



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**NÜKLEER REAKTÖRDE NÖTRON TAŞINMA
DENKLEMİNİN ÇÖZÜLMESİ**

Emre ERGİN

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ali İhsan GÖKER

BİLECİK, 2018

Ref. No: 10201722



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**NÜKLEER REAKTÖRDE NÖTRON TAŞINMA
DENKLEMİNİN ÇÖZÜLMESİ**

Emre ERGİN

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ali İhsan GÖKER

BİLECİK, 2018



BILECIK SEYH EDEBALI UNIVERSTY

**Graduate School of Science
Department of Energy Systems Engineering**

**SOLUTION OF THE NEUTRON TRANSPORT
EQUATION IN THE NUCLEAR REACTOR**

**Emre ERGİN
Master Thesis**

**Thesis Advisor
Associate Professor Ali İhsan GÖKER**

BILECIK, 2018



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 23/05/2018 tarih ve 29/4 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/06/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Emre ERGİN'nin *Nükleer Reaktörde Nötron Taşınma Denkleminin Çözülmesi* başlıklı tez çalışması Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ ~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Ali İhsan GÖKER

ÜYE : Prof. Dr. M. Celalettin BAYKUL

ÜYE : Prof. Dr. Mehmet KURBAN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
.../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmamın gerçekleőtirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaőan, kendisine ne zaman danıősam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaőadıęımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düőündüęüm kıymetli ve danıőman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Doç. Dr. Ali İhsan GÖKER'e teőekkürü bir borç biliyor ve őükranlarımı sunuyorum.

ÖZET

Günümüzde enerji ihtiyacı artıyor. Bu artan enerji ihtiyacı için yeni enerji kaynakları gereklidir. Alternatif kaynaklardan biri olan nükleer santraller son zamanlarda ülkemize gelmiş ve en çok konuşulan enerji kaynağı olmuştur. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde nükleer enerji gibi alternatif enerji kaynakları gerçek bir ihtiyaçtır. Ancak, nükleer enerjinin üretiminde, çevresel etki ve riskler, karar aşamasında detaylı ve objektif bir şekilde sunulmalı ve tartışılmalıdır. Bu çerçevede yapılan çalışmalara baktığımızda, nükleer santrallerin çevresel etkilerinin avantaj ve dezavantajlarının tartışıldığı çalışmalar var. Nükleer santrallere atıfta bulunduğumuzda, “gelecek nesiller ve haklar” konusuna değinen bir çalışma ülkemizde hala bulunmamaktadır.

Bu çalışma ile hedeflenen; nükleer reaktör çekirdeklerinde fisyon reaksiyonunu tetikleyen nötronların dağılımının tespit edilebilmesi nükleer kazaları engellemek için kritik önem taşımaktadır. Nötronların dağılımı ise nötron taşınma denklemi yoluyla tayin edilmektedir. Bu çalışmada, nötron taşınma denklemini orijinde yer alan Gauss ve Lorentz biçimli dış nötron kaynaklarını kullanarak 2 boyutlu bir çerçevede sonlu farklar yöntemiyle değişik emilme kesit alanları için çözdük. Elde edilen nötron akı değerlerinin reaktör çekirdeği içindeki dağılımının profilin’i gösterdik. Elde edilen sonuçlar ışığında, reaktörün kritik seviyede kalması için gerekli şartları tartıştık.

Anahtar Kelimeler: Nükleer reaktor, nötron taşınması, sonlu farklar

ABSTRACT

The demand for the energy is increasing in today's world. New energy sources are necessary to meet the required consumption of the world. Nuclear power plant, one of the alternative energy resources, has come to Turkey and currently being constructing. Since countries like Turkey, rely too much on imported sources of energy like fossil fuels, it's obvious that for those developing countries, nuclear plants are necessary. But to produce energy from nuclear plant reactors, environmental impact of it must clearly identify with an objective manner. When we look at the researches that examine the effects of nuclear energy onto environment, it's has both negative and positive sides. When we refer to nuclear plants unfortunately, no research has been conducted about 'posterity and rights' in the Turkey.

The aim of this study is to determine the distribution of neutrons that trigger the fission reactions in the nuclear reactor core. Determining this is crucial in order to avoid any nuclear accident. The distribution of neutrons can identify by neutron transport equation. In this study, by using Gaussian and Lorentzian external neutron sources, we focused to solve neutron transport equation in two-dimensional grid. Then by using the data, we created a profile of neutron flux values that we conducted. With the light of the data, we discussed the necessary requirements to keep the reactor at critic level.

Keywords: Nuclear reactor, neutron transport, finite difference

İÇİNDEKİLER

JÜRİ ONAY SAYFASI	
TEŞEKKÜR	
ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER	III
SİMGELER VE KISALTMALAR	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
1.ENERJİ.....	1
1.1.Enerji Kavramı	1
1.2.Yenilenebilir Enerji Nedir?	1
1.3.Yenilenebilir Enerji Kaynakları	3
1.3.1.Güneş enerjisi.....	3
1.3.2.Rüzgâr enerjisi	6
1.3.3.Jeotermal enerji	8
1.3.4.Biyokütle enerjisi	11
1.3.5.Hidroelektrik enerji	13
2.NÜKLEER ENERJİ	15
2.1.Nükleer Enerji	15
2.2.Fisyon Ve Elektrik Üretimi	16
2.3.Füzyon.....	17
2.4. Fisyon	19
2.5.Fisyon Reaktörleri	24
2.5.1.Zincir reaksiyon	24
2.5.2.Fisyon reaktörlerinin sınıflandırılması	25
2.5.3.Fisyon reaktörlerinin yapısı	27
2.6.Nükleer Santral.....	29
2.7.Nükleer Santral Tipleri.....	31
2.7.1.Basınçlı sulu reaktör (pwr).....	32
2.7.2. Kaynar sulu reaktör (bwr)	34
2.7.3.Basınçlı ağır sulu reaktör (phwr).....	34
3.NÖTRON TAŞINMA DENKLEMİNİN İKİ BOYUTTA SONLU FARKLAR	
YÖNTEMİ YOLUYLA ÇÖZÜMÜ	35
3.1.Sonlu Farklar Yöntemi.....	36
3.2.Malzeme-Yöntem.....	38
3.3.Bulgular ve Tartışma.....	42
4.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Atm	: Atmosfer
N	: Azot
Atm	: Atmosfer
N	: Azot
NO _x	: Azot oksitler
H ₂ O	: Dihidrojen monoksit
D ₂ O	: Döteryum oksit
GWh	: Gigawatt saat
H	: Hidrojen
C	: Karbon
CO ₂	: Karbondioksitler
CO	: Karbonmonoksit
km	: Kilometre
km ²	: Kilometrekare
KWh	: Kilowatt saat
S	: Kükürt
S	: Nötron kaynağı tarafından üretilen nötron üretim oranı
SO _x	: Kükürtoksitler
MW	: Megawatt
m	: Metre
mm	: Milimetre
NGS	: Nükleer Güç Santrali
O	: Oksijen
0 _c	: Santigrat derece
Na ₂ CO ₃	: Sodyum karbonat
TWh	: Terawatt saat
$\vec{\nabla} \cdot \vec{J}$: Yüzeyden net nötron kaçak oranını
Σ_a	: Nötron emilme kesit alanı
v	: Nötronların hızı
ϕ	: Nötron akısı
\vec{J}	: Net nötron akımı

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BWR	: Kaynar sulu Reaktör
HTGR	: Yüksek Sıcaklık Gaz Soğutmalı
PHWR	: Basınçlı Ağır Sulu Reaktör
PWR	: Basınçlı Su Reaktörü
PHWR	: Basınçlı Ağır Su Reaktörü
PTGR	: Basınç Gaz Tüp Grafit Moderat

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 Güneş enerjisinin bazı kullanım alanları.....	5
Şekil 1.2 Rüzgâr enerjisi.....	8
Şekil 1.3 Jeotermal sistemin şematik gösterimi.....	10
Şekil 1.4 Yüksek sıcaklıklı sahalar (150°C 'den yüksek).....	11
Şekil 1.5 Biyokütle enerji kaynakları.....	13
Şekil 1.6 Hidroelektrik enerji.....	14
Şekil 2.1 Nükleer santral örneği.....	15
Şekil 2.2 Güneş patlaması.....	18
Şekil 2.3 Fisyonda çekirdek potansiyelinin uzaklığın fonksiyonu olarak değişimi	20
Şekil 2.4 ^{235}U fisyonu için örnek fisyon şeması.....	21
Şekil 2.5 Sıvı damlasıyla fisyon gösterimi.....	23
Şekil 2.6 Fisyon sonucu açığa çıkan nötronların olası reaksiyonlar.....	24
Şekil 2.7 İşletmedeki nükleer reaktörlerin, tasarımlara göre dağılımı.....	26
Şekil 2.8 Reaktör tasarımlarına ait çalışma şemaları.....	27
Şekil 2.9 PWR tipi nükleer reaktör tasarımı.....	28
Şekil 2.10 ATMEA-1 tipi reaktörün şeması.....	33
Şekil 3.1 2 boyutlu düzlem geometride sonlu farklar metodu.....	39
Şekil 3.2 Hesaplama kullanılan 2 boyutlu düzlem geometri.....	41
Şekil 3.3 Lorentz nötron kaynağı ve $=10\text{ m}^{-1}$ için çekirdekdeki nötron akı dağılımı....	42
Şekil 3.4 Lorentz nötron kaynağı ve $\Sigma_a=40\text{ m}^{-1}$ için çekirdekdeki nötron akı dağılımı..	43
Şekil 3.5 Gauss nötron kaynağı ve $\Sigma_a=10\text{ m}^{-1}$ için çekirdekdeki nötron akı dağılımı...44	44
Şekil 3.6 Gauss nötron kaynağı ve $\Sigma_a=40\text{ m}^{-1}$ için çekirdekdeki nötron akı dağılımı....45	45

1.ENERJİ

1.1.Enerji Kavramı

Enerji iş yapabilme becerisi olarak söylenebilir, sözcük kökü yunanca en ve ergon kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşan energeia kelimesinden türemiştir. Buradaki en, iç, ergon ise iş anlamındadır. Enerji çağımızda birçok makinenin, elektrikli cihazların ve çeşitli sistemlerin çalışması, iş yapabilmesi için gerekli olan kaynak olarak ifade edilebilir.

Enerjinin kinetik, potansiyel, ısı, nükleer enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi vb. türleri vardır. İnsan gücüyle yapılan işler zamanla doğada mevcut olan kaynaklar daha fazla kullanılarak işgücüne katkısını artırılmış, Önce odun, sonra kömür kullanılmaya başlanmış kömürle birlikte buharlı sistemlere geçilmiştir.

Enerji Korunumu Kanununa göre, enerji bir formdan diğerine dönüştürülür, ama asla yok edilemez veya yeniden yaratılamaz. Genel olarak, evrenin toplam enerjisi korunur ve sadece şekil ve yerde değişir. Farklı bir varyanta sahip dengeli bir sistemde, tüm enerji girişleri ve çıkışları aynıdır.

Çağımızda insanların ihtiyaç duyduğu en değerli enerji türü elektrik enerjisi'dir. İş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerjinin, durgun ya da hareket halinde bulunan yüklü parçacıkların yol açtığı fiziksel olgu olarak belirtilen elektriğe dönüşmesi için enerjinin mekanik ya da ısı enerjisi şeklinde bulunması gereklidir. Mekanik ya da ısı enerjisinin elektriğe dönüştürülmesiyle sağlanan ve tüketicilerin kullanımına sunulan enerjiye, elektrik enerjisi denilmektedir (Uğurlu,2006).

1973'de yaşanan petrol krizinin bir sonucu olarak enerjinin değeri tüm dünyada anlaşılmaya başlandı. Birçok ülke enerji politikalarını alternatif enerji kaynakları bulmaya yönelik çalışmalar başlamıştır. Ve 2000'de alternatif enerji hızlanan bir ivme ile popülerliğini arttırmıştır. Bu gelişmeler sonucunda yüksek verimli yenilenebilir enerji sistemleri üretilmiştir.

1.2.Yenilenebilir Enerji Nedir?

Yenilenebilir enerji, enerji kaynağından fazla enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir yenileyebilen enerji kaynağı olarak tanımlanır. Yenilenebilir enerji kaynakları diğer enerji kaynakları gibi (kömür, petrol, doğalgaz vb.)

bitmez. Yenilenebilir enerji kaynakları doğada var olan enerjiyi doğaya tahrik vermeden kullanır. Buna karşılık dezavantajları da vardır.

Coğrafi olarak her yerde bol bulunmazlar; ayrıca yoğun enerji formları olmamaları nedeniyle geniş alanlardan toplanmak mecburiyetindedir. Ancak daha hızlı gelişmelerinin önündeki en büyük sorun, hidro ve rüzgâr dışındakilerin şimdilik pahalı olmaları yanında, mevcut enerji üretim ve tüketim sistemlerinin değişikliklere yavaş cevap veriyor olması (Altın,2002). Yenilenebilir enerji kaynaklarını şu şekilde sıralayabiliriz: Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, okyanus enerjisi, hidro enerji ve hidrojen enerjisi.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tamamı dolaylı veya doğrudan güneş kaynaklıdır. Aslında dünyamızdaki enerji kaynaklarının hepsi güneş enerjisinin doğada biçim değiştirmiş halidir.

Yıllar itibarıyla yenilenebilir enerji kullanımının dünya çapında hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Diğer yandan yenilenebilir enerjinin nihai enerji tüketimi içerisindeki artış değeri yeterince tatmin edici düzeyde değildir. Bu durumun başlıca sebepleri gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler açısından ele almak gerekirse; gelişmiş ülkelerde enerji talebi yavaş bir şekilde artmakta ve hali hazırda var olan altyapının ve enerji tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesi zaman almaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde ise enerji talebi hızlı bir şekilde yükselmekte ve fosil yakıtlar bu talebi karşılamada önemli bir rol oynamaktadır. Buna ek olarak yenilenebilir enerji kaynakları ile elde edilen enerjinin fiyatı fosil yakıtlar ile rekabet edebilmesi mevcut durumda pek mümkün görünmemektedir. Bu bakımdan yenilenebilir enerjinin toplam enerji tüketimi içerisindeki payının artmasının zaman alacağı öngörülmektedir. Ancak dünya genelindeki ülkeler, hükümet politikalarını yenilenebilir enerji kullanımını artırma ve bu alandaki teknolojilerinin geliştirilmesi yönünde yapmaktadır. Bu durum yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması açısından önem arz etmektedir.

Fosil yakıtlar endüstriyel alanda çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Fakat tükenme ömrünün kısa olması, dışa bağımlılığı, maliyetinin yüksek olması ve çevreye verdiği zararlardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, tükenmeyen enerjilerdir. Yenilenebilir enerjinin sürdürülebilir olmasının da öneminin bir kat daha artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye verdiği olumsuz etkileri, fosil yakıtlara oranla çok daha azdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, bu alanda teşviklerin devam etmesi yatırımların yapılması halinde 21. yüzyılda en önemli enerji kaynağı olacağı kabul edilmektedir.

Enerji; üretim maliyetlerinin en önemli bölümüdür. Gerek dünyada ve gerekse ülkemizde nüfus artışına, sanayileşmeye ve teknolojik gelişmelere paralel olarak enerji tüketimi hızla artmaktadır. Dünyanın, enerji gereksiniminin %80'ini fosil yakıtlardan karşılamasına karşın, petrol ve fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olduğu bilinmektedir. Bir yandan fosil yakıt rezervlerinin azalması, diğer yandan artan çevre kirliliği ve doğanın tahribi sebebiyle alternatif enerji kaynakları konusunda yapılan araştırmalar, yenilenebilir enerji kaynakları konusunu gündeme getirmiştir.

Yenilenebilir enerji; doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki kısa süreçte aynen mevcut olabilen enerji kaynağı olarak tanımlanabilir (Uyar,2004). Konvansiyonel enerji kaynakları (kömür, petrol, doğal gaz, uranyum vb.) dışında kalan, tükenmeyen kendini yenileyebilen enerjidir. Fosil ve nükleer kaynaklara göre çevreye olumsuz etkileri oldukça azdır. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit atmosferdeki diğer gazlarla birleşerek güneş ışınlarının yansımını engellemektedir ve böylelikle sera etkisi oluşmaktadır. Fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan karbon monoksit, metan, azot oksit ve kükürt dioksit gibi gazlar çevre ve canlılar için tehlike arz etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, genel olarak yedi gruba ayrılmaktadır;

- 1) Güneş Enerjisi
- 2) Rüzgâr Enerjisi
- 3) Jeotermal Enerji
- 4) Biyokütle Enerjisi
- 5) Hidroelektrik Enerji
- 6) Hidrojen Enerjisi
- 7) Nükleer Enerji

1.3.Yenilenebilir Enerji Kaynakları

1.3.1.Güneş enerjisi

Enerji, uzay ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen ana enerji kaynağıdır. Dünyadan ortalama 149,6 milyon km uzaklıkta, 1.392x10⁸ km çapında ve 1.99x10³⁰ kg kütleinde sıcak bir gaz küresi olan güneşin yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000 derece olup iç sıcaklığı ise 12 milyon derece civarındadır.

Güneş dünya için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Güneşten gelen güç insanlığın yıllık ticari gereksiniminin 16.000 katından çoktur. Dünyadaki tüm elektrik santrallerinin toplam gücü; güneşten gelen gücün 61.000'de birinden azdır. Güneş enerjisi, dünyadaki tüm nükleer santraller tarafından üretilen toplam gücün 527.000 katıdır(Ertürk,1996).

Dünya atmosferinin dışındaki güneş enerjisinin yoğunluğu az çok sabit ve 1370 W / m²'dir, ama dünyadaki değerleri 0-1100 W / m² arasında değişiyor. Güneş enerjisinin atmosferden geçerek dünyaya gelen ışınları dünyadaki mevcut enerji ihtiyacının üstünde bir değerdedir (Yıldırım,2008). Ülkemizde bina sektörü payı toplam enerji tüketiminin önemli bir yüzdesini oluşturmaktadır. Isıtma amaçlı bu tüketimin ülke koşullarına ve binanın özelliklerine bağlı olarak önemli bir bölümünün güneş enerjisinden karşılanması mümkündür (Çelebi,2002). Ayrıca binaların soğutulmasında, serinletilmesinde, havalandırılmasında da güneş enerjisi kullanılmaktadır. Enerji tasarrufu sağlamak amacıyla üretim maliyeti olmaması sebebiyle güneş enerjisi en önemli alternatif enerji kaynaklarından biridir.

Güneş enerjisinden iki türlü yararlanmak mümkündür. Birincisi, güneş enerjisini toplamak, depolamak ve dağıtmak için çeşitli elemanlardan oluşan aktif ısıtma sistemlerini kullanmaktır. İkincisi ise enerji kullanan aktif sistemleri işin dışında tutarak, yönlendiriliş durumu, bina formu, bina kabuğu termofiziksel özellikleri gibi tasarım parametrelerinin güneş enerjisinden optimum yarar sağlayacak şekilde belirlenmiş değerleri ile bina sistemini oluşturmaktır (Vural,2004). Güneş, 150 milyon km uzaklıktaki dünyadaki bir sıcak gaz kütesidir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen ve hidrojen gazını ısıtan bir füzyon reaksiyonu ile sonuçlanan çok güçlü bir enerjidir. Bu güneş enerjisi, ışımanın içinden radyal olarak yayılıyor. Güneş enerjisinin sadece bir kısmı dünyaya ulaşır ve dünyadaki enerji ihtiyacını karşılar.

Fosil yakıtlar, binlerce yıl önce güneşten aldığı enerji fotosentezle organik maddelere bağlayan bitkilerin ve bunları tüketen hayvanların başkalaşıma uğrayarak bugünkü şekline gelmiş halidir. Ayrıca dünyadaki tüm yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi için de güneşe ihtiyaç vardır.

Güneş enerji sistemleri, Güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı teknoloji olarak belirtilmektedir.



Şekil 1.1 Güneş enerjisinin bazı kullanım alanları.

Güneş enerjisinin yaygın kullanımı 1950'lerden beri artmaya başlamıştır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Japonya'da, 1950-1955'te on binlerce su ısıtıcısı kullanıldı. Aynı yıl ABD'deki Bell Telephone Laboratories, güneş ışınımını doğrudan elektriğe dönüştüren fotovoltaik hücreler üretti. Avrupa'nın Akdeniz bölgesinde bulunan Fransa ve İtalya'nın su ısıtıcıları kullanıma sunulmaya başlamıştır. Fransa'da 1 MW gücünde bir güneş fırın da vardı. Güneş enerjisi teknolojisinin ilk yatırım maliyetleri, petrol ve doğal gaz ile rekabeti sınırlandırarak ölçülebilir.

Ancak 1970'lerin petrol krizleri nedeniyle ortaya çıkan enerji sorunu, güneş enerjisi teknolojilerini gündeme getirmiş ve bu alandaki çalışmalar artmaya başlamıştır. Yeni ve temiz enerji kaynaklarının çok önemli konuma geldiği günümüzde yapılan çalışmalarda güneş enerjisi, sınırsız bir enerji olması, çevre kirliliğine yol açmaması, ayrıca iletim ve dağıtım sorunu bulunmaması, ilk kurulum maliyeti düşünülmez ise bedava bir enerji kaynağı olması gibi özellikleriyle büyük önem kazanmış durumdadır. Yakıt sorununun olmaması, işletme kolaylığı, modüler olması, çok kısa zamanda kurulabilmesi, uzun yıllar sorunsuz olarak çalışması, temiz bir enerji kaynağı olması gibi nedenlerle dünya genelinde fotovoltaik elektrik enerjisi kullanımı sürekli artmaktadır.

Güneş enerjisi günümüzde konut ve iş yerlerinin ısıtma ve soğutulmasında, yemek pişirmede, sıcak su temin edilmesinde, yüzme havuzu ısıtılmasında, sera ısıtması, tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır. Sanayi ve ulaşım sektörlerinde de güneş enerjisinden yararlanılmaya başlanmıştır. Örneğin; güneş ocakları, güneş fırınları, güneş pişiricileri, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi, güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, sinyalizasyon sistemlerinde ve elektrik üretiminde kontrollü olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri genel olarak üç gruba ayrılarak incelenebilir (Yeşilata,2001).

Bunların birincisi, güneş enerjisinden düşük sıcaklık elde edilmesinde kullanılan sistemler, ikincisi güneş ışınlarını yoğunlaştırarak elektrik üreten sistemlerdir. Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilirdiği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Üçüncüsü ise, güneş ışınlarından doğrudan elektrik üreten sistemlerdir. Güneş pilleri veya fotovoltaik piller de denen bu yarı iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektrığe çevirirler.

1.3.2.Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr oluşum çeşitlerinin ve hangi bölgelerde etkili olduğunun bilinmesi rüzgâr enerjisinden maksimum verim alınması için önemlidir. Öncelikle rüzgâr oluşumu ve çeşitlerine değinilmiştir. Rüzgâr Oluşumu ve Çeşitleri: Rüzgârın kaynağı güneştir. Rüzgâr enerjisi güneş enerjisinin dolaylı bir şeklidir. Yer yüzeyi güneşten 10^{17} watt gücünde enerji alır. Güneşten gelen %1-2' si rüzgâr enerjisine dönüşür. Rüzgâr, yeryüzünün her bölgesinin eşit bir şekilde ısınmayışı ve buna bağlı olarak oluşan alçak ve yüksek basınç merkezlerinin karşılıklı etkileşim sürecinin sonucu oluşmaktadır. Atmosfer basıncı ve sıcaklık değişimleri havanın, yükselen ve alçalan hava akımları ve yatay hava akımları olmak üzere, iki şekilde hareket etmesine yol açar.

Bu akımların yanı sıra, okyanus ve kıtaların düzensiz dağılımı, düzensiz arazi, günlük sıcaklık değişimleri ve mevsimsel değişiklikler de hava olaylarını etkilemektedir, rüzgâr oluşumunu sağlamaktadır (Şen,2003). Meteorolojik açıdan rüzgâr oluşum yerleri;

- Basınç gradyanının (iki nokta arasındaki değişim) yüksek olduğu yerler
- Yüksek, engebesiz tepe ve vadiler
- Kıyı şeritleri

Kanal etkilerinin meydana geldiği dağ silsileleri, vadiler ve tepelerdir (Durak,2008).

Rüzgârların oluşumunda topografya verileri çok önemlidir. Örneğin tepeler, sırtlar, basamaklı arazi yapısı, oluk, vadiler rüzgâr üzerinde ilave bir etkiye sahiptir. Rüzgâr, sürekli, mevsimlik ve yerel rüzgârlar olmak üzere üç kısma ayrılmaktadır. Rüzgâr enerjisi giderek güncellenen ve hızla yayılan bir enerji kaynağıdır. Dünya enerji rezervi gün geçtikçe azalmaktadır. Ülkeler fosil yakıt, nükleer güç ve enerjinin savurgan

kullanımı ile sorunların farkına vardıkça daha verimli teknolojilere ve doğal çevrede enerji üretimine doğru yönelmeye başlamışlardır.

Sanayileşmiş ülkeler, geçmişteki tecrübeleri sonucunda, enerjinin üretim ve kullanımında etkinliğini sağlamak ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımını desteklemek üzere önlemler almaya yönelmişlerdir (Yerebakan, 2001).Mekanik ve elektrik enerjisi üretimini sağlayan, tükenmeyen rüzgâr enerjisi gelişmiş ve ticari açıdan elverişli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Rüzgâr enerjisinin yararları;

1. Yenilenebilir olması
2. Kirliliğe sebep vermemesi
3. Ucuz olması
4. Ticari boyutunun giderek genişlemesi
5. Her yere kurulabilir olması
6. Yan sanayi terimleri ile büyük üreticilerin giderek uyumlu hale gelmesi
7. Fosil yakıtlarına bir alternatif olması
- 8 Tarımsal faaliyeti olumsuz etkilememesi
9. Ekolojik dengeyi koruması (Yerebakan, 2001).

Rüzgârların oluşmasının nedeni, güneşin yeryüzünü ısıtması sonucunda hava hareketlerinin oluşmasıdır.

Rüzgârın kaynağı da güneş enerjisidir. Farklı sıcaklıklara ulaşan noktalar arasında oluşan yoğunluk ve basınç farklarından ötürü hava, basıncın yüksek olduğu yerden alçak olduğu yere doğru hareket eder ve bu hareket sonucu rüzgâr oluşur.

Rüzgâr, her zaman yüksek basınç alanından düşük basınç alanına hareket eden, düşük basınç ve yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren bir hava akışıdır İki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar büyük olursa, hava debisi o kadar büyük olur.

12. yüzyılda Fransa ve İngiltere'de kullanılan yel değirmenleri, 14. yüzyılda Hollanda'da geliştirildi ve kullanıldı (Akova,2008). Rüzgâr'dan elektrik üretimi ilk kez Danimarka'da 1894 yılında gerçekleştirilmiştir. Sanayide petrol ve doğal gazın yaygın kullanımından dolayı 1980'li yıllara gelindiğinde rüzgâr enerjisinin kullanım alanı çok artmamıştır.

1990'lı yıllarda çevre bilincinin artmasıyla beraber, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasında artmaya başlamıştır. Çevre bilincinin artmasıyla

geleneksel enerji üretim ve tüketiminin dünya üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu daha çok anlaşılmış ve atmosferde kirlilik oluşturmeyen rüzgâr enerjisi teknolojilerinin gelişmesinin ve yaygınlaşmasını sağlamıştır.



Şekil 1.2 Rüzgâr enerjisi.

Elektriğin yenilenebilir bir kaynağı olan rüzgâr enerjisi, Dünya’çapında elektrik enerjisine en kolay ve en hızlı dönüşebilen bir enerjidir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayınlanan bir araştırmaya göre, dünya rüzgâr enerjisi potansiyeli 53 000 TWh / yıl olarak hesaplandı. 2004 itibarıyla dünyadaki rüzgâr enerjisinin gücü 40 530 MW'dı, ancak 2007'de 93 212 MW'a ulaştı. Avrupa,% 74'lük payı ile en büyük rüzgâr enerjisi kullanıcısıdır (Ataman,2007).

1.3.3.Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuzlar ve gazlar, içerebilen sıcak su, buhar ve gazlar olarak tanımlanabilir. Ayrıca herhangi bir akışkan içermeden de bazı teknik yöntemlerle yerin derinliklerindeki ısıdan yararlanılması da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir nitelendirilmektedirJeotermal enerji dünyada en fazla bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Jeotermal akışkanın uygulama yöntemlerine göre jeotermal enerji sistemleri ısı pompaları, kuyu içi eşanjörler ve ısı boruları olarak sınırlanmaktadır (Bekar, 2007). Isı pompaları, düşük sıcaklıktaki

kaynağı ısı enerjisine absorbe edip yüksek sıcaklıktaki bir ısı kuyusuna deşarj eden sistemlerdir. Bina ısıtmalarında jeotermal enerjiden doğrudan veya dolaylı bir şekilde yararlanılabilir.

Jeotermal kaynağın doğrudan kullanıldığı yerlerde, bir eşanjör yardımıyla suyun ısısı bina ısıtma tesisatının su devresine aktarılır. Bu tip bir sistem için suyun sıcaklığı 80 °C ve üzerinde olmalıdır. Bu yüzden sıcaklığı 50 °C altındaki kaynaklar böyle bir çalışma için verimli değildir. Fakat bu suların ısı pompası yardımıyla faydalanmak mümkündür.

Jeotermal enerji,

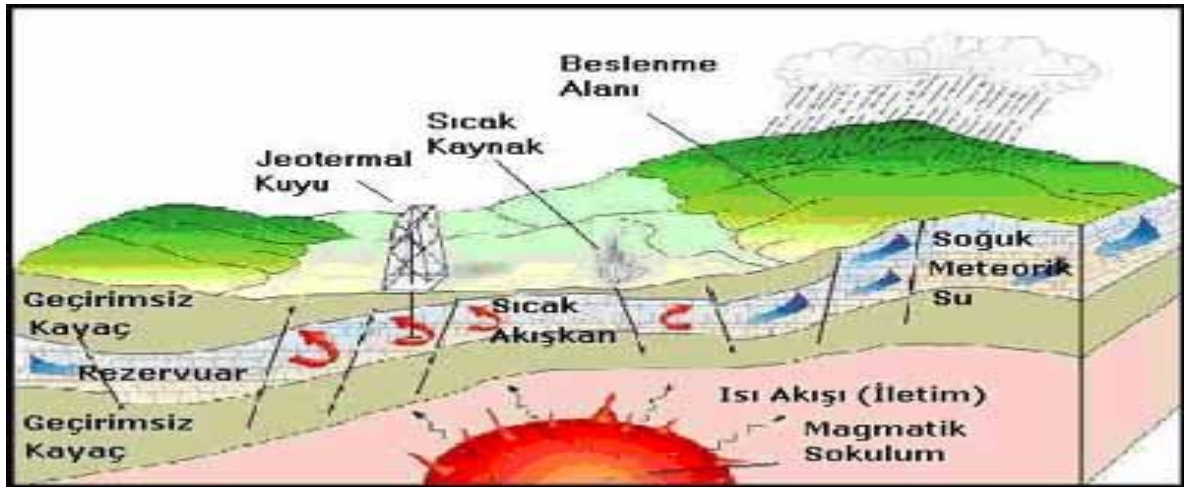
- Bina, cadde, toprak, havaalanı pistlerinin merkezi sistemle ısıtılmasında
- Binalarda sıcak su üretilmesinde
- Seracılıkta, meyve ve sebze kurutulmasında
- Yüzme havuzu, termal tedavi ve diğer turistik tesislerde
- Hayvan çiftliklerinin ısıtılmasında
- Soğutma tesislerinde ve birçok endüstriyel işlemlerde (kerestecilik, boyama, dokuma, vb.)
- Kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, amonyum sülfat, potasyum klorür vb.) kullanılmaktadır.

Jeotermal sözcük, Yunan jeolojisinden (toprak) ve toprak ısısı veya toprak ısısı anlamına gelen therma'dan (ısı) türemiştir (Ataman,2007). Jeotermal kaynak, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde yer altı ısısının oluştuğu, sıcaklıkların sürekli olarak bölgesel atmosfer sıcaklığının üzerinde olduğu bir bölgedir.

Jeotermal kaynak, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde yer altı ısısının oluştuğu, sıcaklıkların sürekli olarak bölgesel atmosfer sıcaklığının üzerinde olduğu bir bölgedir. Daha fazla çözünmüş mineraller, normal sudan ve çeşitli tuzlar ve gazlar içeren yüzey suyundan daha fazla sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Jeotermal enerji, her türlü doğrudan veya dolaylı faydaları içerir. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen, bazı teknik yöntemlerle kullanılan mekânın derinliklerinde yer alan Sıcak Kuru Kayalar jeotermal enerjinin kaynağı olarak geçmektedir.

Jeotermal rezervuarlar, yağmur, kar, deniz ve yeraltı sularının oluşturduğu jeolojik koşullarla, jeolojik koşulların sağlandığı rehabilitasyon ile oluşur. Üretilen jeotermal akışkanların tamamının veya bir kısmının yapay yöntemlerle üretildiği

jeolojik formasyonlara geri dönen / basılan süreç. Besin-üretim değerleri takip edilirse ve kısa süreli atmosfer koşullarından etkilenmezse yenilenebilir olma özelliğini korur.



Şekil 1.3 Jeotermal sistemin şematik gösterimi.

Jeotermal enerji; yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, ucuz, güvenilir, çevre dostu, yerli ve yeşil bir enerji türüdür (Şahin,2010). Jeotermal enerjiye dayalı jeotermal elektrik santrallerinde CO₂, NO_x, SO_x gibi sera etkisine neden olan gazlarının salınımı çok düşük olduğundan dolayı temiz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebilir.

Jeotermal kaynaklar çeşitli özelliklere göre sınıflandırılabilir. Su yoğunluğuna göre, buhar yoğunluğuna ve sınıflandırma gibi en çok kullanılan sıcaklık değerine göre. Sıcaklık aynı zamanda içeriğe göre kabaca üç gruba ayrılır.

Bunlar;

- 1- Düşük Sıcaklıklı Sahalar (20-70 °C)
- 2- Orta Sıcaklıklı Sahalar (70-150 °C)
- 3- Yüksek Sıcaklıklı Sahalar (150 °C'den yüksek)

Düşük ve orta sıcaklık alanları, mevcut teknolojik ve ekonomik koşullar altında, özellikle ısıtma (sera, bina, tarımsal kullanım), endüstriyel (gıda kurutma, kereste, kâğıt) kimyasal maddelerin (borik asit, kadmiyum vb.) Üretiminde kullanılabilir. ve tekstil endüstrisi, deri, amonyum bikarbonat, ağır su, yukarı akış karbon dioksitten kuru buz elde edilmesinde kullanılır. Bununla birlikte, elektrik üretimi için teknolojiler de geliştirilmiş ve orta sıcaklık alanlı akışkanlardan kullanılmıştır. Yüksek sıcaklık alanlarından elde edilen sıvı, diğer alanlarda ve elektrik üretiminde kullanılabilir.



Şekil 1.4 Yüksek sıcaklıklı sahalar (150 °C'den yüksek).

Jeotermal kaynaklar dünyanın birçok yerinde mevcuttur. Bu kaynaklar düzensiz değildir, ancak belirli bir jeolojik karaktere sahip olan kuşaklar biçimindedir. Alp Himalaya kuşağı, Orta Amerika Volkanik kuşağı, Andes Yanardağı kuşağı, Karayip Kuşakları, İzlanda ve diğer Atlantik adaları, Doğu Afrika Rift Sistemi, dünyadaki önemli bir jeotermal kuşağıdır (Akova,2008).

1.3.4.Biyokütle enerjisi

Ana bileşenleri karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler biokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan üretilen enerji ise biokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Biokütle enerji kaynaklarını, ekinler, ağaçlar, yosunlar, denizdeki algler, evlerden atılan meyve ve sebze atığı gibi tüm organik çöpler, gübre, hayvansal atıklar, sanayi atıkları gibi maddeler oluşturmaktadır. Biokütle kendini kısa sürede yenileyebilen ve güneş enerjisinin depolandığı, ülkelerin enerji ihtiyacının ulusal kaynaklardan karşılandığı, büyük üretim potansiyeline sahip, sürekli üretimin mümkün olabildiği yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir.

Dünyada giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan en önemlilerinden biri biokütle enerjisidir. Biokütle enerjisinin olumlu yönleri,

- Her yerde yetiştirilebilmesi
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi
- Her ölçekte enerji üretimi için uygun olması
- Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması
- Depolanabilir olması
- 5-35 °C arasında sıcaklık gerektirmesi
- Kanserojen madde içermemesi
- Çevre kirliliği oluşturmaması
- Sera etkisi oluşturmaması böylece atmosferde CO2 dengesi sağlanması
- Asit yağmurlarına yol açmaması olarak özetlenebilir (Türe, 2001).

Çevreyi kirletmeden sürdürülebilir enerji kirliliği sağlayabilen kaynaklardan biri de biyokütle enerjisidir. Biyokütle, enerji kaynağı olarak kullanılacak biyolojik olarak türetilmiş materyalleri tanımlamak için kullanılan geniş bir terimdir. Biyokütle enerjisi, güneş ve rüzgâr gibi aralıklı bir enerji kaynağı değil, tükenmez bir enerji kaynağıdır (Türkiye Çevre Vakfı,2006). Her yerde yetiştirilmesi, özellikle kırsal alanlarda sosyal ve ekonomik kalkınmaya yardım ettiği için, uygun ve önemli bir enerji kaynağıdır (Topal,2008).

Biyokütle enerjisi, bitkiler tarafından dönüştürülen güneş enerjisinin şekli olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, fotosentez olayı tarafından kimyasal olarak depolanan, daha sonra çeşitli şekillerde kullanılan bitkiler tarafından depolanan enerji olarak belirtilebilir. Fotosentezde atmosferde karbondioksit kullanılır ve atmosfere oksijen verilir. Fotosentez ile üretilen organik maddenin yakılmasının sonucu olan karbondioksit, bu maddelerin oluşumu sırasında daha önce atmosferden alındığı için biyokütle enerjisi üretimi sırasında karbondioksit salınımı açısından korunmuştur.



Şekil 1.5 Biyokütle enerji kaynakları.

Biyokütle kaynaklarının kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil bazlı yakıtlar ile kolayca ikame edilebilmesi, diğer yenilenebilir kaynaklardan farklıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en fazla kullanılan enerjidirlerden birisidir. 2006 verilerine göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerji tüketimindeki payı% 12,7'dir. Bu oranın en büyük payı% 9,9 ile biyokütle enerji sektöründe. Önümüzdeki yirmi ila otuz yıl için enerji talebi tahminleri incelendiğinde, geleneksel biyokütle tüketim sürecinin benzer trendlerle devam edeceği ve toplam yenilenebilir birincil enerji arzında en önemli unsur olarak kalacağı tahmin edilmektedir (Sohtaoğlu,2009).

Biyokütle enerjisi, klasik ve modern anlamda iki grupta ele alınabilir. Bunlardan ilki klasik biyokütle enerjisidir; ormanlardan elde edilen odunlar ve yakıt olarak kullanılan bitkisel ve hayvansal atıklar (tezek gibi)'dir dır. İkincisi, modern biyokütle enerjisidir; enerji, ormancılık ve orman-ağaç sanayi atıkları, tarımdan kaynaklanan tarımsal atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstriyel atıklar, fermantasyon ve gazlaştırma gibi modern tekniklerle işlenen ısı, sıvı ve gaz yakıtlardır (Türkiye Çevre Vakfı,2006).

Biyokütle, enerji teknolojisinde doğrudan yanarak veya çeşitli işlemlerle yakıt kalitesini artırarak ve mevcut yakıtlara eşdeğer alternatif biyoyakıtlar (biyodizel, etanol, biyogaz) elde ederek değerlendirilir.

1.3.5.Hidroelektrik enerji

Hidrolik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle sağlanan bir enerji türüdür. Suyun üst seviyelerden alt seviyelere düşmesi sonucu açığa çıkan enerji, türbinlerin dönmesini sağlamakta ve jeneratörlerde elektrik enerjisi elde

edilmektedir (Akpınar,2009). Su döngüsü olayı ile yeryüzündeki su sürekli değişiyor. Bu değişim sayesinde mevcut göller, nehirler ve su kaynakları sürekli besleniyor. Su döngüsü devam ettiği sürece hidroelektrik yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütleden sonra en çok kullanılan kaynaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin% 92'si ve dünyanın elektrik talebinin% 16'sı hidroelektrik kaynaklardan elde edilmektedir (Türkiye Çevre Vakfı,2006).

Su gücü kullanımı su değirmenleri ile erken zamanlarda başladı. Hala vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Günümüz koşullarında, hidroelektrik santraller (HES) su gücünden yararlanmak için inşa ediliyor. Amerika Birleşik Devletleri'nde, Niagara Enerji Santrali, dünya çapında hidroelektrik santrallerin inşasına öncülük eden ilk inşa edilmiş hidroelektrik santralidir.



Şekil 1.6 Hidroelektrik enerji.

Bugün dünyadaki 160'dan fazla ülke su enerjisinden faydalanarak enerji üretiyor. Bu ülkeler tarafından üretilen enerji yaklaşık 3100 TWh / yıl'a ulaştı.

2.NÜKLEER ENERJİ

2.1.Nükleer Enerji

Nükleer kelimesi, İngilizce nucleus adının sıfatlaşmış halidir. Nükleer, çekirdeksel, çekirdek ile ilgili anlamını ifade etmektedir (Collins-Metro,1995). Dolayısıyla nükleer enerji, benzer şekilde atomik enerji, çekirdek enerjisi şeklinde de ifade edilebilir. Terim dünyada ilk kez 2. Dünya Savaşı sırasında duyulmuştur. 6 Ağustos 1945 tarihinde Japonya'nın Hiroşima, 9 Ağustos 1945'de Nagazaki kentlerine atılan bombalarla ilgili çalışmaların başlangıcı 20. yy'ın başlangıcına kadar iner.

Rutherford, Hans, Strasman, Oppenheimer ve Einstein bu enerji kaynağı üzerinde ilk çalışan bilim adamları olmuşlardır (Karabulut,1999).



Şekil 2.1 Nükleer santral örneği.

Nükleer enerjinin elde edilmesi sırasında çeşitli maddeler açığa çıkmaktadır. Bunları; sıcaklık (termonükleer üniteyi çalıştırır), uranyum olmayan reaktör maddeleri, uranyum bileşikler (bunlar sonradan işlenebilir), atıklar, parçalanma ürünleri ve

radasyon olarak sıralamak mümkündür. Nükleer enerjinin esasını oluşturan atom eski Yunanca kökenli olup, parçalanmaz anlamına gelmektedir.

Atom minerallerin en küçük parçası olup, onun karakterini belirler ve kendisini oluşturan bir çekirdek ve onu çevreleyen elektronlardan oluşur. Nükleer enerji, atom reaktörleri veya nükleer santraller denilen tesislerde atom çekirdeklerinin parçalanması (fission) veya birleştirilmesi (fussion) yöntemleri ile elde edilir. Birinci teknik atom çekirdeklerinin parçalanması esasına dayanmaktadır. Atom çekirdeğinin hemen hemen iki eşit parçaya ayrılması işlemine fission (fizyon) yani atom çekirdeğinin bölünmesi denir. Parçalanma ile meydana gelen reaksiyonlar devam ederken, patlamalarla büyük ölçüde enerji açığa çıkar. Bu yöntem ilk olarak atom bombası yapımında kullanılmış, bugün nükleer elektrik santrallerinde kullanılmaya devam edilmektedir. İkinci teknik, füzyon (birleşme, birleştirme) tekniğidir. Bu yöntemle daha ağır ve yeni bir atom çekirdeği oluşturmak üzere, iki veya daha fazla atom çekirdeğinin (hidrojen gibi) birleştirilmesi olayıdır (Doğanay,1998; Karabulut, 1999).

Nükleer enerjinin gelişi ekonomik coğrafya için çok önemlidir. Bu durumun birçok nedeni vardır. Bunlar;

- Şimdiye kadar bilinmeyen ve kullanılmamış bir kaynaktır.
- Doğal rezervleri çok yaygındır.
- Sadece gerçek üretime uygulanabilir değil, aynı zamanda ulaşım, mekân ısıtılması ve diğer ekonomik faaliyetlerde de uygulanabilir.
- Çabuk bir şekilde laboratuvar safhadan diğer ekonomik safhalara hareket edebilir (Thoman, 1962).

2.2.Fisyon Ve Elektrik Üretimi

Fisyon, sadece Uranyum ve Plütonyum gibi sadece birkaç elementte meydana gelir. Nükleer enerjinin hammaddesi olan Uranyumun endüstriyel kullanımı yoktur. Uranyum doğada bol miktarda bulunur. Uranyum-235'in dikkat çekici izotopu, günümüz reaktörlerinde en yaygın kullanımdır. U-235 atomuna bir nötron çarptığında, nötron çekirdek tarafından yutulur ve U-235 uyarılmış olur. Ortaya çıkan uyarım, kararsız çekirdek nükleer ürünler olarak adlandırılan iki hafif çekirdeğe ayrılır. Aynı zamanda, 2-3 hızlı nötron ile ısı enerjisi çıkar. Emisyon nötronları, diğer ek fizyona

neden olan diğer uranyum atomlarına çarpmaktadır. Bu sürekli fisyon süreci bir zincir reaksiyonu olarak adlandırılır.

Nükleer reaktörlerle, fisyon veya füzyon reaksiyonları ile elde edilen enerji elektriğe çevrilir. İki şekilde de açığa çıkan enerji ısıya dönüştürüldükten sonra bu enerji ile su kaynatılıp buhar elde edilir. Sonra bu buhar, termik santrallerde olduğu gibi, yüksek basınç altında bir türbine gönderilir ve türbin dönerken, kendisine bağlı bir elektrik jeneratörünü de döndürünce, elektrik enerjisi üretilir. Dünyada ki birçok nükleer santral fisyon dayalı çalışır. Bu nükleer santrallerin temel yakıtı uranyum; 92 proton sayısı, nötron sayısı farklı olan U-235 ve U-238 izotoplarından oluşur. Nötron çarpmasıyla parçalanmış U-235 çekirdeği fisildir. Fisil, yavaş veya hızlı nötronların çarpmasıyla parçalanmış çekirdeklere denir.

U-235 kütlesi nötronlarla tepkimeye girdiğinde çekirdekler parçalanır ve bazı radyasyon ışınları ve nötronlar oluşur. Parçalanmalardan açığa çıkan nötronlar sonra başka fisil çekirdeklere çarpar ve buradan yine nötronlar ve enerji açığa çıkar. Zincirleme tepkimelerin olduğu bu ortama nükleer reaktörün kalbi denir (Vural,2004).

2.3.Füzyon

Füzyon yani diğer bir isimle nükleer kaynaşma, parçalanmanın tersine çok hafif iki çekirdeği birleştirerek daha ağır bir çekirdek oluşturmak ve bu şekilde açığa çıkan bağ enerjisini kullanmaktır. Bu işi denetim altında yapabilmek oldukça zordur. Çekirdekler içlerinde var olan pozitif yükler nedeniyle birbirlerine yaklaştırmak istenildiklerinde birbirlerini büyük bir güçle iterler. Bu işi yapabilmek için iki çekirdeğin birbirine yaklaşmasını ve aradaki itme kuvvetini ortadan kaldıracak büyük bir kuvvet gerekmektedir. Bu kuvvetin oluşabilmesi, 20-30 milyon bir sıcaklıkla aynı değerdedir. Dünya üzerindeki hiçbir katı madde böyle bir sıcaklığa dayanamayacağı için yeryüzünde henüz böyle bir düzenek hazırlanamamıştır.



Şekil 2.2 Güneş patlaması.

Füzyon ile ilgili somut çalışmaların başladığı ilk tarih 1989 yılıdır. İki kimyager, elektrotlarla su içerisinde füzyonu gerçekleştirdiklerini iddia etmişler ve bu olay hayal kırıklığıyla sonuçlanınca füzyonun değeri düşmüştür. Füzyon tepkimeleri Güneş'te devamlı ve doğal olarak gerçekleşmektedir. Güneş'ten gelen ısı ve ışık, hidrojen çekirdeklerinin birleşerek helyuma dönüşmesi sağlamaktadır. Bu dönüşüm sırasında kütle kaybı karşılığı enerjinin ortaya çıkması sayesinde meydana gelmektedir. Kütle kaybının karşılığı enerjinin büyüklüğü $E = mc^2$ formülüyle rahatlıkla hesaplanabilir. Bu formülü kullanarak güneşin saniyede 564 milyon ton hidrojeni 560 milyon ton helyuma çevirdiği bulunmuştur. Geriye kalan 4 milyon ton gaz maddesi ise enerjiye dönüşür. Bu olayın milyonlarca yıldır devam ettiği ve güneşin her tepkimede 4 milyon ton gibi büyük bir miktar kaybı olduğu düşünülünce, insanların kafasında güneşin enerjisinin ne zaman biteceği ile ilgili soru işaretleri oluşmaya başlamıştır. Fakat yapılan araştırmalarda güneşin kütlesine oranla çok küçük miktarda bir enerji kaybına uğradığı tespit edilmiş ve güneşin daha milyarlarca yıl ayakta durabileceği hesaplanmıştır.

Füzyondaki temel nokta iki atom çekirdeğinin birleşerek çok büyük miktarda enerjiyi ortaya çıkarmasıdır. Her atom çekirdeğinin rastgele biçimde füzyon yapmamasının sebebi ise bu çekirdek birleşmesinin gerçekleşebilmesi için çok yüksek

miktarda ısıya ihtiyaç duymalarıdır. Bütün bu zorluklara rağmen füzyon, şu an dünyadaki en büyük enerji kaynağı olarak görülmektedir.

2.4. Filyon

Filyon; çekirdeğin kendiliğinden ya da uyarılma sonucu bölünmesi olayıdır. Filyon reaksiyonu için çekirdeğin uyarılması, nötronların yanısıra proton, yüksek enerjili gama fotonları (fotofilyon) ve α tanecikleri gibi hafif çekirdeklerle de gerçekleştirilebilir. Atom numarası ($Z > 30$) olan bütün çekirdekler, belirli bir kinetik enerjiye sahip parçacıklar ile aşağı yukarı eşit atom sayılarına sahip iki parçaya bölünebilirler. Ancak bu reaksiyonlar genellikle enerji alan reaksiyonlardır (Özemre, 1969). Nükleon başına bağlanma enerjisi; ağır çekirdeklerde, orta ağırlıktaki çekirdeklere göre daha küçük değerler aldığından $A > 100$ olan orta ağırlıktaki çekirdeklerin filyonu enerji veren reaksiyonlardır ve $A > 230$ olan ağır çekirdeklerin filyonu enerji üretimi için önemlidir.

Nötron soğurulması sonucu uyarılan çoğu çekirdek, uyarılma enerjisini γ fotonları ile yayınlar (Murray, 2008). Uranyum gibi doğal ya da plutonyum gibi yapay ağır elementler, uranyum ötesi elementlere kıyasla, görelî olarak kararlı sayılırlar. Bunlar gibi ağır çekirdekler nötron soğurduğunda filyona uğrayarak iki ya da daha fazla nötron ve enerji yayınlarlar.

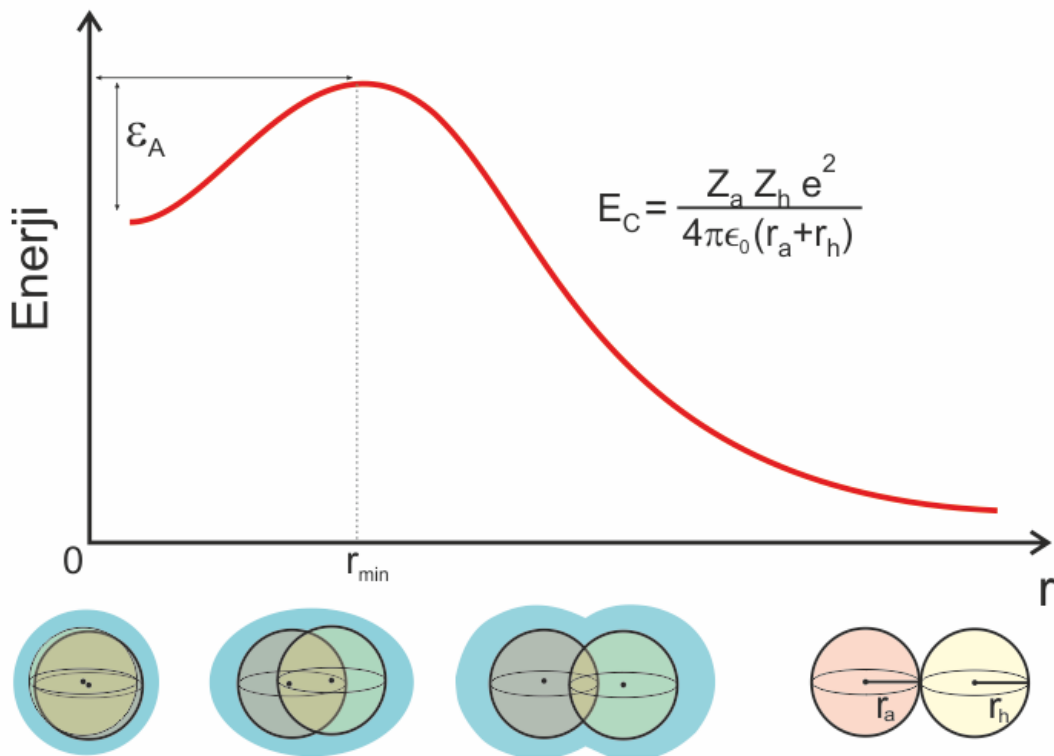
Filyon olayının mekanizmasını; Bohr ve Wheeler çekirdeğin sıvı damlası modeli ile şu şekilde açıklamışlar'dır:

Uyarılmış halde bulunan bir çekirdekte, bu uyarılma enerjisi nedeniyle titreşimler gerçekleşir. Eğer sistemin potansiyel enerjisini Şekil 2.3'de verildiği gibi iki ürün arasındaki r uzaklığının bir fonksiyonu olarak ele alırsak; başlangıçta küresel bir çekirdek oluşturan bu iki ürün çekirdeğin aralarındaki uzaklık Coulomb kuvvetinin etkisiyle artar ve çekirdeğin küresel şekli bozularak elipsoid şeklini alır. Çekirdeğin elipsoid şeklini alması, başlangıç durumuna göre daha büyük bir yüzeye sahip olduğu yani yüzey gerilim kuvvetinin arttığı anlamına gelmektedir.

Başlangıçta ürün çekirdeklerin uzaklaşmasından sorumlu olan Coulomb kuvveti, uzaklığın artması ile azalır ve yüzey gerilim kuvvetinin etkisiyle çekirdek başlangıç durumuna dönme eğilimi gösterir.

Ürünler arasındaki uzaklığın başlangıç değerini (küresel durum) r_0 ve bölünme sonrasındaki uzaklığı da sonsuz kabul edersek; r 'nin r_0 ve sonsuz değerleri arasında potansiyel enerji grafiğinin bir tepe noktası vardır. Potansiyel enerjinin aldığı bu en büyük değeri ile çekirdeğin başlangıçtaki taban durum enerjisi arasındaki fark aktivasyon enerjisi ya da fisyon engeli adını alır. Kütle numarası olan çekirdekler için aktivasyon enerjisi yaklaşık 6-7 MeV arasındadır (Basdevant,2005).

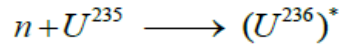
Chadwick'in 1932'de nötronu keşfetmesinden sonraki süreçte, nötronlarla bombardıman edilen çeşitli çekirdekler üzerinde nötronun etkileri araştırılmıştır.



Şekil 2.3 Fisyonunda çekirdek potansiyelinin uzaklığın fonksiyonu olarak değişimi (Basdevant,2005).

Şayet söz konusu olan reaksiyon, çekirdeğin doğal fisyonu ise bu engeli kuantum mekaniksel tünelleme yoluyla aşmalıdır. Parçacık soğurma ya da foto-fisyon ile uyarılma söz konusu ise çekirdeğe aktarılan uyarılma enerjisi bu engeli aşmasına yeter büyüklükte olmalıdır.

^{235}U 'in yavaş bir nötron yakalaması reaksiyonu için uyarılma enerjisi

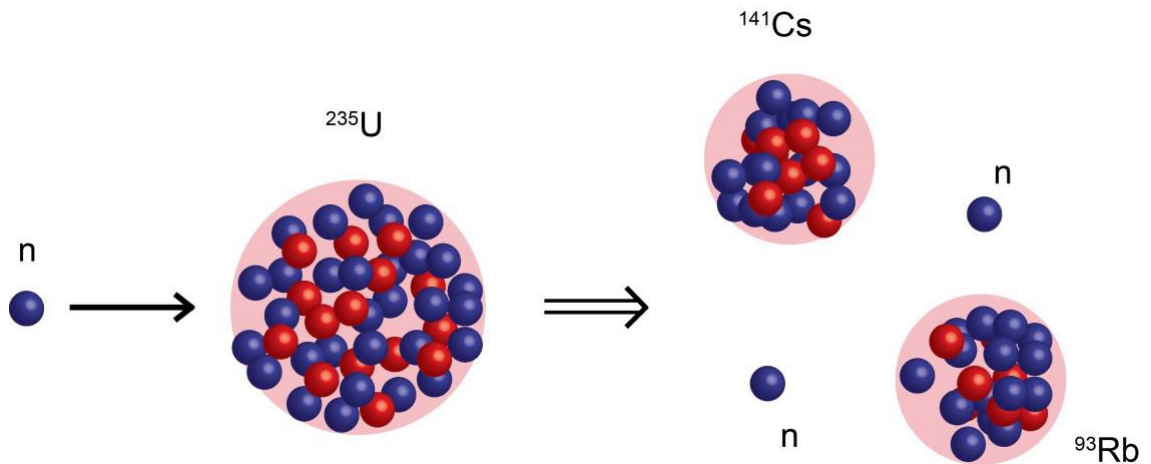


$$\Delta E = 6.544733 \text{ MeV}$$

dir.

Çekirdeğe aktarılan uyarılma enerjisi aktivasyon enerjisinden küçükse, çekirdek fazla enerjisini γ fotonları olarak yayınlar ve taban duruma döner. Buna ışıcı yakalama olayı denir.

Eğer çekirdeğe aktarılan uyarılma enerjisi aktivasyon enerjisinden büyükse; fisyon gerçekleşir ve çekirdek orta ağırlıkta iki ürün çekirdeğe bölünür. Yavaş bir nötron soğurarak fisyonla uğrayan tek doğal izotop ^{235}U 'tir. ^{233}U ve ^{239}Pu yavaş nötronlarla fisyonla uğrayan bazı yapay izotoplara örnek olarak gösterilebilir (Murray,2008). Fisyonla uğrayan çekirdeğin yapısı ve kütle numarasına bağlı olarak fisyon sonucunda orta ağırlıkta iki çekirdek ve uyarılma enerjisine göre değişen sayıda (ortalama 2.5) nötron yayınlanır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 ^{235}U fisyonu için örnek fisyon şeması.

İtalya'da Enrico Fermi ve çalışma arkadaşları, birçok çekirdeğin nötron yakalaması ile β yayımlayarak bozunuma uğradığını, bu yolla nötronun protona dönüştüğünü ve çekirdeğin nötron fazlalığının dengelendiğini ortaya çıkardılar. Daha sonraki süreçte amaçları, Transuranyum elementleri elde etmek için bu tekniği kullanarak atom numarasını artırmaktı.

Transuranyum elementler tabiatta doğal olarak bulunan ve ağır bir element olan uranyumun ötesindeki elementlerdir. Gerçekten nötronlarla ışınlanan uranyum, β aktifliği gösterdi, bu aktiflik yeni uranyum ötesi elementlerin varlığının ilk göstergesiydi, ancak bu elementleri kimyasal olarak ayırma ve özelliklerini belirleme çalışmaları, şaşırtıcı ve yanıltıcı sonuçlar üretti. Özellikle etkileşme sonucunda ortaya çıkan aktiflik baryuma benzer kimyasal bir davranış gösteriyordu. Bu nedenle başlangıçta bunun Radium olabileceği düşünülürdü. Radium periyodik tabloda baryumun tam altında bulunduğu için atomik yapısı ve kimyasal özellikleri baryumunkine çok benzerdir. Hahn ve Strassman 1939'da elde edilen aktifliğin baryumun kendisinden kaynaklandığını ve kimyasal bir benzerinden kaynaklanmadığını gösterdiler. Çalışmaların ilerlemesiyle uranyumun nötron bombardımanından, baryumdan başka daha birçok orta-ağırlıklı çekirdeğin üretildiği görüldü. İyonlaşma odaları ile yapılan deneysel çalışmalarla nötron yakalama sonucu ortaya çıkan enerjinin 10MeV mertebesinde olduğu ve bu enerjinin daha önce gözlenen alfa bozunma enerjisinden çok büyük olduğu gözlemlendi.

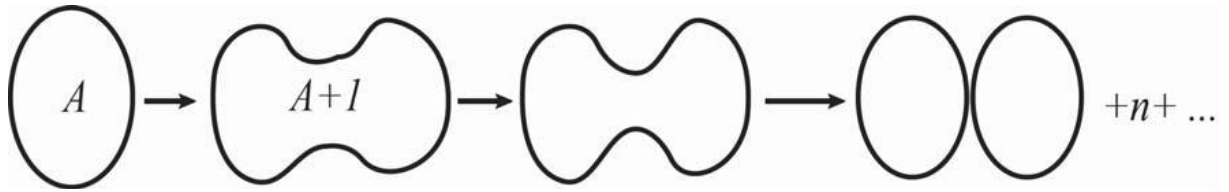
1939'da Meitner ve Frisch, uranyumun nötron yakalaması ile oldukça kararsız hale geldiğini ve yakın büyüklükte iki parçaya bölündüğünü veya fisyonu uğradığını (fisyon terimi biyologlardan alınmıştır ve hücre bölünmesini tanımlar) ileri sürdüler.

Fisyon, kendiliğinden veya nötron ve foton gibi düşük enerjili bir parçacığın soğurulması sonucunda engeli aşacak veya engeli geçmeye yetecek kadar yüksek enerjili uyarılmış durumlar veya bileşik çekirdek durumları oluşturarak meydana gelebilir. Her ne kadar uyarılma enerjisi sağlandığında her çekirdek bölünebilirse de bu durum yalnız ağır çekirdekler (toryum ve ötesi) için önemlidir. Fisyonun açığa çıkan yüksek enerjinin kullanılabilmesi, fisyonun keşfinden hemen sonra fark edildi.

Fisyonun bir diğer özelliği, nötron ile oluşan her bölünmede, iki ağır fisyon ürününe ek olarak birkaç nötronun açığa çıkması ve bu nötronların yeni bölünmelere neden olması ve olayın kendiliğinden zincirleme olarak devam etmesidir. Nükleer fisyon olayı çekirdeğin sıvı damlası modeli ile açıklanabilir. Bu modelde çekirdek küresel kabul edilir. Gelen bir nötronun etkisiyle yüzey dalgaları oluşur ve sıvı damlasının şeklinde değişime yol açar. Bu etkiyle sıvı damlası uzayabilir. Oluşan pertürbasyon yeterince büyükse, damlanın uzayan iki parçası arasındaki Coulomb

itmesi iki yapı oluşturabilir ve iki yapı birbirinden daha da uzaklaşarak tamamen ayrılırlar.

Bir nötronun birçok izotop tarafından soğurulması, bir gama ışını olarak ortaya çıkan uyarım enerjisi ile birlikte ışınal yakalamayı içerir. Bazı ağır elementlerde özellikle uranyum plütonyum gibi elementlerde farklı bir sonuç izlenir: çekirdek iki ağır parçaya ayrılır. Bu sürece fisyon denir. Bazen fazla enerji gama ışını olarak serbest kalabilir. Fakat genellikle bu enerji çekirdeğin şeklinde boğumlanmaya benzer bir bozulmaya neden olur. Bu çekirdeğin parçaları bir sıvı damlasının hareketine benzer bir şekilde salınır. Elektrostatik itme nükleer çekimden daha baskın olduğundan boğumlanan iki parça ayrılabilir. Bu parçalar açığa çıkan enerjinin büyük bölümünü taşıyan fisyon parçalarıdır. Bu parçalar, sürecin sonunda serbes kalan yaklaşık 200MeV toplam enerjinin 166 MeV'lik kinetik enerjisini taşıyarak yüksek hızlarda birbirinden uzaklaşır. Bu parçalar ayrılınca atomik yapıdaki elektronlarını kaybederler. Sonunda etraftaki atom ve moleküllerle etkileşen bu yüksek hızlı iyonlar enerjilerini bitirirler. Sonuç olarak termal enerji eğer fisyon bir nükleer reaktörde meydana gelirse geri alınabilir. Son olarak ayrılma sırasında çabuk gama ışınları ve hızlı gama ışınları da ortaya çıkar. Tüm bu fisyon süreci 10^{-15} s civarındaki bir sürede meydana gelir. (Gozani,1981)



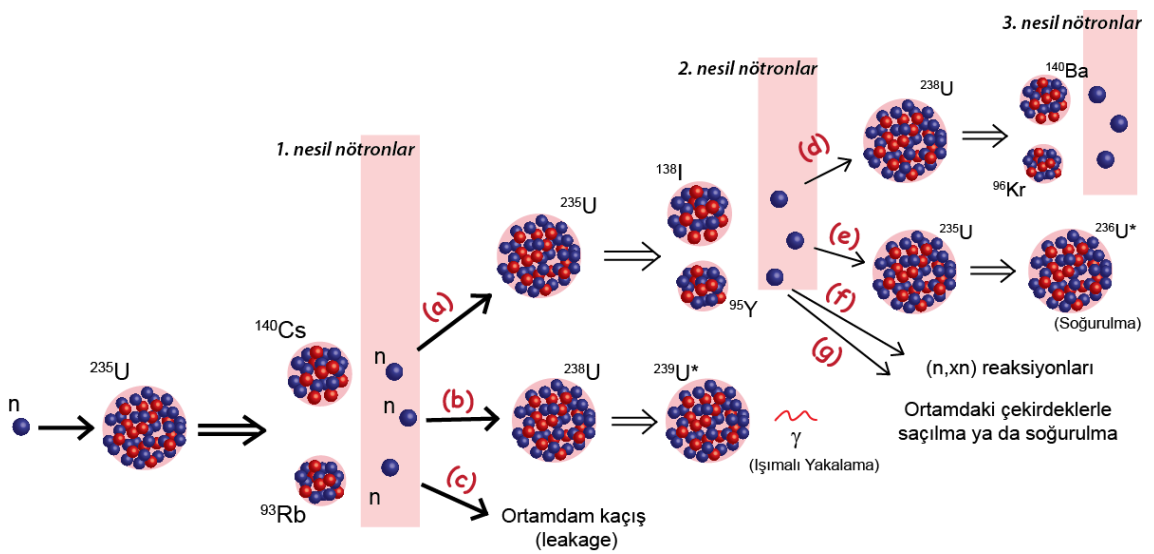
Şekil 2.5 Sıvı damlasıyla fisyon gösterimi.

Eğer oluşan pertürbasyon yeterince büyük değilse, deforme olan sıvı damlası bir bileşik çekirdeğin uyarılmış durumunu oluşturabilirler. Bu durumda daha sonra daha düşük seviyeli bir enerji durumuna bozunur. Bu olaya radyatif (yayıcı) yakalama adı verilir (Bozkurt 2001).

2.5.Fisyon Reaktörleri

2.5.1.Zincir reaksiyon

Fisyon reaksiyonunda açığa çıkan enerji kadar önemli bir diğer özellik te; ürün çekirdeklerin yanı sıra 2 veya 3 nötron yayınlanması ve bu nötronların zincirleme reaksiyona sebep olmasıdır. Nötronların gerçekleştirmesi muhtemel reaksiyonlar ve akıbeti Şekil 2.6’de verildiği gibidir (Liverhant, 1960).



Şekil 2.6 Fisyon sonucu açığa çıkan nötronların olası reaksiyonları.

- Nötronlar ortamdaki diğer ^{235}U çekirdekleri ile fisyon gerçekleştirerek yeni nesil nötronların üretimine sebep olabilir. Enerjisi 1 eV altındaki nötronlar için en olası reaksiyon budur.

- Enerjisini çarpışmalarla kaybetmiş 10 eV ile 1 keV arasındaki enerjilere sahip nötronlar ortamdaki ^{238}U çekirdekleri tarafından soğurularak ışımali yakalama olayını gerçekleştirebilirler.

- Nötronlar ortamdaki hiç bir çekirdek ile etkileşmeyerek ortamdan kaçabilirler (leakage).

- Yeterince büyük enerjiye sahip nötronlar ^{238}U çekirdekleri ile fisyon gerçekleştirebilirler.

- Nötronlar ^{235}U tarafından soğurulup fisyon yapmayabilirler.

- Yeterince büyük enerjiye sahip nötronlar reaktör yapı elemanlarıyla (n, xn) reaksiyonu gerçekleştirebilirler.

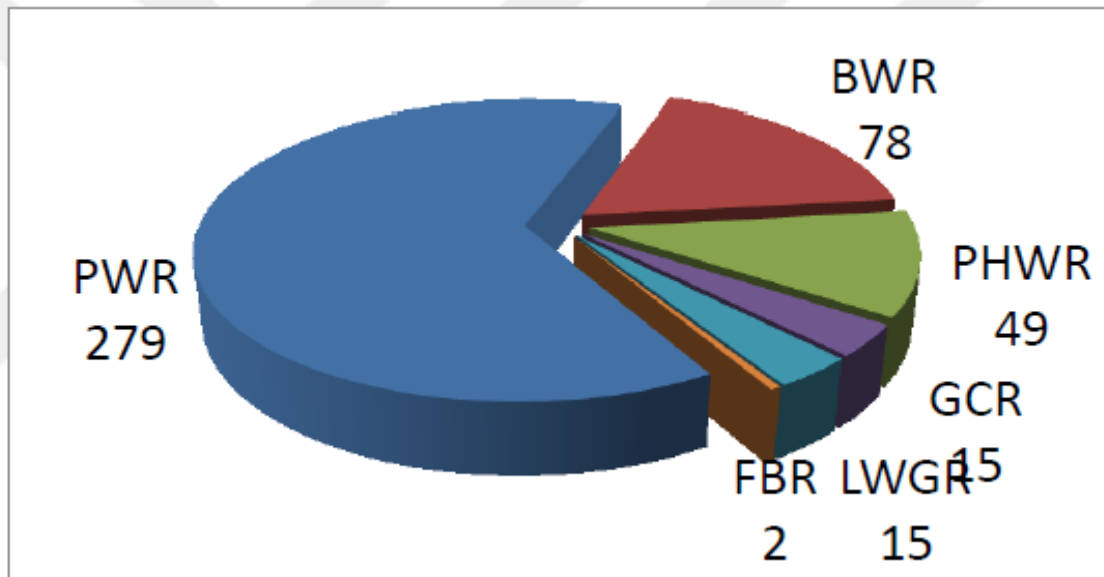
- Nötronlar, ortamdaki diğer çekirdeklerden saçılabilir (scattering) ya da soğurulabilirler (capture).

Bu olaylardan **a** ve **d** yeni nötron oluşumuyla sonuçlandığı için reaktördeki nötron ekonomisine katkıda bulunurlar. Diğer olaylar ise ortamdaki nötronların sızması ya da soğurulması ile sonuçlandığından nötron ekonomisine negatif etki yaparlar.

2.5.2.Fisyon reaktörlerinin sınıflandırılması

Nükleer reaktörler, kullanım amaçlarına göre; araştırma, üretme ve güç reaktörleri olarak sınıflandırılabilir gibi, homojen ve heterojen şeklinde yakıtmoderatör (yavaşlatıcı) geometrisi ya da termal, ara hızlı ve hızlı reaktörler şeklinde nötron enerjisine göre de sınıflandırılabilirler. Ancak bir nükleer reaktör için en önemli noktalardan biri ısı transferi dolayısıyla da soğutucu olduğundan reaktör sınıflandırılmasının soğutucuya göre yapılması yaygın bir uygulamadır (Stacey, 2007) .

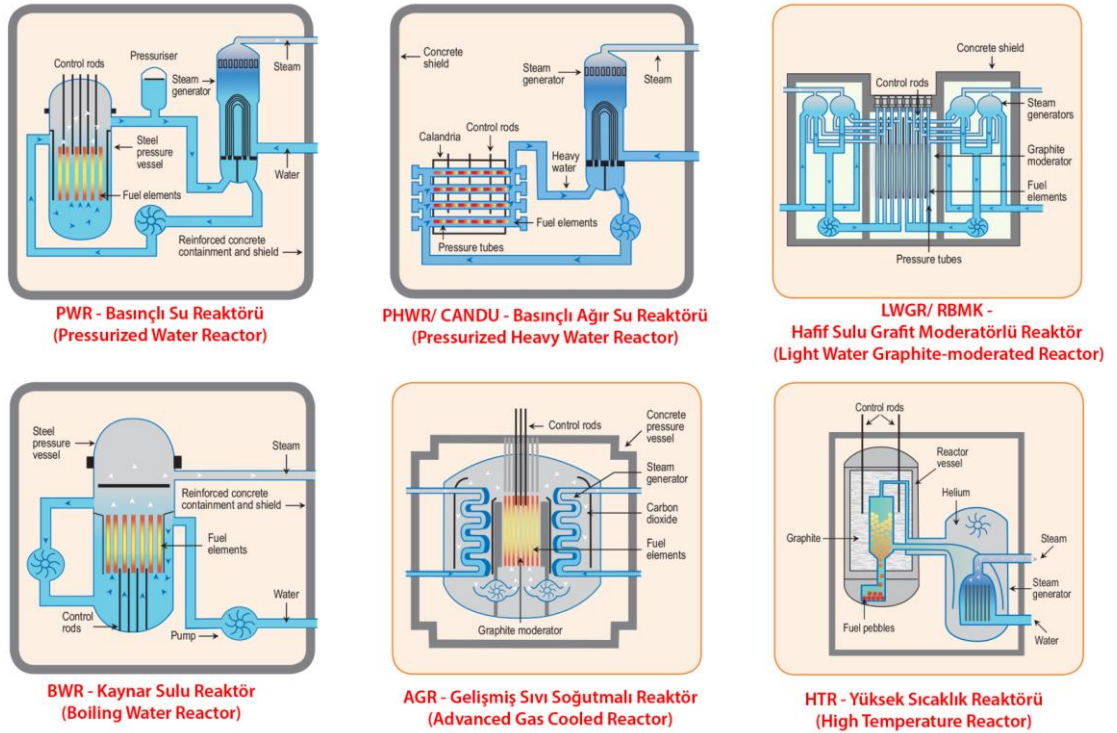
Basınçlı su reaktörleri (PWR: Pressurized Water Reactor) ve kaynar sulu reaktörler (BWR: Boiling Water Reactor), su soğutmalı reaktörler için en yaygın kullanılan reaktör tipleridir. Her iki reaktör tipinde de soğutucu ve moderatör olarak normal su (H₂O) kullanılmaktadır. CANDU (Canadian Deuterium Uranium) reaktör tasarımı olarak ta bilinen basınçlı ağır su reaktörü (PHWR: Pressurized Heavy Water Reactor)'de ağır suyu (D₂O) moderatör ve soğutucu olarak kullanan bir reaktör tipidir. PHWR tasarımında yakıt olarak doğal uranyum kullanılmaktadır. Hafif su soğutuculu tasarımlara bir örnekte, moderatör olarak grafit kullanılan LWGR (Light Water Graphite-Moderated Reactor)'dir. Rus RBMK (Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyy) tasarımı olarak ta bilinen LWGR, 2. nesil reaktör tasarımında yer alıp eski SSCB sınırları içinde çok sayıda inşa edilmiş ve halen kullanımı sürdürülmekte olan reaktörlerdir.



Şekil 2.7 İşletmedeki nükleer reaktörlerin, tasarımlara göre dağılımı.

Gaz soğutmalı reaktör tasarımlarında; reaktör hızlı ya da termal olabilir. Soğutucu olarak CO₂'in kullanıldığı AGR (Advanced Gas Reactors) tasarımı yanı sıra soğutucu olarak helyumun kullanıldığı yüksek sıcaklık gaz soğutmalı reaktörleri (HTGR: High Temperature Gas Cooled Reactor) ve Basınçlı tüp grafit-moderatörlü reaktör (PTGR: Pressure Tube Graphite-Moderated Reactor) basınçlı ya da kaynar sulu tüplerle soğutulan ve moderatör olarak grafit kullanılan termal nötron reaktör tasarımlarıdır. Hızlı nötron reaktörü olarak; helyum soğutmalı, grafitin kullanılmadığı gaz soğutmalı hızlı reaktör (GCFR: Gas Cooled Fast Reactor) tasarımı mevcuttur. Bu reaktörlere ait çalışma prensibini gösteren şemalar Şekil 2.8'da verilmektedir.

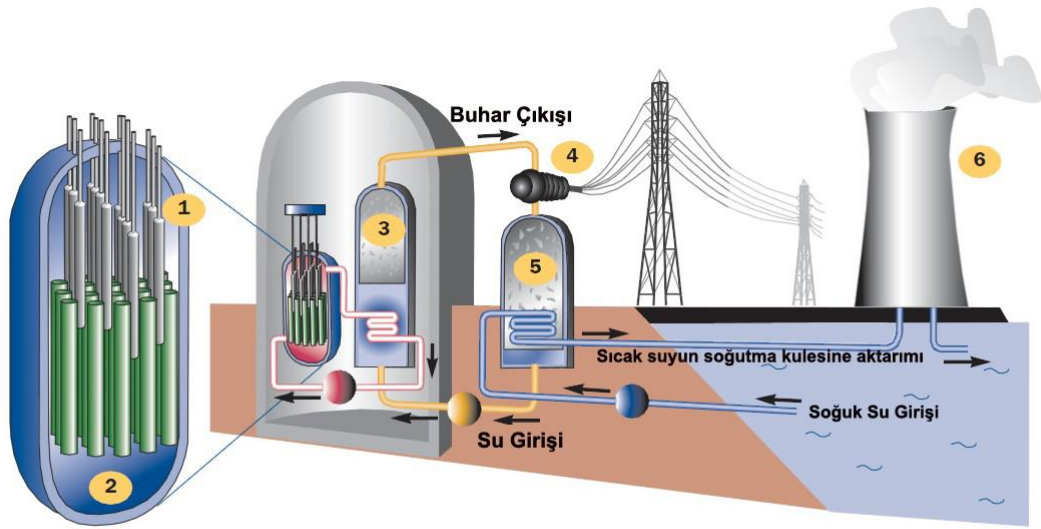
Eriyik tuzlu üretken reaktör (MSBR: Molten Salt Breeder Reactor) tasarımında eriyik tuz çevrimi ile yakıt ve ısı transferi sağlanmaktadır. Gelişmiş sıvı metal reaktör (ALMR: Advanced Liquid Metal Reactor) ve Sıvı metal hızlı üretken reaktör (LMFBR: Liquid Metal Fast Breeder Reactor) tasarımlarında soğutucu olarak sodyum kullanılır (Stacey, 2007).



Şekil 2.8 Reaktör tasarımlarına ait çalışma şemaları.

2.5.3. Fiyon reaktörlerinin yapısı

PWR tipi bir nükleer reaktör tasarımında, elektrik üretimi iki çevrim sonucunda gerçekleştirilir (Şekil 2.9). İlk çevrimde reaktör koru içerisinde üretilen termal enerjinin bir dış sisteme aktarılması ile reaktör kor sıcaklığının çok yükselmemesini sağlar. İkinci çevrimde ise; üretilen buhar türbinlere aktarılarak elektrik üretilmesi sağlanır. Bir nükleer santralde türbinlerle elektrik üretimi sağlanan kısım ve sonrası termik santrallerdeki sistemlere benzerdir.



- 1 - Reaktör : Yakıt (yeşil), kontrol çubukları (gri) ve soğutucu ile moderatörü içerir.
 2 - Soğutucu ve Moderatör
 3 - Buhar jeneratörü
 4 - Elektrik Türbünü
 5 - Yoğunlaştırıcı
 6 - Soğutma Kulesi

Şekil 2.9 PWR tipi nükleer reaktör tasarımı.

Yakıt, kontrol çubukları, moderatör ve soğutucu bileşenlerini içeren reaktör koru, fisyon reaksiyonlarının gerçekleştiği ve nükleer enerjinin termal enerjiye dönüştürüldüğü bölümdür. Zincir reaksiyonun kontrol altında tutulması ve termal enerjinin elektrik üretilen sisteme aktarılması gibi görevleri olan kor bölgesi bir muhafaza kabı (basınç kazanı) ile çevrilidir. Bu bölgede üretilen nötronların ortamdaki kaçması (leakage) nötron ekonomisini olumsuz etkilediğinden, muhafaza kabının iç yüzeyi yansıtıcı (reflector) ile kaplanmıştır.

Reaktör basınç kazanı; kor ve yansıtıcının, kalın çelik bir taşıyıcı içerisinde tutulduğu bölgedir. Bu basınç kazanı, basınç ve ısı gerilimlerine karşı yeterince dayanıklı olmalıdır. Fisyon sürecinde oluşan yüksek seviyedeki radyasyonun azaltılmasını sağlamak için takviye edilen termal zırh kabın kırılabilirliğini de azaltır. Ayrıca kordan yayılan radyasyonu azaltmak için biyolojik zırh ile takviye edilir (Martin, 2013). Bunlara ek olarak reaktörün işletilmesinde gerekli (sıcaklık, basınç, radyasyon seviyesi ve güç) ölçüm aletleri yerleştirilmiştir.

Moderatör; hızlı nötronları yavaşlatarak fisyon kullanışlı termal nötronlar haline getirebilmek için gereklidir. Moderatör, nötronları yakalamadan yavaşlatabilmek (enerjiyi soğurabilmesi) için nötron saçılma kesiti büyük olan, çoğunlukla kütle

numarası küçük bir materyal olmalıdır. Genellikle normal su kullanılır, alternatif olarak grafit ve ağır su (D₂O) kullanılır.

Soğutucu; fisyon sonucu açığa çıkan ısıyı soğurup sistemden uzaklaştırarak, yakıt sıcaklığını kabul edilebilir limitler içinde tutmak için gereklidir. Sistemden uzaklaştırılan ısı türbinlere aktarılarak elektrik üretilir. Eğer soğutucu olarak su kullanılmışsa, elde edilen buhar doğrudan türbinleri besleyebilir. Diğer alternatif soğutucular; D₂O, CO₂ ve He gazları, eriyik metaller (Na, Pb, Bi vb.) ya da eriyik tuzlardır (FLiBe, FLiNaBe vb.). Genellikle reaktörlerde soğutucu su, moderatör olarakta kullanılır.

Kontrol Çubukları; B, Ag, In, Cd ve Hf gibi nötron soğurma tesir kesitleri büyük olan malzemelerden yapılır. Reaktör korunda nötron sayısını azaltmak gerekli olduğunda fisyonu durdurmak veya çalışma esnasında güç seviyesini ve dağılımını ayarlamak için kullanılır.

Yakıt; doğada bulunan tek fisil (termal ya da hızlı nötronlarla fisyonla uğrayabilen) yakıt ²³⁵U izotopudur. Genellikle reaktörlerde yakıt olarak kullanılır. ²³⁵U'in yakıt olarak kullanılabilmesi için zenginleştirilmesi gereklidir. Yakıt çubuklarında termal kararlılık ve ısı iletkenlik özellikleri nedeniyle zenginleştirilmiş uranyumun seramik formu (UO₂) kullanılır. Yakıtın büyük kısmını oluşturan ²³⁸U, hızlı nötronların bazı enerjilerinde fisyonla uğrar. Ayrıca nötron yakalayarak bir başka fisil yakıt olan ²³⁹Pu'a dönüşür. Bazı reaktörlerde mixed-oxide (MOX) olarak isimlendirilen ve plütonyum da içeren yakıt kullanılmaktadır (Whitlock, 2000).

2.6.Nükleer Santral

Maddenin özelliğini taşıyan en küçük parçanın atom olarak adlandırılması John DALTON, Amedeo AVOGADRO ve onların varislerinin 19. yüzyılın başlarındaki çalışmalarıyla açıklık kazanmış ancak 19. yüzyılın sonu, 20. yüzyılın başında atomun yapısı bilimsel olarak araştırılmış, elektronun Joseph THOMSON tarafından keşfedilmesinden sonra Ernest RUTHERFORD, Niels BOHR gibi diğer bilim adamları bu günkü tanımını kabul ettiğimiz atomun yapısını olgunlaştırmışlardır.

Maddenin özelliğini taşıyan, en küçük parçası olan atom minyatür bir güneş sistemine benzer. Güneş sistemindeki, güneşin yerinde atomun çekirdeğini oluşturan pozitif yüklü proton ve elektrik yüksüz nötronların, güneşin etrafında dönen gezegenin

yerinde de negatif yüklü elektronların olduğunu düşünerek atomu gözümüzün önünde canlandırabiliriz. Bir atomun çekirdeğindeki proton sayısı kadar yörüngede dolaşmakta olan elektronu vardır, elektronun yükü negatif çekirdeğinkide pozitif olduğundan atom elektrik yükü bakımından nötrdür.

Çekirdekdeki proton sayısı (atom numarası) hidrojen 1' den Uranyum 92' ye kadar değişir. Çekirdekte 92 den fazla proton ancak insan tarafından üretilmiş radyo elementlerde vardır. Herbir kimyasal element kendi atom sayısı ile tanımlanır, yani aynı elementin atomlarındaki çekirdek daima aynı sayıda protona sahiptir. Nötronların sayısı değişebilir bu durum aynı elementin i/otopunu oluşturur. Mesela, Hidrojen üç izotopa sahiptir; Hidrojen (bir proton), Döteryum (1 proton +bir nötron) ve Tritiyum (bir proton + iki nötron). Fizikçi Henry BECQUEREL 1896 yılında Uranyum mineralinin fotoğraf filmine etki ettiğini keşfetmiş, bu ışınları Uranyum Işınları adı vermiş, bu ışınların bir manyetik alandan geçirildiğinde üç tip radyasyonun varlığını (alfa, beta, gama veya x-ışınları) tespit etmiştir.

Bunlara sırasıyla:

- Alfa Işınları : Pozitif yüklü ve düşük nüfuz etkili, W. RAMSAY ve F. SODDY tarafından Helyum (1 He) çekirdeği (iki proton, iki nötron) olarak tanımlanmıştır,
- Beta Işınları : Negatif veya pozitif yüklü, J. THOMSON ve Maurice De BROGLIE tarafından elektron olarak tanımlanmıştır.
- Gama Işınları : Kütlesiz, ışık veya x-ışınları gibi tabii bir yapıya sahip fakat yüksek enerji yüklü ve derinlemesine nüfuz edebilir.

Bu üç tip radyasyon geçtikleri ortamı iyonize edebilirler, yani kendi gidiş yollarına yakın atomlardan elektron koparırlar. Bunların etkileri canlı organizmalar için tehlikeli olabilir, dolayısıyla bunlardan sakınılmalıdır. Bu konu Radyasyondan Korunma sahasına girer. Becquerel'den sonra 1898 yıllarında Pierre Currie ve eşi Marie Uranyumun alfa ışınları yayınladığını yeni bir elemente Polonyum ve Radyum'a dönüştüğünü bulmuşlardır. Radyoaktivitenin keşfinden sonra 1930'lardaki bilim adamları bölünemeyen atomun bölünmesi için araştırmalarını yoğunlaştırmışlardır.

Özellikle Enrico FERMI elementlerin nötron bombardımanına tutarak yeni elementler elde etmeyi başarmış, bunu takiben IreneJoliot-Curie büyük çabaları sonucu, doğal radyoaktif maddelere ilaveten suni radyoaktif maddelerin üretimini Uranyumdan ağır Lantanyum'u keşfettiler. Sonuçta Fermi'nin deneylerinin sonuçları Lise Meitner ve

Otto Frisch tarafından nötronların Uranyum çekirdeğini iki parçaya ayırdığı şeklinde açıklanmıştır. Böylelikle nükleer fisyon keşfedilmiştir.

Ocak 1939 yılında Frederic Joliot'ın deney sonuçlarında Uranyum çekirdeğinin nötron bombardımanı sonucu iki yeni elemente dönüştüğü ve üç adet hızlı nötron yayınladığını göstermiştir. Üreyen yeni nötronlarında Uranyum çekirdeğini parçaladığı bunun sonucunda yeni elementler ve yeni üç hızlı nötron türediği ve böylesine zincirleme reaksiyonunun devam edildiği yani fisyon olayı keşfedilmiştir.

Uranyum çekirdeğinin parçalanmasıyla 200 MeV'lik enerji fisyon ürünlerinin kinetik enerjisi olarak açığa çıkar. Bu hareketli fisyon ürünlerinin maddelerle etkileşmesi sonucu kinetik enerji ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı Nükleer Santrallarda elektrik üretiminde kullanılır.

1 eV=1.6x 10⁻¹⁹ Jul

1 fisyon = 200 MeV = 3.2 x 10⁻¹¹ Jul veya

1 Jul = 31 Milyar Fisyon

1 Jul enerji 1 gram suyun sıcaklığını 0,24 °C yükseltmek için gerekli ısı enerjisidir.

%30 verimle çalışan bir Nükleer Santraldan 1 kWsaat elektrik üretmek için 3,75x10¹⁷ veya

375 Milyon Milyar fisyon gerektirir.

500 gram tabii Uranyum 30 000 kWsaatlik elektrik üretir.

500 gram kömür 1,5 kWsaatlik elektrik üretir.

500 gram fueloil 2 kWsaatlik elektrik üretir.

2.7.Nükleer Santral Tipleri

Bugün fisyon dayalı nükleer enerji, teknolojisine iyice hakim olunan ve kaynakları bakımından da insanlığın ihtiyacı olan enerjiyi çok uzun yıllar boyunca sağlayabilecek imkandadır. Nükleer hammaddenin stoklanabilir olması durumu insanlığın elektrik enerjisi açığını uzun vadede karşılayacak ciddi adaylardan birinin fisyon enerjisine dayanan nükleer enerji olduğu anlaşılmaktadır. Nükleer Santrallar genel olarak kullandıkları yakıt, moderatöre, soğutucuya ve nötron kaynaklarına göre sınıflandırılabilir. Yakıtı göre; tabii ve zenginleştirilmiş yakıt kullanan reaktörler, moderatöre göre; ağır su, hafif su ve grafik çubuk halinde karbon soğutucusuna göre; hafif su, ağır su, gaz ve sıvı metal soğutmalı, nötron kaynaklarına göre termal (ılık)

nötronlu, ve hızlı nötronludur. Bu çeşitli sınıflandırma kendi içlerinde alt gruplarla da ifade edilebilir. Nükleer güçten ilk elektrik 1951 yılında ABD yapımı hızlı üretken reaktörden üretilmiştir.

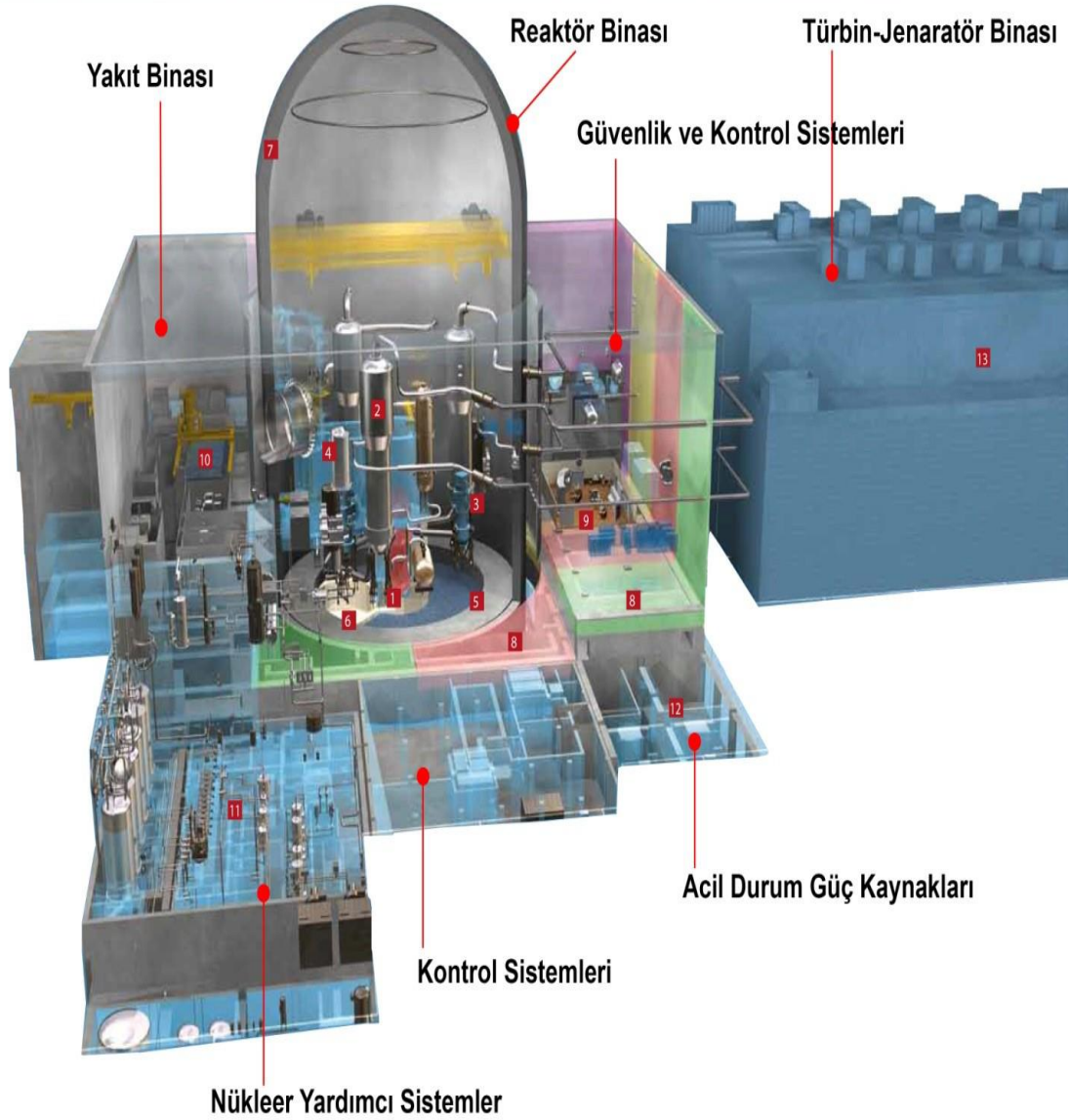
1955 yılı civarında ilk nükleer santral; Obninsk RUSYA'da, Shippingport ABD'de, Calder Hail İngiltere'de ve Marcoule Fransa'da işletmeye alınmıştır. 42 yıl sonra bu gün 442 nükleer santral dünya elektrik üretiminin %17'sini karşılamaktadır. Ayrıca 14 ülkede 36 adet nükleer santral inşa halindedir. Bu yeni enerji kaynağının katkısı 21. Yüzyılın başlarında %20'lere çıkacaktır. Bu gün Avrupa ülkeleri nükleer sahada ABD'nin önüne geçmiş, özellikle Fransa dünyada ikinci en büyük nükleer üretim kapasitesine sahip olmuş ve şu an kendi elektrik tüketiminin dörtte üçünü, dört lambadan üçünün enerjisini, nükleer santrallardan temin etmektedir. Bu metinde soğutucularına göre adlandırılan ve ticari olarak bilinen Hafif Sulu Reaktörler (Basınçlı PWR ve Kaynar Sulu BWR) ve Ağır Sulu Basınçlı Reaktör PHWR tipleri tanıtılacaktır.

2.7.1. Basınçlı sulu reaktör (pwr)

Basınçlı sulu reaktörler ticari olarak elektrik üretimi için ABD'de kullanılan ilk reaktör tipidir. Halen çeşitli ülkelerde 246 ünite çalışmaktadır. Bu ünitelerin toplam kurulu gücü 216 GWe civarında olup toplam nükleer santrallar içerisindeki payı % 63 mertebesinde. İnşaat halindeki nükleer reaktörlerin kurulu gücünün % 67'si bu tip reaktörlere aittir. Basınçlı su reaktörlerinin 10192 TWh'lik enerji üretimlerinin nükleer reaktörlerin toplam enerji içerisindeki payı % 61 civarındadır. Bu tür reaktörlerde kalpte üretilen enerji birincil devre soğutucusu vasıtasıyla kalpten çekilir. Birincil devre basıncı soğutucu suyun kaynamasını engellemek için 15-16 MPa civarındadır.

Soğutucu suyu kimyasal işlemler sonucu yumuşatılarak demineralize edilmiş hafif su olup, yavaşlatıcı ve yansıtıcı olarak da kullanılır. Soğutucunun kalbe giriş sıcaklığı 290 °C çıkış sıcaklığı ise 320-330 °C civarındadır. Reaktör kalbinden çıkan soğutucu türbinlerde kullanılan buharın üretimi için buhar üreteçlerine gönderilerek 7-8 MPa'da buhar üretilir. Reaktörlerin birincil soğutucu devreleri iki, üç ya da dört tane benzer döngüden oluşur. Her bir döngüde bir buhar üretici, bir reaktör soğutucu pompası ve bağlantı boruları bulunur. Ayrıca reaktör basıncını kontrol edebilmek için bir basınçlayıcı bu döngülerden biri üzerinde bulunur.

III. Nesil PWR



Şekil 2.10 ATMEA-1 tipi reaktörün şeması.

1. Reaktör 2. Buhar Jeneratörü 3. Reaktör soğutma pompaları
4. İleri düzey akümülatörler (pasif güvenlik sistemleri) 5. Kazan içi su deposu
6. Kor yakalayıcı 7. Muhafaza kazanı 8. Güvenlik sistemleri
9. Ana kontrol odası 10. Yakıt binası 11. Reaktör yardımcı sistemleri ve atık yakıt ünitesi 12. Acil durum jeneratörleri 13. Türbin – jeneratör kompleksi

2.7.2. Kaynar sulu reaktör (bwr)

Kaynar sulu reaktörler dünyada basınçlı sulu reaktörlerden sonra en yaygın olarak kullanılan reaktör tipidir. Ağustos 1995 itibarı ile varolan 93 kaynar sulu reaktör 76.2 GW elektrik üretim güç kapasitesine sahiptir. Bunlara ek olarak toplam 5377 MW elektrik üretecek güç kapasitesindeki 6 kaynar su reaktörü yapım aşamasındadır.

Kaynar sulu reaktörler (BWR) bir çok yönden PWR reaktörlerine benzemekle birlikte, temel fark reaktör kuru içinde kaynama olayına izin verilmesidir. Uzun bir süre reaktör kuru içinde kaynamaya izin verilmesinin buhar kabarcıkları oluşması sonucu tehlikeli kararsızlıklara sebep olacağı düşünülmekteydi. 1950 yılında yapılan ünlü BORAX deneyi de bu savın düşük basınç altında olan kaynamada doğruluğunu göstermiştir.

Fakat basınç yükseldiği zaman kaynama olayı kararsızlığa sebep olmamakta ve reaktör kontrol edilebilmektedir. Bu olaydan sonra BWR tipi geliştirilmiş ve PWR tipine rakip olmuştur. İlk kaynak sulu reaktör santralı 1960 yılında ABD'de işletmeye alınan 180 MWe gücündeki Dresden-1 nükleer santralıdır. BWR tipi reaktörlerin diğer hafif sulu reaktörlere göre üstünlüğü reaktör kuru içinde doğrudan elde edilen buharın türbinlere gönderilmesidir. Bu nedenden dolayı BWR reaktörleri doğrudan çevrim ile çalışırlar.

2.7.3. Basınçlı ağır sulu reaktör (phwr)

Dünyada 1995 istatistiklerine göre çalışmakta olan Basınçlı Ağır Su Reaktörü 33 adet olup toplam kurulu güç 18637 MWe'tir. İnşa halinde olanların sayısı 17 olup 11 tane de kurulması planlanmaktadır. Basınçlı Ağır Sulu Reaktörler, Basınçlı Sulu Reaktörler ile benzer özellikler taşırlar. Ağır sulu reaktör olarak adlandırılmalarının nedeni, yavaşlatıcı ve soğutucu için ağır su D2O kullanmalarıdır.

Bu tür reaktörlerin en yaygın olarak kullanıldığı ülke Kanada'dır. CANDU reaktörü, içinde düşük basınçta yavaşlatıcı, ağır su D2O bulunan yatay silindir şeklinde bir reaktör kabı, zırhlama kabı, zırhlama suyu, kor çukuru, yakıt kanalları ve reaktivite mekanizmasından oluşur. Reaktör kabı, içinden yatay şekilde geçen 380 adet yakıt kanalı ve reaktivite kontrol mekanizmalarını içerir. Yakıt kanalları doğal uranyum yakıt ve ağır su soğutucusundan oluşur. Yakıt kanalı kullanımı reaktör çalışırken yakıt değişimini ve optimum yakıt işletimini sağlar.

3.NÖTRON TAŞINMA DENKLEMİNİN İKİ BOYUTTA SONLU FARKLAR YÖNTEMİ YOLUYLA ÇÖZÜMÜ

Günümüzde yüksek CO2 salınımının yol açtığı iklim değişikliği yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin giderek artmasına yol açmaktadır (Mitchell ve Meckling 2016). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintisiz güç kaynağı olarak sürekli kullanılmasında yaşanan zorluklar nükleer enerjinin gündemdeki yerini korumasını sağlamaktadır. Nükleer enerjinin günümüzde yaşanan enerji darboğazının aşılması için uzun dönemde ciddi bir alternatif olup olmadığı tartışma konusuyken (Qvist, 2015) hali hazırda çalışmakta olan ve inşa edilmekte olan nükleer santrallerin optimum performans ve güvenliğinin sağlanabilmesi ise kayda değer bir çevre ve ekonomik sorun oluşturmaktadır. Nükleer reaktörlerin sorunsuz işletilebilmesi ise fisyon reaksiyonları sonucu oluşturulan nötronların reaktörün dış çeperlerinden dışarı çıkan ve emilen nötronların toplamına eşit olmasına hassas bir şekilde bağlıdır. Buna kritiklik denir ve zincirleme reaksiyonun gelişimi reaktörün geometrisine ve malzeme kompozisyonuna göre değişir. Zincirleme reaksiyonun hızı pratikte reaktör çekirdeğine sokulup çıkarılabilen ve nötronları emen kontrol çubukları vasıtasıyla ayarlanabilir.

Nötron taşınma teorisi nükleer mühendisler için hayati önemdedir çünkü stabil ve sürekli fisyon reaksiyonlarının gerçekleşerek güvenli ve kontrollü bir şekilde ısı enerjisi yoluyla türbinlerin dönmesini sağlayan ana mekanizmadır. Nükleer reaktör inşaatı çok maliyetli olduğu için, nötron taşınmasını doğru bir şekilde modellemek ve ortaya çıkan problemi çözebilmek yeni nükleer santraller tasarlanmasında hayati önem arz etmektedir (Lewis,1984).

Nötron taşınma denklemini çözmek için değişik metotlar geliştirilmiştir. Bunlar genel olarak deterministik ve stokastik teknikler olarak ikiye ayrılır. Deterministik metotlar problemi kesik parçalara ayırır ve bunun sonucunda ortaya çıkan cebirsel denklemleri çözmeyi hedefler. Her bir nötronu rastgele şekilde modelleyen Monte Carlo metodu ise stokastik metotlara örnektir (Spanier,2008). İki yaklaşım arasındaki fark literatürde detaylı olarak ele alınmıştır (Marchuk,1986).

Kesikli ordinatlar küresel harmonikler karakteristik metodu ve difüzyon teorisi deterministik metotlardan en yaygın kullanılanlardır (Larsen,1980; Fletcher,1983; Mazumdar,2015; Larsen,1975). Difüzyon teorisi nötronların reaktör içindeki davranışını

Boltzman benzeri bir difüzyon yaklaşımıyla ele alır. Bu çalışmada ilk kez nötron taşınma denklemini Gauss ve Lorentz şeklindeki dış nötron kaynaklarını kullanarak sonlu farklar yöntemiyle çözeceğiz.

3.1.Sonlu Farklar Yöntemi

Bir fonksiyonun x noktasındaki değeri, buna yakın $x = x_0$ noktasındaki değerleri cinsinden

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} (x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!} (x - x_0)^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!} (x - x_0)^n + \dots \quad (3.1)$$

n . teriminden sonrası kesiliyorsa kesme hatası

$$e = \frac{(x - x_0)^{n+1}}{(n+1)!} \left| \frac{d^{n+1}f(x)}{dx^{n+1}} \right| = \frac{h^{n+1}}{(n+1)!} \frac{d^{n+1}f(x)}{dx^{n+1}} \quad (3.2)$$

hatanın mertebesi h^{n+1} olup $O(h^{n+1})$ olarak gösterilir.

Örnek olarak ilk 2 terim sonrası atılıyorsa

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} (x - x_0) + O(h^2) \quad (3.3)$$

şimdi

$$f(x_0 + \Delta x) = y_1 = y_0 + h \left. \frac{dy}{dx} \right|_0 + \frac{h^2}{2!} \left. \frac{d^2y}{dx^2} \right|_0 + \frac{h^3}{3!} \left. \frac{d^3y}{dx^3} \right|_0 + \dots \quad (3.4)$$

$$y_1 = y_0 + h y_0' + \frac{h^2}{2!} y_0'' + \frac{h^3}{3!} y_0''' + \dots \quad (3.5)$$

Buradan birinci mertebeden türev ifadesi çekilirse

$$y_0' = \frac{y_1 - y_0}{h} - \frac{h}{2!} y_0'' - \frac{h^2}{3!} y_0''' - \dots \quad (3.6)$$

ve yüksek mertebeden türev ifadesi çekilirse

$$y_0' = \frac{y_1 - y_0}{h} + O(h) \quad (3.7)$$

İleri sonlu farklar cinsinden birinci mertebeden türev

$$y_0' = \frac{\Delta y_0}{h} \quad (3.8)$$

Bu formül y_0 ve y_1 arasında çizilen teğetin eğimi olup ileri fark türev formülü olarak anılır. Birinci mertebeden türev için bir başka formül Taylor serisinin bir geri noktada yazılması ile elde edilebilir.

$$f(x_0 - \Delta x) = y_{-1} = y_0 + h \left. \frac{dy}{dx} \right|_0 + \frac{h^2}{2!} \left. \frac{d^2 y}{dx^2} \right|_0 + \frac{h^3}{3!} \left. \frac{d^3 y}{dx^3} \right|_0 + \dots \quad (3.9)$$

$$y_{-1} = y_0 - h y_0' + \frac{h^2}{2!} y_0'' + \frac{h^3}{3!} y_0''' + \dots \quad (3.10)$$

$$y_0' = \frac{y_1 - y_0}{h} + \frac{h}{2!} y_0'' - \frac{h^2}{3!} y_0''' + \dots \quad (3.11)$$

İkinci ve sonraki terimler atılırsa

$$y_0' = \frac{y_0 - y_{-1}}{h} + O(h) \quad (3.12)$$

Geri sonlu fark türev formülü

$$y_0' = \frac{\Delta y_0}{h} \quad (3.13)$$

Denklem (3.5)'den denklem (3.10) taraf tarafa çıkarılarak

$$y_1 - y_{-1} = h y_0' + h y_0' + \frac{h^3}{3!} y_0''' + \dots \quad (3.14)$$

$$y_1 - y_{-1} = 2 h y_0' + \frac{h^3}{3!} y_0''' + \dots \quad (3.15)$$

$$y_0' = \frac{y_1 - y_{-1}}{2h} + O(h^2) \quad \text{Merkezi fark türev formülü} \quad (3.16)$$

İkinci ve daha yüksek mertebe türevler

(3.5) ve (3.10) denklemleri taraf tarafa toplanırsa

$$y_1 + y_{-1} = 2y_0 + 2 \frac{h^2}{2!} y_0'' + 2 \frac{h^4}{4!} y_0^{(4)} + \dots \quad (3.17)$$

$$y_0'' = \frac{y_1 - 2y_0 + y_{-1}}{h^2} - 2 \frac{h^2}{4!} y_0^{(4)} - \dots \quad (3.18)$$

İkinci ve diğer terimler atılırsa

$$y_0'' = \frac{y_1 - 2y_0 + y_{-1}}{h^2} + O(h^2) \quad (3.19)$$

Merkezi sonlu fark ikinci türev formülü benzer şekilde , Taylor serisi açılımı kullanırsak

$$y_2 = y_0 + 2h y_0' + (2h^2) \frac{y_0''}{2!} + \dots \quad (3.20)$$

(3.5) denklemi 2 ile çarpılır (3.20) denklemi çıkarılırsa

$$y_2 - 2y_1 = -y_0 + y_0'' h^2 + \dots \quad (3.21)$$

Buradan

$$y_0'' = \frac{y_2 - 2y_1 + y_0}{h^2} + O(h) \text{ ileri sonlu fark ikinci türev formülü} \quad (3.22)$$

Ayrıca

$$y_0'' = \frac{y_0 - 2y_{-1} + y_{-2}}{h^2} + O(h) \text{ geri sonlu fark ikinci türev formülü} \quad (3.23)$$

3.2.Malzeme-Yöntem

Birçok nükleer reaktör çekirdeği uygulaması için , çekirdekdeki nötron akısının açılal bağımlılığı ihmal edilirse, çekirdeğin içindeki nötronların hareketini tasvir eden nötron taşıma denklemi

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \phi}{\partial t} = -\vec{\nabla} \cdot \vec{J} - \Sigma_a \phi + S \quad (3.24)$$

ile verilir. Burada, S nötron kaynağı tarafından üretilen nötron üretim oranını, $\vec{\nabla} \cdot \vec{J}$ yüzeyden net nötron kaçak oranını, Σ_a nötron emilme kesit alanını, v nötronların hızını, ϕ ise nötron akısını temsil etmektedir. \vec{J} net nötron akımı olarak adlandırılır ve

$$\vec{J} = -D \vec{\nabla} \cdot \phi \quad (3.25)$$

halinde ifade edilen ve Fick kanunu olarak bilinen denklem ile gösterilir. Burada D difüzyon katsayısı olarak adlandırılır. Kafes hesaplamalarıyla tespit edilip çekirdek hesaplamalarına aktarılır. Fick kanununu 1. denklemde yerine koyarsak

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot D \vec{\nabla} \phi - \Sigma_a \phi + S \quad (3.26)$$

denklemini elde ederiz. Bu denklemin zamandan bağımsız haline durgunluk durumundaki nötrondifüzyon denklemi denir ve

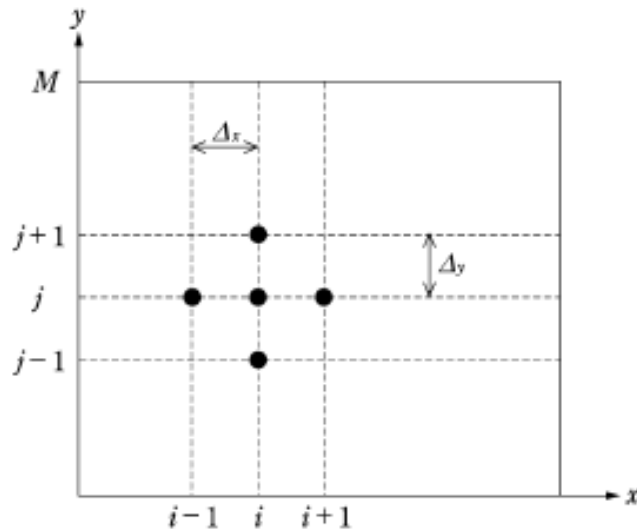
$$\vec{\nabla} \cdot D \vec{\nabla} \phi - \Sigma_a \phi + S = 0 \quad (3.27)$$

ile ifade edilir. Dolayısıyla, nükleer reaktör çekirdeklerinde difüzyon denkleminin çözümü reaktör çekirdeğini küp şeklindeki parçalara bölmeyi ve bütün bölgelerde nötron kaybı ve üretim dengesini sağlayan nötron dengesini sağlayan nötron akı dengesini bulmayı gerektirir.

Durgunluk durumundaki nötron difüzyon denklemi 2 boyutlu homojen düzlem geometride

$$-D \left(\frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial y^2} \right) + \Sigma_a \phi(x, y) = S(x, y) \quad (3.28)$$

haline gelir. Bu denklemin sonlu farklar yöntemiyle çözümünde düzlem Şekil 1'de gösterildiği gibi x ve y yönlerinde sırasıyla N ve M eşit parçaya bölünür.



Şekil 3.1 2 boyutlu düzlem geometride sonlu farklar metodu.

Bu metotta, ikinci derece türevler (i, j) noktasındaki nötron akısı ve onun komşusu olan dört noktadaki nötron akıları yardımıyla

$$\left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right|_{i, j} \approx \frac{\phi_{i-1, j} - 2\phi_{i, j} + \phi_{i+1, j}}{\Delta_x^2} \quad (3.29)$$

$$\left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right|_{i,j} \approx \frac{\phi_{i,j-1} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i,j+1}}{\Delta_y^2} \quad (3.30)$$

olarak yazılabilir. Bu ifadeleri Denklem 5'de yerine yazarsak seçilen çerçevenin her noktasında durgunluk durumundaki nötron difüzyon denklemi

$$\left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right|_{i,j} \approx \frac{\phi_{i,j-1} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i,j+1}}{\Delta_y^2} \quad (3.31)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{\Delta_x^2} \right) \phi_{i-1,j} + \left(\frac{1}{\Delta_y^2} \right) \phi_{i,j-1} + \left(\frac{-2}{\Delta_x^2} + \frac{-2}{\Delta_y^2} + \frac{-1}{D/\Sigma_a} \right) \phi_{i,j} \\ + \left(\frac{1}{\Delta_x^2} \right) \phi_{i+1,j} + \left(\frac{1}{\Delta_y^2} \right) \phi_{i,j+1} = \left(-\frac{S_{i,j}}{D} \right) \end{aligned} \quad (3.32)$$

haline gelir. (i=1'den N-1'e kadar, j=1'den M-1'e kadar) Bu denklemlerin çözülebilmesi için sınır koşullarına ihtiyaç vardır. Çerçevenin dış kenarlarında

$$\phi_{N,j} = \phi_{i,M} = 0 \quad (3.33)$$

ile gösterilen boşluk sınır koşulları kullanılır. İç kenarlarda ise

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \rightarrow \frac{\phi_{1,j} - \phi_{0,j}}{\Delta_x} = 0 \quad (3.34)$$

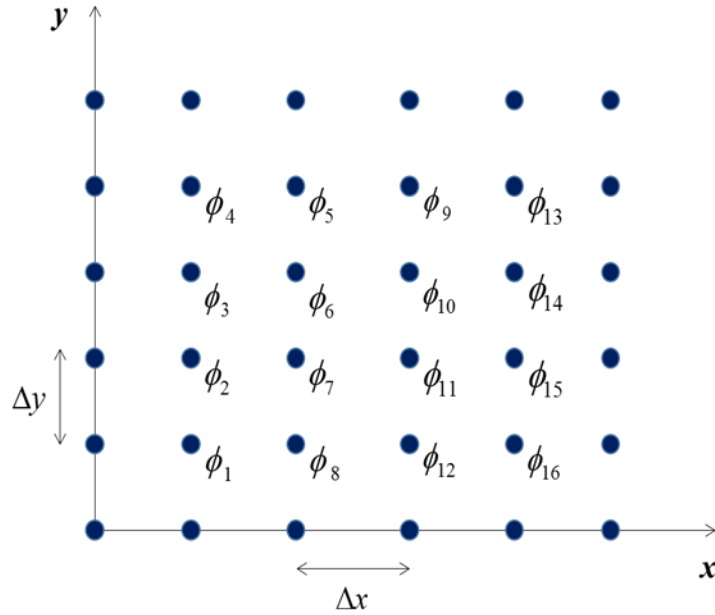
$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \rightarrow \frac{\phi_{i,1} - \phi_{i,0}}{\Delta_y} = 0 \quad (3.35)$$

Şeklinde belirtilen yansıma sınır koşulları kullanılır.

Bu tezde 6×6'lık bir çerçeve kullanarak durgunluk durumundaki nötron difüzyon denklemini çözmeyi hedefliyoruz.

Bu amaçla kullanacağımız çerçeve Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Buna göre tespit edilmesi gereken ve şekilde işaretlenen 16 nötron akı değeri bulunmakta olup bunlara

karşılık gelen 16 noktada Denklem 8 yazılmalıdır. Ayrıca, hesaplamada kolaylık sağlaması açısından $\Delta x = \Delta y$ alınarak hesaplama yapılan çerçeve kare seçilmiştir.



Şekil 3.2 Hesaplama kullanılan 2 boyutlu düzlem geometri.

Çerçeve gösterilen 16 nokta için Denklem 8 yazılıp matris haline getirildiğinde

$$\begin{pmatrix}
 2a+b & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 a & a+b & a & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & a & a+b & a & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & a & a+b & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & a & b & a & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & a & 0 & a & b & a & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & a & 0 & 0 & 0 & a & b & a & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & a+b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a \\
 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & b & a & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & a & b & a & 0 & 0 & a & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & a & b & a & 0 & 0 & a & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & a & a+b & 0 & 0 & 0 & a \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & b & a & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & a & b & a & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & a & b & a \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & a & b \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & a & a+b
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 \phi_1 \\
 \phi_2 \\
 \phi_3 \\
 \phi_4 \\
 \phi_5 \\
 \phi_6 \\
 \phi_7 \\
 \phi_8 \\
 \phi_9 \\
 \phi_{10} \\
 \phi_{11} \\
 \phi_{12} \\
 \phi_{13} \\
 \phi_{14} \\
 \phi_{15} \\
 \phi_{16}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 -S_1 \\
 -S_2 \\
 -S_3 \\
 -S_4 \\
 -S_5 \\
 -S_6 \\
 -S_7 \\
 -S_8 \\
 -S_9 \\
 -S_{10} \\
 -S_{11} \\
 -S_{12} \\
 -S_{13} \\
 -S_{14} \\
 -S_{15} \\
 -S_{16}
 \end{pmatrix}
 \quad (3.36)$$

Karşımıza çıkmaktadır. Burada $a = \frac{1}{\Delta_x^2} = \frac{1}{\Delta_y^2}$, $b = \frac{-2}{\Delta_x^2} + \frac{-2}{\Delta_y^2} + \frac{-1}{D/\Sigma_a}$ olup $S = \frac{s}{D}$ 'ye

karşılık gelmektedir. O halde seçilen çerçevede her noktada nötron akı değerlerini bulabilmek için Denklem 12'nin sol tarafındaki 16×16 'lık katsayılar matrisinin tersi

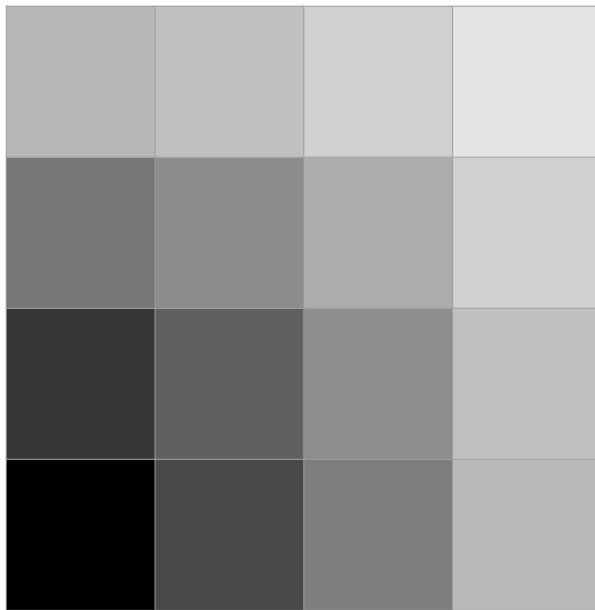
alınarak denklemin sağ tarafındaki kaynak terimlerine karşılık gelen 16×16 'lık matrisle çarpılması gerekmektedir.

3.3.Bulgular ve Tartışma

Yukarıda teknik detayları verilen hesaplamalarımızda reaktör çekirdeğini kare varsayıp $\Delta x = \Delta y = 0,2$ m şeklinde sabit olarak alınacaktır. Ayrıca yine difüzyon katsayısı da sabit $D=1$ m kabul edilecektir. Nötron akısının değerinin çerçevenin Şekil 3.2'de gösterilen tespit edilebilmesi için önce bir dış nötron kaynağı seçilip bunun çerçevenin her noktasında oluşturacağı $s_{i,j}$ değerleri hesaplanmalıdır. Bu amaçla ilk önce

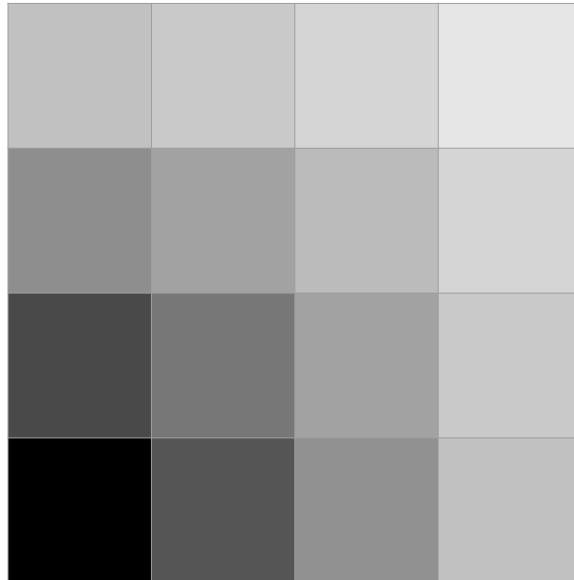
$$s = s_0 \frac{r_0^2}{r^2 + r_0^2} \quad (3.37)$$

olarak verilen merkezi orijinde yer alan bir Lorentz nötron kaynağını kullanacağız. Burada $s_0=1$ nötron/($m^2 \cdot s$) ve $r_0=0,283$ m olarak sabit kabul edilecek olup r çerçevedeki herhangi bir noktanın orijine olan uzaklığıdır. r_0 ise orijin ile ϕ_1 arasındaki diyagonalin uzunluğuna karşılık gelmektedir. Bu şekilde çerçevedeki noktaların s değerleri hesaplanıp Denklem 12'nin sağ tarafına yerleştirilir. Eşitliğin sol tarafındaki 16×16 'lık katsayılar matrisinin tersi alınır ve sağ taraftaki matrisle çarpılarak nötron akı değerleri bulunur. İlk etapta emilme kesit alanı için $\Sigma_a=10$ m^{-1} değerini kullandık.



Şekil 3.3 Lorentz nötron kaynağı ve $\Sigma_a=10 \text{ m}^{-1}$ için çekirdekteki nötron akı dağılımı.

Elde edilen nötron akı değerleri Şekil 3.3'te kontur grafiği halinde gösterilmektedir. Burada konturu oluşturan karelerin her biri Şekil 3.2'de işaretlenen noktalara karşılık gelmektedir. Yani, sol alt köşedeki kare ϕ_1 'e karşılık gelirken sağ üst köşedeki kare ϕ_{13} 'e karşılık gelmektedir. Koyu renkler yüksek nötron akısını temsil ederken, renk açıldıkça o karedeki nötron akı değeri giderek azalmaktadır. Bu durumda, bir kare nötron kaynağının merkezini teşkil eden orijinden ne kadar uzaksa, o noktadaki nötron akı değeri de o kadar azalmaktadır. Bu gözlem aslında şaşırtıcı değildir çünkü nötronlar difüzyon yoluyla çekirdekte ilerlediği için nötron kaynağından uzaklaştıkça nötron akı değerleri de buna bağlı olarak düşmektedir.



Şekil 3.4: Lorentz nötron kaynağı ve $\Sigma_a=40 \text{ m}^{-1}$ için çekirdekteki nötron akı dağılımı.

Bundan sonraki aşamada nötron emilme kesit alanının değerini değiştirerek yukarıdaki hesaplamayı aynı Lorentz nötron kaynağı için tekrarladık. Bu amaçla emilme kesit alanı artırarak $\Sigma_a=40 \text{ m}^{-1}$ aldık. Elde edilen sonuçlar yine aynı kontur grafiği halinde Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 3.3'le aradaki fark hemen dikkat çekmektedir. O da şudur ki hemen her yerde nötron akı değerleri azalmış durumdadır. Bunun da sebebi ortam tarafından nötronların emilmesinin artmış olmasıdır. Dolayısıyla

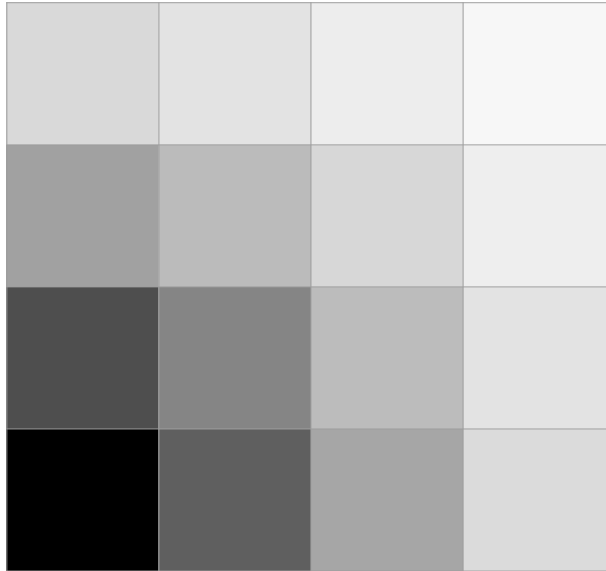
elde ettiğimiz bu sonuçlar kullandığımız tekniğin doğruluğunu ve mantıklılığını teyit etmektedir.

Elde ettiğimiz sonuçların kullandığımız nötron kaynağının özelliklerine bağlı olup olmadığını anlamak için yukarıda tarif edilen hesaplamaları

$$s = s_0 e^{\frac{-r^2}{2r_0^2}} \quad (3.38)$$

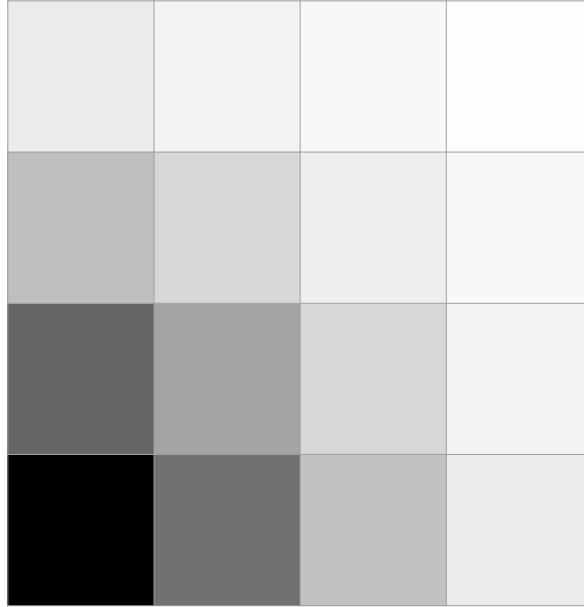
şeklinde verilen merkezi orijinde yer alan bir Gauss nötron kaynağı için tekrarladık. Burada yine yukarıdaki gibi $s_0=1$ nötron/(m² · s) ve $r_0=0,283$ m olarak sabit kabul edilecektir.

Emilme kesit alanı $\Sigma_a=10$ m⁻¹ kabul edilerek yapılan hesaplama sonucu elde edilen nötron akı değerleri yine kontur grafiği olarak Şekil 5'te gösterilmektedir. Burada açıkça görüleceği gibi nötron akı değerleri aynı Lorentz nötron kaynağında olduğu gibi kaynak merkezinden yani orijinden uzaklaştıkça nötron akı değerleri düşmektedir. Fakat, önemli fark olarak nötron akı değerlerinin Lorentz kaynağına göre daha az olduğudur. Bu da Gauss nötron kaynağının merkezden uzaklaştıkça daha hızlı değer kaybetmesinden ileri gelmektedir.



Şekil 3.5. Gauss nötron kaynağı ve $\Sigma_a=10$ m⁻¹ için çekirdekteki nötron akı dağılımı.

Son olarak hesaplamalarımızı yine Gauss nötron kaynağını kullanarak ve emilme kesit alanını $\Sigma_a=40 \text{ m}^{-1}$ olarak tekrarladık. Elde edilen nötron akı değerlerinin kontur grafiği Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Yine burada açıkça görüldüğü üzere nötron akı değerleri aynı Lorentz kaynağında olduğu gibi Şekil 5'e göre azalmıştır. Bunun da sorumlusu yine nötronların ortam tarafından emilmesinin artması sonucu serbest kalan nötron sayısının azalmasıdır.



Şekil 3.6. Gauss nötron kaynağı ve $\Sigma_a=40 \text{ m}^{-1}$ için çekirdekteki nötron akı dağılımı.

Bu çalışmada dış nötron kaynağının oluşturduğu kendi kendine çoğalmayan nötronların reaktör içerisindeki dağılımını tayin ettik. Reaktör çekirdeğinde gerçekleşen fisyon reaksiyonu sonucu oluşan nötronlar ise kendi kendine çoğalma eğilimindedir. Birim hacimde oluşan fisyon reaksiyonu oranını $\Sigma_f \phi$ olarak varsayarsak, birim hacimde her fisyon reaksiyonu başına oluşan nötron sayısı da ν ile gösterilirse, birim hacimdeki nötron oluşum oranı $\nu \Sigma_f \phi$ haline gelir. Bu ifadeyi Denklem 4'te S yerine yazarsak, küçük bir dönüşüm sonucunda

$$-D\nabla^2 \phi + \Sigma_a \phi = \frac{\nu \Sigma_f}{k_e} \phi \quad (3.39)$$

ifadesini elde ederiz. Burada k_e sistemi karakterize eden ve özdeğer denen bir sabittir. Eğer $k_e=1$ ise Denklem 15 Denklem 4'e eşdeğerdir. Denklem 15 çözülmüşse

$$k_e = \frac{\nu \Sigma_f \phi}{-D \nabla^2 \phi + \Sigma_a \phi} = \frac{P}{L + A} \quad (3.40)$$

elde edilir. Burada P , L ve A sırasıyla nötron üretimi, kaçağı ve emilmesidir. Dolayısıyla pay nötron kazanç oranını, payda ise nötron kayıp oranını göstermektedir. Buna göre eğer $k_e > 1$ ise zincirleme reaksiyon başlar ve reaktör çekirdeği erir. Eğer $k_e < 1$ ise reaksiyon giderek yavaşlar ve reaktör bir süre sonra durur. Dolayısıyla bir nükleer reaktörün düzgün çalışabilmesi için $k_e = 1$ şartı sağlanmalıdır. Buna kritik reaktör denir.

Nötron taşınma denkleminin yukarıdaki gibi fisyon nötron kaynağı kullanarak çözülebilmesi iterasyon yoluyla mümkündür (Tamrabet,2011). Yani nötron kaynağı yerine önce bir ilk tahmin değerleri koyulur. Bunlar kullanılarak nötron akısı tayin edilir. Sonra bu yeni akı değerleri aracılığıyla nötron kaynağı yeniden belirlenir. Bu yeni değerlerle nötron akısı tekrar hesaplanır. Bu şekilde yeni değer ve eski değer arasındaki fark belli bir tolerans değerinin altına düşünceye kadar hesaplamaya devam edilir. Bu oldukça uzun süreli hesaplamaya bu çalışmada girilmemiştir. Gelecekte yapılması planlanmaktadır.

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişen teknoloji ve değişen yaşam standartları ile birlikte ihtiyaç duyulan enerji miktarını her geçen gün giderek artmakta ve buna bağlı olarak da alternatif enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç artmaktadır. İlk akla gelen alternatif enerji kaynaklarından biri olan yenilenebilir enerji kaynakları mevcut olmasına rağmen enerji verimliliği konusunda talep edilen miktarları henüz karşılayamamaktadır. Bütün bu alternatif teknolojilerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları var. Fakat alternatif olarak ülkemizde gündemde olan 4 yeni reaktörün kurulması konusuyla nükleer enerjinin de mutlaka tartışılması gerekir.

Günümüzde değişen ve sürekli gelişen teknoloji karşısında biz insanlar doğada var olan enerji kaynaklarını kullanırken sadece insanlar için değil çevre ve çevrenin içerisinde var olan canlı-cansız bütün varlıklar ve gelecek kuşaklar düşünmelidirler.

Bu kapsamda nükleer enerji sistemlerinin zayıf ve kuvvetli yanları irdelendiğinde; değerlendirilmesi mutlak olan altı konu tespit edilmiştir. Nükleer enerjinin olası etkilerini işleyiş ve kaza sonrası evrelerde incelediğimizde gerçekten üzerinde tekrar tekrar değerlendirme yapılması gereken bir konu olduğunu görürüz.

Bu teorik çalışmada dış nötron kaynağına sahip bir nükleer reaktör çekirdeğinde nötron akısı dağılımı sonlu farklar yöntemi kullanılarak nötron difüzyon denkleminin çözülmesi yoluyla incelenmiştir. Aşağıda verdiğim sonuçlara ulaşılmıştır. Hem Gauss hem Lorentz şeklindeki dış nötron kaynakları kullanıldığında nötron akısının kaynak merkezinden uzaklaştıkça azaldığı gözlenmiştir. Emilme kesit alanı artırıldığında hem Gauss hem Lorentz şeklindeki dış nötron kaynaklarında nötron akısının çekirdeğin tamamında azaldığı görülmektedir. Ayrıca, nötron kaynağının daha dar profilinden dolayı Gauss şeklindeki dış nötron kaynağı kullanıldığında nötron akı değerleri Lorentz şeklindeki dış nötron kaynağına göre çekirdeğin tamamında azalmaktadır.

KAYNAKLAR

- Keleş, R., Hamamcı, C., Çoban, A., “Çevre Politikası”, 9. Baskı, *İmge Kitabevi Yayınları*, Ankara (2009).
- Ertürk, C, “Çevre Bilimlerine Giriş”, *Ceylan Matbaacılık*, Bursa (1996).
- Uğurlu, Ö, “Türkiye’de Çevresel Güvenlik Bağlamında Sürdürülebilir Enerji Politikaları” , Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara,(2006).
- Altın, V. ,”Yeni Ufuklara”, *Bilim Teknik Dergisi ücretsiz eki*, 15-18 (2002).
- Kumbur, H., “Türkiye’de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması”, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, İstanbul,55-70 (2005).
- Uyar, T.S., “Yenilenebilir Enerji” www.bugday.org (Ziyaret Edilme tarihi , 05.04.2018).
- Yıldırım T., “Güneş Ve Rüzgar Enerjisi Veri Toplama Sisteminin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisan Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2008).
- Çelebi, G., “Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3):20-24 (2002).
- Vural,A., “Yeni Ufuklara Nükleer Enerji”, *Bilim ve Teknik*,Tübitak,25-30 (2004).
- Bozkurt, A., “Nükleer Fizik 2 Ders Notları”, *Harran Üniversitesi*, Şanlıurfa (2001).
- Varınca, B., “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Potansiyelin Kullanım Derecesi Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma”,*I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Hidrojen Enerjisi Kongresi* ,45-50 (2006).
- Yeşilata B., “Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 42 (493): 29-34 (2001).
- Şen, Ç., “Gökçeada’nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi İle Karşılanması”, Yüksek Lisans Tezi , *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2003).
- Durak M., “Rüzgar Enerjisi, Teori ve Uygulama”, *İmpress Matbaası*,Ankara (2008)
- Yerebakan, M., “Rüzgar Enerjisi”, *İstanbul Ticaret Odası Yayınları*,İstanbul (2001).
- Türkiye Çevre Vakfı, “Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, *Türkiye Çevre Vakfı Yayınları*, Ankara (2006).
- Akova, İ., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, *Nobel yayın dağıtım*, Ankar (2008).

KAYNAKLAR(Devam ediyor)

- Ataman, A., “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi ve Siyaset Anabilim Dalı*, Ankara,(2007).
- Bekar, D., “Ekolojik Mimarlıkta Aktif Enerji Sistemlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).
- Dağıstan, H., “Yenilenebilir Enerji ve Jeotermal Kaynaklarımız”, *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi*, Ankara,36-45 (2006).
- TBMM, “03.07.2007 tarih ve 5676 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu 17. Madde”, *Resmi Gazete*, Ankara (2007).
- Şahin, Ö., “Analitik Hiyerarşi Süreci ve Optimum Yenilenebilir Enerji Yatırımı Seçimine Dair Bir Uygulama”,Yüksek Lisans Tezi”, *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara,(2010).
- Türe, E., “Türkiye’de Temiz Tükenmez Enerjiler Hidrojen Enerjisi” ,*Temiz Enerji Vakfı*, Ankara,(2001).
- Topal, M., “Biyokütle Enerjisi ve Türkiye”, *7.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul (2008).
- Sohtaoğlu, N., “Biyokütle ve Atıkların Küresel Enerji Dengesindeki Rolünün İncelenmesi”, 5.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiri Kitabı, *Emo Yayın*, Ankara (2009).
- Kurt, G., “Malatya İlinin Biyokütle Potansiyeli Ve Enerji Üretimi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(3): 240-247 (2010).
- Akpınar, A., Kömürcü,M., KANKAL, M., “Türkiye’de Hidroelektrik Enerjinin Durumu ve Geleceği”, *WECTNC Türkiye 11. Enerji Kongresi*, 21-23 (2009).
- Dalkır Ö., “Çevre ve Temiz Enerji: Hidroelektrik”, *MRK Matbaacılık ve Tanıtım Hizmetleri Ltd. Şti.*, Ankara (2011).
- Kaya, T., “Türkiye’de Su Gücü ve Küçük Hidroelektrik santraller,”*Nevşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Nevşehir, 1: 208 (2011).
- Karabulut, Y., “Enerji Kaynakları”, *Ankara Üniversitesi Basımevi*, Ankara,(1999).
- Thoman, R.S., “The Geography of Economic Activity”,*Mc. Graw-Hill Book Company Inc.*, New York (1962).

KAYNAKLAR(Devam ediyor)

- Özemre, A.Y., “Nötronların Difüzyon Teorisi 1. Cild (2.baskı)”, *İTÜ Nükleer Enerji Ens. Yay*, İstanbul (1969).
- Murray, R. L., “Nuclear Energy”, *An Introduction to the Concepts, Systems, and Applications of Nuclear Processes* Newyork,88-99 (2008).
- Basdevant, J.L., “Rich, J., Spiro, M.,Fundamentals in Nuclear Physics”, *From Nuclear Structure to Cosmology*. Newyork,215-225 (2005).
- Liverhant, S. E., “Elementary Introduction to Nuclear Reactor Physics”, *John Wiley and Sons*, Newyork (1960).
- Stacey, W. M., “An Introduction to the Physics and Technology of Magnetic Confinement Fusion”, *John Wiley & Sons*, Almanya (2010).
- Nea, O., “Nuclear Energy Today Second Edition”, <http://www.oecd-neane.org/pub/nuclearenergytoday/6885-nuclear-energy-today.pdf> . (Ziyaret Edilme tarihi , 14.04.2018).
- Martin, J. E. ,“Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği”, *Palme Yayıncılık*, Ankara (2013).
- Whitlock, J. J., “The evolution of CANDU fuel cycles and their potential contribution to world peace”, *International Youth Nuclear Congress*, Slovakia (2000).
- Mitchell C., “Momentum is increasing towards a flexible electricity system based on renewables”, *Nature Energy*, 1:15030 (2016).
- Meckling J., Sterner T.,Wagner G., “Policy sequencing towards decarbonization”, *Nature Energy*, 2:918-922 (2017).
- Qvist, S. A.,Brook B. W., “Environmental and health impacts of a policy to phase out nuclear power in Sweden”, *Energy Policy*, 84:1-10 (2015).
- Lewis E. E.,Miller Jr. W. F., “Computational methods of neutron transport”, *John Wiley&Sons*, New York, (1984).
- Spanier J.,Gelbard E. M., “Monte carlo principles and neutron transport problems”, *Dover*, (2008).
- Mendelson M., “Monte Carlo criticality calculations for thermal reactors”, *Nucl Science and Engineering*, 32:319-331 (1968).
- Marchuk G.,Lebedev V., “Numerical methods in the theory of neutron transport”, *Harwood Academic*, New York, (1986).

KAYNAKLAR(Devam ediyor)

- Larsen E. W., Miller Jr. W. F., “Convergence rates of spatial difference equations for the discrete-ordinates neutron transport equations in slab geometry”, *Nucl Science and Engineering*, 73:76-83 (1980).
- Fletcher J. K., A “solution of the neutron transport equation using spherical harmonics”, *J. Phys. A: Math Gen*, 16:2827 (1983).
- Mazumdar T., Degweker S. B., “Solution of neutron transport equation by method of characteristics”, *Annals of Nuclear Energy*, 17:522-535 (2015).
- Larsen E. W., “Neutron transport and diffusion in inhomogeneous media”, *J of Math Phys*, 16:1421 (1975).
- Tamrabet A., Kadem A., “An iterative method for solving neutron transport equation in 2-D plane geometry”, *Phys Procedia*, 21:198-204 (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Emre ERGİN

Doğum Yeri ve Tarihi: Adapazarı / 17.04.1988



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi: Elektrik Öğretmenliği

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri:

İş Deneyimi

Stajlar:

Projeler:

Çalıştığı Kurumlar:

İletişim

Adres: Ericek köyü/ Osmaneli / Bilecik

E-Posta Adresi: emreergin54@gmail.com

Akademik Çalışmaları

Yabancı Dil Bilgisi

Tarih:2018