

## YEN NESİL NÜKLEER GÜÇ REAKTÖRLERİ

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

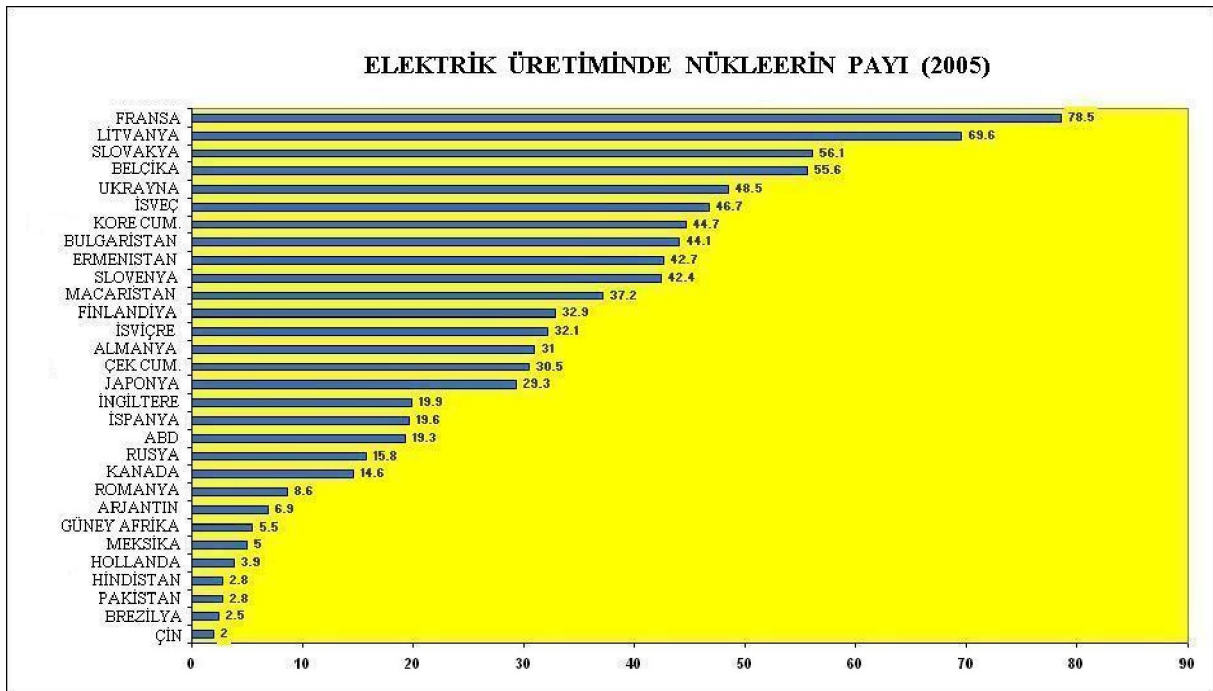
Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ( [acant@taek.gov.tr](mailto:acant@taek.gov.tr) )

Amerika’da nükleer güç reaktörlerinin promosyonundan sorumlu bir kuruluşa yaptığı ara tırma; yeni nesil reaktörlerin, radyoaktif atıkları en az düzeye indirecek şekilde, güvenlikleri yükseltilmiş ve son derece ekonomik olduklarını, aynı zamanda da “nükleer silahların yayılmasını önleyecek” tarzda tasarlandığını göstermektedir. Üstesiz bu durum, nükleer güç ile ilgili kaygıları giderecek biçimde ve her tarafta yerli yerine oturacak tarzda düzenlendiğini ortaya koymaktadır (\*).

Diğer taraftan, ne yazık ki, nükleer enerji ile ilgili kamuoyunu endişesini yok edecek güzel sözleri ifade etmek, yeterli olmamaktadır. Amerika; 1979’da olmuş olan, tarihindeki en büyük bir nükleer güç reaktör kazasını, hiçbir can kaybı olmaksızın, oldukça ucuz şekilde atlattı. Pennsylvania’da “Three Mile Island” santralında, reaktörün aşırı ısınmasından meydana gelen bu kaza, reaktörün koruyucu kabı (containment building) bulunması nedeniyle, çevreye bir radyoaktif sızıntı olmadan, sadece maddi hasarla geçiştirildi. Avrupa ise, o derece de şanslı değildi. 1986 yılında, Çernobil (Chernobyl) Ukrayna’daki nükleer santral kazasında, 30 civarında can kaybı meydana geldi ve reaktörün koruma kabı olmaması sebebiyle, on binlerce kişi “iyonlaştırıcı radyasyonlar”ın zararlarından etkilendi. Hatta, nükleer silahlarla, nükleer santrallerin bir ilgisizliği olmadığına inanmayan insanları bile endişelendirecek şekilde, kamuoyunda, reaktörlerin güvenlikleri konusunda, silinmesi zor olan bir kanaat oluşturdu.

Tüm bunlara rağmen, küresel ısınma ve enerji arz güvenliği nedeniyle, dünyada, nükleer güce politik ilgi artan şekilde, yeniden canlanmaktadır. Şu anda, 31 ülkede 441 nükleer santral ticari olarak faaliyet göstermekte ve dünya elektrik ihtiyacının %17’sini karşılamaktadır. Bu reaktörlerin yaklaşık olarak 350’si; Türkiye’nde üye olduğu OECD (**O**rganization for **E**conomic **C**o-operation and **D**evelopment) ülkelerinde olup, bu ülkeler; tüm elektrik üretimlerine oranla, %24’ünü nükleer güçten temin edecek şekilde elektriğini

sa lamayı sürdürmektedir. En yüksek nükleer pay, %78 ile Fransa'ya aittir. Çevreciler tarafından Fransa, model ülke olarak örnek gösterilmektedir. Fransa; çevreye karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salımları açısından, dünyanın en düşük oranda yoğununa sahip ülkesidir. Ülkelerin CO<sub>2</sub> emisyonları oranları, GDP başına verilmektedir. GDP (**G**ross **D**omestic **P**roduct); bir ülkede yurt içinde üretilen mal ve hizmetlerin tümünü kapsamakta olup, bir tür takribi ulusal gelir olarak ifade edilmektedir. Dünyadaki tüm CO<sub>2</sub> emisyon oranları, Fransa düzeyine indirildiği takdirde, küresel ısınmaya neden olan karbondioksit emisyonları yarı yarıya azaltılmı olacaktır. Ülkelerin elektrik üretimindeki nükleer payı, bir tablo halinde verilmektedir. Sadece Tayvan tabloda gösterilmemiştir. Tabloda; nükleer elektrik üretiminde payı gözükmeyen diğer önemli ülke Avustralya; geni uranyum yataklarının bulunması ve öte yandan zengin fosil kaynakları olmasına rağmen, yoğun şekilde fosil yakıtlara baımlılığını giderebilmek, bu suretle küresel ısınmaya neden olan sera gazları emisyonlarını azaltabilmek için, ciddi bir nükleer sanayi programı planlamaktadır. Tabloda; ülkelerin toplam elektrik üretimlerindeki nükleer payı % olarak ifade edilmektedir.



Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (**I**nternational **A**tom  
**E**nergy **A**gency-IAEA-2005)

Dünya genelinde; herbir sektörün, yüzde olarak ortalama elektrik üretim payları, takribi şekilde aşağıda verilmektedir:

- % 17 Nükleer Güç Santralleri
- % 63 Termik Santraller (fosil yakıtlar; petrol, kömür, doğalgaz vb.)
- % 19 Hidroelektrik Santraller
- % 1 Jeotermik Santraller, Rüzgar Santralleri vb.

Daha son zamanlara kadar, dünya genelinde nükleer santrallerin güvenli biçimde devreden çıkarılması düşünülmürken, günümüzde de ömürlerinin nasıl uzatılabileceği tartışılmaktadır. Örneğin İngiltere son olarak, gelecek 50 yıl için yeni nesil reaktörlerin gerekliliği ve rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yatırım yapılması konusunda bir strateji belgesi yayınladı. Önceleri nükleer reaktörlere muhalefet eden İngiltere Hükümeti, küresel ısınma ve hızla değişen enerji arz güvenliği karşısında, son hazırlanan enerji tasarısını Mayıs-2006 yeniden gözden geçirerek, enerji stratejisi ekinde yayımlanmasına karar verdi. Yayımlanan belge; rüzgar, güneş, hidroelektrik, dalga vb. yenilenebilir enerji kaynaklarını kapsamakta olup, daha fazla enerji verimliliğine öncülük etmeyi, aynı zamanda İngiltere'nin devreden çıkarılacak olan nükleer güç santrallerinin yerine yenilerinin kurulmasını amaçlamaktadır. İngiltere'de 23 nükleer güç santrali çalışmakta ve ülkenin takribi %20 elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Bununla beraber, İngiltere'nin elektrik gereksiminin yaklaşık beşte birini temin eden bu santrallerin hemen hepsinin ömürlerini tamamlamak üzere olmaları sebebiyle, 2023 yılı civarında kapatılmaları gerekmektedir. Öte yandan, İngiltere'nin doğusunda bulunan Sizewell'deki ikinci nükleer santral bunların dışındadır. 1995 yılında faaliyete geçen bu santral, İngiltere'de inşa edilen en son nükleer güç reaktörüdür. Sodyum gaz yerine basınçlı su olan 1188 megawatt'lık bu reaktör, gelecekteki nükleer güç santralleri için, ülkede bir örnek olarak gösterilmektedir. Fransa, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin'in yeni nükleer güç santral planlarını önceden yürürlüğe koyması, bir noktada İngiltere'nin bu fırsatı kaçırdığı ve her halükarda yeni nesil reaktörlerde çalışacak uzman kadrolarında bir eksiklik duyulacağı düşünülmektedir.

Avrupa'nın önemli bir sanayisine sahip Almanya; 2020 yılına kadar tüm reaktörlerini kapatma kararı almasına rağmen, o andaki hükümet hızla değişen koşullar karşısında, nükleer santralleri devreden çıkarmama konusunu yeniden müzakere etmeye başlamıştır.

Nükleer güce bir alternatif bulmak için yola çıkan bir çaba harcayan diğer bir Avrupa ülkesi ise; 2010 yılına kadar kademe kademe nükleer güç santrallerini kapatmaktan vazgeçerek, 2050 yılına kadar bu güçten yararlanmayı kararlaştırmıştır.

Dünyada çalışmakta olan 441 (370 gigawatt kapasiteli) nükleer santrale ilaveten, 32 santral in a halinde olup, bunların çoğunluğu da, ekonomik büyümenin yüksek olduğu, Hindistan, Çin ve Doğu Asya ülkelerinde bulunmaktadır. İn a halindeki bu santraller, üçüncü nesil reaktörler olarak adlandırılmakta ve tasarımcıları tarafından, daha da geliştirilmiş güvenlik sistemlerinin olduğu belirtilmektedir. Bununla beraber, üçüncü nesil santraller, eskilerine nazaran ne ölçüde güvenlidir? Bu makalede, ilgili soruya bir yanıt bulmaya çalışılmaktadır.

Açık ve kesin şekilde ifade etmek gerekirse, çağdaş, bir bakıya yeni nesil nükleer reaktör tasarımlarında, kaza riski hemen hemen, en alt düzeydedir. Yeni tip santral dizaynlarında, güvenlik ve emniyet sistemlerinin en çarpıcı özellikleri, herhangi bir arıza anında, bu reaktörlerin kendiliklerinden, yani, dışarıdan insan müdahalesi olmadan, çalışmalarını emniyetli biçimde durdurulabilmelerine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmaları olmalarıdır. Böylelikle, insan hatalarının minimuma indirilmesi amaçlanmaktadır. Örneğin, kontrol sisteminin çalışması en düşük olasılıkla durduğunda bile, reaktör kalbindeki oluşan ısıya emniyetli şekilde atılması için, santral otomatik kapatılmakta ve nükleer etkilemelerle meydana gelmiş yakıt ve radyoaktif atıkların her ikisinin de, reaktör koruyucu kabında tutularak dışarıya sızmaları önlenmektedir. Bu tip kuralları izleyen reaktörler, “pasif reaktörler” olarak adlandırılmaktadır. Çoğu çağdaş tasarımlar bir dereceye kadar pasif olup, bazı yeni olanlar ise, gerçekten de öyledir. Bununla beraber, hakiki pasif reaktörlerin işletim masrafları çok daha yüksek olmaktadır.

Nükleer enerji, çekirdek bölünmesi tepkimesi, yani, fisyonla oluşmaktadır. Genellikle, uranyum veya plutonyum gibi ağır elementler, nötronlarla birlikte enerji açığa çıkararak, daha küçük atomlara parçalanmaktadır. Bu reaksiyon başlatıldıktan sonra oluşan nötronlar, yeniden hedef atomlarla etkileşerek, daha fazla parçalanmalara yada bölünmelere neden olmaktadır ve bu reaksiyonlar zincirleme şekilde devam etmektedir. Bu zincir reaksiyonlar kontrol edilebilir durumda, açığa çıkan enerji, reaktörün kalbinde bulunan suyu, bir noktaya kadar kaynatmak için kullanılmakta ve buhar üretilmesi suretiyle, elektrik üretilen türbinlerin çalışmasını sağlamaktadır.

Diğer taraftan, nükleer reaksiyonların kontrolden çıkması halinde, yakıt erimesi (meltdown) şeklinde bir kaza veya daha önceleri de, vuku bulması asla mümkün olmayan nükleer patlama senaryosu öngörülmekteydi. Böyle bir durumda meydana gelecek vakaya “Çin Sendromu” adı verilmiş ve dünyamızı bir baştan bir başa gelececek olayın olacağını varsayılmıştı. Bu durum; ne “Three Mile Island” ne de “Çernobil” gibi yakıt erimelerinin vuku bulduğu en ciddi nükleer reaktör kazalarında kesinlikle gerçekleşmemiştir ve gerçekleşmesi de olanaksızdır. Öte yandan, bir atom bombası gibi, nükleer patlamanın gerçekleşmesi, tamamıyla reaktör kalbinde bulunan yakıtın daha az zenginleştirilmesi yada zenginleştirilmemesi (doğal) uranyum olmasından kaynaklanmaktadır. Yeni tasarımlarda hızlı nötronlar, su içerisinden geçirilmesi suretiyle yavaşlatılmakta ve bu şekilde, zincir reaksiyonları kontrol altında tutulmaktadır. Öte yandan, yavaş nötronlar, hızlı nötronlara göre, daha fazla nükleer bölünme yada parçalanma başlatmaktadır. Takribi 150 atmosferlik bir basınç’a maruz bırakılan bu su, kaynama noktasına ulaşmış çok yüksek sıcaklıklara rağmen, söz konusu basınç altında, sıvı halini muhafaza etmektedir. Nükleer reaksiyonlar suyu ısıttığı zaman, suyun yoğunluğu düşmekte olup, böylece yoğunluğu azalan su içinden geçen nötronlar, daha fazla nükleer reaksiyon başlatmak için, artık yeterince yavaşlatılmamaktadır. Oluşan negatif geribesleme (feedback) reaksiyon hızını kararlı kılmakta, bir başka deyişle, stabilize etmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde faaliyet gösteren nükleer güç santrallerinin büyük bir çoğunluğu, yukarıda anlatılan basınçlı-su reaktörleri (**P**ressurized **W**ater **R**eactor – PWR) tipindedir.

Ayrıca, bugüne kadar tasarlanmı en büyük bu tip bir nükleer güç santrali, Avrupa'nın en çevreci ülkelerden biri olan Finlandiya'da Olkiluoto'da inşa edilmektedir. 2009 yılında devreye alınacak santral 1600 megawatt gücünde olup, yaklaşık 2 milyon ailenin elektrik ve ısınma gereksinmelerini karşılayacak şekilde planlanmıştır. Olkiluoto nükleer güç santrali, esas tasarımına ilaveten, pek çok koruyucu güvenlik önlemleri ile donatılmıştır. Örneğin, santralin çalışması durdurulduğunda, herbiri reaktörün ısısını bertaraf etmeye yönelik yeteneği olan 4 adet birbirinden bağımsız faaliyet gösteren acil soğutma sistemi ve ayrıca da uçak düşmesi veya kazasına karşı kalın, aynı zamanda dayanıklı kuvvetlendirilmiş betonla reaktörün çevresi örülmüştür. Benzer tasarımdaki bir nükleer reaktörün, Fransa'da Flamanville kentinde inşa edilmektedir. İlgili devlet kurullarından gerekli olan müsaadeler alındığı takdirde, bu reaktör 2012 yılında elektrik üretmeye başlayacaktır. Ayrıca anlatılan tip reaktörlerden 4 adetinin Çin'de de inşa edilmesi planlanmıştır.

Kanada; diğer ülkelerden farklı, kendine has bir nükleer tasarım yapma yolunu seçmiştir. CANDU olarak adlandırılan bu tasarım, basınçlı ağır su reaktör olup, su yerine döteryum ihtiva eden ağır suyu kullanmaktadır. Ağır su pahalı olmakla beraber, bu tip reaktörün kullandığı yakıt oldukça ucuzdur. Hafif su reaktörlerin yakıtı zenginleştirilmiş uranyumdur (U-235'dir). Uranyum-235; çok az elde edilen ve son derece fisil, yani, bölünme veya parçalanmaya eğilimli olan bir radyoizotop olup, bunun zenginleştirilmesi gerçekten zor ve büyük yatırım gerektiren tekniktir. CANDU tipi reaktörlerde doğrudan uranyum kullanıldığından, çalıştırılma maliyetleri düşük olmaktadır. Ağır suyun harcama kaleminin yüksek olması, yakıtın ucuzluğu ile dengeli bir bilanço oluşturmaktadır. Diğer taraftan, yakıtlar; tek bir büyük koruma kabı (containment vessel) yerine, yüzlerce basınç'a dayanıklı tüpler içinde tutulmak suretiyle, aynı zamanda da yakıt ikmal esnasında, reaktörün çalıştırılması sürdürüldüğünden, hafif su reaktörlere nazaran CANDU tipi reaktörler daha verimli elektrik üretmektedirler. Hızlı şekilde gelişmekte olan iki büyük ülke, Hindistan ve Çin, nükleer güç santrallarını CANDU tipi reaktörlere dayandırmıştır. Diğer bir gelişmekte olan ülke olan Romanya'da da 1996 yılında faaliyete geçmi ve 2007 yılında faaliyete geçecek iki ünite CANDU reaktörü bulunmaktadır. Son on yılda, Güney Kore'de sırası

ile 1997, 1998 ve 1999'dan beri, üç ünite CANDU tipi reaktör faaliyet göstermektedir. Bunlara ilaveten, Çin'de 2002 ve 2003 yıllarında temeli atılan iki ünite CANDU reaktörlerinin in ası devam etmektedir. CANDU tipi nükleer güç santralleri, reaktörü durdurmak için gerekli nötron absorblayıcı çubukları, yer çekimi yada a ırlıkları ile, reaktör kalbine indirecek ekilde tasarlanmı pasif santrallerdir.

Çakıl-yataklı (pebble-bed) olarak adlandırılan Güney Afrika tasarımı nükleer reaktörler, tamamı ile pasiftir. Nötron akısını kontrol etmek için su yerine; grafit ve türbinleri çalı tırmakta faydalanılan buhar yerine; kimyasal reaksiyonlara girmeyen, helyum, azot ve karbondioksit gibi, asal (soy) yada yarı-asal gazlar, nükleer reaksiyonlarla ısıtılmak sureti ile kullanılmaktadır. Bu dizaynın ismi, nükleer yakıtın kaplanmasında kullanılan grafitin çakılı andıran bir yapıya benzemesinden kaynaklanmaktadır. Çakıl-yataklı reaktörlere, CANDU reaktörleri gibi, çalı ırlarken yakıt ilavesi yapılabilir. Çin'de de, çakıl-yataklı nükleer reaktörlerin geli tirilmesi için, çaba gösterilmektedir.

Dördüncü nesil reaktörlerin tasarımlarında; Amerika, ngiltere, Çin, Fransa, Japonya, Güney Afrika, Güney Kore dahil olmak üzere on ülkeden ibaret bir ara tırma programı yürütülmekte olup, bu tip yeni dizayn santrallerin 2030-2040 yıllarında i letmeye alınmaları dü ünülmektedir.

Anlatılan ve kullanılmakta olan üç tasarım da, nötronların yava latılmasına gerek duyulmayan, hızlı reaktörleri kapsamaktadır. Bu tasarımlar, uranyumun bölünme yetene i olmayan (fisil olmayan-parçalanmayan) izotoplarının, son derece bölünme yetene ine sahip plutonyuma çevirebilen hızlı nötronları da kendi yakıtında üreten oldukça akıllıca bir tekni i içerecek ekilde planlanmı lardır. Hızlı üretken reaktörler (fast breeder reactors), karma ık dizaynları nedeni ile, ilk yatırım maliyetleri yüksek olmaktadır. Bu reaktörler; sodyum yada kur un gibi sıvı metal so utucular ile çalı tırılmakta olup, bunun nedeni sıvı metallerin hızlı nötronları yava latabilme kabiliyetlerinin dü ük olmasıdır. Böylece, plutonyum üretimi hızlanmakta ve reaktör tüketti inden daha çok bölünebilir madde üretmektedir. Bu reaktörlerin her yönü ile emniyetli olup olmadı ı farklı bir sorundur.

Öte yandan, 2030'lu yıllara gelinceye kadar uzunca bir süre vardır. Gececek olan bu süre zarfında, her geçen gün mevcut reaktörlere de kar ı, kamuoyunda olu an pek çok önyargı ve kaygının, ça ımızın hızla geli en ko ullarında olumlu yönde de i ece inden hiç bir üphe yoktur.

Sonuç olarak, IAEA'nın bir projeksiyonuna göre 2020 yılına kadar nükleer gücün %13 büyüyerek daha sonra talebin düz bir seyir izleyece i, di er bir IAEA senaryosuna göre ise, 2030 yıllarında nükleer gücün mevcut kapasitesinin %75 artarak 640 gigawatt'a ula aca ı varsayılmaktadır.

(\*) Kaynak: The Economist Dergisi ( 3 Haziran-9 Haziran 2006 ).