TÜBA

Türkiye Bilimler Akademisi

TÜBA-NÜKLEER ENERJİ RAPORU

Ankara - 2019

Editör: Prof. Dr. İbrahim DİNÇER

TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ

TÜBA-NÜKLEER ENERJİ RAPORU

TÜBA-ENERJİ ÇALIŞMA GRUBU
Prof. Dr. İbrahim DİNÇER (Yürütücü)
Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA
Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU
Prof. Dr. Yıldız BAYAZITOĞLU
Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI
Prof. Dr. Sadık KAKAÇ
Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ
Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ
Prof. Dr. Ali SARI
Prof. Dr. Niyazi Serdar SARIÇİFTÇİ
Prof. Dr. Bahri ŞAHİN
Prof. Dr. Raşit TURAN

Haziran 2019

Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, TÜBA Raporları No: 29
ISBN: 978-605-2249-28-4

Editör: Prof. Dr. İbrahim DİNÇER

Program Sorumlusu: Dr. Zeynep BİRER

Grafik Tasarım: Ece YAVUZ

Baskı: Tek Ses Ofset Matbaacılık, ANKARA
Haziran 2019, 3000 Adet

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ **4**

ÖNSÖZ **5**

1. GİRİŞ **11**

2. NÜKLEER ENERJİ VE ÖNEMİ **14**

3. TÜRKİYE'NİN ENERJİ DURUMU VE NÜKLEER ENERJİ GEREKSİNİMİ **15**

4. TÜRKİYE'NİN NÜKLEER ENERJİ DURUMU **17**

4.1 Türkiye'de Nükleer Enerji Santralleri Kurma Çalışmaları 21

4.2 Türkiye'de Nükleer Enerji Eğitimi 22

4.3 Türkiye'nin Nükleer Enerji Kabiliyeti 23

4.4 Türkiye'nin Nükleer Enerji Kazanımları 25

4.5 Nükleer Güvenliğe İlişkin Düzenleyici Yapıda Meydana Gelen Değişiklikler 26

4.6 Nükleer Güvenliğe İlişkin Türkiye Cumhuriyeti'ndeki Mevcut Mevzuat 28

5. TÜRKİYE İÇİN NÜKLEER ENERJİ SEÇENEKLERİ **33**

5.1 Türkiye'nin Nükleer Yakıtlar Potansiyeli 35

5.2 Türkiye İçin Nükleer Enerji Mevzuatı ve Atık Yönetimi 37

6. NÜKLEER ENERJİDE ALTERNATİF BOYUTLAR **41**

7. YOL HARİTASI VE YAPILMASI GEREKENLER **47**

7.1 Ülkemiz Nükleer Enerjide Ne Yapmalı Ne Yapmamalı? 48

7.2 Türkiye'nin Nükleer Enerji Eğitiminde Yapılması Gerekenler 50

7.3 Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikalarına Bakış 54

7.4 Nükleer Güç Programının Sürdürülebilirliği İçin Önemli Politikalar ve Stratejiler 55

7.5 Türkiye'nin Stratejik Nükleer Enerji Yol Haritasına Yaklaşım ve İlkeler 55

7.5.1. Nükleer Yatırımların Katkıları 56

7.5.2 Türkiye'nin 12. ve 13. Kalkınma Planlarında Nükleer Güvenlik ve Atık Yönetimi Stratejileri 58

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **59**

9. TEŞEKKÜR **63**

KAYNAKLAR **64**

TÜBA NÜKLEER ENERJİ ÇALIŞTAYI VE PANELİ PROGRAMI **68**

SUNUŞ

Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA); önemli, öncelikli ve güncel konulara dair bilim temelli incelemeler ve danışmanlık yapma görevi ve toplumda bilimsel yaklaşım ve düşüncenin yayılmasını sağlamak amacı çerçevesinde; bilimsel toplantılar, kongre, sempozyum, konferans ve çalıştaylar ile yayınlar gerçekleştirmektedir. Bu bağlamda, TÜBA Enerji Çalışma Grubu tarafından kamu, üniversite ve sanayi kesiminden paydaşların katılımıyla 9 Mart 2018 tarihinde Ankara'da Hacettepe Üniversitesi'nde "TÜBA Nükleer Enerji Çalıştayı ve Paneli" düzenlenmiş ve etkinlikte ele alınan konuları içeren bu Rapor hazırlanmıştır.

Nükleer enerji, fosil yakıt kaynaklarının sınırlılığı ve çevre vb. bakımından maliyetlerinin arttığı bir durumda, dünyanın enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli paya sahip bir seçenektir. Bu enerji türü, enerji ihtiyacını karşılama yanında, teknolojik gelişme ve diğer alanlarda kullanım bakımından da önemli imkânlar vadetmektedir. Buna karşılık, artan enerji ihtiyacının karşılanmasında büyük oranda dışa bağımlı olan Türkiye için nükleer enerji, uzun süre önce başlanan bazı yatırımların varlığına rağmen, hâlâ gereğince yararlanılmayan bir seçenek durumundadır. Böylesi bir durumda, konunun ilgili paydaşların katılımıyla ve bilimsel yaklaşımla ele alınmasının önemli olduğu açıktır. Bu mülahazalarla düzenlenen Çalıştay'da, nükleer enerjinin mevcut durumu, imkân ve sorunları, ele alınmış ve çözüm önerileri ortaya konulmuştur. Nükleer enerjiyle ilgili uzmanları, iş hayatı ve bilim insanlarını bir araya getiren Çalıştay'da ülkemizde yapımı devam eden ve planlanan santraller ve dünyadaki durum ve gelişmeler de kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Çalıştay'da görüşülen konular ışığında Enerji Çalışma Grubu'muzca bu Rapor hazırlanmıştır. Rapor'un nükleer enerji alanında çalışan araştırıcı ve uzmanlar ile konunun tüm paydaşları için yararlı bir kaynak olacağını düşünüyoruz.

Çalıştay ve Panel'in gerçekleştirilmesi ile Rapor'un hazırlanması ve yayımında emeği geçen Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü Prof. Dr. İbrahim Dinçer ve çalışma grubu üyelerine, Rapor'un hazırlanmasına katkı sunan bilim insanlarımıza, Rektör Prof. Dr. Haluk Özen'in şahsında Çalıştay ve Panel'e ev sahipliği yapan Hacettepe Üniversitesi'ne, Akademi üyelerimize, ilgili kurum, kuruluş yönetici ve uzmanlarına, katılımcılara ve emeği geçen tüm paydaşlarımıza teşekkürlerimizi sunuyor, Rapor'un ilgili karar alıcı ve uygulayıcılar için yararlı olmasını diliyorum. Selam ve saygılarımla,

Prof. Dr. Ahmet Cevat ACAR
TÜBA Başkanı

ÖNSÖZ

Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) bünyesinde oluşturulan "Enerji Çalışma Grubu" tarafından düzenlenen, çeşitli kamu kurum ve kuruluşları, sanayi ve sivil toplum örgütlerinin katıldığı *"TÜBA-Nükleer Enerji Çalıştayı ve Paneli"*, 9 Mart 2018 tarihinde, Hacettepe Üniversitesi Kültür Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Çalıştaya TÜBA Başkanı Prof. Dr. Ahmet Cevat Acar, TÜBA Başkan Yardımcısı Prof. Dr. Ahmet Nuri Yurdusev, TÜBA Üyeleri, Hacettepe Üniversitesi Rektör Yardımcısı Prof. Dr. Özcan Yıldırım Gülsoy ile bakanlıkların üst düzey yöneticileri, konuyla ilgili çalışan öğretim üyeleri, ilgili kamu ve sivil toplum kuruluşları temsilcileri, ilgili dernek yöneticileri katkı ve katılım sağlamıştır. TÜBA'nın bilim temelli "rehberlik ve danışmanlık" görevi kapsamında gerçekleştirilen etkinliğin amacı; nükleer enerji teknolojileri konusunda paydaşları bir araya getirerek bilgi paylaşım platformu oluşturmak, öncelikli teknolojilerin, yeniliklerin, kaynakların, mevzuatın sorunlarını ve problemlerini tartışmak, nükleer enerjiye ilişkin durum tespiti yapmak, öneri ve çözümleri ortaya koymaktır.

Etkinlik kapsamında, iki oturum ve üç panel yapılmıştır. Oturumlarda ve panellerde üniversite, sektör ve bakanlık yetkilileri görüş ve önerilerini dile getirmişlerdir. Oturumlarda Türkiye'de nükleer enerji potansiyeli ve yatırımları, ulusal ve uluslararası uygulamalar, Akkuyu ve Sinop'ta kurulacak nükleer santraller için gerçekleştirilen çabalar detaylı olarak aktarılmıştır. Nükleer enerjinin teknolojik boyutları ve açılımları, nükleer enerji uygulamalarının ülkemizdeki yatırımcı boyutları ve nükleer enerjisinden elektrik üretiminin, dağıtım şirketleri açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca yapılan oturumlarda son yıllarda toryumun nükleer yakıt olarak kullanımı ile ilgili çalışmalara değinilmiş ve ülkemizin toryum rezervlerine dikkat çekilmiş ve bu çalışmaların ülkemizde başlatılarak uluslararası işbirliklerine katılımımızın elzem olduğu vurgulanmıştır. Panellerde ise, ülkemizin nükleer enerji teknolojileri, kabiliyetleri, potansiyelleri ve finansman mekanizmaları tartışılmış ve ülkemizdeki nükleer enerji mevzuatı, problemler ve çözümleri birçok yönüyle ele alınmıştır.

Bu rapor, Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) bünyesinde oluşturulan *"Enerji Çalışma Grubu"* tarafından düzenlenen *"Nükleer Enerji Çalıştayı ve Paneli'*nde sunulan bildiriler esas olmak üzere güncel literatürden taranan bilimsel çalışmaların derlenmesiyle hazırlanmıştır.

Etkinlik Komitesi Adına
Prof. Dr. İbrahim DİNÇER
TÜBA-Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü

TÜBA
TÜRKİYE
BİLİMLER
Nükleer Enerji
Çalıştayı ve Paneli
9 Mart 2018
HACETTEPE
ÜNİVERSİTE

TÜBA

9 Mart 2018
TÜBA

2018

TÜBA

TÜBA
TÜRKİYE
BİLİMLER
AKADEMİSİ

TÜBA
Türkiye Bilimler Akademisi
Nükleer Enerji
Çalıştayı ve Paneli
9 Mart 2018
HACETTEPE
ÜNİVERSİTESİ

ÜBA
Nükleer Enerji

Prof. Dr. Sadık KAKAÇ

Prof. Dr. Namık Kemal ARAS
Prof. Dr. Orhan İÇELLİ

2018
ÜNİVERSİTESİ

TÜBA-NÜKLEER ENERJİ RAPORU

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, nükleer güç santrallerinin bugünü ve ülkemizdeki durumu incelenmektedir. Elektrik enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların katkıları belirtilmekte ve 2023 hedeflerine işaret edilmektedir. Aynı zamanda ülkemiz, enerji bakımından Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırılmıştır. Gelişmekte olan bir ülke olduğumuz gerçeğinden hareketle endüstriyel bakımdan gelişmiş olan ülkelerin fosil yakıtları, hidrolik santralleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirerek, nükleer santralleri kurmuş olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca nükleer enerjiye giden yolu aydınlatan bilim insanlarına işaret edilmektedir. Çünkü nükleer bombanın gerçekleştirilmesi ve sonunda açığa çıkan muazzam enerjinin kontrolü için yapılan çalışmalarla füzyon reaksiyonunun nasıl kontrol altına alındığı anlatılmakta ve nükleer güç santrallerinin dünyada nasıl yayıldığı örneklerle gösterilmektedir.

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın kurulması ise ülkemizin de bu faaliyete başlaması gerçeğini tetiklemiştir. Bu nedenle de Atom Enerjisi Genel Sekreterliği kurulmuştur. Çalışmada, Türkiye'nin nükleer enerji yolunda kilometre taşları olan Çekmece TR-1 (1MW), TR-2 (5MW) araştırma reaktörlerinin faaliyete geçişi, Ankara'da Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM) ile İstanbul Teknik Üniversitesi'nde (İTÜ) nükleer enerji enstitüsü ve araştırma reaktörünün kuruluş öyküleri anlatılmaktadır. Nükleer enerjinin gücünün geç fark edildiği ülkemizde Akkuyu ve Sinop'ta kurulacak nükleer santraller için gerçekleştirilen çabalar detaylı olarak aktarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, tartışılması gerekli birtakım önemli konulara da işaret edilmiştir.

Türkiye İçin Uygun Nükleer Enerji Teknolojilerine Bakış adlı çalışmada; günümüzde yaygın olarak kullanılan i) Zenginleştirilmiş nükleer yakıt kullanan hafif su soğutmalı nükleer reaktörler, ii) Tabii uranyum kullanan ağır su soğutmalı nükleer reaktörler (CANDU) anlatılmaktadır. Bunların yanı sıra bir kısmı gaz-grafit, bir kısmı hızlı reaktör olan 450 civarında nükleer reaktörle ticari elektrik üretildiği, denizaltılar ve uçak gemileriyle tahminen 2.000 reaktörün denizlerde dolaştığı ve Rusya'nın askeri istihbarat maksadıyla uzaya 30 kadar nükleer reaktör gönderdiği ifade edilmektedir. Nükleer reaktörlerin aynı zamanda yüksek teknolojinin lokomotifi olduğu, nükleer reaktörler sipariş edilirken bu reaktörlerin kurulması ve inşası esnasında yerli sanayinin ve Türk beyin gücünün katkısının yüksek tutulması gerektiği, batı teknolojisine dayanan nükleer santrallerin çevre açısından en güvenilir teknik yapılar olduğu vurgulanmaktadır.

Türkiye'de nükleer eğitim başlığı altında, lisans ve lisansüstü derecelerinde eğitim/öğretim yapan kurumlar ele alınmaktadır. Bu alanın güncel sorunlarının tartışıldığı alt başlıkta, lisans eğitimi veren Hacettepe Üniversitesi ve Sinop Üniversitesi ile lisansüstü eğitim veren dört enstitünün kuruluş tarihleri anlatılmaktadır. Böylece ülkemizde nükleer teknolojinin gelişmesi için bu kurumların yaşadığı sorunlara değinilmektedir.

Türkiye'nin Nükleer Enerji Kabiliyeti adlı bölümde ise; Türkiye'nin nükleer enerji alanının geçmişinden bugüne kadar olan süreci değerlendirilmektedir. Sürecin en başlarında meseleye daha çok sağlık sektörü odaklı radyasyon uygulamaları çerçevesinde bakıldığı gözlemlenmektedir. Planlama ve inşaat sürecinde olan nükleer santral anlaşmaları ile bu durumun tersine döndüğü, henüz oluşum aşamasında olunsa da yavaş yavaş nükleer enerjiden elektrik üretimi ve santral faaliyeti süresince gerekli sanayi tabanlı iş gücüne destek sağlayacak şekilde yönelim gösterildiği ifade edilmektedir. Ayrıca nükleer enerji alanında bilgi sahibi olmanın sadece işletme veya sanayi desteği ile sınırlı kalmak olmadığı, söz konusu operasyonel yapının arkasındaki düzenleme ve denetleme kabiliyetine sahip olmayı gerektirdiği de özellikle vurgulanmaktadır.

Türkiye'nin Nükleer Enerji Kazanımları adlı bölümde; dünyada "Barış için Atom" anlayışıyla başlatılan faaliyetlere paralel olarak ülkemizde 1956 yılında Atom Enerjisi Komisyonu'nun kuruluşu ve 1982 yılında bu komisyonun Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) olarak yeniden yapılandırılma süreci anlatılmaktadır. TAEK'in kuruluş amaçlarından en önemlisinin nükleer teknoloji ve nükleer tekniklerin çeşitli alanlarda uygulanması kapsamında öncülük yapmak olduğunun altı çizilmektedir. Ülkemizde 1965 yılından beri nükleer güç santrali kurulmasına yönelik pek çok defa girişimde bulunulduğu,

ancak 2010 yılında Akkuyu'da başlayan projeye kadar başarı sağlanamadığından bahsedilmektedir. Akkuyu ve Sinop projeleri, Türkiye'nin nükleer alanda kabiliyet ve kazanım elde etmesi için öncü projeleri olsa da nükleer enerji teknolojilerinin yerlileştirilmesi açısından akılcı ve dinamik bir Ulusal Nükleer Enerji Politikası oluşturulması gerektiği ifade edilmektedir.

Türkiye İçin Nükleer Enerji Mevzuatı ve Atık Yönetimi adlı çalışmada; öncelikle nükleer enerji mevzuatı konusu hızlıca gözden geçirilmekte ve tüm mevzuatta nükleer güvenliğin önde tutulmasının temel kavram olduğu vurgulanmaktadır. Mevzuatlar kapsamında kanun, tüzük, yönetmelik çerçevesinde gelişim ve değişimler konusuna dikkat çekilmektedir. Ayrıca ilgili yönergeler, kodlar ve bunların uygulanmasında takip edilecek prosedürler üzerinde durulmaktadır. Mevzuatla birlikte tüm nükleer faaliyetlerde nükleer güvenliğin öne çıkarılması ve bir nükleer güvenlik kültürünün gerçek anlamda oluşturulmasını elzem kılmaktadır. Bu da ancak "Toplam Kalite" uygulamaları ile yakından ilişkili olup, bu bağlamda yapılması gerekenler vurgulanmaktadır. Yakın vadede sorun olarak karşımıza gelmesi beklenmemekle beraber, bütünsel yapı içinde atık yönetimi üzerinde de durulmaktadır.

Ülkemiz Nükleer Enerjide Ne Yapmalı Ne Yapmamalı? adlı bölümde; ülkemizin nükleer teknoloji ve tekniklerinin faydalarından bugüne kadar yeterince istifade edemediği belirtilmektedir. Nükleer enerji, nükleer uygulamaların en bilinen şekli olmasına rağmen nükleer teknikler, arkeolojiden ziraata kadar, A'dan Z'ye temel bilim, sağlık ve mühendisliğin birçok alanında bu bildiride örnekleri verilen geniş uygulamalara sahiptir. Bu bildiride amaç, nükleer tekniklerin uygulamaları ile kendi kendini finanse eden bir model AR-GE altyapısı oluşturularak, bu altyapının milli sanayimize yüksek katma değerli teknolojiler sunan bir yenilikçilik döngüsünün lokomotifi olacağını göstermektir. Bu amaçla 2013-2017 yılları arasında Akdeniz Üniversitesi bünyesinde yapılan Nükleer Ür-Ge çalışmaları, uygulamaları ve ortaya çıkan ürünler örnek verilmektedir.

Türkiye'nin Nükleer Enerji İmkânları adlı bölümde; dünyada nüfusun her 30 yılda bir, birincil enerjiye olan ihtiyacın her 15 yılda bir, elektrik enerjisi üretiminin ise her 10 yılda bir kendisini ikiye katladığı belirtilmektedir. Ayrıca ülkemizin gelecek ile ilgili kalkınmış ve gelişmiş ülkeler arasında yer almak, dışarıdan bağımsız kendi teknolojisini ve savunmasını yapabilmek gibi hedefleri olduğuna işaret edilerek bu hedeflere ulaşmanın en önemli adımlarından birinin enerji üretiminde ilerlemek olduğunun altı çizilmektedir. Bu yüzyılda bir ülkenin sosyal ve ekonomik hayatı için elektrik enerjisinin olmazsa olmazlardan olduğu, bu nedenle de tüm yenilenebilir, kullanılagelen elektrik enerjisi üretim teknolojilerine ve tesislerine sahip olunmasının bir gereklilik olduğu ifade edilmektedir. Diğer gelişmiş ülkelerin yaptığı gibi Türkiye'nin de elektrik enerjisi üretiminde nükleer enerjiden faydalanması gerektiği, aksi halde alternatif elektrik enerjisi üretim tesisleri ile gelişen ve nüfusu artan ülkemizin elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılamanın mümkün olmayacağı vurgulanmaktadır.

Yeşil Nükleer Enerji Kaynağı: Toryum adlı bölümde; son yıllarda toryumun nükleer yakıt olarak kullanımı ile ilgili çalışmaların hız kazandığı, birçok ülkede ulusal programlar başlatılarak uluslararası işbirliğinin oluşturulduğu belirtilmektedir. Geleneksel reaktörlerde kullanılan %95 civarındaki toryumun önümüzdeki 5-10 yılda, daha güvenilir erimiş tuz reaktörlerinin (Molten Salt Reactor – MSR) 10-15 yılda, asıl "Yeşil Nükleer Enerji" temin edecek hızlandırıcı sürümlü sistemlerin (Accelerator Driven System – ADS) 15-20 yılda ticarileşeceğinin öngörüldüğüne işaret edilmektedir. Ülkemizin toryum rezervlerinin bin yıl boyunca enerji gereksinimimizi karşılamak için yeterli olduğu, bu bakımdan toryum ile ilgili 2003 yılından itibaren kabul edilen Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu (BTYK) kararlarının acil olarak uygulanması gerektiği ve bu çalışmaların ülkemizde başlatılarak uluslararası işbirliklerine katılımımızın elzem olduğu vurgulanmaktadır.

Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikalarına Bakış adlı bölümde; ülkemizde yakın geçmişte sürdürülebilir bir kalkınma yaklaşımı ile arz güvenliğinin sağlanabilmesi amacıyla enerji üretiminde dışa bağımlılığın azaltılması ve kaynak çeşitliliğinin sağlanması yönünde bazı adımlar atıldığı belirtilmiştir. Alternatif bir enerji kaynağı olarak nükleer enerjinin kullanımı için nükleer güç programının başlatılmasının, bu adımlardan birisi olduğu ifade edilmektedir. Bu bilgi notu, ulusal nükleer güç programı kapsamında yapılan çalışmaları özetlemekte ve programın sürdürülebilirliği açısından önemli olan hususları belirlemektedir. Buna bağlı olarak da söz konusu programın sürdürülebilirliği için belirli alanlarda politika ve strateji önerileri içermektedir.

Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikaları adlı konu başlığında; 1956'dan başlayarak her hükümetin, nükleer santral kurmayı bir memleket meselesi olarak görmesine rağmen bugüne kadar bu amaca ulaşmanın mümkün olmadığı belirtilmektedir. Yazar, bu sunuşunda Türkiye'nin son yarım asrı aşan sürede bu konuya ilişkin politika veya strateji yaklaşımlarının gelişim seyri ve ülkemizde nükleer santral yapımına ilişkin olarak neler yapıldığı hakkındaki görüşlerini özetlemektedir.

Türkiye'de Nükleer Enerji Stratejilerine Bakış adlı çalışmada; yapılması gerekli görülen faaliyetler üç ana başlık altında özetlenmiştir: i) Nükleer teknoloji edinimi ve Ar-Ge birimi olan, iş ve işlemlerinde bürokrasiye takılmadan esnek ve hızlı hareket edebilen ayrıca mali yapısı güçlü olan, nitelikli insan kaynaklarına sahip bir şirket "TÜRKATOM" kurulması, ii) YÖK'e bağlı olmadan özel bir kanunla doğrudan Enerji Bakanlığı'na bağlı Türkiye Nükleer Devlet Üniversitesi kurulması ve iii) Türkiye Nükleer Teknoloji Enstitüsü (TNTE) kurulması ya da Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nin (ÇNAEM) tecrübeleri göz önüne alındığında, Türkiye'de nükleer alanda araştırma, teknolojiye sahip olma, teknoloji geliştirme, uygulama yapma ve hizmet verme ile ilgili bir "Kurum" veya "Enstitü"ye dönüştürülmesi ifade edilmektedir.

Türkiye'nin Nükleer Enerji Stratejileri adlı konu başlığında; Türkiye'de nükleer alanda ilk adımların 1956 yılında Atom Enerjisi Komisyonu (AEK) kurularak atıldığı ve bunu müteakiben 1961 yılında AEK'ya bağlı Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde 1 MW gücündeki araştırma ve eğitim reaktörünün işletmeye açıldığı belirtilmektedir. Nükleer enerji santralleriyle ilgili ilk fizibilite etüdünün İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü tarafından 1967 yılında yayımlandığı, 1971 yılında TEK'e bağlı olarak oluşturulan Nükleer Enerji Dairesi'nin nükleer santrallerin kuruluşunu başlatmak için büyük çabalar harcadığı, 1979 ve 1985 yıllarında 2 defa tüm hazırlıklar tamamlanarak finansman temin edildiği ve sözleşmeler paraf edildiği halde ilk nükleer santralin kurulamadığı ifade edilmektedir. Ayrıca yazarın 40 yıldan uzun bir süreçte yapılan çalışmalar ve neden ilk nükleer santralin temelinin atılamadığı hakkındaki görüşlerine yer verilmektedir.

Fukushima Daiichi Nükleer Kazasının Ardından Nükleer Güvenliğe İlişkin Düzenleyici Yapıda Meydana Gelen Değişiklikler ve Ülkemizdeki Mevcut Durumun Değerlendirilmesi adlı başlıkta; 11 Mart 2011 tarihinde Fukushima Daiichi Nükleer Santrali'nde meydana gelen kazadan alınan dersler ışığında Japonya'daki düzenleyici yapıdaki değişiklikler ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından konuya ilişkin değerlendirmeleri aktarılmaktadır. Ayrıca ülkemizde yürütülmekte olan nükleer güç santrali lisanslama projelerinde esas alınan mevzuat, uluslararası düzenleyici dokümanların kullanımında takip edilen yaklaşım, nükleer güvenliğin sağlanması hususunda ulusal mevzuatta benimsenen ilkeler, nükleer tesislerin işletiminde meydana gelen kullanılmış yakıtların ve radyoaktif atıkların yönetimine ilişkin mevcut durum hakkında bilgi verilmektedir.

Türkiye'nin Stratejik Nükleer Enerji Yol Haritasına Yaklaşım ve İlkeler adlı başlıkta da nükleerin, atoma vizyon ve misyon yükleme sanatı olarak görülebileceği ve bu misyonun ise atomdan ağır sanayine giden köprü olduğu işaret edilmektedir. Türkiye'nin nükleerdeki amacının; enerji arz güvenliğinin sağlanması, kapasite artırımı ve enerjinin barışçıl amaçlarla kullanılması olması gerektiği ifade edilmektedir. Dünyada 2018 yılı itibarıyla 449 çalışan, 56 da yapımı devam eden nükleer santral olduğu, nükleer enerjiye karşı çıkan ülkelere bakıldığında çoğunluğunun ağır sanayi hamlesini büyük ölçüde tamamlamış ve ekonomisini sürdürülebilir bir zemine oturtmuş ülkeler oldukları görülmektedir. Dolayısıyla enerji ihraç eden ülkelerde nükleer enerji santralleri varsa bunun anlamının enerji üretmekten daha fazlası olduğu belirtilmektedir. Çalışmada nükleer enerjinin, sağlıktan uzay çalışmalarına, savunma sanayinden ulaştırmaya, birçok alanda sadece enerji sürdürülebilirliğini temin anlamında olmadığı aktarılmaktadır. Aynı zamanda teknolojik, endüstriyel ve ekonomik sürdürülebilirliği temin ederek sürdürülebilir kalkınmayı sağlama anlamında da önem arz ettiği hatırlatılmaktadır. Ayrıca küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi önemli küresel olayların azaltılmasını sağlayan önemli bir katalizör olduğu vurgulanmaktadır. Bunlara bağlı olarak da Türkiye'nin nükleer enerji politikalarına yön veren etkinin temelde diğer teknolojik gereksinimler ve enerji politikaları olduğu ifade edilmektedir.

2. NÜKLEER ENERJİ VE ÖNEMİ

Bir atom, elektronlarla çevrelenmiş proton ve nötronları içeren bir çekirdeğe sahiptir. Protonlar pozitif, elektronlar da negatif elektrik yükü taşır. Nötronların elektriksel bir yükü olmazken çekirdeği bir arada tutan bağlarda muazzam bir enerji vardır. Nükleer enerji, bu bağlar kırıldığında serbest bırakılabilir. Bu bağlar, nükleer fisyon yoluyla kırılabilir ve açığa çıkan enerji, elektrik üretmek için kullanılabilir. Nükleer fisyonda, atomlar birbirinden ayrılır, bu da enerjiyi serbest bırakır. Tüm nükleer santraller, nükleer fisyon kullanır ve nükleer santrallerin çoğunun yakıtı, uranyum atomlarıdır. Nükleer fisyon sırasında bir nötron bir uranyum atomu ile çarpışır ve onu böler, ısı ve radyasyon şeklinde yüksek miktarda enerji açığa çıkarır. Bunun beraberinde bir uranyum atomu bölündüğünde daha fazla nötron da açığa çıkmaktadır. Bu nötronlar diğer uranyum atomları ile çarpışmayı sürdürür ve süreç kendini tekrar ederek ilerler. İşte sürece, nükleer zincir reaksiyonu denir. Bu reaksiyon da istenilen miktarda ısı üretmek için nükleer santral reaktörlerinde kontrol edilir.

Bunun haricinde hafif atom çekirdeklerinin birleşme tepkimeleri de büyük bir enerjinin açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Nükleer füzyon güneşte ve yıldızlarda enerji kaynağıdır. Günümüzde araştırmalar füzyon reaksiyonlarından enerji üretimi üzerinde yoğunlaşmış olsa da füzyon reaksiyonlarının kontrol edilebilmesindeki zorluklar nedeniyle ticari olarak uygulanabilirliği konusundaki şüpheler henüz giderilememiştir. Fisyon ve füzyon tepkimeleri ile elde edilen enerjiye "çekirdek enerjisi" veya "nükleer enerji" adı verilmektedir [1].

Nükleer enerji, 19. yüzyılın sonunda uranyumun keşfi ile başlayan ve beraberinde atomun parçalanmasına uzanan süreçte bilim insanları, politikacılar ve sanayicilerin ilgi alanına girmiştir. Öncelikle askeri alanda gelişen ve faydalanılan bu teknoloji, gerekli alt yapıların sağlanması sonrası ticari amaçlar için de kullanılmıştır. Fisyon reaksiyonları sonucu açığa çıkan yüksek ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürecek sistemler ve nükleer güç santralleri geliştirilmiştir. Özellikle 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi ile fosil yakıt kaynaklarına sahip olmayan ülkeler, bu kaynaklara olan bağımlılıklarını azaltmak ve enerji arz güvenliklerini sağlamak amacı ile nükleer enerji santrallerine yönelmiştir. Ülkemizin yarım asırlık nükleer güç santrali kurma hedefi, "Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Arasında Akkuyu Sahasında Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma"nın 12 Mayıs 2010 tarihinde imzalanmasıyla gerçekleşmeye başlamıştır. Söz konusu Anlaşma, 15 Temmuz 2010 tarihinde Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM) Genel Kurulu tarafından kabul edilmiş, 6 Ekim 2010 tarihli ve 27721 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Geçtiğimiz süre zarfında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) olumlu kararı (1 Aralık 2014) ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan (EPDK) 36 ay süreliğine elektrik üretim ön lisansı alınmıştır. Akkuyu Nükleer A.Ş.'nin hazırladığı Saha Parametreleri Raporu, TAEK tarafından 9 Şubat 2017 tarihinde onaylanmıştır. 3 Mart 2017 tarihinde Akkuyu Nükleer A.Ş., hazırladığı Ön Güvenlik Analiz Raporu (ÖGAR) ile İnşaat Lisansı başvurusu yapmış, TAEK tarafından yapılan inceleme ve değerlendirmelerden sonra 19 Ekim 2017'de "Sınırlı Çalışma İzni" onaylanmıştır. Sınırlı Çalışma İzni ile Akkuyu sahasında birinci ünitenin temel altı betonu atılmış, nükleer güvenlikle ilgili olmayan yapıların inşası başlamıştır. İnşaat lisansı ise 2 Nisan 2018 tarihinde TAEK tarafından onaylanmış, böylece Akkuyu Nükleer Santrali'nin ilk ünitesinin temeli yapılan törenle atılmıştır. Bu ünitenin 2023 yılında işletmeye alınması planlanmaktadır [2].

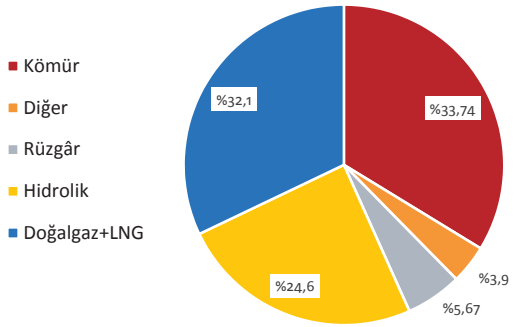
3. TÜRKİYE'NİN ENERJİ DURUMU VE NÜKLEER ENERJİ GEREKSİNİMİ

Ülkemizde elektrik enerjisi üretim verilerine bakıldığı zaman 2016 yılı sonu itibarıyla üretimimizin 273,4 milyar kWh, tüketimimizin ise 278,3 milyar kWh olduğu gözlenmektedir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre son on beş yılın ortalamasına bakıldığı zaman Türkiye'nin yıllık elektrik enerjisi tüketim artış hızının %5,4 seviyelerinde gerçekleşmiş olduğu görülecektir. 2002 yılında 132,6 milyar kWh olan yıllık elektrik tüketim değerleri 2016 yılında yaklaşık 2 katına çıkarak 278,3 milyar kWh'e ulaşmıştır. Elektrik enerjisi talebindeki yükselme 2014 yılında %4,4, 2015 yılında %3,3 iken 2016 yılında %4,7 olarak gerçekleşmiştir [3]. Karşılanan bu enerji talebinin üretilme yöntemlerine bakılacak olursa Türkiye'nin hatırı sayılır bir çeşitliliğe sahip olduğuna tanıklık edilecektir. Enerji üretimimizin büyük bir çoğunluğunun doğalgaz olması, ülkemiz açısından bir sorun olarak görülse bile temiz enerji kaynaklarına yönelim de dikkatlerden kaçmayacaktır [4].

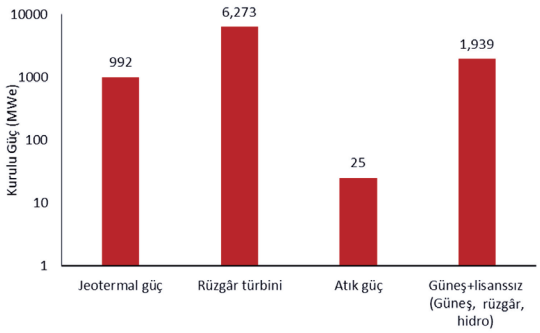
Ülkemizde elektrik santrallerinin toplamı 81.647 MWe'lik bir kapasiteyi oluşturmaktadır. *Şekil 1*'den de görüleceği üzere üretimin yarıdan fazlası termik santral vesilesiyle gerçekleşmektedir. Termik santrallerin elektrik üretimindeki payı 46.356 MWe'dir. Başlıca termik santral yakıtlarının doğalgaz ve kömür olduğu gözükmektedir. Hidroelektrik santrallerin toplam kapasite üzerindeki payının doğal gaz ve kömür santralleri ile beraber en yüksek olduğu tespit edilmektedir. Türkiye'de hidrolik güce yakından bakılacak olursa Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün (DSİ) elektrik enerjisi üretimi planına [5] göre potansiyel güç 46.000 MWe (1.644 HES), işletme dâhilinde olan kapasite 27.087,4 MWe (364 HES), inşaat halinde olan birimlerin toplam kapasitesi 9.805 MWe (216 HES) ve inşa edilmesi planlanan kapasitenin ise 19.375,5 MWe (1.066 HES) olduğu gözükmektedir. Ülkemizde hidrolik potansiyelin %41'i geliştirilmiştir. Türkiye 2023 hedefleri doğrultusunda kurulu gücünü 34.000 MWe çıkartmaya çalışmaktadır.

Şekil 2'de ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının durumuna bakıldığında, rüzgâr enerjisinin 6.273 MWe'lik kapasite ile başı çektiği görülmektedir. Bu değer güneş enerji sistemleri ve lisanssız enerji santralleri tarafından takip edilmektedir (1.939 MWe) [6]. Büyük hidroelektrik santrallerinin tam anlamıyla yenilenebilir enerji kaynağı olarak görülmemesi nedeniyle *Şekil 2*'deki değerlendirmeye sadece küçük ölçekli lisanssız hidroelektrik güç santralleri dâhil edilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü üzere yenilenebilir enerji kaynakları ülkemizde, 2017'de toplam güce (83.000 MWe) kıyasla çok düşük değerlerdedir. Hidrolik enerji kaynakları hariç diğer yenilenebilir enerji kaynakları, bir ülkenin elektrik enerjisi problemini yalnız başına çözemez; fakat enerji gereksiniminin karşılanmasına, çevre sorunlarının azaltılmasına ve sürdürülebilir enerji sorununa katkıları önemlidir. Enerji sorununu çok doğru stratejiler kullanarak çözmüş ve endüstride hızlı gelişme sağlamış ülkeler, fosil yakıt (kömüre dayalı) santraller, hidrolik santraller, Kyoto Protokolü'ne çok uygun olan nükleer santraller ve alternatif enerji kaynaklarını beraberce kullanan ülkelerdir [7,8]. Ülkemizde 2016 yılında kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 3.425 kWh olmuştur. Diğer Avrupa ülkelerinde ise bu değerler Almanya: 7.191, Fransa: 6.986, Bulgaristan: 4.398, Yunanistan: 5.230 kWh/insan [9] olarak gözükmektedir. Bu ise bizim henüz



Şekil 1: Kaynak bazında ülkemizin elektrik enerjisi üretim oranları payları (Kaynak [3]'ten uyarlanmıştır).



Şekil 2: Ülkemizdeki kurulu yenilenebilir enerji kaynakları (Kaynak [4]'ten uyarlanmıştır).

gelişmekte olduğumuzun bir göstergesi olarak görülebilir. Bu noktada ülkelerin kıyaslanmasında iki rakam önem arz etmektedir. Birincisi, şahıs başına harcanan elektrik, diğeri ise milli gelirinin artışına karşılık ne kadar enerji kullanıldığıdır. Gelişmişlikle beraber gelen elektrik harcamasının artışı beklenen bir durumdur. Ancak asıl istenen milli gelirin artışıyla beraber az enerji tüketimidir. Bu da aynı işi yapan verimli cihazların kullanılması ile sağlanabilmektedir.

Ülkemizde, 1980'de üretim 23 milyar kWh, 2005 yılında 150 milyar kWh iken, 2010 da 194 milyar kWh, 2016 yılında ise 274 milyar kWh, 2017 de 221.506,1 milyar kWh olmuştur. Elektrik üretiminde yerli kaynağın payı ise %47,60 olarak görülmektedir. Yani ülkemizin enerji politikaları arasında yerliliğin payının artmasının önemi çok daha iyi anlaşılacaktır.

Yukarıda da anlatıldığı üzere ülkemiz enerji üretiminde çeşitliliğe sahiptir. Bu nedenle en iyi ve emin yol, çeşitli enerji kaynaklarını beraberce kullanmak ve nükleer güç santrallerini, çok geç olmasına rağmen devreye sokmak, doğalgazın elektrik enerjisi üretimine katkısını azaltmaktır. Her şeyden önce ülkemize yeni bir teknolojinin girmesi önem arz etmektedir.

Bunun için öncelikle çevremizdeki ülkelere bakıp, başka ülkeler ne yapıyor ve neden yapıyor diye incelemelerde bulunmak gerekir. Nükleer enerji teknolojisinde gelişmiş ülkelerin bulundukları noktaya nasıl geldikleri iyi tetkik edilmelidir. Nükleer enerjinin gelişip günümüz teknolojisine ulaşması bilimsel, teknolojik, mühendislik ve bunlar kadar önemli bir koordinasyonun binlerce yıllık bir birikimin sonuçlarındandır. Nükleer gücün gelişmesi Sümerlerden Yunanlara ve dahi Mısır'dan beri devam eden bir sürecin sonucudur. Yakın geçmişimize bakacak olursak, modern anlamda nükleer enerjiye giden yolun aydınlatılmasında atılan adımlar şöyle sıralanabilir:

Atomun içyapısının anlaşılması, nötron, proton ve radyoaktif elementlerin keşfinden, uranyumun nötronlarla parçalanması, açığa çıkan büyük enerjinin keşfi, atom bombasının planlaması, Oppenheimer tarafından yürütülen çalışmaların gerçekleşmesi ve sonunda bu reaksiyonun Enrico Fermi ve arkadaşları tarafından 1942'de Şikago'da kontrol edilebilmesi neticesinde Nükleer Güç çağının başlamasıdır [4]. Bu yola ışık tutan bilim insanları ise Henry Becquerel, Marie Curie, Rutherford, James Chadwick, Otto Hahn - Fritz Strassman, Enrico Fermi ve Lise Meitner olarak sıralanabilir [10].

Nükleer Enerjinin Kontrolü

Nükleer enerjinin kamuoyu tarafından duyulması, 1945 yılında Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Hava Kuvvetleri'nin, Hiroşima ve Nagazaki'ye çok güçlü bir bombayı atması ile başlamıştır. Bu olay aynı zamanda nükleer enerji teknolojisinin de başına gelmiş en büyük talihsizlik olarak görülmüştür. Çünkü her nükleer reaktör kurulumunda bu olay hatırlanmaktadır. Atom bombalarının atılmasından bir ay sonra, açığa çıkan bu muazzam enerjinin kontrol altına alınabilmesi için çalışmalar başladı. Senatör Mc Mahon, Amerikan Kongresi'ne bir kanun teklifi ile "Atom enerjisi yalnız ulusal savunma için kullanılmalı, atom enerjisi ile ilgili bilgi ve uygulamaların gizliliği sıkı kontrol altına alınarak, özel sektörde geliştirilmesi tamamen yasaklanmalıdır" demiştir. 1953 yılında Sovyetler Birliği hidrojen bombasını daha sonra ise İngiltere'nin atom bombasını denemesi, Amerika'nın atom gizlilik politikasının yürümediğini göstermiştir. Neticede, ABD Başkanı Dwight D. Eisenhower "sulh için atom" politikası ile atom enerjisinin sulhçu maksatlarla kullanılması programını başlattı. Aynı zamanda bu politika ile nükleer malzeme ve teknolojilerinin askeri maksatlara yönetilmesini kontrol için 1957 yılında Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) kuruldu [11,12]. Ülkemizde de nükleer enerji politikası ve nükleer enerji teknolojisi konusunda çalışmalar düzenli bir şekilde yürütülmektedir.

4. TÜRKİYE'NİN NÜKLEER ENERJİ DURUMU

Ülkemizde nükleer araştırmalar Atom Enerjisi Genel Sekreterliği'nin kurulmasıyla başlamış, İstanbul'da Çekmece Nükleer Araştırma reaktörünün kurulması ile devam etmiştir. Başlangıçta 1 MW kurulu güce sahip olan bu reaktör, 5 MW güce yükseltilmiştir. Devamında Ankara'da ANAEM - Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi kurulmuştur. Tıp ve ziraatta izotopların kullanılması ile nükleer araştırmaların farklı alanları da ülkemizde kendine yer bulmuş oldu. Akademide ise üniversitelerimizde nükleer tıp merkezleri kurulurken İTÜ Nükleer Enstitüsü de (Prof. Dr. Nejat Aybers) çalışmalarına başlamıştır. Ayrıca İTÜ bünyesinde araştırma reaktörü inşa edilmiştir.

Dünyada ve ülkemizde gelişen yeni teknolojinin denetimini sağlamak için bağımsız uluslararası örgütler oluşturulmuştur. Bunlardan en önemlisi ise Nükleer Enerji Ajansı'dır.

Nükleer Enerji Ajansı'nın iki amacı vardır [13]:

- Nükleer enerjinin, dünya elektrik enerji ihtiyacına maksimum katkısını sağlamak
- Nükleer silahların yayılmasını önlemek: (Non-Proliferation Treaty)

1950'lerin sonuna doğru, nükleer enerji teknolojisi ABD, Sovyetler Birliği ve Avrupa'da hızla yayılmaya başlamıştır. İngiltere ilk nükleer santrali 1956'da (90 MWe) Calder Hall'da kurmuştur. Fransa hızla nükleer güç reaktörleri kurmaya ve teknolojisini geliştirmeye girişmiştir. Japonya ve diğer Pasifik ülkelerinde de nükleer güç için planlar ve yatırımlar yapılıp, elektrik enerjisinin üretiminde nükleer rektörler hâkim olmuştur. Neticede 77 sene önce hiç bilinmeyen bir teknoloji, bugün esaslı bir endüstri kolu olarak gelişti.

Bugün dünyada 30'dan fazla ülke, nükleer santralleri elektrik üretiminde kullanmakta olup, toplamda 440'ın üzerinde olan kurulu nükleer güç santralleri ile dünya elektrik ihtiyacının %8,1'i karşılanmaktadır [14]. *Tablo 1*'de seçilmiş bazı ülkelerdeki nükleer enerji santrallerinin sayısı gösterilmiştir. *Tablo 1*'e göre ABD en fazla nükleer enerji reaktörüne sahip ülke konumundadır. Fransa, Litvanya, Belçika, Slovakya, Macaristan, Finlandiya, İsveç, Kore, Japonya gibi ülkeler ise elektrik ihtiyaçlarının yarısını veya yarısından fazlasını nükleer santrallerden sağlamaktadır.

Tablo 1: Tablo 1: Nükleer enerjinin bugünkü durumu (Kaynak [15]'ten uyarlanmıştır).

Ülke	Nükleer Reaktör Sayısı	Ülke	Nükleer Reaktör Sayısı
ABD	99	İngiltere	15
Fransa	58	İsveç	9
Japonya	42	İsviçre	9
Çin	39	Almanya	8
Rusya	35	İspanya	7
Güney Kore	25	Belçika	7
Hindistan	22	Pakistan	5
Ukrayna	15	Güney Afrika	2

Bunun yanında Pakistan ve Hindistan, nükleer teknolojilerini tam olarak kurmuş, Brezilya, Arjantin, Küba ve Meksika gibi ülkelere de nükleer teknoloji yayılmış durumdadır. Çek Cumhuriyeti'nde 6 adet Rus tipi basınçlı su reaktörü (VVER) inşa edilmiş olup toplam güç 3.368 MWe seviyesine ulaşmıştır. Finlandiya'da 2002 yılında hükümet 1.600 MWe gücünde beşinci nükleer santralin kurulmasına karar vermiştir. Ekonomik olması ve Kyoto Anlaşması'na en uygun olması gibi gerekçeler ile kurulan bu 4 reaktörün gücü 2.676 MWe'dir. Hollanda'da bir adet nükleer güç santrali olup enerji kaynaklarını hidro, gaz, biyokütle, fuel oil, rüzgâr türbinleri ve nükleer enerji ile çeşitlendirmiştir. Romanya'ya bakılacak olunursa CANDU tipi bir reaktörü (707 MWe) Cernavoda'da faaliyete geçirmiş olup, 707 MWe'lik ikinci ünite 2007 yılında devreye sokulmuş olup, yine 707 benzer kapasiteye sahip olacak üçüncü ve dördüncü üniteler için çalışmalar devam etmektedir. Slovakya'nın en önemli elektrik üretim kaynağı nükleer enerjidir. 2003 yılında 17,9 TWh (Türkiye 2005'te 150 TWh) üreterek, ülkenin toplam enerji üretimine katkısı %57,4 olmuştur. Toplam nükleer kapasitesi ise 2.640 MWe'dir.

Nükleer enerji teknolojisinin kamuoyunda kabulünü güçleştiren nedenlerden biri ise tarih boyunca gerçekleşen bazı kazalardır. 1974 yılında ABD'de "Three Mile Island" ve Sovyetler Birliği'nde "Chernobyl" kazaları, halk arasında çok negatif tesirler bırakmıştır. Tarih boyunca meydana gelen başlıca nükleer santral kazaları ise Three Mile Island (PWR, 1979, ABD), Chernobyl (RBMK, 1986, SSCB) Tokai-mura (JCO, 1999, Japonya), Fukushima Nuclear Plant (16 Mart 2011-Deprem ve Tsunami) olarak görülebilir. Bunun neticesinde ise ülkeler daha emniyetli sistemler için ilk yatırım masraflarını artırırken emniyet denetim kurumları

ve karşı gruplar ise inşa süresini uzatmışlardır. Nükleer santrallerdeki bir başka sorun ise atıklardır. Sonuç olarak ABD'de bazı firmalar nükleer güç santrali kurmaktan vazgeçmişlerdir.

1975 yılına gelindiğinde ABD, nükleer enerjiyle ilgili halk sağlığını ve güvenliğini korumakla görevli ve Birleşik Devletler hükümetinden bağımsız olmak üzere Nükleer Düzenleme Komisyonu'nu (NRC) kurmuştur. ABD'de firma ve konsorsiyumlar 30'dan fazla nükleer güç reaktörü için NRC'den lisans alarak çalışmaya başlamıştır. NRC, 2010 sonuna kadar bu reaktörler için lisans başvurularını tamamlanmış ve yenileri için başvuru sürecini yönetmiştir. Çalışmakta olan eski reaktörlerin lisansları ise peyderpey uzatılmaktadır. 48 adet lisans 2012 yılında bu kapsamda yenilenmiştir. Nükleer eğitim, emniyet ve kalite kontrolü üzerinde yapılan çalışmalar, reaktörlerin performansları ve elektrik enerjisinin önemi, nükleer reaktörleri halk nazarında güvenilir ve inandırıcı kılmaya başlamıştır. Kasım 2010'da ABD'de üniversite mezunlarının %64'ü nükleer enerjinin elektrik üretiminde önemini vurgulayarak nükleer santralleri desteklediklerini belirtmişlerdir. Fransa'da halkın %70'i, İspanya'da %56'sı nükleer santrallere devam demişlerdir [16].

Bunun yanında kamuoyunu rahatsız eden dört önemli durum vardır:

- Kullanılmış nükleer atıkların durumu
- Tesislerin emniyetli çalışma durumu
- Nükleer silahlanma
- Sosyal kabulünün düşüklüğü

Nükleer silahlanma konusunda politik angajmanlar olmakta ve bununla ilgili günümüzde özellikle bölgemizde İran üzerine tartışmalar odaklanmış durumdadır. Nükleer silahlanma tehditlerinin daha fazla yayılmaması için alınacak önlemlerin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Yakıtlardan üretilip ayrılan Pu-239'un yönetimi gibi diğer meseleler için de esas çözüm, çok kuvvetli uluslararası işbirliği ile Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından idare edilen nükleer silahların yayılmasını önleme anlaşmasının (non-proliferation treaty) uygulanmasıdır. Yani üretilen Pu-239'un nereye gittiğinin sorgulanması ve kontrolüdür.

TEK Nükleer Enerji Dairesi

15.07.1970 tarih ve 1311 sayılı kanunla elektrik sektörü yeniden düzenlenerek Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurulmuş, o zamana kadar Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Etibank tarafından yürütülen işler tek elde toplanmıştır.

Devam eden bölümlerde, TEK'e bağlı olarak kurulan Nükleer Enerji Dairesi'nin 15 Kasım 1971 tarihinde çalışmaya başlayan ilk ve tek elemanı olarak, 1988 yılında emekli olana kadar ilk nükleer santralin kurulması için çabalamış olan eski TEK Nükleer Santral Dairesi Başkanı Dr. Ahmet Kütükçüoğlu'nun sunumundan hazırlanan bu bölümde, Türkiye'nin nükleer enerji stratejileri anlatılmıştır. Dr. Kütükçüoğlu aradan yaklaşık 47 yıl geçmesine rağmen henüz ilk nükleer santralin temelini neden atamadığımız ve bu aşamada atılması gereken en önemli adımların neler olabileceği hakkındaki görüşlerine değinmiştir. Bu nedenle sunulan verilerde geçmişteki bazı öngörüler ve geçmiş dönemde yapılmış analizlere yer verilmiştir [17].

TEK Nükleer Enerji Dairesince Yapılan Çalışmalar

Nükleer santral kurmak ve işletmek gibi son derece özel bilgi ve uzmanlık gerektiren, olağanüstü dikkatli ve disiplinli bir çalışmayı zorunlu kılan bir atılım başlatılırken bazı önemli prensip kararları alınmıştır. Kurumun kuruluşundan hemen sonra gelen "anayasa"sı aşağıda belirtildiği gibidir:

- Görev, sadece dış uzman ve firmaların katkı ve yardımlarıyla bir santral kurmak ve işletmek olarak ele alınmamalıdır. Uzun vadeli bir nükleer programı hayata geçirmek ve başarıyla uygulayabilmek için ilk nükleer reaktör kurulurken ve takip eden adımlarda işi kendi başına yürütebilecek bir kadro ve altyapı oluşturmak hedeflenmelidir.
- Nükleer uygulamalarda başarının ön şartı olan birikim ve disiplini sağlayabilmek için yönetici kadro oluşturulurken, olabildiğince daha önce gelişmiş ülkelerdeki üniversitelerde veya nükleer projelerde tecrübe kazanmış uzmanlara öncelik verilmelidir. Nitekim TEK Nükleer Enerji Dairesi yönetici kadrolarının büyük bir bölümü öğrenimlerini yurtdışında yapmış ve/veya yurtdışı deneyimi olan elemanlardan oluşturulmuştur.
- Üniversitelerle işbirliği yapılarak, yeni mezun elemanlara çalışacakları konularla ilgili alanlarda araştırma yapmak ve tez yazmak imkânları verilmek suretiyle eğitilmeleri sağlanmalıdır.
- Yurtdışında nükleer tesis kurmuş ve işletmekte olan firma ve kuruluşlarla işbirliği yapılarak, teknik elemanların yaklaşık bir yıl veya daha uzun bir süre iş başında eğitim görmeleri ve uygulama deneyimi kazanmaları sağlanmalıdır.
- Kuruluş yeriyle ilgili çalışmalar (jeoloji,

zemin yapısı, deprem, tsunami, soğutma suyu sistemleri, meteoroloji vb.), elektrik sistemine bağlantı, kurulu güç seçimi gibi konularda, başlangıçta yabancı uzmanlardan yardım almak gerekse de olabildiğince ülkedeki üniversite ve kuruluşlarla işbirliği yapılarak bu çalışmaların Türkiye'de ve kendi elemanlarımız tarafından yapılmaları ve deneyim kazanılması sağlanmalıdır.

Kadro oluşturulması amacıyla Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) ve İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ile işbirliği yapılarak, çeşitli bölümlerden yeni mezun olan elemanların "part time" olarak TEK Nükleer Enerji Dairesi'nde çalışmaya başlamaları, bir taraftan da seçilen ilgili konularda master tezi yapmaları sağlanmıştır. TEK Nükleer Enerji Dairesi elemanlarına yurtdışında eğitim olanakları sağlamak amacıyla İsviçre, Almanya, Fransa, İngiltere ve Pakistan'daki bazı kuruluşlarla yapılan temaslar sonucunda, toplam 19 teknik elemanın bu ülkelerdeki tesislerde 1-2 yıl iş başında eğitim yapmaları ve toplam 8 elemanın Argonne (ABD) ve Karlsruhe (Almanya) nükleer merkezlerinde 3,5 ay kurs görmeleri sağlanmıştır. Yukarıda açıklanan şekilde, bir yandan oluşturulan kadro eğitilirken öte yandan da evvelce yapılmış olan çalışmalar gözden geçirilmiş, değişen şartlara göre durum tespiti yapılmıştır.

Petrol krizinin ardından bütün dünya petrol ile elektrik üretiminin çok riskli ve pahalı olduğunu fark etmiştir ve o gün için yegâne kurtuluş için nükleerin gerekliliği baskın şekilde hissedilmekteydi. Dönemin toplumunun nükleer enerjiye bakış açısı bugüne kıyasla çok daha olumluydu. Türkiye için yapılan fizibilite etütleri de aynen bu sonucu veriyordu. 1985'lerden sonra mevcut hidroelektrik ve linyit santrallerinin önemli bir kısmı kullanılmaya başlanacaktı ve geri kalan kısım nükleerle enerjiyle kapatılmadığı durumda, fuel oil kullanımı gerekmekteydi (o dönem için doğalgaz kullanımı pek yaygın değildi). Bu nedenle ki nükleer santral yapılmasına prensipte karşı duran bir kimse yoktu. Maalesef o dönem için Türkiye'nin ekonomik sorunları çok büyüktü ve gücü de o günlerde bugüne kıyasla çok daha azdı. Ekonomik konular ön plana çıktığı için de üst kademe yöneticiler her detayı tartışılmış bir ihaleyi imzalayamama durumunda kalmışlardır. Bu, Türkiye'nin nükleer enerji serüveni için büyük bir talihsizlik olmuştur.

O döneme ait bir başka talihsizlik ise 1980 yılında yaşanmıştır. 11 Eylül tarihine gelindiğinde kurum görüşmelerin son aşamasındaydı. Niyet mektubu üzerinde çalışıp kelime kelime incelenmiş 4 cilt doküman hazırlanılmıştı. İsveç'ten o gün için Türkiye'de bulunan ekip ile çalışmalar yürütülecekti.12 Eylül ile beraber İsveçli ekip ülkeden ayrılmış ve beraberinde tekrar dönüş yapmamışlardır.

Yer Seçimi çalışmaları

Yer seçimiyle ilgili çalışmalar başlangıçta Kuzeybatı Anadolu'daki 3 bölgede yoğunlaşmıştır:

- Trakya
- Kocaeli ve Batı Karadeniz
- Marmara Denizi güney sahilleri

Marmara Denizi boyunca doğudan batıya uzanan Kuzey Anadolu fay hattı nedeniyle çok büyük deprem riski söz konusu olduğundan seçilen 6 yerin 4'ü uygun görülmemektedir. Kabul edilebilir olarak nitelendirilen diğer 2 yer de elektrik şebekesi açısından olumsuz sonuç vermiştir. Bu durumda, araştırmaları yürüten ODTÜ deprem araştırma gurubu ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun (TAEK) görevlendirdiği bir alt komisyon tarafından, uzun süre gerektiren çok ayrıntılı araştırmalar yapılmadan, bu bölgede deprem güvenliği bakımından kesin karar verilemeyeceği sonucuna varılmıştır.

Bu durumda, nükleer santrallerin ağırlığı 300-400 tonu bulan parçalarının taşınabilmesi ve büyük soğutma suyu ihtiyacının karşılanabilmesi için santralin deniz kıyısında kurulması gerektiği dikkate alınarak, yer araştırmalarına deprem yönünden daha az risk taşıyan Orta Karadeniz ve Akdeniz bölgelerini kapsayacak şekilde devam edilmesine karar verilmiştir.

Ön değerlendirmeler sonucunda 2'si Orta Karadeniz, 2'si de Orta Akdeniz bölgelerinde olmak üzere dört yer belirlenerek ayrıntılı incelemeler yapılmıştır. Bunlar:

- İnceburun: Sinop'un 20 km batısında,
- Muda Burnu: Bartın'ın 17 km batısında,
- Karaburun: Silifke'nin 17 km doğusunda,
- Akkuyu: Silifke'nin 45 km batısında bulunmaktadır.

Kuruluş yerinin belirlenmesinde büyük önem taşıyan jeolojik, jeotektonik yapı ve depremle ilgili incelemelerde İmar İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü, ODTÜ Deprem Araştırma ve Jeoloji bölümleri, İTÜ Sismoloji Enstitüsü, Maden

Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet Su İşleri (DSİ) ile yakın bir işbirliği içinde çalışılmıştır.

Karadeniz kıyısındaki İnceburun ve Muda Burnu, Akdeniz kıyısındaki Akkuyu ve Karaburun'a kıyasla daha olumsuz sonuçlar vermektedir. Orta Karadeniz bölgesinde kuruluş yerleri yakınlarında tespit edilen fayların aktiflik derecelerinin ve Kuzey Anadolu fay hattı ile ne ölçüde ilişkili olduklarının kesinlikle saptanması için daha ayrıntılı araştırmaların yapılması gereklidir. Yakın çevrede deprem episantırlarına rastlanması da ayrıntılı araştırmayı zorunlu kılmaktadır.

Nükleer santral kuruluş yerinin seçilmesinde rol oynayan önemli teknik faktörler şöyle sıralanabilir:

- Bölgesel enerji tüketim tahminleri, üretim olanakları,
- Enterkonnekte sisteme bağlantı, dağıtım, yük kayıpları, sistem stabilitesi, ek maliyetler,
- Topoğrafik yapı, zemin özellikleri, yerleşim alanı, inşaata uygunluk,
- Soğutma ve kullanma suyu temini,
- Ağır parçaların deniz yoluyla nakli,
- Karayolu bağlantısı, taşıma ve ulaşım,
- İnşaat malzemesi ve eleman temini.

Güvenlik ve çevre etkilenmesi bakımlarından da aşağıdaki hususların dikkate alınması gereklidir:

- Jeolojik ve tektonik yapı, çevredeki faylar, deprem olasılığı ve şiddeti, tsunami,
- Nüfus yoğunluğu, yerleşim yerlerine yakınlık, turistik sorunlar.

Sonuçta olarak jeolojik, ieotektonik ve deprem açılarından seçilen 4 yer arasında en olumlu özelliklere sahip olan Akkuyu'nun ilk santral kuruluş yeri olarak seçilmesi uygun görülmüştür.

Nükleer tesislerin yer seçimi genel esasları teknik yönetmeliği tasarısı ve öngörülen lisanslama kriterleri uyarınca, ilk nükleer santral kuruluş yeri olarak seçilen Akkuyu için gerekli araştırmaların tamamlanarak TAEK'e yer lisansı başvurusu yapmak amacıyla ayrıntılı bir program yapılmış ve aşağıda belirtilen ek çalışmalar başlatılmıştır [17]:

- İTÜ Maden Fakültesi Jeofizik Bölümü: Mikrodeprem ölçüm şebekesi,
- Elektrik İdaresi Etüt İşleri (EİE): Jeofizik araştırmalar, sondajlar, sismik etütler,
- Ege Üniversitesi Sismik Araştırmalar Bölümü: Güneydoğu Akdeniz'de sismik etütler
- ODTÜ Erdemli Deniz Araştırmaları Bölümü: Deniz araştırmaları, tsunami,
- ODTÜ Hidrodinamik Bölümü: Soğutma suyu hidrodinamik modelleme,
- ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü: Çevre yapısı ve canlılarla etkileşim,
- İTÜ Elektrik Fakültesi: Enterkonnekte sisteme bağlantı,
- TEK Nükleer E. D. Akkuyu nükleer santral sahasındaki meteoroloji aletlerinin işletimi.

Yapılan çalışmaların sonuçlardaki verilere dayanarak yapılan başvuru sonucunda, TAEK'in 1945 sayılı kararıyla 11.06.1976 tarihinde ilk nükleer santral kuruluş yeri olarak Akkuyu için yer lisansı verilmiştir. Akkuyu'nun birinci nükleer santral kuruluş yeri olarak karara bağlanmasından sonra Akkuyu için hazırlanacak ihale şartnamelerine ve ön projelere veri oluşturacak şekilde, ayrıntılı yer araştırma ve değerlendirmelerine ve ikinci ve takip eden nükleer santrallerin kurulmaları için Orta Karadeniz Bölgesi'nde uygun görülen Sinop-İnceburun yöresi için hazırlanan iş programı esas alınarak ayrıntılı çalışmalara devam edilmiştir.

Akkuyu santral yerine yer lisansı alınması için yapılan çalışmalara paralel olarak arazinin istimlaki için gerekli girişimler başlatılmış ve öncelikle İmar ve İskân Bakanlığı Sanayi Komisyonu'ndan ön izin alınmıştır. Ayrıca nükleer santrali çevreleyen koruma bölgesi ve sosyal siteleri için gerekli alanın %9'ının orman olması nedeniyle Orman Bakanlığı'ndan da izin alınmıştır. Bakanlar Kurulu'nun 5.10.1977 tarih ve 7/14199 sayılı kararına göre kamulaştırma işlemlerine başlanmış, mahallinden oluşan takdir komisyonu arazilerin rayiç bedel üzerinden takdirlerini yaparak TEK'e bildirmiştir. TEK kamulaştırma bedellerini ödeyerek arazi devir işlemlerini başlatmıştır.

Bu aşamada, nükleer santrallerin çevreye zarar vereceğini ileri süren bir gurubun önderliğinde, santral yerine yaklaşık 6 km. uzaklıktaki en yakın yerleşim yeri olan Büyük Eceli köyünde bazı mal sahipleri ve karşıt görüşte olanlar bir araya gelerek bir direniş başlatmışlardır. TEK Nükleer Enerji Dairesi ve TAEK uzmanlarından oluşan bir ekip defalarca yapılan toplantılarda nükleer santraller hakkında bilgiler vererek, diğer ülkelerdeki nükleer santrallerin çevrelerindeki yerleşim yerlerinin çok daha yoğun olmasına rağmen, alınan önlemler sayesinde çevreye ve canlılara bir zarar verilmediğini göstererek, yaklaşık 3 ay süren bir çabanın sonunda olumsuz görüşte

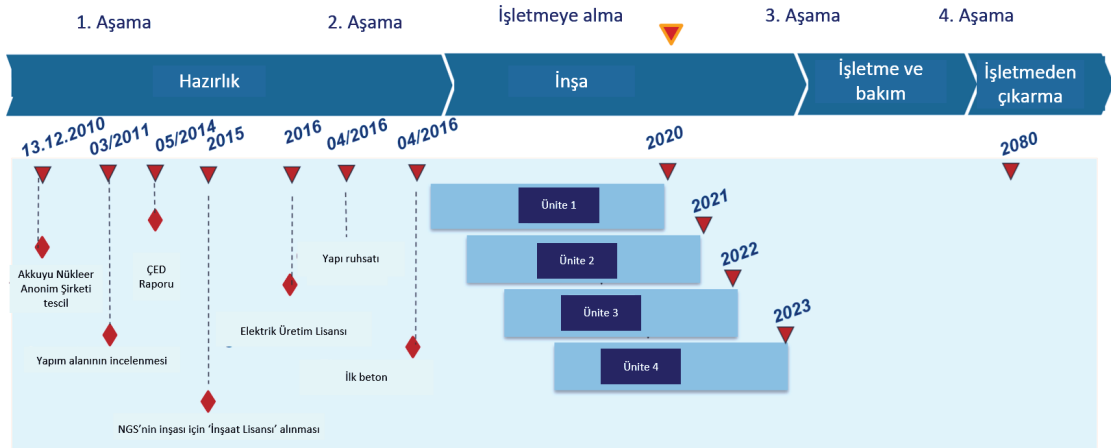
olanları ikna etmişler, sorunlar çözülerek istimlak işleri tamamlanmış ve santral alanındaki şantiye çalışmaları başlatılmıştır.

4.1 Türkiye'de Nükleer Enerji Santralleri Kurma Çalışmaları

Türkiye'de nükleer santrallerin kuruluş yerlerinin belirlenmesi konusunda çalışmalar 1968 yılında başlamıştır. Bu çalışmaların sonucuna göre 1977 yılında işletmeye alınacak 300-400 MWe gücünde, yakıtı doğal uranyum olacak şekilde bir 'ağır su' CANDU tipi nükleer santralin kurulması kararlaştırılmıştı ancak 1970-1971 yıllarındaki politik ve ekonomik nedenlerle bu çalışmalar sonlandırılamamıştır. Bu tarihten sonra 1976 yılında Akkuyu mevkiinde yer raporu için lisans alınmıştır. 1977 yılında 600 MWe gücünde bir nükleer santralin yapımı ile yakıtının temini için uluslararası ihaleye çıkılarak teklif istenmiş fakat kredi garantisi nedeniyle ihale sonuçsuz kalmıştır. 1980 yılında Sinop'ta yeni yer belirlenmiş ve ön araştırmalar yapılmış ancak bu çalışmalar daha sonra durdurulmuştur. 1983 yılına gelindiğinde ise 7 firmadan nükleer santral teklifi alınmış ve Kanada firması AECL'e (Atomic Energy Canada Limited) Akkuyu'da 665 MWe, Alman firması KWU'ya (Kraftwerk Union) Akkuyu'da 986 MWe ve ABD firması GE'ye (General Electric) Sinop'ta 1.085 MWe güçlerinde üç tane nükleer santral için niyet mektupları verilmiştir. Ancak çeşitli nedenlerle bu proje de sonuçlanmamıştır. Günümüze gelindiğinde nükleer güç santralleri kurma çalışmaları devam etmekte olup Türkiye'nin elektrik enerjisi temini programlarında yakın gelecek için seçenek olarak gösterilmektedir.

Rusya'nın, Türkiye'de (Akkuyu) inşa edeceği ilk nükleer santral (4.800 MWe) aynı özelliklere sahip Rusya'da "Kalininskaya" Nükleer Santrali'ne benzeyecektir. Moskova'dan 350 km mesafedeki Tver bölgesine bağlı 30 bin nüfuslu Udomlya kasabasında yer alan Kalininskaya Nükleer Santrali'nde 3 reaktör hizmet vermektedir. İnşaatına 1974 yılında başlanan Kalininskaya santralinin ilk 3 reaktörü 1984, 1986 ve 2004 yıllarında devreye girmiş durumdadır. VVER (PWR) tipindeki su soğutmalı reaktörlerin her biri 1.000 MWe gücünde enerji üretiyor. Akkuya'ya inşa edilecek nükleer santralle teknoloji olarak aynı olan ve üçüncü nesil sayılan Kalininskaya 1.200 MWe gücünde olacaktır. Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin işletme ömrü 60 yıl olarak hesaplanmaktadır. Kurulacak olan santralin yakıt türü ise hafif zenginleştirilmiş uranyum dioksittir [18]. Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin proje aşamaları *Şekil 3*'te gösterilmektedir [19].

Türkiye'nin, Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nden sonra projelendirilen ikinci nükleer santrali olan Sinop Nükleer Güç Santrali (SNS) projesi ise Sinop sahasında toplam 4.500 MWe kapasiteye sahip 4 adet ATMEA-1 ünitesinin kurulumu için Japonya ile Türkiye arasında 2013 yılında imzalanan hükümetler arası anlaşma ile başlamıştır. Hükümetler arası anlaşmaya göre, SNS Mitsubishi Heavy Industries, Itochu Corporation, GDF Suez ve EÜAŞ konsorsiyumu tarafından kurulacak ve işletilecektir. Konsorsiyum tarafından saha çalışmaları gerçekleştirilmiş ve yakın zamanda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ÇED başvurusu yapılmıştır.



Şekil 3: Akkuyu nükleer güç santrali proje aşamaları (Kaynak [19]'dan uyarlanmıştır).

Söz konusu projelerin önümüzdeki 15-20 yıl içinde tamamlanması durumunda ülkemiz toplam 9.300 MWe kurulu nükleer güce sahip olacaktır. Böylece, ANS ve SNS'nin toplam yıllık 73.30 x 109 kWh elektrik üreteceği öngörülmektedir. Türkiye'nin 2016 yılında 278 x 109 kWh elektrik tükettiği dikkate alındığında bu miktarın yıllık tüketime önemli bir katkı sağlayacağı söylenebilir. Ayrıca nükleer güç programı kapsamında, üçüncü bir nükleer güç santrali için çalışmalar yapılmakta ve Türkiye'nin nükleer kapasitesinin aşamalı olarak artırılması planlanmaktadır.

4.2 Türkiye'de Nükleer Enerji Eğitimi

Türkiye'de ilk olarak nükleer eğitime 1961 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü kurulmasıyla lisansüstü eğitim olarak başlanılmıştır. Enstitüde 1970'li yılından bugüne eğitim, akademik araştırma ve staj amaçlı, bir eğitim-araştırma reaktörü işletilmektedir. 2003 yılında nükleer enerji enstitüsü, enerji enstitüsü olarak yeniden yapılandırılmıştır ve hâlâ nükleer enerji alanında bir lisansüstü programını bünyesinde barındırmaya devam etmektedir.

4 Mayıs 1966 yılında ise Ege Üniversitesi Radyoizotop Araştırma Merkezi faaliyete geçmiştir. Merkez 1977 yılından 1982 yılına kadar Ege Üniversitesi Nükleer Araştırma ve Eğitim Enstitüsü adı altında faaliyetlerine devam etmiştir. 1983 yılı Mayıs ayı sonlarında yeni bir yapılandırılmaya gidilmiş ve Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü adıyla akademik çalışmalara başlanılmıştır. Eğitim ve öğretim dili Türkçe olan enstitüde bugüne kadar 240 yüksek lisans ve 78 doktora olmak üzere toplamda 318 öğrenci mezun olmuştur. Enstitüde 100'e yakın öğrenci ise halen lisansüstü öğrenimlerine devam etmektedir [20].

1982 yılında Hacettepe Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, nükleer bilimler alanında lisansüstü eğitim amacıyla kurulmuştur. Enstitünün faaliyet alanları, nükleer fizik başlığı altında atom çekirdeğinin yapısını anlamaya yönelik bilimsel çalışmalar başta olmak üzere, atom çekirdeğinden enerji üretimi ve atom altı dünyadaki uyarımlardan kaynaklanan ışınımın madde ile etkileşimi araştırmaları olarak belirtilebilir [21].

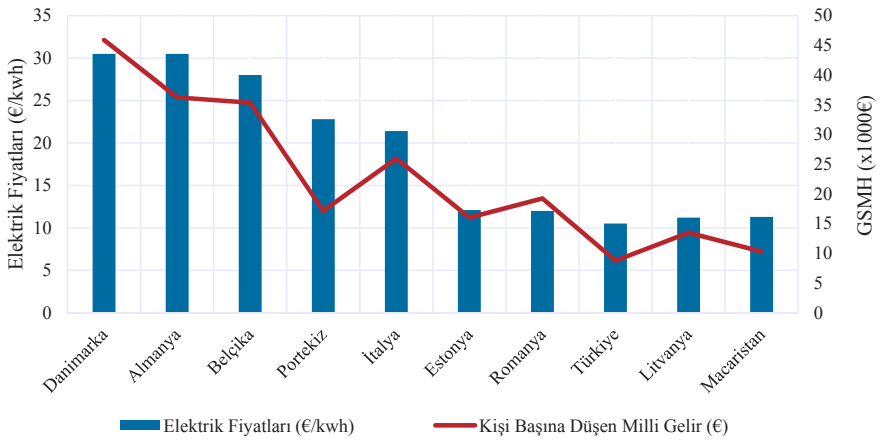
2006 yılında Medikal Fizik ve Nükleer Araştırmalar ve Teknolojileri Anabilim Dalı olmak üzere iki anabilim dalını bünyesinde barındıran Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü kurulmuştur. Eğitim ve öğretim dili olarak Türkçe ve İngilizce programlar bulunmaktadır.

Ülkemizde lisans düzeyinde eğitim vermeye başlayan ilk bölüm Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü'dür. Bölüm 1977 yılında kurulmuş 1982 yılına kadar eğitimler lisansüstü olarak devam etmiştir. 1982 yılından itibaren lisans düzeyinde eğitime başlanılmıştır. Günümüzde de lisans ve lisansüstü eğitimlere devam edilmektedir.

Eğitim dili tamamen İngilizce olan bölümde eğitim ve öğretim hayatına devam eden öğrenciler; Enerji, Isı ve Kütle Transferi, Akışkanlar Mekaniği, Bilgisayar Programlama, Sayısal Metotlar, Modelleme ve Benzeşim, Malzeme Bilimleri, Nükleer Santral Tasarımı, Nükleer Reaktör Kor Tasarımı, ısıl hidrolik analizler, güvenlik analizi, nükleer yakıt ve yönetimi, nükleer yakıt ve malzemeler, radyasyon güvenliği ve analizleri, radyasyon zırhlama, kontrol, transport teorisi, Monte Carlo teknikleri, enerji ve çevre konularında dersler almaktadırlar [22].

Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü faaliyete geçtiği yıldan günümüze kadar toplamda 479 lisans mezunu verilmiştir. Mezunlardan birçoğu hem ülkemizde hem de yurtdışında önemli kurum ve kuruluşlarda çalışmaktadırlar. Mezunların hizmet verdiği alanlar arasında, nükleer mühendisliğe ek olarak, akademik, bilişim/yazılım sektörü, proje mühendisliği, radyasyon uygulamaları gibi alanlar da mevcuttur. Bölümün KEPCO-NF ve Hanyang Üniversitesi, Moscow Power Engineering Institute, Moscow Engineering Physics Institute, University of Central Lancashire, International Institute of Nuclear Energy I2EN ve Avrupa Birliği programları ile uluslararası anlaşmaları vardır. 2015 yılında ülkemizde nükleer alanda lisans eğitimi veren ikinci bölüm olan Sinop Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü kurulmuştur. Bölümde eğitim dili Türkçedir ve öğretim elemanı sayısı 5'tir.

Ayrıca Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye'nin nükleer güç santrallerinde yetişmiş insan kaynağını artırmak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için öğrencilerimize yurtdışında eğitim alma imkânı sağlamaktadır. Yakın zamanda alınan karara göre 32 öğrenci daha Rusya ve Çin'de eğitime gönderilecektir. Bu öğrencilerden 25'i, Türkiye'nin ilk nükleer enerji santrali olacak Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nde (NGS) yetişmiş



Şekil 4: Elektrik Fiyatları ve GSMH'den Kişi Başına Düşen Milli Gelir Değerlerinin Ülkeler Bazında Karşılaştırılması (Kaynak [24] ve [25]'ten uyarlanmıştır).

insan kaynağının artırılması amacıyla Rusya'ya gönderilirken, Enerji Mühendisliği ve Yönetimi alanında yüksek lisans eğitimi alacakken, 7 öğrenci de Çin'in saygın akademik kurumlarından Tsinghua Üniversitesine gönderilecektir. Türkiye nükleer alanda eğitim almak için 2011'den bu yana toplam 244 öğrenciyi Rusya'ya göndermiştir. Bu öğrencilerden 35'i geçen yıl mezun olarak Akkuyu Nükleer AŞ'de işe başlamıştır. Ayrıca 147 öğrenci daha bu alanda eğitim almak için yurt dışında lisansüstü eğitim almaya hak kazanmıştır [23].

4.3 Türkiye'nin Nükleer Enerji Kabiliyeti

Günümüzde sanayisindeki yüksek teknoloji üretim kapasitesi ve sağlam ekonomik yapıya sahip ülkeleri değerlendirmek istediğimizde genel ortak nokta olarak bu ülkelerin kişi başına düşen milli gelirlerine kıyasla dünya ortalamasına göre, sürekliliği korunarak sağlanabilen ucuz elektrik ile büyüme ve teknolojik ilerleme hedeflerini gerçekleştirdiğini görebiliriz. *Şekil 4*'te ülkelere göre elektrik fiyatları ve gayri safi milli hâsıladan kişi başına düşen gelir değerlerinin özet bir karşılaştırması verilmiştir.

Bu bağlamda enerji üretiminde nükleer santrallerin kullanımı hem çalışma süresi uzunluğu hem de çalışma sürekliliği açısından öne çıkmaktadır. Birim alana düşen üretilen güç miktarının yüksekliği, nükleer santralleri ilk yatırım maliyetinin yüksekliğine rağmen talep gören enerji üretim tercihleri arasında üst seviyelere çıkarmaktadır.

Ülkemiz bu yolda henüz birikmiş tecrübe açısından bakıldığında ileri düzeyde olmasa da bu açığı kapatma eğilimindedir. 2011 yılı itibarıyla Akkuyu NGS ile başlayan süreç günümüzde 2. nükleer enerji santralinin planlama aşamasına dönüşmüş ve bu bağlamda ortaya çıkan ihtiyaçlar üzerine özellikle denetleme ve düzenleme alanında yol kat edilmiştir. Düzenleme ve denetleme üzerine ortada olan tecrübe ve kurumsal yapı açığı için tecrübe sahibi uluslararası kuruluşlarla iletişim kurulmakta, hayata geçirilmesi elzem ve olanaklı birçok yapının gelişim süreçlerinde ilerleme kaydedilmiştir.

Eğitim konusunda ise birçok yeni oluşum ortaya çıkmış, üniversiteler arası ve üniversiteler ve kurumlar arası yeni işbirlikleri inşa edilmiş olup yeni işbirlikleri için ilgili kurumlar ve üniversiteler çalışmalarına devam etmektedir. Nükleer enerji alanında var olan yetişmiş personel açığını kapatabilmek adına ilgili mühendislik bölümlerinde dersler açılmakta, Nükleer Enerji Mühendisliği alanında eğitim verecek yeni bölümler üniversitelerimizde ülkemiz üniversiteleri bünyesinde yapılandırılmaktadır. Bunun yanında, Akkuyu'daki nükleer santralin yapımını ve işletmesini üstlenen Rus şirketiyle yapılan anlaşma gereği her sene özel olarak sınavla seçilen gençlerimiz daha sonra santral işletmesinde çalışmak üzere Rusya'ya eğitim için gönderilmektedir. Yapılan bu çalışmaların bir kısmı ihtiyaç anında açığa çıkacak yetişmiş personel sayısını karşılayabilmek üzere iken bir kısmı da santral işletmesi üzerine Akkuyu NGS'de görev alabilecek mesleki tecrübeye sahip personel kazanımı üzerinedir. Nükleer enerji alanına yeni giriş yapan ülkelerde yetişmiş personel ihtiyacı ve bunu gidermek için yapılan eğitim faaliyetleri ihtiyaçların bir dalını tamamen kapsasa da hazırlık sürecinde edinilmesi gereken bazı düzenleme ve denetim tabanlı kabiliyetlere halen gereksinim duyulmaktadır. Bu amaçla düzenleme ve denetleme görevini üstlenen kurumlarımız yeni organizasyon

yapılanması için çalışmalar yapmakta, özel sektörde tarafsız teknik destek sağlayan şirketler kurulmaktadır. Bu şirketler ilerleyen dönemde ciddi sorumluluk yükünü ülkemiz adına üstlenecek olup aynı zamanda denetleme ve düzenleme alanında danışmanlık üzerine olan dışa bağımlılığımızı azaltacaktır.

Ancak nükleer enerjiden sağlanan elektrik enerjisi ve ihtiyaç duyulan teknolojinin kullanımı için gerekli altyapı ne yazık ki sadece işletme ve denetim üzerine ihtiyaçlara karşılık verilerek kazanılamaz. Teknolojinin dış tecrübe desteğiyle kazanılmasının yanında yerli ve milli olarak araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin varlığı bir gerekliliktir. Şu anda bu alanda araştırma yapan ülkemiz üniversitelerindeki enstitüler, gerçekleştirilen projeler sayesinde edinilen partnerlikler ile bu gerekliliğe karşılık bulmaya çalışmaktadır. Bu çalışmaların devamlılığı, yeni işbirlikleri ve özellikle bu alanda yürütülecek çalışmalar için Üniversite-Sanayi İşbirliğinin kurulması öncelikli ihtiyaçlarımız içerisindedir.

Bugüne kadar yapılmış olan ve yapılan çalışmalar ışığında şu anki ilerleme durumumuza istinaden bazı temel ihtiyaçlar göze çarpmaktadır. Bu ihtiyaçları Sanayi, Eğitim, Ar-Ge, Düzenleme ve Denetleme başlıkları içerisinde ayrı ayrı değerlendirebiliriz. Sanayi alanındaki ihtiyaçlarımız üzerine düşünülmesi gereken en önemli konu, bu alanda yer alacak şirketlerin gereksinimi olacak altyapı ihtiyacı ve nükleer enerji sektöründe kullanılmaya uygun parçalar üzerine yapılacak üretim süreçleri hakkında tecrübe kazanımıdır. Bu alanda kullanılacak her türlü ekipman kalite ve üretim amacı bakımından uluslararası standartlara tabi olduğundan ötürü sanayimizin bir an önce bu entegrasyon ihtiyacının karşılanması gerekmektedir. Günümüzde bu kabiliyetlere sahip olan ve faaliyet göstermekte olan şirketlerin sayısı ve imkânı değerlendirilecek olursa, ya bu şirketlerin hizmet ettiği ve hâlihazırda şirket devamlılığını sağladıkları endüstri alanlarındaki paylarını azaltması ya da kapasite artırımına gitmeleri gerekmektedir. Bu seçenekler başlı başına söz konusu şirketlere olağanüstü bir yük getireceğinden ötürü, yeni oluşumlara gidilmesi ve sanayimizin sadece özel şirketler bazında değil genel anlamda bu kabiliyetleri edinmesi ihtiyacı göz ardı edilemez. Şayet bu ihtiyaçlar karşılansa bile sanayimizin gerekecek bahsi geçen özel altyapı düzeninde çalışma tecrübesi kazanması, finansal olarak alanındaki uluslararası rakipleriyle yarışabilir seviyeye gelmesi zaman meselesidir. Sanayimize bu imkânın sağlanması hususunda gerekli görüldüğü takdirde bu alanda ilerleme kaydetmiş ülkelerin çalışma yöntemleri incelenerek faydalı bulunan yapıların sistem entegrasyonunun sağlanması da seçenekler arasındadır.

Eğitim alanında gelişmeler umut verici olmakla birlikte daha iyisi için çalışılması ülkemizin yararına olacaktır. Unutulmamalıdır ki inşaat halinde olan ve inşaatı planlanan nükleer santral projelerimizde şu an çok azına sahip olduğumuz bir sayıda yetişmiş personele ihtiyacımız olacaktır. Bu ihtiyacın sadece nükleer enerji alanında değil, sağlıktan güvenliğe birçok alanda olduğu göz önünde alındığında öncelikli olarak yapılabilecek eylem, mevcut eğitim kurumlarının eğitim ve araştırma kabiliyetlerinin genişletilmesi olarak düşünülebilir. Dikkatli bir şekilde yapılmış iş gücü planlamasıyla ülkemiz iç ve dış eğitim olanakları artırılmalı, teorik eğitimlerin pratik çalışmalarda desteklenmeden yarım kalacağı göz önünde bulundurularak pratik çalışma imkânlarının artırılması yönünde bir eğitim politikası benimsenmelidir. Bu yapının bir örneği, Rusya'ya gönderilen ve daha sonra Akkuyu NGS'de işletme mühendisi olarak çalışması planlanan öğrencilerimiz için uygulanan eğitim planında görülebilir. Bütün bu çalışmalar nükleer enerji alanında ülkemizin işletme ve yönetim kabiliyetini artıracağı gibi aynı zamanda edinilen tecrübe ile mevcut araştırma olanaklarının daha derinlemesine kullanımı için fayda sağlayacaktır. Eğitim organizasyonu araştırma ve geliştirme faaliyetleriyle desteklendiği takdirde, dünya nükleer enerji geçmişine göre kısa bir sürede ülkemizin yerli nükleer santral konseptine sahip olup ve bu konsepti hayata geçirme potansiyeline erişebileceği öngörülebilir.

Denetleme ve düzenleme konusunda yaşanan gelişmeler Akkuyu NGS projesi inşaatı ile paralel olarak ivme kazanmakta olup gelecek dönemde dışarıdan destek alımı ile sürecin daha da şekilleneceği düşünülmektedir. Bu noktada önemli olan ülke olarak kendi yasal düzenlemelerimize uygun ve işleyen bir düzenleme-denetleme organizasyonu inşa edebilmektir. Bunun önemi geçmişte yaşanan nükleer enerji alanında yaşanan kazalara dikkat edildiğinde ortaya çıkmakta olup uluslararası düzeyde bu sürecin gelişiminin kazalar sonrası tecrübeye dayalı bir şekilde geliştiği görülebilir.

4.4 Türkiye'nin Nükleer Enerji Kazanımları

Dünyada "Barış için Atom" anlayışıyla başlatılan faaliyetlere paralel olarak ülkemizde öncelikle 1956 yılında Atom Enerjisi Komisyonu (AEK) kurulmuş ve ardından 1959 yılında TR-1 nükleer araştırma reaktörünün temeli atılmış, 1 MW gücündeki reaktörün ilk defa kritik olduğu ve işletmeye alındığı 1962 yılında da Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM-İstanbul) kurulmuştur. Böylece ülkemizdeki nükleer faaliyetler ÇNAEM ve TR-1 araştırma reaktörü etrafında şekillenmeye başlamıştır. 1977 yılında TR-1 reaktörünün kısmen sökülmesi sonrasında aynı havuzda yeni bir reaktör kurulmasına karar verilmiş ve TR-2 reaktörü (5 MW) 1982 yılında işletmeye alınmıştır. Ankara'da ise 1961 yılında Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM) kurulmuş, 1984 yılında bugün SANAEM'in (Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) bulunduğu yerleşkenin hazır hale getirilmiş, 1999 yılında ise SANAEM'in kurulu bulunduğu yerleşkede Ankara Nükleer Tarım ve Hayvancılık Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANTHAM) kurulmuştur. Daha sonra ANAEM ve ANTHAM'ın kaldırılarak yerine SANAEM oluşturulmuştur. 1982 yılında AEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) olarak yeniden yapılandırılmıştır.

Nükleer teknoloji alanında ülkemizde faaliyet gösteren iki araştırma merkezi olan ÇNAEM ve SANAEM, 2690 sayılı TAEK Kanunu'nda belirtilen görev ve sorumlulukların yerine getirilmesi için faaliyet göstermektedir. Bu iki araştırma merkezini birbirinden ayıran en önemli özellik; ÇNAEM'in tarihsel misyonu gereği nükleer tesisler (nükleer reaktör, yakıt çevrimi vb.) konusunda faaliyet göstermesi iken, SANAEM'in radyasyon ve hızlandırıcı tesisleri ekseni etrafında şekillenerek faaliyet göstermesidir. Bununla beraber bu iki merkezin, radyoaktivite analiz, radyasyon cihazlarının kalibrasyonu gibi birbiriyle örtüşen faaliyetleri de bulunmaktadır.

TAEK'e bağlı nükleer araştırma ve eğitim merkezleri, 2690 Sayılı Kanun'un 9. maddesine göre kurulmuş olup, TAEK Başkanlığınca tespit edilen stratejik hedefler doğrultusunda araştırma, geliştirme ve uygulama yapılmaktadır. TAEK nükleer araştırma ve eğitim merkezlerinin kuruluş felsefesi her ne kadar 1982 tarihli kanuna dayansa da günümüz ülke şartlarına en uygun modelde oluşturulduklarını dünyadaki örneklerine baktığımızda söylemek mümkündür.

Türkiye'de 1965 yılından beri bir nükleer güç santral kurulmasına dönük defaten girişimlerde bulunulmuş ama politik ve/veya ekonomik nedenlerle bu girişimlerin hiçbirinden 2010 yılında Akkuyu'da başlayan projeye kadar olumlu sonuç alınamamıştır.

Nükleer enerji stratejisi kapsamındaki kısa vadeli hedef, gerekli enerji ihtiyacını, ucuz, sürdürülebilir, arz güvenliğini sağlar, barışçıl ve güvenli bir şekilde temin etmek olacaktır. Bu anlamda ana hedef, mevcut durumda üzerinde çalışmaların yürütüldüğü NGS'lerin kurulumlarına ilişkin olacaktır. Bu bağlamda, Akkuyu NGS'nin kurulması için gerekli anlaşmalar imzalanmış, Sinop'ta kurulacak olan NGS içinse çalışmalar hızla devam etmektedir. Akkuyu NGS, kısa vadede sadece enerji ihtiyacımızı karşılamaya yönelik bir adım olarak düşünülmelidir. Zira yatırım modelinin doğası gereği; bu projede neredeyse yok denecek kadar sınırlı bir yerli sanayi katkısı olacaktır.

Akkuyu ve Sinop'ta kurulması öngörülen Nükleer Güç Santrallerini (NGS) de içine alacak şekilde, öncelikle bir Ulusal Nükleer Enerji Programı'nın oluşturulması ve buna bağlı stratejilerin ve öncelikli alanların belirlenmesi şarttır. Bu stratejinin detaylarının belirlenmesi amacıyla mevcut politika ve vizyon çerçevesindeki unsurlar da dikkate alınarak kısa, orta ve uzun vadeli hedeflerin ortaya koyulması esastır.

Bu minvalde kabaca üç ana hedefin adını şu şekilde koymak mümkündür:

- Kısa vade (5-10 yıl): Kurulacak NGS'lerden enerji ihtiyacını karşılamak ve bu enerjiden barışçıl ve güvenli bir şekilde faydalanmak
- Orta vade (10-20 yıl): Kurulacak NGS'lerde belirli hedefleri içerecek şekilde yerlileştirme oranını tutturmak ve yerli NGS tasarımını gerçekleştirmek
- Uzun vade (20-30 yıl): Nükleer enerji teknolojilerinde söz sahibi olmak ve NGS ihracı yapmak.

Kısa vade hedefinin tutturulabilmesi içinse bazı temel bileşenlerin göz önüne alınması önemlidir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz: Öncelikle projenin/projelerin zamanında bitirilmesi için yapılması gerekenler belirlenmelidir. Sağlıklı proje yönetimi ile yatırım maliyetlerinin ve risklerin asgariye düşürülmesi sağlanmalı, sağlıklı bir düzenleyici rejim ve hukuki-bürokratik problemlerin çözüme kavuşturulmuş olması gerekmektedir. Örneğin, 3. taraf sorumluluğu, atık politikaları, önceden

kurulmuş tedarik zinciri gibi konuların yönetimi doğru şekilde planlanmalıdır. Bir başka temel bileşen ise nükleer santral güvenliğinin ve temin edilecek şebeke yük faktörünün yüksek olması için yapılması gerekenlerin sağlanması hususudur. Bu yönde atılacak adımlar kısa vadede yüksek önem teşkil etmektedir. Bunların haricinde, santralin başlangıç arızalarına kolaylıkla çare bulunabilmesi için yapılması gerekenler, iş üzerinde tecrübe kazanmış ekiplere sahip olma, işletme ve bakım için dışa bağımlı olmama (reaktörü işletip, bakımını yapabilecek insan kaynaklarının ve bakım için yedek parça sağlayabilecek yerli sanayinin hazır hale getirilmesi) ülke içinde nükleer santral yapımına katkıda bulunan alt yüklenici firmaların (Türkiye'nin lokomotif sektörü olan inşaat sektörü başta olmak üzere) oluşması/oluşturulması kısa vadeli hedeflerin tutturulabilmesi için göz önünde bulundurulması gereken konulardır.

Orta vadeli hedeflere altlık oluşturulmasında, aşağıdaki hususlar da kısa vadeli hedefler içinde düşünülmeli ve ön alınmalıdır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir: İlk olarak deneyim kazanmış güçlü kadrolarını oluşturulması için altyapının kurulması: Nükleer alanda iyi eğitilmiş, güvenilir kadroların yetiştirilmeye başlanması (yurtdışı master/doktora programları, alıcı ülkede iş üstü eğitimler, ülke içerisinde ara kalifiye/teknik personel yetiştirilecek teşekküllü okul ve üniversite bölümlerinin açılması/donatılması, vs.). İkinci olarak ise yürüyen projelerden transfer edilen bilgi, belge, doküman ve tekniklerle ilgili temel ve bilimsel hususların öğrenilmesi, üçüncü olarak ise nükleer teknoloji edinimine yönelik AR-GE merkezlerinin geliştirilmesi/kurulmasıdır.

Akkuyu başta olmak üzere şu anda yürüyen nükleer santral projelerindeki yatırım modeli, ortalama enerji elektrik fiyatlarını aşağı çekmeyi amaçlayan, nükleerden elektrik enerjisi "üretme/ürettirme" programıdır. Bu yatırım modellerinde istihdam ve yerli katkı yatırımcının istediği ve işine geldiği ölçekte gerçekleşmesinin önüne geçecek tedbirler alınmalıdır. Yerelleştirmenin sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi için öncelikle bu konu özelinde ulusal stratejinin belirlenmesi gerekmektedir. Hâlihazırda santral tedarikçisi konumunda olan ülkelerden (ABD, Rusya, Çin, Fransa, Kore vb.) birisi olma amacı benimsenmiş ise bu amaca yönelik adımlar atılmalıdır. Yerelleştirme için Savunma Sanayi Başkanlığı'nın uygulamakta olduğu Ofset yöntemi başarılı olmuş ve rüştünü ispatlamış bir yöntem benzer bir yöntem nükleer santral projeleri içinde uygulanması önem arz etmektedir.

4.5 Nükleer Güvenliğe İlişkin Düzenleyici Yapıda Meydana Gelen Değişiklikler

11 Mart 2011 tarihinde Japonya'da meydana gelen devasa boyuttaki deprem ve tsunami doğal felaketler olsa da bunların sonrasında Fukushima Daiichi Nükleer Güç Santrali'nde (NGS) meydana gelen kaza, Japonya tarafından "insan kaynaklı" olarak değerlendirilmektedir [26]. Kaza ve kazanın etkileri üzerine literatürde birçok yayın mevcuttur. Ayrıca kazanın ardından nükleer santrallere ilişkin düzenleyici faaliyetler ve halkı koruyucu eylemlerin gerçekleştirilmesi ile ilgili Japonya'da tespit edilen temel olumsuzluklara ilişkin kapsamlı bilgi, Japon Ulusal Meclisi Fukushima Nükleer Kazası Bağımsız Soruşturma Komitesi'nin (Naiic) tarafından yayımlanan resmi raporda [26] ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından yayınlanan raporda [27] sunulmaktadır.

Nükleer güvenliğe ilişkin Türkiye Cumhuriyeti'ndeki mevcut mevzuat ve düzenleyici faaliyetlere ilişkin bilgi, Fukushima kazası sonrasında Avrupa Nükleer Güvenlik Düzenleyicileri Grubu (ENSREG) tarafından belirlenen gerekler çerçevesinde hazırlanan stres testi raporunda ve ülkemizin taraf olduğu Nükleer Güvenlik Sözleşmesi'nin yedinci gözden geçirme toplantısı için hazırlanan raporda yer almaktadır [28,29]. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından nükleer güç santrallerinin lisanslanmasında ilgili ulusal mevzuat ile uluslararası düzenleyici dokümanların kullanılmasında uygulanan yöntem, Nükleer Güç Santrallerinin Lisanslanmasına Esas Mevzuat, Kılavuz ve Standartlar ile Referans Santralin Belirlenmesine İlişkin Yönergede [30] belirlenmiştir.

Uluslararası Nükleer Güvenlik Danışma Grubu (INSAG) tarafından belirlenen ve uluslararası kabul gören güvenlik ilkeleri, "Nükleer Güç Santralleri için Temel Güvenlik İlkeleri" başlıklı ve INSAG-12 kodlu raporda [31] yer almaktadır. Bu ilkeler ulusal mevzuatımızda da yansıtılmaktadır.

Ülkemizde inşa edilecek olan nükleer santrallerde meydana gelecek olan kullanılmış yakıtların ve radyoaktif atıkların yönetimine ilişkin teknik ve idari hususlar 9/3/2013 tarihli ve 28582 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği ile 12/5/2010 tarihinde imzalanan Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyeti'nde Akkuyu Sahası'nda Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma ve 3/5/2013 tarihinde

imzalanan Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Japonya Hükümeti Arasında Nükleer Enerjinin Barışçıl Amaçlarla Kullanımına Dair İşbirliği Anlaşması'nda yer almaktadır.

Fukushima Daiichi Nükleer Santrali kazasından çıkarılan derslerin ışığında, IAEA'nın en son yaklaşımı, uluslararası uygulamalar ile afet ve acil durumlara müdahale alanındaki ulusal mevzuat ve altyapı dikkate alınarak TAEK tarafından hazırlanan Ulusal Radyasyon Acil Durum Planı'nda (URAP) [32] nükleer santrallerde meydana gelebilecek acil durumlarda halkın korunmasına yönelik izlenecek yaklaşım detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

Nükleer santrallere ilişkin düzenleyici faaliyetlerde Japonya'da tespit edilen temel olumsuzluklar

Fukushima NGS'deki kaza meydana geldiği zaman Japonya'da nükleer güvenlikle ilgili faaliyetler, farklı rolleri, sorumlulukları ve aralarında karmaşık etkileşimleri olan birden fazla organizasyon tarafından düzenlenmekteydi [27]. Yaptırımı olan talimatların verilmesine ilişkin sorumluluk ve yetkinin hangi organizasyonlarda olduğu ve güvenlikle ilgili sorunlarda zaman kaybedilmeden nasıl müdahale edileceği yeterince açık değildi.

Düzenleyici denetim programının kısıtlayıcı bir şekilde şekillendirilmiş olması, uygun zamanlarda güvenliğin doğrulamasına ve güvenlik ile ilgili muhtemel yeni sorunların tespit edilmesine ilişkin düzenleyici kurumun kabiliyetini azaltmaktaydı. Özellikle periyodik güvenlik değerlendirmeleri, tehlikelerin yeniden değerlendirmesi, ağır kazaların yönetimi ve güvenlik kültürü ile ilgisi olan bazı alanlarda yönetmelikler, kılavuzlar ve prosedürler tam olarak uluslararası uygulama ile uyumlu değildi.

Ekonomi, Ticaret ve Endüstri Bakanlığı (METI) nükleer enerjinin geliştirilmesi ve kullanımı politikasından olduğu kadar ticari nükleer tesislerin düzenlenmesinden de sorumluydu. METI'nin bünyesindeki Doğal Kaynaklar ve Enerji Ajansı (ANRE) nükleer enerjisinin teşvik edilmesini içeren ulusal enerji arzının yönetiminden sorumluydu. ANRE'ye bağlı olarak kurulan Nükleer ve Endüstriyel Güvenlik Ajansı'na (NISA) nükleer güvenliğe ilişkin düzenleyici kurum sorumluluğu verilmiştir.

Eğitim, Kültür, Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı'nın da (MEXT) NGS'lerde, araştırma reaktörlerinde ve nükleer güç ile ilgi araştırma-geliştirme tesislerinde, radyasyondan korunma ve nükleer madde güvencesinin gözetimini içeren düzenleyici sorumlulukları bulunmaktaydı. Ulusal Radyolojik Bilimler Enstitüsü (NIRS) ve Japon Atom Enerjisi Ajansı (JAEA) (NIRS ve JAEA teknik destek organizasyonu) MEXT'in kontrolü altındaydı.

Bakanlar kurulu bünyesinde yer alan ve başbakana karşı sorumlu olan Nükleer Güvenlik Komisyonu (NSC) nükleer düzenlemeye ilişkin danışmalık ve gözetim rolleri olan bağımsız bir yapıydı. İlgili kanun uyarınca NSC, NISA'dan rapor talep etme ve NISA'nın faaliyetlerinin gözetimi için yetkilendirilmişti. Ancak IAEA'nin 2007 tarihli Bütünleşik Düzenleyici Gözden Geçirme Servisi (IRRS) misyonunda NSC ve NISA'nın düzenleyici olarak rollerine açıklık getirilmesi gerektiği ifade edilmiştir [33].

NISA, Japon Nükleer Enerji Güvenlik Organizasyonu (JNES) tarafından desteklenmekteydi. JNES'in ana işlevleri, nükleer tesislerde denetimlerin yürütülmesi, lisans sahiplerinin periyodik denetimlerinin gözden geçirilmesi, nükleer acil durumlara hazırlığa ilişkin desteğin sağlanması ve güvenlikle ilgili araştırma projelerinin koordinasyonundan oluşmaktaydı. Ancak yukarıda belirtildiği üzere kazanın meydana geldiği zamanda Japonya'da denetimler, türleri ve sıklıkları bakımında kısıtlayıcı bir şekilde çerçevelendirilmişti. Yasal olarak tanımlanmış kapsamın ötesinde denetimlerin genişletilmesine yönelik NISA'nın kabiliyetleri sınırlı idi. Bu durum düzenleyici denetimlerin etkinliğini daraltmaktaydı.

Yönetmelikler uyarınca Japonya'daki periyodik güvenlik değerlendirmelerinin aralığı on yıldı. Ancak bu değerlendirmelerin kapsamı sınırlı olup dış tehlikelerin yeniden incelenmesini içermiyordu.

Kaza sonrasında Eylül 2012'de Nükleer Düzenleyici Otorite (NRA) kurulmuştur. NGS'ler için yeni düzenleyici gerekler 2013 yılında yürürlüğe girmiştir. Derinliğine savunma kavramı uyarınca yeni gereklerde, dördüncü ve beşinci seviyelere ("2.3 Nükleer Güç Santralleri için Temel Güvenlik İlkeleri" başlığı altında açıklanan) ve ortak nedenlerden dolayı tüm güvenlik fonksiyonlarının aynı ada kaybına önem verilmiştir.

Düzenleyici faaliyetlere ilişkin önceden farklı organizasyonlarda olan görev ve sorumluluklar NRA bünyesinde birleştirilmiştir. NRA'nın, NIRS ve JAEA'nın bazı faaliyetleri üzerinde yetkisi bulunmakta olup, JNES NRA bünyesine katılmıştır.

4.6 Nükleer Güvenliğe İlişkin Türkiye Cumhuriyeti'ndeki Mevcut Mevzuat

Nükleer tesislere lisans verilmesine ilişkin esaslar 18.11.1983 tarihli ve 83/7405 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla yürürlüğe konulan Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük'te [34] düzenlenmektedir. Güvenlik ilkeleri ile ilgili detaylar yönetmelikler de yer almaktadır. NGS'lerin güvenliği ile doğrudan ve dolaylı olarak ilgisi olan 18 yönetmelik mevcuttur [29].

Tüzükte, nükleer tesislerle ilgili izin ve lisanslar, bunlar için yapılan başvurulara ilişkin sunulacak belgelerin listesini içeren gerekler, gözden geçirme ve değerlendirme süreçleri, yetkilendirme süreçlerinde görev alan TAEK'teki birim ve makamlar, inşa ve işletme sürecinde yapılacak modifikasyonlar için onay mekanizması tanımlanmaktadır. Tüzükte ayrıca tesislerin ömrü boyunca denetimi ve lisansların sınırlandırması, askıya alınması ve geri alınması gibi yaptırımlar için TAEK yetkilendirilmiştir.

TAEK tarafından nükleer güç santrallerinin lisanslanmasında ilgili ulusal mevzuat ile uluslararası düzenleyici dokümanların kullanılmasında uygulanan yöntem, Nükleer Güç Santrallerinin Lisanslanmasına Esas Mevzuat, Kılavuz ve Standartlar ile Referans Santralin Belirlenmesine İlişkin Yönerge'de [30] belirlenmiştir. NGS'lerin güvenliği ile doğrudan ilgili olan yönetmelikler aşağıda sıralanmıştır:

NGS sahalarının NGS'lerin inşa edilebilmesi için uygunluğuna ilişkin hususlar 21/3/2009 tarihli ve 27176 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik'te ele alınmaktadır. NGS'lerin tasarımına ilişkin temel gerekler 17/10/2008 tarihli ve 27027 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Nükleer Güç Santrallerinin Güvenliği İçin Tasarım İlkeleri Yönetmeliği'nde ortaya konmuştur.

NGS'lerin inşası, işletmeye alınması, işletilmesi ve işletmeden çıkarılması süreçlerinde uyulması gereken güvenlik ilkeleri ise 17/10/2008 tarihli ve 27027 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Nükleer Güç Santrallerinin Güvenliği İçin Özel İlkeler Yönetmeliği'nde [35] belirtilmektedir.

NGS'lerde meydana gelen kullanılmış yakıtlar ve radyoaktif atıklar ile ortaya çıkan radyoaktif maddelerin serbestleştirilmesine ilişkin teknik hususlar 9/3/2013 tarihli ve 28582 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde ve Nükleer Tesislerde Serbestleştirme ve Sahanın Düzenleyici Kontrolden Çıkarılmasına İlişkin Yönetmelik'te belirlenmiştir.

Nükleer tesislerde kullanılan tüm ekipmanın tedarik süreci, tedarike başlanabilmesi için kurucu tarafından alınması gereken izne ilişkin hükümler ile tedarik sürecinde gerçekleştirilecek olan düzenleyici denetimleri ve yaptırımlar Nükleer Tesisler İçin Ekipman Tedarik Sürecine ve İmalatçıların Onaylanmasına İlişkin Yönetmelik'te yer almaktadır.

Nükleer santrallerin nükleer güvenlik ilkeleriyle uyumlu ve ilgili mevzuat ve standartlara uygun olarak kurulması amacıyla Kurucu tarafından yaptırılacak denetimlere ilişkin hususlar 13/9/2007 tarihli ve 26642 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Nükleer Güvenlik Denetimleri ve Yaptırımları Yönetmeliği'nde belirlenmiştir.

Meydana gelebilecek bir radyasyon acil durumu için ulusal seviyede ve il seviyesinde yapılacak planlamanın ve gerçekleştirilecek müdahalenin esasları, ilgili mevzuat, ulusal afet ve acil durum planlama çerçevesine uygun olarak TAEK tarafından hazırlanan ve 24/3/2015 tarihli Atom Enerjisi Komisyonu onayı ile Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı'na (AFAD) gönderilen Ulusal Radyasyon Acil Durum Planı'nda ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

NGS'lerin lisanslanmasında ulusal mevzuatta kapsanmayan hususlara ilişkin olarak uluslararası dokümanların ve diğer ülkelerin mevzuatlarının kullanılmasında TAEK tarafından izlenecek yöntem Nükleer Güç Santrallerinin Lisanslanmasına Esas Mevzuat, Kılavuz ve Standartlar ile Referans Santralin Belirlenmesine İlişkin Yönerge'de [30] açıklanmaktadır. NGS'nin lisanslanmasına temel teşkil edecek nükleer güvenliğe ilişkin mevzuat için öncelik sırası Yönerge de aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

a. Türkiye Cumhuriyeti mevzuatı,
b. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın (IAEA) Güvenlik Standartları Serisi'nden "Temeller" ve "Gerekler" kategorisinde yer alanlar,
c. (a) ve (b) bentlerinde yeterli şekilde düzenlenmediği değerlendirildiği konularda, Kurumun uygun göreceği bir tarih itibarı ile tasarımcı ülkede yürürlükte olan nükleer güvenliğe ilişkin mevzuat,
d. Nükleer güvenliğe ilişkin bir konunun (a), (b) ve (c) bentlerinde sözü edilen mevzuatta yeterli

şekilde düzenlenmediğinin değerlendirilmesi durumunda ilgili IAEA güvenlik kılavuzlarına veya lisans için başvurulan santral tasarımına uygun başka bir ülke mevzuatı.

4.7 Nükleer Güç Santralleri İçin Temel Güvenlik İlkeleri

Uluslararası Nükleer Güvenlik Danışma Grubu'nun (INSAG) "Nükleer Güç Santralleri için Temel Güvenlik İlkeleri" başlıklı ve INSAG-12 kodlu raporunda [31] temel güvenlik ilkeleri üç başlık altında gruplandırılmıştır: Yönetim sorumlulukları, derinliğine savunma stratejisi ve genel teknik ilkeler.

Yönetim sorumlulukları

Güvenlik kültürü

Nükleer güç ile ilgili faaliyetlerde bulunan tüm bireylerin ve organizasyonların faaliyetleri ve eylemleri oluşturulan güvenlik kültürünün etkisinde gerçekleşmelidir. Güvenlik kültürü Nükleer Güvenlik Denetimleri ve Yaptırımları Yönetmeliği'nde "nükleer alanda faaliyetlerde bulunan tüm birey, kurum ve kuruluşlarda, radyasyondan korunma ve güvenlik ile ilgili konulara en yüksek önemin verildiğini ortaya koyan nitelik ve davranışlar bütünü" olarak tanımlanmıştır.

İşletici organizasyonun sorumluluğu

Bir NGS'nin güvenliği için nihai sorumluluk işletici organizasyondadır. Bu sorumluluk hiçbir şekilde tasarımcıların, tedarikçilerin, yüklenicilerin, müteahhitlerin ve düzenleyicilerin ayrı olarak gerçekleştirdikleri faaliyetleri ve sorumlulukları tarafından azaltılamaz.

Düzenleyici kontrol ve bağımsız doğrulama

Hükümet, nükleer endüstri için bir yasal çerçeveyi ve NGS'lerin lisanslanması ve düzenleyici kontrolü ile ilgili mevzuatın uygulatılmasından sorumlu olan bir bağımsız düzenleyici organizasyonu oluşturmalıdır. Düzenleyici organizasyonun ve diğer tarafların sorumlulukları arasındaki ayrım açıkça belirtilmeli, bu şekilde düzenleyiciler güvenlik otoritesi olarak bağımsızlıklarını korumalı ve uygun olmayan baskıdan korunmalıdırlar.

Derinliğine savunma stratejisi

Derinliğine savunma

Muhtemel insan ve mekanik hatalarının telafi edilebilmesi için çevreye radyoaktif maddelerin salınmasını önleyen ve ardışık bariyerleri içeren birkaç korunma seviyesi üzerine odaklanmış bir derinliğine savunma kavramı uygulanmalıdır. Bu kavram, tesiste ve bariyerlerin kendisinde olabilecek hasarlar önlenerek bariyerlerin korunmasını içermektedir. Derinliğine savunma kavramı bariyerlerin tamamen etkin olmaması durumunda halk ve çevrenin zarardan korunmasına yönelik önlemleri de kapsamaktadır. Derinliğine savunmanın seviyeleri *Tablo 2*'de, derinliğine savunmada fiziksel bariyer ile korunma seviyeleri arasındaki ilişki *Şekil 12*'de gösterilmiştir.

Kazaların önlenmesi

Ana önem, özellikle ağır kor hasarına neden olabilecek kazaların önlenmesi olan güvenliğin elde edilmesine yönelik araç/yöntemlere verilmelidir.

Kazaların yatıştırılması

Radyoaktif maddelerin kaza sonucunda salınmasının etkilerini önemli ölçüde azaltacak yatıştırıcı eylemler tesis içi (kazanın kontrol altına alınması) ve saha dışı (halkı koruyucu eylemler) için mevcut ve önceden planlanmış olmalıdır.

Genel teknik ilkeler

Kanıtlanmış mühendislik uygulamaları

Nükleer güç teknolojisi, testler ve deneyim ile kanıtlanmış olan ve onaylanmış kod ve standartlar ve uygun olarak belgelendirilmiş diğer dokümanlarda yansıtılan mühendislik uygulamalarına dayandırılmalıdır.

Kalite temini

Teslim edilen tüm kalemler ile hizmetlerin ve gerçekleştirilen görevlerin belirli gerekleri karşıladığından emin olunmasına yönelik NGS'de kapsamlı bir sistemin parçası olan kalite temini uygulamalıdır.

Kendi kendini değerlendirme

Kendi kendini değerlendirme ile güvenlik ve performansa ilişkin sorunların tespit edilmesine ve bunların çözümüne işletme faaliyetlerini yürüten personelin dâhil edilmesi sağlanır.

Akran değerlendirmesi

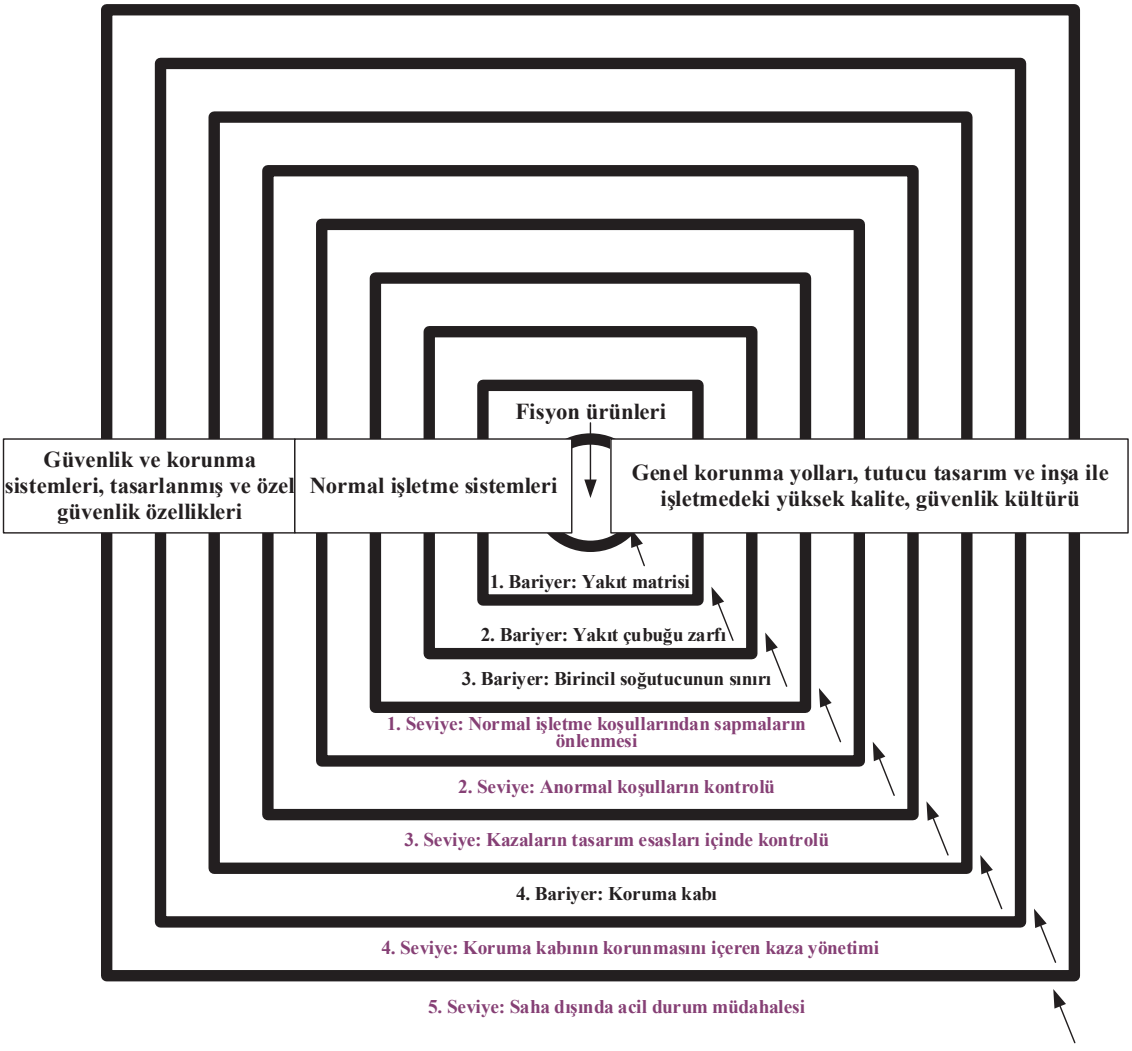
Bağımsız akran değerlendirmesi iyi performans gösteren diğer tesislerdeki uygulama ve programlara erişim sağlanmasını temin eder ve bunların diğer tesislerde benimsenmesine olanak sağlar.

Tablo 2: Derinliğine savunmanın seviyeleri (INSAG-12'den) (Kaynak [31]'den uyarlanmıştır).

Seviye	Amaç	Gerekli araçlar
Seviye 1	Anormal işletme koşullarının ve arızaların önlenmesi	Tutucu tasarım ve inşa ile işletmedeki yüksek kalite
Seviye 2	Anormal işletme koşullarının kontrolü ve arızaların tespit edilmesi	Kontrol, sınırlama ve korunma sistemleri ve diğer izleme sistemleri
Seviye 3	Kazaların tasarım esasları içinde kontrolü	Tasarlanmış güvenlik özellikleri ve kaza prosedürleri
Seviye 4	Kazanın ilerlemesinin önlenmesi ve ağır kazaların sonuçlarının yatıştırılmasını içeren tesisteki ağır koşulların kontrolü	Tamamlayıcı özellikler ve kaza yönetimi
Seviye 5	Kayda değer miktarda radyoaktif madde salınımının radyolojik sonuçlarının yatıştırılması	Saha dışında acil durum müdahalesi

İnsan faktörü

Nükleer güvenlik ile ilgili olan faaliyetleri yürüten personel görevlerini yapmak üzere eğitilir ve kalifiye edilir. NGS işletiminde insan hatası olasılığı, işleticilerin doğru karar vermesi kolaylaştırılarak, yanlış kararların alınması engellenerek ve hataların tespiti, düzeltilmesi ve telafi edilmesine yönelik imkânlar sağlanarak dikkate alınır.



Şekil 5: Derinliğine savunmada fiziksel bariyer ile korunma seviyeleri arasındaki ilişki (INSAG-12'den) (Kaynak [31]'den uyarlanmıştır).

Güvenliğin değerlendirilmesi ve doğrulanması
Güvenlik değerlendirmesi tesisin inşasından ve işletilmesinin başlangıcından önce yapılmalıdır. Değerlendirme iyi biçimde belgelendirilmeli ve bağımsız olarak gözden geçirilmelidir. Sonradan, güvenliğe ilişkin kayda değer yeni bilgilerin ışığında güvenlik değerlendirmesi güncellenmelidir.

Radyasyondan korunma
Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) ve IAEA'nın tavsiyeleri ile uyumlu olan radyasyondan korunma uygulamalarına ilişkin bir sistem NGS'nin tasarım, işletmeye alma, işletme ve işletmeden çıkarma safhalarında takip edilmelidir.

İşletme tecrübesi ve güvenlik ile ilgili araştırma
İlgili organizasyonlar, işletme tecrübesinin ve güvenliğe ilişkin araştırmaların sonuçlarının değiş tokuşunu, gözden geçirilmesini ve analiz edilmesini, derslerin çıkarılmasını ve bunlara göre hareket edilmesini sağlamalıdır.

İşletmede mükemmeliyet
Mevcut olan ve gelecekteki NGS'lerde;

- Güvenlik kültürü ve derinliğine savunma zenginleştirilerek
- Malzeme koşullarının ve ekipman performansının mükemmel düzeyde tutulması ile
- Kendi kendini ve akran değerlendirmeleri kullanılarak
- Dünya çapında işletme tecrübesinin ve diğer bilgilerin değiş tokuşu ile
- Olasılıklı güvenlik analizi uygulamalarının arttırılması ile
- Ağır kaza yönetiminin uygulanmasının yaygınlaştırılması ile

işletmede mükemmeliyet elde edilecektir.

Kullanılmış yakıtların ve radyoaktif atıkların yönetimi
Ülkemizde kurulması planlanan nükleer güç santrallerinin işletilmesi ve işletmeden çıkarılması sırasında ortaya çıkacak kullanılmış yakıtlar ve radyoaktif atıkların yönetimine ilişkin politikalara dair bazı hükümler Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde ve Akkuyu ve Sinop'ta NGS kurulmasına yönelik imzalanan hükümetler arası anlaşmalar ile belirlenmiştir.

Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği Madde 52 gereğince "Nükleer tesislere yönelik faaliyetler sırasında ortaya çıkan radyoaktif atıklar ve kullanılmış yakıtların yönetimi tesis için yetkilendirilen kişinin sorumluluğundadır. Yetkilendirilen kişinin işi bırakması, iflas etmesi ve benzeri durumlar bu yükümlülükleri ortadan kaldırmaz. Nükleer tesislere yönelik faaliyetler sırasında ortaya çıkan radyoaktif atıkların ve kullanılmış yakıtların saha içi yönetim ile saha dışı taşıma, depolama, bertaraf ve gerekli ise kapatma sonrası izleme dâhil tüm maliyetini karşılamak tesisi işletmekle yetkilendirilen kişinin sorumluluğundadır." Sorumlulukların sona ermesini tanımlayan 54. Madde gereğince "Nükleer tesisler ile radyasyon uygulamaları ve radyasyon tesisleriyle ilgili bir faaliyet için yetkilendirilen kişinin radyoaktif atığa ilişkin sorumlulukları aşağıdaki durumlardan herhangi birinin gerçekleşmesi ve yetkilendirilen kişi tarafından sunulan belgelerin esas alınarak bu durumun TAEK tarafından onaylanmasını müteakiben sona erer:

a) Radyoaktif atıklarını başka bir ülkeye geri gelmeksizin göndermesi,

b) Muafiyet ve serbestleştirme sınırlarının altındaki radyoaktif atıklarını bertaraf etmesi,

c) Muafiyet ve serbestleştirme sınırlarının üstündeki radyoaktif atıklarını bir radyoaktif atık tesisi işletmek üzere yetkilendirilen kişiye devretmesi."

2010 yılında imzalanan "Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti arasında Türkiye Cumhuriyeti'nde Akkuyu Sahası'nda Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliği Anlaşması" uyarınca, Proje Şirketi, NGS'nin sökümü, kullanılmış yakıt ve atık yönetiminden sorumludur. Taraflarca mutabık kalınabilecek ayrı bir anlaşma ile Rus menşeli kullanılmış yakıtlar Rusya Federasyonu'nda yeniden işlenebilir.

2013 yılında imzalanan "Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Japonya Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyeti'nde Nükleer Güç Santrallerinin ve Nükleer Güç Sanayisinin Geliştirilmesi Alanında İşbirliğine İlişkin Anlaşma" uyarınca Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti, Türkiye Cumhuriyeti mevzuatına uygun olarak kullanılmış yakıt ve radyoaktif atığın nihai bertarafından sorumludur. 2014 yılında Ankara'da imzalanan "Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Japonya Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyeti'nde Nükleer Güç Santrallerinin ve Nükleer Güç Sanayisinin Geliştirilmesine Dair İşbirliği Zaptı"na göre

Proje Şirketi, radyoaktif atıkların ve kullanılmış yakıtların Hükümetin sorumluluğu altındaki nihai bertaraf tesislerine taşınmasına kadar yönetiminden ve NGS'nin sökümünden sorumludur.

Bunun yanı sıra nükleer tesis işleticileri de atık ve kullanılmış yakıt yönetiminde kendi stratejilerini oluşturacaklar ve kendi atık tesislerini kuracaklardır. Nitekim Akkuyu Nükleer A.Ş., Akkuyu Nükleer Güç Santrali için hazırlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi [36] raporundaki beyanlarına göre, düşük ve orta seviyeli radyoaktif atıklarını tesis sahasında muamele edecek, kullanılmış yakıtlar ile birlikte tüm tesis ömrü boyunca depolayabilecek tesisleri kuracaklardır.

Fukushima NGS'de kaza meydana geldiğinde, Japonya'daki düzenleyici faaliyetlerin uygun olarak yürütülmediği görülmektedir. Bunun temel sebebinin düzenleyici faaliyetleri yürüten organizasyonların yetki, görev ve sorumluluklarının karmaşık biçimde belirlenmiş olması ve düzenleyici kurum olan NISA'nın, nükleer enerjisinin teşvik edilmesini içeren ulusal enerji arzının yönetiminden sorumlu olan ANRE'ye bağlı olmasından dolayı yeterince bağımsız olamamasıdır.

9/7/1982 tarihli ve 2690 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla yürürlüğe konulan Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu uyarınca TAEK, başbakana bağlı bir kurum olmasına rağmen günümüzde nükleer enerji programını teşvik eden Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı bir kuruluş olarak faaliyet göstermektedir. Bu durumun TAEK'in bağımsızlığının önündeki ana engel olduğu değerlendirilmektedir.

Mevcut ulusal mevzuatta güvenlik ilkeleri kapsanmaktadır. Yeterli şekilde düzenlenmediği değerlendirilen konularda IAEA'nin güvenlik standartları serisinin, tasarımcı ülkenin mevzuatının ve gerekli ise IAEA'nin kılavuz dokümanları ile diğer ülkelerin mevzuatlarının kullanılması ile düzenleyici dokümanlar açısından eksik olmadan lisanslama yapılabilecektir. Ayrıca NGS'lerin lisanslanması sürecinde TAEK tarafından yeni yönetmelik ve kılavuz dokümanları da hazırlanmaktadır.

Ülkemizde kurulması planlanan nükleer güç santrallerinin işletilmesi ve işletmeden çıkarılması sırasında ortaya çıkacak kullanılmış yakıtlar ve radyoaktif atıkların yönetimine ilişkin teknik ve idari hükümler Radyoaktif Atık Yönetmeliği'nde belirlenmiştir. Ancak Akkuyu NGS'nin kullanılmış yakıtlarının yönetimine ilişkin nihai karar henüz verilmemiştir.

5. TÜRKİYE İÇİN NÜKLEER ENERJİ SEÇENEKLERİ

Nükleer yakıtlar (233U, 235U, 239Pu gibi), kimyasal yakıtlara (kömür, petrol gibi) nazaran birim kütle başına (kg) takriben 108 misli daha fazla enerji ihtiva etmektedirler. Bakıldığı zaman konvansiyonel teknolojiden nükleer teknolojiye geçiş esnasında, medeniyet ve teknoloji alanında yapılan sıçrama, yelkenli gemiden buharlı gemiye, atlı arabadan benzinli motorları kullanan arabalara ve uçaklara geçişte yaşanan tekâmülden çok daha büyük olmuştur. Bunun sebebi de nükleer reaktörlerin en önemli vasfının, yüksek teknolojinin lokomotifi olması olarak görülmektedir. 2017 yılı başı itibarıyla dünyada toplam >391 GWe kurulu güce sahip 448 nükleer reaktör faaliyet halindedir [36,37]. Bunun yanı sıra toplam >61 GWe kurulu güce sahip 61 nükleer reaktörün inşaatı da yürümektedir. Elektrik üretmekte olan nükleer reaktörleri şöylece sınıflandırabiliriz:

- Basınçlı su reaktörleri (PWR, %~68,8)
- Kaynar su reaktörleri (PWR, %~9,5)
- Ağır su reaktörleri (PHWR, %6,5)
- Hafif su grafit reaktörleri (RBMK&EPG, %2,7)
- Gaz-grafit reaktörleri
- Hızlı su reaktörler (FB)
- Askeri reaktörler (denizaltılar, uçak gemileri ~2,000)
- Uzay reaktörleri (termo-elektrik, thermiyonik, ~30)

Mevcut reaktörlerin durumuna baktığımız zaman çoğunun hafif su moderatörlü ya basınçlı su reaktörü veya kaynar su reaktörü olduğunu görülmektedir. Bir miktar ağır su reaktörü varken, sadece İngiltere'de kullandığı gaz grafit reaktörleri bulunmaktadır. Fransa hızlı birtakım reaktörler yapabilmektedir ve bu sayede uranyum 238'i de değerlendirebilmektedir. Bunun yanında da askeri amaçlı denizaltılar ve uçaklardaki nükleer reaktörlerin sayısı pek belli değildir. Nükleer güç santrallerinin sayısı aşağı yukarı 440-450 civarında olduğu bilinir iken askeri maksatlı reaktörlerin sayısı 2000 civarında tahmin edilmektedir. Günümüzde sadece Rusya, uzay reaktörlerini başarıyla gerçekleştirmiştir. İlk uzay reaktörünü 1964'te ABD yapmış olmasına rağmen kısa bir süre sonra atık ısı mekanizmasındaki arıza nedeniyle bu reaktör sönmüş durumdadır. Mevcut durumda Rusya yaklaşık 30 kadar askeri amaçlı termo-elektrik, thermiyonik enerjisine dönüşümlü reaktör kullanmıştır.

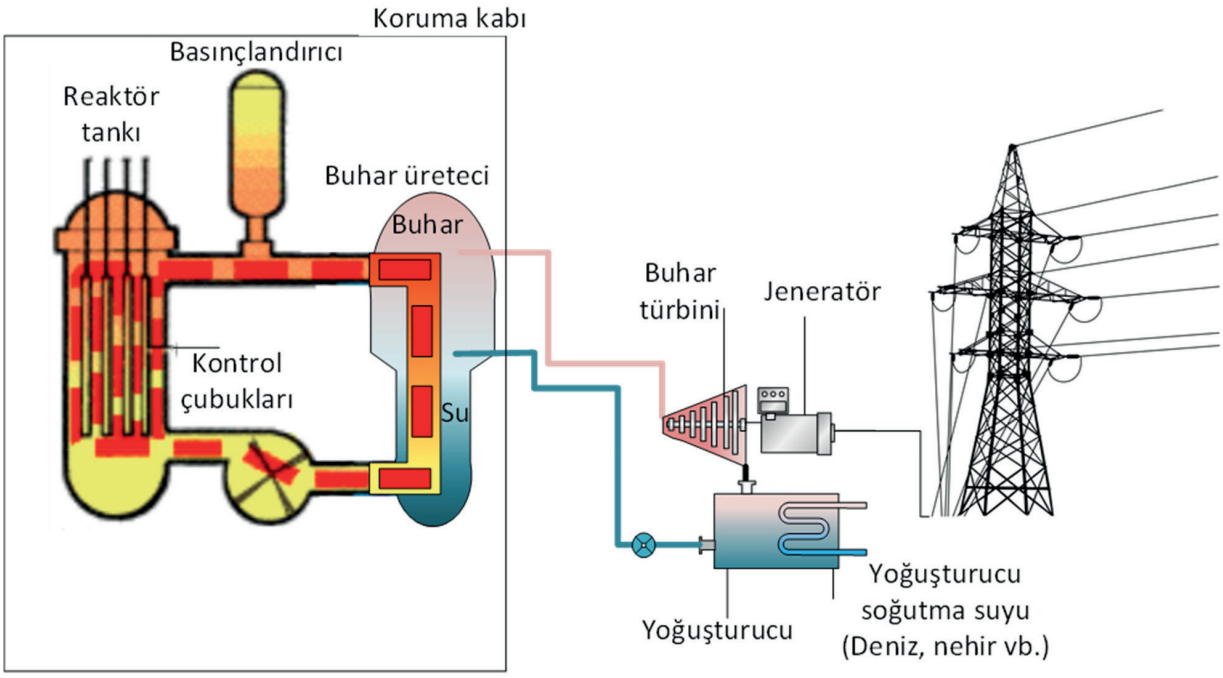
İleriye dönük olarak dördüncü nesil reaktörleri ve füzyon reaktörleri üzerindeki çalışmalar yoğun olarak yürütülmektedir. Füzyon teknolojisi, insanoğlunun teknoloji alanında karşısına çıkan en zorlu teknolojilerden biridir. Fakat enerji ihtiyacını kesin ve mutlak olarak çözme potansiyeline sahiptir. İki ağır hidrojen çekirdeği (D, T) veya (D, D) reaksiyonlarıyla füzyon enerjini açığa çıkarırlar. Tabiatta bulunan suyun takriben 1/5000 kadarı ağır hidrojen olan döteryumdan teşekkül eder. Bir litre tabii sudaki döteryumdan elde edilen füzyon enerjisi, 300 litre benzinin enerjisine eşdeğerdir. Sadece bu, milyarlarca yıl tükenmeyecek enerjiye tekabül eder. Diğer çok önemli bir füzyon yakıtı olan 3He dünyada bulunmasa bile Ay tozunun ilk 50 cm'lik tabakasında 109 kg, Jüpiter ve Satürn'ün atmosferlerinde 1022 kg, Uranüs ve Neptün atmosferlerinde de 1020 kg kadar mevcuttur.

Nükleer santraller çok sıkı bir radyasyon denetimi altında bulunurlar. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın verdiği bilgilere göre, uranyum filizin elde edilmesinden, atık nükleer yakıtların depolanmasına kadarki sürede, bütün nükleer teknolojinin çevreye yaydığı radyasyon miktarı, kişi başına tabii radyasyonun 1/1000'i kadardır. Radyasyon kirliliğinin temel kaynağı kömür santralleridir. Kömür içinde ortalama uranyum miktarında 1,3 ppm, toryumdaki de 3,2 ppm kadardır. ABD'deki Çevre Koruma Ajansı'nın (Environmental Protection Agency-EPA) yayınladığı bilgilere göre, kömür santrallerinin kül ve duman halinde çevreye saldıkları uranyum ve toryumun neden olduğu radyasyon kirliliği, aynı enerjiyi üreten nükleer santrallerin sebep olduğu toplam radyasyon kirliliğinin 100 misli civarındadır.

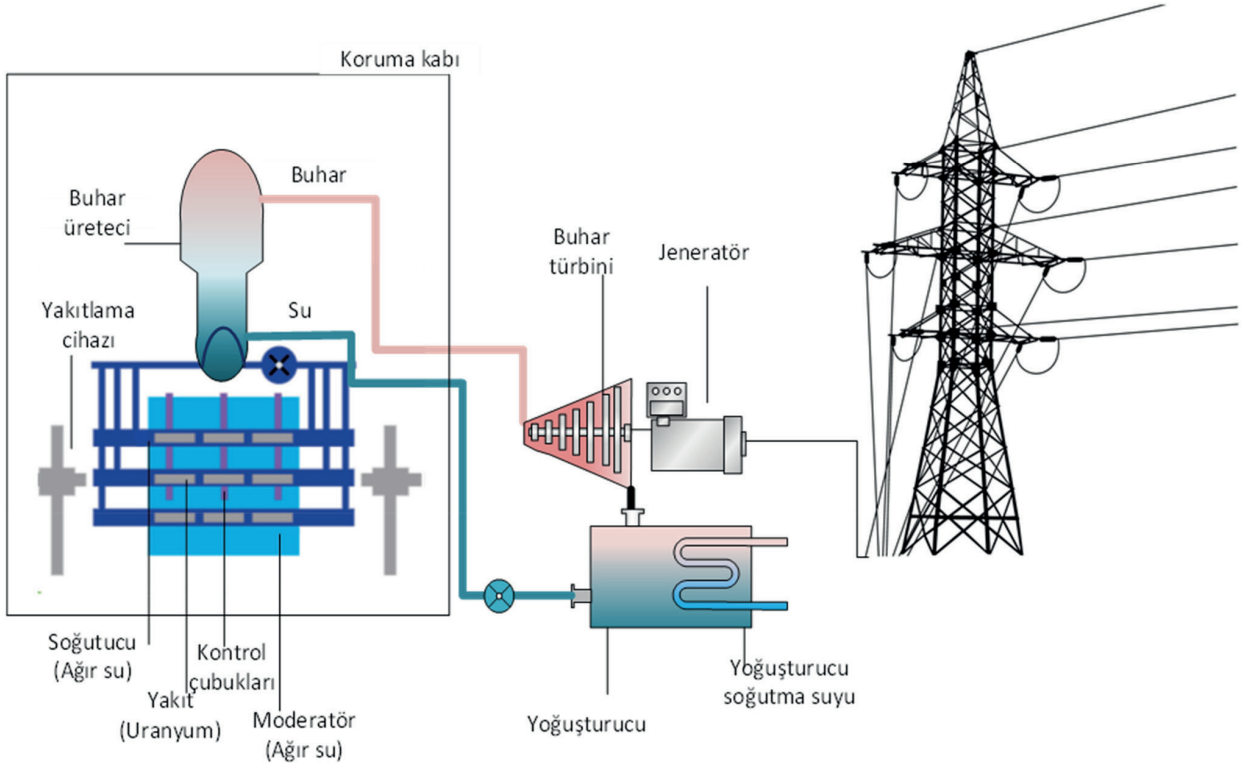
Türkiye için ilk elde iki tip nükleer reaktör söz konusu olabilir:

- Zenginleştirilmiş nükleer yakıt kullanan hafif su soğutmalı nükleer reaktörler,
- Tabii uranyum kullanan ağır su soğutmalı nükleer reaktörler (CANDU).

Hafif su reaktörlerine bir örnek olarak verilen bir basınçlı su reaktörlü güç santrali şeması *Şekil 6*'da verilmiştir. Basınçlı su reaktörleri, reaktör çekirdeğinin yüksek basınçlı su ile soğutulduğu nükleer reaktörlerdir. Hafif su reaktörleri zenginleştirilmiş yakıt kullandıklarından, bu yönden önemli bir dış bağımlılığa sebep olurlar. Ayrıca hafif su reaktörlerinin kazanlarının, soğutucu akışkanın sıcaklık (~350 °C) ve basınçlarına (~

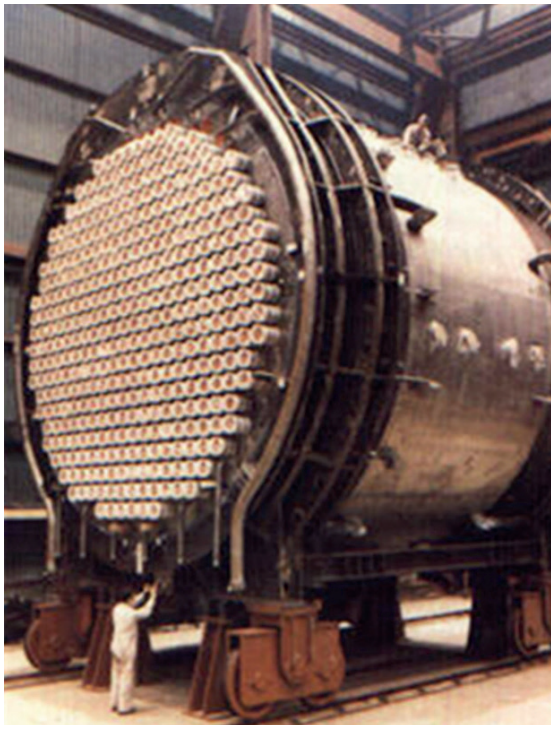


Şekil 6: Basınçlı su reaktörü.



Şekil 7: CANDU nükleer güç santrali şeması

160 atm) dayanmaları gerekir. Çapları 4-6 m, cidar kalınlıkları da 20-30 cm civarındaki bu kazanların yüksek alaşımlı çelikten hatasız olarak imal edilmeleri gerekir.



Şekil 8: CANDU reaktör kazanı (Kaynak [11]'den alınmıştır).

CANDU (CANada Deuterium-Uranium reactor) reaktörleri ağır su moderatörlü, ağır su yavaşlattırıcısı kullanan, tabiî uranyum kullanan, mütevazı nükleer teknolojili ülkelerin de yapabileceği nispeten basit yapılı bir reaktördür. Basit bir şeması *Şekil 7*'de gösterilmiştir.

Bu reaktörler tabiî uranyum kullandıklarından nükleer yakıt yönünden tam bağımsızlığa imkân verirler. Reaktör kazanı sadece kendi ağırlığını taşır. Bir CANDU reaktör kazanı örneği *Şekil 8*'de gösterilmiştir. Kazan cidarı 60-70°C'da moderatör sıcaklığına maruzdur. Bu yüzden düşük vasıflı, 2,5 cm kalınlığında çelik sacdan imal edilir. Borular içinde akan soğutucu akışkanın sıcaklık ve basıncı ise birkaç mm kalınlığındaki basınç tüplerince karşılanır. CANDU reaktörlerinde yakıt değişiminin reaktör çalışırken yapılabilmesi de işletim açısından önemli bir avantajdır.

5.1 Türkiye'nin Nükleer Yakıtlar Potansiyeli

Nükleer enerji teknolojisinin gelişimi ve tarihi, nükleer yakıtların anlaşılmasıyla paralellik göstermektedir. Uranyum bilindiği üzere temel nükleer yakıt hammaddesidir ve günümüzde nükleer güç santrallerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber doğadaki uranyumun sadece binde yedisi (%0,71) bölünebilme yeteneğine sahip (fisil, yavaş nötronlarla da parçalanabilen) Uranyum-235 izotopu içerir. Doğal uranyumlu yakıt ağır su (döteryum-hidrojenin bir izotopu) ile soğutulan reaktörlerde kullanılmaktadır. Hafif su ile soğutulan reaktörlerde ise zenginleştirilmiş uranyum yakıtı kullanılmaktadır. Zenginleştirilmiş uranyum, doğal uranyum içindeki Uranyum-235 izotopu oranını artırmak amacıyla zenginleştirme işlemi ile elde edilmektedir [38]. Temel olarak kullanılan nükleer reaksiyonlar aşağıdaki gibidir [39].

235 U Bölünmesi:	$^{235}U(n,\gamma) \rightarrow {}^{236}U^* \rightarrow X + Y + 2{,}5\ n + \text{Enerji}$
239 Pu Bölünmesi	$^{238}U(n,\gamma)\ {}^{239}U^* \rightarrow {}^{239}Np \rightarrow {}^{239}Pu$
	$^{239}Pu(n,\gamma)\ {}^{240}Pu^* \rightarrow X + Y + 2{,}5\ n + \text{Enerji}$
	$^{239}Pu\ t_{1/2} = 2.41 \times 10^4$ sene
Hidrojen Birleşmesi:	$^2H + {}^2H \rightarrow {}^3He + n + \text{Enerji (D-D)}$
	$^2H + {}^3H \rightarrow {}^4He + {}^1H + \text{Enerji (D-T)}$
	$^6Li + n \rightarrow {}^3H + {}^4He$ (Trityum elde edilmesi)
Toryum Uranyum Çevrimi:	$^{232}Th(n,\gamma)\ {}^{233}Th^* \rightarrow {}^{233}Pa \rightarrow {}^{233}U$
	$^{233}U(n,\gamma)\ {}^{234}U^* \rightarrow X + Y + 2{,}5\ n + \text{Enerji}$
	$^{233}U\ t_{1/2} = 1.59 \times 10^5$ sene

Toryum fisil bir madde olmadığı için tek başına nükleer yakıt olarak kullanılamaz ve fisil bir izotop olan U233'e dönüşebilmesi için de bir tetikleyiciye yani nötrona gereksinimi vardır. Bu sebeple toryumun nükleer yakıt olarak kullanılabilmesi için fisil izotoplar olan Uranyum-235 veya Plütonyum-239 ile beraber kullanılmalıdır. Günümüzde toryumun nükleer yakıt olarak kullanılması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır ancak hâlihazırda çalışan ticari ölçekli bir nükleer reaktör bulunmamaktadır [38]. Toryumun kullanılması için tetikleyici dış nötron kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda iki seçenek öne çıkmaktadır:

a) Geleneksel Teknolojiler (MOX: %5 U veya Pl, %95 Th)
b) Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler (ADS)

Geleneksel teknolojiler arasında toryum kullanmaya müsait olanlar:

- Basınçlı Ağır Su Reaktörleri (PHWRs - CANDU):
- Yüksek Sıcaklıkta Gaz Soğutmalı Reaktörler (HTR'ler)
- Kaynar (Hafif) Su Reaktörleri (BWR'ler)
- Basınçlı (Hafif) Su Reaktörleri (PWR'ler)
- Hızlı Nötron Reaktörleri (FNR'ler)

Reaktör ihalelerinde bunlardan biri seçilmelidir. Geleneksel teknolojilere dayalı toryum yakıtlı reaktörlerin 5-10 yıl içinde ticarileşmesi öngörülmektedir.

Öte yandan ABD, AB, Çin ve Hindistan başta olmakla birçok ülkede özel olarak toryum kullanımına yönelik Erimiş Tuz Reaktörleri (MSR'ler) teknolojisi gelişmektedir. Bu reaktörlerin 2020'lerde enerji üretiminde kullanımı planlanmaktadır. Bu nedenle Türkiye en kısa zamanda MSR çalışmalarını başlatmalıdır. MSR'lerin 10-15 yıl içinde ticarileşmesi öngörülmektedir.

Uranyum ile kıyaslandığında, toryum-uranyum karışık yakıtlar daha az plütonyum ürettiği görülmektedir. Bunun yanı sıra bu yakıtlar yüksek yanma oranında çalışabilir, bu da yakıtın reaktörde kalma süresini aynı zamanda yakıt yeniden yükleme periyodunu uzatarak tesis kapasite faktörünün artmasına sebep olmaktadır [38]. Ülkemizdeki yüksek toryum rezervleri göz önüne alınırsa bu alandaki teknolojilere yönelmek enerji alanında dışa bağımlılığımızı büyük ölçüde azaltacaktır. Toryum Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler ile kullanıldığında sözün tam anlamında "Yeşil Nükleer Enerji"ye tekabül etmektedir. Bu sistemler Uranyum ve Plütonyum gerektirmemektir. Aynı zamanda bu sistemlerde zararlı nükleer atık miktarı geleneksel reaktörle nazaran çok daha düşüktür. Bu bağlamda en kısa zamanda Ulusal Proton Hızlandırıcısı Laboratuvarımızı kurmalıyız (Aynı teknoloji gelişmiş ülkelerde en etkin kanser tedavi yöntemi olarak kullanılmaktadır). HSS'lerin 15-20 yıl içinde ticarileşmesi öngörülüyor.

OECD Nükleer Enerji Ajansı ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı raporlarına göre dünya genelindeki 6,7 milyon tonluk toryum rezervinin %11'i Türkiye'dedir [40] ve bu oranla dünya genelinde ikinci sırada bulunmaktayız. *Tablo 3*'te diğer belli başlı ülkelerin de rezervleri sunulmuştur. Türkiye'nin belirlenmiş toryum rezervi bin yıllar boyunca tüm enerji gereksinimimizi karşılar boyuttadır.

Ülkemizdeki rezervlerin verimli kullanımı adına bazı çalışmalar da yapılmıştır. Türk bilim insanları toryum yakıtlı Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler (HSS) ile ilgili çalışmalara 1997 yılında Nobel ödüllü Profesör Rubbia'nın CERN'de yapılan çalışmaların evraklarını bize iletmesi ile başladı. Bu evrakları inceledikten sonra 1998 yılında TAEK başkanlığına konuyla ilgili bir Bilgi Notu sunulmuştur. Devamında 2001 yılında düzenlenen 1. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi'nde HSS ile ilgili birkaç sunum yapıldı. 6-7 Ocak 2003 tarihlerinde Türk Fizik Derneği, DPT ve TAEK desteğiyle Eskişehir'de "Toryum Yakıtlı Nükleer Teknolojiler" Çalıştayı düzenlenmiştir. Çalıştayın sonuçları Şubat ayında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nda düzenlenen bir günlük toplantıda irdelendi. Bunun ardınca düzenlenen Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu'nda (BTYK-9) "Toryumun Enerji Kaynağı Olarak Potansiyelinin Araştırılması" başlıklı karar kabul edildi.

Tablo 3: Dünya Toryum rezervleri (Kaynak [40]'tan uyarlanmıştır).

Ülke	Rezerv (ton)	Yüzde
1. Hindistan	846 500	%12,5
2. Türkiye	**744 000**	**%11**
3. Brezilya	606 000	%9
4. Avustralya	521 000	%7,7
5. ABD	434 000	%6,4
6. Mısır	380 000	%5,6
Dünya Rezervi	**6 730 000**	

2005 yılında düzenlenen BTYK-12 kararları arasında Nükleer Teknoloji kapsamında:

- Toryumun cevherden ayrıştırılması ve saflaştırılması proseslerinin geliştirilmesi
- Hızlandırıcılı sıvı metal soğutmalı reaktör (enerji yükselteci) tipiyle ilgili çalışmalar

öngörülüyordu.

2007 yılında düzenlenen BTYK-15 nükleer teknoloji ile ilgili aşağıdaki kararı kabul etmiştir:

"Ulusal Nükleer Teknoloji Geliştirme Programı'nın uzun vadeli bir devlet politikası olarak gerçekleştirilmesi için gereken tüm tedbirlerin alınması, program bütçesinin gerek görüldüğünde revize edilmek kaydıyla, 2007-2015 dönemi için tahsis edilmesi ve Ulusal Nükleer Teknoloji Geliştirme Programı'nın ilgili kurum ve kuruluşlarla birlikte eşgüdüm içinde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından gerçekleştirilmesi."

Bunun ardınca düzenlenen Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu (BTYK)-16'da Sinop Nükleer Teknoloji Merkezi (SNTM) kurulması kapsamında yürütülen faaliyetler arasında "SNTM'de Toryum Mükemmeliyet Merkezi kurulması çalışmaları sürdürülmektedir" ibaresi yer almaktadır. Prof. Dr. Saleh Sultansoy'a göre yukarıda belirtilen BTYK kararları uygulanmış olsaydı Türkiye, toryum konusunda şu anki konumundan çok farklı bir yerde olurdu.

Dünyada diğer ülkelere bakıldığı zaman Çin, Japonya, Hindistan, ABD, G. Kore, İngiltere, Fransa, Belçika, Norveç ve Rusya başta olmak üzere birçok ülke toryumla ilgili ulusal programlarını açıklamıştır. Bu ülkelerin çoğunda toryum çalışmalarında bir ticarileşme beklentisinin üst düzeyde olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte toryumla ilgili uluslararası işbirlikleri de oluşmaktadır. Örneğin, AB'de hızlandırıcı sürümlü sistemlerle ilgili MYRRHA projesi, MSR ile ilgili SAMOFAR projesi yürütülmektedir. Maalesef ülkemizde benzer bir ulusal program henüz devreye girememiştir ve uluslararası işbirliklerine de katılım başlatılamamıştır.

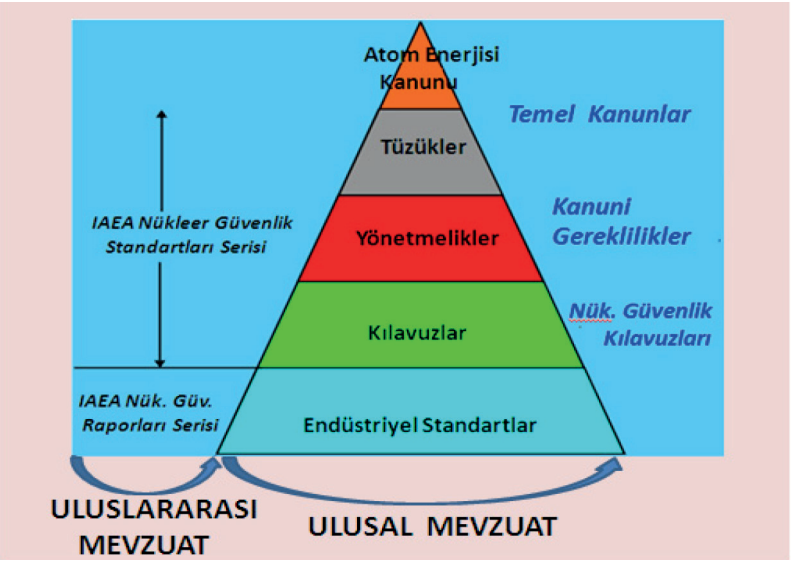
5.2 Türkiye İçin Nükleer Enerji Mevzuatı ve Atık Yönetimi

"Nükleer teknoloji" terimi hayli geniş anlamlı bir ifade olmakla beraber, ticari anlamda nükleer teknoloji ile "nükleer teknikler ve nükleer güç kullanımı için üretilen ve geliştirilen ekipmanlar, elemanlar, sistemler ve ilgili hizmet üretimleri" kastedilmektedir. Bu bağlamda, ticarileşmiş ve kullanımı yaygın şekilde uygulanmakta olan nükleer güç üretimi çerçevesinde nükleer teknoloji ifadesi; nükleer fisyon reaksiyonunun kontrollü şekilde sürdürülmesi sırasında ortaya çıkan önemli miktardaki enerjinin kullanımına ilişkin tüm faaliyet, ekipman ve sistemlerin üretilmesi ve hayata geçirilmesini kapsıyor olmaktadır [41].

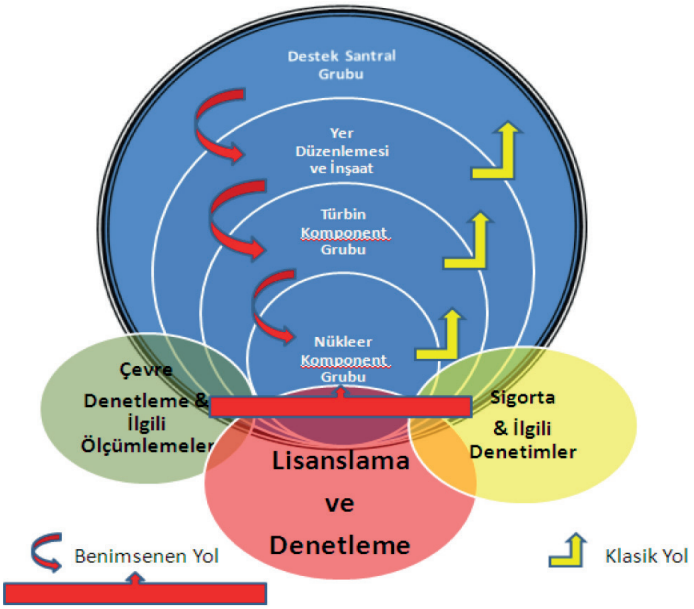
Bilindiği üzere ülkemiz, atom enerjisi konusunda ilk harekete geçen ülkelerden biri olmasına karşın ve de birçok kez nükleer santral kurulması girişimlerinin olmuş olmasına rağmen nükleer santral kurma konusunda istenen sonuca ulaşılamamıştır [42,43]. Oysa Türkiye için nükleer santral kurulması önemli bir seçenektir [44,45].

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra nükleer teknolojinin gelişmesiyle barışçıl kullanım amaçlı farklı alanlarda uygulamalar kendini göstermiştir. Öncelikle enerji santrali olarak nükleer güç santrallerinin gelişimi ortaya çıkmış aynı zamanda nükleer tekniklerin gelişmesi gözlenmiştir. Her iki faaliyet alanı için de nükleer güvenlik öne çıkan ana konu olmaktadır. Bununla beraber söz konusu bu iki farklı konu arasında değişik şartlar söz konusu olduğundan çoğu kez farklı mevzuat gruplarıyla muhatap olunmaktadır. Nitekim ülkemizde de benzer mevzuat yapılanması görülmektedir. Bu bağlamda, iki t*üzük bulunmaktadır. Bunlar;* "Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük" ve "Radyasyon Güvenliği Tüzüğü" ismini taşımaktadır.

Bilindiği üzere, 2690 Sayılı Kanun ile "Barışçıl amaçlarla Türkiye'de atom enerjisinin kalkınma planlarına uygun olarak ülke yararına kullanılmasını sağlamak, temel ilke ve politikaları belirleyip önermek, bilimsel, teknik ve idari çalışmaları yapmak, düzenlemek, desteklemek, koordine etmek ve denetlemek üzere" Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (1956 yılında kurulmuş olan Atom Enerjisi Komisyonu yerine) 1982'de yapılanmış bulunmaktadır. Kanuna bağlı olarak çıkan adı geçen tüzükler bulunmaktadır. Söz konusu mevzuatlar, klasik mevzuat hiyerarşisi içinde ulusal ve uluslararası diğer mevzuatla da desteklenmektedir. *Şekil 9*'da nükleer mevzuat hiyerarşisi şematik olarak görülmektedir [46–48].



Şekil 9: Nükleer Mevzuat Hiyerarşisi.(Kaynak [48]'den uyarlanmıştır).



Şekil 10: Nükleer Teknoloji Transfer Modeli (Kaynak [43]'den uyarlanmıştır).

Öte yandan, bilindiği üzere ülkemizde, milletlerarası antlaşma ile ve "yap-işlet" modeli ile nükleer santral kurdurulması benimsenmiş bulunmaktadır. Türkiye nükleer santral kurmak konusunda benimsediği bu model ile aynı zamanda nükleer teknoloji transferi için de farklı bir yol izlemek durumu ile karşı karşıyadır.

Türkiye'nin nükleer teknolojiye girişi ve/veya katkı verişi, nükleer teknolojiyi geliştiren ülkelerden farklı olarak şematik olarak *Şekil 10*'daki biçimde olacaktır [43].

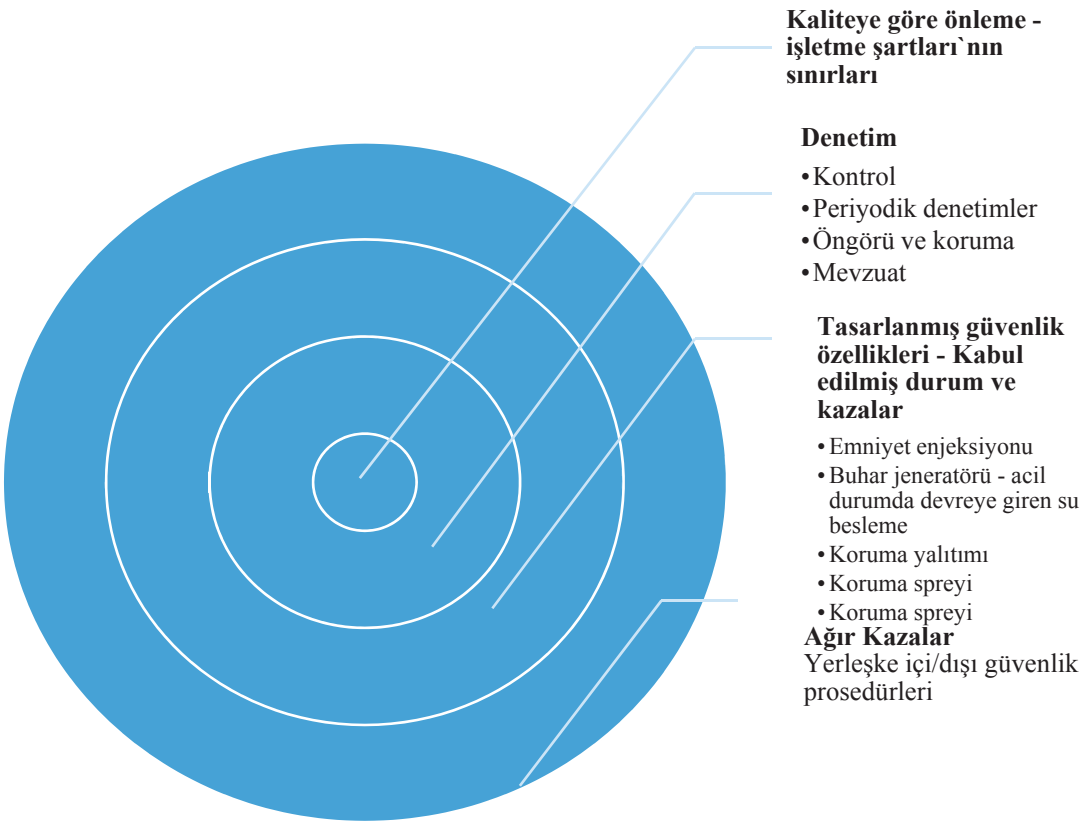
Benimsenen nükleer teknoloji transferinin böylesi farklılık içermesi nedeniyle nükleer mevzuatı da buna göre düşünmek gerekmektedir. Örneğin, tasarımı ve işletimi üstlenen ülkenin veya ülkelerin mevzuatlarının da etkin olması söz konusu olacaktır. Fazla olarak, Türkiye'de kurulması planlanan 3 farklı bölgedeki nükleer santrallerin Akkuyu'dan sonraki 2 bölgedeki nükleer santrallerin yapımı farklı ülke veya ülkelerle "yap-işlet" modeliyle veya "yap-işlet-devret" modeliyle antlaşma yoluyla yapılmasının benimseneceği izlenimi edinilmektedir. Bu durumda "çok sayıda"

ülkenin mevzuatının Türk mevzuatı ile uyumunun sağlanması gerekecektir. Bu husus özellikle zaman içinde kendini gösterecektir.

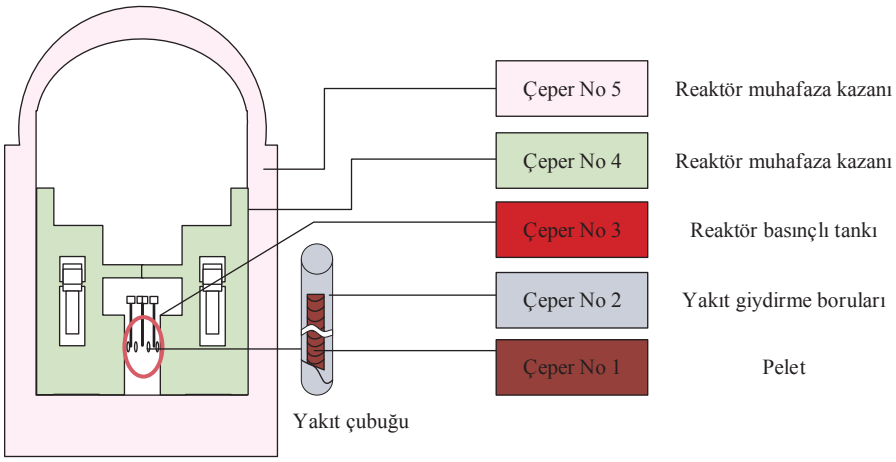
Burada önerilebilecek bir çözüm; Türk mevzuatının esnek tutulup, tüm ülkeler için kabul görüyor olması gereken IAEA mevzuatını referans vermektir. Bir başka çözüm, belli şartlarda hangi mevzuatın öne çıkarılacağını netleştirmektir. Ancak bu çözümü hayata geçirmek, ince detaylara dikkat etmekle mümkündür.

Nükleer santraller için normal çalışma şartlarında sorun olmamasına karşın kaza halinde istenmeyen şartlar oluşabilmektedir. Ancak burada da ciddi, büyük ve katastrofik kaza olarak nitelenebilecek şartlarda, çevrenin etkilenmesi riski söz konusu olabilmektedir. Şunu da belirtmek gerekir ki; nükleer santrallerde "tüm tedbirlerin alınmış olmasına karşın istem dışı olarak meydana gelen ve istenmeyen, olumsuz sonuçlara neden olan olay" olarak tanımlanan kazanın meydana gelmemesi için alınan tedbirler, başka hiçbir enerji santralinde olmadığı kadar arttırılmış bulunmaktadır. Bu bakımdan, nükleer santraller, tüm enerji santralleri göz önüne alındığında olasılık olarak en düşük kaza riskine sahip santraller arasındadır.

Buna karşın, her tür tedbire rağmen bir nükleer santralde kaza olması halinde önemli olan radyasyon riski olmaktadır. Tabii ki radyasyon riski, alınan nükleer güvenlik tedbirlerine ve geliştirilen teknolojik çözümlere karşın üzerinde durulması ve değerlendirilmesi gereken bir olgudur. Bu bağlamda, nükleer santraller için başta sıkı bir denetleme, teknik emniyet anlamına gelen "derinliğine nükleer güvenlik" felsefesi ile nükleer güç santrallerinin tasarımlanması ve hayata geçirilmesi benimsenmiş bulunmaktadır [49]. *Şekil 11*'de derinliğine nükleer güvenlik felsefesi tasarımsal olarak ve *Şekil 12*'de de mühendislik uygulaması olarak şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 11: Tasarımsal olarak derinliğine nükleer güvenlik felsefesi (Kaynak [50]'den uyarlanmıştır).



Şekil 12. Mühendislik uygulaması olarak derinliğine nükleer güvenlik felsefesi (Kaynak [51]'den uyarlanmıştır).

Derinliğine güvenlik felsefesi; birden fazla ve üst üste yerleştirilmiş bir dizi güvenlik engeli ve/veya eleman-sistemler ile nükleer güvenliğin sağlanmasını ifade etmektedir. Bunlar tasarımsal olarak; ilgili standart mevzuat ve limitlerden başlanarak, sıkı kontrol-denetim prosedürlerine uyulacak şekilde mühendislik tasarımlarının yapılması ve olabilen en büyük kaza senaryoları için tehlike anı sistemleri ve önlemleriyle söz konusu tasarımların desteklenmiş olması gerekmektedir.

Mühendislik uygulaması olarak derinliğine nükleer güvenlik felsefesi ise yakıt paletlerinden itibaren, uygun yakıt zarfı, uygun reaktör kabı, çift katlı reaktör dış güvenlik kabuğu dizaynı ile üst üste bir dizi tedbirin alınması ve bunların tehlike anı devreye girecek sistem ve ekipmanlarla desteklenmesi anlamına gelmektedir.

Derinliğine güvenlik felsefesinin uygulanması esas itibarıyla tasarım aşamasıyla ilgilidir. Ancak inşaat ve işletmede de ilgili kalite kavramlarıyla hayata geçiriliyor olması gerekmektedir. Türkiye'nin nükleer santral kurmakta benimsediği model göz önüne alındığında burada lisanslama ve denetlemenin önemi ve bir o kadar da ilgili mevzuat konusu öne çıkmaktadır.

Atık Yönetimi

Bilindiği üzere nükleer santraller için atık yönetimi, radyoaktif olan kullanılmış eleman ve özellikle kullanılmış yakıt için uygulanan ve uygulanması gereken işlemler manzumesini ifade etmektedir. Radyoaktivite açısından nükleer santral atıkları 3 grupta toplanabilir. Bunlar, düşük, orta ve yüksek seviye atıkları olmaktadır.

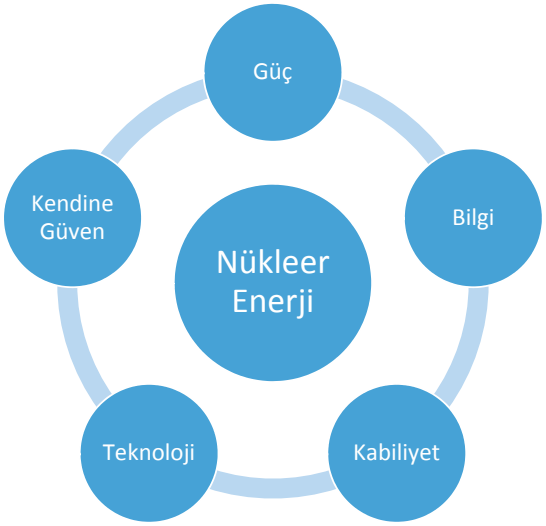
Düşük seviye atıklar; nükleer tesislerde kullanılan temizlik malzemesi, koruyucu elbise gibi elemanlardır. Orta seviye atıklar su filtreleri vb. gibi radyoaktif hale gelen eleman ve malzemeleri betimler. Yüksek seviye atıklar ise kullanılmış yakıtlardır. Tüm atıklar önemli olmakla beraber, yüksek seviye atıkların üzerinde özellikle durulması gerekmektedir.

Tüm atıkların depolanması ve kontrol altında tutulması kısa ve orta vade için uygulanacak ilk atık yönetimi eylemidir. Depolamayla kısa yarı ömürlü radyoizotopların radyoaktiviteleri düşecektir. Ancak uzun yarı ömürlü radyoizotoplar özellikle atık yönetimi için önemli olan grubu oluşturmaktadır. Uzun yarı ömürlü radyoaktif atıklar için geliştirilmiş, çimentolaştırma, camlaştırma ve bu şekilde elemanların dayanıklı elemanlar için paketlenmesi ve gömülmesi gibi çözümler bulunmaktadır. Ayrıca biyolojik bazı yöntemlerle uzun yarı ömürlü radyoizotopların konsantrasyonlarının doğadaki seviyelerine indirilerek çevre için sorunsuz hale getirmek gibi çözümler üzerinde de çalışılmaktadır.

Türkiye'nin nükleer santral için benimsediği model bağlamında nükleer atıkların da kurucunun sorumluluğunda olması beklenir. Kurucular, kullanılmış nükleer yakıtın stratejik önemde ve değerde radyoizotop içermesinden ötürü, alıp işlemeyi isteyeceklerdir. Ancak kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesinden ve kullanılabilecek radyoizotoplarla stratejik nükleer madde ayrıldıktan sonra kalan artığı Türkiye'ye bırakmak isteyebilirler. Burada yapılacak karşılıklı görüşme ve pazarlıklarda konunun detayına vakıf olunarak müzakerelerin yapılmasının gerekliliği önem arz etmektedir.

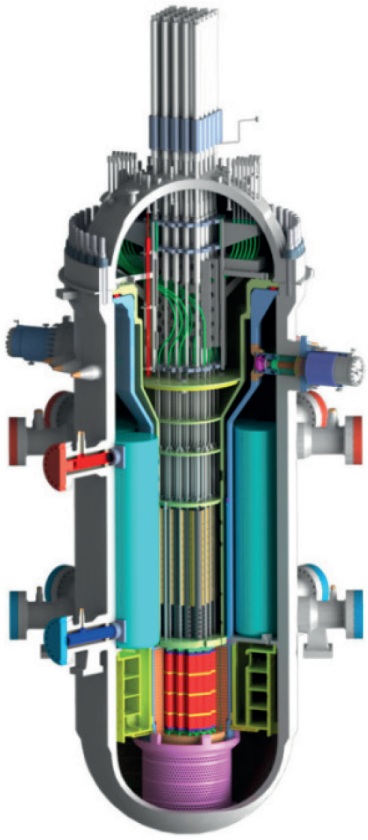
6. NÜKLEER ENERJİDE ALTERNATİF BOYUTLAR

Bu bölümde, *nükleer enerji* konusuna daha geniş perspektiften bakılıp, alternatif boyutları da işin içine alacak şekilde nükleer enerji incelenecektir. Bilindiği gibi bir ülkenin ekonomik bağımsızlığı için teknolojik kabiliyet olmazsa olmaz niteliktedir. Güney Kore'nin aslında başarısının arkasındaki anahtar, nükleer enerjide ulaştığı seviye, orada yakaladığı teknolojik başarı olduğu unutulmamalıdır. Bakıldığı zaman nükleer enerji sadece elde ettiğimiz elektrik değildir. *Şekil 13*'te gösterildiği gibi nükleer enerjinin farklı boyutları vardı. Bunlar içinde bilgi üretimi, aynı zamanda kabiliyetlerin kazanımı ve bunun beraberinde teknolojik başarıya geçebilme ve neticesinde ise bir ülkenin bir nevi kendine güveninin artması, kendi ayakları üzerinde durabilmesi vardır. Atoma şekil verme kabiliyeti beraberinde güveni getirecektir.



Şekil 13: Nükleer enerjinin boyutları

Dünyaya baktığımız zaman farklı teknolojilerin, yeni açılım ve atılımların geldiği gözlemlenmektedir. Şu anda odak noktalarından birisi de küçük modüler reaktörlerdir (small modular reactor). Bunlara bakıldığı zaman getirdikleri pek çok avantajların olduğu görülmektedir. Bunların uygulama anlamındaki esnekliklerinden, gerektiğinde yenilenebilir enerji kaynakları ile olabilecek entegrasyonuna, bu reaktörlerin daha modüler hale dönüştürülmesine ve daha kısa sürede inşa edilmelerine, hareketli olarak bir lokasyondan bir başka lokasyona taşıma kabiliyetlerine ve hatta düşük ömür çevrim emisyonlarına varıncaya kadar pek çok avantajları sıralanabilir. *Şekil 14*'te Güney Kore tarafından dizayn edilmiş 100 MWe kapasiteli bir örneği görülebilir.



Şekil 14: Güney Kore tarafından dizayn edilen entegre küçük modüler reaktör şeması (Kaynak [52]'den alınmıştır).

Arjantin, Çin, Fransa, Almanya, Hindistan, İtalya, Japonya, Güney Kore, Rusya, Güney Afrika ve ABD küçük modüler reaktörlere sahip Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'na (IAEA) bağlı devletlerdir [53]. Bu ülkelerin yanı sıra Suudi Arabistan ve Endonezya gibi ülkeler de bu teknolojiye ilgi duymaktadır. Suudi Arabistan ve Güney Kore hükümetleri *Şekil 14*'te gösterilen SMART reaktörü için ortak bir projeye imza atmışlardır. Yapım aşamasındaki bazı KMR uygulamaları *Tablo 4'te gözükmektedir.*

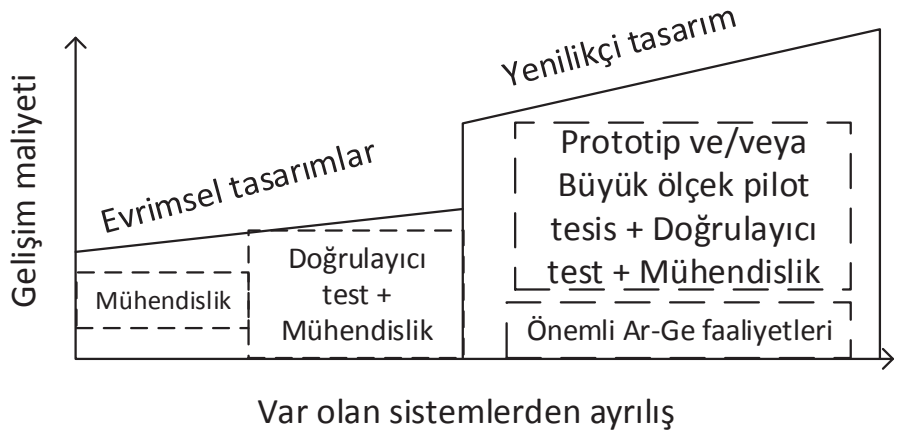
Tablo 4: Yapım Aşamasındaki Bazı KMR uygulamaları (Kaynak [53]'ten uyarlanmıştır).

Ülke	Reaktör modeli	Çıkış Gücü (MWe)	Tasarımcı	Birim sayısı	Saha alanı, Tesis Adı ve birim no	Ticari başlangıç
Arjantin	CAREM-25	27	CNEA	1	Atucha-2 sahasının yakınında	2017 ~ 2018
Çin	HTR-PM	250	Tsinghua Univ./ Harbin	2 modül 1 türbin	Shidaowan birim-1	2017 ~ 2018
Rusya Federasyonu	KLT-40S	70	OKBM Afrikantov	2 modül	Akademik Lomonosov birimleri 1 & 2	2016 ~ 2017
	RITM-200	50	OKBM Afrikantov	2 modül	RITM-200 nükleer tahrikli buzkıran gemisi	2017 ~ 2018

Nükleer enerji teknolojileri konusunda farklı açılımları, yeni araştırmaları yakalayabilmek için bir diğer husus ise doğru verilere ulaşmaktan geçmektedir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın açık olarak sunduğu veri tabanı ARIS [52] özellikle ileri reaktörler konusunda ilgi duyan bilim insanları için önemli bir kaynak konumundadır. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın mevcut tanımlarına göre ileri tasarımlar iki şekilde olabilir. Bunlar mevcut tasarımların ufak modifiye edilmesiyle oluşan "Evrimsel tasarımlar" veya mevcut sistemler veya tasarım yaklaşımları üzerinde radikal konsept değişimlere sebep olan "Yenilikçi tasarımlar"dır. *Şekil 15*'te İleri tasarım sürecinde çaba ve maliyetlerin etkisi gösterilmiştir. İleri tasarım hususunda Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın da kendi içinde bir sorguluma ve gayreti olduğu görülmektedir. Günümüzde inanılmaz derecede yenilenebilir enerjiye yönelim olduğu ve ülkelerin şu anda hamlelerini yenilenebilir enerjiye doğru yaptığı gözlenmektedir. Öte yandan yenilenebilir enerjiye de bakıldığı zaman söz konusu olan bölgesel değişimler, hava şartlarına, gece-gündüz arası farklar vesaire gibi değişimlerin getirdiği sıkıntılar vardır. Bunların aşılması gerekmektedir.

Bu noktada çığır açıcı yenilikçi tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bir tasarımın daha iyi bir güvenlikli ve daha ekonomik durumuna erişebileceğine dikkat edilmelidir. Atıkların yönetiminden verimliliğe, uygulamalardaki getirilebilecek esnekliklere kadar pek çok çalışma vardır. *Tablo 5*'te yenilikçi reaktör tasarımların özellikleri ve durumları gösterilmiştir.

Tüm bunların yanında, yakın dönemde nükleer güç santrallerinin yayılmasını zorlaştıran bazı hususlar olmuştur. Bunlar, NGS projelerinin yüksek ön sermaye maliyeti ve ilgili riskleri, Fukushima Daiichi kazasından sonra kamuoyunda oluşan rahatsızlıklar, daha az kısıtlama ve düzenlemelere sahip diğer enerji sistemleriyle rekabet edebilirlik, yeni nükleer programlara başlayan ülkelerde kurulum dönemi yaşanan zorluklar, radyoaktif atıkların işlenmesi ve kullanılmış yakıtın yönetimi şeklinde sıralanabilir. Bu maddelerin her biri nükleer güç santrallerinin yayılmasına belli bir direnç göstermektedir. Yalnız şu unutulmamalıdır ki bugün hangi enerji seçeneğini seçecek olursak olalım beraberinde bir yan etki gelecektir. Nükleer santrallerin elbette bazı sorunları vardır. Petrolün ilk kullanıma başlandığı yıllarda da pek çok sıkıntıları vardı, keza yenilenebilir enerjide de belli başlı sıkıntılar vardır. Dolayısıyla bunları doğru şekilde belirleyip ona göre hayata geçirmek gerekmektedir.

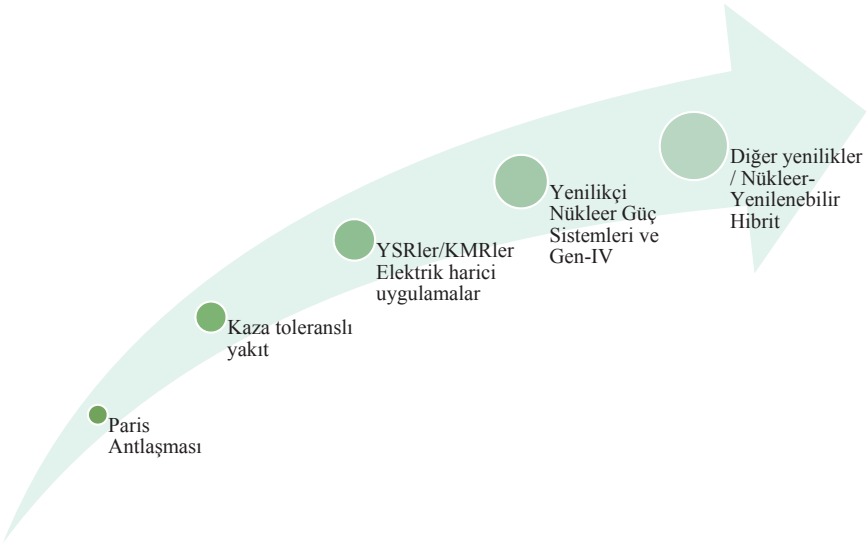


Şekil 15: İleri tasarımlar için geliştirme ve geliştirme maliyetleri ve mevcut tasarımlardan ayrılma (Kaynak [54]'den uyarlanmıştır).

Tablo 5: Yenilikçi reaktörlerin durumları (Kaynak [52]'den uyarlanmıştır).

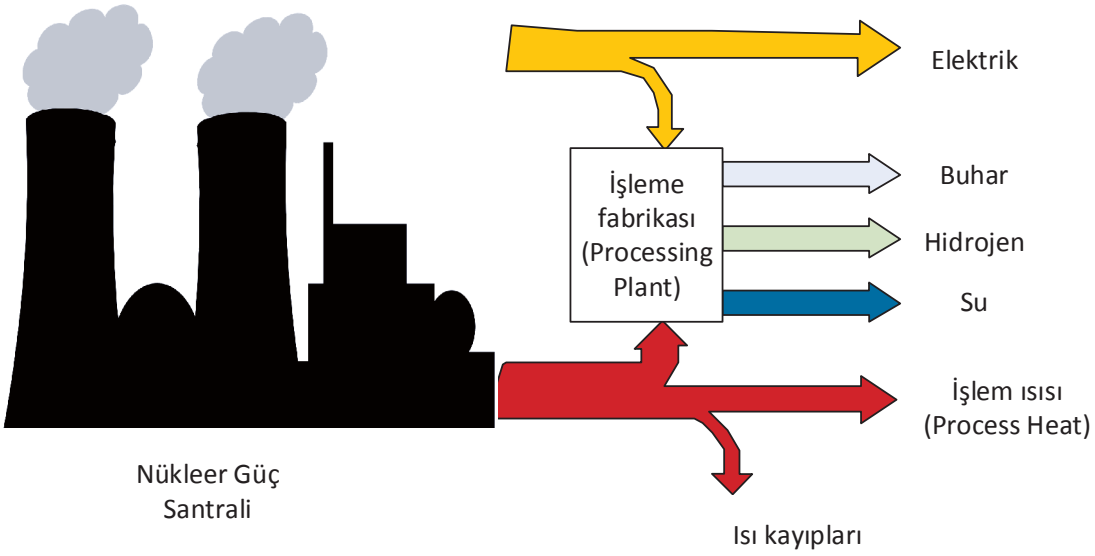
GIF adı **Generation IV International Forum**		**Soğutucu**	**Nötron spektrumu**	**Hâlihazırda üretim durumu**	**Anlık operasyonel durumu**	**Mevcut projeler**
SHR (SFR)	Sodyum soğutmalı Hızlı Reaktör	Sodyum	Hızlı	Üretilmiş	Çalışıyor	Var
KHR **(LFR)**	Kurşun soğutmalı Hızlı Reaktör	Kurşun ya da Kurşun-Bizmut	Hızlı	Üretilmiş (Denizaltı)	Çalışmıyor	Var
GHR **(GFR)**	Gaz soğutmalı Hızlı Reaktör	Gaz	Hızlı	Üretilmemiş	Çalışmıyor	Var
SKSR **(SCWR)**	Süperkritik Su Reaktörü	Su	Isıl ya da Hızlı	Üretilmemiş	Çalışmıyor	Var
ETR **(MSR)**	Erimiş Tuz Reaktörü	Tuz	Isıl ya da Hızlı	Üretilmiş	Çalışmıyor	Var
ÇYSR **(VHTR)**	Çok Yüksek Sıcaklık Reaktörü	Gaz	Isıl	Üretilmemiş	Çalışmıyor	Var

Şekil 16'da ise nükleer enerji sistemleri için uyulması gereken bir yol haritası gözükmektedir. Aralık 2015 yılında Paris İklim Konferansı yapıldıktan sonra ortaya bazı sonuçlar çıkmıştır. Örneğin, kazalara karşı daha toleranslı yakıt seçeneklerinin araştırılması, bunun yanında nükleer enerji sistemlerinden elektrik harici çıktılar ve uygulamaları da bir başka hususdur ve araştırılması gerekmektedir. Nükleer enerji sistemlerinin yelpazesi aslında olduğumuzun çok daha ötesindedir. Bunun yanında yol haritası içinde dördüncü nesil yenilikçi nükleer sistemlerin ileriye yönelik uygulamaları ve nihayetinde 2035 ve ötesi düşünüldüğünde entegre formda sistemler vardır. Nükleer enerjiyi mevcut yenilenebilir enerji sistemleri ile daha entegre daha güvenli bir forma taşıyarak, akıllı enerji sistemlerine, akıllı şebekelere evrilecek bir süreçte olayın fotoğrafının parçası yapmak önemlidir.



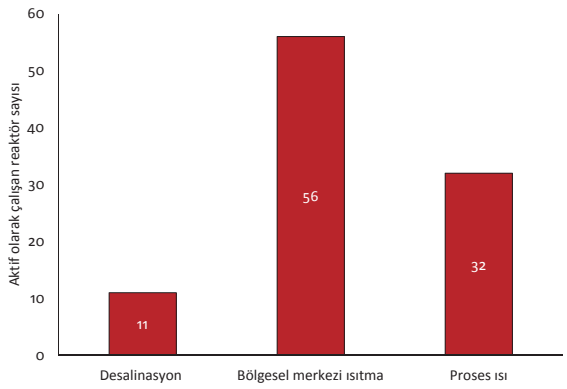
Şekil 16: Nükleer Kalkınma Komitesi (NDC) hedeflerini karşılayabilmek için yol haritası.

Baktığımız zaman elektriği hâlihazırda zaten üretebiliyoruz, burada söz konusu olan acaba mevcut proses ve atık ısıdan biz nasıl faydalanabiliriz ve hangi seçenekler ön plana çıkabilir sorusudur. *Şekil 17*'de nükleer kojenerasyon sistemleri için bazı alternatifler sunulmuştur. Santralin atık ısısından buhar ya da hidrojen üretebilmek mümkündür. Hatta bir adım ötesine geçip farklı sektörler için amonyak üretilebilir. Bunun yanında temiz su eldesi veya proses ısısını kullanabileceğimiz bölgesel ısıtma sistemleri, endüstriyel uygulamalar gibi seçenekler mevcuttur. Ortaya çıkan fotoğrafta gelip sadece elektriğe değil bunun ötesine aslında nükleer kojenerasyona odaklanmak gerekmektedir.



Şekil 17: Nükleer kojenerasyon yolları

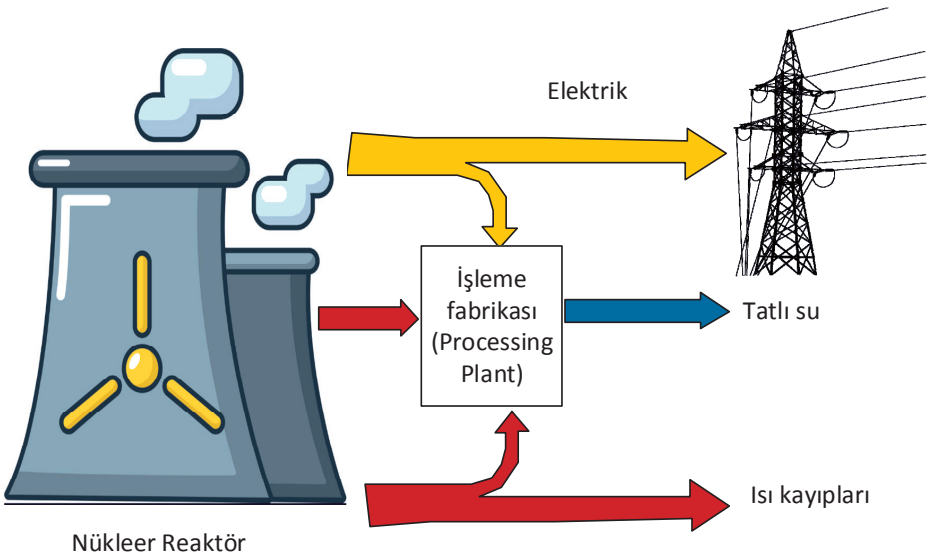
Şekil 18'de nükleer kojenerasyon sistemlerinin günümüzdeki durumları gözlemlenebilir [52]. Bölgesel merkezi ısıtma şu an için proses ısı ve desalinasyon sistemlerine nazaran kendisine daha çok uygulama alanı bulmuştur. Gelecekte bu tip sistemlerin uygulamalarının ve uygulama alanlarının artması, enerji verimliliği açısından önemlidir. Yukarıda sayılan örneklerin yanı sıra absorpsiyonlu soğutma sistemleri uygulamaları da kojenerasyon sistemleri çerçevesinde ele alınacak başka bir seçenektir.



Şekil 18: Nükleer kojenerasyon sistemlerinin durumu

Su arıtma sistemlerine baktığımız zaman, yeryüzünde sadece mevcut suların %2,5'inin temiz yani içilebilir su olduğu görülmektedir. Su krizine karşın temiz su eldesine odaklanmamız gerekmektedir. Bugün bu sistemler yoğun olarak enerji gerektirmektedir. Bu ısıl desalinasyon sistemleri için ısı, ters osmoz gibi sistemler için elektrik enerjisidir. *Şekil 19*'da gösterildiği gibi nükleer santrallerden bu enerji formlarının eldesi mümkündür. Bu gibi entegre sistemler neticesinde yüksek enerji verimliliği, daha iyi bir ekonomi ve daha düşük çevresel etkilere ulaşabilmek mümkündür. Bununla ilgili çalışan rektörler Kazakistan, Pakistan, Hindistan, Japonya ve ABD'de görülebilir. Kazakistan'da bulunan santral, 150 MWe'lik bir elektriğin yanı sıra günlük 80.000-145.000 ton su üretimine sahiptir.

Hidrojen ekonomisi, dünyanın çeşitli bölgelerinde daha yüksek görünürlük ve daha güçlü siyasi destek almaktadır. Son yıllarda nükleer enerjinin elektrikle ilgili olmayan uygulamaları hakkındaki Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın programının kapsamı, nükleer hidrojen üretimi ve yüksek sıcaklıkta işlem ısısı uygulamaları gibi daha umut verici başka uygulamaları kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Nükleer hidrojen üretim teknolojileri, gelecekteki bir dünya enerji ekonomisinde hidrojen payının artması için düşünülebilecek diğer kaynaklara göre büyük potansiyel ve avantajlara sahiptir. Hidrojen teknolojilerinin seçimi (nükleer güç reaktörlerine bağlanacak olan) büyük ölçüde nükleer santralin türüne bağlıdır. Geleneksel elektroliz gibi bazı hidrojen üretim teknolojileri sadece elektrik gerektirir. Termokimyasal döngüler gibi diğerleri ise yalnızca proses ısısının (yüksek sıcaklık değerlerinde verilebilen) veya yüksek ısıda buhar elektrolizi (HTSE) ve hem ısı hem de elektrik gerektiren hibrit termokimyasal döngüler gibi hibrit teknolojileri gerektirebilir [11].



Şekil 19: Nükleer Desalinasyon.

Burada amaçlanan nihai hedeflerden birisi de elektriği tüketmeden atık/proses ısı ile hidrojeni üretebilmektir. Cu-Cl çevrimleri buna müsait bir termokimyasal çevrimdir. Cu-Cl çevrimini de içine alacak şekilde süperkritik reaktörlü entegre bir sistem devamında LiBr-H_{2O} absorpsiyonlu soğutma, sonrasında atık ısıdan ısıtma ve desalinasyon gibi sistemlerle de entegre edilerek çoklu çıktılar elde etmek mümkündür. Sonuç olarak bu nükleer serüven uluslararası boyutta nereye evriliyor diye bakacak olursak,

- Küçük Modüler Reaktörler
- Mikro ve Minyatür Modüler Reaktörler
- Nükleer Kojenerasyon ve Multigenerasyon Sistemleri
- Nükleer Entegre Sistemler
- Hibrit Nükleer Enerji Sistemleri

olarak görülebilir. Yani sonuç itibarıyla bizim şu anda içine evrildiğimiz süreç akıllı enerji sistemleri, akıllı şebekelere doğru olmaktadır.

7. YOL HARİTASI VE YAPILMASI GEREKENLER

Bu bölümde, ülkemizin nükleer enerji stratejilerine bakışı Prof. Dr. Orhan İçelli'nin perspektifinden verilmiştir. Ülkemizde üçüncü nükleer santralin yerli imkânlarla gerçekleştirilmesi hedefi doğrultusunda yukarıda özetlenen dünya örnekleri ile benzer şekilde, görevi sadece nükleer teknoloji edinimi ve Ar-Ge olan, iş ve işlemlerinde bürokrasiye takılmadan esnek ve hızlı hareket edebilen ayrıca mali yapısı güçlü, nitelikli insan kaynaklarına sahip bir şirket "TÜRKATOM" kurulmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Nükleer Enerji ve Türkiye Nükleer Devlet Üniversitesi; (özel bir kanunla doğrudan Enerji Bakanlığı'na bağlı olacak şekilde) Ankara Sarayköy ve İstanbul Çekmece Nükleer Araştırma Merkezleri, kurulacak yeni üniversiteye dâhil edilebilir. Kurulacak böyle bir üniversite hâlihazırda yürütülmekte olan nükleer enerji ve iyonlaştırıcı radyasyon teknolojileri alanında araştırma, geliştirme faaliyetlerini yürütecektir. Ülkemizin nükleer teknolojiye adım attığı bu süreçte tasarım, teknoloji edinme, teknoloji geliştirme gibi çok önemli faaliyetleri üstlenecek ve yeni kurulacak Düzenleyici Kurum ile diğer ilgili kurum ve kuruluşlara Teknik

Destek Kuruluşu olarak hizmet verebilecek bir şekilde yapılandırılabilir.

a) Nükleer Temel Bilimler Fakültesi (Yeni)
b) Nükleer Uygulamalı Bilimler Fakültesi (Yeni)
c) Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (Hâlihazırda var) tüzel kişiliği değişmeli
d) Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (Hâlihazırda var) tüzel kişiliği değişmeli
e) BOREN adıyla bir bor enstitüsü kurulmuş lakin tüzel kişilik kazandıktan sonra beklenen hedefe ulaşması için Nükleer Teknoloji ve Nükleer Santrallerin oluşması gerekmektedir. Nükleer santrallerde en önemli soğutma işlevini sağlayan malzemeler, bor katkılı malzemelerdir. Bor madeninin iyi bir nötron yakalayıcısı olduğu unutulmamalıdır. İşin en önemli kısmı bu nokta; BOREN'in, Akkuyu -Sinop-ROSATOM-TAEK-Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı denkleminde yeri ve yetki alanı sorgulanmalıdır. Özetle BOREN, Türkiye Nükleer Devlet Üniversitesi'ne bağlanmalıdır.
f) Nükleer Enerji yanında Nükleer Tıp önemli bir yer tutmaktadır. Radyoizotop üretim tesisi Türkiye'de sadece Ankara'da bir adet vardır. Bu sayının belli merkezlerde artırılması dışarıya giden dövizi içerde bırakacak, bu durum da GSMH'a katma değer olarak dönecektir. Teknoparkların bünyesinde kurulan firmalar proje geliştirip uygulamak yerine sadece taşeronluk yapmakta ve bu anlamda ciddi bir maddi kayıp söz konusu olmaktadır. Son tahlilde nükleerin ister enerji ister tıp alanında faaliyet gösteren özel sektör ve firmaların belli bir güvenlik çemberinden geçirilmesi ve kontrolü Türkiye'nin milli servetinin heba olmaması açısından önemlidir. Bu konuda alınan önlemler artırılmalıdır. Özetle Radyoizotop Üretim tesisi Türkiye Nükleer Devlet Üniversitesi'ne bağlanmalıdır.

Nükleer Enerji ve Türkiye Nükleer Teknoloji Enstitüsü (TNTE) için ilk olarak Nükleer Teknoloji Enstitüsü Yönetmelik Taslağı hazırlanmalıdır. TNTE kurulması için bir süreç başlatılmalıdır. Nükleer faaliyetlerin düzenlenmesi ve denetlenmesi, Türkiye tarafından imzalanmış bulunan "Nükleer Güvenlik Sözleşmesi" gereklerine uygun olarak halen 2690 sayılı kanun kapsamında TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) bünyesinde yürütülmektedir.

Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nin (ÇNAEM), nükleer teknolojiye yönelik her türlü Ar-Ge ve teknolojik faaliyetlerini ve nükleer alandaki hizmet ve uygulamalarını sürdürebilmesi, nükleer enerjiden yararlanmaya karar vermiş olan ülkemiz için büyük önem arz etmektedir.

ÇNAEM tecrübeleri göz önüne alındığında, Türkiye'de nükleer alanda araştırma, teknolojiye sahip olma, teknoloji geliştirme, uygulama yapma ve hizmet verme ile ilgili bir "Kurum" veya "Enstitü" kurulmalıdır. Örnek, Kore'deki KAERI (Kore Atom Enerjisi Araştırma Enstitüsü) gibi. Bu görüş doğrultusunda yeni bir enstitü kanunu taslağı üzerinde yapılan çalışma yine TAEK ve üniversitelerin görüşüne sunulmalıdır.

Türkiye Nükleer Teknoloji Enstitüsü (TNTE) olarak adlandırılan bu enstitünün, mevcut TAEK bünyesindeki ÇNAEM'in yeniden yapılanması ve merkezinin ise İstanbul'da olması Jeopolitik açıdan önemlidir. Enstitü, ÇNAEM'in mevcut görevlerine ek faaliyetler ile de sorumlu olacak şekilde ülkemizin nükleer teknolojiye girme sürecinde daha çok teknoloji geliştirme, tasarım yapma ve teknik

destek hizmeti vermek üzere yapılandırılmalıdır. Enstitü yeni kurulacak Düzenleyici Kuruma nükleer güç santralinin lisanslanması sürecinde güvenlik analizi raporlarının değerlendirilmesine yönelik inceleme, analiz, test gibi teknik destek hizmetlerindeki boşluğu doldurmaya namzettir.

Bu yeni enstitü, "kamu tüzel kişiliğine haiz ve idari ve mali özerkliğe sahip" olmalıdır. Enstitü, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ilişkili olmalı karar organı Enerji Bakanlığı olmalıdır. Enstitünün bünyesinde doğrudan nükleer araştırma merkezleri, nükleer teknoloji geliştirme merkezleri, deneme merkezleri, nükleer güç ve araştırma reaktörleri ve yakıt çevrimi tesisleri kurulabilmelidir.

Enstitü, 4691 sayılı Teknoloji Geliştirme Bölgeleri Kanunu hükümlerine göre görev alanında teknopark kurabilmeli veya başka teknoparklara ortak olabilmeli ve bu teknoparklar vasıtası ile ticari faaliyetlerde bulunabilmelidir. Bu teknoparkların Kurumda/Enstitüde geliştirilen sınai mülkiyet hakları ile ilgili konularda önceliği bulunmalıdır. Buradan hareketle

a) ÇNAEM kadroları (190 sayılı KHK) içinde bulunan araştırma ve eğitim merkezlerine ait dolu ve boş kadrolar 190 sayılı KHK içinde başkaca bir işleme gerek kalmaksızın,
b) ÇNAEM'in araştırma ve eğitim merkezlerinde bulunan bütün taşınmazları, arazi, bina, tesis ve laboratuvarları, başkaca bir işleme gerek kalmaksızın,
c) ÇNAEM bütçesi içinde bulunan araştırma ve eğitim merkezlerinin mali yılına ait bütçe ve ödenekler, başkaca bir işleme gerek kalmaksızın,
d) ÇNAEM'in araştırma ve eğitim merkezlerinde yürütülen taahhüt ve sözleşmeler, ilgili sözleşme bitimine kadar başkaca bir işleme gerek kalmaksızın,
e) ÇNAEM'in araştırma ve eğitim merkezlerinde yürütülen proje ve faaliyetler, başkaca bir işleme gerek kalmaksızın TNTE'ye devredilmelidir.

7.1 Ülkemiz Nükleer Enerjide Ne Yapmalı Ne Yapmamalı?

Nükleer bilim, çekirdek ve temel parçacıklar düzeyinde çalışılan, teknolojik ve bilimsel çalışmalar içerisinde önemli bir alanı oluşturmaktadır. Temel amacı, çekirdek etkileşimlerini incelemek ve çekirdeğin yapısal özelliklerini anlayıp sınıflandırmaktır. Bu alanda yapılan deneysel ve teorik çalışmalar güç olmasına karşılık elde edilen sonuçlar özellikle teknoloji ve enerji ihtiyacını karşılamada büyük paya sahiptir. Ayrıca tıpta hem teşhis hem de tedavi amaçlı kullanımı, kalite kontrol ve hasar tespitinde yapısal kusurların bulunmasını sağlayan tahribatsız muayene, temel bilimlerde iz elementi analizi ve radyografi kullanım alanlarından sadece birkaçıdır.

Nükleer ile ilgili yapılacak Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmalarını nükleer teknoloji ve nükleer teknikler olarak iki ana kategoriye ayırmak faydalıdır. Nükleer teknoloji daha çok sanayi ve enerji uygulamaları olarak karşımıza çıkarken, nükleer teknikler radyasyon ve uygulamaları, hızlandırıcı ve uygulamaları ve akademik temel bilim çalışmaları olarak sınıflandırılabilir. Bu bildiride nükleer enerji, parçacık hızlandırıcı ve radyasyon fiziği temelli çalışılması önerilen Ar-Ge ve Ür-Ge alanları Nükleer Teknikler ve Nükleer Enerji olmak üzere iki ana başlıkta toplanabilir.

Nükleer enerji konusunda çalışılabilecek/yapılabilecek Ar-Ge ve Ür-Ge konuları ana hatlarıyla sınıflandırılması: Reaktörlerde yüksek radyasyon dozuna, korozyona, yüksek sıcaklıkta gerekli mekanik dayanıma sahip yapısal malzemelerin yerli üretiminden bu malzemelerin yaşlandırma, dayanıklılık ve yıpranma testlerinin yapılabilmesi için bir birim oluşturulmasına, nükleer yakıt teknolojilerine yönelik nükleer santral emniyeti ve güvenliğine, güç dönüşüm sistemleri ve güç santralinden elde edilecek elektrik enerjisinin üretimine ve dağıtımına yönelik olarak yapılacak çalışmalara, yasal mevzuat düzenlemelerinden nükleer güvenlik ve silahsızlanmaya yönelik çalışmalara ve risk analiz yöntemlerine kadar birçok alt başlığa sahiptir. Bu nedenle bu bölümde amaçlanan, nükleer tekniklerin uygulamaları ile kendi kendini finanse eden bir model AR-GE altyapısının oluşturularak, bu merkezin ülkemize yüksek katma değerli teknolojiler sunan bir yenilikçilik döngüsünün lokomotifi olacağını göstermektir.

Bu doğrultuda, Akdeniz Üniversitesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Ana Bilim Dalında bulunan ve işlevsizliği nedeniyle hurdaya ayrılan bir MeV enerjili elektron hızlandırıcısı ile elde edilen bilgi birikimi ve tecrübeyi aktarmaktır. Ülkemizin nükleer alanında kısıtlı imkânlar ile oluşturulan ve geneline yaygınlaştırılan bu çalışmalar ile onlarca akademisyen ve öğrencinin yetişmesine, nükleer alanda foto nükleer deneyini ilk kez kendi makine teçhizatımız ve bilim insanımız

ile yaparak uluslararası alanda ülkemizin adının duyurulmasına ve nükleer tekniklerin arkeolojiden ziraata kadar A'dan Z'ye gerek bilimsel gerekse sanayi uygulamalarını yaparak nitelikli ürünler üretilmesine katkı sağlanmıştır.

Ülkemizin araştırma amaçlı tek MeV mertebesinde enerjili elektron hızlandırıcısı, hurdadan dönüştürülen ve sıfır liraya mal edilen bu cihazdır. Kısıtlı imkânlar ve hibe alınan cihazlar ile 2013-2016 yılları arasında doğrudan ve proje geliri olarak ciddi bir ekonomik girdi sağlanmıştır.

18 MeV enerjili bu elektron hızlandırıcısı ile yapılan çalışmalara örnek olarak verilecek örnekler şu şekildedir:

- Arkeolojik buluntunun gerçek mi, sahte mi olduğunun tahribatsız bir şekilde tespiti yapılmıştır.
- Tohum ıslahına yönelik mutasyondan verim artışına kadar birçok uygulama hayata geçirilmiştir. Susuz çim, narenciye, meyve ve sebze çeşitleri ile avokadodan sıkmalık portakala kadar birçok bitki türünün yeni çeşitleri için araştırma ve geliştirme çalışmalarına katkı sağlanmıştır.
- Düşük irtifaya yerleşen haberleşme uydularımızın radyasyon dayanım testlerinin deneysel olarak test edilmesi ülkemizde ilk kez yerli olanaklarla başarılmıştır.
- Güneş hücrelerinin verim artışı ve dayanıklılığı için elektron demeti ile yaşlandırma testleri yapılmıştır.
- Uçakların kanatlarında meydana gelen mikro çatlakların tespiti için hangarı kapatmadan, açık alanda, C-kollu, yüksek çözünürlüklü X-ray tarama sistemi geliştirilmiş ve uygulamaları yapılmıştır.
- Polimerlerin bant-yapısı radyasyon ile kırılıp, yeni akıllı malzemeler ve kompozitler geliştirilmesine katkı sağlanmıştır. Fiber kabloların iletkenliği ve radyasyon dayanım testleri yapılmıştır.
- Online radyasyon tespit detektörü geliştirilmiş ve app uygulaması yapılarak wi-fi ile yer tespiti ve radyasyon harita çıkarımı yapılmıştır.
- Saç ve diş numunelerinden ülkemizde ilk kez hızlandırıcı ile foton-aktivasyon element analiz tespiti yapılarak kana karışan (yemek veya ilaç ile) izotopların tespiti milyarda bir hassasiyet ile yapılmıştır.
- Malzemelerde radyoaktif madde olup olmadığının tespiti amaçlı Lantanyum-Bromit tabanlı sintilatör detektör yapılmıştır.
- İhraç edilen meyve ve sebzenin raf ömrünü en az 3 katına çıkaracak ve bu sayede ihracatımızı katlayacak bir Ür-Ge yöntemin radyasyon ile testleri yapılmış ve başarılı olduğu gösterilmiştir.
- Akdeniz Üniversitesi Hastanesinin Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalının hızlandırıcı cihazlarının bakım-onarımı yapılmıştır. NUBA'nın bu servisi üstlenmesinden önce yıllık milyon lira bandında olan bakım-onarım gideri, NUBA tarafından üçte bir maliyetine yapılmıştır. Gelişmiş ülkelerde "*in-house*" bakım onarım olarak adlandırılan bu sistem ile ülkemizde ilk defa yapılarak maddi faydamız yanında hastaların tedavisine sağladığımız katkı, üniversiteye ciddi prestij sağlamıştır.
- Ülkemizin ilk sertifikalı hızlandırıcı uzman fizikçi grubu oluşturulmuştur. Bugüne kadar ülkemizde hızlandırıcı fiziği için milyonlarca lira harcanmış olmasına rağmen halen bu alanda yetkin insan eksikliği çok fazladır.
- CERN'e ortak üyelik anlaşması imzaladığımız bu dönemde öğrencilerin bu büyük merkezlere gitmeden önce Akdeniz Üniversitesi'ndeki gibi hızlandırıcıya sahip merkezlerde detektör, hızlandırıcı ve spektroskopi alanında elde ettikleri tecrübe "know-how" transferi açısından çok faydalı olmuştur.
- Yetişmiş insan gücü, yapılan uluslararası ve ulusal yayınlar, tezler ve lisansüstü öğrencileri ile ülkemizin nükleer bilimler alandaki bilinen araştırma ve uygulama merkezi haline gelmiştir.

Özetle, ülkemiz için stratejik bir alanda emsali az görülür kendi kendini finanse eden bir Nükleer Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezi (NUBA) hayata geçirilmiştir: 2013-2016 Aralık sonu itibarıyla Akdeniz Üniversitesi'ne getirilen nakit ve proje desteği 18 milyon TL bandındadır.

Bunların yanında, yüksek akılı bir endüstriyel elektron hızlandırıcısı ile kısa vadede nükleer teknikler ile yapılabilecek diğer çalışmalara önerilerimiz:

- Radyasyon ile malzeme yaşlandırma testlerinin yapılması:
    - Özellikle ihalesi yapılan reaktörlerimizde kullanılacak malzemelerin ömürlerinin ve güvenilirliklerinin testi.
    - Uydu, uçak ve yüksek teknolojik malzemelerin dayanım testlerinin yapılması.

- Foton ve nötron aktivasyon analizleri ile nadir toprak elementlerinin tespiti:
    - Hammadde olarak satılan madenlerimiz içerisinde bulunan nadir toprak elementlerinin milyarda bir hassasiyet ile nükleer teknikler ile belirlenmesi.

- Sterilizasyon:
    - Gıdalarda küflenme (aflatoksin) nedeniyle yaşanan milyonlarca dolarlık ihracat kaybını önleyecek ve raf ömrünü on katına kadar artıracak gama sterilizasyonu sebze ve meyve ihracatçılarımız için önemli bir hizmet olacaktır. Gıdaların raf ömrünü artırdığımız için bu yöntem ile ülkemizin gıda ihracatını artıracaktır.
    - Bu yöntem tıp alanında da medikal ürünlerin sterilizasyonu için ideal yöntemdir. Kimyasal sterilizasyona göre çok daha başarılı bu yöntem ile hem tasarruf hem de kimyasal kalıntı problemi aşılacaktır.

- Radyasyon ile polimer modifikasyonu: Bu sayede, inovatif, hafif ve üstün özellikli malzeme üretiminin yapılması sağlanacaktır. Yüksek teknolojiye geçiş ancak bu malzemelerin yerli üretimi ile mümkündür.

- Radio-tracing: (Radyoizotoplar ile izleme)
    - Nehirlere fabrika atıkları yanında denizlerimize gemi atıklarının kontrolü ve izlenmesi, termal kaynakların denetiminin ve izlenmesinin yapılması.
    - Bulunan veya bulunacak petrol ve su rezervlerinin kalite kontrolü ve izlenmesi.

- Tohum mutasyonu: Yerli ve verimi yüksek tohum ıslahına katkı sağlanacaktır.
- Arkeolojik çalışmalar: Arkeolojik eserlerin yer tespiti, gerçek-sahteliği ve yaş tayininin tahribatsız şekilde yapılması.
- Kanser tedavisi: Sağlık alanında kanser tedavisinde kullanılacak hızlandırıcıların üretimi ve tıpta teşhis ve tedavi amaçlı kullanılan radyoizotopların ve yeni ilaçların üretiminin yerli yapılması. TAEK'in proton tesisine akademik destek verilerek, yeni uygulamalar ve ürünler geliştirilmesi.
- Proton terapi merkezinin kurulması: Ülkemiz bir turistten ortalama 700-800 dolar kazanmaktadır. Bir kanser hastamızı Avrupa veya ABD'de en gelişmiş teknik olan proton terapi için gönderildiği zaman ortalama 100 bin dolar harcamaktadır. Ülkemiz ve hinterlandı Ortadoğu, Avrasya ve Kuzey Afrika'da bulunmayan bu tedavi merkezinin kurulması ile sağlık turizmi, sağlık AR-GE ve ÜR-GE çalışmalarında çok ciddi maddi ve bilimsel katkılar sağlayacaktır.

- Yerli ve milli bir nükleer santralin fizibilite çalışmasının gerçekleştirilmesi:
    - Nükleer santrallerde kullanılabilecek, yazılım, elektronik ve malzemelerin prototiplerinin ürettirilmesi.

7.2 Türkiye'nin Nükleer Enerji Eğitiminde Yapılması Gerekenler

Nükleer alanda eğitim gören ve görmekte olan kişiler, gerek eğitim/öğretim döneminde ve gerekse mezun olduktan sonra bazı problemler ile karşılaşmaktadır. Eğitim/öğretim döneminde gerek uygulamalı dersler ve gerekse staj konusunda bölümlerimiz ve staj yapılacak kurumlar fiziksel olarak yetersiz kalmaktadır. Derslik, fiziksel mekân ve laboratuvarların yetersiz olması ve buna rağmen her geçen yıl öğrenci kontenjanlarının artırılması eğitim/öğretim kalitesini düşürmekte, üretkenliği yok etmektedir. Mezuniyet sonrasında ise nükleer alanının ülkemizde yeterince tanınmaması, maaş ve itibar açısından daha tatmin edici alternatif imkânların olması, beyin göçü gibi nedenler, ülkemizin nükleer teknoloji alanında gelişmesini de sekteye uğratmaktadır. Nükleer alanda daha kaliteli bir eğitim/öğretim sağlanması için kurumların fiziki şartlarının iyileştirilmesi ve kontenjan sayılarının ülke ihtiyaçlarına göre yeniden revize edilmesi önemlidir. Ayrıca mezunların nükleer teknolojimizin geliştirilmesinde aktif rol alması, başka meslek alanlarına yönelmek yerine nükleer alanda çalışmalarının sağlanması için bu alanda çalışacak olan personele mesleki şartların daha cazip olması ve bu alanların sektörlerde daha tanınır hale getirilmesi ülkemizin nükleer alanda gelişmesini ve ilerlememizi sağlamak için hepimizin öncelikli görevi olmalıdır.

Bir Nükleer Güç Santralini İşletmek İçin Gerekli Olan Yetkinlikler i) Nükleer konularda (örneğin, nükleer mühendislik, radyokimya, radyolojik korunma vb.) uzmanlaşmış örgün öğretim almış olan kişiler; ii) İlgili (nükleer dışı) bir alanda

(örneğin, makine, elektrik, inşaat, sistem) örgün öğretim ve eğitim almış olan ancak yetkinliklerini kullanacakları alandaki nükleer ortam hakkında edinmesi gereken kişiler; iii) Sektörde çalışmak için nükleer farkındalığa ihtiyaç duyan kişiler (örneğin, elektrikçiler, mekanik teknisyenler, diğer zanaat ve destek personeli) olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir. Sağlıklı bir güvenlik kültürünü oluşturmak ve muhafaza etmek için yöneticilik ve liderlik becerileriyle desteklenen kapsamlı ve sürdürülebilir nükleer eğitim ve öğretime ihtiyaç vardır. Bu eğitim ve öğretim genellikle lisans ve yüksek lisans programları yoluyla yükseköğretim kurumları tarafından verilmelidir.

Türkiye'nin nükleer enerji işletim, yönetim ve denetim kabiliyetinin artması için öncelikle öğrencilerimize nükleer ortamlarda pratik deneyimler kazandıracak eğitim ve öğretim ortamı sağlamamız zorunludur. Bunu yapmanın en hızlı ve pratik yolu bu imkânlara sahip ülke üniversiteleri ile ortak programlar açmak ve uygulamaya koymaktır. Bir yandan da en kısa zamanda bu ortamları ülkemizde kurmanın yollarını aramaktır. Ortak araştırma merkezleri, deneme reaktörleri ve simülasyon merkezleri kurarak her eğitim kurumunun buradan faydalanmasını sağlamak son derece faydalı olacaktır.

Eğitimde simülatörlerin rolü giderek daha da yaygınlaşmaya başlamıştır. Ancak genel kanı, simülatör kullanımının belirli amaçlar (geçiş durumlarının yeniden oluşturulması gibi) için benzersiz ve anlayış düzeyinin arttırılması ve kuramsal ekstrapolasyon için faydalı olsa da uygulamalı eğitimi tamamlayıcı olarak düşünülmesi gerektiği yönündedir. Bilgisayar modelleri ve bilgisayar simülasyonları laboratuvar ortamındaki eğitim oturumlarının yerine geçemez ama bu eğitimlerin faydasını arttırabilir.

Endüstrinin nükleer enerji teknolojilerine katılımı genel olarak dünya genelinde tutarlı ve güçlü olmuştur. Türkiye'de endüstri inisiyatifleri üniversitelerde eğitim programlarının desteklenmesi, derslerin geliştirilmesine ve sunumuna doğrudan katılım, stajyerlik teklifleri ve bazı durumlarda araştırma altyapılarının öğrencilere açılması gibi biçimlerde üniversitelerle işbirliği yapmalıdır.

Nükleer enerji gibi bir alanda çalışan lisans ve lisansüstü öğrencilerinin ortak bir diğer önemli sorunu ise çalışmalarının modelleme kısmında yaşanmaktadır. Öğrenciler, çağın gerekliliklerine ayak uydurup, paket programları kullanmaya özendirilmelidirler. Bu programlara faydalı birer örnek olarak IAEA'nın nükleer enerjinin potansiyeli de dâhil olmak üzere farklı enerji seçeneklerini ve stratejilerini değerlendirmek için sunduğu yazılımlar gösterilmelidir [11]. *Şekil 20*'de, bu programlardan enerji değerlendirme yazılımları görülebilir.

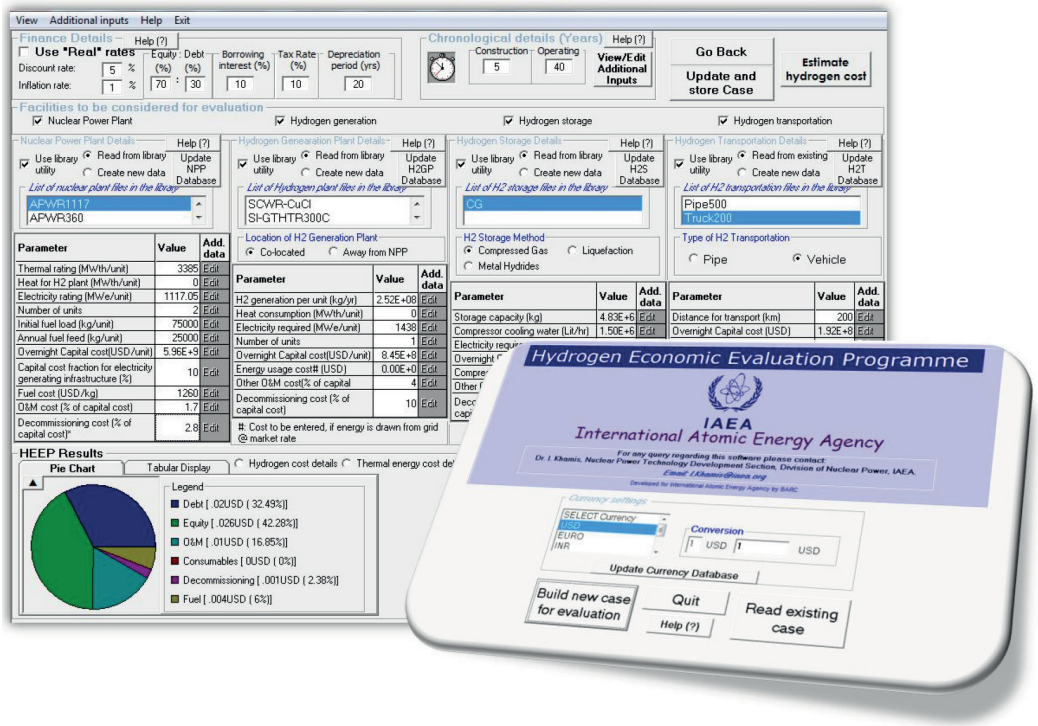
Şekil 20: IAEA Enerji Değerlendirme Yazılımları.

Model for Analysis of Energy Demand (MAED)
MAED, programı orta ve uzun vadeli sosyoekonomik, teknolojik ve demografik gelişim senaryolarına dayalı olarak gelecekteki enerji taleplerini değerlendirmektedir. Enerji talebi, farklı mal ve hizmetlere karşılık gelen çok sayıda son kullanım kategorisine ayrılmıştır. Belirli bir senaryo için sosyal, ekonomik ve teknolojik itici faktörlerinin etkileri tahmin edilmektedir. Bunlar gelecekteki enerji talebi büyümesinin genel bir görünümünü elde etmek için kullanılmışlardır.

Wien Automatic System Planning Package (WASP)
WASP, güç sistemi planlaması için gelişmekte olan ülkelerde en çok kullanılan modellerden biridir. Kullanıcı tarafından tanımlanan kısıtlar içinde, WASP bir güç üreten sistem için en uygun uzun vadeli genişleme planını belirler. Kısıtlamalar sınırlı yakıt kullanılabilirliği, emisyon kısıtlamaları, sistem güvenilirliği gereksinimleri ve diğer faktörleri içerebilir. En uygun genişleme, indirgenmiş toplam maliyetleri en aza indirerek belirlenir.

Model for Financial Analysis of Electric Sector Expansion Plans (FINPLAN)
Gelişmekte olan ülkelerde, finansal kısıtlamalar genellikle optimal elektrik genişletme planlarının uygulanmasında en önemli engeldir. FINPLAN, planların ve projelerin mali uygulanabilirliğini değerlendirmeye yardımcı olur. İhracat kredileri, ticari krediler, tahviller, hisse senetleri ve swap gibi modern araçlar dahil olmak üzere farklı finansal kaynakları dikkate alır ve öngörülen nakit akışlarını, bilançoyu, finansal oranları ve diğer finansal göstergeleri hesaplar.

Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact (MESSAGE)
MESSAGE, teknolojileri ve yakıtları birlikte kullanarak "enerji zincirleri"ni oluştururlar. Enerji zincirleri, enerji akışlarını arzdan (kaynak çıkarma) talebe (enerji hizmetleri) aktarmada kullanılmaktadır. Model, maliyet optimal enerji karmaları, yatırım ihtiyaçları ve yeni altyapı, enerji arzı güvenliği, enerji kaynak kullanımı, yeni teknolojilere giriş oranı (teknoloji öğrenimi), çevresel kısıtlamalar gibi diğer maliyetleri analiz ederek uzun vadeli stratejiler tasarlamaya yardımcı olabilmektedir.



Şekil 21: Hydrogen Economic Evaluation Program (HEEP) (Kaynak [11]'den alınmıştır).

Simplified Approach for Estimating Impacts of Electricity Generation (SIMPACTS)
SIMPACTS, farklı elektrik üretim teknolojilerinin sağlık ve çevresel etkilerini ve dış maliyetlerini tahmin etmekte ve ölçmektedir. SIMPACTS özellikle fosil, nükleer ve yenilenebilir elektrik üretimi, nükleer santrallerin yerleştirilmesi veya çevresel etki azaltma politikalarının maliyet etkinliğinin karşılaştırmalı analizleri için faydalı bir yazılımdır. IAEA'nın nükleer kojenerasyon, nükleer hidrojen ve su yönetimi analizleri için de bazı programları mevcuttur [11].

Hydrogen Economic Evaluation Program (HEEP)
Hidrojen Ekonomik Değerlendirme Programı HEEP, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından nükleer enerjinin kullanıldığı büyük ölçekli hidrojen üretiminin ekonomisini değerlendirmek için kullanılabilecek ücretsiz bir araç olarak geliştirilmiş ve piyasaya sürülmüştür. Yazılım, hidrojen üretimi için en umut vaat eden dört prosesin (yüksek ve düşük sıcaklıklı elektroliz, S-I işlemi dâhil olmak üzere termokimyasal prosesler, geleneksel elektroliz ve buhar reformasyonu) ekonomisini değerlendirmek için kullanılabilir.

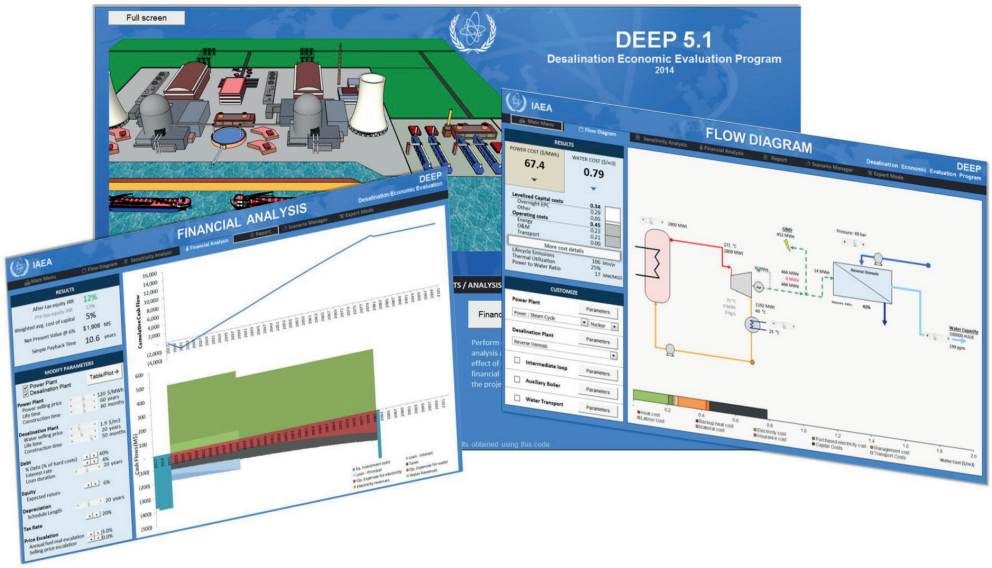
IAEA HEEP yazılımı, yalnızca nükleer ve fosil enerji kaynakları ile hidrojen üretimini değil, aynı zamanda yalnızca hidrojen üretimi veya elektrikle kojenerasyon için de karşılaştırmalı çalışmalar için uygundur. HEEP modelleri, bazı ekonomik ve teknik verilere ve depolama, taşıma ve dağıtma dâhil olmak üzere hidrojen ekonomisinin çeşitli yönlerini içeren maliyet modellemesine dayanmaktadır. *Şekil 21*'de program arayüzü gösterilmiştir.

IAEA Toolkit on Nuclear Hydrogen Production
Bu yazılım, IAEA'nın nükleer hidrojen üretimi ile ilgili faaliyetlerinin kolay bir şekilde bulunmasını kolaylaştırmak için ajans tarafından geliştirilmiştir ve IAEA web sitesinden ücretsiz olarak indirilebilir.

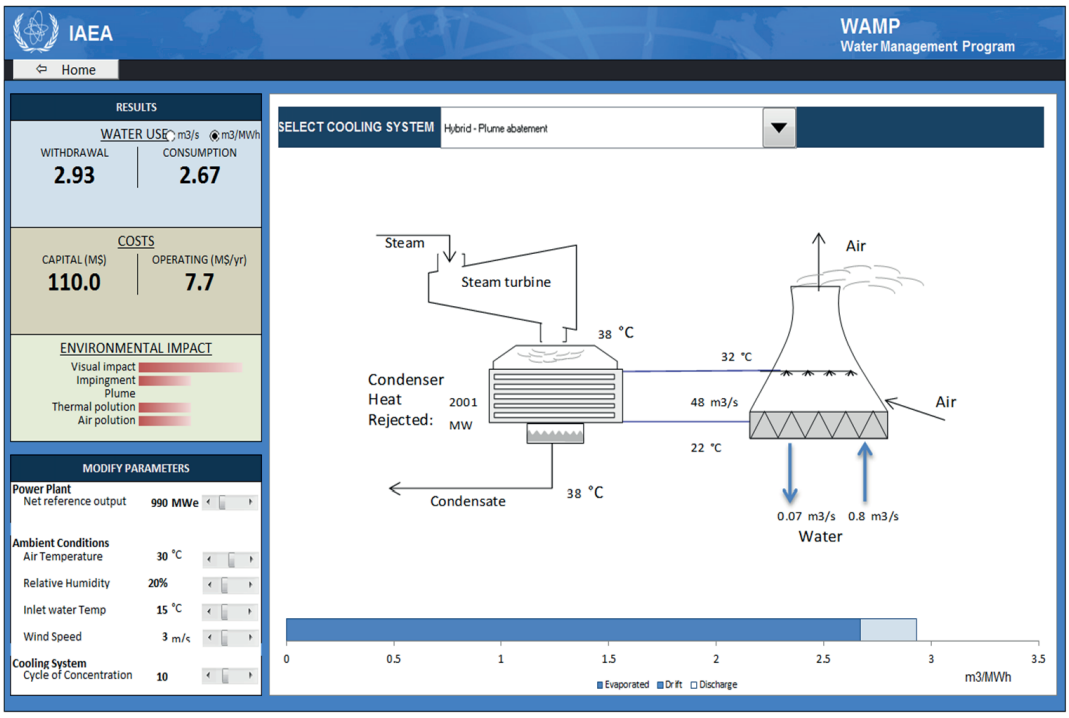
Desalination Economic Evaluation Programme (DEEP)
Desalinasyon Ekonomik Değerlendirme Programı DEEP, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından geliştirilen ücretsiz indirilebilir yazılımdır. Bu yazılım çeşitli güç ve deniz suyu desalinasyon kojenerasyon sistemlerinin performans ve maliyet değerlendirmesi için kullanılmaktadır.

DEEP, farklı santral türleri (buhar, gaz, kombine çevrim ve sadece ısı), farklı yakıtlar (nükleer, petrol, kömür) ve Çok Etkili Damıtma (MED), Çok Aşamalı Flaş (MSF), Ters Osmoz (RO) ve hibrit sistemler gibi çeşitli desalinasyon seçenekleri arasında karşılaştırmalı analizleri için kullanılmaktadır.

Desalination Thermodynamic Optimization Program (DE-TOP)
DE-TOP, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından, nükleer kojenerasyon sistemlerinin (şu anda nükleer desalinasyon ve bölgesel ısıtma uygulamaları için seçenekler) termodinamik analizi ve optimizasyonu için bir araç olarak geliştirilmiştir. DE-TOP, farklı su soğutmalı reaktörlerin veya fosil yakıt santrallerinin buhar güç çevrimini (Rankine çevrimi) ve diğer elektriksiz uygulamalarla bağlantıyı modellemek için kullanılmaktadır. DE-TOP ile ayrıca kojenerasyon



Şekil 22: Desalination Economic Evaluation Program (DEEP) (Kaynak [11]'den alınmıştır).



Şekil 23: Water Management Program (WAMP) (Kaynak [11]'den alınmıştır).

sisteminin termodinamik, enerji ve ekserji analizleri yapılabilmekte ve farklı kojenerasyon modlarında sistem performansı için ayrıntılı raporlar üretilebilmektedir. *Şekil 22*'de yazılım arayüzü gösterilmektedir.

Water Management Program (WAMP)

IAEA'nın geliştirip yayınladığı bir diğer yazılımı olan WAMP'ta ise özellikle su soğutmalı nükleer santraller için su ihtiyacının tahmini yapılabilmektedir. Yazılım, hem soğutma suyu hem de sistemin diğer gerekli ihtiyaçlarının tahmininde kullanılmaktadır. Ayrıca bu yazılımla su kaynakları, çevresel, ekonomik gibi farklı kriterler değerlendirilerek soğutma sistemlerinin seçiminde faydalanılmaktadır.

WAMP'ın başlıca özellikleri sırasıyla:

- Çeşitli soğutma sistemlerinin (açık döngü, ıslak, kuru), reaktörlerin (hafif, ağır su) ve saha koşullarının (sıcaklık, nem, rüzgâr vb.) etkileşimli olarak karşılaştırılması.
- Kütle dengesi ve bileşenlerin kavramsal boyutlandırılması. Örneğin, soğutma göleti.
- Deşarj edilen ve harcanan su miktarı tahmini.
- Soğutma sistemleri için maliyet tahmini (sermaye ve işletme maliyetleri)

olarak adlandırılır. WAMP programının arayüzü *Şekil 23*'te gösterildiği gibidir.

7.3 Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikalarına Bakış

Türkiye ekonomisi yıllık ortalama %7-8 oranında büyümektedir. Bunun sonucu olarak ülkelerin sosyal ve ekonomik kalkınmalarında vazgeçilmez bir unsur olarak kabul edilen enerji tüketimi de giderek artmaktadır. Onuncu beş yıllık kalkınma planına göre, bu dönem Türkiye'nin enerji ihtiyacı %25, toplam elektrik enerjisi ihtiyacı ise %34 oranında artacaktır.

Bununla birlikte Türkiye çeşitli enerji kaynaklarına sahip olmasına rağmen kaynakların yetersizliği nedeniyle enerjide dışa bağımlı bir ülkedir ve elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın giderek artması ile dışa bağımlılığın daha da artması söz konusu olacaktır. Bu durum, ekonomik büyümenin sürdürülebilirliğine temel teşkil eden enerji güvenliğinin sağlanmasını tehlikeye sokmaktadır. Bu nedenle enerji güvenliğinin sağlanabilmesi amacıyla enerji çeşitliliğinin artırılması ve dışa bağımlılığın azaltılması yönünde son yıllarda bazı adımlar atılmıştır. Bu bağlamda, enerji üretiminde alternatif bir kaynak olarak nükleer enerjiden de yararlanılmasına karar verilmiş ve 2010 yılından itibaren bir nükleer güç programı uygulamaya koyulmuştur. Söz konusu nükleer güç programı ile nükleer enerji kapasitesinin yakın gelecekte aşamalı olarak artırılması planlanmaktadır.

7.4 Nükleer Güç Programının Sürdürülebilirliği İçin Önemli Politikalar ve Stratejiler

Oldukça ilerleme kaydedilmiş olan nükleer güç programının sürdürülebilmesi ve başarıyla uygulanması durumunda, Türkiye alternatif bir enerji kaynağı olarak belirlediği nükleer enerjiyi kullanabilme kapasitesine sahip olacak ve enerji güvenliğini sağlamada önemli bir aşama kaydedecektir. Aynı zamanda nükleer güç programının uygulanması ile gelişmiş ülkeler tarafından 50 yıl kadar uzun bir süredir kullanılan ve olgunlaşmış olan bir teknolojiye de sahip olacak ve bu teknolojiyi ekonomik ve sosyal kalkınmasına katkı sağlayacak endüstri, tıp ve tarım gibi birçok alanda da kullanma olanağı olacaktır.

Ancak nükleer enerjinin çok boyutlu olduğu dikkate alındığında, söz konusu nükleer güç programının sürdürülebilirliği için enerji, ekonomi ve nükleer güvenlik gibi farklı alanlarda belirlenecek politikalar ve geliştirilecek stratejiler önem arz etmektedir. Dünyada nükleer enerji programına geçiş ile ilgili tecrübeler bir ülkenin nükleer programa başlama kararı alması ile ilk güç santralini işletmeye alması arasındaki sürecin 10-15 yıl kadar olduğunu göstermektedir. Bu uzun süreç birbiriyle etkileşimli birçok faaliyeti içermektedir. Bu nedenle nükleer güç programının uygulanmasına ilişkin politikalar ve stratejiler, zamanında ve kesin bir şekilde belirlenerek söz konusu faaliyetler bir plan dâhilinde gerçekleştirilmelidir.

IAEA tarafından hazırlanan bir referans dokümanda sürdürülebilir nükleer güç programı üç ana faza ayrılmış ve bu fazlar sırasında dikkate alınacak hususlar ve her faz sonunda varılacak hedefler belirlenmiştir. İlk faz nükleer güç programına karar vermeden önce yapılacak çalışmaları, ikinci faz bir nükleer tesis kurulması kararı alındıktan sonra tesisin inşasına yönelik çalışmaları son faz ise tesisin lisanslanması ve işletmeye alınması çalışmalarını kapsamaktadır. Referansa göre, nükleer güvenlik konusunda ulusal politika ve stratejinin belirlenmesi, yasal ve düzenleyici altyapının gözden geçirilmesi, mali kaynakların belirlenmesi, insan kaynaklarının geliştirilmesi, yakıt temininin güvenliğinin sağlanması, radyoaktif atık ve kullanılmış yakıt güvenliği altyapısının oluşturulması gibi hususlar nükleer güç programına geçiş sürecinde göz önüne alınması ve programın erken dönemlerinde tamamlanması gereken çalışmalardır. Ancak Türkiye'nin 10 yıla yakın bir süredir devam eden nükleer güç programında neredeyse ilk santralin inşaat aşamasına gelinmiş olmasına rağmen erken dönemlerde tamamlanması gereken bazı çalışmaların tamamlanmamış ve belli alanlarda kesin politika ve stratejilerin henüz belirlenmemiş olduğu görülmektedir.

7.5 Türkiye'nin Stratejik Nükleer Enerji Yol Haritasına Yaklaşım ve İlkeler

Türkiye'nin özellikle nükleere yıllardır karar verme aşamasında olması, sonrasında karar vermesi ve şu anda da üst düzey bir teknolojiye sahip yani "Tree Plus" olan bir teknolojiyi Mersin'de kurmaya çalışması ve onun akabinde o teknolojiden "know-how" beklemesi, işgücünün geliştirilmesini ve teknoloji transferinin oluşması gibi beklentiler içine girmesi beraberinde zorlu bir süreci ve olası hayal kırıklıklarını getirebilir. Sonrası için doğru adımlar atılması bu sebeple yol haritası ilkelerin doğru belirlenmesi çok önemlidir.

Türkiye'nin nükleer enerjideki amacı kapasite artırımı, enerji ihtiyacını karşılaması ve bölgesel enerji barışının sağlanmasıdır. Türkiye olarak artık bir nükleer santralimiz var ve bu nükleer santral gerçekten 2023'e kadar faal hale gelinceye dek ülkece yapmamız gereken bazı stratejik ve politik önemli kritik hususlar vardır. Temel kriterler üzerinden politikaları dizayn etmek gerekirse ilk kriter kaynaktır. Yakıt olarak şu anda uranyum kullanılmaktadır. Uranyumun dünya rezervlerindeki durumu ve uranyuma dayalı nükleer santrallerin sayısı göz önüne alındığında, uranyum ne derece sürdürülebilir olduğu tartışılmalıdır. Toryum seçeneğini ülkemizdeki rezerv kaynakları ve uranyuma göre daha çevresel bir yakıt olması nedeniyle ön plana çıkmalıdır. Devamında bir diğer kaynak olarak baktığımızda insan kaynaklarını görmekteyiz. Gerek mühendisler gerekse teknisyenler ve nitelikli insan gücünün son derece önemli olduğunu gözden çıkarmamız lazımdır.

Tablo 6: Nükleer güvenlik için kritik ilkeleri.

Harici Kritik İlkeler	**Dâhili Kritik İlkeler**	**Hibrit Kritik İlkeler**
Nükleer hammadde güvenliği	Tasarım güvenliği	Sağlam uygulanabilir etkin mevzuat
Nükleer sektör güvenliği	Malzeme güvenliği	Nükleer bilgi ve bilişim güvenliği
Nükleer atık güvenliği	Konstrüksiyon ve imalat güvenliği	Nükleer otomasyon güvenliği
Mevzuat güvenliği	Nükleer yakıt güvenliği	Radyasyon güvenliği
Hurda güvenliği	Kontrol çubuklarının güvenliği	Bakım onarım güvenliği
Yakıt zenginleştirme	Moderatör güvenliği	Nükleer teknoloji güvenliği
Çevresel tehditler	Nükleer reaktör güvenliği	Nükleer işgücü güvenliği
İklimsel tehditler	Nükleer ekipman güvenliği	Nükleer işletim güvenliği
Yerel ve bölgesel güvenlik	Soğutma güvenliği	Nükleer güvenlik kültürünün oluşturulması
Terörist tehditlerin bertarafı	Isı üretim güvenliği	Yapay zekâ tehditlerinin absorpsiyonu
Uluslararası kurumsal tehditlerin bertarafı	Güç üretimi güvenliği	Nükleer yazılım güvenliği,
Uluslararası standartlara uyum	Güç aktarımı güvenliği	Sertifikalı kritik kütle üreticileri
		Akreditasyon
		Bilimsel kümelenme
		Sektörel kümelenme

Altyapı bir diğer önemli hususdur. Bu konuya yönelik yerli nükleer sanayi ve milli yaklaşımlar geliştirilmelidir. Teknoloji ve sistem konusuna gelinecek olunursa hangi teknoloji ve nasıl bir sistemin kullanılacağı ve nükleer yakıt üretiminden güç üretimine kadarki tüm prosesler ve teknolojiler doğru şekilde belirlenip çalışılmalıdır. Servis, atık geri kazanımı, verimlilik ve güvenlik (hammaddeden bertarafa kadar), Sürdürülebilirlik gibi temel kriterlere de dikkat edilmelidir. Bunun yanında çevre dostu nükleer yakıt temini, toryum özelinde ülkemiz açısından çok önemli bir konumdadır. Nükleer mevzuat, bilgi ve teknoloji üretiminde 'ben yok biz var' şuurunun oluşturulması, politikalarımızın içeriğinde gözeteceğimiz diğer önemli kriterlerdir. Nükleer enerji demek, sadece nükleer enerji mühendisliğinin yapacağı bir iş değil onlar da kısmen işlerle uğraşacaklar ama nükleer demek disiplinler arası bir iş demektir ve birçok branşın bir şekilde dikkate alınması gerekmektedir.

Bir diğer ana başlık olan nükleer güvenlik konusuna baktığımızda güvenlik için kritik ilkeleri üç kısımda ele almanın gerekli olduğunu görmekteyiz. Bu kriterler sırasıyla nükleer güvenlik için harici, dâhili ve bu ikisinin kesişim noktasında bulunan hibrit kriterler vardır. Bu kriterler *Tablo 6*'da listelenmiş halde sunulmuştur.

7.5.1. Nükleer Yatırımların Katkıları

Türkiye'nin nükleer enerji yatırımları, nükleer teknolojilerin yerlileştirilmesi özellikle Mersin Akkuyu Nükleer Santrali ile Sinop Nükleer Santrali'nin, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınmasında önemli katkılar sağlayacağı beklenmektedir. Sıfırdan nükleere başlayan ülkeler için başarı hikâyesinin önünü basit uygulanabilir ve çıktı alınabilecek tarzda bir santral modeliyle start-up vermek gerekir. Burada yatırımların özellikle sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilirlik çerçevesinde oluşturacağı katkıları genel mekanizmalar şeklinde ifade etmekte yarar vardır.

Nükleer enerjinin ülkemize getireceği başlıca katkılar ise,

- Kapasite artırımına,
- Bölgesel enerji barışına,
- Ağır sanayi hamlesinin altyapısının oluşmasına,
- Etkin yerli mevzuatın oluşturulmasına,
- Enerji bağımsızlığı ve sürdürülebilirliği,
- Uygulamalı nükleer eğitimin gelişmesine,
- Nükleer turizmin gelişmesi,
- Nükleer kültürün oluşması,
- Sürdürülebilir kalkınma

olarak listelenebilir. Nükleer enerji bir bakıma atoma vizyon ve misyon yükleme sanatı gibi

görülebilir. Dolayısıyla bu misyon ise atomun ağır sanayi hamlesine doğru giden bir köprü olarak görülmesi gerekir.

Tablo 7'de Türkiye'nin nükleer enerji kabiliyet ve kazanımlarının arttırılması için yapılması gereken politikalar listelenmiştir. Bu politikalar yerli nükleer eğitimin sağlanmasından üniversitelerin kurulmasına, enstitülerinin geliştirilmesine, nükleer malzeme test birimlerinden standardizasyon birimlerine kadar önemli konuları kapsamaktadır. Ama en önemlisi Türkiye'deki nükleer kabiliyetinin geliştirilmesine katkı sağlayacak politika, kademeli olarak nükleer bilgi ve teknoloji transferinden, nükleer bilgi ve teknoloji üretimine geçişin hızlandırılması olarak görülebilir. Bütün bunların her biri de sağlam, güçlü ve sürdürülebilir bir yönetim ve iktidarla mümkündür.

Peki, bakıldığı zaman nükleer enerji güvenliğinde ulusal önceliklerimiz neler olmalıdır? İlk önceliğimiz sürdürülebilir bir yönetime sahip olmaktır. Bunun için de devamında gelen terörizmle mücadele, ulusal güvenliğin sağlanması gibi öncelikler önem arz etmektedir. Bir diğer önceliğimiz, nükleer enerjide milli ve yerlileşme olmalıdır. Kademeli olarak öğrenilen bilgilerin yerli ve milli teknolojiler çatısı altında eritilmesi gerekmektedir. Yerlileşmeye, görece basit olduğundan CANDU reaktörleriyle başlamak önceliklerimizden biri olmalıdır. Çevresel etkileri ve elimizdeki yüksek rezerv gücü düşünüldüğünde toryumun nükleer yakıt olarak değerlendirilmesi bir başka önceliğimiz olmalıdır. Toryumun nükleer enerji alanında kullanılması bir başka öncelik konusu olan uranyum yakıtlı nükleer santrallere bağımlılığı da azaltacaktır ve enerjide dışa bağımlılığımızın minimum seviyeye indirilmesine yardımcı olacaktır. Nükleer enerji çıktılarının kalitesi ve güvenlik gibi konular nedeniyle ulusal nükleer standardizasyonun geliştirilmesi ve nükleer iş gücünün nitelikli hale getirilmesi çok önemlidir. Bunun için sektörün altyapısının güçlendirilmesi de gerekmektedir. Günümüz teknolojisini yakalamak adına yeni nesil reaktörlere kademeli geçişin başlatılmasının yanı sıra nükleer enerji maliyeti ve atık maliyetinin azaltılması, nükleer santral yapım süresinin azaltılması ve ömrünün uzatılması da önceliklerimiz arasında olmalıdır.

Tablo 7: Türkiye'nin nükleer enerji kabiliyetinin ve kazanımlarının arttırılması için yapılması gerekenler.

Gerekli Politikalar		
Doğal uranyum kullanan santraller kullanılmalı	Nükleer teknolojiler alanında kalifiye işgücü oluşturulmalı,	Ulusal nükleer standardizasyon birimi oluşturulmalı
Yerli yasal düzenlemeler yapılmalı	Nükleer sanayi, teknoloji ve endüstri bölgesi oluşturulmalı,	Ulusal nükleer teknolojiler tasarım, üretim birimi oluşturulmalı
Nükleer Enerji Bakanlığı kurulmalı,	Ulusal nükleer yazılım birimleri oluşturulmalı,	Nükleer enerji eğitim müfredatlarına konulmalı
Nükleer Koordinasyon Kurulu oluşturulmalı,	Uygulamalı nükleer teknolojiler laboratuvarları yaygınlaştırılmalı	Nükleer enerji teknolojileri okulları kurulmalı
Ulusal Nükleer Güvenlik Birimi oluşturulmalı	Ulusal nükleer malzeme test birimi oluşturulmalı,	Nükleer teknoloji sektörünün altyapısı desteklenmeli
Kademeli olarak nükleer bilgi ve teknoloji transferinden nükleer bilgi ve teknoloji üretimine geçiş hızlandırılmalı		

7.5.2 Türkiye'nin 12. ve 13. Kalkınma Planlarında Nükleer Güvenlik ve Atık Yönetimi Stratejileri

Türkiye'nin 12. ve 13. Kalkınma Planlarında bulunması gereken nükleer güvenlik ve atık yönetimi politikaları ve stratejileri aşağıda belirtilen şekilde olmalıdır.

- 12. Kalkınma Planı'nda 3. nükleer santralin kor bölge dışının %70-80 oranında milli ve yerli yapılması, kor bölgesinin %5-10 oranında yerli yapılması.
- 13. Kalkınma Planı'nda 4. nükleer santralin kor bölge dışının %100 milli ve %80-90 oranında yerli; kor bölgesinin %20-40 oranında yerli yapılması.
- Yapay zekâ ürünlerine karşı güvenlik mekanizmalarının geliştirilmesi,
- 12. Kalkınma Planı'nda enerjide dış bağımlılığın %40'ın altına düşürülmesi.
- 12. Kalkınma Planı'nda 4. Nesil mikro nükleer santrallerin milli ve yerli üretiminin programa alınması.
- 13. Kalkınma Planı'nda özellikle nükleer enerji üretim maliyetinin %20 oranında düşürülmesi.
- 13. Kalkınma Planı'nda nükleer santral ömrünün %20 oranında uzatılması.
- 13. Kalkınma Planı'nda toryum yakıtlı 5. nükleer santralin kurulması.
- 12. Kalkınma Planı'nda hibrit yakıtlı mikro nükleer santrallerin geliştirilmesi için ulusal proje desteklerinin geliştirilmesi.
- 12. Kalkınma Planı'nda nükleer atıkların geri kazanılması çalışmalarının başlatılması.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nükleer güç santrallerinin bugünü ve ülkemizdeki durumu incelendiğinde ülkemizde elektrik üretiminin çeşitli kaynaklardan (fosil yakıtlar, hidrolik santraller yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerji) sağlanması ülkemizin geleceği ve emniyeti bakımından şart olduğu görülmektedir. Problem getirmeyen hiçbir enerji kaynağı, özellikle elektrik enerjisi kaynağı yoktur. Nükleer güç santrali inşası da aşılması gerekli birçok problemi birlikte getirir. Bu güçlükler, teknolojik ve bilimsel olduğu kadar, daha fazla politik ve toplum kaynaklıdır.

Türkiye için uygun nükleer enerji teknolojilerine bir bakış atıldığında; ülkemizin özelikle ileri teknoloji sıçraması yapabilmek için gecikmeden nükleer santraller vasıtasıyla elektrik enerjisi üreterek nükleer çağı yakalaması gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca nükleer reaktörler sipariş edilirken, bu reaktörlerin kurulması ve inşası esnasında yerli sanayinin ve Türk beyin gücünün katkısı yüksek tutulması, uzun vadede yerli nükleer sanayinin dış bağımlılığını asgari düzeye indirecek reaktör tipi tercih edilmelidir. Elektrik üretim maliyeti 2-7 cent/kWh civarında olan yeni nesil Batı teknolojisine dayanan nükleer santrallerde (3+) reaktörlerin yük faktörü %98, ömrü de 60-100 yıl civarında olup bunlar çevre açısından en güvenilir teknik yapılardır. Türkiye'deki reaktör alma teşebbüslerinin 1960'lı yıllardan bugüne kadarki seyrine baktığımız takdirde ilk reaktörün kuruluşunun, sadece Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın gayretiyle mümkün olamayacağının ortaya çıktığı görülmektedir. Konuya ancak ve ancak bizzat Sayın Cumhurbaşkanımızın sahip çıkmaları ve bütün safhalarıyla yakın takibe almaları ile nükleer çağa geçişin gerçekleşebileceğinin mümkün olabileceğini ifade edebiliriz.

Ülkemizde nükleer alanda eğitim gören ve görmekte olan kişiler, gerek eğitim/öğretim döneminde ve gerekse mezun olduktan sonra bazı problemler ile karşılaşmaktadır. Eğitim/öğretim döneminde gerek uygulamalı dersler ve gerekse staj konusunda bölümlerimiz ve staj yapılacak kurumlar fiziksel olarak yetersiz kalmaktadır. Derslik, fiziksel mekân ve laboratuvarların yetersiz olması ve buna rağmen her geçen yıl öğrenci kontenjanlarının artırılması, eğitim/öğretim kalitesini düşürmekte, üretkenliği yok etmektedir. Mezuniyet sonrasında ise nükleer alanının ülkemizde yeterince tanınmaması, maaş ve itibar açısından daha tatmin edici alternatif imkânların olması, beyin göçü gibi nedenler ülkemizin nükleer teknoloji alanında gelişmesini de sekteye uğratmaktadır. Nükleer alanda daha kaliteli bir eğitim/öğretim sağlanması için kurumların fiziki şartlarının iyileştirilmesi ve kontenjan sayılarının ülke ihtiyaçlarına göre yeniden revize edilmesi önemli ihtiyaçlardandır. Ayrıca mezunların nükleer teknolojimizin geliştirilmesinde aktif rol alması, başka meslek alanlarına yönelmek yerine nükleer alanda çalışmalarının sağlanması için bu alanda çalışacak olan personele mesleki şartların daha cazip ve bu alanların sektörlerde daha tanınır hale getirilmesi ülkemizin nükleer alanda gelişmesini ve ilerlememizi sağlamak için hepimizin öncelikli görevi olmalıdır.

Türkiye'nin Nükleer Enerji Kabiliyeti ele alındığında ülke olarak nükleer enerji alanında belirli bir yol kat etmiş durumda ancak daha yapılacak çok işimizin olduğu görülmektedir. Nükleer teknolojinin gelişmesi için gerekli eylemleri sürekli artan bir tempo ile gerçekleştirmemiz gerekmektedir. Lüzumlu hallerde ülke dışından konu ile ilgili tecrübeli kurumlardan destek sağlanarak, gerektiğinde değiştirmemiz gerekecek olan yasal, eğitimsel, sanayi odaklı yaklaşımlarımızı değiştirip şekillendirerek bu süreci başarılı bir şekilde yönetmeliyiz. Unutulmamalıdır ki nükleer enerji alanında yapılan çalışmalar sayesinde sağlanacak tecrübe, birçok alana etki edecek olup hem sosyal hem de teknolojik kalkınmamıza şekil verecektir.

Türkiye'nin Nükleer Enerji Kazanımları açısından Akkuyu başta olmak üzere şu anda yürüyen nükleer santral projelerindeki yatırım modeli, ortalama enerji elektrik fiyatlarını aşağı çekmeyi amaçlayan, nükleerden elektrik enerjisi "üretme/ürettirme" programıdır. Bu yatırım modellerinde istihdam ve yerli katkı yatırımcının istediği ve işine geldiği ölçekte gerçekleşmesinin önüne geçecek tedbirler alınmalıdır. Yerelleştirmenin sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi için öncelikle bu konu özelinde ulusal stratejinin belirlenmesi gerekmektedir. Hâlihazırda santral tedarikçisi konumunda olan ülkelerden (ABD, Rusya, Çin, Fransa, Kore vs.) birisi olma amacı benimsenmiş ise bu amaca yönelik adımlar atılmalıdır. Yerelleştirme için Savunma Sanayi Başkanlığı'nın uygulamakta olduğu Ofset yöntemi başarılı olmuş ve rüştünü ispatlamış bir yöntemdir. Benzer bir yöntemin Nükleer santral projeleri içinde uygulanması önem arz etmektedir.

Türkiye İçin Nükleer Enerji Mevzuatı ve Atık Yönetimi incelendiğinde ülkemizin nükleer santral kurulması için tercih ettiği model olan "Yap-İşlet" modeliyle bağdaşabilecek nükleer teknoloji

transferi ile ilgili olarak konuya klasik şartlardan bazı farklılıklarla yaklaşılmasının gerektiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda Türkiye'de; i) mevzuatın uygun denetimler için yeterli olmasının sağlanması, ii) kurucu ülke mevzuatıyla uyumunun sağlanması için esnek tutulması, olabilecek paradoksal durumlarda IAEA mevzuatına müracaatın benimsenmesi, iii) nükleer yatırımlar için mevzuatın olmadığından bahsedilerek ulusal ve uluslararası engellemelerin yapılmasına fırsat verilmemesi, iv) derinliğine güvenlik felsefesinin her tür eylemde önde tutulması, v) yerli ve milli katkının sağlanmasında, vi) 1982'de çıkarılan Atom Enerjisi Kurumu Kanunu'nun kaldırılarak kısa ve esnek yeni bir kanun çıkarılması, vii) icracı ve yetkili karar organının olmasının sağlanması, viii) atık yönetiminde yeni teknolojilerin gelişiminin takibi ve bu bağlamda atık konusunun Yap-İşlet modeli çerçevesinde zaman içinde düşünülmesi ve ix) kullanılmış yakıt için Yap-İşlet modeli içinde kurucu ile yapılacak müzakerelerde bilinçli ve uygun şartların göz önüne alınması gerekmektedir.

Ülkemiz Nükleer Enerjide Ne Yapmalı Ne Yapmamalı? sorusuna cevap aranırken nükleer çalışmaların sadece enerji boyutuyla değil aynı zamanda diğer uygulamaları ile ülkemize yapabileceği katma değer de göz önünde bulundurulmalıdır. Ülkemizde nükleer ile ilgili çalışmalar konusunda yeterince başarı sağlanamamasının ana nedenleri: i) nükleer çalışmalar ile ilgili yönlendirici kurum eksikliği, ii) nükleer çalışmalar ile ilgili "kültür", bilgi ve tecrübe eksikliği, iii) yetkin bilim insanı eksikliği, iv) makine-teçhizat eksikliği ve v) finansman eksikliği olarak görülmektedir. Bu sorunların çözülmesi için i) öncelikle nükleer yol haritasının belirlenmesi için bir çatı kurumun gerek projeleri gerekse uygulamaları ve mevzuatı düzenlemesi gerekmektedir, ii) ülkemizde nükleer ile ilgili proje desteği veren veya hâlihazırda araştırma geliştirme ve uygulamaları yapan kurumların ve vermiş oldukları desteklerin uyumlandırılması gerekmektedir, iii) nükleer ve ilgili konularda çalışma yapmak farklı bir disiplindir ve bu kültürü ve farkındalığı oluşturmak elzemdir, iv) çoğunlukla teorik ve simülasyon temelli olup, genellikle akademik düzeyde kalan çalışmalardan vazgeçilerek nükleer ve ilgili alanlarda yapılan çalışmaların uygulamalı temel bilim ve mühendislik çalışmaları şeklinde yeniden şekillendirilmesi gerekmektedir, v) üniversitelerimiz ve akademisyenlerimiz nükleer teknolojiyi yakından takip ederek sanayicilerimizi yönlendirici görev üstlenmelidir, vi) nükleer ile ilgili yapılan çalışmaların bir kısmı yüksek maliyet gerektirdiğinden Kalkınma Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve diğer bakanlıklarımızın vermiş oldukları desteklerin uyumlandırılması ve mevcut ve alınacak makine teçhizat envanterinin çıkarılması gerekmektedir.

Türkiye'nin nükleer enerji imkânları ele alındığında, Mersin Akkuyu ve Sinop Nükleer Santrallerinde eğitim ve araştırma imkânı buraların yabancı ortaklı ticari işletmeler olması nedeni ile kısıtlı gözükmektedir. Ancak bu santralle nükleer enerji teknolojisi endüstrinin ilgisini çekecek, yeni istihdamların yaratılmasına yol açacak ve bir nükleer enerji ekonominin oluşmasına neden olacaktır.

Yeşil Nükleer Enerji Kaynağı: Toryum, ülkemiz açısından stratejik bir öneme sahiptir. Sinop'ta kurulması planlanan ATMEA 1 (PWR 3+ olduğu için) toryum kullanımına imkân sağlayabilir. Bu konuda Japonlarla ortak çalışma grubunun kurulması avantaj getirecektir. Yine kurulacak 3. nükleer santralin CANDU tipli olmasında yarar vardır. Ayrıca MSR ile ilgili çalışmalar ülkemizde başlatılmalı, AB projelerinde yer alınmalıdır. "Yeşil Nükleer Enerji" ADS ile ilgili çalışmalar da ihmal edilmemeli, AB MYRRHA projesinde yer alınmalıdır. Bu kapsamda Türk Hızlandırıcı Kompleksi (The Turkish Accelerator Complex TAC) projesi çerçevesinde öngörülen GeV enerjili proton hızlandırıcısı en kısa zamanda kurulmalıdır.

Türkiye'nin nükleer programın sürdürülebilirliği için önem arz eden ve en kısa zamanda tamamlanması gereken politika ve strateji çalışmaları i) nükleer güvenlik, ii) nükleer yakıt çevrimi ve iii) kullanılmış yakıt ve radyoaktif atık yönetimi başlıkları altında özetlenebilir. Nükleer güç programının sürdürülebilirliğinde en önemli etken program kapsamında yürütülecek tüm çalışmalarda nükleer güvenliğin sağlanmasıdır. Nükleer enerji kullanımına yönelik bütün faaliyetler uluslararası güvenlik standartlarına uygun bir biçimde yürütülmelidir. Bununla birlikte, ülkenin kendi düzenleyici çerçevesinin oluşturulması ve bağımsız bir düzenleyici otoriteye sahip olması da gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle nükleer alanda düzenleyici yapıyı belirleyen, düzenleyici otoritenin siyasi otoriteden ve işleticiden bağımsızlığı, saydamlık, kamuoyu tarafından izlenebilirlik gibi kurumsal özelliklerini detaylı olarak tanımlayan, gerekli mevzuat altyapısını belirleyen ve nükleer güvenlik, emniyet ve güvence konularını bütünleşik olarak ele alan bir 'nükleer güvenlik politikası' çalışması yapılmalıdır. Ayrıca

düzenleyici altyapıyı oluşturan çalışmalara paralel olarak nükleer güç programının uygulanmasında ihtiyaç duyulan insan kaynağının geliştirilmesi ve teknik altyapının oluşturulması yönünde stratejiler geliştirilmelidir. Akkuyu Nükleer Santrali (ANS) ve Sinop Nükleer Santrali (SNS) projeleri nükleer yakıt tedarikine ilişkin hükümler içermektedir. ANS ve SNS projelerinde yakıtın dışardan tedariki nedeniyle Türkiye'nin dışa bağımlılığının devam etmesi söz konusu olacaktır. Oysa nükleer programın sürdürülebilirliği açısından ülkenin uranyum rezervlerinin yeni yöntemlerle tekrar belirlenmesi, nükleer yakıt üretimine ilişkin araştırmalar yapılması ve yakıt üretim teknolojisinin hükümetler arası anlaşmalar çerçevesinde transferi önem arz etmektedir. Böylece en azından nükleer program kapsamında kurulacak yeni nükleer güç santrallerinin yakıtının temininde dışa bağımlılığın önüne geçilebilir.

Türkiye'nin nükleer güç programının sürdürülebilirliği açısından, planlanan nükleer güç santrallerinin işletmeye alınması ile oluşacak kullanılmış yakıtların ve radyoaktif atıkların uzun dönemde güvenli yönetimi önem arz etmektedir. Radyoaktif atığın uzun vadede güvenli yönetiminin sağlanabilmesi için nükleer programın erken dönemlerinden başlamak üzere radyoaktif atık yönetimine ilişkin ulusal programın oluşturulması, ilgili mevzuatın geliştirilmesi ve gerekli altyapı çalışmalarına başlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, öncelikle Türkiye'nin Ulusal Radyoaktif Atık Yönetimi Politikası'na ilişkin çalışmaların bir an önce tamamlanması ve ulusal mevzuata yansıtılması gerekmektedir. Sonrasında radyoaktif atıkların güvenli yönetimi için gerekli düzenleyici, idari ve teknik altyapının oluşturulmasına yönelik çalışmalar başlatılmalıdır. Belirlenen ulusal atık politikası temel alınarak, kurulması planlanan nükleer santrallerin işletmeye alınması ile oluşacak kullanılmış yakıtların ve radyoaktif atıkların güvenli yönetimi için uygulanacak yöntemler ve teknik çözümler saptanmalı ve Ulusal Radyoaktif Atık Yönetimi Planı yapılmalıdır. Akabinde düşük ve orta seviyeli radyoaktif atıklar için kurulması öngörülen depolama ve bertaraf tesislerinin tasarımı, saha seçimi, bu tesislerde uygulanacak atık kabul kriterlerinin tesis tasarımı dikkate alınarak geliştirilmesi gibi hususlar için en kısa zamanda çalışmaların başlatılması gerekmektedir. Kullanılmış yakıtların ve yüksek seviyeli atıkların ülkede bertarafının söz konusu olması durumunda ise kurulacak bir jeolojik bertaraf tesisine yönelik çalışmalarda deneyimli ülkelerle işbirliği yapılması önem arz etmektedir. Bu konuda yürütülen çok uluslu projelere dâhil olunmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca geliştirilen radyoaktif atık yönetim stratejileri dikkate alınarak radyoaktif atıkların yönetiminin ekonomik maliyetinin ne olacağı konusunda çalışmalar yapılmalı ve hükümetler arası anlaşmalarda kurulması öngörülen radyoaktif atık yönetimi ve işletmeden çıkarma fonlarının yeterliliği test edilmelidir.

Küresel olarak enerji politikaları değerlendirildiğinde 2030'a kadar doğalgaz ve hidroelektrik dışındaki yenilenebilir kaynakların elektrik üretimindeki paylarının artacağı, ancak hükümetlerin CO_2 emisyonunu sınırlandırmak için daha sert önlemler almadıkları takdirde kömürün dünyanın en önemli elektrik üretim kaynağı olmaya devam edeceği öngörülmektedir. Buna karşılık nükleer kapasite artışının özellikle Asya-Pasifik ülkelerinde yoğunlaşacağı tahmin edilmektedir. Nükleer enerji politikaları açısından bakıldığında gelişmiş ülkelerde ise enerji doygunluğu, nüfus artış hızının az olması ve enerji yoğun sanayiden vazgeçilmesi sonucunda, nükleer enerjiye olan talebin gelişmekte olan ülkelerden daha az olacağı, ancak hidrojen üretimi gibi nükleer reaktörlerin elektrik üretimi dışındaki uygulamalarının ağırlık kazanması sonucunda nükleer reaktör sayısında artışın olabileceği de tahmin edilmektedir. Türkiye açısından nükleer santralleri işletmenin pek kolay olmadığını kabul etmek gerekir. Ancak 1957'den beri 35 ülkede kullanılmakta olan bu tür santralleri kullanma konusunda bugüne kadar güvenlik konusunda karşılaşılmış sorunları ortadan kaldıracak teknolojik önlemleri almak kaydıyla daha proaktif bir yaklaşımı benimsememizin zamanı gelmiş ve geçmektedir. Bu alanda sahip olduğumuz teknolojik ve mali potansiyeli harekete geçirmemiz gereklidir. Nükleer santrallere ilişkin ileri teknoloji ve yoğun sermaye gerektiren projelerin hayata geçirilebilmesi için temel ve uygulamalı bilimlerde gerekli üst düzey niteliklere sahip bilim insanlarına, teknisyen kadrolara, yeterli finans kaynaklarına, katılımcı şirketlere ve devlet desteğine ihtiyaç vardır. Sayın Cumhurbaşkanımızın destekleyeceğini ifade etmiş olduğu bilim ve ileri teknolojiye odaklı 10 üniversitemizde diğer akademik disiplinler yanında güvenli nükleer enerji konusunda dünya standartlarında ve kritik büyüklüğe ulaşmış bilim kadrolarının yetiştirilmesi mümkün olabilir. Temel bilimlere ağırlık vermeden ileri teknoloji bazı özgün ve yenilikçi teknolojik tasarımların geliştirilemeyeceği idrak edilerek nükleer bilimler, nükleer elektrik, nükleer tıp ve

nükleer güvenlik gibi yakın geleceğin toplum yaşamına olumlu katkılar sağlayacak konulara eğilmek ülkemiz için güvenli, huzurlu ve müreffeh bir geleceğe ışık tutacaktır.

Türkiye'de Nükleer Enerji Stratejileri değerlendirildiğinde ülkemizin nükleer teknoloji kullanma ve sahip olma konusunda birkaç seçeneği bulunduğu görülmektedir. Bu seçeneklerden; Türkiye'nin mevcut durumu değerlendirildiğinde bizim için en uygun olan profilde ülkenin uzmanları, bir kısım teknolojiyi, altyapıyı ve insan kaynaklarını bizzat geliştirmesi ile birlikte kritik ve özellikle teknolojik transfere açık olmayan unsurları belirleyip ihtiyaca göre farklı ülkelerden farklı opsiyonları değerlendirip seçebileceği bir profil olmalıdır. Bu minvalde önerilen TÜRKATOM, TNTE ve Nükleer Devlet Üniversitesi'nin birbirini tamamlayan unsurlar olarak planlanması ve hayta geçirilmesi ülkemiz için elzemdir.

Fukushima Daiichi nükleer kazasının ardından nükleer güvenliğe ilişkin düzenleyici yapıda meydana gelen değişiklikler ve ülkemizdeki mevcut durum değerlendirildiğinde yürürlüğe girmesi beklenen yeni nükleer enerji kanununda, düzenleyici yapının faaliyetlerini sadece güvenlik ilkeleri çerçevesinde, bağımsız olarak yürütebileceği şekilde oluşturulması tavsiye edilmektedir.

Türkiye'nin Stratejik Nükleer Enerji Yol Haritası olarak i) stratejik yaklaşımlar ve ilkeler belirlenmeli ve temel kriterler üzerinden politikalar dizayn edilmeli, ii) nükleer güvenlik ilkeleri belirlenmeli ve uygulanmalı, iii) nükleer yatırımların katkıları değerlendirilmeli, iv) nükleer enerji kabiliyetinin ve kazanımlar artırılmalı, v) nükleer enerji güvenliğinde ulusal önceliklerimiz ele alınmalı, vi) Türkiye'nin 12. ve 13. Kalkınma Planları için nükleer güvenlik ve atık yönetimi stratejileri geliştirilmelidir.

9. TEŞEKKÜR

Raporun hazırlanmasında katkısı bulunan aşağıda isimleri yazılı olan devlet ve vakıf üniversitelerinden bilim insanları ile bakanlıklardan, çeşitli sanayi şirketlerinden ve sivil toplum derneklerinden yöneticiler ile konunun uzmanlarına Türkiye Bilimler Akademisi olarak teşekkür ederiz.

Yrd. Doç. Dr. Banu Bulut ACAR
Hacettepe Üniversitesi

Dr. Fatih ALİM
TAEK Teknoloji Daire Başkanı

Dr. Serhat ALTEN
TAEK Nükleer Güvenlik Dairesi Başkanı

Prof. Dr. Namık Kemal ARAS
TÜBA Şeref Üyesi

Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN
Akdeniz Üniversitesi

Hasan ÇEP
Alper Isıl İşlem Sanayi ve Ticaret A.Ş. Genel Müdürü

İbrahim Halil DERE
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanı

Yuriy GALANCHUK
Mersin Akkuyu Nükleer Santrali Genel Müdürü

Prof. Dr. Orhan İÇELLİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sadık KAKAÇ
TÜBA Şeref Üyesi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Prof. Dr. Cemil KOCAR
Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölüm Başkanı

Dr. Ahmet KÜTÜKÇÜOĞLU
TEK Nükleer Santral Dairesi Eski Başkanı

Prof. Dr. Niyazi MERİÇ
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Kurucu Rektörü

Prof. Dr. C. Niyazi SÖKMEN
Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği

Prof. Dr. Saleh SULTANSOY
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Prof. Dr. Bahri ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi Rektörü, TÜBA Asli Üyesi

Prof. Dr. Sümer ŞAHİN
Bahçeşehir Üniversitesi

Ahmet TAŞKIN
Makina Kimya Endüstrisi Kurumu Genel Müdürü

Prof. Dr. Mehmet TOMBAKOĞLU
Hacettepe Üniversitesi

Prof. Dr. Asiye Beril TUĞRUL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayhan YILMAZER
Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği

Ayrıca raporun hazırlanmasında, ilk taslağı oluşturmada önemli katkılar koyan Prof. Dr. Adnan Midilli'ye, şekillerin bazılarını çizip, metinleri verilen dokümanların ve kaydedilen videoların ışığı altında raporun taslağını düzenleyen Dr. Murat Emre Demir'e, son olarak da metindeki uyumsuzlukları kontrol ederek listesini oluşturan Fatih Sorgulu'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. U.S. Energy Information Administration. [cited 30 November 2018]. Available from https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=nuclear_home.
2. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı - Nükleer Enerji. [cited 30 November 2018]. Available from http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji.
3. *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya ve Türkiye Tabii Enerji Kaynaklar Görünümü*. 2017
4. TÜBA konferansları, GÜNCE-Sadık Kakaç, TÜBA şeref üyesi.
5. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (http://www.dsi.gov.tr/).
6. Yenilenebilir Enerji Kaynakları - Bu günü ve yarını, www.tuba.gov.tr GÜNCE.
7. NEA (https://www.oecd-nea.org).
8. Küresel Isınma ve Nükleer Enerji, TÜBA GÜNCE dergisi, Kasım 2005 sayı 32.
9. IEA (https://www.iea.org).
10. MIT Nuclear Engineering Department (http://web.mit.edu/nse).
11. IAEA (https://www.iaea.org).
12. IAEA Power Reactor Information Service (PRIS).
13. World Nuclear Association (http://www.world-nuclear.org).
14. Electricity production from nuclear sources (% of total), The World Bank Data. [cited 8 February 2019]. Available from https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.NUCL.ZS.
15. PRIS - Nuclear Share of Electricity Generation in 2017, IAEA. [cited 9 February 2019]. Available from https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx.
16. World Nuclear Association World Nuclear Performance Report.
17. TÜBA konferansları, Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikaları, Stratejileri ve Mekanizmaları-Ahmet Kütükçüoğlu,.
18. http://www.akkunpp.com.
19. 2014. *World's first nuclear power plant project implemented on BOO Akkuyu NPP Power Generation JSC ROSATOM Rosatom state nuclear corporation*. [cited 1 October 2018]. Available from https://www.iea.org/media/workshops/2014/aprilnuclearworkshop/Session3bGrigoryKazakov7april.pdf.
20. http://nbe.ege.edu.tr/.
21. http://www.nbe.hacettepe.edu.tr/.
22. http://nuke.hacettepe.edu.tr/tr/index.html.
23. Nükleer eğitim için 32 öğrenci daha yurt dışı yolcusu. [cited 9 February 2019]. Available from https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/nukleer-egitim-icin-32-ogrenci-daha-yurt-disi-yolcusu/1363934.
24. https://countryeconomy.com.
25. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics.
26. NAIIC, 2012, The Official Report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, Executive Summary, The National Diet of Japan, Tokyo.
27. IAEA, 2015, The Fukushima Daiichi Accident, Technical Volume 1/5, Description and Context of the Accident, International Atomic Energy Agency, Vienna.
28. TAEK, 2012a, European "Stress Tests" for Nuclear Power Plants, National Report of Turkey, Turkish Atomic Energy Authority, Ankara.
29. TAEK, 2016, A Full Report to The 7th Review Meeting of Convention on Nuclear Safety, Turkish Atomic Energy Authority, Ankara.
30. TAEK, 2012b, Nükleer Güç Santrallerinin Lisanslanmasına Esas Mevzuat, Kılavuz ve Standartlar ile Referans Santralin Belirlenmesine İlişkin Yönerge, Ankara.
31. IAEA, 1999, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, 75-INSAG-3 Rev. 1, INSAG-12, A Report By The International Nuclear Safety Advisory Group, International Atomic Energy Agency, Vienna.
32. Energy Agency, Vienna [42] TAEK, 2015, 24/3/2015 tarihli Atom Enerjisi Komisyonu onayı ile Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığına (AFAD) gönderilen Ulusal Radyasyon Acil Durum Planı.
33. IAEA, 2007, Integrated Regulatory Review Service (IRRS)to Japan, Rep. IAEA-NSNI-IRRS-2007/01, International Atomic Energy Agency, Vienna.
34. Bakanlar Kurulu, 1983, 18/11/1983 tarihli ve 83/7405 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla yürürlüğe konulan Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük.
35. TAEK, 2008, 17/10/2008 tarihli ve 27027 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Nükleer Güç Santrallerinin Güvenliği İçin Özel İlkeler Yönetmeliği.
36. IAEA, "Nuclear Power Reactors in The World,"IAEA-RDS-2/37 ISBN 978–92–0–104017–6, ISSN 1011–2642, VIENNA, Austria (May2017) Printed by the IAEA in Austria.
37. S. Şahin, H. M. Şahin, Comprehensive Energy Systems, Volume 1: Energy Fundamentals, Chapter 122. Nuclear energy, Editor: İbrahim Dinçer, Elsevier (2018).

38. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Nükleer Hammadde: Uranyum, Toryum. [cited 28 September 2018]. Available from http://www.taek.gov.tr/.
39. John R. Lamarsh & AS. J.Baratta, Nuclear Engineering, 3rd edition,Prentice Hall,2001.
40. Uranium 2011: Resources, Production and Demand, A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, ISBN 978-92-64-17803-8 (2012).
41. A.B. Tuğrul, Nükleer Enerji Değerlendirmesi, İTÜ Vakfı Dergisi, Sayı: 60, s: 46-49, Ocak 2013.
42. A.B. Tuğrul, "Türkiye'de Nükleer Enerji Santral Çalışmaları "Euro Newsport, Mayıs-Haziran 2017, Sayı: 73, s: 92-95.
43. A.B. Tuğrul, Nükleer Enerjide Türkiye Modeli, Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi, Eylül 2016, 2016, Sayı:128, s: 57-63, ISSN1305-2047.
44. A. B. Tuğrul, 'Nuclear Energy in the Energy Expansion of Turkey', "Journal of Energy and Power Engineering, Vol. 5, No 10, pp. 905-910, Oct.2011,.
45. A. B. Tugrul, M. Simsek, "Evaluation of Nuclear Energy in Energy Supply Security for Turkey, International Journal of Nuclear and Radiation Science and Technology, IJNURASAT, Vol. 1, No: 2, pp-1-4, Dec.2016.
46. IAEA, Documentation Structure of The Quality Assurance Programme, Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and Other Nuclear Installations, Code And Safety Guides Q1-Q14, Vienna, 1996.
47. IAEA Safety Standards."Regulatory control of nuclear power plants Part A", Textbook, Vienna, 2002.
48. A.B. Tuğrul, "Nükleer Teknoloji Transferi ve Toplam Kalitenin Önemi", 20. Uluslararası Enerji ve Çevre Konferansı ICCI-2014, İstanbul, 24-26 Nisan 2014, CD Bildiri Kitabı, s: 1-5.
49. A.B. Tuğrul, "Nükleer Enerjinin Sürdürülebilir Kalkınma Açısından Değerlendirilmesi ve Derinliğine Güvenlik Felsefesi", 21. Uluslararası Enerji ve Çevre Konferansı ICCI-2015, İstanbul, 06-08 Mayıs 2015 CD Bildiri Kitabı, s: 6-10.
50. IAEA, 2001 Regulatory Control of Nuclear Power Plants, Vienna.
51. Probabilistic Safety Assessment: An Analytical Tool for Assessing Nuclear Safety, http://www.nuce.boun.edu.tr/psaover.html.
52. ARIS. [cited 17 October 2018]. Available from https://aris.iaea.org/.
53. M. Hadid Subki, Advances in Development and Deployment of Small Modular Reactor Design and Technology, ANNuR – IAEA – U.S.NRC Workshop on Small Modular Reactor Safety and Licensing 12 – 15 January 2016, Vienna, Austria, M Building OE Press Room.
54. Terms for describing new, advanced nuclear power plants, IAEA, TECDOC-936 (1997).

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADS	Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler
AECL	Atomic Energy of Canada Limited
AEK	Atom Enerjisi Komisyonu
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
ANAEM	Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
ANRE	Doğal Kaynaklar ve Enerji Ajansı
ANS	Akkuyu Nükleer Santrali
ANTHAM	Ankara Nükleer Tarım ve Hayvancılık Araştırma ve Eğitim Merkezi
BTYK	Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu
BWR	Kaynar (Hafif) Su Reaktörleri
CANDU	Canada Deuterium-Uranium Reactor
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
DEEP	Desalination Economic Evaluation Programme
DE-TOP	Desalination Thermodynamic Optimization Program
DSİ	Devlet Su İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ENSREG	Avrupa Nükleer Güvenlik Düzenleyicileri Grubu
EPA	Environmental Protection Agency
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FINPLAN	Model for Financial Analysis of Electric Sector Expansion Plans
FNR	Hızlı Nötron Reaktörleri
GE	General Electric
HEEP	Hydrogen Economic Evaluation Program
HSS	Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler
HTR	Yüksek Sıcaklıkta Gaz Soğutmalı Reaktörler
HTSE	Yüksek Isıda Buhar Elektrolizi
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu
INSAG	Uluslararası Nükleer Güvenlik Danışma Grubu
IRRS	Bütünleşik Düzenleyici Gözden Geçirme Servisi
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
JAEA	Japon Atom Enerjisi Ajansı
JNES	Japon Nükleer Enerji Güvenlik Organizasyonu
KAERI	Kore Atom Enerjisi Araştırma Enstitüsü
MAED	Model for Analysis of Energy Demand
MED	Çok Etkili Damıtma
MESSAGE	Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact
METI	Ekonomi, Ticaret ve Endüstri Bakanlığı
MEXT	Eğitim, Kültür, Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı
MSF	Çok Aşamalı Flaş
MSR	Erimiş Tuz Reaktörleri
MTA	Tetkik ve Arama Enstitüsü
NAIIC	Japon Ulusal Meclisi Fukushima Nükleer Kazası Bağımsız Soruşturma Komitesi
NDC	Nükleer Kalkınma Komitesi
NIRS	Ulusal Radyolojik Bilimler Enstitüsü
NISA	Nükleer ve Endüstriyel Güvenlik Ajansı
NRA	Nükleer Düzenleyici Otorite
NRC	Nükleer Düzenleme Komisyonu
NSC	Nükleer Güvenlik Komisyonu
NUBA	Nükleer Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezi
ODTÜ	Ortadoğu Teknik Üniversitesi

ÖGAR	Ön Güvenlik Analiz Raporu
PHWR	Basınçlı Ağır Su Reaktörleri
PWR	Basınçlı (Hafif) Su Reaktörleri
RO	Ters Osmoz
SANAEM	Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
SIMPACTS	Simplified Approach for Estimating Impacts of Electricity Generation
SNS	Sinop Nükleer Güç Santrali
SNTM	Sinop Nükleer Teknoloji Merkezi
TAC	Türk Hızlandırıcı Kompleksi
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TBMM	Türkiye Büyük Millet Meclisi
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu
TNTE	Türkiye Nükleer Teknoloji Enstitüsü
URAP	Ulusal Radyasyon Acil Durum Planı
WAMP	Water Management Program
WASP	Wien Automatic System Planning Package

TÜBA-NÜKLEER ENERJİ ÇALIŞTAYI VE PANELİ PROGRAMI
9 Mart 2018 • Hacettepe Üniversitesi - ANKARA

I. OTURUM
Oturum Başkanı: *Prof. Dr. Cemil KOCAR, Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölüm Başkanı*

Türkiye'nin Nükleer Enerji Programı ve Yol Haritası
Dr. Necati YAMAÇ, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Müsteşar Yardımcısı

Nükleer Reaktörlerin Bugünü ve Yarını-Ülkemizde Durum
Prof. Dr. Sadık KAKAÇ, TÜBA Şeref Üyesi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Yeşil Nükleer Enerji Kaynağı: Toryum
Prof. Dr. Saleh SULTANSOY, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Mersin Akkuyu Nükleer Santralinin Durumu ve Geleceği
Dr. Kürşad TOSUN, Mersin Akkuyu Nükleer Santrali, Direktör

Türkiye İçin Uygun Nükleer Enerji Teknolojilerine Bakış
Prof. Dr. Sümer ŞAHİN, Yakındoğu Üniversitesi

I. PANEL:
Türkiye'nin Nükleer Enerji Kabiliyeti, İmkanları ve Kazanımları
Moderatör: *Prof. Dr. Bahri ŞAHİN, TÜBA Asli Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Rektörü*
Prof. Dr. Cemil KOCAR, Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Niyazi MERİÇ, Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN, Akdeniz Üniversitesi
İbrahim Halil DERE, ETKB Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanı
Dr. Fatih ALİM, TAEK Teknoloji Daire Başkanı
Hasan ÇEP, Alper Isıl İşlem Sanayi ve Ticaret A.Ş. Genel Müdürü

II. PANEL:
Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikaları, Stratejileri ve Mekanizmaları
Moderatör: *Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Kurucu Rektörü*
Prof. Dr. Namık Kemal ARAS, TÜBA Şeref Üyesi
Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Prof. Dr. Orhan İÇELLİ, Yıldız Teknik Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Banu Bulut ACAR, Hacettepe Üniversitesi
Ahmet TAŞKIN, Makine Kimya Endüstrisi Kurumu Genel Müdürü
Dr. Ahmet KÜTÜKÇÜOĞLU, TEK Nükleer Santral Dairesi Eski Başkanı

II. OTURUM
Oturum Başkanı: *Prof. Dr. C. Niyazi SÖKMEN, Hacettepe Üniversitesi, Nükleer Enerji Mühendisliği*

Türkiye'de Nükleer Enerji Eğitimi
Prof. Dr. Cemil KOCAR, Hacettepe Üniversitesi

Nükleer Enerjide Alternatif Boyutlar
Prof. Dr. İbrahim DİNÇER, TÜBA Asli Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi

Nükleer Enerji Teknolojilerinin Sanayi Boyutuna Bir Bakış
Hasan ÇEP, Alper Isıl İşlem Sanayi ve Ticaret A.Ş. Genel Müdürü

Nükleer Güvenlik ve Mevzuat
Dr. Serhat ALTEN, TAEK Nükleer Güvenlik Dairesi Başkanı

III. PANEL: Türkiye'nin Nükleer Enerji Mevzuatı, Nükleer Güvenlik, Atık Yönetimi ve Sosyal Kabul
Moderatör: *Prof. Dr. Ayhan YILMAZER , Hacettepe Üniversitesi, Nükleer Enerji Mühendisliği*
Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet TOMBAKOĞLU, Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Sümer ŞAHİN, Yakındoğu Üniversitesi
Prof. Dr. Asiye Beril TUĞRUL, İstanbul Teknik Üniversitesi
Dr. Serhat ALTEN, TAEK Nükleer Güvenlik Dairesi Başkanı

Değerlendirme ve Kapanış Konuşmaları

TÜBA

Türkiye Bilimler Akademisi

TÜBA-NÜKLEER ENERJİ RAPORU

Ankara - 2019

Editör: Prof. Dr. İbrahim DİNÇER