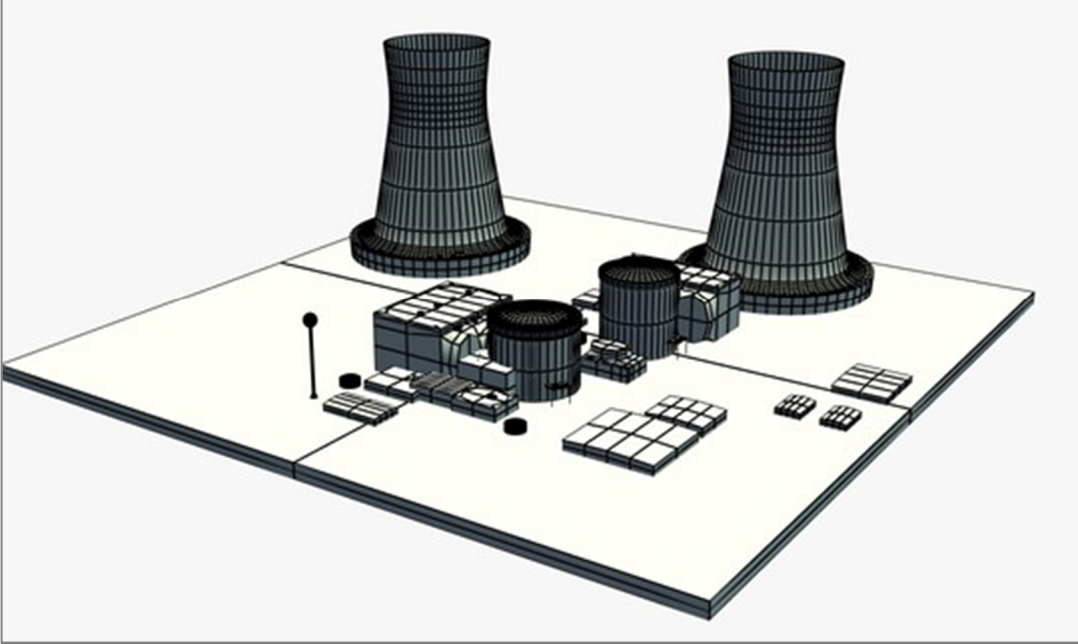


NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ VE ÜLKEMİZ



Prof. Dr. Meral Eral

Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Nükleer Teknoloji Anabilim Dalı

12/1/2015

NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ VE ÜLKEMİZ

NÜKLEER ENERJİ

Dünya enerji talebinin, temelde ekonomik gelişmeler ve nüfus çoğalması doğrultusunda artması beklenmektedir. Bu artıştaki en önemli bölümün ise, artan nüfusun yaşam standardının yükseltilmeye çalışıldığı gelişmekte olan ülkelere kaynaklanacağı öngörülmektedir. Ayrıca, enerji açığı olan dünyamızda bir buçuk milyara yakın insan elektrik enerjisi ile tanışmamıştır. Dünya artan enerji ihtiyacına çözüm bulmaya yönelik arayışlar içerisinde. Enerjinin ucuz, kaliteli ve sürdürülebilir olarak elde edilebilmesi ülkeler için çok önemlidir. Enerjinin daha verimli kullanılması, alternatif enerji kaynaklarının devreye alınması, yeni enerji santrallerinin kurulması gibi çalışmalar hızla devam etmektedir. Enerji çeşitliliğini sağlamaya çalışan ülkeler, fosil yakıtlara alternatif olarak; rüzgar, güneş, jeotermal, dalga, biyokütle gibi yenilenebilir kaynaklara yönelirken, **nükleer enerjiye** de global iklim değişiklikleri çerçevesinde enerji çeşitliliği içinde yer vermektedirler.

Günümüzde, nükleer enerjinin teknolojik olarak olgunlaşmış olması ve kullanımı yaygınlaşmasına rağmen, hükümetlerin belirli bir düzeyde rol alması ve halkın endişeleri, nükleer enerjiyi diğer enerji kaynakları arasında farklı kılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri; askeri amaçlı ortaya çıkışı, silah yapımında kullanılabilme olasılığı, teknik karmaşıklık, nükleer atıklar sorunu, karmaşık sigorta şartları ve güvenlik hukuku, olası kazalar, nükleer radyasyonun sağlık etkileri ve yüksek ilk yatırım maliyeti gibi birçok faktördür.

Nükleer enerji iki şekilde elde edilebilmektedir. Bunlardan birincisi, ağır bir çekirdeğin nötron ve gama yayımı eşliğinde birbirine yakın kütleli iki (çok ender olarak daha fazla) parçaya bölünmesi, yani **fisyondur**. İkincisi ise, iki hafif çekirdeğin kaynaşması, yani **füzyondur**. Füzyon enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi elde etmenin ticari boyuta ulaşmasının, bir süre daha geliştirilmeye ihtiyacı vardır. Günümüzde nükleer reaktörlerde fisyonla dayalı nükleer enerji üretilmektedir. Zincirleme çekirdek bölünmelerinin kontrollü olarak gerçekleşmesine olanak sağlayacak şekilde düzenlenmiş, enerji üretimine elverişli olan sistemlere **nükleer reaktör** denmektedir.

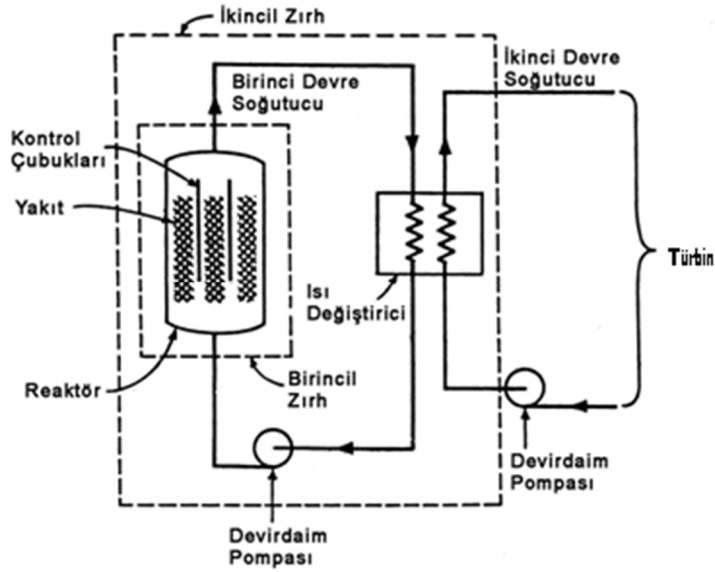
Füzyon reaktörünün tasarımı fisyon reaktöründen çok farklıdır. Başlıca sorun, reaksiyonun başlaması ve sürdürülebilmesi için çok yüksek sıcaklıkta tutulması gereken plazmanın muhafaza edilmesidir. Soğumanın sağlanması ve yüzeyden gelecek yabancı maddelerle kirlenmenin önlenmesi için plazma, malzeme yüzeyinden izole edilmelidir. Toroidal (halka şeklinde) manyetik hapsedme sistemi en umut verici olup, Tokamak konfigürasyonu en çok tercih edilendir. Füzyon reaktörlerinin başlıca üstünlükleri şöyle özetlenebilir: Sınırsız yakıt temini, kendinden güvenli oluşu, çok az miktarda uzun yarı ömürlü yüksek radyoaktif atığın oluşması ve nükleer silah yapımında kullanılabilecek fisil malzemenin üretilmemesidir. Kanada, Japonya, Çin, Avrupa Birliği (AB), Rusya ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) yeni nesil füzyon reaktörü (International Thermo Nuclear Experimental Reactor, ITER) konusunda işbirliği yapmaktadırlar.

Nükleer yakıt sözcüğünü fisyon yapan malzeme olarak tanımlarsak, başlıca üç malzeme bu tanıma girmekte olup bunlar; ^{235}U , ^{239}Pu ve ^{233}U 'tür. Bu yakıtlardan yalnızca birincisi doğada % 0,7205 oranında bulunur. Diğer ikisi ise yapaydır.

Nükleer güç santralleri ile termik santraller benzer özellikler taşırlar. Her iki santral tipinde de, elde edilen buharın ısı enerjisi tribünde mekanik enerjiye ve mekanik enerji de jeneratörlerde elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik üretilir. Bu santraller arasındaki temel fark, buharın elde ediliş yöntemidir. Bütün nükleer reaktör tiplerinde fisyonun açığa çıkan enerji buhar üretiminde kullanılır ve buhar üretimi doğrudan reaktörün korunda ya da buhar üreteçlerinde yapılır. Bu nedenle, nükleer reaktörlerdeki bölünme reaksiyonu termik santrallerde fosil yakıt yakmakla aynı göreve sahiptir.

Bir nükleer güç reaktörü başlıca şu kısımları ihtiva eder:

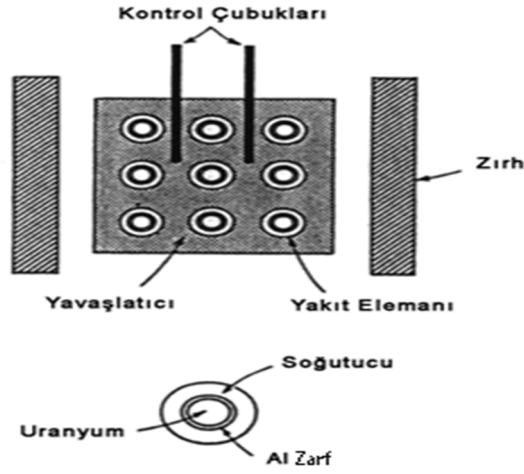
- 1- Yakıt
- 2- Yavaşlatıcı (moderatör)
- 3- Soğutucu
- 4- Kontrol çubukları
- 5- Yansıtıcı (reflektör)
- 6- Reaktör kalbi (kor, kazan kalp)
- 7- Koruyucu



Şekil 1. Bir nükleer güç reaktörünün şeması.

Kaynak: Benedict, M., Pigford, T., H., Levi, H., W., Nuclear Chemical Eng., McGraw-Hill Book Company, 1981, USA; Eral, M., Nükleer Yakıt Teknolojisi I Ders Notları, 2011, İzmir.

Şekil 1’de bir nükleer güç reaktörünün şeması, Şekil 2’de bir yakıt elemanının kesiti görülmektedir. Çizelge 1’de bir reaktörün temel komponentleri, malzemeleri ve işlevleri özetlenmektedir.



Şekil 2. Bir yakıt elemanın kesiti.

Kaynak: Benedict, M., Pigford, T., H., Levi, H., W., Nuclear Chemical Eng., McGraw-Hill Book Company, 1981, USA; Eral, M., Nükleer Yakıt Teknolojisi I Ders Notları, 2011, İzmir.

Çizelge 1. Bir Reaktörün Temel Komponentleri ve Materyalleri

Komponent	Malzeme	İşlev
Yakıt	$^{233}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$, $^{241}_{94}\text{Pu}$	Fisyon reaksiyonu
Yavaşlatıcı	Hafif su, ağır su, karbon, berilyum	Hızlı nötronların enerjisini azaltarak termal nötronlar seviyesine indirmek
Soğutucu	Hafif su, ağır su, hava, karbondioksit, helyum, sodyum, bizmut, sodyum potasyum, organikler	Isıyı ortamdan uzaklaştırmak
Yansıtıcı	Moderatör ile aynı	Nötron kaçışını en aza indirmek
Zırhlama	Beton, su, çelik, kurşun, polietilen	Radyasyondan korunmayı sağlamak
Kontrol çubukları	Kadmiyum, bor, hafniyum	Nötron üretim hızını kontrol etmek
Yapı	Alüminyum, çelik, zirkonyum, paslanmaz çelik	Yakıt elemanlarını korumak, reaktör yapısına ve bileşenlerine fiziksel destek sağlamak

Kaynak: Benedict, M., Pigford, T., H., Levi, H., W., Nuclear Chemical Eng., McGraw-Hill Book Company, 1981, USA; Eral, M., Nükleer Yakıt Teknolojisi I Ders Notları, 2011, İzmir.

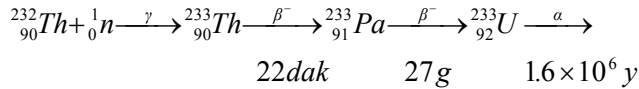
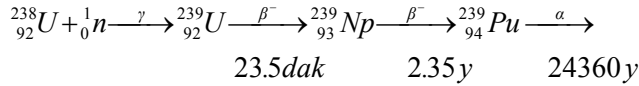
Nükleer yakıt; fisyon yapabilen atomlardan oluşan ve reaktörün kalbinde zincirleme reaksiyon ile enerji üretimine elverişli olan maddelerdir. ^{235}U , ^{239}Pu ve ^{233}U fisil izotoplarından sadece ^{235}U doğada bulunur. Çizelge 3'te fisil materyallerin termal ve hızlı nötronlara ilişkin bazı nükleer özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2. Fisil Materyallerin Termal ve Hızlı Nötronlara İlişkin Bazı Özellikleri

	^{235}U		^{239}Pu		^{233}U	
	Termal	Hızlı	Termal	Hızlı	Termal	Hızlı
σ_f (barn)	580±2	1.44	742±3	1.78	531±2	2.20
σ_y (barn)	98±1	0.22	271±3	0.15	47±1	0.15
$\alpha = \sigma_y / \sigma_f$	0.169±0.002	0.15	0.366±0.004	0.084	0.089±0.002	0.068
γ	2.423±0.007	2.52	2.880±0.009	2.98	2.487±0.007	2.59
$\eta = \gamma / (1 + \alpha)$	2.073±0.006	2.19	2.108±0.007	2.75	2.284±0.006	2.43

Kaynak: Benedict, M., Pigford, T., H., Levi, H., W., Nuclear Chemical Eng., McGraw-Hill Book Company, 1981, USA; Eral, M., Nükleer Yakıt Teknolojisi I Ders Notları, 2011, İzmir.

Uranyum bütün atom endüstrisinin temel yakıt malzemesidir. ^{239}Pu ve ^{233}U , ^{238}U ve ^{232}Th 'nin reaktörde nötronlarla bombardımanı sonucu elde edilir. ^{238}U ve ^{232}Th fisil değil fertil (üretken) izotoplardır. İlgili reaksiyonlar aşağıda verilmektedir:



Uranyumun cevherden veya kaynağından çıkarıldıktan sonra, kullanılıp tekrar toprağa gömülmesine, son depolanmasına kadar uygulanan işlemlerin tümüne birden **nükleer yakıt teknolojisi** adı verilir. Bu işlemler, nükleer reaktörden ayrı ve başlı başına büyük bir sektör oluşturur. **nükleer yakıt çevrimi** ise, nükleer reaktörü de içine alan bir sanayi zinciridir.

Yakıt teknolojisi başlıca üç bölümden oluşmaktadır:

1. Yakıt Hazırlama: Uranyumun reaktöre girene kadar geçirmek zorunda olduğu işlemlerin tümüne birden Yakıt Hazırlama denir.

2. Yakıt Tekrar İşleme: Uranyum bir süre reaktörde kullanıldıktan sonra, henüz yakıt değerini yitirmediği halde malzeme olarak bozulduğu, çatladığı, dağılma eğilimi gösterdiği ve boyutsal toleranslarını kaybettiği için reaktörden çıkarılır. Aslında, günümüz termal

reaktörüne yüklenen yakıtın çok küçük bir bölümü yakılabilir. Yeniden işleme, reaktörden çıkan yakıtın kullanılmamış enerji içeriğini, ileride kullanmak üzere geri kazanmak amacı ile yapılmaktadır. Tekrar işleme ile değerli fisyon ürünleri (birçok alanda kullanılan radyoizotoplar), yanmamış ^{235}U ve oluşan ^{239}Pu kazanılmaktadır.

3. Nükleer Atık Yönetimi: Tekrar işlenen yakıtın içinden ayrılan fisyon ürünleri, enerji üretiminin geride bıraktığı atıklardır. Radyoaktif atıklara uygulanan bu işlemlere Nükleer Atık Yönetimi denir.

Nükleer reaktörleri çeşitli yönlerden sınıflandırmak mümkündür:

- 1) Amaca göre:
 - Deneysel
 - Araştırma
 - Güç
 - İşılama (radyoizotop elde edilmesi)
 - Üretim (plutonyum üretimi)
- 2) Yakıt maddesine göre:
 - a) Uranyum yakıtlı
 - Doğal uranyum (%0,72 ^{235}U ihtiva eden)
 - Zenginleştirilmiş uranyum (%0,72'den fazla ^{235}U ihtiva eden)
 - b) Plutonyum yakıtlı (^{238}U fertil madde)
 - c) ^{233}U yakıtlı (^{232}Th fertil madde)
- 3) Yavaşlatıcı türüne göre:
 - Grafit (karbon)
 - Hafif su (H_2O)
 - Ağır su (D_2O)
 - Organik yavaşlatıcılar
 - Berilyum veya berilyum oksit
 - Seramik malzeme
 - Bazı metalik hidrürler (zirkonyum hidrür)
- 4) Soğutucu türüne göre:
 - Gaz soğutucu (CO_2 , He)
 - Hafif su soğutucu (H_2O)
 - Ağır su soğutucu (D_2O)
 - Sıvı metal soğutucu (Na, Bi, Na K)
 - Sıvı organik soğutucu
- 5) Nötron enerjilerine göre:
 - Termal nötron
 - Hızlı nötron
- 6) Yakıt-yavaşlatıcı karışımlarına göre:
 - Homojen reaktör
 - Heterojen reaktör

Son grupta yakıt ve yavaşlatıcının oluşturduğu faza göre sınıflandırma yapılır. Yakıt ve yavaşlatıcının tek faz oluşturduğu reaktöre **homojen reaktör** denir. Bugün çalışan reaktörlerin büyük çoğunluğu, yavaş nötronlu **heterojen reaktör**lerdir.

NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİNİN ÖNEMLİ ÖZELLİKLERİ ve ÇEVRE ETKİLERİ

Nükleer güç santralleri normal çalışma düzenlerinde çevreyi kirletecek hiçbir etki yaratmazlar: Nükleer güç santrallerinin normal çalışmaları sırasında çevreye yaydıkları radyasyon, doğal radyasyonun 100 ile 200’de biri kadardır. Nükleer yakıt yerine fosil yakıt kullanılmış olsaydı atmosferdeki CO₂’nin %8 daha fazla olacağı hesaplanmaktadır. Bu nedenlerle iklim değişiklikleri ve bunların zararlı etkilerinin önlenmesinde nükleer enerji alternatifinin daima açık tutulması gerektiği belirtilmektedir. Fosil yakıtlardan kaynaklanan SO₂ ve NO_x ise temelde asit yağmurlarına yol açmakta, asit yağmurları da bitki örtüsüne ve canlılara zarar vermektedir. Termik santraller, kömürdeki uranyumun ve diğer radyoaktif ürünlerin külde ve özellikle uçucu külde konsantre olması nedeni ile çevreye radyoaktif madde salarlar.

Minimum kaynak kullanımı: Aynı miktar kömür, petrol ve uranyum kullanan tesislerin ürettikleri enerji karşılaştırılırsa; 500 g kömür ile 1,5 kWsaat, 500 g petrol ile 2 kWsaat, 500 g doğal Uranyum ile 82 000 kWsaat enerji üretildiği görülür. Nükleer yakıtın çok önemli bir özelliği çok yoğun bir enerji kaynağı olmasıdır. 1kg ²³⁵U’in fisyonundan açığa çıkan enerji, 2500 ton kömürün yanmasından açığa çıkan enerjiye eşdeğerdir. Yani ²³⁵U’in fisyon enerjisi kömürün 2,5x10⁶ (yaklaşık 3 milyon) katıdır. Bu enerji aynı zamanda 20 ton TNT’ye eşdeğerdir.

Nükleer enerjinin kullanımı; doğalgaz, petrol ya da kömür gibi milyonlarca ton fosil yakıtın kazanılmasına neden olmaktadır. Fosil yakıtlar, milyonlarca yılda oluşmuş, doğanın bize ve bizden sonrakilere bir armağanıdır. Sonuçta bu kaynaklar; gübre, ilaçlar, kimyasal maddeler ve çözenler gibi değeri daha fazla ve özel ürünlerin üretilmesine olanak sağlamaktadır.

Daha az arazi kullanımı: NGS’ler daha az alan kullanmaktadır. Örneğin, aynı güç için termik santrallerden 3,5 kez daha az alan kaplamaktadırlar.

Maksimum enerji üretimi: Bir santralin **yük faktörü**, belirli bir zamanda ürettiği enerjinin aynı zaman diliminde tam kapasitede çalışarak üreteceği enerjiye oranıdır. NGS’ler, mevsimden ve iklim şartlarından bağımsız olarak gece-gündüz sürekli çalıştırılabilir. Bakım süreleri çıkarıldığında yıldaki 8780 saatin 8000’inde çalışabilir durumdadırlar. NGS’ler baz yük santralleridir.

Geri dönüşüm: NGS yanmış yakıtlarının tekrar işlenmesi ile yapılan geri dönüşüm nükleer yakıt teknolojisinin önemli konularından biridir. Tekrar işleme ile kullanılan yakıttaki fisyon ürünleri (birçok alanda kullanılan değerli radyoizotoplar), yanmamış ²³⁵U ve fertil ²³⁸U’dan oluşan ²³⁹Pu kazanılmaktadır. Geri dönüşümle kazanılan her bir gram plutonyumdan 1 ton petrole eşdeğer elektrik üretilir.

Ekonomi: Nükleer enerji; düşük nükleer yakıt üretim maliyeti, yüksek yatırım maliyeti, yakıt fiyatlarının dalgalanmasından etkilenmeme, uzun ekonomik işletme ömrü ve artan verimlilik ile karakterize edilir. Santral maliyet hesaplarında, santralin sökülmesi ve yerinin tekrar kazanılması da göz önüne alınmaktadır. Yakıt maliyeti içinde ise, atıkların depolanması için gerekli harcamalar da vardır. Kurulu NGS’lerin, özellikle başlangıç yatırım maliyetlerini amorti ettiği durumda, dünya çapında serbest piyasada rekabet edebilir olduğu kanıtlanmıştır. Nükleer kaynaklı elektrik enerjisi fiyatının en yüksek olduğu yer Japonya’dır. 10 ülkenin 7’sinde ise nükleer, kömürden ucuz, bütün ülkeler için ise gazdan daha ucuzdur. Finlandiya, Almanya, Hollanda, İspanya, İsveç, ABD ve İngiltere’deki NGS’lerden elde edilen elektriğin serbest piyasada rekabet edebildiği görülmektedir.

Kaza ve sağlık riski: Nukleer santraller tım insan yapısı araç ve tesislerde olduğu gibi toplum sağlığı açısından risk taşırlar. nemli olan bu riskin diğer enerji sistemlerindeki risklerden önemli olup olmadığıdır. Nukleer santraller hayali en kötü kaza koşullarına göre tasarlanırlar. Değişmeyen felsefe, en kötü kaza durumunda bile çevreye radyoaktif maddelerin sızmasına engel olmaktır.

Havacılık ve uzay teknolojileri için de benzer analiz sistemleri uygulanır. Nukleer endüstrinin işçilerine getireceği risk, trafik kazaları riski (10^{-4} mertebesi), halka getireceği risk ise tehlikesiz işlerdeki iş kazası riski (10^{-5} mertebesi) düzeyindedir. Yıldıırım arpma riski 10^{-7} ve uçak yolculuğu riski ise 10^{-3} mertebesindedir.

Dünyada yarım yüzyılı aşkın süredir çok sayıda nukleer güç santrali çalışmasına rağmen kayda değer kaza sayısı azdır ve bunlardan özellikle 3 tanesi önemlidir. ABD’de 1979 yılında meydana gelen **TMI (Three Mile Island) Kazası** bir santralde olabilecek en büyük kazalardan biridir. Fakat sonuçta, çevreye insan sağlığına zarar verecek düzeyde radyasyon salınmamıştır. **Çernobil Kazası** (26 Nisan 1986), TMI Kazası düzeyinde bir kaza olmasına rağmen, reaktörün güvenlik kabuğunun olmaması nedeni ile etkileri çok fazla olmuştur. Çernobil Kazası’nın nedeni, santralde yapılan deney sırasında operatörün hatası ve bu reaktörde kullanılan teknolojidir. Bu kazada **koruma kabuğunun** olmaması nedeniyle radyoaktif maddeler dışarı salınmıştır. Kaza sırasında 31 kişi ölmüş, 237 kişi ise akut radyasyon hastalığına yakalanmıştır. Uzun dönemde binlerce kişi bu durumdan etkilenmiştir. nemli kazalardan üçüncüsü olan **Fukuşima Kazası** 11 Mart 2011 tarihinde, dokuz büyüklüğündeki deprem ve tsunami sonucu olmuştur. Kazanın nedeni, ilk dört reaktörün elektriksiz kalıp soğutulamamasıdır. Fukuşima Santrali’nde olanların ışığında, nukleer güvenlik anlayışı sorgulanmıştır. Bu kazada deprem ve tsunami ardından gerçekleşen olaylar, dünyada nukleer santral güvenliği ve santralde ciddi sorunlar oluşması durumunda alınması gereken tedbirlerle ilgili, anlayış ve tasarım değişikliği gereğini ortaya koymuştur.

Fukuşima NGS’de meydana gelen kazadan sonra, Avrupa Birliği lkeleri, sahip oldukları 143 NGS’yi gözden geçirip iyileştirme çalışmalarını yürütmüşlerdir. **Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA)**’ndan uzmanlar, reaktörlerin bulunduğu ülkelere ve yapıldığı tarihlere bakmaksızın, tüm NGS’lerde özenle denetim yaparak, güvenlik sistemlerinin yetkinleştirilmesine önem vermişlerdir. **Stres testleri** adı altında güvenlik ve risk değerlendirilmesi çalışmaları başlatılmış ve Avrupa Komisyonu tarafından komşu ülkelerin de stres testlerine katılımı sağlanmışır. Türkiye de bu çalışmaları izlemekte ve ortak kararları desteklemektedir. Yedekli tasarlanan güvenlik sistemleri ve bunların yardımcı sistemlerinin sayı ve çeşitliliği arttırılmıştır. Ulusal ve uluslararası düzeyde gerçekleştirilen tedbirler sayesinde NGS’ler daha tehlikesiz karakter kazanmışlardır. Kullanılmış yakıt havuzlarının güvenlik sistemlerinde iyileştirme, yedekleme ve çeşitlendirmeye gidilmesi de bu önlemlerin içindedir.

Fukuşima nukleer kazasından sonra pek çok uzman, işletmedeki NGS sayısının ve planlanan NGS sayılarının iki kat azalacağını tahmin etmekteydi. Fakat bu öngörüler gerçekleşmedi. Bazı lkeler kendi programlarını kısıtlarken, bazı ülkeler ise, karbon salım hedefleri nedeniyle, nukleer enerjiye olan ilgilerini arttırdı. Nukleer enerjiye ilgi duyan ülkeler, farklı yeni programlarla teknolojilerini de geliştirmeye çalışmaktadırlar. Japonya, Fukuşima kazasından üç yıl sonra, nukleer enerjiye geri dönme yolunda ilk adım olarak, iki reaktörün yeniden işletime geçmesini onaylamıştır. Japonya Nukleer Düzenleme Kurulu Sendai 1 ve 2 reaktörlerinin faaliyetine izin vermiş ve güvenli olduğu belirlenen NGS’lerin yeniden üretime geçmesini de içeren orta vadeli enerji planlarını tamamlamıştır. Japonların kabineye sunulan enerji politikaları tasarısında, 2020 yılına kadar, nukleer, yenilenebilir ve fosil kaynaklardan sağlanacak enerjiyi kullanacakları açıklanmış, ancak bu enerji kaynaklarının oranları verilmemiştir.

Japonya Fukuşima NGS, **II.Nesil** santraldır. Sinop'ta bugün inşa edilmesi planlanan santral ise, **III+ Nesil** olup bu santrallerin güvenlik önlemleri daha da arttırılmıştır.

Nükleer Atıklar: Nükleer atıklar; nükleer yakıt çevrimi aşamalarında, madencilik, yakıt üretimi, reaktör işletmesi, kullanılmış yakıtlar ve reaktörün sökülmesi sırasında ortaya çıkmaktadır. Nükleer atıklar genel olarak; düşük, orta ve yüksek seviyeli atıklar olarak sınıflandırılmaktadır. Nükleer atık, radyoaktivitesi ile sorun oluşturmaktadır. Nükleer atıklarda iki husus önemli olup birincisi, nükleer atıkların radyoaktivitesinin zamanla azalmasıdır. Yanmış yakıtların depolama havuzlarında 10 yıl bekletilmesi ile radyoaktiviteleri %1'e düşmektedir. İkinci önemli husus ise, NGS atıklarının miktarının az olmasıdır. 15 nükleer santral (30 yıl çalışma) atığı, bir olimpiik yüzme havuzunu dolduracak kadardır. Bir NGS atığı aynı güçteki kömür santraline göre hacimce 70 – 80 milyon, kütlece 300 bin kez daha azdır.

NGS atıkları, kamuoyu nezdinde, nükleer enerjinin ana sorunlarından biridir. Nükleer atıklara ilişkin çözüm getirilemediği görüşü yaygındır. Oysaki, nükleer atıklarla ilgili kabul edilebilir çözümler vardır. Nükleer endüstri, nükleer atıkların saklanması ve depolanması konusunda teknolojiler üretmiş olup, yıllardan beri uygulanmaktadır. Bu konuda iki farklı yol izlenmektedir:

1. Kullanılmış yakıt, nihai depolama tesisine gönderilmek üzere santral içinde yapılan ara depolamada bekletilmektedir. Günümüzde nihai depolama tesisleri henüz işletimde olmayıp bu konudaki yoğun araştırmalar sürdürülmektedir.

2. Kullanılmış yakıtı tekrar işleme uygulanmakta, böylece yanmış yakıt içinde bulunan değerli radyoizotoplar (yanmamış ^{235}U , oluşan ^{239}Pu ve fisyon ürünleri) kazanıldıktan sonra, geriye kalan yüksek radyoaktivite seviyeli atık camlaştırılarak depolanmaktadır. Görüldüğü üzere, kullanılmış yakıt değerli bir malzemedir. Ayrıca, camlaştırılmış atık, değişik katmanlardan oluşan sızdırmaz, korozyona karşı dirençli özel çelik kaplarda saklanmaktadır.

Dönüştürme, coğrafi depolama gerektiren atıkların yapısını değiştirme potansiyeli olan, yeni bir yöntemdir. Bu metot, yüksek aktiviteli atıktaki radyoaktivite ve ısı üretimine en fazla katkıda bulunan uzun ömürlü radyonüklitlerin, nötron yakalama veya fisyonla daha kısa yarı ömürlü radyoizotoplara dönüştürülmesidir. Bu yöntemle ilişkin yoğun çalışmalar, çeşitli işbirlikleri ile yürütülmektedir. Başlıca araştırma konuları; ileri ayrıştırma teknolojileri ve dönüştürmeye yönelik olarak da, uzun yarı ömürlü radyoizotopların, kısa yarı ömürlü radyoizotoplara dönüştürülmesi için hızlandırıcı güdümlü sistemlerin kullanılmasına ilişkindir. Özellikle; ABD, Çin, Belçika, Fransa, İtalya ve Rusya Federasyonu bu konularda yoğun araştırmalar yürütmektedir. Ayrıca; Fransa, Japonya, Güney Kore, ABD ve Avrupa Komisyonu da küçük ölçekli ortak işbirliği çalışmaları yapmaktadır.

Yeraltı depolama ile atığın, yaklaşık 600-1000 m derinde, yeraltı sularının bulunmadığı, deprem riski olmayan kayalık bölgelerde depolanması planlanmaktadır. Finlandiya, İsveç ve ABD'de (New Mexico) askeri derin depolama tesisleri çalışmaktadır. Finlandiya düşük ve orta düzeyli radyoaktif atıklar için yeraltı depolama sistemini oluşturmuş olup, bu tesis 1992'den beri kullanılmaktadır. New Mexico yakınındaki, ilk depolama tesisi **WIPP** (Waste Isolation Pilot Plant) uranyum ötesi radyoizotopların depolanması amacı ile 1999'da işletmeye alınmıştır. **Yucca Dağı** derin depolama tesisine ise karşı çıkılmaktadır. Finlandiya Parlamentosu, yanmış yakıtların nihai depolanması için, Eurajoki Belediyesi Olkiluoto Depolama Tesis'i'nin inşaatını sürdürmekte, tesisin 2020'de işletmeye açılması planlanmaktadır. Birçok ülkede nükleer endüstri, uygun atık depolama uygulamaları ile toplumun güvenini kazanmıştır.

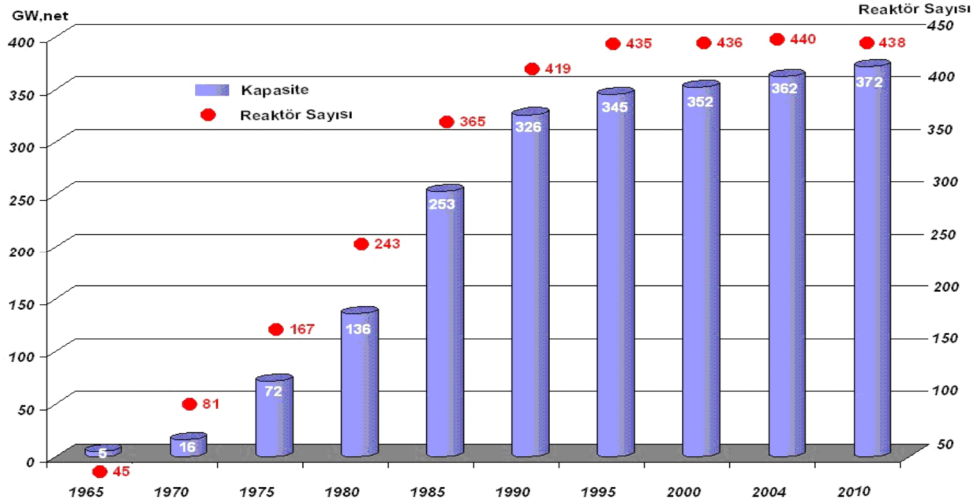
Nükleer Enerjinin Alternatif Kullanım Alanları: Nükleer güç santrallerinden elde edilecek ısı enerjisi kullanımı; ev, seraların ısıtılması ve hidrojen üretimi ile sınırlı olmayıp pek çok endüstriyel uygulama alanı bulmaktadır. Ayrıca, nükleer kaynaklı ısı enerjisi kullanılarak, deniz suyunun tuzdan arındırılmasına yönelik uygulamalar ve tasarımlar da mevcuttur. Endüstrinin ihtiyaç duyduğu proses ısısının nükleer reaktörlerden karşılanması, gelecekte en az elektrik üretimi kadar önemli olacaktır. Petrol rafinasyonu ve gelişmiş petrol elde etme yöntemi, kömür saflaştırması, çelik endüstrisi ve diğer kimya alanları bu uygulamalara örnektir. Bir nükleer güç santrali, aynı zamanda radyoizotop kaynağıdır. Fiyon ürünlerinden olan ^{60}Co , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ve ^{131}I gibi birçok alanda kullanılan radyoizotopların elde edilmesi olanağı sağlanmaktadır.

DÜNYADA NÜKLEER ENERJİ

1939 yılında Otto Hahn ve Fritz Strassmann tarafından uranyumun fiyon yapma özelliğinin bulunması ve oluşan parçacıkların enerjilerinin tayininden sonra, olay çok ilgi çekici olmuştur. **Zincir reaksiyondan** faydalanmak ve kontrol altında tutmak amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu esasa dayalı ilk çekirdek reaktörü, ABD Chicago Üniversitesi'nde 2 Aralık 1942'de kritik olmuştur (CP1; Chicago Pile 1). Fiyon kaynaklı ilk elektrik, Aralık 1951'de, Arco Idaho'daki Deneysel Üretken Reaktörü'nde elde edilmiştir. ABD'de elektrik üreten ilk ticari nükleer güç santrali Shippingport, Pennsylvania'da kurulmuş ve 1957'de işletmeye girmiştir. Enerji üretimine yönelik ilk güç reaktörü ise Rusya'nın Obninsk kentinde 5 MWe güçte kurularak 27 Ocak 1954'te Moskova elektrik şebekesine bağlanmıştır. Böylece nükleer enerji insanlığın hizmetine sunulmuştur. Bu tarihlerden sonra, özellikle gelişmiş ülkelerde nükleer reaktörlerle ilgili çalışmalar hızla artmıştır.

1960'lı yıllarda ABD, Sovyetler Birliği, İngiltere ve Fransa'da toplam elektrik enerjisi 1200 MWe olan 17 güç santrali çalışmaktaydı. Bu dönemde, nükleer reaktörler teknik olarak kendini kanıtlamış olup, ticari olarak uygulanabilir enerji kaynağı haline gelmiştir. OECD ülkeleri için elektrik enerjisi üretimini 1960 yılından başlayarak, nükleer ve birincil kaynaklara göre incelediğimizde, nükleer enerjiden elektrik enerjisi üretiminin 1970-1990 yılları arasında (özelikle 1980-1985) petrol krizi nedeniyle hızlı bir artış gösterdiği, 1990'dan sonra ise üretimindeki bu artışın azaldığı görülmektedir (Şekil 3). Üretimdeki yavaşlamanın başlıca sebepleri; fosil yakıtlardaki fiyat düşüşü, doğal gazın enerji pazarına girmesi ve dünya ekonomisindeki yavaşlama olarak gösterilebilir. Ayrıca, ABD'deki Three Mile Island (1979) ve Rusya'daki Çernobil (1986) kazalarının da etkisi olmuştur. Bununla beraber, bazı ülkeler reaktör yapımına devam etmişlerdir. Ekonomik ömrünün dolması ile kapatılan NGS'lerin yerine daha güçlülerinin inşa edilmesi, bazı reaktörlerin işletme lisanslarının uzatılması, kapasite faktörlerinin yükseltilmesi ve bazılarının da en yüksek çalışma güçlerinin uygulanması nedenleri ile NGS sayıları yıllar itibariyle aşağı yukarı hareket etse de, toplam güçte sürekli artış olmaktadır. Örneğin, ABD'de güç yükseltilmeleri ile ortalama dört nükleer santralden elde edilen elektrik enerjisi kadar kazanç sağlanmıştır.

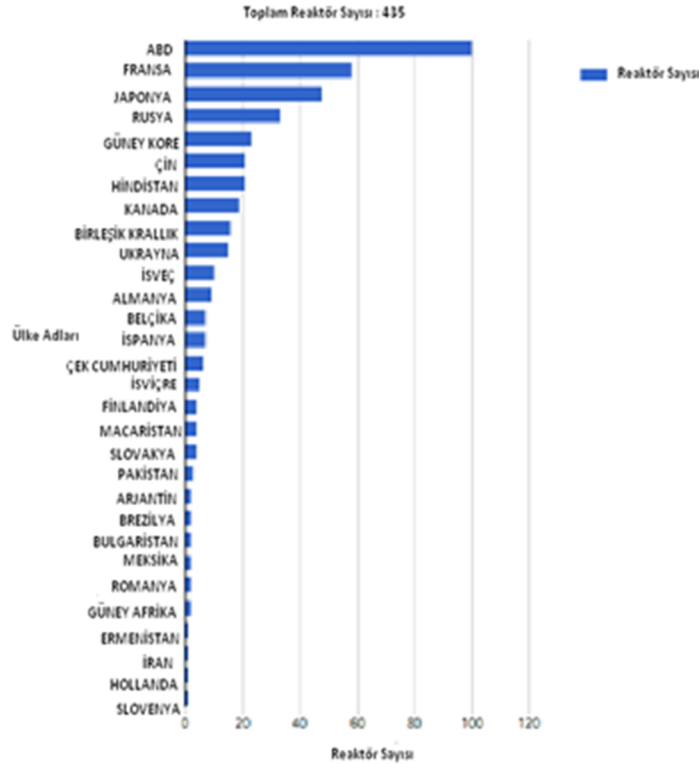
Dünyada elektrik üretiminde kömür birinci sırayı alırken, ikinci sırada doğalgaz gelmektedir. Ülkemizde ise; doğalgaz ilk, kömür ikinci sırada yer almaktadır. Dünya elektrik enerji ihtiyacının yaklaşık %13,5'ini nükleer enerjiden karşılamaktadır. 2014 değerlerine göre; dünyada 31 ülkede toplam elektrik gücü 372 419 MWe olan 435 nükleer santral işletilmekte olup, 14 ülkede de toplam gücü 68 374 MWe olan 72 rektör inşa edilmektedir (Çizelge 3).



Şekil 3. Nükleer enerjinin tarihsel gelişimi (1965-2010)

Kaynak: Günümüzde Nükleer Enerji, TAEK, Temmuz 2010; Nuclear Energy Today, Nuclear Energy Agency Organisation for Economic Co-operation and Development.

Dünyada işletilmekte olan NGS'lerin ülkelere göre dağılımı Şekil 4'te gösterilmektedir. Dünya elektrik enerjisi üretiminde nükleer enerjinin payı %13,5 iken 16 ülkede ise bu pay %25'den fazladır. Örneğin 58 reaktörü olan Fransa'da elektrik enerjisinin %74,80'i, 7 reaktörü olan Belçika'da %51,00'ı, 10 reaktörü olan İsveç'te %38,10'u, 23 reaktörü olan Güney Kore'de %30,40'ı, 16 reaktörü olan İngiltere'de %18,10'u, 100 reaktörü olan ABD'de (NGS sayısı açısından birinci sıradadır) elektrik enerjisinin %19,00'ı nükleer enerji ile sağlanmaktadır.



Şekil 4. Mart 2014 itibariyle dünyada işletmede olan nükleer güç santrallerinin ülkelere göre dağılımı.

Kaynak: <http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics>

Çizelge 3. Dünyadaki Nükleer Güç Santrallerinin Ülkelere Göre Dağılımı

Ülke	25 Mart 2014 Tarihi İtibariyle						2012 Yılında Temin Edilen Elektrik Enerjisi	
	İşletmedeki Reaktörler		Uzun Vadede Kapatılacak Reaktörler		İnşa Halindeki Reaktörler			
	Ünite Sayısı	Toplam Kapasite MWe	Ünite Sayısı	Toplam Kapasite MWe	Ünite Sayısı	Toplam Kapasite MWe	Elektrik Enerjisi TWeh	Toplam Enerjideki Pay (%)
Arjantin	2	935			2	717	5,9	4,70
Ermenistan	1	375					2,1	26,60
Belçika	7	5927					38,5	51,00
Beyaz Rusya					1	1109		
Brezilya	2	1884			1	1245	15,2	3,10
Bulgaristan	2	1906					14,9	31,60
Kanada	19	13500					89,1	15,30
Çin	21	16914			28	27756	92,7	2,00
Çek	6	3884					28,6	35,30
Finlandiya	4	2752			1	1600	22,1	32,60
Fransa	58	63130			1	1630	407,4	74,80
Almanya	9	12068					94,1	16,10
Macaristan	4	1889					14,8	45,90
Hindistan	21	5308			6	3907	29,7	3,60
İran	1	915					1,3	0,60
Japonya	48	42388	1	246	2	1325	17,2	2,10
Kore (Güney)	23	20710			5	6370	143,6	30,40
Meksika	2	1330					8,4	4,70
Hollanda	1	482					3,7	4,40
Pakistan	3	690			2	630	5,3	5,30
Romanya	2	1300					10,6	19,40
Rusya	33	23643			10	8382	166,3	17,80
Slovakya	4	1815			2	880	14,4	53,80
Slovenya	1	688					5,2	36,00
Güney Afrika	2	1860					12,4	5,10
İspanya	7	7121	1	446			58,7	20,50
İsveç	10	9474					61,5	38,10
İsviçre	5	3308					24,5	35,90
Birleşik Arap					2	2690	-	-
Birleşik Krallık	16	9231					64	18,10
Ukrayna	15	13107			2	1900	84,9	46,20
ABD	100	9853			5	5633	770,7	19,00
Toplam	435	372419	2	692	72	68374	2346,2	-

Kaynak: <https://www.iaea.org/pris/>

Sivil reaktörlerin işletme deneyimi 15,000 reaktör-yılı aşmış olup, çok önemli bir deneyim kazanıldığı gözlenmektedir. Elde edilen bu bilgi ve tecrübeler; veri tabanları, uluslararası organizasyonlar, dergiler ve seminerlerle paylaşılmaktadır. Özellikle son yıllarda, NGS'lerin işletme güvenlik performansında önemli ve sürekli bir iyileşme saptanmıştır. Örneğin, son on yılda, plansız durdurmaların sayısı çok azalmıştır. Son yıllarda ise bu durum yılda birin altına düşmüştür. NGS'lere sahip ülkelerin çok önemli bir kısmı sanayileşmiş ülkeler olup, NGS'lerin birçoğu kentlere yakın yerlerde kurulmuştur. Kanada'daki Ontario Gölü kıyısında Toronto'ya 20 km mesafedeki 8 santral yıllardır güvenle çalışmaktadır. İspanya'nın da Akdeniz kıyısında 4 NGS'si vardır. İngiltere 2025 yılına kadar 8 sahayı yeni NGS'ler için belirlemiştir. NGS'ye sahip 31 ülkeden 7'si enerji ihraç etmektedir. Ayrıca bu 31 ülkeden 10'unun nüfusu İstanbul'dan küçüktür.

DÜNYADA NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİNİN GELECEĞİ

Fukuşima kazası, dünyada nükleer enerjinin geleceği hakkında soru işaretleri yaratmıştır. İsviçre, Almanya ve Belçika'da, nükleer enerjiden yenilenebilir enerjiye yönelme yolunda kararlar alınmıştır. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı geçen yıl uzun vadeli nükleer enerji büyüme tahminini art arda üçüncü kez daraltmasına rağmen, nükleer teknoloji raporuna göre bu sektörün Asya'daki büyüme sayesinde 2030'a kadar kapasitesini iki katına çıkarması söz konusudur. Nükleer santrallere sahip 31 ülkenin 13'ü, ya yeni nükleer santral inşa etmekte veya daha önce askıya alınmış olan inşaatları, tekrar devreye sokmaktadırlar.

Dünya Nükleer Birliği (Emerging Nuclear Energy Countries, World Nuclear Association (19 Eylül 2011)) verilerine göre ülkemizin de içinde bulunduğu 45'den fazla ülke daha, nükleer enerji seçeneğini gündemlerine almıştır. Bu ülkelerin çoğunluğu az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler olup, elektrik enerjisi talepleri hızla artmaktadır.

Batı Avrupa'da kurulu kapasitenin mevcut tesislerin ömründeki artışa karşın NGS sayılarının yavaşça azalacağı öngörülmektedir. Uzak Doğu'da yaşanmakta olan ve artacağı öngörülen hızlı büyüme sonucunda ise, Çin ve Güney Kore'de çok sayıda nükleer santral inşası söz konusudur. Doğu Avrupa'da, bir yandan Rusya ve Ukrayna'da önemli büyüme yaşanırken, öte yandan diğer ülkelerdeki yaşlı tesislerin planlı olarak hizmetten alınması ile kapasite artışları dengelenmektedir. Kuzey Amerika'da ise, işletimdeki tesislerin ekonomik ömürlerinin uzatılmasına yönelik lisanslama ve yeni nesil nükleer reaktörlere ilişkin çalışmalar sürdürülmektedir. 2030 yılına kadar 164 NGS yapımı planlanmakta, 317 reaktör de ülkelerin programlarında yer almaktadır.

Nükleer enerjinin geleceği; enerji talebi, karbon salım hedefleri, fosil yakıtlarla ekonomik rekabet, çevresel duyarlılıklar ve kamuoyu tutumuna bağlıdır. Bu faktörlerin ve teknolojik gelişmelerin sonucu olarak; hidrojen üretimi, endüstri proses ısısı sağlama, deniz suyundan tatlı su üretimi ve başta nükleer tıp olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılan radyoizotopların üretimi gibi, nükleer enerjinin çok çeşitli uygulama alanları gündeme gelebilecektir. Potansiyel uygulamalar ve nükleer enerji sistemlerinin performansının geliştirilmesine ilişkin kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır. Gelecek yıllarda, elektrik üretiminde kullanılan diğer kaynaklarla yarışabilecek yeni reaktörler tasarlanmaktadır. Hem elektrik üretim maliyetinin düşürülmesine, hem de güvenliğin arttırılmasına çalışılmaktadır. Bu çalışmalar; eldeki kazaların tasarımın bir parçası olarak hesaba katılması, bazı ciddi kaza senaryolarının ortadan kaldırılması, radyoaktif salınımların azaltılması veya ortadan kaldırılması, olası insan hatalarının ve sistem karmaşıklığının azaltılması konularındadır.

Artan dünya enerji ihtiyacı, büyük olasılıkla yeni santrallerin kurulmasına yönelik kararların alınmasını gerektirecektir. Bu senaryo aşağıda belirtilen faktörlere bağlı olarak değişebilecektir:

- Nükleer enerjinin sera gazları emisyonu ve iklim değişikliklerini engellemedeki katkısı sonucunda oluşan çevresel duyarlılıklar,
- Yakıt temini sorunları,
- Nükleer silahların yayılması endişeleri,
- Yeni nesil nükleer güç santrallerinin, diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilirliği,
- Önerilen atık yönetimi planlarına yönelik kamuoyu eğilimleri,
- İleri nükleer teknolojilerin diğer enerji kaynakları ile rekabet edilebilirliği.

Dünyada, nüfus artışının sonucu olarak ortaya çıkan birbirine bağımlı üç yaygın eğilim vardır. Bunlar; şehirleşme, sanayileşme ve dijitalleşmedir. Bu faktörler; güvenli, sürekli ve sürdürülebilir enerji üretimini gerekli kılmaktadır. Bu nedenlerle, uzun vadede NGS'lerin enerji sektöründe önemli bir rol alacağı öngörülmektedir.

ÜLKEMİZİN NÜKLEER GÜÇ SANTRAL GİRİŞİMLERİ

Türkiye’de nükleer konularda ilk önemli adım, 1956 yılında **Atom Enerjisi Komisyonu**’nun (**AEK**) kurulması ile atılmış, böylece nükleer teknolojinin ülkeye getirilmesi ve ondan yararlanılmasına ilişkin girişimler başlamıştır. Türkiye 1957’de, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı’na üye olmuş ve dünyada nükleer enerji alanındaki çalışmaları başlatan öncü ülkeler arasında yer almıştır. 1959 yılında 7256 sayılı “Türkiye Atom Enerjisi Programının Tatbikat Şekli Hakkında Kanun” kabul edilmiş ve **Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi**’nde (**ÇNAEM**) 1 MW termal güçteki **TR-1** Araştırma Reaktörü ihale edilmiştir. Amerikan yapısı TR-1, 6 Ocak 1962’de kritik olmuştur. Bu reaktör MTR (Material Testing Reactor) tipi, heterojen, hafif su ile modere ve soğutmalıdır. Yakıt %93 zenginleştirilmiş uranyumdur. Bu araştırma reaktörünün ihtiyaca cevap vermekte yetersiz kalması sonucunda, TR-1 1977 yılında kapatılmış ve aynı bina ve aynı havuz içinde 5 MW termal gücündeki **TR-2** Reaktörü ihale edilmiştir. TR-2, 1984 yılında tam güçle işletmeye açılmış ve radyoizotop üretimine başlanmıştır. İkinci reaktör başlangıçta %98 zenginleştirilmiş uranyum yakıtlıydı. 1995 yılında reaktör binasının sismik değerlendirilmesinin yapılması için, reaktör çalışmaları düşük güce indirilmiştir. Reaktör düşük güçlerde; test, analiz ve eğitim ihtiyaçlarına göre çalıştırılmaktadır. ÇNAEM reaktörü yakıt zenginliği, CERCA adlı Fransız firması tarafından, askeri amaçla kullanılmasının önlenmesi için, 1/5 oranında düşürülmüştür. Ülkemizin diğer araştırma reaktörü olan, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü’ndeki 250 kW termal gücündeki, **TRIGA Mark II** reaktörü ise, Mart 1979’da kritik yapılmıştır. Mark II, yer seviyesi üstünde inşa edilen ve koru sabit bir tipin adıdır. Hafif su soğutmalı, grafit yansıtıcılı ve %20 zengin uranyum yakıtlı ve zirkonyum hidrür yavaşlatıcılıdır. Sürekli (steady state) çalışmada 250 kW ve darbeli (pulsing) çalışmada ise 1200 MW güce çıkmaktadır. Bu reaktör, özellikle araştırma ve kısmen de radyoizotop üretimi için kullanılmaktadır.

Nükleer güç santralleri kurulması ile ilgili ilk çalışmalar ise, 1965 yılında Atom Enerjisi Komisyonu tarafından başlatılmıştır. 1969 yılında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi’nin (EİEİ) hazırlattığı bir rapora göre, 1977 yılında elektrik üretecek, 300–400 MWe gücünde, doğal uranyumlu, basınçlı ağır sulu (Pressurized Heavy Water Reactor, **PHWR**) tip bir **CANDU** (Canada Deuterium Uranium) Reaktörü’nün kurulması planlanmış fakat gerçekleştirilememiştir. Çünkü, 1968 yılında yürürlüğe giren II.Beş Yıllık Kalkınma Planı’nda, söz konusu santral yerine, eğitim amaçlı 80 MW’lık bir prototip nükleer santral kurulması planlanmıştır.

1970’de Türkiye Elektrik Kurumu (TEK), 1972’de ise bu kuruma bağı Nükleer Santraller Dairesi kurulmuştur. Değerlendirmeler sonucunda, ilk santralin 1983-1984 yıllarında işletmeye girmesi ve en az 600 MWe gücünde olması ortaya çıkmıştır. İlk santral için, Silifke’nin (Mersin) 50 km batısındaki Akkuyu en uygun yer olarak seçilmiştir. Akkuyu için yer lisansı, yerli ve yabancı firmalar, üniversiteler ve araştırma merkezlerinin katkıları ile yapılan çalışmalar sonucunda, Atom Enerjisi Komisyonu tarafından 1976 yılında verilmiştir. Yer lisansı, kurulacak olan nükleer santralin en kötü hayali kazalarda bile, çevreye zarar vermeyeceğinin yetkili kurumca onayıdır.

1976 yılında üç tip; CANDU, **PWR** (Pressurized Water Reactor) ve **BWR** (Boiling Water Reactor) reaktörleri için ön projeler ve ihale şartnameleri hazırlanmış ve ilk ihaleye 1977 yılında çıkmıştır. İsveç Hükümeti’nin verdiği kredi garantisini kaldırması ve ülkemizde siyasi iradenin ortaya konulamaması sonucu, Eylül 1979’da görüşmeler kesilmiştir.

1981 yılında, Türkiye’de mevcut ve kurulacak bütün nükleer tesisler üzerinde Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı’nın denetimini kabul eden bir sözleşme imzalanmıştır. 1982’de 2690 Sayılı Kanun ile Atom Enerjisi Komisyonu, **Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)** olarak yeniden düzenlenmiştir. Aynı yıl, ihale açılmaksızın TAEK Başkanlığı aracılığı ile, Atomic Energy Canada Ltd (AECL)-Kanada, Siemens&Kraft Werk Union(KWU)-Almanya ve General Electric (GE)-ABD firmalarından teklifler alınmıştır. Hükümet bu üç firmanın dört nükleer santral kuracağını, 665 MWe ve 990 MWe güçlerindeki iki ünitenin Akkuyu’da, 1185 MWe’lik iki ünitenin ise Sinop’da kurulacağını açıklamıştır. AECL ve Siemens-KWU ile 30 Ağustos 1984’de anlaşma sağlanmıştır. Ancak, hükümet santrallerin anahtar teslimine göre başlattığı ihale temel koşulunu, **Yap-İşlet-Devret**’e dönüştürdüğünü açıklayınca, firma işletmeci kuruluş olmadığını belirterek görüşmelerden çekilmiştir. AECL firmasının kurmayı önerdiği, PHWR (CANDU) tipi 665 MWe’lik santral için görüşmeler 1987’ye kadar uzamıştır. Kredi garantisi verilmemesi, AECL firmasının Yap-İşlet-Devret modelini fazla riskli bulması üzerine girişimler sonuçsuz kalmıştır.

1989 yılında Arjantin ile 25 MWe’lik pasif sistemli modüler prototip reaktör projesine girilmiş, ancak 1991 başında ise bu girişimden vazgeçilmiştir.

1992 yılında, TEK dünyadaki bütün imalatçı firmalara mektup yazarak, 1000 MWe gücünde bir veya iki üniteli santral için, yap-işlet-devret veya **anahtar teslimi** bir veya iki santral için teklif istemiştir. TEAŞ 1996 sonunda, Akkuyu Nükleer Santrali için yeniden uluslararası ihaleye çıkmış, fakat bu girişim de sonuç vermemiş ve nükleer santral kurulması ertelenmiştir.

Şubat 1997’de dördüncü girişim olarak ihaleye çıkmıştır. Ekim 1997’de üç konsorsiyumdan teklif alınmıştır. Alınan teklifler şu kuruluşlara aittir: Kanada AECL, Alman ve Fransız ortak girişimi olan Nuclear Power International-NPI (Siemens ve Fram Atom), ABD ve Japonya ortak girişimi olan Westinghouse ve Mitsubishi Heavy Industries. Değerlendirmeler sonucu seçilecek firma ile 1999 yılında sözleşme yapılması planlanmaktaydı. Fakat, bu girişim de sonuçsuz kalmıştır.

Kasım 2004’de, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve TAEK, inşasına 2007 yılında başlanacak ve ilk ünite 2012 yılında devreye girecek şekilde toplam 5000 MWe’lik nükleer santraller yapılacağını açıklamıştır. Ayrıca TAEK, 2004 yılında Sinop’ta birçok tesisten oluşan bir **Sinop Nükleer Teknoloji Merkezi**’nin (SNTM) kurulmasına yönelik çalışmaları başlattığını açıklamıştır. 7 Mart 2007 tarihli Bilim Teknoloji Yüksek Kurulu’nun toplantısında alınan kararla, TAEK tarafından **Ulusal Nükleer Teknoloji Geliştirme Programı** (2007-2015) başlatılmıştır. TAEK SNTM’ye tahsis edilen alanda; araştırma reaktörleri, yakıt çevrim tesisleri, destek tesisleri, nükleer teknoloji AR-GE tesisleri ve eğitim tesisleri kurulacağını açıklamıştır.

Nükleer Güç Santrallerinin Kurulması ve İşletilmesi ile Enerji Satışına İlişkin 5710 Sayılı Kanun, 20 Kasım 2007 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Mart 2008’de, Mersin Akkuyu’da kurulacak nükleer güç santrali için **yarışma** adı verilen bir elektrik satın alma ihalesine çıkmıştır. Kasım 2009’da TETAŞ, yarışmayı iptal ettiğini açıklamıştır. 13 Ocak 2010 tarihinde Rusya ve Türkiye **Türkiye’de Nükleer Santral Tesisinin Kurulması ve İşletilmesi Ortak Beyannamesi** başlığında bir anlaşmaya imza atmıştır.

12 Mayıs 2010 tarihinde Türkiye ile Rusya hükümetleri arasında **Akkuyu Sahasında Nükleer Güç Santrallerinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliği Anlaşması** imzalanmıştır. Bu anlaşmaya göre, Akkuyu sahası %100 Rus olarak kurulacak bir proje şirketine, bedelsiz olarak teslim edilecektir. Rus proje firması, kuracağı VVER 1200 tipi 4 nükleer santral ünitesinin, santral yardımcı tesislerinin ve üretilen elektriğin sahibi olacak, santrali işletecek ve 15 yıllık alım garantisi ile Türk tarafına elektrik satacaktır. 20 Temmuz 2010 tarihinde Cumhurbaşkanı, **Türkiye ile Rusya Arasında Akkuyu’da Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşmayı Onaylayan Kanun**’u onayladı. Söz konusu anlaşma, 29 Kasım 2010 tarihinde Rusya Devlet Başkanı tarafından da onaylanarak, Rusya’da da resmen yürürlüğe girmiş oldu.

2008 yılında **Türkiye’nin Stratejik Vizyonu 2023** projesi başlatılmış ve altı ana tema altında toplanan makro öngörülerle, Türkiye’yi 2023 yılı hedeflerine ulaştırabilecek dokuz stratejik lokomotif sektör belirlenmiştir. Bu sektörler arasında **Enerji ve Nükleer Teknoloji** çalışmaları; kalkınmanın sürekliliği ve Ülkemiz kaynaklarının etkin kullanımı ilkesi ile öne çıkmaktadır.

Akkuyu Nükleer Güç Santrali

Akkuyu Nükleer Güç Santrali (**Akkuyu NGS**), Türkiye Cumhuriyeti’nde Akdeniz kıyısında Mersin’in Gülnar ilçesine bağlı, Büyükeceli Akkuyu mevkiinde inşa edilecektir. Bu proje, karada ve denizde kullanılacak alanların tümünü kapsamaktadır. Kasım 2012’de Akkuyu NGS için mevzuat veri tabanı TAEK tarafından kabul edilmiş ve Aralık 2012’de ise Mersin’de **NGS Projesi** ile ilgili **Bilgilendirme Merkezi**’nin açılması kararı alınmıştır.

Santral, her biri 1200 MWe olan 4 güç ünitesi ile toplam 4800 MWe kurulu güce sahiptir. Akkuyu NGS’nin inşaatı tamamlandıktan sonra yılda yaklaşık 35 milyar kWh elektrik enerjisinin üretilmesi planlanmaktadır. Akkuyu NGS, Novovoronej NGS-2 (Rusya, Voronej bölgesi) AES-2006 Proje’si referans alınarak hazırlanan, bir seri nükleer santral projesidir. Referans santralinin tasarım özellikleri, tüm güncel Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı, Uluslararası Nükleer Güvenlik Tavsiye Grubu ve Avrupa Elektrik Üreticileri Şartları yayınlarının temel güvenlik standart ve gereklerine uymaktadır. Bu model, daha önceki VVER-1000 modelinin Finlandiya’da yapımı bitmek üzere olan, III. Nesil nükleer santraldeki teknik özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiştir. **VVER-1200 (AES-2006)** modeli nükleer santrallerin yapımı tamamlanmak üzeredir. **III. Nesil** santrallerde bulunan pasif güvenlik sistemlerini, uçak çarpmasına karşı korunmayı ve reaktör yakıt maddesinin ergimesi durumunda yakıt maddesini tutacak bir yakıt tutma çanağı, **kalp yakalayıcı (core catcher)** da içermektedir. Çin ve Hindistan’da (Tyanvan ve Kudankulam) ikiye adet VVER-1000’in yapımı sürerken, VVER-1200’ün yaptırılması da planlanmaktadır.

Sovyet Dizayni Su-Soğutmalı Su- Moderatörlü Reaktörler VVER (Vodo-Vodianoy Energeticheskiy Reactor); Rusya tarafından geliştirilen basınçlı su reaktörü (PWR) serisidir. İngilizce kısaltması ile WWER (Water-cooled Water-moderated Power Reactor), su soğutmalı ve yavaşlatıcılı reaktör olup, reaktörün tipini ve 1200 ise MWe olarak gücünü temsil etmektedir.

VVER-1200 (AES-2006) santrali, teknik ve ekonomik performans karakteristikleri bakımından **Nesil III+** tasarımı' dır. Reaktörün kalbi 163 adet yakıt demeti içerir. Yakıt demetleri 4570 mm boyundadır. Yakıt çubuğu zirkonyum alaşımı tüptür. Sinterlenmiş UO₂ peletleri maksimum %5 (4,95±0,05) zenginliktedir. Ortalama lineer ısı hızı 167,8 W/cm'dir. 121 adet kontrol çubuğu demeti, kalbin içine reaktöre yukarıdan girecek şekilde yerleştirilmiş olup, ortalama yanma oranı 60 MWgün/kg Uranyum'dur. Türkiye'nin ilk nükleer güç santrali inşaatının toplam maliyeti **ROSATOM'un (Rusya Federasyonu Devlet Atom Enerjisi Kuruluşu)** verdiği fiyatla 22 milyar dolardır. Yani, yatırım maliyeti çok yüksektir. Devlet kuruluşu olan ROSATOM'un 270' den fazla sanayi ve bilimsel araştırma kuruluşu vardır.

Santralin ekonomik ömrü 60 yıldır. Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi (TETAŞ), Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş.'den nükleer güç santralinde üretilmesi planlanan belli bir miktar elektriği satın alacaktır. İlk iki ünitenin üreteceği enerjinin %70'ini, üçüncü ve dördüncü ünitelerin üreteceği enerjinin %30'unu, 15 yıl süre ile 12,35 sent/kWsaat + KDV ortalama fiyattan alma garantisi verilmektedir. Üretilen elektriğin geri kalan kısmını, Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş serbest piyasada pazarlayacaktır. Elektrik Satın Alma Anlaşmasının sona ermesini müteakip, Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş., Türk Tarafı'na NGS'nin her güç ünitesi için yıllık bazda şirketin net karının %20'sini verecektir.

Akkuyu NGS Projesi, derinlemesine güvenlik prensibine göre gerçekleştirilecektir. Derinlemesine güvenlik prensibi, iyonize ışınımına sebep olabilecek radyoaktif maddelerin çevreye salınmasını önleyici, birbirini takip eden fiziki engellerin kullanılması sistemine dayanır. VVER NPP 2006 dizaynı, pasif ısı çekim sistemi ve iki koruma kabı (containment) içerir. İki koruma kabı dizaynı, Çernobil Reaktörü deneyiminden dolayı çok önemlidir. İkincil koruma kabı sistemi, reaktörün kalbini dış etkenlere karşı korur ve olası bir kaza durumunda radyoaktivitenin dışarı salınımını engeller. Pasif sistemler, güvenlik sistemlerinin basitleştirilmiş hali olduğundan maliyetinin az olmasının yanı sıra, insan kaynaklı hataları en aza indirmek için geliştirilmiş sistemlerdir.

Akkuyu NGS'de kullanılmış olan yakıt Rusya'da yeniden işlenerek tekrar değerlendirilebilecektir. Akkuyu NGS projesine risklerin paylaşılması açısından baktığımızda, finansal risklerin çok büyük bir çoğunluğunun proje şirketinde olduğu görülmektedir. Proje gelirlerinin proje maliyetini karşılamaması ve ek finansmana ihtiyaç duyulması durumunda, sorun Rusya Devleti'nin bütçesinden karşılanacaktır. Genel kanı, projenin siyasi nitelikte olduğudur. Sonuç olarak, Türkiye göreceli az miktarda risk alarak ve kısmi bir alım garantisi vererek elektrik üretim kapasitesine katkı sağlamış olacaktır. Öte yandan, Rusya ile siyasi gerginlikler yaşandığında, bu durumun sonuçları ciddi belirsizlikler içermektedir.

Akkuyu NGS için ÇED Raporu Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 1 Aralık 2014'te onaylanmıştır. Akkuyu NGS deniz yapılarının temeli 14 Nisan 2015'te atılmıştır. İlk ünite; izin, lisans vs işlemlerin tamamlanmasından itibaren 7 yıl sonra devreye girecek ve bunu birer yıl ara ile diğer üç ünite izleyecektir. Birinci ünitenin 2020'de işletmeye alınması planlanırken, 2015 yılı itibariyle 2 yıllık bir gecikme söz konusudur. Projede Rusya'ya ait hisselerin %49'unun Türk özel sektörüne verilebileceği de vurgulanmaktadır.

Sinop Nükleer Güç Santrali

3 Mayıs 2013 tarihinde, 22 milyar dolara mal olacak **Sinop Nükleer Güç Santrali (Sinop NGS)** süreci başlamıştır. 30 Ekim 2013'te ticari kontratın son aşaması ve iki ülke arasında dayanışma taslağı imzalanmıştır. Sinop için Japon Mitsubishi Heavy Industries (MHI) ve Fransız Areva ortaklığı tarafından tasarımı yapılmış olan **ATMEA1** tip basınçlı su reaktörü (PWR) seçimi yapılmıştır. Her biri yaklaşık 1100 MWe'lik 4 üniteden oluşan, Sinop NGS

Projesi'ni gerçekleştirecek olan şirketler; EÜAŞ (Türk), MHI ve ITOCHU (Japon), GDF-SUEZ (Fransız) ortak girişim gruplarıdır. Fransa Japonya ortaklığının tercih edilmesinin önemli faktörleri arasında; Japon şirketinin yüksek teknolojisi, atık yönetimi deneyimi, girişimciliği ve özellikle iş modeli yaratma konusundaki başarısı söylenebilir.

Sinop'taki santral, Mersin Akkuyu NGS santral projesine göre büyük farklar içermektedir. Sinop NGS'de, Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), %25 ortak olacak, ortaklık oranı, her durumda %45'i geçmeyecektir. Bu anlaşmadaki en önemli hususlardan biri de, anlaşma metninde teknoloji transferinin yer almasıdır. İlgili anlaşmadaki çok önemli bir başka husus ise, Japonya ile Türkiye arasında bir Teknoloji Üniversitesi kurulmasıdır. Üniversitede nükleer bilimler eğitimi verileceği, Japon hocaların da görev alabileceği belirtilmektedir. Türkiye, Sinop NGS'de; tüm süreçlerin içinde (inşaattan, elektrik üretimine kadar) ortak ve karar verici olarak yer alacaktır.

Sinop NGS'nin inşaatının 2017'de başlaması planlanmaktadır. Ünitelerin işletmeye alınma yılları birer sene ara ile; Ünite I için 2023, Ünite II için 2024, Ünite III için 2027 ve Ünite IV için 2028 olarak öngörülmektedir. Elektrik satın alma anlaşması, herbir ünitenin işletmeye girme tarihinden itibaren 20 yıl süreyle geçerli olacaktır. Anlaşma dönemindeki ortalama elektrik fiyatı (tarife) nominal fiyattır. Dolayısıyla, o günün koşulları baz alınarak hesaplanacaktır. Akkuyu NGS için verilen 12,35sent/kWsaat alım garantisinin Sinop için 11,80 sent/kWsaat civarında olacağı tahmin edilmektedir.

ATMEA1, 1100 MWe güç üretimi yapan Areva ve MHI tasarımlarının sentezi olan basınçlı su reaktörüdür. Diğer santral tipleriyle karşılaştırıldığında, bu tasarımın öne çıkan başlıca özellikleri; uzun çalışma süresi, kısa yeniden yakıt yükleme süreleri (16 günden az) ve güç izleme yeteneğidir (güç üretimini dakikada %5 değiştirebilme). Kor yakalayıcı da dahil olmak üzere, aktif ve pasif güvenlik sistemlerine sahip olan reaktör III+ Nesil tasarımıdır.

Sinop ve Akkuyu NGS Projeleri, ilk aşamasından son aşamasına kadar, ulusal ve uluslararası mevzuat çerçevesinde denetlenecektir. Yani, her iki projenin yürütülmesinden şirketler sorumlu olsa da, projelerin her türlü denetimi nükleer enerji alanına ilişkin Türk mevzuatı ve uluslararası mevzuat doğrultusunda gerçekleştirilecektir.

Enerji Bakanlığı, üçüncü NGS projesinin ön hazırlıklarına ve etüt çalışmalarına başlamıştır. Sinop'taki NGS'nin ihalesini üstlenen Japonya'ya yer tespiti çalışmalarını yürütmesi talimatı verilmiştir. Bu incelemelerin ağırlıklı olarak Batı bölgelerinde yoğunlaştığı ve Kırklareli-İğneada Bölgesinin öne çıktığı belirtilmektedir. Ankara-Nallıhan, Beyşehir-Seydişehir'in de diğer seçenekler arasında olduğu vurgulanmaktadır.

Enerji sorunu, Türkiye için de Dünya gündemindeki gibi öncelikli konudur. Türkiye'nin enerji talebinin gelecek on yılda iki katına çıkması beklenmektedir. Enerji yatırımları içinde nükleer enerjinin; Akkuyu NGS için 22 milyar dolar ve Sinop NGS için 22 milyar dolar olmak üzere, toplam 44 milyar dolarlık çok önemli bir payı vardır.

SONUÇ

Ülkemizde, doğalgazın %98'i, petrolün %92'si ve kömürün %30'u ithal edilmekte olup enerji ithal bağımlılığımız %72'dir. Enerji kaynaklarımızın kısıtlı olması ve dışa bağımlı olmamıza rağmen, enerji talebimiz, yıllık ortalama %7-8 oranında sürekli artmaktadır. Ülkemiz elektrik talebi artışında; Avrupa'da birinci, Dünyada Çin'den sonra ikinci sıradadır. Ülkemiz için nükleer enerji; enerji arz güvenliğinin sağlanması, enerjide dışa bağımlılığımızın azaltılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması ve cari açığımızın azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. NGS'ler sürdürülebilir enerji stratejilerinde, her an kullanıma hazır olmaları, rekabet edebilir elektrik enerjisi fiyatları, baz yük santrali olmaları ve sürekli enerji elde

edilebilirlikleri ile büyük öneme sahiptir. Yakıt stoğu yapıldığında sürekli güvenilir enerji elde edilebilir. 2023 yılına kadar Akkuyu ve Sinop NGS'lerin işletmeye alınması ile o zamanki kurulu gücümüzün %10'unu NGS'ler karşılayacaktır. Bugünkü durumda bu oran %33'dür.

Ülkemizde Etibank ve MTA tarafından yapılan jeolojik araştırmalar ve sondajlarla uranyum ve toryum rezervleri saptanmıştır. Fakat birçok sahada yapılan çalışmalar çeşitli nedenlerle yeterli hassasiyette sürdürülememiştir. Ülkemizin gerçek nükleer yakıt potansiyelinin belirlenebilmesi için, uranyum ve toryum kaynaklarının yeni yöntemler ile desteklenerek araştırılması gerekmektedir. Görünür uranyum rezervleri yaklaşık 9100 ton U_3O_8 'dir. Ancak 5000 ton uranyum ekonomik olarak işletilebilecek durumda olup bu kaynakla 1000 MWe güçlü bir veya iki nükleer güç reaktörünün yakıt ihtiyacı karşılanabilecektir. Türkiye'de toryum aramalarına MTA tarafından 1960 yılında başlanmış ve aynı yıl Eskişehir-Sivrihisar-Kızılcaören Köyü yakınlarındaki toryum yatağı bulunmuştur. 1976 yılına kadar devam eden çalışmalarla 380 000 ton ThO_2 ve önemli miktarda (yaklaşık 5 milyon ton) nadir toprak elementi rezervi saptanmıştır. Ülkemiz zengin toryum yataklarına sahiptir. Hintlilerin yaptığı bir modele göre yurdumuzdaki 380 000 ton toryum yaklaşık olarak 800 milyar ton kömüre eşdeğer enerji içermektedir. Toryum tenörü bazı örneklerde % 3'e çıksa da ortalama olarak % 0,2 olup düşüktür. Yapılan çalışmalar, toryum tenörünün düşük olması nedeniyle toryumun nadir toprak elementleri ile birlikte değerlendirilmesini gündeme getirmektedir. Bu teknolojik sorunların çözülmesi için yoğun olarak çalışılması gerekmektedir.

Toryumun çeşitli tip reaktörlerde yakıt olarak kullanılması üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar; ABD, Almanya, Hindistan, İngiltere, Japonya ve Kanada'dadır. İlk üç ülke toryumun nükleer güç reaktörlerinde başarı ile kullanıldığını göstermişlerdir. Toryum, reaktör dizaynında ve güvenlik kavramında önemli bir değişiklik yapmadan hafif ve ağır su, yüksek sıcaklık güç reaktörleri ve hızlı reaktörlerde kullanılabilir.

Toryum, uranyum gibi doğrudan enerji üretmemesine karşın uranyum ve/veya plutonyum ile birlikte kullanıldığında, uranyuma göre daha fazla uzun süreli enerji üretme kapasitesine sahiptir. Fakat, cevherden toryumun ekstraksiyonu güç bir proses olup ekonomisi tam kurulamamıştır. Kullanılmış yakıttan üretilen ^{233}U 'ün ayrılmasında bazı sorunlar vardır. Toryumun yakıt olarak kullanıldığı yüksek sıcaklık reaktörleri prototip aşamasında olup bu reaktörlerin amacı, elektrik üretimi yanında endüstri için proses ısısı da sağlamaktadır. Toryum yakıtlı reaktörler çok daha az atık çıkarmaktadır. Toryum kullanılması nükleer silahların yayılmasının önlenmesi açısından da çekicidir. Bu üstün özellikleri toryumu, 21. yüzyılın aday nükleer yakıtı olarak gündeme getirmektedir.

Bütün bu bilgilerin ışığında, **Türkiye'nin NGS'lere sahip bir ülke olma girişimlerinde aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi gereklidir:**

- Enerji ile ilgili planların, hükümet politikası olarak değil, devlet politikası olarak ele alınması gereklidir. Enerji, çok boyutlu ve uzun soluklu politika ve stratejilerin uygulanması gereken bir konudur..
- Türkiye'ye NGS kurmak isteyen ülkelerin nükleer teknoloji transferindeki niyetleri ve ne kadar destekleyici olacakları önemli bir tartışma konusudur. Bu nedenle, bu hususta çok dikkatli olmalı ve anlaşmada gerekli önlemler alınmalıdır.
- Türkiye, Finlandiya Olkiluoto Adası'ndaki III.Nesil Avrupa Basınçlı Su Reaktörü (EPR; European Pressurized Water Reactor) deneyimlerinden yararlanmalıdır. 1600 MWe gücündeki bu santralde, bugüne kadar çalışan NGS'lerde bulunmayan ek güvenlik sistemleri vardır ve dünyanın en büyük ve en güvenli santrali (III.Nesil) olarak projelendirilmiştir. Bu güvenlik önlemleri, Sinop NGS için de söz konusudur.

- Fukuşima kazası deneyimlerinin iyi incelenmesi ile, alınabilecek önlemlerin, yapımcı şirketlere ek sözleşmelerle kabul ettirilmesi de önemli bir husustur.
- Türkiye, geniş ölçekli bir nükleer enerji kapasitesini yönetme konusunda deneyimsiz bir ülkedir. Devletin düzenleyici fonksiyonlarını etkin bir şekilde yürütecek insan kaynakları eksikliği vardır. Kısa ve uzun vadeli insan kaynakları geliştirme programı UAEA'nın da desteğini alarak acilen devreye sokulmalıdır.
- Ülkemiz, NGS'lerinin denetimi ve bu alandaki sorumlulukların belirlenmesine ilişkin, yasal ve düzenleyici çerçeveye sahip değildir. Bu amaçla, bağımsız bir düzenleyici kuruma ihtiyaç vardır.
- Nükleer enerji ile ilgili her kurumun (düzenleyici, işletmeci, geliştirici, alt yüklenici) her bir düzeyinde yapıcı bir şüphecilik yaklaşımı geliştirilmelidir.
- Akkuyu yatırımı, yatırım riskinin paylaşılması, elektrik fiyatı ve atık yönetimi açısından nükleer enerjiye geçişte daha sonra tekrarlanabilecek bir model değildir. Ancak, Akkuyu NGS, Türkiye'nin nükleer güvenlik açısından gerekli kurumsal ve insan gücü altyapısını oluşturmak için yatırımdır.
- Akkuyu NGS Projesi deneyimleri iyi izlenmeli, ders alınmalıdır. Örneğin, bu proje sözleşmesinde şartnameye; gözetim, muayene, test ve belgelendirme için, yerli firma şartı konulmadığı için, önemli bir maddi fırsatın kaçırıldığından söz edilmektedir.
- Akkuyu modelinde sabit fiyatla elektrik alımı olduğundan, yatırımcı kar marjını arttırmak adına maliyetleri kısabilir. Maliyetlerin azaltılması düşüncesi, güvenlik ve emniyet standartlarından ödün verme riskini yaratabilir. Bu durum özellikle göz önünde bulundurulmalıdır.
- Türkiye'de henüz nükleer alanda faaliyet gösteren bağımsız bir denetleyici kurum bulunmamakta, bu görevi TAEK yerine getirmektedir. Ancak TAEK'in aynı zamanda bir operatör olması nedeni ile bağımsız bir idari kurum gereği ortadadır.
- İkinci bir santral için aynı teknolojinin seçimi birçok açıdan avantaj sağlamaktadır.
- Türkiye'nin nükleer enerji programında, üzerinde durulması gereken konulardan biri de, nükleer atık yönetimidir. Ülkemiz bu konuda alternatif bazı tasarımlar oluşturmaya başlamalıdır. Kullanılmış yakıt, tekrar işlemeye tabi tutulsa bile, bu işlemi yapan ülkelerin yabancı kaynaklı atıkların kendi topraklarında depolanmasına karşı olan yasaları vardır.
- Kamuoyu; kapsamlı, şeffaf ve uzun vadeli bir programla bilgilendirilmelidir. NGS'lerin yapım kararının temelde, ekonomik ve ticari gerekçelere dayanması yanında, siyasi değerlendirmelerin de bu konuda önemli rol oynadığı bilinmektedir. Bu nedenle, bu girişimin başarılı olabilmesinde, halkın onayının ve desteğinin büyük payı vardır.

KAYNAKLAR

- Benedict, M., Pigford, T., H., Levi, H., W., Nuclear Chemical Eng., McGraw- Hill Book Company, USA, 1981
- Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, IAEA, 2013. Nükleer Enerji Üretimi Artacak, Global Enerji, Ekim 2013
- Enerji Nükleer Güç Santralleri ve Türkiye, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Nükleer Enerji Proje Uygulama Daire Başkanlığı, Yayın No:2, 2013
- Enerji Güvenliği Perspektifinden Türkiye'ye Bakış, Ed. Biresselioğlu, M. E., Türkiye'nin Nükleer Enerji Serüveni, Eral, M., 118-144, Enerji Hukuku Araştırma Enstitüsü, Ankara, 2015.
- Eral, M., Nükleer Yakıt Teknolojisi Ders Notları I-II, EÜ Nükleer Bilimler Enstitüsü, 2011
- Günümüzde Nükleer Enerji, TAEK, Temmuz 2010, Nuclear Energy Today, Nuclear Energy Agency Organisation for Economic Co-operation and Development
- International Energy Agency cuts nuclear forecast, Nuclear Monitor, No.774, 28.11.2013
- Key World Energy Statistics, IAEA, 2010
- Murray, R., L., Nuclear Energy, Butterworth-Heinemann, Sixth Edition, Oxford, 2009
- Nuclear Power Reactors in the World, Reference Data Series No:2, IAEA, 2011
- Nükleer Enerji Raporu, TMMOB, Fizik Mühendisleri Odası, 2011
- Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanlığı Yayın No:1, 2013.
- Nükleer Santraller, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, 2010
- Türkiye'de Enerji ve Geleceği, İTÜ Görüşü, İstanbul, Nisan 2007
- Türkiye 2023 Uluslararası Nükleer Teknoloji Transferi Kongresi, İstanbul, 21-22 Eylül 2012
- Türkiye'de Akkuyu Nükleer Güç Santrali Projesi, Akkuyu NGS Elektrik Üretim Anonim Şirketi, Broşür
- <http://www.atmea-sas.com/ATMEA/liblocal/docs/ATMEA1%20Brochure.pdf>
- <http://www.wiseinternational.org/sites/default/files/images/NM774.pdf>
- <http://www.invest.gov.tr/tr-TR/infocenter/news/Pages/060313-turkey-sinop-nuclear-power-plant-project.aspx>
- <http://www.bloomberg.com/news/2013-05-03/mitsubishi-areva-set-to-sign-turkish-nuclear-plant-deal-today.html>
- <http://enerjienstitusu.com>
- <http://www.world-nuclear.org/info/inf102.html>
- <http://www.elektrikport.com>
- <http://world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/Russia--Nuclear-Power/>
- <http://www.rosatom.ru/en/>
- www.tasam.org/tr-TR/Icerik/5214/nukleer_enerji_konusunda_turkiyenin_tespiti
- www.nukte.org/node/909
- www.akkunpp.com
- <https://www.iaea.org/pris/>