



T.C.

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ DEPOLANMASINDA KULLANILAN PİLLERİN TERMAL
ÖZELLİKLERİNİN KESİRSEL MATEMATİKSEL BİR
YAKLAŞIM İLE İNCELENMESİ**

FURKAN ÖNAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

PROF. DR. ALİ ÖZTÜRK

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ DEPOLANMASINDA KULLANILAN PİLLERİN TERMAL
ÖZELLİKLERİNİN KESİRSEL MATEMATİKSEL BİR
YAKLAŞIM İLE İNCELENMESİ

Furkan ÖNAT tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. İhsan PEHLİVAN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sibel YILMAZ

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 18/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

18 Temmuz 2019

Furkan Önat

TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Ali Öztürk'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

18 Temmuz 2019

Furkan Önat

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR.....	IX
SİMGELER.....	X
ÖZET.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ.....	3
2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	3
2.1.1. Güneş Enerjisi.....	3
2.1.2. Rüzgâr Enerjisi.....	5
2.1.3. Hidrolik (Hidroelektrik) Enerjisi.....	7
2.1.4. Jeotermal Enerji.....	9
2.1.5. Biyokütle Enerjisi.....	12
2.1.6. Hidrojen Enerji.....	14
2.1.7. Dalga Enerjisi.....	15
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ŞEBEKEYE ETKİSİ VE ENTEGRASYONU.....	17
3.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ETKİLERİ.....	17
3.2. AKILLI ŞEBEKELER.....	19
4. ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ.....	21
4.1. HİDROLİK GÜÇ DEPOLANMASI.....	21
4.2. BASINÇLI HAVA İLE ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ (CAES).....	23
4.3. VOLANLAR.....	24
4.4. PİLLER.....	25
4.5. SÜPER İLETKEN MANYETİK ENERJİ DEPOLAYICILAR.....	26
4.6. SÜPERKAPASİTÖRLER.....	27
5. DEPOLAMA SİSTEMLERİNDEKİ LİTYUM-İYON PİLİN KESİRSEL TERMAL MODELLEMESİ.....	28
5.1. KESİRSEL MATEMATİK VE TARİHSEL GELİŞİMİ.....	28
5.2. KESİRSEL MATEMATİĞİN ÇÖZÜMLENMESİ.....	29
5.2.1. Gama Fonksiyonu ve Özelliği.....	29
5.2.2. Laplace Dönüşümü ve Özelliği.....	31
5.2.3. Mittag-Leffler Fonksiyonu ve Özellikleri.....	32

5.3. KESİRSEL TÜREV VE İNTEGRAL TANIMLARI	33
5.3.1. Grünwald-Letnikov Tanımı ve Özellikleri.....	33
5.3.2. Riemann-Liouville Tanımı ve Özellikleri.....	36
5.3.3. Caputo Tanımı ve Özellikleri	39
6. PİLLER	40
6.1. NİKEL KADMİYUM.....	40
6.2. NİKEL METAL HİDRAT	41
6.3. LİTYUM POLİMER.....	41
6.4. MAGNEZYUM PİLLER.....	41
6.5. VANADYUM	41
6.6. LİTYUM İYON PİL	42
6.7. LİTYUM İYON PİLİN KESİRSEL TERMAL MODELLENMESİ	44
7. SONUÇLAR	48
8. KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ.....	54

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Türkiye'nin bölgelere göre aldığı yıllık toplam güneş radyasyonu	4
Şekil 2.2. Türkiye'nin 50 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı	7
Şekil 2.3. Hidroelektrik santrali	7
Şekil 2.4. Yerkürenin iç yapısı ve yer kabuğunun görünümü	9
Şekil 2.5. Jeotermal sistemler	10
Şekil 2.6. Türkiye'nin jeotermal alanları	12
Şekil 4.1. Hidrolik güç depolaması blok şeması	22
Şekil 4.2. Modern yüksek hızlı sistem	25
Şekil 6.1. Vanadyum redox akışkan teknolojisinin çalışma prensibi	42
Şekil 6.2. İkincil pillerin şarj-deşarj mekanizması	43
Şekil 6.3. Lityum-iyon pilin farklı alfa değerlerinde soğuma karakteristiği	47

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Türkiye'deki aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süreleri	5
Çizelge 2.2. Jeotermal enerjide sıcaklık değerlerine bağlı olarak kullanım alanları	11



KISALTMALAR

ABD
M.Ö.
M.S.
TEİAŞ

Amerika Birleşik Devletleri
Milattan önce
Milattan sonra
Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi



SİMGELER

a	Bilinmeyen bir parametre
A_s	Pilin yüzey alanı
b	Bilinmeyen parametre
C_p	Özgül ısı kapasitesi
$f(t)$	Bilinmeyen bir fonksiyon
GW	Gigawatt
$g(t)$	Bilinmeyen fonksiyon
$\tilde{g}(s)$	Farklı bir fonksiyonun Laplace fonksiyonu
H	Konvektif ısı katsayısı
h	Konvektif ısı katsayısı
$h = \frac{t-a}{N}$	Sabit
I	İntegral ifadesi
I_n	İntegral ifadesi
k	Değişken bir parametre
km	Kilometre
$L\{f(t)\}$	Laplace fonksiyonu
m	Pilin kütlesi
ms	Milisaneye
m	Metre
MW	Megawatt
MWh	Megawatt saat
N	Değişken bir parametre
$E_{\alpha,\beta}z$	Mittag-Leffler'in iki parametrelili ifadesi
L^{-1}	Ters Laplace ifadesi
T	İlk sıcaklık
T_∞	Son sıcaklık
τ	Soğuma zamanı
$\Gamma(z)$	Gamma fonksiyonu
e^{-t}	Üstel bir fonksiyon
U(t)	Kısmi türev parametresi
V(t)	Kısmi türev parametresi
Z	Değişken bir parametre
e^{-st}	Laplace fonksiyonunda üstel ifade
$\binom{n}{j}$	Binom katsayıları
β	Beta parametresi
j^α	Riemann-Liouville İntegral alma ifadesi
Re(z)	Z kompleks değişkenin reel kısmı
$\sum_{k=0}^N f(t)$	Toplam sembolü
$\int_a^t f(\tau)$	İntegral alma ifadesi
$^\circ\text{C}$	Santigrat derece
Wh/m ³	Wattsaat bölü metreküp
α	Kesirsel türev mertebesi

$f'(t)$	Birinci mertebeden türev ifadesi
f^n	n. mertebeden türev ifadesi
$\frac{dF(t)}{dt}$	Türev İfadesi
$D^\alpha f(t)$	Caputo Tanımı
D^α	Riemann-Liouville tanımı
$E_\alpha z$	Mittag-Leffler ifadesi
$\tilde{f}(s)$	Laplace fonksiyonu



ÖZET

ENERJİ DEPOLANMASINDA KULLANILAN PİLLERİN TERMAL ÖZELLİKLERİNİN KESİRSEL MATEMATİKSEL BİR YAKLAŞIM İLE İNCELENMESİ

Furkan ÖNAT

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

Temmuz 2019, 53 sayfa

Bu çalışmada, ilk olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından ve bu enerji kaynaklarının öneminden bahsedilmiştir. Günümüzde şebeke entegrasyonu ve akıllı yapıların gerekliliğine değinilerek gelecek açısından bu bağlamda yapılan planlamalardan bahsedilmiştir. Sonrasında bu entegrasyon sırasında depolama sistemlerinin öneminden ve depolama yöntemlerinin neler olduğu kısaca ele alınmıştır. Depolama sistemlerinden olan pillerin termal karakteristiği yapılan farklı çalışmalardan yola çıkılarak kesirsel matematiksel modellemesi yapılmıştır ve yeni bir termal kesirsel model çözümü türetilmiştir. Türetilen bu denklem ile pillerin termal karakteristiği daha doğru bir biçimde ele alınacak ve böylece pilin karakteristik yapısı daha doğru biçimde yorumlanacaktır. Böylece yenilenebilir enerjideki önemi her geçen gün artan pillerin şebeke entegrasyonunda kullanımı sırasındaki karakteristik yapısı deneysel sonuçlarda baz alınarak teorik verilerle karşılaştırması yapıldığında daha doğru sonuçlar verebilecektir.

Anahtar sözcükler: Lityum-iyon piller, Kesirsel matematik, Kesirsel termal model, Yenilenebilir enerji, Şebeke entegrasyonu.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE THERMAL PROPERTIES OF BATTERIES USED IN ENERGY STORAGE WITH A FRACTIONAL MATHEMATICAL APPROACH

Furkan ÖNAT

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical Electronics
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

July 2019, 53 pages

In this study, first off all, it was touched on renewable energy sources and the importance of these energy sources. By touching on the necessity of network planning and smart structures at the present time, in terms of future, plannings done within this context was mentioned. Then, at the time of storage systems and what the techniques of storage are, briefly, were handled. The fractional mathematical modeling of the thermal characteristic of the lithium-ion batteries that is one of the electrical energy storage systems, based on the different studies, has been done and a new thermal fractional model solution has been reproduced. With this reproduced equation, the thermal characteristic of the batteries will be handled and its structure will be interpreted more accurately. To be helpful to the experimental studies, graphical display was made for fractional derivative operator as different amounts. Thus, it was seen that the characteristic structure used in network integration of lithium-ion batteries whose importance in renewable energy has been increasing day by day based on the experimental results, when compared with theoretical datas, gave more accurate results.

Keywords: Lithium-ion batteries, Fractional mathematics, Fractional thermal model, Renewable energy, Network integration.

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu da yenilenebilir enerjiyi daha önemli bir yere taşımaktadır. Ülkemizde hızla artan enerji ihtiyacı bu alanda yapılacak olan çalışmaların başlıca nedenleri arasında sıralanmaktadır [1]. Yenilenebilir enerji kaynaklarına bakıldığında ise ülkemizin güneş enerjisi yönünden elverişli bir coğrafi konuma sahip olması her geçen gün güneş enerjisine verilen değeri arttırmaktadır [2]. Rüzgâr enerjisi de yenilenebilir enerjiye duyulan ihtiyacın artmasıyla önemli bir enerji kaynağı olarak ele alınmaya başlanmıştır. Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir, çevre ile dost ve temiz enerji kaynağı olarak bilinmektedir [3]. Yenilenebilir özelliğe sahip olan bu enerji kaynağı atmosferde hem bol miktarda bulunmakta hem de temin edilmesi kolay ve bedava enerji kaynağıdır [3]. Hidroelektrik enerjiye bakıldığında ise yenilenebilir olduğundan çevresel önemi çok büyüktür [4]. Atmosfere zararlı atıklar bırakan santrallere göre daha temiz ve çevrecidir [4]. Başka bir enerji kaynağı olarak ele alınan Jeotermal enerjinin de yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki yeri hızla artmaktadır. Jeotermal enerji tanımına bakıldığında ise yerin derinliklerindeki kayalar içine birikmiş olan ısının akışkanlarca taşınarak rezervuarlarda depolanmasından oluşan sıcak su, buhar ve kuru buhar ile kızgın kuru kayalardan yapay yollarla elde edilen ısı enerjisi olarak bilinmektedir [5]. Biyokütle enerjisi de geleceğin enerji kaynakları arasındaki yerini almakla birlikte petrole ve doğalgaza olan bağımlılığımızı azaltarak alternatif bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır [6]. Diğer bir enerji kaynağımız olan Hidrojen de çevre dostu bir enerji kaynağıdır [7]. Maliyeti ve sürdürülebilirliği açısından bakıldığında diğer enerji kaynakları arasında ilk sırada yerini almaktadır [7]. Dalga enerjisi olarak adlandırılan enerji kaynağımız ise maliyetleri ve karmaşık yapısı açısından ele alındığında diğer enerji kaynakları kadar tercih edilmemektedir [8]. Fakat ileride yapılacak olan çalışmalarda ve geliştirilen projeler kapsamında dalga enerjisinden elektrik enerjisi elde edilebilir [8].

Yenilenebilir enerji kaynaklarına ulaşılması çok kolay olmakla birlikte, mevcut enerjinin şebekeye aktarımı bir o kadar zor bir çalışmadır. Bu alanda gerekli olan akıllı şebeke yapısı yenilenebilir enerji açısından oldukça önem taşımaktadır [9].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması kadar depolanması da önem arz etmektedir. Geçmişten günümüze kadar gelişen Lityum-iyon piller, özellikle yenilenebilir enerji alanında yerini almaya başlamıştır. Depolama sistemlerinden birisi olan lityum-iyon piller karakteristik yapılarının incelenmesi de önemli konulardan biridir [10]. Gelişmiş lityum-iyon pillerinin tasarlanmasında pilin performansı ve güvenliği en çok dikkat edilmesi gereken iki temel önceliktir [11]. Lityum-iyon pilleri performans açısından incelendiğinde, termal ortamlardan çok fazla etkilenebilir olduğu söylenebilir. Şarj ve deşarj olaylarının gerçekleştiği sırada, pilin ısıl davranışı pilin içinde oluşan elektrokimyasal ve kimyasal olaylarla belirlenmektedir [11].

Gerek lityum-iyon pillerde gerekse de diğer depolama sistemlerinde kullanılan malzemelerin yapısını incelemek ve pilin performansı hakkında değerlendirme yapabilmek için her ne kadar deneysel çalışmalar yapılmış olsa da matematiksel modelleme çalışmalarına da ihtiyaç duyulmaktadır [12], [13].

Bu çalışmada, girişi takip eden ikinci bölümde yenilenebilir enerji hakkında genel bilgiler verilmekte, üçüncü bölümde ise yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu, dördüncü bölümde, depolama sistemleri, beşinci bölümde, termal model kesirsel matematik çerçevesinde ele alınmakta, sonuç kısmında ise çalışmanın getirdikleri ve öneriler verilmektedir.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ

Yenilenebilir enerji, farklı tanımlarla anlatılmaktadır fakat en anlaşılır tanımı; doğanın kendi evrimini yani kendi değişimini ele alacak olursak her geçen gün aynı kalabilen enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadır [14]. Yenilenebilir enerjiye bakıldığında aslında diğer enerji türlerine nazaran bitip tükenme gibi bir risk taşımayan bir enerji varlığından bahsedebiliriz. Bu enerjiye aslında nesilden nesile her geçen gün gelişerek aktarılan enerji olarak da tanımlanmaktadır. Yenilenebilir enerjide diğer enerji türleri göz önüne alındığında çevreyi kirletmemesi ve aynı zamanda çevre ve doğa ile dost kalabilmesi büyük bir avantaj olarak karşımıza çıkmakla birlikte her geçen yıl ülkeler için daha büyük önem taşır hale gelmektedir. Tabi ki avantajlarının olmasının yanında birde dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi de coğrafi olarak düşünüldüğünde her yer de bulunmamalarıdır.

Bir başka açıdan bakıldığında ise yenilenebilir enerjinin gelişmesinde ülkemiz açısından dışa bağımlılık daha da azalacaktır. Bu da aslında enerji alanında bağımsız bir tutum yürütülebilmesi anlamı taşımaktadır.

2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

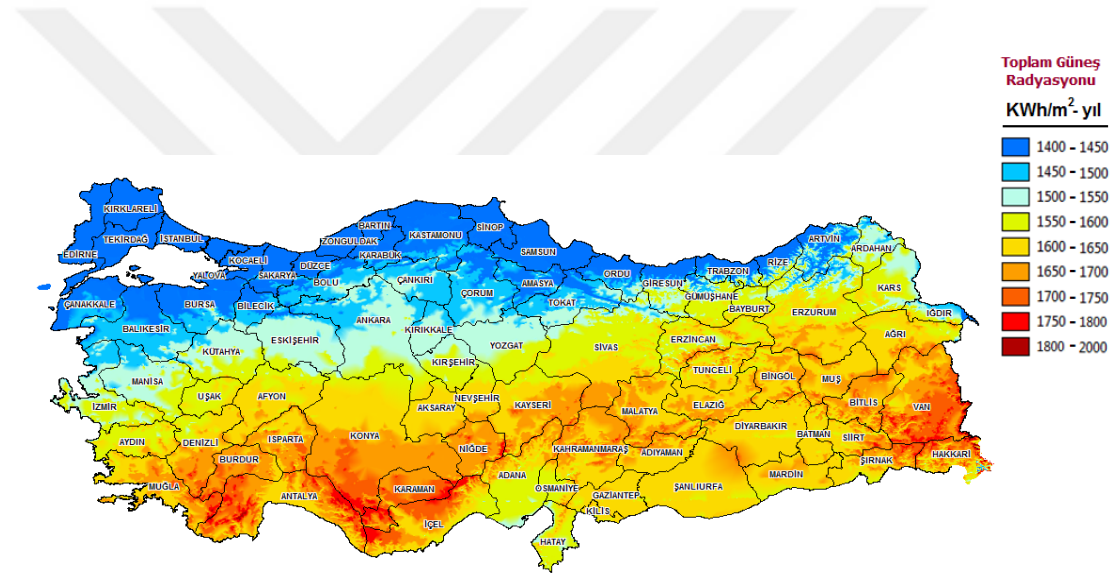
2.1.1. Güneş Enerjisi

Güneşin kendi çekirdeğinde meydana gelen bir enerji olarak tanımlanan bu yenilenebilir enerji kaynağının bir kısmı güneş ışınları olarak da dünyamıza ulaşmaktadır. Bakıldığında dünyadaki bütün canlılar yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için bu doğal kaynağa ihtiyaç duymaktadır. Kendisi tek başına bir doğal kaynak olmasına rağmen diğer kaynakların oluşmasında da önemi çok fazladır. Rüzgâr için bu önemi açıklayacak olursak tam anlamıyla farklı basınçların oluşmasından meydana gelen rüzgârın, bu basınç farklılıklarının oluşmasında sıcaklık değişiminin rol oynadığını söyleyebiliriz [15].

Dünyanın enerji ihtiyacına bakıldığında bir kısmını güneşten sağladığını buda yıllık yaklaşık olarak 173 milyar MW enerjiye karşılık gelmektedir. Yani diğer fosil enerji kaynaklarını ele aldığımızda aslında yaklaşık olarak 160 katına karşılık geldiğini

söyleyebiliriz. Düşünüldüğünde ne kadar yüksek bir oran fakat bu enerjinin bütünü yeryüzünde kullanılmamaktadır. Bu enerjinin %30'luk kısmı uzaya yansiyarak geri gitmekte, %20'lik kısmına bakıldığında ise atmosfer tarafından soğurulmakta, geri kalan %50'lik kısmı ise yeryüzünde gerçekleşen olaylar sonucunda soğurulmaktadır [15].

Güneş enerjisinin gelişimi 1970'ler den başlayarak günümüze kadar ulaşmakla birlikte her geçen yıl bu alanda yapılan yeniliklerle de Türkiye için büyük bir önem taşımaktadır. Geçmişten günümüze her anlamda bizim için önemli bir yere sahip olan bu yenilenebilir enerji kaynağının ülkemiz açısından coğrafi konumu göz önüne alındığında güneşten yararlanabilme konusunda oldukça büyük bir şansa sahiptir. Şekil 2.1'de Türkiye'nin toplam güneş radyasyonu açık bir şekilde ele alınmıştır.



Şekil 2.1. Türkiye'nin bölgelere göre aldığı yıllık toplam güneş radyasyonu [16].

Şekil 2.1'e baktığımızda en fazla güneş alan bölgelerden bir tanesinin Güney Doğu Anadolu Bölgesi olduğunu, bir diğer bölgemizin ise Akdeniz Bölgesi olduğunu açıkça görmekteyiz. Diğer yönden iklimlere göre güneş ışınlarının değişim tablosunu inceleyecek olursak eğer, Çizelge 2.1'de görülen tabloda aylara göre enerji değişimi belirtilmektedir.

Çizelge 2.1. Türkiye’deki aylık ortalama güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri [16].

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (saat/ay)
	(kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311,00	2640
Ortalama	308,0 cal/cm²-gün	3,6 kWh/m²-gün	7,2 saat/gün

Çizelge 2.1’de Türkiye’nin güneşlenme ve güneş enerjisi süreleri verilmektedir. Bu veriler neticesinde görüldüğü üzere yıllık ortalama enerji şiddeti 308,0 cal/cm²-gün ve bakıldığında yıllık güneşlenme süreside 2640 saat olarak görülmektedir.

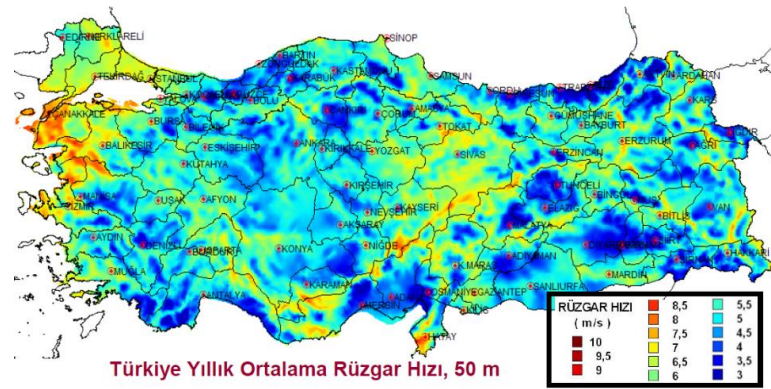
Geçmişten günümüze güneş enerjisinden pek çok farklı alanda yararlanılmıştır. Tabii ki bu yararlanma yöntemleri zaman geçtikçe teknolojinin de ilerlemesi ile gelişerek daha farklı yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu gelişmelere bir örnek verilecek olursa ilk sırayı güneş pilleri almaktadır. Bu piller şebeke bağlantısı olan ve şebeke bağlantısı olmayan güneş pilleri olarak iki grupta incelenmektedirler. Şebeke bağlantılı pillerde depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmadığı uyumlu bir sistem oluşturulduğunda maliyeti açısından da bakıldığında biraz daha uygunluk sağlanmış olur. Yani sistem gerektiğinde şebekeye enerji aktarabilir, gerektiğinde de enerjiye ihtiyaç duyduğu zamanlarda şebekeden enerji ihtiyacını karşılayabilir. Buda yenilenebilir enerji açısından önemli bir yere sahiptir [17].

2.1.2. Rüzgâr Enerjisi

Günümüz şartlarına bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak karşımıza çıkan rüzgâr enerjisi de verimliliği bakımından incelendiğinde büyük bir öneme sahip olduğu görülmektedir. Konvansiyonel olarak adlandırılan enerji kaynakları ile karşılaştırılması yapıldığında, yenilenebilir enerjinin de dünya açısından bakıldığında en az bu enerji kaynakları kadar değerli bir yere sahip olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla rüzgar enerjisinin de bu bağlamda önem taşıdığı yapılan çalışmalarda ve literatür taramalarında fazlasıyla karşımıza çıkmaktadır [18].

Rüzgâr oluşumu kısaca anlatılacak olursak dünyamızın eğriliği, dönme ekseninin eğimi ve ayrıca dünya yüzeyimizin homojen olmayan yapısından kaynaklı ısınması ve soğuması sonucunda yeryüzünde oluşan basınç farklılıklarından dolayı ortaya çıkan hava hareketleri olarak tanımlanabilir. Bunun sonucunda rüzgâr enerjisi farklı hava akımları ile karşılaştığı için rüzgâr tribünleri bu elde edilen enerjiyi rüzgâr enerjisine dönüştürmektedir. Yenilenebilir enerji adı altında bakıldığında bu enerji tam bir çevre dostu olarak karşımıza çıkmakla birlikte aynı zamanda dışa bağımlılığı birazda olsa azaltmaktadır. Tabi ki bu avantajlarının yanında birde dezavantajlarının bulunduğunu da söyleyebiliriz. Bunlardan kısaca bahsedilecek olunursa; tam anlamıyla devasa büyüklüğe sahip olduklarından çok fazla yer kaplamaktadır. Ayrıca kurulumu, yatırımı, maliyetleri açısından da bakıldığında hala büyük oranda dezavantajlara sahip olduğu görülmektedir [19].

Rüzgâr enerjisinden yararlanma aslında M.Ö. 2000 yıllara dayanmaktadır. Tahılların öğütülmesinde kullanılan yel değirmenlerinin kullanılmasın da, deniz ulaşımında yelkenli gemilerin hareketinde rüzgâr gücü büyük ölçüde önemli bir yere sahiptir. M.S. 12. yüzyılda yel değirmenlerinin kullanımının yaygınlaşmasıyla rüzgâr enerjisi kullanılmaya başlamıştır. Tabi ki zaman ilerledikçe rüzgâr enerjisi kullanımı alanında gelişmeler olmakta ve yeni çalışmalar yapılmaktadır. Bununla ilgilide yapılan çalışmalardan bir tanesi rüzgâr tribünlerinde hesaba dayalı olarak detaylı bir şekilde yapılan ilk çalışma 1930'lu yıllarda Betz tarafından ortaya atılmıştır. Teorik verimi açısından bakıldığında %59 olarak hesaplanan bu ifade geçmiş çalışmalara ve literatürlere bakıldığında Betz limiti olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmanın ardından Savanius ve Darrieus da düşey eksenli rüzgâr tribünlerini geliştirmiş ve bu çalışmalarını ortaya koymuşlardır [19]. Türkiye açısından bu enerjinin en verimli alanları incelenecek olursa;

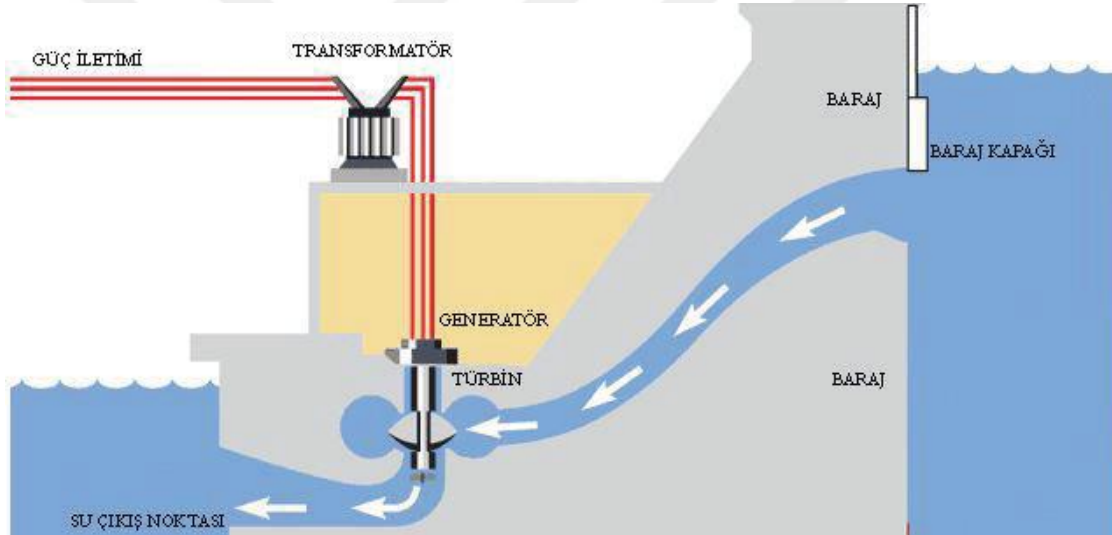


Şekil 2.2. Türkiye'nin 50 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı [19].

Şekil 2.2’de Türkiye’nin 50 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı verilmiştir. Görüldüğü gibi Türkiye’nin en iyi rüzgâr aldığı bölgeleri kıyı şeritler, yüksek bayırlar, dağların tepeleri ya da açık alanların bulunduğu yerlerdir.

2.1.3. Hidrolik (Hidroelektrik) Enerjisi

Yenilenebilir enerji açısından bakıldığında önemli bir yere sahip olan hidroelektrik enerjisinin geçmişine bakıldığında dünyanın oluşumundan beri hayatımızda büyük bir öneme sahip olan suyun çok öncelerde sadece insanlar için su ihtiyaçlarını karşılamak ve üretimi yapılan birçok sebze ve meyvenin sulanmasında kullanıldığı görülmektedir. Fakat elektriğin icadı ile suyun aslında gerçek anlamda nasıl bir güce sahip olduğu çok sonraları keşfedilmiş olsa da bununla ilgili ortaya atılan ilk çalışmalardan bir tanesi nehir üzerinde yapılmış ve burada bir hidroelektrik santrali kurulmuştur.



Şekil 2.3. Hidroelektrik santrali [20].

Şekil 2.3’de bir hidroelektrik santrali ve santralin işleyiş şekli gösterilmiştir. Su seviyesine bakıldığında potansiyel güçle doğru orantılı olduğu söylenebilir. Kurulan sistemin içerisinde var olan tribün olarak adlandırılan yerden, içerisinde bulunan suyun geçmesi sağlanarak kinetik enerji oluşturulması sağlanır. Sistemde enerji dönüşümünde sürtünmeden kaynaklı bazı kayıplar oluşsa da yine de burada meydana gelen potansiyel enerjinin büyük bir bölümü kinetik enerjiye dönüşmektedir. Sonrasında ise tribüne bağlı olarak çalışan jeneratörler rotorunun dönmesiyle de elektrik enerjisi elde edilmektedir. Tabi ki böyle bir sisteminin kurulmasında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan bir tanesi de orada bulunan alanın ya da bölgenin yıllık olarak su değişimini

veren dokümanların oluşturulmasıdır. Oluşacak herhangi bir sorun neticesinde ulaşım açısından bakıldığında kolay bir yerde olmalıdır. Ayrıca çevreye olan etkileri iyice araştırılmadan kurulum aşamasına geçilmemelidir.

Avantajları açısından ele alındığında ise hava kirliliğine yol açmamaktadır. Bir sürü insana iş olanağı sağlamaktadır, birçok tarım arazisinin su ihtiyacını karşılamakta ve üretime katkı sağlamaktadır. Her ne kadar avantajlarını bu bağlamda sıralamış olsak da tabi ki her şey gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan kısaca bahsedecek olursak, içerisinde bulunan suların yüksekliği arttığında çevresinde bulunan yerleşim yerlerinin acilen boşaltılması, kurulumu sırasında ve bu kurulan sisteme ulaşımın sağlanması sırasında birçok ağacın kaybına neden olmaktadır. Bunlarda dezavantajları bakımından insanlık için önemli faktörlerdir.

Ülkemiz açısından düşünüldüğünde ise genelde su kaynaklarından yararlanma geçmişte tarım alanlarında üretim yapılması için kullanılmıştır. Fakat 1902 yılında ise sadece tarım alanları için kullanılan suyun potansiyel gücü fark edilmiş ve elektrik üretimi yapılmaya başlanılmıştır. Buda Tarsus da kurulan hidroelektrik santrali sayesinde olmuştur. Daha sonrasında 2. Santral 1914 yılında İstanbul'da Silahtar Ağa adı altında kurulumu gerçekleştirilmiştir. O yıllardan günümüze birçok hidroelektrik santrali kurulumu gerçekleştirilmiş olup, bu santrallerden de elektrik üretimi halen gerçekleştirilmektedir. Hidroelektrik santrallerin çevreci ve yenilenebilir olması ülkemiz açısından da kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Ayrıca tüm bunların yanında uzun bir ömre sahip olmaları da bu alanda yapılan çalışmaların başlıca nedenlerinden bir tanesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Her geçen gün sanayinin daha da gelişmesi enerji ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Bu da yenilenebilir enerjinin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Ülkemizde son yıllara bakıldığında hidroelektrik enerjisi ilk sırada yerini almaktadır. Bunun nedenleri incelendiğinde ise yükseltinin ve akarsu kaynaklarının fazla olması, maliyeti açısından ele alındığında ise diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi kurulumunda maliyet oldukça fazla olsa da verimliliği düşünüldüğünde diğerlerine kıyasla en iyisidir.

Dünya açısından düşünüldüğünde ise nüfusun her geçen gün artmasıyla elektrik kullanımının gereksinimi buna bağlı olarak büyük bir artış göstermektedir. Neredeyse günümüz koşullarında hayatımızı kolaylaştıran bütün makineler elektrik enerjisiyle çalışmaktadır. Bu da elektrik enerjisi üretiminde kullanılan doğalgaz ve petrol rezervlerin gün geçtikçe azalmasına ve bu bağlamda yenilenebilir enerjinin öneminin artmasına neden olmaktadır. Bu önemin artmasıyla da hidroelektrik enerjinin değeri ve

gerekliliği daha çok anlaşılmaktadır.

2.1.4. Jeotermal Enerji

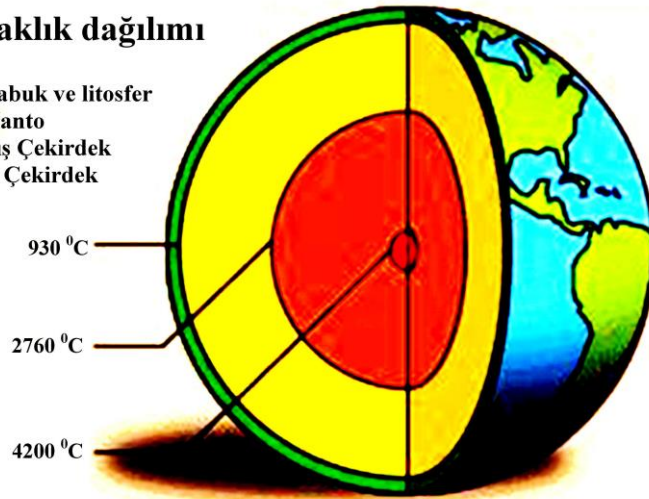
Jeotermal enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu kelimenin nerden geldiğine bakıldığında ise Yunan kökenli kelimelerden türetilmiş olduğu karşımıza çıkmaktadır. Jeo kelimesi yer anlamında kullanılmaktadır, termal kelimesi ise ısı anlamında kullanılmaktadır [21]. Jeotermal enerji aslında basit bir şekil de ifade edildiğinde dünyamızın alt katmanlarında bulunan ve yenilenebilir enerji açısından bakıldığında önemi son derece büyük bir termal enerji olarak tanımlanabilir. Çok uzun yıllardır birçok alanda kullanılan bu enerji kaynağının gerek tıbbi çalışmalarda gerekse yeryüzünün ısınmasında ki rolü oldukça fazladır.

Birde bu kelimenin bilimsel tanımına bakacak olursak dünyamızda bulunan yerkabuğunun farklı derinliklerinde bulunan magmadan ve kayalaradaki radyoaktiflik ile ortaya çıkan sıcaklıktan oluşan bir enerji türü olarak tanımlanmaktadır [22].

Yerkürede sıcaklık dağılımı

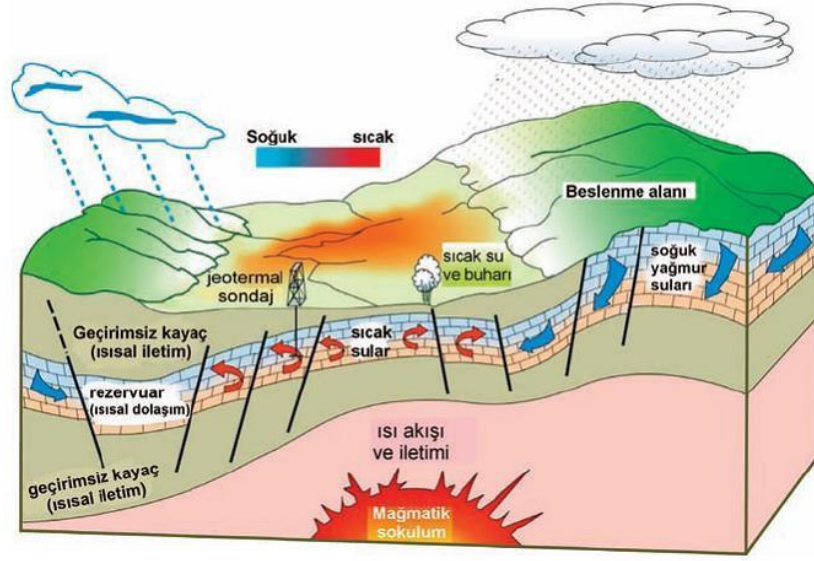
Kalınlık(km)

0-100	Kabuk ve litosfer
100-2886	Manto
2886-5156	Dış ekirdek
5156-6371	İ ekirdek



şekil 2.4. Yerkürenin içyapısı ve yer kabuğunun görünümü [23].

şekil 2.4'de yerkürenin iç yapısı ve kabuğunun görünümü verilmiştir. Bakıldığında toplamda 6370 km olan yerküre her ne kadar kalın bir manto ile çevrili olsa da aslında kabuğu ince bir yapıya sahiptir. Kabuğun altında bulunan alan incelendiğinde ise jeotermal alanların oluştuğunu görmekteyiz. Yerkürenin içine doğru inildiğinde ise sıcaklık oldukça artmaktadır.



Şekil 2.5. Jeotermal sistemler [23].

Şekil 2.5’de jeotermal sistemler gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yer kabuğunun inceldiği kısımlarında sıcaklık bakımından oldukça zengin olan magmanın kabuğa çok yaklaşmasından jeotermal alanlar oluşmaktadır. Jeotermal sistem ise jeotermal alanın oluşumunda katkı sağlayan beslenme alanı, akışkan, ısı kaynağı, rezervuar jeotermal kaynak veya doğal mineralli suların gün yüzüne çıkarıldığı özel bir yapıya sahip olan sistemlere verilen isim olarak ifade edilmektedir.

Jeotermal enerjinin kullanım alanlarına bakacak olursak elektrik enerjisi üretiminde ilk sırada gelmektedir. Ayrıca ısıtma, soğutma ve endüstri gibi çeşitli alanlarda da yaygın olarak kullanıldığını görmekteyiz. Aşağıda verilen tabloda jeotermal enerjinin sıcaklık değerlerine bağlı olarak kullanıldığı alanlar görülmektedir.

Çizelge 2.2. Jeotermal enerjide sıcaklık değerlerine bağlı olarak kullanım alanları [23].

Sıcaklık(°C)		Kullanım Alanı	
	180	Yüksek konsantrasyon solüsyonun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma	
	170	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, Diyatomitlerin kurutulması	
	160	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması	
	150	Bayer's yoluyla alüminyum eldesi	
	140	Konservecilikte, çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulmasında	
	130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi	
Elektrik üretimi	120	Isıtma	Damıtık su eldesi, tuzluluk oranının artırılması
	110		Çimento kurutulması
	100		Organik maddeleri kurutma (Yosun, et, sebze vb.), Yün yıkama ve kurutma
	90		Balık kurutma
	80	Kent ve sera ısıtması	
	70	Soğutma (Alt sıcaklık sınırı)	
	60	Kümes ve ahır ısıtma	
	50	Mantar yetiştirme, balneolojik kullanımlar	
	40	Toprak ısıtma, kent ısıtması (alt sınır), turistik tesisler	
	30	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri	
	20	Balık çiftlikleri	

Çizelge 2.2’de jeotermal enerjideki sıcaklık değerlerine bağlı olarak kullanım alanları verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi jeotermal enerjinin akışkanın sıcaklığına bağlı olarak farklı kullanım alanları en yüksek sıcaklıktan başlayarak, en düşük sıcaklığa göre sıralanmaktadır. Burada elektrik üretiminde de kullanılabilir olması yenilenebilir enerji için düşünüldüğünde öneminin ne kadar fazla olduğu bir kez daha görülmektedir.

Jeotermal enerjiden elektrik üretimine bakıldığında ise aslında 1904’ten bu yana İtalya’da başlayan bu üretimin varlığının bilinmesine rağmen, dünyada bu anlamdaki gelişmelerin başlaması 1950 yıllarını bulmuştur. Hazne sıcaklığı düşünüldüğünde yaklaşık 200 derece ve daha yüksek sıcaklıklarda elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde bu sıcaklığın 150 dereceye kadar düşürüldüğü ve bu sıcaklıkta elektrik üretiminin gerçekleştiği bilinmektedir. Ayrıca son zamanlarda bilinen sıcaklıklardan farklı olarak 60 ve 90 derecelere kadar düşürülen sıcaklıklarda enerji üretimi çalışmalarının da yapıldığı bilinmektedir [23].

Jeotermal enerji başta Amerika Birleşik Devletleri (ABD) olmak üzere birçok ülkede

kullanımı gerçekleştirilmektedir ve bunlar arasında Türkiye’de bulunmaktadır. Türkiye açısından jeotermal enerjiden elektrik üretimine bakıldığında ise dünyanın en önemli ülkeleri arasında yerini almaktadır. Ülkemizde 40 derecenin üzerinde bulunan 170 adet jeotermal alanın bulunduğunu söyleyebiliriz. Jeotermal potansiyele bakıldığında ise ülkemiz için 31.500 MWh olarak tahmin edildiğini söyleyebiliriz. Ayrıca bu kurulu gücün yanında toplam kapasite 867 MWh’tir. Kızıldere jeotermal alanında 1985’den bu yana elektrik üretimi yapılmaktadır. Aydın-Germencik, Aydın-Salavaltı ve Denizli-Tekkehamam bölgelerinde de elektrik üretimi çalışmaları yapılmaktadır.



Türkiye’de neotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar

Şekil 2.6. Türkiye’nin jeotermal alanları [23].

Şekil 2.6’da Türkiye’nin jeotermal alanları gösterilmiştir. Şekilde Türkiye açısından Jeotermal enerjide önemli yerler teşkil eden bölgeler gösterilmektedir. Türkiye’de elektrik üretiminin gerçekleştirilebileceği 13 önemli bölgenin olduğu söylenmektedir. Bunun yanında 150 derecenin üstünde ve ekonomik açıdan da bakıldığında üretimin yapılabileceği 5 alanın bulunduğunu söyleyebiliriz. Bütün bunlardan yola çıkılarak da aslında Türkiye açısından jeotermal enerjide önemli bir konumda olduğumuzu açıkça söyleyebiliriz.

2.1.5. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle tanımına bakıldığında ise 100 yılı aşkın bir süreden daha az zaman diliminde kendini yenileyebilen, toprak ya da suda yetişen bitkililerden, kentsel veya endüstriyel atıklardan meydana gelen organik maddelerin kendini işlemesi olarak açıklayabiliriz [24]. Aslında kısaca biyokütle tanımını canlı organizmaların ürettiği maddeler olarak da ifade edebiliriz.

Daha önceki yenilenebilir enerji kaynaklarında da ifade ettiğimiz gibi insan nüfusunun

artmasıyla enerji ihtiyacının da artış göstermesi bu alanda yapılacak olan çalışmaların her geçen gün daha da ilerlemesine katkı sağlamaktadır. Biyokütle enerjisinden enerji üretimi bu alanda yapılan çalışmalar arasında yerini almaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar, güneş ve rüzgâr enerjisindeki enerji üretiminde karşılaşılan hava olaylarının oluşumundaki sorunlar gibi değildir. Yenilenebilir enerjide büyük bir öneme sahip biyokütle enerjisi ülkemizin her bölgesinde üretilebilir olduğundan kırsal bölgelerde oluşan ekonomik sorunlar için büyük oranda katkı sağlamaktadır. Biyokütle enerjisi aslında yeşil bitkilerin güneşten almış oldukları enerjiyi, fotosentez yaparak kimyasal enerji depolamasıyla gerçekleştirirler [24].

Biyokütle enerjisini modern ve geleneksel olarak adlandırdığımız iki ana grupta incelemek mümkündür. Geleneksel biyokütle emek ve hane halkı tarafından gerçekleştirilen üretimi ifade etmek için kullanılırken modern biyokütle ise daha çok sermaye ve yoğun bir üretimle gerçekleştirilen ısı ve elektrik üretimi olarak tanımlanmaktadır [24].

Bu enerjiyi Türkiye ve Dünya açısından değerlendirecek olursak Dünya Enerji Konseyi'ne göre 2014 yılında biyokütle enerjisi %73'lük pay ile dünyada yenilenebilir enerji kaynakları bazında düşünüldüğünde büyük bir orana sahip olduğunu söyleyebiliriz. Dünya toplam birincil arzı açısından pay oranına bakıldığında ise %10,3 lük bir paya sahip olduğunu söyleyebiliriz. Dünyada enerji üretiminin %14'ü biyokütle enerjisinin den sağlanmaktadır. Bu bağlamda da aslında gelecekte yenilenebilir enerji alanında yapılacak çalışmaların artış göstermesi düşünülebilir. Çünkü bütün koşullar ele alındığında ve biyokütle verimliliği ülkemiz açısından bakıldığında Türkiye'nin bu üretime uygun bir ülke olduğu görülmektedir. Ülkemizde biyokütle enerjisi çevre kirliliği açısından düşünüldüğünde endüstriyel atıkların yok edilmesinde oldukça etkili bir yöntemdir. Buda temiz bir çevre temiz bir dünya demektir.

Biyokütle enerjisinden elektrik üretimine bakıldığında ise aslında küresel enerji olarak adlandırdığımız kaynakların büyük bir kısmı elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Biyoyakıt olarak adlandırdığımız taşıt yakıtı içinde kullanılan bu sektör içinde aslında sadece bununla yetinilmeyip enerji ve ısı alanında da üretim gerçekleştirilmektedir.

Gelecek açısından da düşünüldüğünde petrol ve doğalgazın son dönemdeki artışları ekonomik açıdan bakıldığında ülkemizi zor durumda bıraktığını söylenebiliriz. Ayrıca bu kullanılan kaynakların gelecekte nüfusun artışından dolayı tükenme oranı göz önüne alındığında biyokütle enerjisinin bu kaynakların yerini alabileceğini söyleyebiliriz.

2.1.6. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen dünyada en fazla bulunan ve üzerinde çalışılması en kolay olan gazlardan bir tanesidir. Suyun yapısında hidrojen ve oksijen elementlerinin birleşimi vardır. Bu sebeple de denizlerde, okyanuslarda ve akarsularda çok miktarda bulunur. Fakat hidrojen saf bir şekil de doğa üzerinde bulunamaz. Farklı yollar ile elde edilebilmektedir [25]. Çevreye zarar verme açısından ele alındığında diğer kaynaklar ile karşılaştırıldığında ilk sırada yerini almaktadır. Böyle önemli bir yere sahip olması ile de geleceğin enerjisi olarak adlandırılmaktadır [26].

Her yere taşınabilir özelliğine sahip olması yapılan çalışmalarda çok fazla kolaylık sağlamaktadır. Bunun yanında kullanımının da her yerde yapılabileceği söylenmektedir. Hafif olması, tükenmez ve çevreye temiz bir hava sahası sağlaması gelecek için önemli yakıt kaynakları arasında yerini alabileceği düşünülmektedir. Maliyeti açısından bakıldığında diğer kullanılan kaynaklardan daha pahalı olduğu bilinmektedir. Fakat bu dezavantajına bakılmaksızın gelecek adına yapılacak olan çalışmalarda enerji üretimi açısından bakıldığında önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir. Hidrojeni elektrik enerjisine dönüştürmek oldukça kolaydır. Bu nedenle sektörleri çok fazla etkileyebilmektedir [26]. Böylece gelecek adına yapılacak olan çalışmaların her geçen gün daha da ön tarihlere atılması sağlanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki önemine bakıldığında ise güneş enerjisi ile her zaman elektrik üretimi yapılmaktadır. Fakat taşınabilir ve stoklanma özelliğinin bulunması diğer kaynaklardan ayıran en temel özelliklerinden birisidir. Enerji ihtiyacımızı karşılayan fosil yakıtların giderek azalmasının yanında çevreyi ne kadar kirlettiği de bilinmektedir. Çok fazla gelişmiş ülke bundan dolayı çeşitli çözümler aramakta ve çalışmalar yapmaktadır. Bu da 2010 yılından itibaren bu alandaki gelişmelere katkı sağlamaktadır. Özellikle ulaşım sektöründe diğer yakıtlarla karşılaştırılması yapılmakta ve onların önüne geçeceği söylenmektedir.

Hidrojeni elde etmede bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler kısaca ifade edilecek olursa aşağıdaki numaralandırıldığı gibidir.

1. Fosil yakıtlar ile hidrojen elde edilmesi.
2. En bilindik yöntemlerden birisi suyun elektrolizi.
3. Güneş enerjisi ile hidrojen elde edilmesi.
4. Yeşil yosunlar ve doğal fotosentez olaylarından hidrojen elde edilmesi.

Bu yenilenebilir enerjinin üretimini gerçekleştirdikten sonra depolayabilmek de en az

üretimi kadar önemlidir. Hidrojen depolanması sırasında gaz veya sıvı şekilde bulunabilmektedir. Gaz olarak depolayabilme işlemi yer altı mağaralarında gerçekleştirilmektedir. Hidrojen gazı diğer gazlara göre daha fazla sızma özelliğine sahiptir ve bununla ilgili başarılı olarak yapılan ilk çalışma Fransa'da gerçekleştirilmiştir. Taşınması ise tanker ve doğal gaz boruları ile gerçekleştirilebilmektedir.

Ülkemiz açısından da bakıldığında bu alanda farklı çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Türkiye'nin diğer ülkelere bakıldığında en büyük avantajlarından bir tanesi, Karadeniz kıyı şeridi boyunca taban kısmında depolanmış halde kimyasal halde hidrojenin bulunmasıdır. Bu da Türkiye açısından önemli bir kaynaktır. Türkiye'nin bu alanda yaptığı çalışmalara bakacak olursak bunların en önemlisi yakıt hücreleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda farklı çalışmalar yürütülmüştür. Türkiye'de bu enerji kaynağı ile gelecek açısından önü açık olan bir enerji üretebilir ve bu üretilen enerjiyi farklı alanlarda kullanabilir.

Farklı yönde avantajlara sahip olmasının yanında dezavantajlarına bakıldığında hidrojen konusundaki eğitimlerin yetersizliği en önemli eksikliklerden bir tanesidir. Bununla birlikte enerjiye yapılan yatırımların yetersizliği de başlıca nedenler arasındadır.

2.1.7. Dalga Enerjisi

Dünyamızın yüzeyinin farklı bir biçimde ısınmasından dolayı denizler üzerinde dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bu dalgalanmalarla meydana gelen güçten enerji elde edilmesine dalga enerjisi denilmektedir. Aslında kısaca açıklayacak olursak denizde oluşan dalgaların enerjine de dalga enerji denilmektedir. Bu enerjinin fazla miktarda olması Avrupa ülkeleri açısından da bakıldığında yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu dalgalar diğer enerji kaynakların sahip olmadığı yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Birçok enerji kaynağından daha güvenilirdir.

Dünya çalışmalarında yapılan yenilikler neticesinde bu alanda da hızlı bir ilerleme sağlanmakla birlikte kıyı boylarında, kıyıya yakın ya da uzak bölgelerde farklı çeşitlerde enerji sistemler geliştirilmiştir. Aslında bu yenilenebilir enerji kaynağı ile ilgili yapılan tasarımlar genelde ırmakların ağız kısımlarına ya da deniz girişine yani gelgit olayının en büyük olduğu duruma bakılarak baraj yapımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu enerji üretiminin en önemli örneği Fransa'da Rance ırmağının halicinde kurulmuş olan gelgit barajı 750 m uzunluğunda ve 240 MW güce sahiptir. Sistem 1966 yılında kurulmuştur. Fakat dalga enerjisi de düzenli bir dağılıma

sahip değildir. Yüksek dalga gücüne sahip olan sadece birkaç bölge bulunmaktadır. Avantajlarına ve dezavantajlarına bakıldığında ise dalga ve gelgit olayı sürekliliği olan yenilenebilir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. mrlere bakıldığında oldukça uzun ömürlü bir yapıya sahip olmakla birlikte yakıt maliyeti olmayan enerji kaynağıdır. Kurulan barajın yapısından kaynaklı kurulduğu bölgeyi sel olaylarına karşı korumaktadır. Ayrıca en önemli özelliklerinden bir tanesi de kıyı bölgelerdeki elektrik ihtiyacını karşılayabilir olmasıdır. Mali anlamda sadece yapım aşamasında yüklü miktarlara ihtiyaç duyulmaktadır. Denizleri hiçbir Şekilde kirletmemektedir. Bunlar gibi birçok avantajın yanında dezavantajlarına bakıldığında ise denizi durgunlaştırıcı bir etkisi vardır ve buda balıkçıları oldukça etkilemektedir. Kıyı kesimlerinde barajın kurulumu ve çalışması sırasında gürültü kirliliği yaratmaktadır. Daha birçok dezavantajı olmasına rağmen avantajları yönünden daha ağır basan bir enerji kaynağıdır ve geleceğin yenilenebilir enerji kaynakları arasında yerini almaktadır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ŞEBEKEYE ETKİSİ VE ENTEGRASYONU

Biliyoruz ki enerji her geçen yıl teknolojinin de gelişmesiyle vazgeçilmezimize haline gelmiştir. Enerjinin üretildiği sistemlerde istenilen talebin zamanında, sürekli olarak ayrıca ucuz maliyette ve kaliteli olması aranan en büyük temel özelliklerden bazılarıdır. Dünya üzerinde elektrik enerjisi üretimi yapılan kaynakların zamanla tükenir hale gelmeye başlaması yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacın başlıca sebepleri arasında yerini almaktadır. Bu sebepten dolayı da şunu söyleyebiliriz ki yenilenebilir enerji kaynakları enerji sistemimize entegre olmaya başlamış ve özellikle batı bölgelerinde işlevini arttırmıştır.

Günümüz şartlarında dağıtım sistemlerinden çok fazla üretim entegrasyonu isteği bulunmaktadır. Uzun dönem enerji üretimi planlamalarının yapılması açısından enerji arz güvenirliliği oldukça önem taşımaktadır. Bunun yanında enerjini üretimi, dağıtımını ve iletimini sağlayacak planlamalar yapılmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiye uygun yapıda izlenebilir, kontrol edilebilir bir sisteme sahip olması gerekmektedir [27]. Bu sistemlerde akıllı şebekeler olarak adlandırılmakta ve bu bağlamda yerini almaktadır. Böyle yapılar sistemin güvenirliliğini ve sürekliliğini sağlamakla birlikte belirtilen gücün dengelenmesini sağlamaktadır. Bu da istenilen bir durumdur [28].

3.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ETKİLERİ

Enerji kaynaklarının entegrasyonu dünya açısından da bakıldığında daha önceden kullanılan bir sistem değildir. Entegrasyonu sağlanacak yapının sistem ile uyumu karşılaştırılmalı, teknik olarak yapının uygunluğu incelenmeli ve dağıtım sisteminin her türlü oluşabilecek soruna karşı esnek bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Kısacası sistem akıllı bir yapıya sahip olmalıdır.

Teknik olarak uygun olmayan entegrasyonlar gerçekleştirildiğinde enerjide büyük oranda kalite ile ilgili problemlerle karşılaşmaktadır. Entegrasyonu sağlanacak

enerjinin hem güvenilir hem de kaliteli olması sağlanmalıdır. Çünkü bu iki temel unsur sağlanmadığı durumlarda süresiz bir enerji ile karşı karşıya kalınacaktır.

Ülkemiz açısından düşünüldüğünde rüzgâr enerjisi oldukça önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde önemli rüzgâr enerjisi entegrasyonları bulunmaktadır [28]. Bu iletim sistemine bakıldığında kendi yapısına ait olan bir özelliğe sahiptir, güç farklı noktalardan entegrasyona esneklik sağlamaktadır. Böyle tür iletim sistemlerinde gerçekleştirilen entegrasyonlarda asıl amaç frekans ve gerilim kararlılığının ölçülmesi ve aynı zamanda sorgulanmasıdır. Fakat dağıtım şebekeleri dikkate alındığında bu tür sistemlerin üretim entegrasyonları daha farklı olmaktadır. Yenilenebilir enerjinin entegrasyonu sırasında enerji yapısının değişiklik göstermesiyle yük akışı, kısa devre ve koruma koordinasyonunda da farklılıklar meydana gelebilmektedir. Bunun sonucunda da karşımıza gerilim ve güç dalgalanmaları çıkmaktadır. Aynı zamanda enerjideki değişimle de frekans ve gerilim dalgalanmaları görülmektedir [28].

Üretim sırasında karşımıza çıkan problemlerden bir tanesi gerilim yükselmeleridir. Bu yükselmenin nedeni araştırıldığında ise karşımıza Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) trafo merkezlerinde bulunan sekonder gerilimin trafoda kademe değiştirici olarak ele alınan elemanlar ile kontrol edilmesidir. Bu tür merkezlerde orta gerilim barasında bulunan gerilimin en uç kısımda bulunan fiderde meydana gelen gerilim düşümüne göre ayarlamaktayız. Uzun mesafede gerçekleştirilen üretimlerde nominal gerilimin belirli bir değerin üzerinde tutulması üretim kaynağında gerilimin yükselmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda belirli hesaplamalar sonucunda da sistemde gerilim yükselmelerinin meydana geldiği bununda yakın mesafede bulunan üretim sistemlerindeki gerilimin sürekli değişken bir yapıya sahip olmasına, tehlikeli gerilimlerin oluşmasına ve ürettiğimiz bu gücün azaltılmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı da üretimi gerçekleştirecek olan sistemler daha iyi ve bilinçli bir şekilde tasarlanmalı ve önemli sorunlar ele alınmalıdır.

Bu sorunları da ele alarak tasarlanan bir yapıda gerilim yükselmesinin önüne geçebilmenin en temel yolunun hattı elektriksel olarak kısaltmaktan geçtiğini söyleyebiliriz [28]. Hattın elektriksel olarak kısaltılması ise reaktansının küçültülmesiyle oluşturulmaktadır. Böyle bir sistemde de dalgalanmalar daha aza indirgenmiş olacaktır.

Üretim sırasında karşımıza çıkan başka bir etken ise kısa devre katkıları şeklinde ele alınmaktadır. Enerji üretimi esnasında karşımıza çıkan farklı sorunlarda her bir kaynakta kısa devre katkısı oluşmaktadır. Böyle bir durumda da sistemin kurulumunun

gerçekleştiği aşamada enerjinin entegrasyonu sırasında kısa devre katkısından dolayı oluşabilecek sorunlar engellenebilir. Bunun yanında harmonik bozunumların oluşması da başlıca problemler arasında yerini almaktadır. Bunun engellenmesi adına trafo merkezine oldukça yakın yerlere üretim biriminin yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunun gibi pek çok farklı sorunların yanında en önemlisi olarak göz önünde bulundurulacak problemlerden bir tanesi de üretim sistemlerinin bazı bölgelerinde bulunan adalaşmalardır. Böyle sistemlerde entegrasyonları sırasında yönetmelikler gerilim ve frekans durumlarının kontrol altına alınmasını istemektedir [28]. Sistemin güvenilirliği ve kalitesi böyle sistemler geliştirildiğinde çok daha iyi sağlanmış olacaktır. Bu bağlamda da akıllı yapılar karşımıza çıkmaktadır sistemdeki adalaşmayı ölçmek ve oluşan arızanın boyutunu belirlemek amacıyla uygun olarak kumanda ve kontrol altına alan yapılara ihtiyaç duyulmaktadır [28].

3.2. AKILLI ŞEBEKELER

Akıllı şebeke yapısına bakıldığında ise yukarıda ele aldığımız sorunların yani entegrasyon sırasında oluşacak sorunların kontrol ve kumanda altına alınmasında bu yapılar karşımıza çıkmaktadır.

Akıllı bir sistemin kurulan sistemi izleyebilen, kendi kendine kararlar alabilen ve ayrıca anahtarlama denilen işlemi yapabilen bir yapı olmasının yanında bunları çok hızlı bir biçimde gerçekleştirebilen bir yapıya sahiptir. Enerji kesintisini önleyebilme, arızanın oluşmasıyla birlikte hızlı bir biçimde onarmayı sağlayabilme bunlar istenilen durumlardır [28].

Dağınık bir yapıda enerji üretiminin gerçekleşmesi sırasında güvenlik en temel konudur. Bu temel özelliğin sağlanmasından sonra verimlilik ve optimizasyon yerini alacaktır. Bu özellikleri sağlayacak yapıların temelleri de günümüz koşullarında atılmakta ve sanal enerji santralleri olarak adlandırılan aslında pek çok küçük santrali tek bir yapı altında toplayan yapılarında bulunması gerekmektedir. Böyle sistemler daha kaliteli, ekonomik ve kesintisiz bir enerji sağlamaktadır [29].

Dağıtım şebekelerinde meydana gelen yük akışı ve gerilim dalgalanmalarının kontrol edilmesi üretim arttıkça daha zor bir durum haline gelecektir. Kontrol altına alınamayan sistemlerde de entegrasyon kullanılan araçlara, sistemin kalitesine ve kendisine zarar vermektedir. Bu durumlar göz önüne alındığında ise kurulan sistemin sürekli gözetim ve kontrol altında olması gerekmektedir. Böyle durumlarda orta gerilim şebeke

düzenleyici olarak adlandırılan yapılar devreye girmektedir. Sistem incelendiğinde şebekeyi izleyen bir yapıya sahip olmasının yanında manuel ya da otomatik biçimde gerilimi kontrol altına alabilmekte ve aktif gücü reaktif gücü kontrol altında tutabilmektedir [28]. Bunları gerçekleştirebilen bir sistem yapısında transformatörleri ve kapasitörleri kullanmaktadır. Güç miktarı izlenebilmekle birlikte şebeke de kararlılığın sağlanabilmesi için önlemler alınmaktadır. Yenilenebilir enerji açısından böyle sistemlerin kurulması gelecekte bizi çok farklı yerlere taşıyacaktır. Türkiye bu enerjiyi üretebilme gücüne oldukça fazladır. Gerekli olan tek şey doğru tespitler ve değerlendirilmeler neticesinde teknolojik yapılara uygun sistemler düzenlemek ve bunları projelendirmektir.



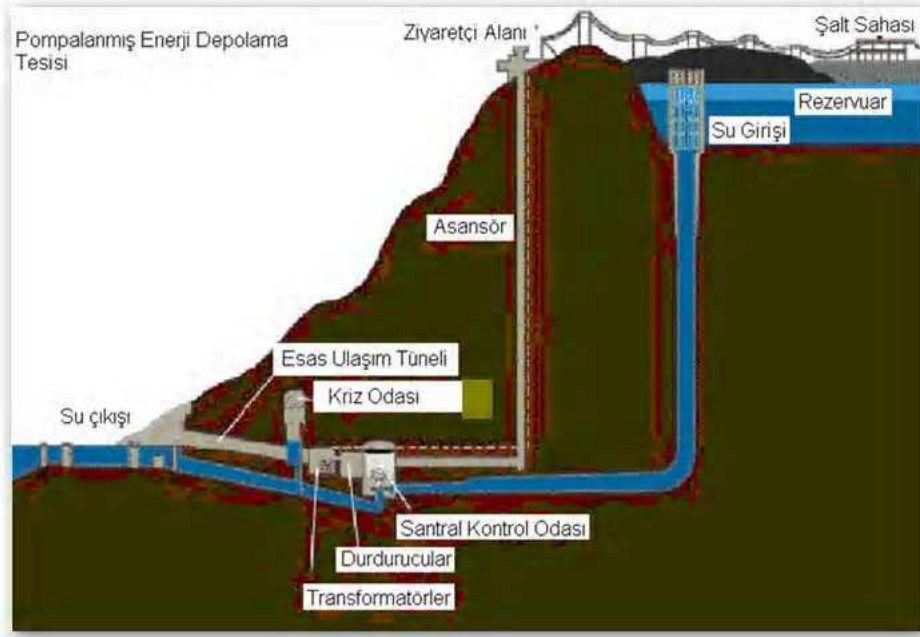
4. ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Her geçen gün Türkiye ve Dünya açısından bakıldığında enerji kaynaklarının hızla tükendiği görülmektedir. Yenilenebilir enerji bu nedenle önemli bir yere sahiptir. Bu önemden yola çıkılarak da depolama sistemlerinin gerekliliğinin de en az yenilenebilir enerji kadar önemli olduğunu söyleyebiliriz. Enerjiyi çok farklı yöntemler ile depolayabilmekteyiz ve bu bölümde de depolama sistemlerini ele alacağız.

Enerji depolanmasının başlıca nedenlerinden bahsedilecek olursa enerji aktarımında belirli bir süreklilik olması gerekmektedir yani sistem kesintiye uğradığında öyle bir yapıya sahip olsun ki istenilen miktarlarda enerji ihtiyacını karşılayabilsin. Ya da enerji fazlalığı olduğu durumlarda da bu enerjiyi depolayabilsin. Aslında istenilen böyle zamanlarda kayıpların oluşmaması da denilebilir. Eğer kaliteli bir sistem oluşturulmasını istiyorsak bu yapılarda gerilim, akımlarda salınım ve harmoniklerin oluşmaması sağlanmalıdır. Böyle durumların elektronik cihazların üzerinde olumsuz etkileri vardır ve cihazın hasar görmesine neden olmaktadır. İşte bu neden ve daha pek çok sorunu ortadan kaldırabilmek için depolama sistemleri bizim için bir kurtarıcı olabilir. Bu yöntemleri ele alalım.

4.1. HİDROLİK GÜÇ DEPOLANMASI

Bu sisteme bakıldığında 1929 yılında uygulanmaya başlanılmış olsa da ticari açıdan kullanımı 1970 yılında başlamıştır.



Şekil 4.1. Hidrolik güç depolama blok şeması [20].

Şekil 4.1’de Hidrolik güç depolama blok şeması verilmiştir. Sisteme bakıldığında 2 depodan oluştuğu görülmektedir. Yani enerjiyi depolayabilme özelliği bu özelliğiyle sağlanmaktadır. Depoların bir tanesinin zeminde diğerinin ise daha yüksekte olduğu şekildedir de görülmektedir. Enerjinin ucuz olduğu zaman diliminde su bir üst seviyedeki depoya taşınmaktadır. Enerjinin pahalı olduğu zaman diliminde ise su kinetik enerjiye dönüşümü sağlanmaktadır ve böylelikle de enerji elde edilmektedir. Bu sistemin iki olumlu faydası vardır ilki enerji tasarrufu diğeri de yatırım ve işletmeler açısından düşünüldüğünde maliyetlerine oldukça katkı sağlamaktadır.

1976 ve 1982 yıllarında Galler’de inşaatı tamamlanan Dinorwig Enerji santrali dünyada en iyi bilinenler arasında ilk sırada yerini almaktadır. Santral 317 MW enerji üretmekte olan 6 adet pompa ve türbin bulunmaktadır. Bu bağlamda en büyük pompa ya da türbin grubu Çin’de Tianhuanping santralidir [30].

Bu nedenle üretilen pompa veya hidroelektrik türbinlerin tam olarak yüklenmeleri için geçen süre 10 saniye gibi kısa bir zaman dilimidir. Tam anlamıyla şebekeye girmeleri için geçen süre ise 1 dakika olarak bilinmektedir [30].

En etkin pompalama yöntemlerinden bir tanesi olan pompalanmış hidroelektrik güç en fazla enerji depolama kapasitesine sahiptir (>200 MW). Bu özelliğinden başka uzun süreli olarak depoladığı enerjiyi saklayabilme özelliği de bulunmaktadır. Ayrıca kurulu olan bu sistem yarım yıl kadar bir süre enerjiyi depolar ve sistem ani değişikliklerde

hemen devreye girebilmektedir.

Maliyetleri açısından düşünüldüğünde ilk kurulumu sırasında yüksek miktarlarda bütçeler ayrılrsa da işletme ve diğer yönleri de düşünüldüğünde uygun ve ucuz bütçeli olarak ele alınabilir.

Tabi ki bu sistemlerin olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Özel coğrafi bölgelerin olması kurulumunda önemli yer teşkil etmektedir. Böyle yerlerde bulmak biraz zordur ve bulunduğu da maliyet açısından çok yüksek bütçeleri karşımıza çıkarmaktadır. Ayrıca böyle yerler şebekelerin bulunmadığı kırsal yerlerdir ve buda başlıca bir sorundur.

Tüm dünya geneline bakıldığında 1997 yılında 290 tane pompalanmış hidroelektrik enerji depolama santralinden 82,8 GW enerji üretim gücü oluşturulmuştur. Japonya'da bu sistemden yararlanan başlıca ülkeler arasında gelmektedir.

Günümüzde yer üstünde kurulan sistemlerde bazı sorunların yaşanmasından dolayı gözler yer altına çevrilmiş ve yer altında depolama sistemlerinin kurulumu amaçlanmaktadır. Tabi bunun başlıca nedenlerinden bir tanesi de denizden yararlanılmasıdır. Fakat bununda olumsuz nedenlerinden dolayı çalışmaların yapılmasında hala aşılammış sorunlar bulunmaktadır.

4.2. BASINÇLI HAVA İLE ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ (CAES)

Bu sistemler ise 19. yüzyıldan bu yana çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Yani günümüz şartlarında kullanılan bu sistemler çokta yeni sayılmazlar.

Bu sistem aslında hava depolanma tankının içinde enerjinin çok fazla kullanılmadığı kısacası az kullanıldığı durumlarda kompresör ile enerjinin depolanabildiği sistemlerdir. Sistemde bulunan enerji türbinine sistem için gerekli olan yükleme ve boşalma durumunu komut şeklinde verebilecek olan sızdırmayan ve bu sisteme uygun özel bir tutacak gerekmektedir. Bu sistemin yararlandığı rezervuar çeşitlerini ele alacak olursak ilk olarak doğal yer altı kaynakları daha sonrasında erimiş tuz solüsyonları ve en son olarak da kayalardan meydana gelmiş olan fiziksel oluşumlar olarak üç grupta toplayabiliriz [31].

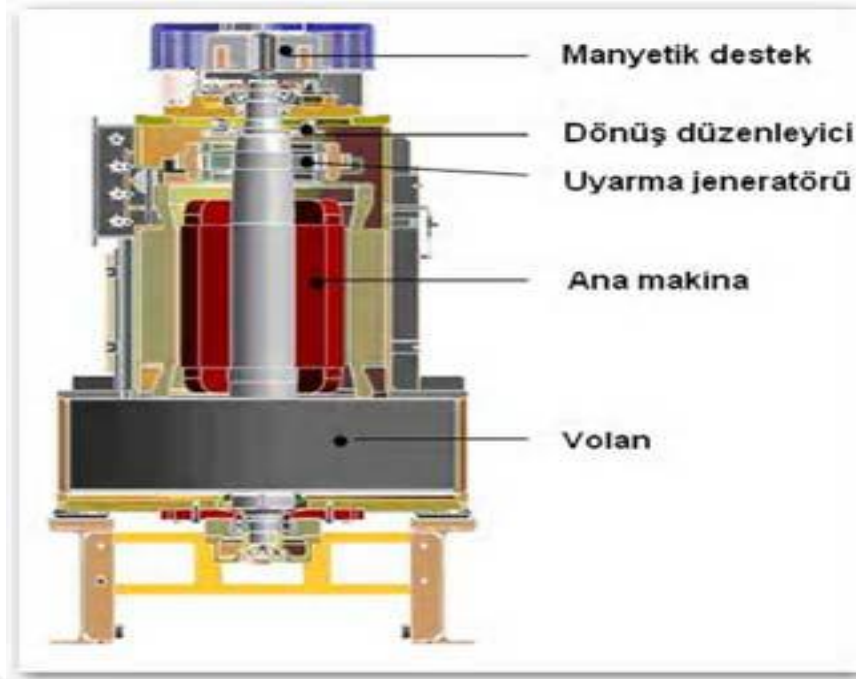
Sistem şarj durumunda sıkıştırılmış olan hava rezervuara gönderilerek santral jeneratörü bu sistem içinde kompresör ile ters bir şekilde hareket eder ve burada mekanik enerji ihtiyacını karşılamış olur. Deşarj olduğu durumda ise sistem sıkıştırmış olduğumuz havayı içten yanma özelliğine sahip olan türbinleri çalıştırmak amacıyla kullanılır ve

bununla birlikte de doğalgaz kullanılmaya başlanır. Aynı yöntemle türbinlerin hareket ettirilmesi sağlanır bunun sonucunda da elektrik üretimi gerçekleşmiş olur [31].

Bu sistemler ele alındığında depolama sırasında meydana gelen sıcaklıklardan dolayı santralin verimliliği sınırlanmaktadır. Verimliliğe bakıldığında ise yaklaşık olarak %75 civarındadır. Böyle sistemleri yanma olmadan çalıştırmak oldukça güçtür. Çünkü yanma olmadığı durumlarda egzoz havası çok düşük bir sıcaklıkta çıkacak böylelikle de malzemelerde çeşitli sorunlar meydana getirecektir. Eğer gerçek anlamda tam bir verim elde etmek isteniliyorsa bunun için biyoyakıtlar tercih sırasında öncelik olarak düşünülmektedir. Böyle bir sistemden de karbon salınımı hiç meydana gelmeyecek fakat diğer emisyonların salınımı hala devam edecektir. Sıkıştırılmış olduğumuz hava yeraltında bulunan maden ocaklarında, büyük mağaraların içinde ve tuzlu kayaların iç kısımların da depolanabilir. İlk olarak Almanya'nın Hundorf şehrinde inşa edilen bu sistem 290 MW olarak bilinen bir ünedir [31].

4.3. VOLANLAR

Böyle bir sistem en basit en temel olarak bilinen bir sistemdir. Volanlar yardımı ile kinetik enerji depolanması gerçekleştirilmektedir. Aslında bu tür sistemler bilinen çok eski yöntemlerden bir tanesi olarak da söylenebilir. Volan, mekanik bir sistem düşünüldüğünde hasar verici yükler ile çalışan ve bazı durumlarda enerji fazlalığının oluşması sırasında bu durumlarda fazla enerjiyi üzerine çeker. Ayrıca istenilen yük artışının olduğu durumlarda ise üzerinde bulundurduğu bu enerjiyi yük üzerine aktararak yük dengelenmesini sağlamaktadır. Böyle sistemler özellikle doğrusal bir hareket yapmak da olan bir sistemin biranda dönme hareketine dönüştürüldüğü durumlarda çözüm giderici olarak da tanımlanabilir. Aslında düşünüldüğünde tam anlamıyla mekanik bir batarya davranışı göstermektedir. Günümüz de çok fazla tercih edilmesinin nedenlerinden bir tanesi de kompozit malzemeler ve bunların türevlerinin fazlaca geliştirilmiş olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.2. Modern yüksek hızlı sistem [31].

Şekil 4.2’de Modern yüksek hızlı sistem gösterilmiştir. Günümüzde gelişmiş bir biçimde pek çok alanda kullanılabilir hale gelmiştir. Yapılan ilk çalışmalarda eskiden mekanik enerji depolanmasından sonra eğer istenilirse kinetik enerji dönüşümü oluşturulmaktaydı. Yani kısacası ihtiyaç halinde bu dönüşüm gerçekleşmekteydi. Fakat teknolojinin her geçen yıl daha da ileriye taşınmasıyla daha hafif döner kütleler oluşturulmuş ve bu yapılarda farklı uygulama alanlarında kullanılabilir hale gelmiştir. Şekil 4.2’de modern volan sistem olarak yukarıda görülmektedir.

4.4. PİLLER

Enerjiyi elektrokimyasal olarak depolayabilme özelliğine sahip olan bataryalardır. Enerji depolanması düşünüldüğünde bir kaynaktan gönderilen elektrik enerjisi bataryanın iç yapısını meydana getiren elektrokimyasal bileşiklerde kimyasal reaksiyonların soğurulması adı altında depolama olayı gerçekleştirilmektedir. Kısaca bu işleme şarj edilmede denilmektedir. Bu enerji her ne kadar kimyasal formlarda depolanmış olma özelliğine sahip olsa da gerektiğinde elektrik enerjisine kimyasal uygulamalarla dönüştürülebilir.

Her geçen yıl farklı isimler adı altında üretilen bataryalar ilk olarak Gaston Plane tarafından 1859 yılında ortaya atılmış olan Kurşun-Asit bataryalardır [30].

Böyle özelliğe sahip bataryalara bakıldığında yüksek empedans yapılarına sahip

olmakla birlikte yüksek özgül enerji değerine sahiptirler. Fakat zamanla bataryaların kullanım sürelerini de göz önünde bulundurduğumuzda bazı telafisi olmayan fiziksel değişiklikler meydana gelmektedir. Pilin depolama performansında olumsuz etkiler yaratmaktadır. Böyle bir durumda da pil kullanılamaz bir yapı haline dönüşmektedir. Batarya tasarımında pilin kullanım ömrü şarj ve deşarj durumlarına, ne sıklıkta kullanıldığına ve bunun gibi birçok etkene bağlıdır [30]. Bu tür durumlarda batarya ömrü 200 ile 2000 döngü aralığında değişmektedir [30].

Amerika'da bununla ilgili yapılan ilk çalışma ince filmler üzerinde olmuştur. İnce Metal filmlerin geliştirilmesiyle kurşun bataryaların güç iletme kapasitelerinin araştırılması hedeflenmiş ve bunun üzerine gidilmiştir [30]. Başka bir yandan ise Hollanda'da yine kurşun-asit batarya üzerine yapılmıştır. Piller her ne kadar depolama sistemleri için önemli bir yere sahip olsalar da, pillerin özgül enerji açısından bakıldığında batarya sistemlerinden daha iyi oldukları söylenebilir fakat özgül güç açısından düşündüğümüzde çok kötü bir değere sahip olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca maliyetleri açısından da düşünüldüğünde oldukça pahalı oldukları bilinmektedir [30].

4.5. SÜPER İLETKEN MANYETİK ENERJİ DEPOLAYICILARI

Diğer depolama sistemlerinde olduğu gibi bu enerji depolayıcıları da yenilenebilir enerjide elektrik depolama uygulamaları alanında önemli bir yere sahiptirler. Bu sisteme bakıldığında sistemin temel yapısında bobin, bağlantıları ve soğutma tankından oluşan soğuk komponentler, soğutma ünitesi ve şebekeye bağlantısı gibi yapıların bulunduğunu görmekteyiz [30].

Bu sistemin çalışma prensibini en basit ifadeyle anlatacak olursak, süper iletken bobinin içerisinden geçen akım bir manyetik alan oluşturmaktadır ve böylelikle de enerji depolanmaktadır. Bu sistemlerin avantajları çok fazladır ve verimlilik %97-98 olup %100 bir verim elde etme oranına çok yakındır. Ayrıca bu sistemler istenilen her şeye anında cevap verme özelliğine de sahiptirler. Sistem 20-30 milisaniye gibi çok kısa bir zaman diliminde bu özelliğini yerine getirebilmektedirler. Reaktif ve aktif güç böyle bir sistemde bağımsız olarak kullanılabilirlikle birlikte, uzun bir ömre sahip olmaları da bu avantajlarının yanında sıralanabilmektedir. Birçok alanda kullanılabilmesinin yanında bu sistemlerin şebeke sisteminde karşılaşılan pik yüklerinin karşılanması, sistemin kararlılığı üzerindeki oynadığı roller, frekans kontrolü ve yük akışı gibi şebekeye enerji aktarımı sırasında karşımıza çıkan sorunlara çözüm getirebilecek en önemli depolama

sistemlerinden biri olduğunu söyleyebiliriz [31].

4.6. SÜPERKAPASİTÖRLER

Elektrik enerjisini pek çok yolla depolayabileceğimiz gibi kondansatörlerle de bunu sağlayabilmekteyiz. Bildiğimiz üzere kondansatörler negatif ve pozitif elektrostatik yüklerle ve bu yüklerin ayrışmalarıyla enerjiyi depo eden sistemler olarak işlevlerini sürdürebilmektedirler. Sistem iki tane iletken plakadan oluşmakla birlikte buna ek olarak da dielektrik şeklinde ifade edilen yalıtkanların birleşiminden meydana gelmektedir. Genelde klasik olarak adlandırılan kapasitör çeşidi yük yoğunluğu bakımından ele alındığında oldukça yüksek değerlerle ifade edilebilir (yaklaşık 10^{12} W/m^3). Diğer bir yönden yani enerji yoğunluğu bakımından ele alındığında ise oldukça düşük değerlere sahiptir (yaklaşık 5 Wh/m^3).

Böyle bir sistemin enerji yoğunluğunun az olduğunu bilmekteyiz fakat deşarj sürelerine bakıldığında daha hızlı ve çevrim ömrü denilen niceliğine bakıldığında da daha fazla olduğu görülmektedir. Bunlarda avantajları arasında yer almaktadır. Dezavantajları arasında bulunan boyut problemleri oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Kapasitörlerin ve dielektrik malzemenin arasında lineer bir bağlantı olmasından dolayı büyük kapasiteler istenildiğinde büyük dielektrik malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Fakat süper kapasitörlerin kullanılmaya başlanmasıyla böyle bir sorun kalmamış çok büyük kapasiteler bile çok küçük kapasitörlerle enerji depolanmasında yerini almıştır [32].

5. DEPOLAMA SİSTEMLERİNDEKİ LİTYUM-İYON PİLİN KESİRSEL TERMAL MODELLEMESİ

5.1. KESİRSEL MATEMATİK VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Kesirsel matematiğin geçmişini inceleyecek olursak eğer, kesirsel matematiğin geçmişi Leibniz'e (1695) kadar dayanmaktadır. Bu konu üzerinde sistematik olarak ortaya atılan çalışmalar 19. yüzyıl başlarında başlamış ve bu yüzyılın ortalarına kadar devam etmiştir. Liouville (1832), Riemann (1853) ve Holmgren (1864) tarafından yapılmıştır. Ayrıca Euler (1730), Lagrange (1772) ve diğer bazı bilim adamları da kesirsel matematiğe birçok katkı sağlamışlardır. Bu katkılara bakacak olursak;

- a) Kesirsel matematik ile ilgili en önemli çalışmanın ilk adımı $\frac{d^{1/2}}{dx^{1/2}} \exp\{2x\}$ kesirsel türevi ile ifade edilmiş ve bu denklem 1832 yılında Liouville tarafından ortaya atılmıştır. Liouville tarafından ortaya atılan bu denklem sayesinde mekanik ve geometrideki bazı problemlerin çözümüne kesirsel işlemciler kullanılarak sonuç getirilmiştir.
- b) Kuvvet serilerine uygulayabildiğimiz tamsayı olmayan üslerle ifade edilmiş ve belirli bir integralinde içinde olduğu başka bir tanım 1853 yılında Riemann tarafından ileri sürülmüştür.
- c) Gürünwald ise 1867 yılında yapmış olduğu bir çalışma ile kendinin seçtiği bir başlangıç noktası kullanarak q. mertebeden belirli bir integral formülü geliştirmiştir.
- d) Krug ise 1890 yılında, Cauchy integral formülü ile çalışmalar yaparak, Liouville'nin ortaya attığı tanımın ayırt edebileceğimiz tarzda herhangi bir alt limite sahip değilken Riemann belirli integralinin bir alt limite sahip olabileceğini savunmuş ve ortaya sunmuştur.

Gürünwald ve Krug, Riemann ve Liouville'nin ortaya sunduğu çalışmalarını ele alarak bunların sonuçlarını birleştirmişlerdir. Bununla birlikte aynı tarihlerde birçok uygulama da yapılmaya devam edilmiştir. Bu uygulamalara bakacak olursak;

- I. Abel 1823 yılında ele aldığı bir çalışmada, sıradan mertebeli türevleri kullanmış ve eş zaman (tautochrone) problemlerin de kullanılan integral denklemlerin nasıl çözülebileceğini ortaya sunmuştur.

Abel'in yaptığı çalışmada $\int_0^x (x-t)^{-1/2} f(t)dt$ ele aldığı bu integrale bakacak olursak, Riemann'ın kesirsel işlemleri tanımladığı çalışmasındaki kullandığı ifade ile benzer yapıdadır. (Abel, kesirsel matematik ile ilgili yaptığı çalışmasını bilimsel olarak ortaya koyan ilk bilim adamlarından biridir.)

- II. Boole ise 1844 yılında sabit katsayılı lineer denklemler ile ilgili yaptığı bir çalışmada bu denklemlerin çözümlenmesinde kesirsel matematiği ele almıştır.
- III. Heaviside ise 1892,1893 ve 1920 yıllarında bu alanla ilgili yapmış olduğu çalışmada elektromanyetik teorisinin bazı belirli problemlerinde kesirsel hesap tekniğini kullanarak çalışmasını ortaya sunmuştur
- IV. 1936 yılına bakılacak olursa Gemant bu yılda yapmış olduğu çalışmada Heavisidenin çalışmasından ele aldığı iletim teorisini esneklik problemlerinde kullanmak amacıyla geliştirmiştir.

Bununla birlikte daha bir sürü çalışma geçmiş yüzyıllarda ele alınmış ve geçmişten günümüze gelmiştir.

5.2. KESİRSEL MATEMATİĞİN ÇÖZÜMLENMESİ

Kesirsel matematiğin ne anlama geldiğini daha iyi anlayabilmek ve daha iyi yorumlayabilmek açısından kesirsel tanımın çözümlenmesinde bazı temel tanımları bilmek gerekmektedir. Bunları ele alacak olursak Gama fonksiyonları, Laplace dönüşümleri ve Mittag-Leffler fonksiyonlarıdır. Dolayısıyla Bu tanımların iyi bilinmesi bize kesirsel matematikte oldukça kolaylık sağlamaktadır [33].

5.2.1. Gamma Fonksiyonu ve Özelliği

Gama fonksiyonuna bakıldığında kesirsel matematik için kullandığımız en temel fonksiyonlardan bir tanesi olduğunu görmekteyiz. Gama fonksiyonunun ifade edilmiş şekli $\Gamma(z)$ dir. Aslında geçmiş çalışmalara ve literatürlere bakıldığında farklı tanımlara sahip olan gamma fonksiyonunu faktöriyel fonksiyonu olarak da tanımlanmaktadır. Fonksiyonun limit gösterimine bakıldığında ise z 'nin alabileceği bütün değerler için

kıscacası karmaşık sayılar ve tam sayı olmayan reel sayılar için genelleştirilmesi yapılan bir fonksiyon olduğu görülmektedir [33].

$$\Gamma(z) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!n^z}{z(z+1)\dots(z+n)} \quad (5.1)$$

Denklem (5.1)'de Eulerin gamma fonksiyonu olarak bilinmektedir. (5.1) denklemindeki bu tanıma bakıldığında ise belirli integral ile verildiğini görmekteyiz. Ve $z > 0$ değerleri ile sınırlı kalsa da bu tanımın literatüre bakıldığında çok fazla kullanıldığı görülmektedir [33].

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt, \text{Re}(z) > 0 \quad (5.2)$$

Denklem (5.2)'de integral tanımı ile verilen denklemde kısmi integrasyon uyguladığımızda ise;

$$\Gamma(z) = - \int_0^{\infty} d(e^{-t}) t^{z-1} \quad (5.3)$$

$$\Gamma(z) = (z-1) \int_0^{\infty} de^{-t} t^{z-2} \quad (5.4)$$

Denklem (5.3) elde edilmektedir [33], [34]. Bu denklemlerde verilen t^{z-1} t'ye bağlı bir fonksiyon ve e^{-t} ifadesi de üstel exponansiyel bir fonksiyondur. Denklem (5.3) Denklem (5.4) olarak yazıldığında;

$$\Gamma(z) = (z-1)\Gamma(z-1) \quad (5.5)$$

Denklem (5.5), Denklem (5.6)'yı oluşturmakta ve daha sade bir şekilde ele alındığında ise;

$$\Gamma(z+1) = z\Gamma(z) \quad (5.6)$$

Gamma fonksiyonunun en temel özelliklerinden biri olan Denklem (5.6) elde edilmiş olur [33]. Bu denklemden yola çıkılarak da z'nin sıfırdan büyük ve tam sayı değerlerine bakıldığında $\Gamma(1) = 1$ olduğunu görmekteyiz ve buradan da z değerimizin $z = 1, 2, 3, \dots$ değerleri için bakılacak olunursa;

$$\Gamma(2) = 1. \Gamma(1) = 1 = 1! \quad (5.7)$$

$$\Gamma(3) = 2. \Gamma(2) = 2.1! = 2! \quad (5.8)$$

$$\Gamma(4) = 3. \Gamma(3) = 3.2! = 3! \quad (5.9)$$

$$\Gamma(n) = (n-1). \Gamma(n-1) = (n-1)! \quad (5.10)$$

$$\Gamma(n + 1) = n \cdot \Gamma(n) = n! \quad (5.11)$$

Denklem (5.7), (5.8) ve (5.9) z değerlerinde ele alınan gamma fonksiyonlarıdır [33]. Son olarak Denklem (5.11) elde edilmektedir. Denklem (5.11) gamma fonksiyonunun farklı değerlerinde elde edilen en genel halidir [33]. Gamma fonksiyonunun başka bir özelliğine bakıldığında ise fonksiyonun $z = -n$ ($0,1,2,\dots$) kutup noktaları ele alındığında sonsuza ıraksadığı görülmektedir [33], [34].

5.2.2. Laplace Dönüşümü ve Özelliği

Laplace dönüşümünün en temel tanımını kısaca ele alacak olursak t değişkenini içinde bulunduğu bir t uzayında çözümü çok zor olan bir diferansiyel denklemi, s değişkeninin bulunduğu s uzayına taşıyarak çözümü daha kolay olan bir probleme dönüştürmektedir. Bu dönüşümde bir f fonksiyonu reel bir değer olan t serbest değişkenine bağlı integrali alınabilen bir fonksiyon olsun. Bununla birlikte $t > 0$ olmak üzere s reel bir sayı olsun ve bu parametreye bağlı olarak da bir \tilde{f} fonksiyonu göz önüne alınarak yazılsın [33].

$$L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt = \tilde{f}(s) \quad (5.12)$$

Denklem (5.12) Laplace fonksiyonudur. Denklem (5.12)'de verildiği gibi yazılır bu denkleme baktığımızda s 'nin bütün değerleri için sağlanabiliyor ise \tilde{f} fonksiyonuna biz f fonksiyonunun Laplace dönüşümü olarak adlandırırız [33].

Bu fonksiyonunun tanımına bakılmaya devam edildiğinde ise f ve g $0 \leq t \leq b$ sürekli ve üstel merteye ile kapalı aralığında alınan aynı zamanda Laplace dönüşümü yapılabilen iki fonksiyon ele alınsın bu fonksiyonlar konvolüsyon çarpımları adı verdiğimiz şekli $f * g$ olarak gösterilmektedir ve Denklem (5.13) verdiğimiz denklemden de ifade edilmektedir.

$$f(t) * g(t) = \int_0^t f(\tau)g(\tau - t) dt \quad (5.13)$$

Denklem (5.13) Laplace dönüşümü yapabilen iki fonksiyonlu halidir. Ayrıca bu çarpım değişme özelliği, birleşme özelliği, toplama üzerine dağılma özelliği gibi çeşitli özelliklere de sahiptir.

Bu çarpımın Laplace dönüşümü ele alındığında ise Denklem (5.14)'de görüldüğü şekilde;

$$L\{f(t) * g(t)\} = \tilde{f}(s) * \tilde{g}(s) \quad (5.14)$$

Denklem (5.14) İki fonksiyonlu Laplace dönüşümü uygulanmış halidir [33], [35].

5.2.3. Mittag-Leffler Fonksiyonu ve Özellikleri

1905 yılında Mittag-Leffler tarafından öne sürülen bu fonksiyon birçok geçmiş çalışmalar ve literatürlere bakıldığında özel bir fonksiyon olarak ele alınmaktadır ve fonksiyon;

$$E_{\alpha}Z = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha k + 1)} \quad (5.15)$$

Denklem (5.15)'de ki seri açılımı ile verilmektedir. Denklem Mittag-Leffler fonksiyonudur [33]. Bu fonksiyona bakıldığında karşımıza bir α değeri çıkmaktadır. Burada $\alpha = 1$ değerimiz bizim fonksiyon $\exp(z)$ fonksiyonuna indirgenmektedir. Mittag-Leffler fonksiyonunun kesirsel diferansiyel denklemlerin çözümündeki önemi ele alındığında ise tamsayı mertebeli diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan üstel fonksiyon $\exp(z)$ kadar önemli bir yere sahip olduğunu görmekteyiz. Mittag-Leffler fonksiyonunu α nın tamsayı değerleri için ifade edecek olursak;

$$E_0(z) = \frac{1}{1-z} \quad (5.16)$$

$$E_1(z) = \exp(z) \quad (5.17)$$

$$E_2(z) = \cosh(\sqrt{z}) \quad (5.18)$$

$$E_3(z) = \frac{1}{3} \left[\exp(\sqrt[3]{z}) + 2 \exp\left(-\frac{\sqrt[3]{z}}{2}\right) \cdot \cos \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt[3]{z} \right] \quad (5.19)$$

$$E_4(z) = \frac{1}{2} [\cos^4 \sqrt{z} + \cosh^4 \sqrt{z}] \quad (5.20)$$

Denklem (5.16) gibi ifade edilmektedir. Ve Mittag-Leffler fonksiyonunun alfanın farklı değerlerindeki gösterimleri Denklem (5.17), (5.18), (5.19) ve (5.20) ile verilmektedir.

Tek parametrelili Mittag-Leffler fonksiyonun iki parametrelili olarak gösterilmiş hali ise;

$$E_{\alpha, \beta}Z = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha k + \beta)} \quad (5.21)$$

Denklem (5.21) ile verilmektedir. Denklem (5.21) iki parametrelili Mittag-Leffler fonksiyonudur [33].

Burada görüldüğü gibi α ve β olmak üzere fonksiyon iki parametrelili formda ele alınmıştır $\alpha, \beta > 0$ ve $\beta = 1$ koşulunda tek parametrelili Mittag-Leffler formuna geri

dönmektedir.

Ayrıca çok sayıda değişken içeren Mittag-Leffler formunu da ele alacak olursak Denklem (5.22)'de görüldüğü gibi olmakla birlikte bu formu operatör metoduyla sabit katsayılı lineer diferansiyel denklemlerin çözümlenmesinin yapımında bize oldukça yardımcı olur [33].

$$E(\alpha_1, \dots, \alpha_m), \beta(z_1, \dots, z_m) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{\substack{l_1 + \dots + l_m = k \\ l_1 > 0, \dots, l_m > 0}} \frac{(k; l_1 \dots l_m) \prod_{i=1}^m z_i^{l_i}}{\Gamma(\beta + \sum_{i=1}^m \alpha_i l_i)} \quad (5.22)$$

Denklem (5.22) Mittag-Lefflerin çok sayıda değişken içeren halidir. Denklem (5.22) l_1 'den başlayarak l_m kadar olan ifadeler çok terimli değişkenlerdir [33].

5.3. KESİRSEL TÜREV VE İNTEGRAL TANIMLARI

Geçmişten günümüze birçok kesirsel türev ve integral tanımı geliştirilerek ortaya sunulmuştur fakat geçmişteki ve günümüzdeki literatürlere bakıldığında bunlardan en yaygın olanlarından bir tanesi Grünwald-Letnikov tanımıdır, bu tanım nümerik hesaplamalarda kullanılmaktadır. Diğer bir tanıma bakıldığında ise Riemann-Liouville (RL) olarak ifade edilen bir tanımdır, bu tanım analitik hesaplamalar için çözümler yapmaktadır. En son olarak en yaygın olan tanımlardan birisi Caputo tanımını ele alacak olursak bu tanımı Rieamann kesirsel türev tanımında olduğu gibi analitik hesaplamalar için kullanılmaktadır. Fakat yapılan çalışmalarda ve genel anlamda kullanım alanlarına bakıldığında ise matematikçilerin en yaygın olarak kullandığı tanım Riemann-Liouville tanımıdır. Fizikçiler ve mühendislerin ise tercih ettikleri tanım ise Caputo tanımıdır. Bu bölümde kısaca bahsettiğimiz bu tanımları daha kapsamlı bir şekil de ele alınmaktadır [34], [36].

5.3.1. Grünwald-Letnikov Tanımı ve Özellikleri

Türevin en genel ve bilindik tanımından ele alınarak ifade edilen bu tanıma bakacak olursak bir $y = f(t)$ fonksiyonu ele alınmaktadır ve bu fonksiyonun ardışık olarak türevleri alınarak Denklem (5.23), (5.24) ve (5.25)'de görüldüğü gibi ifade edilmektedir [33], [34], [36], [37].

$$f'(t) = \frac{df}{dt} = \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ \frac{[f(t) - f(t-h)]}{h} \right\} \quad (5.23)$$

$$f''(t) = \frac{d^2f}{dt^2} = \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ \frac{[f'(t) - f'(t-h)]}{h} \right\} \quad (5.24)$$

$$= \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ \frac{[f(t) - 2f(t-h) + f(t-2h)]}{h^2} \right\}$$

$$f'''(t) = \frac{d^3 f}{dt^3} = \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ \frac{[f''(t) - f''(t-h)]}{h} \right\} \quad (5.25)$$

$$= \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ \frac{[f(t) - 3f(t-h) + 3f(t-2h) - f(t-3h)]}{h^3} \right\}$$

Buradan da görüldüğü gibi katsayıların değişen işaretlerine bakıldığında aslında binom katsayıları olduğu açıkça belirtilmektedir. Tabi ki n. mertebeden bir türev için denklemi genelleyecek olursak;

$$f^{(n)} = \frac{d^n f}{dt^n} = \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ \frac{1}{h^n} \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \binom{n}{j} f(t - jh) \right\} \quad (5.26)$$

Denklem (5.26)'da belirtildiği gibi yazıldığını görmekteyiz. Denklem (5.26) n. Mertebeden türevin genel halidir [33], [34]. Bu fonksiyona bakıldığında eğer n. mertebeden türevinin var olduğunu söyleyebilirsek o zaman bu son denklemimiz sınırsız bir limit adı altında $\frac{d^n f}{dt^n}$ türevini tanımlamış oluruz. Bu türev ifadesindeki h değerimize bakıldığında ise aradaki bütün değerleri de kapsayacak şekilde yani başka bir değişle sıfır değerine sürekli olarak gitmektedir. Türev için yazdığımız bu ifadelerden yola çıkarak aslında bir toplamın limiti olarak da ifade edebilir ve bu söylemden yola çıkılarak da integral tanımını da yapacak şekilde bu bağlamda birleştirebiliriz. İntegral değerimizi tanımlamamız için öncelikle buradaki h değerimiz sıfır değerine kesikli olarak yaklaşmalıdır. Buradan da $[a, t]$ aralığını N eşit parçaya bölerek a ve t ifadeleri integral aralıklarıdır, h ifadesi

$$h = \frac{t-a}{N}, \quad N=1,2,3,4\dots \text{olarak yazılırsa eğer türev ifadesinde } h \text{ değerini yerine}$$

koyduğumuzda türev fonksiyonu;

$$\frac{d^n f}{dt^n} = \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ [h]^{-n} \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \binom{n}{j} f(t - jh) \right\} \quad (5.27)$$

Denklem (5.27)'den yola çıkılarak da eğer sınırsız limit değerimiz gibi sınırlı limit değerimizde mevcut ise o zaman biz Denklem (5.27)'yi yazılabilmektedir [33], [34].

$\binom{n}{j}$ olarak ifade edilen binom katsayıları da $j > n$ durumunda sıfır olacaktır. Bu ifadelerden yola çıkılarak da denklemimizi yeniden yazıldığında;

$$\frac{d^n f}{dt^n} = \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ [h]^{-n} \sum_{j=0}^{N-1} (-1)^j \binom{n}{j} f(t - jh) \right\} \quad (5.28)$$

Denklemin yeni hali Denklem (5.28) gösterildiği gibidir [33]. Bu yeni yazılan

denklemden yola çıkılarak da limit değerimizin sürekli olduğu durumlarda da var olduğu düşüncesinden yola çıkılarak n. dereceden türevi;

$$\frac{d^n f}{dt^n} = \lim_{N \rightarrow \infty} \left\{ \left[\frac{t-a}{N} \right]^{-n} \sum_{j=0}^{N-1} (-1)^j \binom{n}{j} f \left(x - j \left[\frac{t-a}{N} \right] \right) \right\} \quad (5.29)$$

Denklem (5.29) şeklinde yazılabilir. Denklem (5.29) n. dereceden türevi yazılmış halidir. Buradaki N de toplam sembolünün üst kısmındaki sınırlayan bölgedir [33], [34], [35].

$$\frac{d^n}{d(t-a)^n} = \frac{d^n}{dt^n} \quad (5.30)$$

Denklem (5.30) olduğunu düşünülürken eğer türev ifadesi için;

$$\frac{d^n f}{d[t-a]^n} = \lim_{N \rightarrow \infty} \left\{ \left[\frac{t-a}{N} \right]^{-n} \sum_{j=0}^{N-1} (-1)^j \binom{n}{j} f \left(t - j \left[\frac{t-a}{N} \right] \right) \right\} \quad (5.31)$$

Denklem (5.31) şeklinde ele aldığımızda fonksiyonu n katlı integral için tanımlayacak olursak eğer bu fonksiyonun integralinin altında kalan alana eşit olduğu düşüncesinden yola çıkılarak da;

$$\begin{aligned} \frac{d^{-1} f}{d(t-a)^{-1}} &= \int_a^t f(t_0) dt_0 \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \{ h [f(t) + f(t-h) + f(t-2h) \dots f(a+h)] \} \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \{ h \sum_{j=0}^{N-1} f(t-jh) \} \end{aligned} \quad (5.32)$$

Denklem (5.32) elde edilmektedir. Denklem (5.32) tek katlı gösterilmiş halidir. İki katlı integrali için ise;

$$\begin{aligned} \frac{d^{-2} f}{d(t-a)^{-2}} &= \int_a^t dt_1 \int_a^{t_1} d(t_0) dt_0 \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \{ [h]^2 [f(t) + 2f(t-h) + 3f(t-2h) \dots Nf(a+h)] \} \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \{ [h]^2 \sum_{j=0}^{N-1} (j+1) f(t-jh) \} \end{aligned} \quad (5.33)$$

Denklem (5.33) iki katlı gösterilmiş hali, n katlı integrali için denklem ifade edilecek olursa j de burada başlangıç noktasıdır.

$$\begin{aligned} \frac{d^{-n} f}{d(t-a)^{-n}} &= \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ [h]^n \sum_{j=0}^{N-1} \binom{j+n-1}{j} f(t-jh) \right\} \\ &= \lim_{N \rightarrow \infty} \left\{ \left[\frac{t-a}{N} \right]^n \sum_{j=0}^{N-1} \binom{j+n-1}{j} f \left(t - j \left[\frac{t-a}{N} \right] \right) \right\} \end{aligned} \quad (5.34)$$

Denklem (5.34) n katlı gösterimi ile ifade edilir ve burada $\binom{j+n-1}{j}$ toplam katsayıları

bakıldığında ise bu ifade şeklin de ilerlemektedir ve bütün terimlerin işaretleri artı olacak şekilde ilerlemektedir [33],[34],[35].

$$(-1)^j \binom{n}{j} = \binom{j-n-1}{j} = \frac{\Gamma(j-n)}{\Gamma(-n)\Gamma(j+1)} \quad (5.35)$$

Denklem (5.35)'deki Gamma ifadesinden yola çıkılarak; [33]

$$\frac{d^q f}{d(t-a)^q} = \lim_{N \rightarrow \infty} \left\{ \left[\frac{t-a}{N} \right]^{-q} \sum_{j=0}^{N-1} \binom{j-q-1}{j} f \left(t - j \left[\frac{t-a}{N} \right] \right) \right\} \quad (5.36)$$

$$\frac{d^q f}{d(t-a)^q} = \lim_{N \rightarrow \infty} \left\{ \frac{\left[\frac{t-a}{N} \right]^{-q}}{\Gamma(-q)} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{\Gamma(j-q)}{\Gamma(j+1)} f \left(t - j \left[\frac{t-a}{N} \right] \right) \right\} \quad (5.37)$$

Denklem (5.36) ve (5.37) elde edilmektedir. Burada q değerine bakıldığında ise $q > 0$ da türev için , $q < 0$ da ise integral tanımlarını bize vermektedir. Bu ifadelerden yola çıkılarak da aslında tek bir formülle bize türev ve integral tanımlarını vermiş olduğunu görmekteyiz. Başta da belirttiğimiz üzere aslında bu tanım genelde nümerik hesaplamalar için kullanılmaktadır. Bakıldığında fonksiyonun kendisinden yola çıkılarak hem türev tanımı hem de integral tanımını hesaplamada kolaylık sağlamaktadır [33], [34], [36], [37].

5.3.2. Riemann-Liouville Tanımı ve Özellikleri

Riemann-Liouville tanımını, genelde matematikçiler için analitik hesaplamaları çözümlenmede kullanılmaktadır.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (5.38)$$

Denklem (5.38)'de ifade edilmiş türev tanımını ele alarak Riemann-Liouville tanımı elde etmek için a dan t ye integraline bakıldığında Denklem (5.39) denkleminde olduğu gibi ifade edilmektedir,

$$\int_a^t f(\tau) d\tau = F(t) - F(a) \quad (5.39)$$

Denklem (5.39), Denklem (5.38)'in açık olarak yazılmış halidir. Bu ifadenin t ye göre türevi alınarak yazılacak olursa Denklem (5.40) ve (5.41) elde edilir. Buradaki a ve t integral aralıklarıdır [33], [34], [38].

$$\frac{d}{dt} \int_a^t f(\tau) d\tau = \frac{d}{dt} F(t) \quad (5.40)$$

$$\frac{d}{dt} \int_a^t f(\tau) d\tau = \frac{d}{dt} f(t) \quad (5.41)$$

Denklem (5.40) ve (5.41) t 'ye göre türevleri alınmış Denklem (5.39) denklemdir. Bu denklemde integrali $\int_a^t f(\tau) d\tau = I$ olarak ele alınırsa;

$$I = \int_{U(t)}^{V(t)} f(\tau) d\tau \quad (5.42)$$

$$I = I(V(t), U(t)) \quad (5.43)$$

Denklem (5.42) ve (5.43) kısmi türev tanımlarıdır. Burada hem $U(t)$ ye bağlı hem de $V(t)$ ye bağlı olarak ifade edilmiş olur. Buradan da kısmi türev özelliğinden yola çıkılarak Denklem (5.42) ve (5.43)'den;

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\partial I}{\partial V(t)} \frac{\partial V(t)}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial U(t)} \frac{\partial U(t)}{\partial t} \quad (5.44)$$

Denklem (5.44) kısmi türev tanımı özelliğinden elde edilmektedir. Bu ifade I yerine yazılarak integral alma işlemi yapılacak olursa eğer;

$$\frac{d}{dt} \int_{U(t)}^{V(t)} f(\tau) d\tau = \frac{\partial}{\partial V(t)} \int_{U(t)}^{V(t)} f(\tau) d\tau \frac{\partial V(t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial U(t)} \int_{U(t)}^{V(t)} f(\tau) d\tau \frac{\partial U(t)}{\partial t} \quad (5.45)$$

$$\frac{d}{dt} \int_{U(t)}^{V(t)} f(\tau) d\tau = f(V) \frac{dV}{dt} - f(u) \frac{dU}{dt} \quad (5.46)$$

Denklem (5.46) denklemi integrali alınmış Denklem (5.44) denkleminin son hali olarak ifade edilmiş olur.

$\frac{d}{dt} \int_a^b f(t, \tau) d\tau = \int_a^b \frac{\partial f(t, \tau)}{\partial t} d\tau$ integral özelliğinden faydalanılacak olursa buradan a ve b için sabit değerler olduğu düşünülürse;

$$I = \int_{U(t)}^{V(t)} f(t, \tau) d\tau \quad (5.47)$$

Denklem (5.47) integral tanımıdır ve Denklem (5.47) integrali baz alınarak;

$$I = I(t, V(t), U(t)) \quad (5.48)$$

Denklem (5.48) denklemi göz önüne alınarak kısmi türev kullanılarak;

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\partial I}{\partial V(t)} \frac{\partial V(t)}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial U(t)} \frac{\partial U(t)}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial t} \quad (5.49)$$

Denklem (5.49) oluşur. Burada ise $\frac{\partial I}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial t} = \frac{dI}{dt}$ olarak yazıldığında;

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_{U(t)}^{V(t)} f(t, \tau) d\tau &= \frac{\partial}{\partial V(t)} \int_{U(t)}^{V(t)} f(t, \tau) d\tau \frac{\partial V(t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial U(t)} \int_{U(t)}^{V(t)} f(t, \tau) d\tau \frac{\partial U(t)}{\partial t} \\ &+ \frac{d}{dt} \int_{U(t)}^{V(t)} f(\tau) d\tau \end{aligned} \quad (5.50)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_{U(t)}^{V(t)} f(\tau) d\tau &= \frac{\partial}{\partial V(t)} (F(t, V) - F(t, U)) \frac{\partial}{\partial V(t)} + \frac{\partial}{\partial U(t)} \\ &\div (F(t, V) - F(t, U)) \frac{\partial U(t)}{\partial t} + \int_{U(t)}^{V(t)} \frac{\partial}{\partial t} f(t, \tau) d\tau \end{aligned} \quad (5.51)$$

Denklem (5.49)'un integrali alınmış son hali Denklem (5.51) olarak verilmektedir. Son olarak da buradan Leibniz olarak adlandırılan eşitliği elde etmiş oluruz.

$$\frac{d}{dt} \int_{U(t)}^{V(t)} f(\tau) d\tau = f(t, V) \frac{dV}{dt} - f(t, U) \frac{dU}{dt} + \int_{U(t)}^{V(t)} \frac{\partial f(t, \tau)}{\partial t} d\tau \quad (5.52)$$

Denklem (5.52) Leibniz eşitliğidir. $I_n(t)$ integrali olarak adlandırılan;

$$I_n(t) = \int_a^t (t - \tau)^{n-1} f(\tau) d\tau \quad (5.53)$$

Denklem (5.53) integral tanımıdır. Bu denklem ele alındığında da burada a sabit bir sayı ve $n \in \mathbb{Z}^+$ olarak Leibniz kuralı uygulandığında $f(t, \tau) = (t - \tau)^{n-1} f(\tau)$ olduğunu görmekteyiz. Bu türe ve bakacak olursak;

$$\frac{dI_n(t)}{dt} = (n - 1) \int_a^t (t - \tau)^{n-2} f(\tau) d\tau + [(t - \tau)^{n-1} f(\tau)]_{\tau=t} \quad (5.54)$$

Denklem (5.54) yazılabilir.

Buradan da eşitliğin sağ tarafı ele alındığında $n > 1$ için göz önüne alırsak sıfıra gittiği görülmektedir bundan dolayı da ifade $n > 1$ için bakıldığında;

$$\frac{dI_n(t)}{dt} = (n - 1) I_{n-1} \quad (5.55)$$

$n = 1$ düşünüldüğünde;

$$\frac{dI_1}{dt} = f(t) \quad (5.56)$$

Denklem (5.55) ile ifade edilen denklemin k defa türevi alındığında;

$$\frac{d^k I_n(t)}{dt^k} = (n - 1)(n - 2) \dots (n - k) (I)_{n-k} \quad (5.57)$$

Denklem (5.57)'yi elde etmiş oluruz ve buradan da $k = n - 1$ değeri için;

$$\frac{d^{n-1} I_n}{dt^{n-1}} = (n - 1)! I_1(t) \quad (5.58)$$

Denklem (5.58) denkleminde de yola çıkılarak

$$I_1(t) = \int_a^t f(t_1) dt_1 \quad (5.59)$$

Denklem (5.59)'daki ifadenin de n ifadeli olarak yazılmış hali bize Cauchy integral formunu vermektedir. Buradan yola çıkılarak da

$$\frac{d^\alpha}{d(t-a)^\alpha} = \frac{1}{\Gamma(-\alpha)} \int_a^t (t-\tau)^{-\alpha-1} f(\tau) d\tau \quad a < 0 \quad (5.60)$$

Denklem (5.60) şeklini alınır ve bu ifade Riemann-Liouville olarak tanımlanmaktadır. Buradan da kesirsel türevin ifadesini tam anlamıyla belirtecek olursak;

$$D^\alpha f(t) = \begin{cases} \frac{d^m}{dt^m} \left[\frac{1}{\Gamma(m-\alpha)} \int_0^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^{\alpha+1-m}} d\tau, m-1 < \alpha < m \right] \\ \frac{d^m}{dt^m} f(t), \quad \alpha = m \end{cases} \quad (5.61)$$

Denklem (5.61) formüle dökülmüş hali olarak yazılmaktadır [33], [34], [38].

5.3.3. Caputo Tanımı ve Özellikleri

Caputo tanımını da kısaca özetleyecek olursak, bu tanımda $\alpha > 0$ değerleri için bakıldığında;

$$D^\alpha f(t) = J^{m-\alpha} D^m f(t), \quad m-1 < \alpha < m \quad (5.62)$$

Denklem (5.62)'deki gibi ifade edilmektedir [38]. Caputo tanımı özellikle fen ve mühendislik alanlarında fazlasıyla tercih edilmektedir denklem başlangıç koşulları ele alındığında fiziksel olarak anlamlı hale gelmektedir. D^α ifadesi Caputo tanımını vermektedir.

$$D^\alpha f(t) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(m-\alpha)} \int_0^t \frac{f^m(\tau)}{(t-\tau)^{\alpha+1-m}} d\tau, m-1 < \alpha < m \\ \frac{d^m}{dt^m} f(t), \quad \alpha = m \end{cases} \quad (5.63)$$

Caputo ve Riemann-Liouville tanımları birbirlerine benzeseler de eşit değildir. Türev ve integralin uygulanması açısından farklılıklar gösterir. Denklem (5.63)'de gördüğümüz ifadenin gamma fonksiyonlarından yararlanılarak elde edilmiş haline bakacak olursak eğer;

$D^\alpha f(t) = D^\alpha f(t) \sum_{k=0}^{m-1} \frac{t^{k-\alpha}}{\Gamma(k-\alpha+1)} f(t)$ olarak Caputo ve Riemann arasındaki ilişkiyi veren denklem elde edilmiş olur [38].

6. PİLLER

Pilin tanımına bakıldığında taşınabilir güç kaynağı olarak adlandırabiliriz. Kimyasal enerjiden elektrik enerjisi üreten yapılar olarak da adlandırılabilir. Başka bir deyişle elektrik depolayabilen elektrokimyasal ünitelerdir. Taşınabilir yapılar olması nedeniyle günlük hayatımızda kolaylık sağlar. Pilleri beş başlık halinde çeşitlendirebiliriz.

- 1) Yapısal özelliklerine göre
- 2) Şekillerine göre
- 3) Kimyasal özelliklerine göre
- 4) Kullanım amaçlarına göre
- 5) Boyutlarına göre

Kimyasal özelliklerine göre pilleri birincil piller (şarj edilemeyen) ve ikincil piller (şarj edilebilen) olarak sınıflandırabiliriz. Dünyada farklı türde pil ve batarya sistemleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Nikel Kadmiyum (NiCd), Nikel Metalhidrit (NiMH), Lityum İyon (Li-iyon), Lityum Polimer (Li-polymer), Magnezyum Vanadyum Redox teknolojileridir.

6.1. NİKEL KADMİYUM

Nikel ve Kadmiyumdan yapılmış olan pil yapısı hafızalı piller olarak da adlandırılmaktadır. Kısa sürede yüksek enerji yoğunluğu sağlayan bu batarya sistemleri telsiz telefonları ve ev işlerinde kullandığımız küçük aletleri çalıştırmak için kullanılmaktadır. Nikel kadmiyum pillerin elektrokimyasal yapısı incelendiğinde elektrotların fiziksel yapısını değiştirmeden üzerinde bulunan aktif maddelerin oksidasyonla değişebileceği biçimdedir [39]. Bu pillerin uzun ömürlü olmasının nedeni ise kimyasal reaksiyon sonucu herhangi bir kaybı olmamasıdır [39].

6.2. NİKEL METAL HİDRAT

Şarj edilebilme özellikleri incelendiğinde nikel-kadmiyum piller gibi davrandığını

söyleyebiliriz. Nikel-kadmiyum yapısına göre daha yüksek iç dirence sahiptir. Piller kullanılmadığı durumlarda akım sızdırarak zamanla boşalırlar. Bu olay nikel-metalhidrit pillerinde daha fazla görülmektedir. Elektriksel ve mekanik özellikleri yönünden nikel-kadmiyum pillere benzerlik göstermektedirler. Kadmiyum elementi içermemeleri nedeniyle çevre bakımından kullanılabilirliği tercih sebebi olabilmektedir [39].

6.3. LİTYUM POLİMER

Lityum polimer piller 1970 yılında gelişmeye başlamıştır. Lityum-polimer pillerin üretilmesinde amaç ince pil yapısının oluşturulabilmesidir. Bu tür piller başlangıçta çok iyi çalışmalarına rağmen pil sisteminin çalışması için oluşturulan döngünün sonlarına doğru işlevlerini yitirmektedirler. Dezavantajına bakıldığında ise bu tür piller 80 °C ile 120 °C sıcaklıkları arasında çalışmak istemeleridir. Böyle bir durumda her zaman gerçekleştirilememektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar sayesinde sıcaklığın Lityum-polimer pil üzerindeki sınırlamayı kaldırdığını söyleyebilmekteyiz [39].

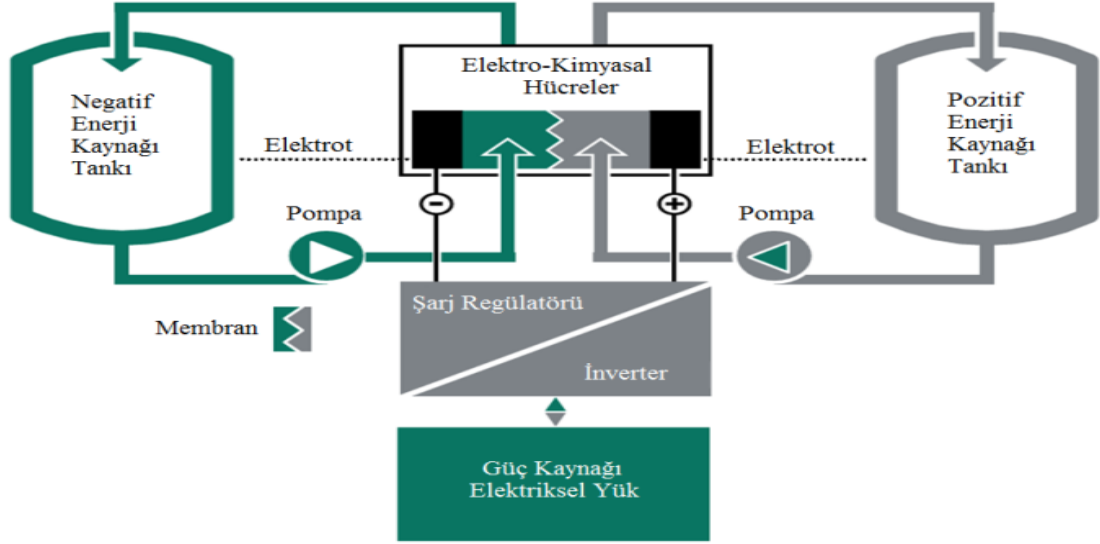
6.4. MAGNEZYUM

Kanadalı teknoloji şirketinin geliştirdiği magnezyum piller lityum-iyon pillere göre daha fazla enerji depolayabilmektedir. En önemli avantajlarından biri olan magnezyum piller aynı boyutlara sahip olan lityum-iyon pillere göre beş kat daha fazla enerji depolayabilmektedir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalar açısından büyük önem taşıyan magnezyum piller Türkiye’de de bolca bulunan rezervleri sayesinde ülkemiz açısından da büyük avantajlar sağlayacaktır. Ayrıca günümüz pillerine göre daha küçük boyutlara daha fazla enerji depolayabilmesi de özellikle elektrikli araç teknolojisinin de yeni bir kıvılcım daha doğurmuştur. Ekonomik olarak da lityum pillere göre çok daha avantajlıdır.

6.5. VANADYUM

İnsan vücudunda bile az miktarda bulunan bu elementin atom numarası 23 olarak bilinmektedir. Bu element gümüş rengine sahiptir ve sert bir yapısı bulunmaktadır. Ülkemizin birçok yerinde de bu metale rastlamak mümkündür. Vanadyum teknolojisinin en büyük avantajlarından biri güneş elektrik sistemleri, rüzgâr elektrik

sistemleri ve daha birçok elektrik sistem ile uyumlu olarak çalışıp özellikle Güneş ve rüzgâr santrallerinde destekleyici güç kaynağı olarak kullanılabilir. Tanklarda ki (-) ve (+) kimyasal reaksiyon gerçekleşmesi sonucu enerji elde edilmektedir [40].



Şekil 6.1. Vanadyum redox akışkan teknolojisinin çalışma prensibi [40].

Şekil 6.1’de Vanadyum redox akışkan teknolojisinin çalışma prensibi gösterilmektedir. Burada sıvı enerji kaynakları 2 tankta depolanmakta ve elektrokimyasal hücreler sayesinde pompalanmaktadır. Üretimde yarım şarjlı olduğu halde 1,4 V, tam şarj durumunda ise 1,6 V hücre gerilimi görülmektedir [40].

6.6. LİTYUM-İYON PİL

Tekrar olarak şarj edilebilir olan piller ikincil pil olarak karşımıza çıkmaktadır. Deşarj olduktan sonra tekrar şarj olabilir elektrokimyasallar olarak da adlandırılmaktadır. Diğer pillere göre çok fazla avantajları bulunmaktadır. Bunlar;

1. Bakım gerektirmemesi
2. Diğer pillere göre daha uzun ömürlü olması
3. Geniş çalışma sıcaklık aralığına sahip olması
4. Uzun ömürlü olmaları
5. Çabuk şarj edilebilmesi
6. Çok yüksek güçte deşarj olabilmesi

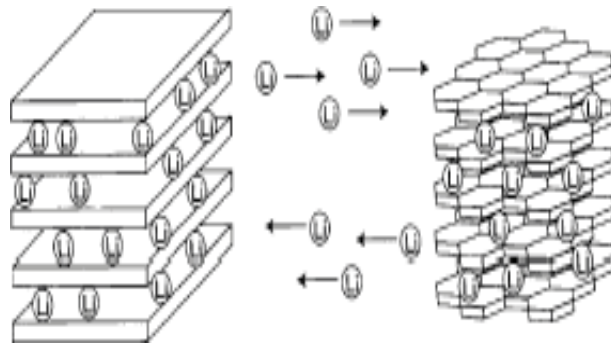
Daha birçok avantajları bulunmakla birlikte dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan

kısaca bahsedecek olursak çok yüksek sıcaklıklarda bozulmaları, fiyatlarının çok yüksek olması, koruyucu devre ihtiyaçlarının oluşu ve termal bozunma gibi pek çok dezavantaja sahiptir.

Lityum iyon pillerin çalışma prensiplerine bakıldığında ise diğer pillerde olduğu gibi enerjiyi üretmek ve depolamaktan sorumlu üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar anot, katot ve elektrolit olarak üç başlık altında ele alınabilir [41]. Tekrar şarj edilebilir lityum-iyon pillerde verim, kapasite ile belirlenmektedir. Hücrede kapasite aktif malzeme miktarı ile belirlenmektedir.

Geçmişten günümüze lityum-iyon pil için farklı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalara bakıldığında Fuller ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bir çift lityum-iyon pil için izotermal olan bir elektrokimyasal model geliştirdiler bu modele bakacak olursak, bununla birlikte Botte ve arkadaşları da yaptıkları çalışmalar da bir model geliştirmişlerdir [42], [43]. Baker ve Vebrugge ise pil sistemleri için genel bir termal-elektrokimyasal model geliştirmişlerdir [44]. Model çok boyutlu olmakla birlikte pil içindeki sıcaklığı tahmin edebilir. Bu model yardımıyla lityum-iyon pil için termal elektrokimyasal çalışmalarda gerçekleştirilmiştir [44].

Lityum-iyon pilin çalışma prensibine baktığımızda diğer pil sistemlerinde görüldüğü gibi enerji üretmek ve depolayabilmek için negatif elektrot olan anot malzeme ile pozitif elektrot olan katot malzeme görev almaktadır. Pozitif elektrotlar genelde tünel ve tabakalı yapıya sahip iken negatif elektrotlar sadece tabakalı yapıya sahiptirler. Bu tabakalar sayesinde Şekil 6.2'de görüldüğü gibi pilin şarj ve deşarj olayı sırasında lityum-iyonları arasında pozitif ve negatif geçişler sağlanmaktadır. Bu reaksiyon sırasında anot ve katotlar sabit iken lityum sürekli onları ziyaret eder.



Şekil 6.2. İkincil pillerin şarj-deşarj mekanizması [45].

Anot ve katot reaksiyonlarının hücrede oluşabilmesi için elektrotların elektriği iletmesi gerekmektedir. Bu sebeple yüksek iletken metal folyolar üzerine elektrotlar folyo

üzerinde toplanır ya da lamine edilir. Elektrotların kısa devreye sebep olmaması için mikro gözenekli seperatörler kullanılır. Ayrıca iletkenliğin sağlanması amacıyla katı elektrolitler hücrenin içinde lityum-iyonlarının yerlerinin değişmesini sağlamaktadır. Lityum-iyon pillerde verim kapasite sayesinde belirlenmektedir. Hücre içerisinde ki kapasite, tam dolmuş halindeki pilden belirli deşarj koşullarında oluşan toplam amper saat (Ah) olarak ifade edilir. Lityum iyon pilin güvenli, uzun ömürlü olması ve yüksek kapasiteli olması beklenmektedir [45].

6.7. LİTYUM-İYON PİLİN KESİRSEL TERMAL MODELLEMESİ

Geçmiş yıllarda ve günümüzde Lityum-iyon pilin önemine bakıldığında yenilenebilir enerji alanındaki yeri oldukça fazladır. Elektrikli araçlarda ve hibrit alanında kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır [46]. Böyle sistemlerin maliyetleri oldukça fazladır fakat son yıllarda ve geçmişte lityum-iyon pil adına farklı çalışmalar yapılmıştır [47], [44].

Yapılan çalışmalardan da yola çıkılarak lityum-iyon pili kusursuz bir biçimde tasarlayabilmek için pilin performansı ve güvenilirliği dikkat edilmesi gereken en temel özelliklerden bazılarıdır. Lityum-iyon piller termal ortamlardan fazlasıyla etkilenmektedirler ve bu da pilin performansını oldukça etkilemektedir. Pilin içyapısında meydana gelen elektrokimyasal ve kimyasal olaylar şarj ve deşarj durumlarının gerçekleştiği sırada meydana gelmektedir. Pilin ısıl davranışı bu şekilde belirlenmektedir [47].

Lityum-iyon pilin ısıl davranışlarını incelemek adına deneysel çalışmalar yapılmıştır fakat bunun yanında matematiksel modellemelere de ihtiyaç duyulmuştur. Bunun üzerine Yanji ve arkadaşları bir lityum-iyon pil için standart termal model geliştirmişlerdir [44].

Bu model aşağıda verilen denklem ile en basit biçimde ifade edilmiştir.

$$mc_p \frac{dT}{dy} = hA_s(T_\infty - T) \quad (6.1)$$

Bu matematiksel model ile düşük sıcaklıklardaki pilin karakteristik yapısı incelenmektedir ve yapılmış olan deneysel çalışma ile sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Denklemde; m değeri kütle, c_p değeri özgül ısı kapasitesi, h değeri konvektif ısı kapasitesi ve A_s değerimizde pil yüzey alanı olarak tanımlanmaktadır. Denklem genel çözümüne bakıldığında ise aşağıdaki formda görülmektedir.

$$T - T_{\infty} = e^{\frac{-t}{\tau}} \quad (6.2)$$

Denklemin (6.2) genel çözümünde ki τ ise karakteristik soğuma zamanını temsil etmektedir [44]. Yaptığımız bu çalışmada Yanji ve arkadaşlarının standart termal denkleminde yola çıkarak denklemi kesirsel olarak ele almak için aşağıdaki yolları izlenmiştir.

İlk olarak standart termal modeli;

$$\frac{d}{dt} \rightarrow \frac{d^{\alpha}}{dt^{\alpha}} \quad (6.3)$$

Operatörünü tanımlanarak yeniden yazılmıştır ve aşağıda verilen Denklem (6.4) elde edilmiştir.

$$mc_p \frac{d^{\alpha}T}{dt^{\alpha}} = hA_s(T_{\infty} - T) \quad (6.4)$$

Denklem (6.4) kesirsel termal model olarak tanımlanmaktadır. Çözümü için Caputo kesirsel türev operatörünü kullanarak Denklem (6.5) ile verilen formda yeniden yazıldığında aşağıdaki forma dönüşmektedir.

$$D^{\alpha}[T(t)] + \left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{\alpha} T(t) = \left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{\alpha} T_{\infty} \quad (6.5)$$

$$D^{\alpha}T(t) = J^{m-\alpha}D^mT(t) = -\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{\alpha} T(t) + \left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{\alpha} T_{\infty} \quad (6.6)$$

$$J^{\alpha}J^mJ^{-m}D^mT(t) = -\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{\alpha} J^{\alpha}T(t) + J^{\alpha}b \quad (6.7)$$

$$T(t) - \sum_{n=0}^{m-1} T^n(0^+) \frac{t^n}{n!} = -\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{\alpha} J^{\alpha}T(t) + J^{\alpha}b \quad (6.8)$$

$m=1$ için;

$$\sum_{n=0}^{1-1} T^{(0)}(0^+) \frac{t^0}{n!} = T(0) = T(1) \quad (6.9)$$

$$T(t) - T_1 = -\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{\alpha} J^{\alpha}T(t) + J^{\alpha}b \quad (6.10)$$

Denklem (6.10) Caputo tanımı uygulanmış termal denklem. Caputo tanımı kullanılarak yeniden düzenlenen Denklem (6.10)'a Laplace dönüşümü uygulandığında;

$$L\{T(t)\} = L\{T(0)\} + L\left\{-\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{\alpha} J^{\alpha}T(t)\right\} + L\left\{J^{\alpha}\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{\alpha} T_{\infty}\right\} \quad (6.11)$$

$$\tilde{T}(s) = T(0) \frac{1}{s} - \left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha \frac{\tilde{T}(s)}{s^\alpha} + \left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha T_\infty \frac{1}{s^{\alpha+1}} \quad (6.12)$$

Denklem (6.13) denklemindeki forma dönüşmektedir. Ters Laplace uygulandığında da;

$$L^{-1}\{\tilde{T}(s)\} = L^{-1}\left\{\left(T_1 \frac{1}{s} + b \frac{1}{s^{\alpha+1}}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha}{s^\alpha}}\right)\right\} \quad (6.13)$$

Denklem (6.13)'e ters laplace uygulanmıştır.

$\frac{1}{1 + \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha}{s^\alpha}}$ Denklem (6.13)'teki bu ifadeyi Taylor Serisi açılımın da yazıldığında;

$$T(t) = L^{-1}\left\{\left(T_1 \frac{1}{s} + b \frac{1}{s^{\alpha+1}}\right) \cdot \left[1 - \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha}{s^\alpha} + \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{2\alpha}}{s^{2\alpha}} - \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{3\alpha}}{s^{3\alpha}} \dots\right]\right\} \quad (6.14)$$

$$T(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{s} T_1 \left[1 - \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha}{s^\alpha} + \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{2\alpha}}{s^{2\alpha}} - \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{3\alpha}}{s^{3\alpha}} + \dots\right] + b \frac{1}{s^{\alpha+1}} \left[1 - \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha}{s^\alpha} + \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{2\alpha}}{s^{2\alpha}} - \frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{3\alpha}}{s^{3\alpha}} + \dots\right]\right\} \quad (6.15)$$

$$T(t) = T_1 \left[L^{-1}\left\{\frac{1}{s}\right\} - L^{-1}\left\{\frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha}{s^{\alpha+1}}\right\} + L^{-1}\left\{\frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{2\alpha}}{s^{2\alpha+1}}\right\} - L^{-1}\left\{\frac{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{3\alpha}}{s^{3\alpha+1}}\right\} + \dots \right] + \frac{b}{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha} \left[\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha L^{-1}\left\{\frac{1}{s^{\alpha+1}}\right\} - \left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{2\alpha} L^{-1}\left\{\frac{1}{s^{2\alpha+1}}\right\} + \left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{3\alpha} L^{-1}\left\{\frac{1}{s^{3\alpha+1}}\right\} - \dots \right] \quad (6.16)$$

Denklem (6.14) ve (6.15) Taylor seri açılımında yazılmış Denklem (6.16)'dır.

$$T(t) = T_1 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left(-\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha t^\alpha\right)^n}{(n\alpha)!} - \frac{b}{\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left(-\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha t^\alpha\right)^n}{(n\alpha)!} \quad (6.17)$$

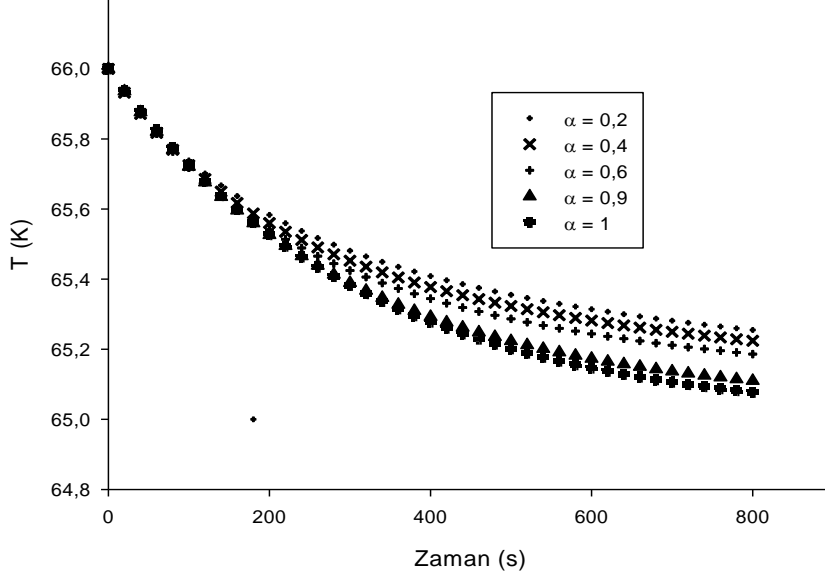
Denklem (6.17) seri açılımda düzenlenmiş halidir.

$$\underbrace{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left(-\left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha t^\alpha\right)^n}{(n\alpha)!}}_{E_\alpha} = 1 - \left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^\alpha \frac{t^\alpha}{(\alpha)!} + \left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{2\alpha} \frac{t^{2\alpha}}{(2\alpha)!} - \left(\frac{hA_s}{mc_p}\right)^{3\alpha} \frac{t^{3\alpha}}{(3\alpha)!} \quad (6.18)$$

Denklem (6.18) son çözümünden de termal modelin kesirsel çözümü elde edilir ve son hali Denklem (6.19)'da verildiği gibidir.

$$T - T_{\infty} = E_{\alpha}(-\tau/t) \quad (6.19)$$

Denklem (6.19)'da E_{α} tek parametrelili ML fonksiyonudur. $\alpha = 1$ durumunda standart termal denklem elde edilmektedir.



Şekil 6.3. Lityum-iyon pilin farklı alfa değerlerinde soğuma zamanı karakteristiği.

Şekil 6.3'de, Denklem (6.19)'un $T_{\infty} = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ değeri için ve $\alpha = 0,2, 0,4, 0,6, 0,9, 1$ değerleri için gösterilmiştir. Buradan soğuma zamanı tayini yapılarak farklı sıcaklıklarda pilin deşarj karakteristiği incelenmiştir ve soğuma zamanı en iyi sonucu standart denklemde de ele alındığı gibi farklı alfa değerlerinden yola çıkılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. T_{∞} sıcaklık değeri rasgele seçilmiş olup, zaman olarak 0 ile 800 s aralığı dikkate alınmıştır. Şekilden görüldüğü gibi kesirsel türev mertebesi α 'nın değişen değerlerine göre deneysel değerleri fit etmek mümkün olmaktadır. Kesirsel termal denklemde yola çıkılarak da pilin soğuma zamanı karakteristiğini tayin edilebilmektedir.

7. SONUÇLAR

Yenilenebilir enerji kaynakları ülkemiz açısından düşünüldüğünde oldukça verimli uygulama alanları bulunmaktadır. Fakat şebeke entegrasyonu düşünüldüğünde karşımıza çeşitli zorluklar çıkmaktadır.

Günümüzde ve gelecekte teknolojinin de gelişmesiyle enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Buda bizi bu alanda yapılacak olan yeni çalışma sahalarının gerekliliğine ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Yenilenebilir enerjide enerjinin elde edilmesi kolay bir biçimde sağlanırken şebekeye entegrasyonu sırasında çeşitli sorunlar ile karşılaşmaktadır. Bu sorunların giderilmesini sağlayacak teknolojiye sahip olmamıza rağmen hangi yapının bize daha uygun olduğu tahmin etmekte zorluklar yaşamaktayız. Akıllı yapıların ve depolama sistemlerin önemi bu bağlamda karşımıza çıkmaktadır. Böyle bir sistemi kontrol altında tutabilecek akıllı yapıların oluşturulması ve sistemde oluşabilecek herhangi bir arıza durumunda bilgilendirme yapabilecek yapıların geliştirilmesi bize şebeke entegrasyonu konusunda oldukça kolaylık sağlayacaktır.

Depolama sistemlerinde üretilen enerjinin saklandığı, ihtiyaç duyulduğunda ise o enerjiden yararlanıldığı yapılar mevcuttur. Örneğin piller bu bağlamda önemli yere sahiptirler. Yenilenebilir enerjiden enerji üretimi yapıldığı zamanlarda fazla enerjiyi depolayabilir ya da şebeke entegrasyonu sırasında enerji azlığından dolayı oluşabilecek sorunlarda bu enerji ihtiyacını karşılayabilirler. Günümüzde çok farklı çeşitlerinin olmasının yanında Lityum-iyon piller ile yapılan çok fazla çalışma bulunmaktadır. Depolama sistemlerinde bir tanesi olarak karşımıza çıkan pillerin karakteristik yapısının incelenmesi oldukça önemlidir. Dış ortam koşullarından etkilenme durumları ve kendi içerisindeki etkileşimlerini incelemek amacıyla farklı çalışmalar yapılmaktadır. Standart termal model ile pilin soğuma zamanı karakteristiği belirlenmektedir. Bu karakteristiğin belirlenmesinden yola çıkılarak da pilin deşarj durumu hangi sıcaklıklarda nasıl farklılık göstermekte olduğu belirlenmektedir. Böylece termal bir durumda pilin deşarj durumu hakkında ya da bu sıcaklıklardan etkilenme durumu hakkında yorumlar yapabiliyoruz.

Bu çalışmada, ileride yapılabilecek olan deneysel çalışmalara daha gerçekçi bir temel teşkil etmesi açısından pilin karakteristik yapısının incelenmesinde standart termal

modelden yola çıkarak kesirsel termal bir model tanımladık. Standart termal model birinci mertebeden bir denklem olduğu için bu denkleme kesirsel matematik uyguladık ve denklemi kesirsel biçimde çözdük. Bu model sayesinde pilin karakteristik yapısının incelenmesinde daha gerçekçi sonuçlar elde edilebileceği ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması yapıldığında pil hakkında bize daha doğru sonuçlar sunabileceği düşünülmektedir. Buda bizi pilin karakteristik yapısının incelenmesinde daha doğru sonuçlara götürebilecek ve şebeke entegrasyonu sırasında pilin dış etkenlerden ya da kendi içindeki etkileşimlerde nasıl sorunlar ortaya çıkabileceği hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır. Kısacası bu çalışmada standart termal model, kesirsel matematik çerçevesinde ele alınmış ve standart modeli temsil eden denklem kesirsel hale dönüştürülmüştür. Böylece termal model doğada bulunan gerçekçi sistemlere daha uygun bir hale gelmektedir. Yenilenebilir enerji açısından bakıldığında depolama sistemlerinden bir tanesi olarak karşımıza çıkan li-iyon pillerin termal olarak karakteristiği incelendiğinde şarj ve deşarj durumlarını etkileyen birçok faktör vardır. Sıcaklık da bu faktörlerden biri olarak ele alınmaktadır.

Bu amaçla Caputo kesirsel türev operatörü kullanılarak yeniden tanımlanan diferansiyel denklem kesirsel matematiksel yöntemlerle çözülerek Mittag-Leffler fonksiyonu cinsinden elde edilmiştir. Elde edilen çözüm kullanılarak kesirsel türev mertebesi α 'nın farklı değerleri için grafiksel gösterimler yapılmıştır. Denklem farklı alfa değerleri için daha geniş bir inceleme sağladı ve alfanın farklı değerlerinde soğuma karakteristiği tayinini yapmamızı sağlıyor. Standart denklemde sadece birinci mertebeden ele alınan sonuç kesirsel modelde 0,2. mertebeden, 0,4. mertebeden (ondalık virgül)ve grafikte de belirtildiği gibi farklı türev mertebelerinde ele alınmıştır. Böylece farklı mertebelerde soğuma karakteristiği tayini yapabiliyoruz. Pilin ömrü ve termal ortamlardan etkilenmeden kaynaklanan deşarj durumları hakkında deneysel çalışmalar neticesinde daha çok bilgi sahibi oluyoruz.

Bu çözüm vasıtasıyla, deneysel değerlerle daha uyum içinde sonuçlar elde edilmesi umulmaktadır. Tüm bunlardan hareketle denilebilir ki, gerçek bir sistemi temsil etmek istiyorsak kesirsel matematik kullanmamız gerekmektedir. Kesirsel matematik bu tarz denklemlere uygulanarak daha doğru sonuçlar almamızı sağlamaktadır. Bu nedenle termal denklemi kesirsel olarak yazmak ve çözmek ise karmaşık sistemler için daha doğru olmaktadır. Zaten piller gibi karmaşık yapılara sahip olan sistemlerde kesirsel matematik kullanmak daha doğrudur bu kesirsel matematiğin kendi özelliğinden kendi tanımından gelmektedir.

Denklem standart denklemde olduğu gibi soğuma katsayısı tayininde kullanılmaktadır. Böylece pilin termal etkileşimlerde deşarj olma durumları hakkında deneysel çalışmalar ile karşılaştırma yapılabilmektedir. Soğuma zamanı tayini ne kadar doğru bir biçimde yapılırsa pilin ömrü için daha doğru sonuçlar söylenebilir. Daha öncede söylediğimiz gibi karmaşık yapıya sahip sistemlerin modellemesini yaparken kesirsel matematik kullanıldığında gerçeğe daha yakın sonuçlar bulunmaktadır. Deneysel sonuçlarla uyum içinde olan teorik sonuçlara ulaşılmaktadır. Elde olunan kesirsel denklemin ileride yapılacak olan deneysel çalışmalar için daha uygun olduğu düşünülmektedir. Standart denklemi genelleleyen kesirsel denklem kesirsel türev mertebesi $\alpha = 1$ durumunda standart denkleme götürmektedir. Buda denklemin ileride yapılacak olan deneysel çalışmalar adına uygulanabilirliğinin ispatı olarak gösterilebilir. Denklem (6.1) ile ifade edilen standart termal modelin çözümü Denklem (6.2) ile verilmektedir. Denklem (6.4) ile verilen kesirsel termal model ise $\alpha = 1$ durumunda standart denklemin çözümüne eşit olmaktadır. Bu denklemde farklı α durumlarında pilin termal davranışı Şekil 6.3'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Yapılan farklı modellemeler ve yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak termal kesirsel denklem ifade edilmiştir. Deneysel bir çalışma yapılmadığı için sadece teorik olarak çalışıldığı için bu çalışmada grafik üzerinde daha geniş farklı alfa değerlerinde karakteristik soğuma zamanı tayini yapılır anlamında grafik kullandık. Bu çalışmada teorik olarak bir denklem türetildi ve ileride yapılacak olan deneysel çalışmalar için kullanılabilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] İ. Üçgül ve U. Elibüyük, “Yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji jeopolitiği,” *Anka e-Dergi*, c. 2, sayı 1, 2016.
- [2] F. Ç. Kılıç, “Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri,” *Mühendis ve Makine Dergisi*, c. 52, sayı 671, 2015.
- [3] R. Behçet, H. Gül, H. Oral ve F. Oral, “Rüzgâr enerjisi bakımından Malatya ilinin Doğu Anadolu bölgesindeki yeri ve önemi,” *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, ss. 63-75, 2014.
- [4] F. Oral, R. Behçet ve K. Aykut, “Hidroelektrik santral rezervuar verilerinin enerji üretimi amaçlı değerlendirilmesi,” *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, ss. 29-38, 2017.
- [5] F. Ç. Kılıç ve M. K. Kılıç, “Jeotermal enerji ve Türkiye,” *Mühendis ve Makina*, c. 54, sayı 639, 2013.
- [6] E. Sözen, G. Gündüz, D. Aydemir ve E. Güngör, “Biyokütle kullanımının enerji, çevre, sağlık ve ekonomi açısından değerlendirilmesi,” *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, ss. 148-160, 2017.
- [7] B. Şenaktaş, “Hidrojen enerjisi, üretimi ve uygulamaları,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2005.
- [8] S. Kendir, A. Salman, Y. E. Tatar ve S. Uzun, “Dalga enerjisi sistemi,” Lisans bitirme projesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2013.
- [9] A. Arık, “Yenilenebilir enerji politikalarının sürdürülebilirliği: AB ülkeleri ve Türkiye açısından bir değerlendirme,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu Üniversitesi, Ordu, Türkiye, 2016.
- [10] W. B. Gu and C. Y. Wang, “Thermal-electrochemical modeling of battery systems,” *Journal of The Electrochemical Society*, c. 147, sayı 8, ss. 2910-2922, 2000.
- [11] Y. Z. Yanji and C. Y. Wang, “Li-ion cell operation at low temperatures,” *Journal of The Electrochemical Society*, c. 160, ss. 636-649, 2013.
- [12] M. Doyle, T. F. Fuller and J. Newman, “Simulation and optimization of the dual lithium- ion insertion cell,” *Journal of the Electrochemical Society*, c. 141, sayı 1, ss. 1-10, 1994.
- [13] B. A. Johnson, G. G. Botte and R. E. White, “Influence of some design variables on the thermal behavior of a lithium-ion cell,” *Journal of The Electrochemical Society*, c. 146, sayı 3, ss. 914-923, 1999.
- [14] T. S. Uyar, “Yenilenebilir enerji,” *Buğday Dergisi*, sayı 15, ss. 20-26, 2002.
- [15] Ş. Oktik, C. Tozlu, R. Eke ve M. Eltez, “Güneş enerjisi ve muğla üniversitesi temiz enerji kaynakları araştırma geliştirme merkezi uygulamaları,” *24. Enerji Verimliliği Haftası Etkinlikleri*, Ankara, Türkiye, 2005.

- [16] A. Koç, H. Yağlı, Y. Koç ve İ. Uğurlu, "Türkiye'de ve dünyada enerji görünümünün temel değerlendirmesi," *Mühendis ve Makine Dergisi*, c. 59, ss. 690-693, 2018.
- [17] H. H. Öztürk ve D. Kaya, *Güneş Enerjisinde Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji*, Kocaeli, Türkiye: Umuttepe Yayınları, 2013, ss. 200-530.
- [18] B. Avcı ve T. B. Yılmaz, "Rüzgâr türbini kanat tasarımı ve analizi," Bitirme projesi, Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2012.
- [19] U. Elibüyük, A. K. Yakut ve İ. Üçgül, "Süleyman Demirel üniversitesi rüzgâr enerjisi projesi," *Yekarum e-Dergi*, c. 3, sayı 2, 2016.
- [20] F. Dinçer, İ. Atık, Ş. Yılmaz ve A. Çıngı, "Hidrolik enerjiden yararlanmada ülkemiz ve gelişmiş ülkelerin mevcut durumlarının incelenmesi," *Mühendislik Dergisi*, c. 8, sayı 3, 2017.
- [21] Ö. C. Külekçi, "Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjisinin yeri ve Türkiye açısından önemi," *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, c. 1, sayı 2, ss. 83-91, 2009.
- [22] F. Ç. Kılıç ve M. K. Kılıç, "Jeotermal enerji ve Türkiye," *Mühendis ve Makina*, c. 54, sayı 639, 2013.
- [23] A. Özdemir, "Jeotermal enerji ve elektrik üretimi," *Jeofizik Bülteni*, sayı 55, ss. 300-315, 2007.
- [24] H. N. Bayraç ve B. Özarslan, "Biyokütle enerjisi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin ampirik bir analizi: Türkiye örneği," *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, sayı 17, ss. 1-17, 2018.
- [25] S. K. İder, "Hidrojen enerji sistemi," *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi*, sayı 134, ss. 101-105, 2003.
- [26] F. Tutar ve M. V. Eren, "Geleceğin enerjisi: hidrojen ekonomisi ve Türkiye," *International Journal of Economic and Administrative Studies*, c. 3, sayı 6, 2011.
- [27] M. A. Akcanca ve S. Taşkın, "Akıllı şebeke uygulanabilirliği açısından Türkiye elektrik enerji sisteminin incelenmesi," *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 2013.
- [28] H. B. Çetinkaya. (2018, Temmuz). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu*. [Online]. Erişim: <http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/132-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-sebekeye-entegrasyonu/>.
- [29] M. Taşpınar, "Akıllı şebekeler," yayınlanmamış rapor.
- [30] S. S. Gemici, "Elektrikli ulaşım sistemlerinde enerji depolama yöntemlerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Elektrik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [31] M. Kozak ve Ş. Kozak, "Enerji depolama yöntemleri," *SDU Uluslararası Teknoloji Bilimi Dergisi*, c. 4, sayı 2, ss. 17-29, 2012.
- [32] C. Schaber, P. Mazza and R. Hammerschlag, "Utility-scale storage of renewable energy," *The Electricity Journal*, c. 17, ss. 21-29, 2004.
- [33] I. Podlubyn, (2019, Ocak). *Fractional differential equations*. [Online]. Erişim: https://www.researchgate.net/publication/44849390_Fractional_Differential_Equat

ions.

- [34] S. Bayın, *Fen ve Mühendislik Bilimlerinde Matematik Yöntemler*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: Ders Kitapları Anonim Şirketi, 2004, ss. 169-218.
- [35] M. Aydın, B. Kuryel, G. Gündüz ve G. Oturanç, *Diferansiyel Denklemler ve Uygulamaları*, 8. baskı, İzmir, Türkiye: Barış Yayınları Fakülteler Kitabevi, 2007, ss. 1-554.
- [36] H. Şirin, “Transport olayının istatistiksel mekanik yöntemlerle incelenmesi,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2011.
- [37] K. B. Oldham ve J. Spanier, *The Fractional Calculus*, New York, USA: Academic Press, 1974, pp. 310-325.
- [38] F. Mainardi and R. Gorenflo, “On Mittag-Leffler-type functions in fractional evolution processes,” *Journal of Computational and Applied Mathematics*, c. 118, sayı 2, ss. 283-299, 2000.
- [39] B. Öztürk, “Cep telefonu pillerin asidik ortamda çözündürülerek metal miktarlarının tespiti ve hidroksitleri şeklinde çöktürülmesi,” Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2004.
- [40] T. Çarkut ve M. Alçı, “Batarya teknolojilerinin enerji depolama sistemleri içerisindeki yerinin incelenmesi,” 9. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisinde sunuldu, Antalya, 2017.
- [41] G. A. Nazri ve G. Pistoia, *Lithium batteries: Science and Technology*, Newyork, USA:Springer Science and Business Media, 2009, pp. 8-11.
- [42] M. Doyle, T. F. Fuller, and J. Newman, “Simulation and optimization of the dual lithium ion insertion cell,” *Journal of the Electrochemical Society*, c. 141, sayı 1, ss. 1-10, 1994.
- [43] B. A. Johnson, G. G. Botte, and R. E. White, “Influence of some design variables on the thermal behavior of a lithium-ion cell,” *Journal of The Electrochemical Society*, c. 146, sayı 3, ss. 914-923, 1999.
- [44] D. R. Baker ve M. W. Verbrugge, “Temperature and current distribution thin-film batteries in,” *Journal of The Electrochemical Society*, c. 146, sayı 7, ss. 2413-2424, 1999.
- [45] B. D. Polat ve Ö. Keleş, “Lityum iyon pil teknolojisi,” *Metalurji Dergisi*, sayı 162, ss. 818-822, 2012.
- [46] Y. Muratoğlu, “Elektrikli araçlarda kullanılan lityum-iyon pillerin şarj durumlarının kokusuz kalman filtresi ile kestirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2017.
- [47] Y. Z. Yanji and C. Y. Wang, “Li-ion cell operation at low temperatures,” *Journal of The Electrochemical Society*, c. 160, sayı 4, ss. 636-649, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Furkan ÖNAT
Doğum Tarihi ve Yeri : 06/01/1991-SAKARYA
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : onat.furkan.54@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Bozok Üniversitesi	2014
Lise	Fen	Işık Fen Lisesi	2009