'de aşıla-

* XI. D.E.K.'na sunulan INFCE (..International Nuclear Fuel Cycle Evaluation") sayılarının (6) biraz farklı olduğuna dikkat edilebilir :

	swu x 10 ⁶ /yıl	
	1980	1980
İşletmede	17.0	17.7
Kararlaştırılmış	3.9	23.3
Tasarı lı	0	24.7
Toplam	20.9	65.7

Tablo • 8 Zenginleştirme Tesisleri Üretim Yeteneği* (I)

	1980			1985		
	Ülke Sayısı	Tesis Sayısı	10 ⁶ swu	Ülke Sayısı	Tesis Sayısı	10 ⁶ swu
OECD - Kuzey Amerika	1	3	21000	2	4-6	30 300-44 300
OECD - Avrupa	4	7	3 880	4	9	12 800
OECD - Uzak Doğu	2	1	30	2	3-4	300
Sosyalist Blok - Avrupa	1	1	7 100	1	1	7 100
Asya	-	-	-	-	-	-
Latin Amerika	-	-	-	1	1	180
Afrika ve Orta Doğu	1	1	6	1	1	200-300
Dünya Toplamı	9	13	32 016	11	19-22	55 960-65 060

* 1000 MWe'lik bir Basınçlı Su Reaktörü için yıllık gereksinim : (separative work unit : "ayrıştırma iş birimi") ~ 110×10^6 swu

cağını sergilemektedir. O nedenle (1990'ları da bulan yakın gelecekte zenginleştirme açısından bir sorun bulunmadığı ifade olunabilir.

Ne var ki, Tablo - 4'den görüleceği gibi, dünya nükleer enerji üretim yeteneği 2000 dolayında muhtemelen 900 GWe'e yaklaşacaktır. Buna göre zenginleştirme talebi 1990'dakine oranla yaklaşık iki katına fırlayacak. Talebin giderilmesi o takdirde, yeni zenginleştirme tesislerinin inşasını gerektirebilecektir. (Bu konuda tamamlayıcı bilgi bu seminere sunulan (5) sayılı çalışmadan edinilebilir.)

Söz konusu zorlanmanın çözüm alternatifi reprosesürdür. (Buna birazdan geleceğiz.) Bunun da ötesinde, yukarıda değinildiği gibi, hızlı üretken reaktörler teknolojisine hız vermektir.

Ana fikir, görüldüğü gibi basittir:

Gerekli yakıt için; yakıt hammaddesi + teknoloji. Yakıt hammaddesi bol olsa bile, bunu istenen kıvama sokmak üzere başvurulacak teknolojik kapasite tavanlarının basık olmasının etkisi, yakıt hammaddesinin yeterli olmaması halinde doğacak etkinin, sonuçta, aynı olmaktadır.

Halen dünyada egemen reaktörler açısından, teknoloji hanesine zenginleştirme, ya da reproses yazmaktan başka da çare yoktur. Bu olgu ise, yüzyıl dönemeciyle birlikte (yeterince hammadde olduğu varsayımıyla) daha çok zenginleştirme tesisi kurmakla reproses fabrikaları açmak arasında yapılacak tercihi yürürlüğe koymayı gerektirmektedir.

Zenginleştirme tesislerinin kapasitesi yeterli mi yolundaki sorumuza, o halde, yüzyılımız dönemecine yakın geli-

Tablo - 9 Basınçlı Su Reaktörleri için ^ akıt Fabrikaları Üretim Yeteneği* (i)

	1980			1985		
	Ülke Sayısı	Tesis Sayısı	Ton U/yıl	Ülke Sayısı	Tesis Sayısı	Ton U/yıl
OECD - Kuzey Amerika	1	6	2 900	1	7	3 300-3 700
OECD - Avrupa	6	13	3 510	7	14	4 860
OECD - Uzak Doğu	1	4	990	1	4	1050
Sosyalist Blok -Avrupa			Saklı			
Asya	1	1	.21	1	1	21
Latin Amerika	-	-	-	-	-	-
Afrika ve Orta Doğu	-	-	-	-	-	-
Dünya Toplamı	9	24	7 421	10	26	9 231-9 631

* 1000 MVV'elik bir Basınçlı Su Reaktörü için yıllık yakıt gereksinimi: ~ 30 ton

Tablo -10 Basınçlı Su Reaktörleri için Reproses Tesisleri Yeteneği* (I)

	1980			1985		
	Ülke Sayısı	Tesis Sayısı	Ton U/yıl	Ülke Sayısı	Tesis Sayısı	Ton U/yıl
OECD - Kuzey Amerika	-	-	-	1	3	2 550
OECD - Avrupa	4	5	840	5	7	2115
OECD - Uzak Doğu	1	1	210	1	1	210
Sosyalist Blok - Avrupa			Saklı			
Asya	1	1	100	1	2	200
Latin Amerika	-	-	-	-	-	-
Afrika ve Orta Doğu	-	-	-	-	-	-
Dünya Toplamı	6	7	1 150	8	13	5 075

* 1000 MVV'elik bir Basınçlı Su Reaktörü için yıllık yakıt gereksinimi : ~ 30 ton

ninceye kadar, evet.. Ama ondan sonra, kuşkulu, cevabını vermeliyiz.

Fazla olarak o aşamaya ilişkin, zenginleştirme eylemini öteki faktörlerin, özellikle de reposesine ilişkin olarak verilecek kararın ışığı altında değerlendirmek durumunda olduğumuzu anlamaktayız. (Bakış açımıza bağlı olarak, tersini de ifade edebiliriz: Reposes eylemini, zenginleştirmeyle ilişkin olarak varacağımız yargının ışığında değerlendirmeliyiz. Teknik deyimle, söz konusu alanlardaki karar mekanizması "açık çevrim" izliyor olamamaktadır. Bu mekanizma bir "nonlineerlik" içermektedir. Verilecek kararlar "içiçedir". Bir karar ötekinin içinde.. Bu öteki karar da ilkinin içindedir.)

Yukarıda, yakıtla ilişkin olarak kullandığımız teknoloji sözcüğü, aslında, metalurjik anlamda yakıtın, uygun evsafdaki içeriğinin temini ötesinde, reaktöre girmeden önce edineceği "kılığı" da kapsıyor olmak gerekir.

O açıdan bir sorun olabileceğini söz konusu etmediydik. Gerçekten de yakıt "imali", zenginleştirme, ya da reposes yanında nisbeten sorunsuz bir işlem olarak kalmaktadır. Bir kapasite eksikliğinin zuhur etmesi halinde, bu öteki alanlardaki eksikliklere oranla zahmetsizce giderilebilecektir.

Tablo - 9 yakıt yapım kapasitelerini sergiliyor. Tablo - 1 1985 sütunundaki 300 GWe'lik üretim* esas alınarak ve 1 GWe'lik bir LWR'e yılda ~ 30 ton yakıt yükleneceği hesabıyla, yıllık yakıt yapım ihtiyacı 9000 ton olmaktadır ki, bu sayı Tablo - 9 son sütunu yekununun altındadır.

4. REPOSES KAPASİTESİ YETERLİMİ?

Reposesin yakıt çevriminde yüklendiği işlevin iki aşamalı olarak yürürlükte bulunabileceğini gördüydük. Birinci aşama yanmış yakıttan yanmamış ^{235}Pu (Pu235)'ün sıyrılıp**, bu izotopların (özellikle de ^{239}Pu) y_{en} den "ateş halına" sürülmesini kapsamaktaydı. İkinci aşama ise hızlı üretken reaktörlere yakıt, Pu239 sağlanmasını...

Reposes yoluyla, yanmış yakıttaki yanmamış fisil malzemenin yaklaşık % 40'ını kurtarmak kabil.

Reposesine söz konusu iki aşama itibarıyla ne ölçüde gerek olduğunu saptayacak olan, bu yandan dünya uranyum gizillerinin bolluğu.. Öte yandan da, çoğunluk reaktör-

* Değer biçmede kolaylık sağlamak üzere anılan tutarın tümünün LYVR'lerden oluştuğunu varsayıyoruz.

** T_j^{235} haliyle, U^{238} ile birlikte sıyrılıyor olacaktır. Eğer reposesine giren yakıt baştan zenginleştirme sürecinden geçmiş bir içerik taşıyorsa, sıyrılan (ve zenginliği, yanmadan dolayı pek kalmamış) uranyum, doğal uranyumlu yakıt kullanan bir reaktöre gidecek biçimde işlem görebilir. Yok, eğer zenginleştirilmiş yakıt kullanan bir reaktöre gidecek ise, önce bir zenginleştirme tesisine sevk olunmak gerekir. Nedir ki bu her iki seçenek de işimize yaramıyor olabilir. Nitekim, örneğin, zenginleştirilmiş yakıt yakan bir sistem söz konusudur. Buradan çıkan yanmış yakıt içindeki uranyum, sisteme dönecek biçimde zenginleştirmek de kulfetli olmaktadır. O takdirde reposes eylemi, sadece, bir Pu^{239} kaynağı olarak işlev görüyor olacaktır.

törü besleyen zenginleştirme tesislerinin yeterlilik derecesi. (Gerçekten de, reposesin zenginleştirmenin bir amaçlığı olabileceğini gördüğümüz anımsanacaktır.)

Bu noktalardan hareketle, "kesin" bir reposes yeterlilik düzeyi tanımlamam hayli müşkül olsa gerek. (Reposes sorununa dünyada, henüz anılan biçimde bakılmamaktadır.) O nedenle, bir ilk yaklaşım olarak "yeterli reposes kapasitesini" tüm reaktörlerden çıkan yakıtı "sıyrabilecek" kapasite olarak tanımlayıp.. Sorumuzu böyle bir kapasitenin mevcut olup olmadığı biçiminde soralım.

Sorumuzun yanıtını, Tablo - 10 sergilemekte. Ne var ki buradaki sayılar, reposes kuramsal yeteneklerini vermekte. O açıdan XI. Dünya Enerji Konferansı'na sunulan ilgili INFCE ("International Nuclear Fuel Cycle Evaluation") sayılarını da karşımıza almamızda yarar var (Tablo - 11).

Tablo -11 Yıllık Reposes Kapasitesi (ton) (6)

1980	1985	1990
748	2123	6688

Tablo 10 esas alınır, reposes kapasitesi 1980 yanmış yakıtın ancak % 20'sini işlemeye yetmekte. Bu oranın, aynı çerçeve içinde olarak, 1985'de % 50'ye çıkması öngörülüyor.

Tablo - 11 çerçevesinde 1990'a kadar, oluşacak yaklaşık 100 000 ton yanmış yakıttan*, 30 000 ton kadarının reposesine tabi tutulabileceği öngörülüyor. Başka bir deyimle, önümüzdeki on yıl içinde sıyrılma işleminden geçebilecek yakıt oranı % 30 dolayında ancak.

Bu açıdan bakılırsa, reposes kapasitesi yeterli değil!..

Dünya reposes tesisleri, önde bilinenleri itibarıyla şöyle (7) :

İngiltere'de Windscale tesisi. Gaz Grafit Reaktörleri yakıtlarını işlemek üzere kurulmuş.

Fransa'da Marcoule ve Hague'de olmak üzere iki tesis.

Federal Almanya'da yapım aşamasında bir tesis.

A.B.D.'de ticari reposes yok. Ancak bomba yapımı amacıyla kurulmuş irili ufaklı birçok tesis mevcut.

Avrupa'daki reposes yatırımlarını düzenlemek ve tasarlamak üzere 1971'de UNIREP ("United Reprocessor") ku-

* Yanmış yakıt miktarları için Tablo - 6 son sütununa da bakılabilir.

rumuş. Bu çerçeveden 1990'a kadar 5 tesisin kurulması öngörülmüyor.

5. HIZLI ÜRETKENLERE GEREK VAR MI?

Bu soruya, özünde cevap vermek bu yazının boyutlarını aşar. Gerçekte, bu soruya cevap vermek, dünyanın önümüzdeki yüzyıl sürecinde nükleer enerjiye "demirbaş" nazarıyla bakıp bakmayacağı sorusuna cevap vermek demek olmaktadır. Ya da nükleer enerjiye, tarihin hangi çentiğine kadar bel bağlanacağını saptamak demek olmaktadır.

örneğin Yeni Dünya, füzyon enerjisiyle güneşi ön plana çekerken nükleer enerjiyi (icabında) boşlayabileceği izlenimini vermektedir. Gerek füzyon enerjisini, gerekse de güneşi "terbiyede" sınırlı olanaklara sahip Avrupa ve Japonya'daki anlayış farklıdır: Nükleer enerji olmaksızın, gelecekteki enerji ihtiyacını tam doyurmanın imkânı yoktur. Hızlı üretkenlere de başvurulmaksızın, nükleer enerjinin kendinden beklenen işlevi yerine getirmesi mümkün değildir.

O bakımdan, XI. Dünya Enerji Konferansı uzantısında olarak Tablo - 12'yi sunmakla yetiniyoruz.

6. HIZLI ÜRETKEN TEKNOLOJİSİ HAZIR MI?

Bu soruya bir cevap denemesi olmak üzere Tablo - 13'ü düzenliyoruz.

Tablo - 12 Hızlı Üretken Seçeneği - FBR* (GWe) (4)

	1985	2000	2010	2020
Fransa	1.5	6	18.0	42.0
Sovyetler Birliği	1	4	32.5	124.0
İngiltere	0.3	1.5	4.5	16.5
Federal Almanya	0.3	1.5	4.5	25.5
Japonya	—	1.5	4.5	51.0
A.B.D.	—	3	6	88.5
Kanada	-	-	3	12.0
Toplam FBR	3.1	17.5 (6)	80.5 (12)	394.0 (16)
Toplam Nükleer	281	892	1607	2548

* "Fast Breeder Reactor"

Sondan bir önceki satır parantez içindeki sayılar FBR kurmuş olacak ülke sayısını göstermektedir.

Tablo 13, yeryüzünde hızlı üretken teknolojiye ilişkin olarak, yoğun üretim öncesi yeterli deneyimin biriktiği yolunda yorumlanabilir.

Tablo -13 Hızlı Üretken Reaktörler - FBR

Ülke	FBR	Güçü ¹ (MWe)	Doğum tarihi
İngiltere	DFR (Dounreay)	15	1962
	PFR (Dounreay)	254	1974
Federal Almanya	KKW (Kalkar)	327	1973
	KNK II (Karlsruhe)	21	1977
ABD	EBR II (Idaho Falls)	20	1965
	FFTF (Richland)	400 (th)	1979
Fransa	RAPSODIE (Cadache)	40 (th)	1967
	PHENIX (Marcoule)	250	1974
	SUPPERPHENIX (Creys - Malville) ²	1200	1983
SSCB	BOR - 60 (Dimitrowgrad)	75	1969
	BN - 35 (Schewtchenko)	350	1980
	BN -600 (Beloyarks)	600	1980
Japonya	JOYO(O-arai)	100 (th)	1977
İtalya	PEC (Brasimone)	140 (th)	1981

¹ MWe biriminde olmayan güçler, MW ısı (thermal : "th") biriminde olup, ayrıca (ilişik parantez içinde) tasrih olunmaktadır.

² Creys Malville • Fransa'da yapım halinde bulunan Superphenix; Fransa, Belçika, İtalya, İspanya ve Federal Almanya ortak projesidir.

7. TORYUM ÇEVİRİMİNE ACABA NE ÖLÇÜDE GEREK VAR?

Konuyla az tanışan okur için hatırlatmakta yarar var :

Toryum deyince, Th232 izotopunu kastediyoruz. Bu izotop fisil değil.

Nötronla bombalanınca fisil olan U233 izotopunun oluşmasına olanak verebiliyor. Tıpkı, Pu239-a "analık" eden U238 gibi.

Toryumdan yararlanabilmek için, o halde, onu önce bir reaktöre yerleştirmek gerek. Öylelikle oluşan U²³³ çekirdeklerinin bir kısmı fisyon reaksiyonuna girebilmekte. Eğer U²³³'ün oluşma hızı, onun tükenme hızından büyükse, bir miktar U²³³ çekirdeği de birikebilmekte. Bu çekirdekler, o takdirde, toplanarak başka bir reaktörde yanmaya konulabilir.

U²³³'ün nükleer özellikleri (tıpkı Pu²³⁹'ünkiler ve yukarıda anıldığı gibi) "Vavrulamaya" elverişli. Yani, dilenirse bir yandan U²³³ yakılırken, öbür yandan da, belli bir süre (~ 30 yıl) içinde yeni bir reaktöre yetecek kadar Lj233 (bu izotopun yakıldığı nükleer sisteme yerleştirilecek Th²³²'den itibaren üretilip) toplanabilecek.

Th²³² doğada bol. Bu izotoptan anlatılan çerçeve içinde yararlanmanın derece derece çeşitli yolları üzerinde durulagelmiş.

Üretkenlik ya da yavrulama fikri dolayında "Yüksek Sıcaklı Reaktörler" (HTR : "High Temperature Reactor", ya da THTR : "Thorium High Temperature Reactor") üzerinde çalışmalar sürdürülmüş (3).

Bu reaktörlere şimdilik, Hızlı Üretkenler (FBR) sonrası dönem reaktörleri olarak bakılıyor.

Daha mütevazı beklentiler, Th²³²'yi klasik santraller çerçevesine yerleştirip, enerji üretimine, U²³³ aracılığıyla doğrudan katkıda bulunmayı içeriyor. (Bunun, tabii ilke olarak, klasik santrallerde U²³⁵'den itibaren oluşan Pu²³⁹'ün santrallere kazandırdığı katkıdan hiçbir farkı yok.)

Söz konusu yaklaşımın doğal uzantısı olarak reproses aşamasında reaktörden gelen yanmamış U²³³'ü "geri çevrilmesi" ("recycling") yer almakta.

Bu anlamda toryum çevrimi gerek doğal, gerekse de zengin uranyum yakıtlı reaktörler için düşünülmüş.

Konunun çeşitli boyutları üstünde tam egemenlik henüz kurulmuş değil.

Şu noktayı da iyi kavramak gerek :

Neden toryum ?

Başka bir deyimle, uranyum yakıtlı reaktörlerde zaten yeni bir fisil izotop, Pu239 üüyor. Reaktörde yanmamış Pu239'ün reproses aşamasında geri çevrilmesi de söz konusu olabiliyor. O halde, fazladan toryumun getireceği kazanç ne?

Ya da, klasik santrallerde toryumu nasıl kullanırsam, tor-

yum kullanmamam halinde izleyeceğim "Pu239 çizgisinden" daha kazançlı bir çizgi izlerim?

Bu soru, yakıt yapımı, yönetimi ve optimizasyonu açısından hayli karmaşık bir içerik taşıyor olup.. Yanıtı henüz, anladığım kadarıyla, aydınlık olarak verilmiş değildir.

Mantıksal sırada yer alan başka bir soruyu da gündeme getirelim :

Th²³²-Lj233 çizgisine, U²³⁸-Pu²³⁹ çizgisinde kesin yer verdirtecek olgu, yalnız reprosesiz (ve üretkensiz) değil, aynı zamanda reprosesle birlikte üretkenlik seçeneğinin de talebe cevap vermeyecek kısırlıkta kalması olurdu. (Başka bir deyimle, dünya doğal uranyum kaynakları (reprosesiz) yetmiyor.. Bu kaynaklarda "potansiyel olarak gizli" Pu²³⁹ enerjisi de yetmiyor, dünya talebini karşılamaya.)

Böyle bir durum geçerli değil!

O açıdan Th²³²-Lj233 seçeneğine U²³⁸-Pu²³⁹ çevrimi yanısıra bir zorunluluk olarak bakmak mümkün değil.

Öyleyse?

Klasik santrallerde acaba, Pu239 üretimini Th²³²-U²³³ çizgisiyle "takviye" olanakları var mı? Varsa ne?

Toryum çevrimine dönük güncel sorun bu işte...

Bu sorun çerçevesinde ortaya konacak yanıtlardır ki, eğer imkân dahilindeyse, toryum çevriminin, hızlı üretkenlere gidilmesini ne ölçüde kısılabileceği sorusuna ışık tutabilecektir.

8. TORYUM TEKNOLOJİSİ HAZIR MI?

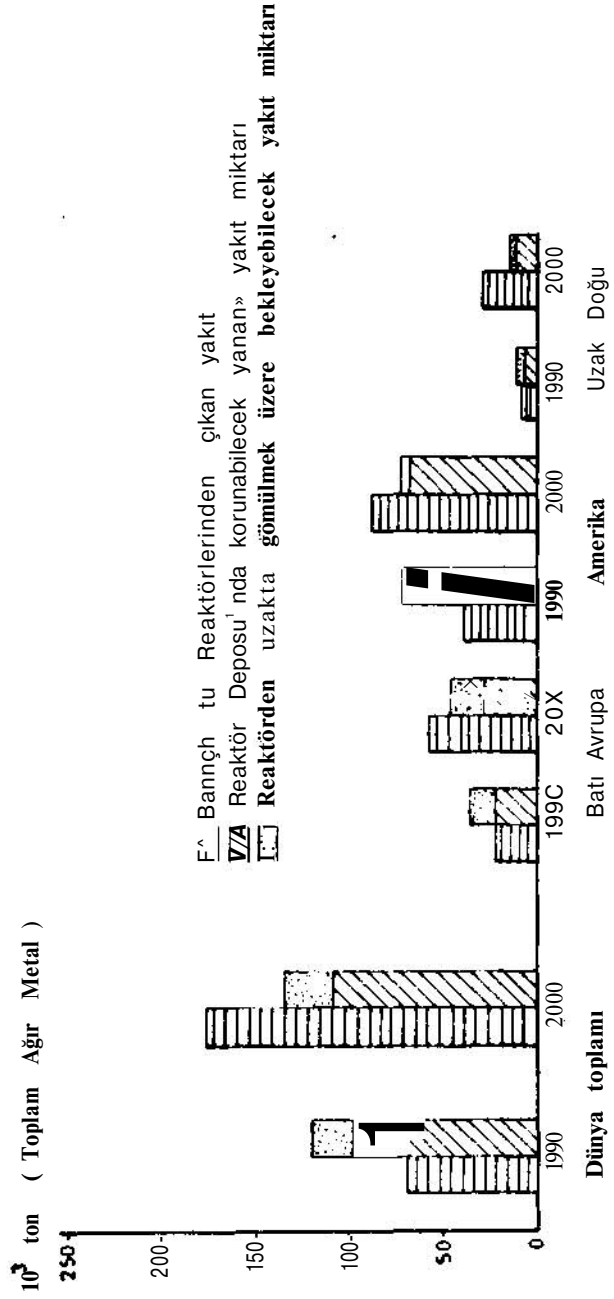
Bu sorunun cevabı hem evet, hem hayır. Birşeyler bilinmemekte. Bunlara ilişkin bir teknik, bir teknoloji var elbet. Ama bir yandan üstünde henüz tam egemenlik kurulmamış sorunlar mevcut.. (U²³³'ü, içinde bulunduğu şiddetli derecede radyoaktif ortamdan ayırmak gibi..) Bir yandan gün ışığına çekilen seçeneklerin ekonomik olurluluğu tartışmalı., öbür yandan da, mevcut bir sürü seçenek açısından hangisinin izleneceğine kesin karar verilebilmiş değil.

Onun için sorumluzun cevabı net değil!

9. NÜKLEER ARTIKLAR SORUNU DOYUMLU BİR ÇÖZÜME KAVUŞTURULMUŞ DURUMDA MI?

Tablo - 6 son sütunundan, 1983'e kadar yaklaşık 50 000 ton yanmış yakıt birikeceği görülmekte. (1985 yılı boyunca reaktörlerden çıkacak yakıt miktarı ise 7000 ton. Tablo - 10 itibarıyla, bunun 5000 tonu reproses tabi tutulabilecek.)

Yanmış yakıtlar, birçok "bohçalama" ve "gömme" seçeneği üzerinde durulmuş olunmakla birlikte, henüz "defnedilmiş" değil. Çıktıkları reaktör içinde, ya da başka bir yerlerde muhafaza olunuyorlar.



Şekil - 8 Basınçlı su reaktörlerinden 2000'e kadar çıkacak yanmış yakıt (t)

Ne var ki böylesi bir çerçeveyi gerçekleminin hiç de kolay olmadığını anlıyoruz. Zira, kararlar, yalnız nükleer seçenekler arasında bir seçim yapmayı gerektirmiyor.. Aynı zamanda, füzyon gibi, güneş gibi, kömür gibi, öteki alanlardan gelecek katkıların da ne düzeylerde bulunacağı.. Hatta bu katkıların, (gerçekçi olarak kestirilmesi çok zor) dinamizmasının bilinmesini de gerektiriyor.

O nedenledir ki karar kavşakları ister "nükleer dışı" etkenlerden dolayı olsun.. İsterse de "nükleer içi".. Tuzaklar ve "barbutlarla" dolu...

"Ekonomik mi" sorusuna gelince..

XI. Dünya Enerji Konferansı'na sunulan bir bilgiye (9) göre nükleer enerjinin kilovatsaat(kVVs) başına tutarı yaklaşık 19 cFF* (santim Fransız Frangı). Fuel oil için aynı tutar 36 cFF.. Kömür içinse 25 cFF.

Ama gemi, hasar görmekle birlikte, batmıyor. Kimsenin burnu da kanamıyor...

Bu noktada genel manzaraya, dünya enerji sorunu çerçevesinde olarak topluca bakmak ve bir izlenimi dile getirmek istiyorum (14-15). (Bu izlenim tamamen kişisel ve spekülattir. Ne var ki katılma olanak ve onurunu tattığım birçok uluslararası toplantı (10-13) sonucu bende kalan tortudan kaynaklanmaktadır.

Buna göre nükleer enerji, fuel oil ile kıyaslanamayacak kadar iktisatlı. Dışarıda, kömürle bile çekişiyor*.

Son sorumuz "güvenilir mi" yolundaydı.

Şekil - 2'nin altında, halen 2200 reaktör x yıllık bir nükleer enerji üretimi işletme deneyiminin birikmiş bulunduğunu kaydetmiştik. Bu deneyim 1990'da 6000 reaktör x yıl ölçüsüne tırmanacak (1).

Gerçi nükleer enerji 1979 Martı'nda TMI Kazasını geçirdi. Bunu bir "felaket" olarak niteleyenler çıktı. Kanımızca o kaza, nükleer teknolojinin güvenilirliğine bir kanıt sayılmalı. Gerçeğe kaza pek çok şey öğretti ama.. Mevcut sistemin "güvenli" bulunduğunu da gösterdi. Nasıl öyle olmasın ki: Bir denizaltı kazası düşünün. Teknik arızaya, tayfanın cinneti de ekleniyor. (Bir ikisi baltalarla döşemeye saldırıyor!)

* 1 cFF halen 22 krş.

• TEK Nükleer Santraller Dairesi'nin Nisan 1979'daki bir incelemesine göre; hepsi de toplam 600 MWe'lik, klasik ve nükleer santraller enerji üretim birim maliyetleri (krş/kvvs), 1984 başı itibarıyla şöyle (17)..

Orhaneli (Linyit)	: 58
Elbistan (Linyit)	: 50
Ambarlı (Fuel oil)	: 81
LWR ("Light Water Reactor")	: 64
HWR ("Heavy Water Reactor")	: 66

Söz konusu öngörü santral ömrünü 30 yıl.. İç eskalasyonunu % 10.. Dış eskalasyonu % 6.. İç faiz oranını % 11.. Dış faiz oranını ise % 8.5 varsayıyor, (öngörünün yapıldığı tarihte 1 \$, 18 TL. imiş.. Şimdi ise 126 TL.)

Şekii - 8, 1990 ve 2000 yıllarında oluşacak yanmış yakıt miktarıyla, reaktörlerde ya da başka bir yerlerde ("Away from the Reactor") saklanabilecek yakıt miktarlarını sergilemekte. Buna göre 1990'da kabaca 100000 ton yakıt gömülmeden tutulabilecek. Bu hacim; o tarihe kadar oluşacak toplam yakıt hacminden fazla. Ne var ki 2000'e kadar bir miktar yanmış yakıt da elden çıkarılmak durumunda.

Yanmış yakıtların elden çıkarılmasının artık bir sorun oluşturmayacağı öngörülüyor (7, 8). Bunların, vitrifikasyon (camlaştırma) yoluyla sağlama alındıktan sonra, jeolojik formasyonlara yerleştirilmesi neredeyse hemen herkesin üstünde birleştiği bir çözüm şekli.

Fransa'nın Marcoule'de bir vitrifikasyon tesisi var.

İngiltere, Kanada ve Federal Almanya "kabristan" olabilecek jeolojik alanlar üzerinde çalışmalar başlatmışlar.

Japonya yakıtlarını vitrifikasyon aşaması için Fransa'ya yollamayı amaçlıyor.

İsveç reaktör sonrası - mezar öncesi dinlendirme ("Away from the Reactor Storage") kavramı üzerinde çalışıyor.

ABD yüzyıl dönemecinde yanmış yakıt mezarlarını işletmeye açabilecek. Ancak henüz yer seçimi çalışmalarına girişmiş değil.

Görüldüğü gibi birçok ülkenin konuyla ilgili tasar ve öngörülerini birlikte, şimdiki kadar hiçbiri, nihai bir "mezar" seçimi yapmış değil.

Yakıt çevriminde reposes varsayılıyorsa, radyoaktif artıklar sorununun reposes fabrikaları çıkışında yer alması dolayısıyla.. Bunun, fabrikalara sahip olmayan ülkeler açısından birincil derecede önem taşımayacağı vurgulanabilir.

Radyoaktif artıklar arasında Kr^{85} , S^{35} , I^{131} , Cs^{137} , C^{14} , Zn^{65} , Co^{60} ve H^3 bulunuyor. Cs^{137} ile S^{35} 'nin yarı ömürleri 30 yıl dolayında. Söz konusu izotoplardan en yavaş bozunanları bunlar. Radyoaktif bir çekirdeğin "sükunet" bulması için on yarı ömür gerekse, cenaze yakıtı "diriltmeden" önce 600 yıla ihtiyaç var demektir.

Reposes varsayılmazsa, Pu^{239} da yukarıdaki izotoplara dahil etmek gerekir. Bunun yarı ömrü ~ 25 000 yıl olduğuna göre, dört yarı ömür bile 100000 yıl eder ki, cenaze yakıtı saklama asgari süresi bu olmaktadır...

10. ÖZETLE; YETERLİ, EKONOMİK VE GÜVENİLİR BİR NÜKLEER ENERJİ ÜRETİMİ MÜMKÜN OLMAKTA MIDIR ACABA?

"Yeterli mi" sorusuna, anlatagelinenlerin ışığı altında, sıkışılacak dönemlerde çözüm olarak başvuruya açık yollar bulunduğu biçiminde cevap verebiliriz.. Yeter ki o yolların gerektireceği koşullar zamanında sağlansın, ilgili önlemler zamanında alınsın...

Kanımcı nükleer enerji alanını da içine alan "dünya enerji sorunu" "dünya sorunuyla" eşanlamlıdır. Bu soruna, ana odağı Orta Doğu Petrolleri itibarıyla bakmak yanlış olmaz.

Konumuz açısından göze çarpan bir tezat şu :

ABD, görünüşte Orta Doğu kaynaklı petrol bağımlılığından yakınmaktadır. Elektrik üretiminde nükleer santraller, hele ithal malı petrol yakan termik santrallere, kesir almıştır. Oysa, elektrik üretimi amacıyla yılda ~ 100 milyon ton petrolün yakıldığı ABD'de nükleer enerji üretimine karşı yoğun bir kampanya mevcuttur. Bu kampanya birçok nükleer santral siparişinin iptaline yettiği gibi (bkz. Tablo - 3)... Hükümet çevrelerinde de, sanki, muteber addedilegelinmektedir. A.B.D.'de, yâni, hem petrol bağımlılığı istenmemekte.. Hem petrol santrallerinin alternatifi kınanmakta.. Hem de "cayır cayır" "petroldolar" yakılmasına devam olunmaktadır.

İzlediğim ikinci bir tezat şu :

ABD'de nükleer enerjiyi kınayan uzman çevreler şu gerekleri öne sürmektedirler..

- Nükleer yakıt çevrimi, uranyum çıkartmadan, bunun artılmasına ve zenginleştirmesine.. Yanmış yakıtın reprosesiyle, nükleer artıkların gömülmesine kadar, hemen her aşamasında sorunlarla doludur.

- Esasen (yukarıda tartıştığımız gibi) bugün egemen nükleer teknoloji, seçimi itibarıyla yanlıştır.

- Ömrünün tamamlayan bir nükleer santralin sökülmesi ("aismantling") zorunlu ve külfetlidir. Bu olgu klasik santraller nezdinde "komiktir". Sözü edilen külfet, fazla olarak, henüz maliyet hesaplarına bindirilmemiş, kabarık olması muhtemel faturalar gizlemektedir.

- Nükleer santraller büyük çapta sermaye - yoğunlardır. Bu nedenle kurulmuş girişimleri de zor olmaktadır.

- Nükleer enerji üretimi kamuoyu önündeki kredi ve güvenirliliğini yitirmiştir.

Gündeme getirmek istediğim tezat şu olmaktadır ki, ABD'deki o uzman (hem de kimisi nükleer uzman) çevrelerin, bırakın yirmi yılı bir yana, on yıl önce bilmedikleri ne vardı ki o gün için muteber olan enerji üretim seçeneğiyle teknolojisi şimdi "yanlış" ilân edilip kınanmaktadır. (Doğallıkla, siyasal yönetimlerle bütünleşen nükleer enerji galip "istemezükleri" yanısıra, yenik düşmüş olsa dahi "kuvvetli" sayılabilecek bir karşı kamp bulunduğuna anımsanmalıdır.)

Üçüncü bir tezat şu :

ABD'de nükleer enerjiyi uşlamak isteyen çevre, yerine kömürü öneriyor. Kömüre ilişkin, malum, CO2 atmosfer kirliliği sorunu mevcut. Bu sorunun planetimiz için endişe verici boyutlar kazanabileceği birçok uzmanın üzerinde birleştiği bir yargı (!(>)). Bir yandan, nükleer artıkları ileri sürerek nükleer enerjiyi kınayın. Ömür yandan da yakıt çevrimi zincirinin son halkası "meşşuk" bir enerji

kaynağını, alternatif diye öne sürün. Açık çelişki doğrusu!..

Zikredeceğim son tezat şu :

ABD Nükleer enerjiyi bunca dışlarken, Avrupa ve Japonya (ufak tefek kamuoyu tepkileriyle birlikte) ona dört elle sarılıyor. Hatta hızlı üretkenlere dönük programlar yürürlüğe koyuyor. (Ticari reposesi yasaklamış olan ABD ise, hızlı üretkenler alanında ortaya herhangi bir öngörü koymadığı gibi.. Destlarının bu alandaki iştahının da önünü almak istiyor.)

Bu tezatlar tablosu kanımcı şöyle yorumlanabilir :

ABD, öncelikle Orta Doğu petrolünü tüketmeyi amaçlamaktadır.

Öylelikle aynı taşla birkaç kuş birden vurulabilecektir:

Orta Doğu'yu "dünya sorunu" olmaktan çıkarabilecektir. (Orta Doğu ABD'ye, oradaki herşeyi denetleme imkânını bırakmayacak kadar uzaktır.)

Kendi kaynaklarını "kara gün" için saklayabilecektir.

Orada füzyon ve güneş enerjilerinin olurluluğunu sağlayabilecektir.

Özellikle füzyon enerjisinin gün ışığına çıkartılmasıyla ABD, şimdiki duyarlı dengenin bir-iki adım önüne çıkmayı ummaktadır. Bu alanda başarı, parasal ve beynsel sınırlı kaynakların "hasisçe" kullanılmasını gerektirir. O nedenle biraz daha "haris" davranmak pahasına da olsa, hızlı üretken reaktörlerden vazgeçmek yeğlenecektir. Böyle yapılmakla zaten, o alandaki rekabet azaltılmakta.. Hızlı üretkenler teknolojisine ABD'de de gidilmesi halinde, Yeni Dünya ile Avrupa arasında yürürlükte olacak olan rekabet, silinmekte.. Öylelikle de bu teknolojinin Avrupa ve Japonya'daki gelişim hızı bir ölçüde olsun yavaşlatılmaktadır. Bu hız reposesinin kıtasal olarak yasaklanması ve nükleer enerjinin kınanmasıyla, bir ölçüde daha ke-silebilir.

Avrupa ve Japonya'nın füzyon enerjisinin dizginlenmesinde ABD'yi geçmeleri söz konusu değildir.

Bu enerjinin ortaya konmasıyla ABD müttefikleri nezdinde de prim kazanacaktır. Bu primin şeddeli olmasının koşuluysa müttefiklerin o aşamada füzyona muhtaç olmaları, ya da başka seçeneklerinin bulunmaması.. Başka bir deyimle hızlı üretken teknolojide, hızlı üretken reaktörleri tam bir çözüm olarak benimseyecek kadar yol katetmiş olmamalarıdır.

Nükleer enerji ABD'de, yukarıdan beri saydığım tüm te-zatlara karşın, işte sanki bunun için kınanmaktadır.

Gerçi şu da vardır :

Avrupa ve Japonya Orta Doğu petrolüne muhtaçtır. Orta Doğu'ya, enerji çevrelerinde çok sık görüşüldüğü gibi kuramsal bir Sovyet müdahalesiye, Avrupa'yla Japonya'yı ABD'den koparıp Doğu Bloku'nun kucağına itebilir.

O takdirde Avrupa ve Japonya'nın Orta Doğu petrolle-rine olan bağımlılıklarını azaltmaları yeğlenir. Bunun ça-

resi ise nükleer enerjiye yönelmektir. Hızlı üretken teknolojiyle birlikte...

O halde, ABD'nin Avrupa ile Japonya'nın nükleer alanda tasarladıkları hızlı gelişime çomak sokmaması gerekir.

Eğer az önce anlattığım, ABD'nin, nükleer alanda Avrupa üstüne pres yapmasına ilişkin varsayım geçerliyse, açığa çıkan ikilem, Sovyetlerin Orta Doğu'ya sıcak bir müdahalesinin şimdilik gerçek dışı olarak görüldüğü şeklinde giderebilmektedir.

Sovyetler satranç tahtası üzerinde, Orta Doğu petroleri karesini gören karşı renk bir vezir gibi, Batı'yı zaten yükselemeden petrol fiyatlarıyla abluka altına almışlardır.

Batı da sanki, zaman zaman hiddetlense (ya da öyle görünse) bile ekonomisini alt üst eden enflasyon karşısındaki boynu büküklüğü, karşı tarafa, şimdilik rıza gösterdiği hassas dengenin sürmesinden yana olmaklığının rüşveti olarak ödemektedir.

Avrupa ABD'nin hissini algılamaktadır.

ABD ile Avrupa arasındaki nükleer tezat da işte buradan Kaynaklanmaktadır.

Bu düşüncelerin, uydurma olma olasılığı ne kadar güçlüyse, satranç masasında ne tür oyunların şahlanacağını göstermedeki etkinliği de o kadar yadsınmaz olmak gerekir.

Öyle ya da böyle oluşan bir tezatlar dünyası tornasından çekilerek, nükleer enerji de bir kılık almaktaysa.. Bunun dinamizmasını anlamak üzere o toranın en ücre yivlerine kadar girmek kaçınılmaz olabilecektir.

Ülkelerin yazgısına hükmedeceklerin öyle bir dinamizmayı anlamaya girişmeleri bir zorunluluktur. (Hele, sırtını Orta Doğu petrollerinin sahanlığına yaslamış bir ülkenin yazgısıysa, söz konusu olan...)

Anlatılanlardan alınacak en önemli ders sanırım, sorunun cesameti karşısında, karar duraklarına varıncaya değin, onu "efendi gibi" izleme gereğidir.. Teknik, teknolojik, siyasal ve ekonomik girdileriyle birlikte... Bu doğallıkla, yetkin ve örgütlü bir ekip işidir.

Böyle bir ekip, yalnızca gelişmeleri izlemekle kalmayacak.. Tabii, muhtemel seyir öngörülerinde de bulunacaktır. Bu öngörülere, gerek seyrin ana hattına ilişkin olsun, gerekse de seyir gözlemi sonucu varılacak yargılara girdi olacak özgün verilere.. Çeşitli belirsizliklerle ilgili öngörülerde de bulunmak ve sonuç yargılarda bu belirsizliklere yer vermek kaçınılmaz olmak gerekir.

Söz gelişi elektrik istem öngörüsü, ya da ulusal kaynak tahminindeki küçük belirsizlik, ya da yanılgrtarın bile.. Buralardan hareketle varılacak sonuç yargıların güvenilirliğine gölge düşüreceği.. Hatta o yargılarla ülkeyi maceralara sürükleyebileceği ortadadır (18).

Türkiye'de, nükleer enerji üretiminin gerçekleşmesine dönük ciddi ihmaller yanısıra, çok saygın addedilmek gereken çabalar da olagelmıştır. Ancak henüz ülkesel çapta bir nükleer enerji politikası, malum, oluşturulmuş değildir.

Çeyrek asırlık "nükleer enerji" geçmişine sahip olan ülkemizdeki; Türkiye'de nükleer enerji planlamasına dönük bu ilk bilimsel toplantının, soruna devletin üst katında kalfa usulü yaklaşımların ötesinde ışık tutacağı ümidi yine Atatürk'e, 100 yaşındaki Atatürkümüz'e borçlu olunmaktadır.

KAYNAKLAR

- (1) S. Eldund, Nuclear Power Development - The Challenge of the 1980 s. IAEA Bulletin, Vol.23, No. 3, September 1981.
- (2) C.L.Wilson; The Nuclear Age - Begining or End? Round Table, Energy and Global Security, Salzburg Seminar in American Studies, 20 Nisan - 2 Mayıs 1981.
- (3) V. Altın, T. Enginöl, T. Yarman, Toryum Nükleer Yakıt Çevrimi ve Türkiye Açısından Değeri, Türk Fizik Derneği III. Fizik Kongresi, 6 - 7 Mart 1980, Çukurova üniversitesi - Adana; Çağdaş Fizik, 1981.
- (4) K.H. Beckurts, T.Y. Connolly, U. Hansen, W.Jack, XI. Dünya Enerji Konferansı (DEK), Vol.4B, 239,8-12 Eylül 1980, Münih.
- (5) N.Aybers, Dünyadaki Gelişmeler ve Türkiye'nin Kısa, Orta ve Uzun Vadeli Nükleer Güç Stratejisi.. Bu Seminere sunulan bildiri.
- (6) E. Svenske, Availability of Supplies within the Nuclear Fuel Cycle, Position Paper Round Table Discussion No. 5, The Need For Nuclear Energy and its Problems, XI. DEK, 8-12 Eylül 1980, Münih.
- (7) M. Felden, Energie : La Defi Nucleaire, Collection Connaitre of Compendre, 1976.
- (8) S. Eklund, IAEA, The Need for Nuclear Energy and its Problems, Position Paper, Round Table Discussion No. 5, The Need for Nuclear Energy, and its Problems, XI. DEK, 8-12 Eylül 1980, Münih.
- (9) C. Chevrier, Las Bescins Nucleaires des Pays Industrialises, Position Paper, Round Table Discussion No. 5, La Necessite de L'Energie Nucliaire et ses Problemes, XI. DEK, 8-12 Eylül 1981, Münih.
- (10) X. DEK, Eylül 1977, İstanbul.
- (11) Long Term Energy Resources, UNITAR, Aralık 1979, Montreal.
- (12) XI. DEK, Eylül 1980, Münih.
- (13) Energy and Clobal Security, Salzburg Seminar, Nisan -Mayıs 1981, Salzburg.
- (14) T. Yarman, Nükleer Enerjinin Dünyadaki Genel Durumu, Sorunlar ve Seçenekler, Konuşma, 16 Aralık 1980, İTÜ NEE.
- (15) N. Aybers, İ. Kavrakoğlu, E. Onulduran, T. Yarman, Enerji Düşümü, Basra, Doğu-Batı ve Türkiye, Oturum, 22 Mayıs 1981, İTO NEE.
- (16) A. M. Wainberg, Nuclear Energy at the Turning Point, IAEA-CN-36/593, 1977.
- (17) Elektrik Üretiminde Nükleer Santrallerin Yeri ve Sorunları, TEK NEEPTD-IR-68, Nisan 1979.
- (18) T. Yarman, Makroplan çalışmalarıyla ilgili olarak AEK Danışma Kurulu'na sunulan rapor, Aralık 1980.
- (19) R. Stobaught, D.Yergin, Energy Future, 1979.