



YENİ NESİL

NÜKLEER REAKTÖRLER

Daha ekonomik, daha basit ve daha güvenli yeni nesil nükleer reaktörler, dünyanın enerji problemlerine çözüm getirmeyi vad ediyor. Fakat atomun kirliliği geçmiş, yeni neslin de şüpheli karşılanmasına yol açıyor.

Arthur FISHER

Nükleer reaktörler üzerindeki tartışmalar, şiddetini, uzun yıllardan beri hiç kaybetmedi. Nükleer enerji taraftarlarıyla karşıtları arasındaki büyük uçurum kapanmadı ve hatta giderek daha da açıldı. Her iki grup da iddialarının kaynağını çok önemli iki noktadan almaktadır: Enerji krizi ve küresel ısınma.

Yeni nesil nükleer reaktörleri savunanlar, bunların fosil yakıtların karbondioksit salmayla yol açtığı sera etkisine katkıda bulunmadan, güvenli ve bol enerji sağlayacağını iddia ediyorlar.

NÜKLEER REAKTÖRLERİN BUGÜNKÜ DURUMU

Yeni nesil, halen kullanılmakta olan hafif sulu reaktörlerin (LWR) geliştirilmiş modelleri ile helyum ya da sıvı sodyum soğutmalı reaktörleri içeriyor. Hafif su reaktörlerinde reaktörün kalbi ağır değil, normal suyla soğutulmaktadır. Yeni nesil reaktörlerin yalnızca daha basit değil, aynı zamanda daha ucuz olması planlanıyor. Bunlar "pasif güvenli" veya "doğal güvenli" olarak tanımlanıyor. Çünkü bazı tasarımlarda, soğutma suyu pompa aracılığı ile değil yalnızca yerçekimiyle otomatik olarak gerektiği yere aktığından, tehlike anında doğrudan bir müdahaleye gerek duyulmuyor.

Reaktörleri daha güvenli hale getirmek için harcanan tüm çabalara rağmen, nükleer enerji karşıtı güçlü bir kamuoyu var. Peki neden? Bu zamana kadar kötü giden ne oldu?

İnsanlık atomla tanıştığında sınırsız bir enerji kaynağı bulduğunu sanmıştı. İlk atom bombası patlayıp korkunç gücünü ortaya koyduğunda, nükleer enerjinin iyi amaçlı kullanılması yönünde birden büyük bir istek doğurdu. Elde inanılmaz bir enerji kaynağı vardı. Bir gazeteci, nükleer gücün, çölleri, içinden süt ve bal akan cennet ormanlara çevirebileceğini yazarken, bir diğeri de Afrika'nın ikinci bir Avrupa haline geleceğini düşünüyordu. 1958'de Atom Enerjisi Komisyonu Başkanı Lewis Strauss ise nükleer enerjiyi "ölçmek için bile çok ucuz" diye tanımlıyordu.

Fakat bunlar hayalden öteye gidemedi. Nükleer reaktör inşaatları çok uzun sürüyor, can sıkıcı arıza ve gecikmeler bu süreyi 14 yıla kadar uzatabiliyor. Nükleer enerji termik santrallerle yarışacak kadar bile ucuz değildi. Radyoaktif atıkların nasıl depolanacağı, bomba materyalleri üretimi, muhtemel terörizm, kullanılan reaktörlerin elden çıkarılması konularında artan endişeler önlenemiyordu. Radyasyona maruz kalmanın etkileri tam olarak açığa çıkmamıştı. Ve en önemlisi, bir kaza durumunda eriyen yakıtın yaydığı radyoaktivitenin korkunç felaketlere yol açıp açmayacağı bilinmiyordu. 1974'ün sonlarına gelindiğinde planlanan 100'den fazla reaktörün inşası ya iptal edilmiş ya da ertelenmişti.

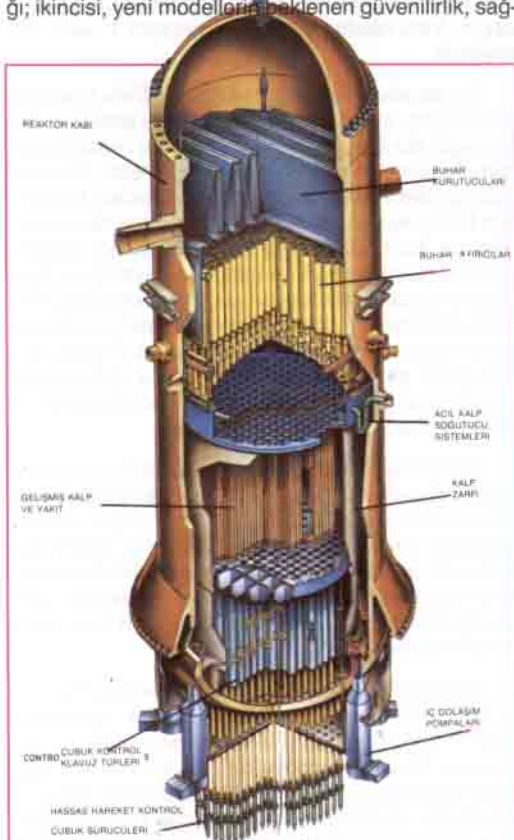
1979 yılında, korkulan başa geldi. Three Mile Adası'nda bulunan reaktörde meydana gelen yakıt erimesi Amerika'da büyük paniğe yol açtı. Kazada

kimse ölmemiş ve önemli derecede radyasyona maruz kalmamıştı. Ancak kazadan sonra gerekli temizleme işlemleri yaklaşık bir milyar dolara mal olmuştu. Bu çalışmalar halen sürmektedir. Kaza, nükleer reaktörlerin itibarını son derece düşürdü. 1986 yılında meydana gelen Çernobil felaketi ise, hepsinden dramatik sonuçlara yol açtı. Etkileri üzerindeki tartışmalar ise henüz sonuçlanmadı.

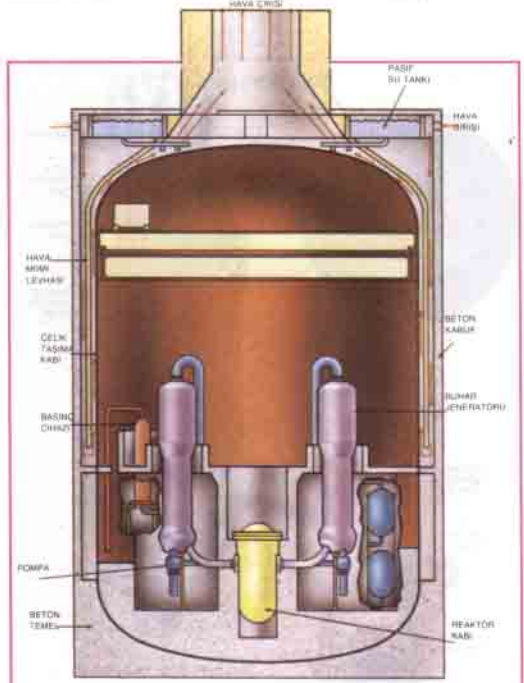
Şu anda ABD'de kurulu bulunan 108 ticarî nükleer reaktör, ülkenin enerji ihtiyacının yaklaşık % 18-20'sini karşılıyor. 14 tanesi henüz inşa halinde. Fakat 1978'den beri yeni bir reaktör yapımına girilmemiş, aksine, son on yılda sipariş edilmiş veya inşa edilmekte olan 60 reaktör iptal edilmiştir. Çalışmaya hazır 3 reaktör ise işlemez durumda beklemektedir. Bunlardan Shoreham reaktörünün maliyeti 5,3 milyar dolar. Bu, nükleer endüstrinin içinde bulunduğu krizin açık bir belirtisi.

ENERJİ KAYNAKLARININ GELECEĞİ

Yeni bir nükleer doğuş mümkün mü? Bu sorunun cevabı üç önemli noktada yatıyor. Birincisi, gerçekten yeni nükleer reaktörlere ihtiyaç olup olmadığı; ikincisi, yeni modellerin beklenen güvenilirlik, sağ-



General Electric ABWR: 1356 megawatt gücündeki reaktör, kullanılmakta olan hafif su reaktörlerinin daha basit bir türü.



Westinghouse AP600: Pasif güvenli bir reaktör olan AP600, kaza durumunda, karmaşık pompalama sistemleri yerine, yer çekimi, doğal dolaşım, konveksiyon ve buharlaşmayla soğutma tekniklerini kullanıyor. Acil müdahale gerektirmeyen reaktör, 6 yılda inşa edilebilecek.

lık ve ekonomik standartları karşılayıp karşılayamayacağı; ve sonuncusu 30 yıldan beri çözülmemeyen radyoaktif atıkların depolanması sorununun üstesinden gelinip gelinemeyeceği.

Şu anda kullanılan başlıca enerji kaynağı olan petrolün kendisi gibi geleceği de kara. Devamlı tüketilen petrol, bir gün mutlaka bitecek ve o gün çok uzak değil. Ancak bitmeden önce, petrol ve kömüre dayanan endüstriler, ürettikleri karbondioksitle dünya ikliminin ısınmasına yol açacaktır. Eğer gelecekte bu sera etkisini önlemek amacıyla petrol ve kömür tüketiminde bir kısıtlamaya gidilirse, özellikle elektrik üretimi büyük darbe yiyecektir.

Pek çok çevreci hareket, sera etkisine yol açmaktan ve nükleer enerji olmaksızın, dünyanın enerji gereksiniminin karşılanabileceğini iddia ediyor. Bunun için enerji tasarrufu ve doğayı kirletmeyen, güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji kaynaklarına ağırlık verilmesi gerektiğini savunuyorlar.

Çevreci Worldwatch Enstitüsü ikinci başkanı Christopher Flavin, görüşlerini şöyle dile getiriyor: "Eğer nükleer enerji kullanmakla dünya iklimini bozmak arasında bir seçim yapmamız gerekirse, elbette nükleer enerjiye karşı tavrımızı gözden geçiririz. Ancak, ben inanıyorum ki, bu ikisi dışında şu anda pek desteklenmeyen birçok çıkış yolu var. Eğer, nükleer enerjiden tamamen vazgeçersek, 1990'lı yılların ortalarına doğru kayda değer gelişmeler olacak-

nükleer santrallere sahiptir. Bu, reaktör personelinin eğitimi ve işletmelerini idaresini oldukça kolaylaştırmaktadır.

NÜKLEER ENERJİNİN GELECEĞİ

Nükleer enerji santralleri üç güvenlik düzeyinde gruplandırılmaktadır:

Düzyey 1: Alt sistem arızalarında aktif sistemlere gerek yoktur. Büyük yapısal kazalara ve operatör hatalarına karşı dayanıklıdır.

Düzyey 2: Alt sistem arızalarında aktif sistemlere gerek yoktur. Büyük yapısal kazalara ve operatör hatalarına daha az dayanıklıdır.

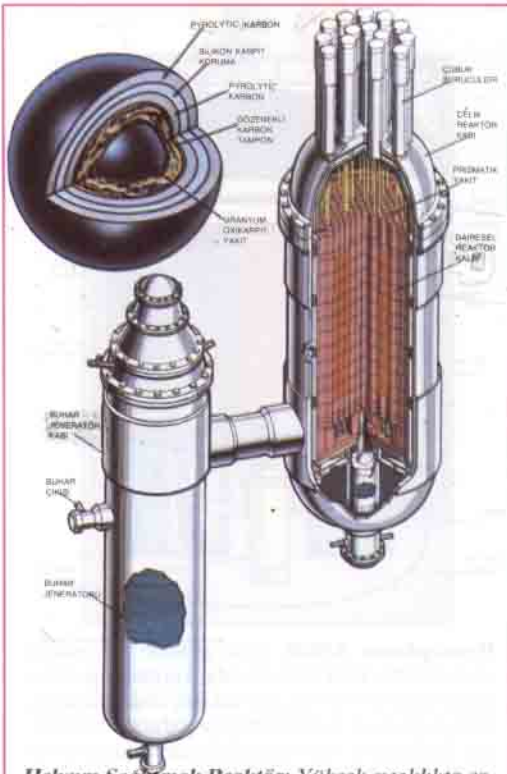
Düzyey 3: Alt sistem arızalarında ve operatör hatalarında doğrudan müdahale gereklidir. Büyük yapısal kazalara karşı korunmasızdır.

20 veya 40 yıl öncesinin tasarımı olan çoğu Amerikan reaktörü, güvenlik bakımından üçüncü düzeydedir. Bunlar 30-40 yıllık ömürlerinin sonuna yaklaşmaktadırlar. Yine de, Three Mile Adası'nda görüldüğü gibi, halen denizaltılarda da kullanılmakta olan hafif su reaktörlerinin soğutma sistemi güvenli sayılır. Yeni değilse güvenlik açısından 1. ve 2. düzeydedir.

Çalışmalar, 6 değişik reaktör tasarımı üzerinde yürütülüyor. Ancak şimdilik hiçbiri inşa edilmeye hazır değil. Bu 6 modelden üçü hafif su reaktörlerinden oluşuyor: Westinghouse'dan AP600, General Electric'den SBWR ve İsveç ASEA Brown Boveri'den PIUS. Ayrıca, helyum gaz soğutmalı bir model, General Atomics ve ABD Enerji Bakanlığı önderliğinde bir konsorsiyum tarafından geliştiriliyor. Aynı sisteme dayanan bir başkası da, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) profesörleri Lidsky ve David Lanning tarafından ortaya konuyor. Bu model, buhar yerine bir gaz türbini kullanıyor. 6. gelişmiş reaktör modeli ise, Argonne Ulusal Laboratuvarları ve General Electric'in ortak çalışması.

AP600 ve SBWR gibi gelişmiş hafif su reaktörü (LWR) modellerinin ana mantığı, bir yandan güç üretimi ve reaktör sıcaklığını düşürürken, diğer yandan soğutucu miktarını artırmaya dayanıyor. Sızıntı durumunda, reaktör kalbinin üzerinde sürekli olarak bulunan su, soğumayı sağlıyor. Bu basit önlemler, yakıt kaçağı ihtimalini kullanılmakta olan LWR'lerin onda birine indiriyor.

General Electric'in Gelişmiş Kaynar Su Reaktörü (ABWR) modelinin ABD'de lisans aşamasını 1991'in sonlarına doğru tamamlaması planlanırken General Electric Japonya'da yapımına başladı bile. 1356 megawatt gücündeki ABWR tasarımı, gelişmiş modellerin düşük güç standartlarına tam uymuyor. Bununla birlikte şirket yetkilileri, dış pompalar yerine kullanılacak olan 10 adet iç dolaşım pompasının, reaktörün kullanım ve bakımını kolaylaştıracağını söylüyor. Ayrıca bu, kullanılan boru miktarını ve in-

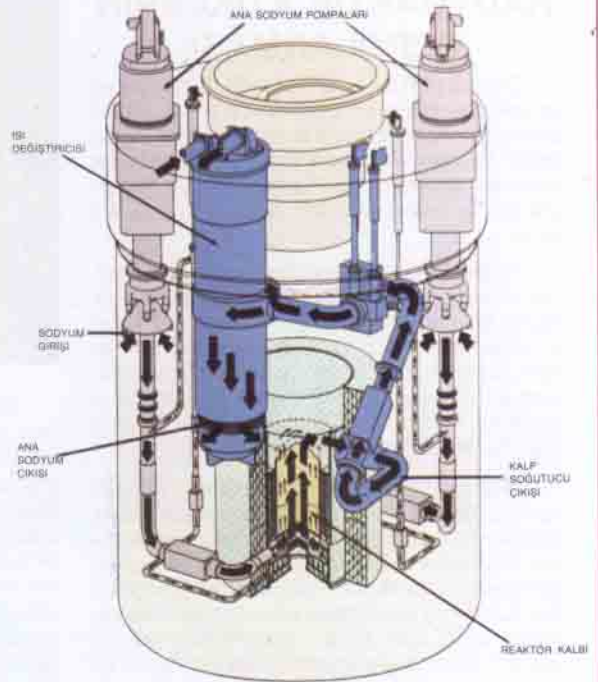
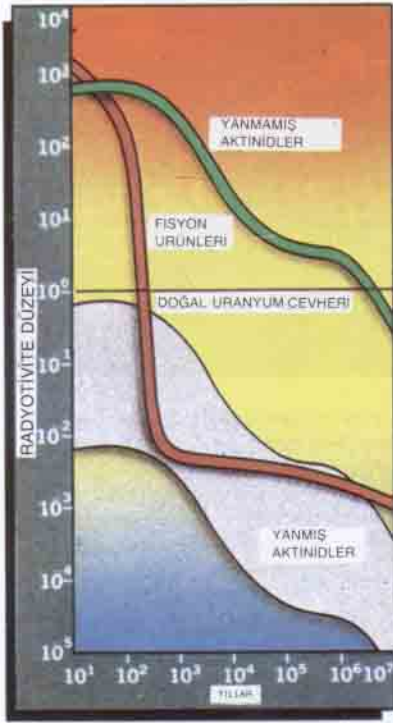


Helyum Soğutmalı Reaktör: Yüksek sıcaklıkta çalışabilen bu helyum soğutmalı reaktörün tamamen güvenli olmasının sırrı, küçük yakıt taneciklerinde saklı. Yakıt, çok yüksek ısı ve basınca dayanıklı, fisyon (bölünme) ürünleri ve gazları içeride tutabilen birkaç tabakayla kaplı. Bu General Atomics tasarımında yakıt, grafit yakıt elemanlarının içine yerleştiriliyor.

tır. Alternatif enerji kaynaklarına daha çok ilgi ve para sağlanacaktır. Örneğin, solar termal enerji için bugün yılda harcanmakta olan sadece 20 milyon dolardan çok daha fazlası ayrılacaktır. Nükleer enerjinin sonu, alternatif enerji kaynaklarının doğuşu olacaktır."

Atmosferdeki karbondioksit miktarında belirgin bir düşüş sağlanması için sadece enerji tasarrufu değil, daha çok fosil olmayan enerji kaynakları da gerekli. Nükleer, solar termal, fotovoltaik, rüzgâr, jeotermal, dalga, gelgit ve füzyon gibi alternatif enerji kaynaklarının hiçbiri henüz aranan performans ve maliyet standartlarında kullanılabilecek durumda değil. Bununla birlikte nükleer güç, içlerinde en uygun olanı.

Amerika'nın sahip olduğu yaklaşık 110 nükleer santralin, hepsi birbirinden farklı tasarımlara sahiptir. Genel bir standart belirlenmemiştir. Fransa ise baştan beri daha kararlı bir çizgi izlemiştir. Fransa, hepsi farklı 110 tasarım yerine, en büyüğü 1300 megawatt olmak üzere üç güç düzeyinde, ama tek tip



Sıvı Metal Reaktör: Tamamen güvenli olduğu belirtilen sıvı metal soğutmalı reaktörün kalbi, sürekli dolaşım yapan erimiş sodyum havuzunun içine yerleştiriliyor. Argonne'nun bu Entegre Hızlı Reaktör modeli yeni bir yakıt alışımlı kullanıyor. Ayrıca hayli radyoaktif ve uzun ömürlü olan aktinidleri de başka tasarımlara göre daha iyi yakabiliyor. Grafikte, sistemin LWR'lerle karşılaştırılması görülüyor.

şu sırasında gerekli kaynak işlerini % 50 düşürecek. Geniş su enjeksiyon memelerinin de, reaktör kalbinin aşağısına değil, yukarısına yerleştirilmesi, soğutucu madde kaybına yol açan bir kaza durumunda yakıtın sıvı içinde korunmasını sağlayacak. Japonya'nın ABWR'si 1990'lı yılların sonlarına doğru hizmete girecek.

600 megawatt gücündeki AP600 ve SBWR, uzmanların tahminine göre 6 yıl içinde inşa edilebilir. Bu reaktörler modüler olmaları nedeniyle gemilerine benzer bir şekilde yapılabilirler. Bilindiği gibi gemiler, değişik bölümlerde parça parça üretilip başka bir yerde birleştirilir.

Westinghouse AP600, soğutucu güvenlik sistemlerinde hem yer çekimi hem de basınçlı azot gazı kullanılacak. Reaktör ayrıca elektrik ve fiber-optik bağlantılı gelişmiş dijital bilgi ve kontrol sistemleriyle donatılacak.

SBWR'de doğal dolaşım yer çekimi gibi benzer pasif sistemlere sahip. Tasarımı, kaza durumunda ilk 72 saat içinde herhangi bir müdahaleye gerek bırakmıyor. Bu süreden sonra ise yalnızca bir miktar su ilavesi yapılıyor.

Pasif güvenli LWR'lerin atası, 1970'li yılların İsveç tasarımı olan PIUS reaktörleridir. Sistem, reaktörü soğutan su ile geniş bir tankta bulunan borlu suyu ayıran bir hidrolik basınç dengesine dayanır. Kaza halinde bu denge bozulur ve borlu su reaktörüne girerek fisyon reaksiyon zincirini kırar. Bor, çok iyi bir nötron alıcısıdır.

PIUS, günümüzde tercih edilmiyor. Uzmanlar sistemin çalıştırılmasında sürekli zorluklarla karşılaştığını, hatta kimi zaman hiçbir kaza olmadığı halde reaktörü durdurduğunu belirtiyorlar.

Başka iki temel reaktör tasarımı ise kazadan "ucuz kurtulma" güvencesi ile yapıyor: Kaza olduğunda, reaktörde çalışanlar, felaket korkusu olmadan, reaktörü süresiz olarak bırakıp, uzaklaşacaklar. Bu tür reaktörlerden biri olan sıvı metal soğutmalı reaktör (LMR) tasarımında, reaktörün erimiş sodyum içerisine konulması öngörülüyor. En kötü kaza durumunda bile ısıyı emen sodyumun, kaynama noktasına erişemeyeceği savunuluyor. Böylece yakıt süresiz olarak soğutulmaya devam edilecek. PRISM olarak adlandırılan General Electric'in bu tasarımı, Argonne Ulusal Laboratuvarı'nın Entegre Hızlı Reaktör'ü için geliştirilen yeni bir yakıt çevrim tek-

RADYOAKTİF ATIKLARIN DEPOLANMASI

Enerji üreten bir nükleer reaktör, bunun yanında pek çok radyoaktif yan ürün de ortaya çıkarır. Bunlardan bazıları fisyon ürünü uranyum parçalarıdır. Bazılarıysa atom numarası 89-103 olan ağır radyoaktif elementler olan aktinidlerdir. Aktinidler, uranyuma nötron katılması işlemi sırasında oluşurlar.

Radyoaktif atıkların yarı ömürleri hayli uzundur. Yarı ömür, bir nükleer elementin çekirdeğinin yarisinin bozunması için geçen süredir. 10 yarımdan sonra radyoaktivite, ilk baştağının yaklaşık binde biridir. Önemli fisyon ürünleri stronsiyum 90 ve sezyum 137'nin yarı ömürleri 30 yıl kadardır. Plutonyum 239'un yarı ömrü 24.000, neptünyum 237'nin ise 2,1 milyon yıldır.

1000 megawatt'lık ticarî bir reaktör yılda yaklaşık 30 metrik ton atık yakıt üretir. Yüksek radyoaktiviteye sahip olanlar, bu miktarın yalnızca küçük bir kısmını oluşturur. Nükleer atıkların tekrar işlenmesine yönelik plan 1977'de iptal edildiği için tüm kullanılmış yakıt çubuklarının depolanması gerekmektedir. Eğer proje uygulanırsa, nükleer atıkların camı tuğlalar içinde sıkıştırılmasıyla reaktör başına yılda yaklaşık 2 metreküp atış düşecektir.



İlk başlarda nükleer atıklar bidonlar içinde denize atılıyordu. Fakat bunların zamanla sızıntılara sebep olduğu anlaşılınca, vazgeçildi. Yer altına kazılan depolara, eski tuz ve maden yataklarına konulan atıkların ise, yağmur sularıyla birlikte yer altı sularına karışma ihtimali bulunuyor. Nükleer atıklar reaktörlerdeki soğutma havuzlarında geçici olarak saklanabiliyor, ama bunlar da kısa zamanda doluyor. Amerikan Enerji Bakanlığı, yapımını planladığı kalıcı yer altı depolarını yer altı suları açısından daha güvenli hale getirmenin çarelerini arıyor. Bakanlık, Nevada'daki Yucca dağının altına büyük bir atık deposu haline dönüştürmek istiyor.

niğiyle birlikte ele alınıyor. Yakıt özel tekniklerle tekrar değerlendirilebilen yeni bir plutonyum-zirkonyum alaşımı olacak. Kullanılmış yakıtın yüksek radyoaktif elementleri ayrılarak atık depolama müddeti birkaç milyon yıldan birkaç yüzyıla indirilecek. Bu arada ayrılan yüksek radyoaktif yakıt, reaktör tarafından tekrar yakılabilecek.

Araştırmalar, nükleer yakıt rezervlerinin önümüzdeki on yıllar için yeterli, fakat yüzyıllar için kısıtlı olduğunu gösteriyor. LMR, bu yönden bir avantaja sahip. Ancak LMR'lerin 2020'li yıllardan önce kullanımını mümkün değil.

Ucuza kurtulma güvenceli ikinci türün helyum soğutmalı reaktörleri ise, LWR'lerden tamamen farklı bir tasarıma sahiptir; reaksiyonu (tepkimeyi) kontrol için, su değil grafit kullanacaktır. Yakıtı da son derece değişik. Uranyum oksikarbit ve toryum oksit içeren her yakıt parçacığı birkaç kat, özel ısıya dayanıklı yalıtık koruyucu maddelerle kaplanmıştır. Her parçacık yaklaşık 0.75 mm çapındadır ve yakıt çubukları içinde bir arada tutulurlar. Bu yakıt tekniğinin avantajı, parçacıkların dış yüzeyinde kullanılan silikon karbit ve pyrocarbon'un reaktörün erişebileceği en yüksek sıcaklık derecelerinde bile zarar görmemesinden kaynaklanıyor.

Tritiyum üretimli ve askerî amaçlı Modüler Yüksek Sıcaklık Gaz Soğutmalı Reaktör (MHTGR), Ge-

neral Atomics tarafından geliştiriliyor. Sistem toprağa gömülü 350 megawatt gücünde 4 adet reaktör modülü kullanıyor. Yakıt çubukları altıgen grafit bloklar içindeki boşluklara yerleştiriliyor. Bu düzene "prizmatik" adı veriliyor.

MIT profesörlerinden Lawrence Lidsky ve David D.Lanning'in Modüler Gaz Soğutmalı Reaktör Gaz Türbini (MGRGT), farklı olarak buhar yerine bir helyum gaz türbini kullanıyor. Lidsky, yeni veya eski tüm LWR'leri kullanım için çok karmaşık ve denemesi zor buluyor. Lidsky'nin en büyük şikâyeti ise, projelerine yeteri kadar destek verilmemesi. Sovyetler, gaz soğutmalı reaktörlerde daha önde gidiyor.

Yeni nükleer reaktör projeleri üzerinde yürütülen tüm çalışma ve harcanan paralara rağmen, biraz daha fazla enerji için güzel mavi gezegenimizi tehlike altında bırakmanın ne kadar akılcı olduğu da tartışılabilir.

*Popular Science'dan kısaltarak çev.:
Mustafa ÖZTÜRK*

**Hayal gücü kuvvetli olan fakat bilgisi olmayan
kimsenin kanatları vardır, ama ayakları yoktur.**

SQUBERT