

ENERJİ ve ÇEVRE

Muhammet KARATAŞLI¹

Tahsin ÖZER^{2*}

Ahmet VARİNLİOĞLU³

Özet

Teknolojinin ve sanayileşmenin hız kazanması hayatın her alanında çok büyük gelişmelere neden olmuştur. Günümüzde dünya nüfusunun sürekli artışı, enerji açığının hızla artmasına sebep olmuştur. Son 40 yıldır doğa değişik enerji üretim teknolojilerinin verdiği zararlardan dolayı büyük tahribatlara uğramıştır. Özellikle son dönemdeki iklim değişikliği, çevre sorunları ve artan enerji talebi önemli bir problem olmuştur. Bu çalışmada, nükleer enerjinin dünyada ve Türkiye'deki gelişimi, var olan nükleer santrallerin özellikleri, avantajları, dezavantajları hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çevre, Enerji, Nükleer.

¹ Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, muhammet.karatasli@gmail.com

² O.K.Ü. Bahçe MYO, Osmaniye, Türkiye, tahsinozer@hotmail.com, Sorumlu yazar

³ Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, varinlia@yahoo.com

Abstract

The acceleration of technology and industrialization in every area of life has led to major advances. Today continuous growth of the world population, has led to rapidly increasing energy deficit. In last forty years, nature suffered a serious damage because of energy production activities in several types. Climate change, especially in recent years, environmental issues and rising energy demand has been a major problem. In this study, the development of nuclear energy in the world and in Turkey, the existing nuclear power plants features, advantages, and disadvantages were given information about.

1. GİRİŞ

Değişen ve dönüşen modern dünyanın motor gücü enerjidir. Bu değişimin temel girdisi olarak enerjinin, aynı zamanda toplumsal ve ekonomik gelişmelerden de etkilenen sistem olma özelliği konunun çok yönlü ele alınmasını ve analizini gerektirmektedir. Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel yönlerinin temelinde ise yine enerji yer almaktadır[1].

Enerji, insanların barınma, korunma, sağlık, eğitim ve beslenme vb. gibi bütün temel unsurlarını karşılayan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin teknolojik gelişmeleri hızlandıran bir güçtür. Dünya nüfusu sürekli artmakla beraber ekonomik gelişmeler yaşanmaktadır. Buna paralel olarak ihtiyaçlardan doğan birçok problem ve gereksinimler bu yönde ortaya çıkmıştır. Bu ekonomik gelişmeler ve artan nüfus, enerji talebini gerektirirken, enerji temininde de yeni teknolojik gelişme

ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Bu yüzdendir ki devlet yönetimini üstlenenler, enerjiyi güvenilir, çevreye uyumlu, temiz, işletim-üretim maliyetleri ucuz enerji kaynaklarını mutlaka çeşitlendirmek durumundadır. Petrol, doğal gaz ve kömürün yakın gelecekte tükenecek olması, yenilenemeyen enerji kaynağı olarak bilinen fosil yakıtların artan enerji ihtiyacını karşılamaması ülkeleri farklı enerji kaynağı arayışlarına sürüklemektedir. Bu da enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ile yakın ilişkilidir. Bu nedenle ülkeler enerjiyi kullanma ve bulma açısından değişik politikalar sürdürmektedir. Doğal kaynaklar bakımından zengin olmayan ülkeler, enerji çıkmazını ortadan kaldırmak için yenilebilir enerji kaynakları biyoenerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi gibi alternatif çözümler olarak düşünülmesine rağmen, nükleer santrallerin denetim altında sürekli bulunmaları, günümüzde insana ve çevreye zarar verebilecek şekilde kaza yapma riskinin diğer teknolojik olan ürünlere göre çok daha az olmasından dolayı nükleer enerjiye yönelirken, elinde bulundurduğu doğal kaynaklar yönünden zengin olan ülkeler hem kaynaklarını değerlendirme ve hem de bununla birlikte meydana gelebilecek enerji dar boğazına karşı nükleer santral yapma eğilimi içindedirler [2].

2. NÜKLEER ENERJİYE GENEL BAKIŞ

Maddenin en küçük yapı taşı olan atomların parçalanması veya birleştirilmesi ile oluşan tepkime sonucunda çıkan ürüne nükleer enerji denir. Ağır atom çekirdeklerinin nötron bombalanması sonucunda parçalanmasına fisyon, hafif atom çekirdeklerinin birleştirilmesi olayına füzyon, en son olarak da çekirdeğin parçalanması sonucu kararlı hale

gelmesi yarılanma olarak bilinir. Bu fisyon ve füzyon tepkimelerinde ortaya çıkan enerjiye “çekirdek enerjisi” ya da “nükleer enerji” olarak adlandırılır [3].

Her madde atomlardan ve her bir atom da etrafını bir elektron bulutunun kapladığı bir çekirdekten oluşur. Bu çekirdekte her zaman iki ayrı türden temel tanecik bulunur. Bunlar (+) yüklü protonlar ile hiçbir elektrik yükü bulunmayan yüksüz nötronlardır. Örnek vermek gerekirse nükleer yakıt olarak genellikle santrifüjlere U-238’in zenginleştirilmesiyle elde edilen Uranyum-235 (U-235) atomlarında 92 adet proton ve 143 adet nötronu bulundurur. Nükleer enerji işte, bu 235 taneciği bir arada tutan bağ enerjisinin bir bölümünün açığa çıkması sonucu oluşur. U-235 çekirdeği üzerine çarpan yavaşlatılmış bir nötron bu çekirdeğin bağ kuvvetinin dengesini bozarak çekirdeği iki veya daha fazla farklı çekirdeğe böler (fisyon) ve fisyon sonucunda iki ya da üç nötron meydana gelir. Bunlardan çıkan yeni nötronlar da ortamda bulunan ve fisyon yapabilen diğer U-235 çekirdeklerini parçalar. Bu süreç, zincirleme reaksiyon mekanizması oluşturur. Zincirleme reaksiyon tümüyle kontrol altındadır [4].

2.1. DÜNYA DA NÜKLEER ENERJİ GELİŞİMİ

Nükleer enerjinin tarihçesi milattan önce 400 yılına kadar dayanır. Tüm maddelerin bölünemeyen küçük parçalardan oluştuğunu Yunan düşünür Demokritos söylemiş olup, Yunanca da bölünemeyen anlamına gelen bu maddeye de ‘atomos’ ismini vermiştir. Atom sözcüğü ise buradan türemiştir. 17. Yüzyılda Isaac Newton bu görüşü canlandırarak bilim

dünyasının gündemine sokmuştur. 1800'lü yılların başında ise İngiliz bilim adamı Michael Faraday atomun kendi içinde elektron denilen parçacıklardan oluştuğunu ileri sürer. 20. Yüzyılın başlarında ise Curie ve Becquerel radyoaktiviteyi keşfederler. 1905 senesinde Albert Einstein görelilik teorisini ortaya koyar ve maddenin enerjiye dönüşebileceğini kanıtlar. 1932 yılında da İngiliz bilim adamı James Chadwick nötronu keşfeder [5].

1934'te Roma'da yaptığı araştırmalar sırasında İtalyan bilim adamı olan Enrico Fermi, nötronların bazılarının atomu parçalayabileceğini keşfetti. Otto Hahn ve Fritz Strassman 1938'de Almanya'da berilyum ve radyum içeren bir kaynaktan nötronlarla uranyumu bombardıman ettiklerinde Baryum-56 gibi daha hafif elementler bulunca şaşırdılar. Avusturyalı bilim insanı o sıralarda Otto R.Frisch ile çalışan Lisa Meitner'e bu çalışmalarını göstermek için götürdüler. Baryum ve diğer yeni oluşan maddeleri araştırmalar sonucunda uranyumun bölünmesi neticesinde var olduğunu düşündülerse de ürünlerin atomik kütleleri ile reaksiyona giren maddenin atomik kütleleri birbirini tutmuyordu. Daha sonra fisyon hem de kütleinin enerjiye dönüşümü teorisini, Albert Einstein'ın $E=mc^2$ formülünü kullanarak ispatlamış oldular. Fermi ve ekibi Aralık 1942'de, nükleer çağ ilk nükleer reaktörü aktive ettiklerinde başlamış oldu [6].

2015'in martı itibariyle de, 31 farklı ülkede toplam 440 nükleer santral işletme halinde olup, 68 adet nükleer santral ise 15 ülkede inşa halindedir. 2010'da gerçekleşen nükleer enerjiden elektrik üretiminin 2,756 TWh değerinden 3,908 TWh değerine 2035 yılında yükseleceği,

bununla birlikte nükleer enerjinin toplam enerji üretimindeki payının %12,9'dan %9,7'ye düşeceği hesaplanmaktadır. 2010 yılında 394 GW değerindeki dünyadaki nükleer santral kurulu gücünün, 524 GW'a 2035'de çıkması beklenirken, Avrupa Birliği'nde nükleer kapasitede %32'lik bir düşüş öngörülmektedir. 2010 itibariyle Avrupa Birliği'nde 138 GW olan nükleer kurulu gücün 2035'de 94 GW'a inmesi beklenmektedir. 2035 yılına kadar OECD-dışı Asya ülkelerinde Çin (105 GW) başta olmak üzere 127 GW'lık artış tahmin edilmektedir. 2035 yılına kadar ilave ünitelerle nükleer kapasitesini Rusya'nın %50 (12 GW) arttıracığı düşünülmektedir. 5 GW'lık bir artışla ABD'de de nükleer kapasitenin 2035 yılın da 111 GW'a ulaşılması beklenmektedir [7].

2.2. TÜRKİYE'DE NÜKLEER ENERJİNİN TARİHİ

Türkiye'de nükleer santral kurulumuna ilişkin çabalar yıllardır devam etmektedir. Türkiye'nin nükleer alandaki ilk faaliyeti 1955 yılında "Barış için Atom" programına dâhil oluşudur. ABD'nin 'barış için atom' anlaşmasının imzalanması ile hayata geçmiştir. Türkiye anlaşmaya taraf olan diğer ülkeler gibi, nükleer yapılandırmalarını barışçıl amaçlarla uygulayacağını, nükleer çalışmalarında silahlanma yoluna gitmeyeceğini taahhüt etmiştir. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde nükleer reaktör kurulması için çalışmalara başlanmıştır. 1956 da "Atom Enerjisi Komisyonu Yasası" TBMM'de kabul edilmiş ve nükleer faaliyetleri yönetecek ilk resmi kurum oluşturulmuştur. Türkiye takip edilen yıl 1957'de Türkiye Uluslararası Atom Enerjisi Ajansına üye olmuştur [8].

İstanbul Teknik Üniversitesi ile İstanbul Üniversitesi 1956 yılında anlaşarak Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) adı altında bir araştırma merkezi kurdular. 1958 de ise üniversitelerin yürüttüğü tüm çalışmalar Atom Enerjisi Kurumuna (AEK) devredilmiştir. ÇNAEM 'in kurulmasıyla, nükleer santral kurma çabaları 1962 yılında ÇNAEM'de inşa edilen 1MW gücündeki TR-1 reaktörü kritik olmuş ve resmen 27 Mayıs 1962'de açılmıştır. 1965'te Elektrik İşleri Etüt İdaresi içinde bir ekip tarafından yürütülen çalışmalara İsviçre, ABD ve İspanya'dan oluşan bir konsorsiyum yardımcı olmaktadır ve amaç nükleer reaktör kurmaktır. Çalışmalar 1969'da tamamlandığında Türkiye'nin 400 MW'lık doğal uranyum ve basınçlı su ile çalışan bir reaktörün daha uygun olacağı kararlaştırılmıştır [9].

Türkiye'de 1960 yılında nükleer santral kurma girişimi ilk kez olmuştur. 1977 yılında ikinci kez yapılan nükleer santral kurma girişimi başarılı olamamıştır. Daha sonra 1983, 1996 ve 2007 yıllarında yapılan nükleer santral kurma girişimleri de çeşitli nedenlerle sonuçlanamamıştır [10].

Türkiye Nükleer Silahların Yayılmasının Engellenmesi Anlaşmasını 1980'de imzalamış, Türkiye nükleer santralleri barışçıl amaçlar için kullanacağına ve denetçi kontrollerine izin vereceğine dair 1981'de ise UAEA ile "safeguard" anlaşması imzalanmıştır. Aynı yıl ÇNAEM TR-2 isimli reaktörü devreye sokmuştur [8].

12 Mayıs 2010'da "Aküyü Sahasında Nükleer Güç Santralının Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliği Anlaşması" Türkiye ile Rusya arasında

imzalandı. Rus üstlenici firma VVER 1200 tipi dört adet reaktör yapacak. Türkiye ise on beş yıllık elektrik alım garantisi verecektir. 6 Ekim 2010'da Resmi Gazetede yayınlanan anlaşma yürürlüğe girdi. Ayrıca Rusya Devlet Başkanı Medvedev tarafından 29 Kasım 2010'da onaylanarak Rusya tarafından yürürlüğe kondu.

3. NÜKLEER ENERJİNİN ÖZELLİKLERİ

Nükleer enerji sınırlı enerji kaynakları içinde yer alan ve fosil yakıtların dışında kalan bir enerji türüdür. Günümüzde alternatif enerji kaynakları denilince ilk akla gelen nükleer enerjidir. Çekirdeksel enerji kaynakları başlığı altında da anılır. Nükleer reaktörler çekirdeksel bir yakıt kullansalar da aslında elektrik üretme biçimleri doğalgaz veya kömürle çalışan çevrim santrallerinden çok da farklı değildir. Nükleer reaksiyon sonucu ortaya çıkan ısı sonucu elde edilen buhar türbin jeneratörünü çalıştırır ve elektrik enerjisi üretilmiş olur. Nükleer reaksiyondan sonraki bu kısım benzerlik taşısa da, hem çevresel etkileri hem de reaksiyonun oluşması için kullanılan teknikler diğer konvansiyonel termik santrallerden haliyle oldukça farklıdır. Nükleer enerjinin avantaj ve dezavantajlarına değinmeden önce bu konunun kamuoyunda ciddi tartışmalara neden olduğunu ve nükleer enerjiye karşı ve taraf olanların çok çeşitli argümanlara sahip olduğunu altını çizmekte fayda var.

3.1. NÜKLEER ENERJİNİN AVANTAJLARI:

- Nükleer enerji ekonomik olarak rekabet edilebilecek üretim biçimi olup tüm dünyada elektrik üretimi için kendini kanıtlamış bir

teknolojidir, bunun içinde büyük miktarda ve ihtiyaç olan temel elektrik talebine yanıt verebilir [11].

- Nükleer enerji teknolojisi dünyanın elektrik ihtiyacının yüzde 17'sini karşılamasının yanı sıra, tıpta ve endüstride kullanılan birçok izotopun üretilmesi için kullanılmaktadır [12].
- Nükleer enerji santralleri dünyadaki en sağlam yapılardan biridir. Nükleer enerji karbon emisyonu düşük olan bir kaynaktır ve bu özelliği onu iklim değişikliğine karşı önemli bir aktör yapacaktır [11].
- Az gelişmiş bir bölgede nükleer enerji santrallerinin elektrik sistemine dâhil edilmesiyle, bölgenin sanayileşmesine büyük katkı sağlayarak kaynaklarında çeşitlilik meydana getirecektir. Bu sayede bölgenin enerji ithaline olan yoğunluğu azalacaktır [13].
- Nükleer santraller fosil yakıtlı santrallere göre, nükleer enerji programının ilk safhasında gerekli olan organizasyonların kurulması için daha yüksek yatırım, daha fazla inşa, daha fazla maliyet söz konusudur. Ancak nükleer enerji üretiminde kullanılan yakıtlardaki atomun çekirdeğindeki enerji serbest bırakıldığında büyük bir enerji açığa çıkardığından nükleer enerjiden elde edilen elektriğin ucuz bir şekilde elde edilmesi söz konusu olmuştur [14].
- Bir tonluk uranyum yakıtı bir nükleer enerji santralinde binlerce ton kömürün verdiği enerjiyi verecek kadar etkilidir. Bundan dolayı da yerkürede var olan uranyumun çok uzun enerji ihtiyacını karşılayacağı düşünülmektedir [14].
- Batı Anlamındaki Nükleer Güvenlik Doktrini normlarına göre nükleer santraller inşa edildiği takdirde iklim değişikliğine neden olan karbon birikiminden kaynaklanan sera gazı salınımına ve asit

yağmuruna sebep olmaz. Bu anlamda nükleer santraller çevresel sorunlara yol açmadan artan elektrik ihtiyacını karşılama da önemli bir etken olacaktır [4].

3.2. NÜKLEER ENERJİNİN DEZAVANTAJLARI:

- Tükenmeyecek bir elektrik kaynağı olarak düşünülen nükleer enerji, başlangıçta düşünüldüğü kadar inanılmaz ölçüde ucuz olmasına karşın nükleer santrallerin inşa, çalışma ve bakımındaki pahalılıktan dolayı, yüksek maliyet arz etmeye başlamıştır [14].
- Nükleer enerjinin getirdiği en önemli problem, kansere yol açtığı bilinen ve dolayısıyla oldukça tehlikeli olan radyasyondur [14].
- Uranyum madenciliği ve yakıt imali uluslararası çeşitli boyutlardaki şirketlerin elinde olması dışa bağımlılığı yine artıracaktır [15].
- Çernobil ve Üç Mil Adası gibi nükleer santrallerde vuku bulan kazalar ve sızıntılar kamuoyunun tepkisine neden oluyor. Bundan dolayı da nükleer santraller de oluşabilecek kazanın yol açtığı maliyetler yatırımın riskini artırıyor [16].
- Dünyadaki uranyum rezervlerine bakıldığında, reaktörlere yakıt sağlayan bu madenlerin sınırlı olduğu görülüyor. Bu sınırlı kaynağa talebin artması fiyat riskini oluşturuyor [16].
- Nükleer santrallerin düşünüldüğü gibi karbonsuz bir teknoloji olmadığı, yenilebilir enerjinin, nükleer santrallere yapılan yatırımlarla önünün kesildiği ifade ediliyor. Ayrıca nükleer enerjinin, yenilebilir enerji potansiyeli kullanılmadan iklim değişikliğine karşı ön plana çıkarılması da eleştiriliyor. Nükleer atıkların saklanması planlanan son depolama alanlarının akıbeti belli değil [16].

- Nükleer santraller kapatıldıktan sonra saniyeler içinde milyarlarca kere milyarlarca bozunum oluşmaktadır. Bu da demektir ki çalışma pozisyonundaki bir santralin ürettiği enerji miktarının yüzde onu kadar üretilmesinin devam ettiği anlamına gelir. Bu duruma “bozunum ısı” denmekte ve azalması için uzun bir zaman geçmesi gerekir [17].
- Radyoaktif izotoplar, reaktör kalbini soğutan suya karışır. Karışan suda dolaşan nötronları, suyu oluşturan çekirdekler tarafından yutulur. Hidrojen, bir nötron yutup döteryum, döteryum da bir nötron daha yutup trityum olabilir. Her iki durumda oluşan ürün de radyoaktiftir. Benzer durumda, sudaki oksijen bir nötron yutup radyoaktif olan bir izotopa dönüşebilir. Bu yüzden, soğutma suyu, reaktör içerisinde dolaştıkça radyasyon biriktirir ve dışarı sızması gerekmektedir [17].

3. NÜKLEER ENERJİ SANTRALLERİ VE ÇEŞİTLERİ

Nükleer enerji elde edilebilmesi adına gerçekleştirilen tüm fisyon reaksiyonları, sadece nükleer santrallerde gerçekleşmektedir. Dünyada nükleer santral teknolojisi birçok farklı amaçta ve seviyede kullanılsa da, bütün bu farklı çeşitlerin çalışma prensibi tektir. O da uranyumun izotoplarından olan U-235’in nötrona çarptırılarak fisyon işleminin başlatılmasıdır [18].

Her ne kadar bütün nükleer santral çeşitlerinin çalışma prensipleri benzer olsa da, nükleer enerjinin elde edilme sürecinde bazı teknik farklılıklar görülebilmektedir. Nükleer santraller kullanmış oldukları nötron

yavaşlatıcıya, yakıt türüne (U-235 oranı), kullandıkları soğutucuya, teknoloji seviyelerine ve kullanım amaçlarına göre farklı gruplara ayrılabilir. Birbirinden farklı türdeki nükleer santrallerde çekirdeği soğutmak için su yerine basınçlı su, ağır su, süper-kritik su, sıvı metal, gaz veya erimiş tuzlardan herhangi birisi kullanılabilir. Nötronları yavaşlatmak için de su yerine ağır su, grafit, sıvı metal veya erimiş tuz kullanılabilir [18].

Günümüzdeki en yaygın olarak kullanılan nükleer Reaktör Tipleri Şunlardır: Bunlardan en yaygın olanları; Basınçlı hafif su soğutmalı yavaşlatıcı reaktörler (PWR: Pressurised Water Reactor), kaynar hafif su soğutmalı yavaşlatıcı reaktörler (BWR: Boiling Water Reactor) ve ağır su soğutmalı yavaşlatıcı reaktörlerdir (PHWR: Pressurised Heavy Water Reactor). Bunlara ek olarak; Gaz soğutmalı reaktörler (Gas Cooled Reactor - GCR), Hızlı Üretken Reaktörler (Fast Breeder Reactor - FBR) ve Grafit Yavaşlatıcı Su Soğutmalı Reaktörler (Light Water Cooled Graphite Moderated Reactor-LWGR) de bazı ülkeler tarafından kullanılmaktadır.

3.1. BASINÇLI SU REAKTÖRLERİ (PRESSURIZED WATER REACTOR-PWR)

Günümüzde birçok firma tarafından üretilen Dünya'da ticari olarak kullanılan en yaygın reaktördür. PWR tipi reaktörler, %2-%4 oranında zenginleştirilmiş uranyum yakıt, soğutucu ve yavaşlatıcı olarak hafif su kullanılır. ABD'de nükleer denizaltı yapım programı sırasında PWR tipi reaktörün tasarımı düşünülmüştür. İlk PWR 1957 yılında, 68 MW kurulu

güçle sivil uygulamalarda ticari amaçla işletmeye alınmıştır [19]. Basınçlı su reaktörlerinin çalışma prensibi; korda üretilen enerji birinci devre soğutucu tarafından kordan çekilir, ikinci devre buhar üreticiden alınan buhar, jeneratörler vasıtasıyla elektrik üretir. Basınçlı su reaktör korunun soğutulması ve kaynamaması için birincil devre soğutmasında hafif su kullanılır. Buhar üreticiden alınan buhar jeneratörler yardımı ile elektrik enerjisine dönüştükten sonra yoğuşturucuya gönderilir ve yoğuşturucu da yoğuşturularak tekrar buhar üreticine aktarılır. Birincil devre basıncı, soğutucu suyun kaynamasını engellemek için, 150-160 atm. civarındadır. Soğutucunun kora giriş sıcaklığı 290-300⁰C, çıkış sıcaklığı ise 320-330⁰C civarındadır Basınçlı su reaktörlerin verimi, % 33 seviyesindedir. Basınçlı su reaktörlerini diğer reaktörlerden ayıran en önemli özellikleri; iki aşamalı soğutma sistemlerinin oluşu ve 150 atm. sistem basıncı ile soğutucusunun sürekli sıvı formda olmasıdır. Basınçlı su reaktörlerinin yaygın kullanımı ve bunun sonucu oluşan tecrübe, küçük bir kalp olması, fisyon ürünlerinin birinci soğutma devresi içerisinde kalması ile hafif suyun ucuz olması ve tüm özelliklerinin bilinmesi bu tipteki reaktörler için avantaj oluşturmaktadır. Ancak yakıt yüklemesinin yapılması için reaktörün kapatılma zorunluluğu, zenginleştirilmiş yakıt kullanılması, ikinci devrede kızgın buhar üretmenin zorluğu ile yüksek sistem basıncı ve pahalı borulama basınçlı su reaktörlerinin dezavantajları olarak karşımıza çıkmaktadır [20].

Herhangi bir kaza durumunda çevreye radyasyon sızmasını önlemek amacıyla reaktör basınç kabı ve soğutucu sistemler betondan yapılan koruma kabının içerisinde yer alır [21].

3.2. KAYNAR SULU REAKTÖRLER (BOİLING WATER REACTOR-BWR)

9 ülkede toplam 94 ünite gücü ise 2008 itibariyle 85275 MW seviyesine ulaşmıştır. Bu tür reaktörlerin %72 isi Amerika ve Japonya'da bulunmaktadır. BWR'lerin ilk elektrik üretimi 1961 yılında başlamıştır. PWR'lerde olduğu gibi, yakıt yenileme esnasında güç üretimine 4-6 hafta kadar ara verilmesi gerekmektedir. Bu üretim stratejisine göre 12-18 ayda bir defa yapılmaktadır [22].

Üretilen enerjinin çekilmesi giriş sıcaklığı 275°C, çıkış sıcaklığı 290°C civarında olan, atmosfer basıncının 70 katı basınç altında tutulan soğutucu (hafif su) vasıtasıyla sağlanır; Belli bir oranda buharlaşan soğutucu, nem ayırıcı ve kurutuculardan geçtikten sonra taşıdığı ısı enerjisi türbin-jeneratör biriminde elektrik enerjisine dönüştürülür. Yoğuşturucuda sıvı fazına dönen soğutucu yeniden reaktör kalbine gönderilir [23].

3.3. BASINÇLI AĞIRSU REAKTÖRLERİ (PRESSURIZED HEAVY WATER REACTOR-PHWR)

Hidrojen atomunun izotopu olan Döteryum aynı Hidrojen gibi bir protona sahiptir fakat bir tane nötronu olduğu için ağırlığı Hidrojenin yaklaşık iki katıdır. Formül olarak ise Hidrojen yerine Döteryum içeren suya ağır su (D_2O) denilmektedir. Basınçlı ağır sulu reaktörler, basınçlı su reaktörleri ile benzer özellikler taşır. Ağır su reaktörü olarak adlandırılmalarının nedeni yavaşlatıcı ve soğutucu için nötronik özellikleri farklı olan ağır su (D_2O) kullanmalarındır. Basınçlı su

reaktörlerinde olduğu gibi soğutucunun basınç altında tutularak kaynamasının önlediği, dünya genelinde, kurulu gücü 2008 itibariyle 22384 MW olan PHWR tipi reaktörlerin en yaygın olan CANDU reaktörleri, ilk olarak Kanadalılar tarafından tasarlanmış ve geliştirilmiş bir reaktör tipi CANDU (Canadian Deuterium Uranium)'dur. CANDU tipi reaktörlerin verimi %29,3 civarındadır [24].

PHWR tipi reaktörlerinin, doğal uranyum yakıtı ve ağır su kullanması diğer reaktörlerden ayıran en önemli iki özelliğdir. Doğal uranyumun maliyeti düşük, tedarik edilmesi nispeten kolay olmasına karşılık soğutucu ve modaratör görevindeki ağır su oldukça maliyeti oldukça pahalıdır. Yakıt değiştirme makinesi ile yakıt değiştirildiğinden bu tip reaktörlerde yakıt yenilime işleminde reaktörün durdurulmasına ihtiyaç yoktur. Doğal uranyum kullanılacak biçimde sistem tasarlanmıştır ve reaktör çalışırken yakıt değiştirme makinesi ile yakıt değiştirilmektedir [25].

3.4. GAZ SOĞUTMALI REAKTÖRLER (GCR)

1959 yılından beri günümüzde sadece İngiltere de yakıt olarak doğal uranyumun, nötron yavaşlatıcı olarak grafitin kullanıldığı ve gazla soğutulan MGCR (Magnesium Gas Cooled Reactor) tipi nükleer reaktörlerdir. Gaz soğutmalı reaktörlerin verimi %40 - %50 arasında olup şu an dünyada işletmede 10 ünite bu tipte nükleer reaktör bulunmaktadır. Bu tipteki reaktörlerde üretilen enerji gaz formundaki akışkan kullanılarak (karbondioksit) buhar üreteçlerindeki suyun ısıtılıp buhar haline dönüştürülmesi ve türbinler ve jeneratör yardımı ile elektrik

üretimini gerçekleştirilmesi prensibine dayanır. Gaz soğutmalı reaktörlerde prizmatik ya da küresel yakıt, yakıt elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu tipteki reaktörleri diğer nükleer reaktörlerden ayıran en önemli özellikler gaz soğutucusunun olması, doğal uranyum yakıt kullanılıyor olması ve yüksek verim olarak göze çarpmaktadır. Soğutucusunun ucuz olması, değişik yakıt çevrimlerine yatkınlığı (Th, Pu), yüksek verim gibi sebepler gaz soğutmalı reaktörlerin avantajları olarak sıralanabilir. Bunun yanı sıra düşük yakıt yanma oranı, yavaşlatıcısının (grafit) yanıcı olması ve büyük ve pahalı reaktör kalbi de bu tipteki reaktörlerin dezavantajları olarak söylenebilir [24].

3.5. HAFİF SU SOĞUTMALI GRAFİT YAVAŞLATICILI REAKTÖRLER (LWGR)

Yakıt çubukları ve soğutucu kanallarının, grafit yavaşlatıcıyı dikey olarak geçtiği tek reaktör tipi hafif su soğutmalı grafit yavaşlatıcılı reaktörlerdir. Bu tip reaktörlerde suyun kaynamasına izin verilir ve oluşan buhar, buhar ayırıcından geçerek sudan ayrılır. Böylece buhar türbinlere gönderilip jeneratör yardımı ile elektrik üretilir. İkişer tane soğutucu döngüsü ve buhar üretici bulunmaktadır [21].

Hafif su soğutmalı grafit yavaşlatıcılı reaktörlerin verimi %42 civarında olup, bu reaktörler RBMK ismiyle yalnızca eski Sovyetler Birliği tarafından tasarlanarak inşa edilmiştir. Dünyanın en ağır nükleer kazası RBMK tipi bir reaktörde 1986'da Çernobil'de meydana gelmiştir.15'i Rusya'da 1'i Litvanya'da olmak üzere halen işletmekte olan toplam 16 tane RBMK tipi reaktörün toplam gücü 11404 MW seviyesindedir [26].

Hafif su soğutmalı grafit yavaşlatıcılı reaktörlerde reaktör binasının bulunmaması, grafit yavaşlatıcının yanıcı bir malzeme olması ve çok büyük reaktör kalbinin kontrol zorluğu dezavantajlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Kalp içerisinde soğutucu kaynaması, doğal uranyum yakıt kullanılması ve çalışırken yakıt yüklemesi yapılabilmesi gibi özellikler bu tipteki reaktörleri diğerlerinden ayırır. Ayrı basınç tüpleri yardımıyla çok sayıda kanal bulunması ile çok büyük güçlere ulaşılabilmesi en önemli avantajlarındanıdır.

3.6. SIVI METAL SOĞUTUCULU REAKTÖRLER (FBR)

Hızlı üretken reaktör (FBR), diğer reaktör tiplerinin aksine moderatör kullanmayan, başka bir ifade ile hızlı nötronları yavaşlatmayan reaktörlerdir. Soğutucu görevini ağır bir metal olan sodyum üstlenmekle beraber, FBR'lerde % 15-20 seviyesinde zenginleştirilmiş uranyum ve plütonyum karışımı yakıtlar kullanılmaktadır [27].

Sıvı metal soğutuculu hızlı üretken reaktörlerle ilgili ilk çalışmalar ABD, Fransa, Rusya ve Japonya tarafından yapılmıştır. 1970'li yıllardan sonra bu reaktörden elde edilen Plütonyumun nükleer silah yapımında kullanılabilmesinden dolayı çalışmalar durdurulmuştur [21].

Hızlı nötronlarla gerçekleştirilen reaksiyonlar sonucu elde edilen ısı enerjisi, ısı değiştiriciler ile buhar üreteçlerine gönderilip burada üretilen buhar da türbin ve jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine çevrilir. Bu tip reaktörlerde soğutucu olarak sıvı metal (sodyum veya sodyum potasyum karışımı) kullanılmaktadır. Verimi %40 civarında olup; Günümüzde

kullanılan 4 ünite FBR, toplam 960 MW kurulu güce sahiptir. Bunların ikisi Rusya’da diğerleri ise, Hindistan ve Fransa’da bulunmaktadır. Metal soğutucusunun olması, hızlı nötronların kullanılması gibi özellikleriyle diğer tiplerdeki reaktörlerden ayrılır. Sıvı metal soğutuculu reaktörlerde yavaşlatıcıya gerek olmaması, düşük sistem basıncı, sıvı metallerin ısı taşımadaki yüksek performansı ve kullandığından fazla yakıt üretmesi en önemli avantajları olarak sayılabilir. Zenginleştirilmiş yakıt kullanımı, birinci soğutma devresinde sodyum sızıntısına karşı önlem alma gerekliliği, donan metalin ancak ısıtılarak eritilebilmesi gibi özellikler sıvı metal soğutuculu reaktörlerin dezavantajları olarak görülür [24].

4. SONUÇ

Toplumların refahı ve bunun devamlılığı için çağdaş yaşamın vazgeçilmez unsurlarından enerji ile çevre birlikte düşünülmesi gereken bir konudur. Günümüzde enerji için feda edilen çevreye dikkat çekmek ayrıca nükleer enerjinin ucuz, kesintisiz, temiz, güvenli ve çevreyi kirletmeyen özellikleri ile ülkemizde olması gerektiği düşüncesi ile bu makale kaleme alınmıştır. Son 40 yıldır doğa değişik enerji üretim teknolojilerinin verdiği zararlardan dolayı büyük tahribatlara uğramıştır. Genellikle doğada kullanıma hazır halde bulunan ya da bazı işlemlerle kullanıma hazır hale getirilebilen fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere püskürtülen karbondioksit gazı atmosferdeki karbon birikimini artırarak sera gazı salınımına neden olmaktadır. Sera gazları ise yeryüzüne çarparak yansıyan güneş ışınlarının yansımalarını engelleyerek sıcaklık artışı olarak ta bilinen “sera etkisi” yaratmaktadır Sera etkisi zamanla buzulların erimesine, eriyen buzulların

deniz seviyesinin yükseltmesine, tarım topraklarının sular altında kalarak tarıma elverişli alanların daralmasına, uzun vadede gıda kıtlığına, yağış düzenini bozularak azalmasından kaynaklanan bazı bölgelerde çölleşmeye kadar varabilen çevre sorunlarına neden olacağı tahmin edilmektedir. Nükleer enerji ise bu tür tehlikelere vesile olan sera gazı salınımına neden olmamaktadır. Bundan dolayı da nükleer enerji, küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açan karbondioksit emisyonunu azaltmak açısından önemli bir seçenektir. Diğer elektrik üretimi seçeneklerinde büyük miktarlarda ortaya çıkan azot oksitleri, kükürt dioksit ve karbon gazları, yağmur damlaları ile birleşerek sülfürik asit, nitrik asit ve karbonik asit oluşturur. Bunlar asit yağmurları halinde yeryüzüne inip, bitki örtüsünün ve canlıların zarar görmesine neden olmaktadır. Avrupa, Amerika ve daha birçok kıtada asit yağmurları nedeniyle büyük miktarda ormanlık alan hasar görmüştür. Nükleer enerji üretimi sırasında bu tür gazlar ortaya çıkmadığından, zehirleyici nitelikte olan asit yağmurlarına da sebep olmamaktadır. Fosil yakıtların kullanım oranlarının nükleer enerji kaynaklarına oranla mümkün olabildiği kadar yüksek düzeyde azaltılması çevre ve dünya canlıları açısından oldukça büyük bir adım olacaktır.

Bunun içindir ki, dünyanın ikinci en büyük toryum rezervine sahip bir ülke olan Türkiye artan enerji yükünü karşılayabilmesi, hem de çevre açısından temiz bir enerji kullanması ancak yüksek kalite standartları ile çalışan bir teknoloji olan nükleer enerjinin kullanımıyla mümkün görülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Palabıyık, H., Yavaş, Y., Aydın, M., Nükleer Enerji ve Sosyal Kabul, Uluslararası Stratejik Araştırmalar Kurumu (USAK) Yayınları, Ankara 2010
- [2] Serteller, N.F., Türkiye’de Kullanılan Ve Kullanılabilecek Olan Enerji Kaynakları Arasında Nükleer Enerjinin Yeri Ve Önemi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi
- [3] Külebi, A., Türkiye’nin Enerji Sorunları ve Nükleer Gereklilik. Birinci Baskı. İstanbul: Bilgi Yayınevi, 2007, s.142-143.
- [4] Özemre, A. Y., Bayülken, A., Gencay, Ş., Soruda Türkiye’nin Nükleer Enerji Sorunu, İkinci Baskı. İstanbul: Kaknüs Yayınları, 2000
- [5] İşbilen E., “Nükleer Satranç”, Ozan Yayıncılık, 2009, İstanbul, s.22.
- [6] <http://www.frmtr.com/kimya/909498-nukleer-enerjinin-tarihcesi-yararlari-ve-zararlari.html>
- [7] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji>
- [8] Palabıyık, H., Yavaş, H., “Başlamayan Senfoni: Türkiye’nin Nükleer Santral Serüveninin Üzerine”, Yönetim Bilimleri Dergisi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Biga İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Cilt 4, Sayı 2, 17-25 (2006).
- [9] Özemre, A. Y., “Yeni Nükleer Enerji Kanunu Türkiye’yi Nereye Götürür”, Stratejik Analiz, No: 93, Ocak 2008, s. 26-38
- [10] World Energy Council, Turkish National Committee ,Nükleer Santraller,Ankara, DEKTMK, 2010, s.85.

- [11] NİA, “Talking points”. <http://www.niauk.org/hot-topics.html>
- [12] Ertürk, F., Türkiye’de Enerji ve Kalkınma: Türkiye’nin Alternatif Enerji Üretim İmkanları ve Fırsatları, Tasam Yayınları, İstanbul, 2006, s. 107.
- [13] Brown, B., “Nükleer Güç Ekonomisi”, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, S. 62, İstanbul, Şubat 1964, s. 118.
- [14] Bockris John O’M., Veziroğlu T. N., Smith Debbi L., Geleceğin Enerjisi: Güneş-Hidrojen, Kaynak Yayınları, İstanbul, Şubat 2002.
- [15] DPT, “Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Raporu; Nükleer Enerji Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu”, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara 2001b, s. 1.
- [16] Rosenkranz G., Nuclear Power: Myth and Reality, Güney Afrika: Heinrich Böll Foundation, 2006, s. 5-6.
- [17] Vural, A., “Nükleer Dosya”, Bilim ve Teknik Dergisi, S. 460, İstanbul, Mart 2006.
- [18] Bağdatlıoğlu, C. (2011). Nükleer Enerji ve Japonya’daki Son Durum. Bilim ve Teknik (521), 24-31.
- [19] Angelo, J.A., Nuclear Technology, Greenwood Pres, 2004, ss. 272, 369, 370, 372
- [20] Aybers, N. Ve Bayülken, A., Nükleer Güç Reaktörlerinin Termodinamik Analizi, İ.T.Ü Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul, s. 113-235, 1988.
- [21] İskender, S., Türkiye’de ve Dünyada Enerji & Nükleer Enerji Gerçeği, Tütev Yayınları, Ankara, s. 48-140, 2005.

- [22] Fizik Mühendisleri Odası, Nükleer Enerji Raporu, Ankara, 2006
- [23] TAEK, Türkiye Atom Enerji Kurumu Halkı Bilgilendirme Broşürü, 2007
- [24] Öngü, S., Nükleer Reaktörler, Yakıt Tipleri Ve Mersin Aküyü Nükleer Santrali, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014
- [25] Agarwal, Suresh K., NuclearEnergy: Principles, Practices and Prospects, A.P.H. Publishing Corporation, India, 2003
- [26] IAEA Nuclear Power Reactors In The World, Reference Data Series No:2, IAEA, Vienna, 2009
- [27] Geoffrey F. H., John, G. C., Introduction to Nuclear Power, New York, 2nd Edition, Taylor&Francis