



# Primer Frekans Kontrolünde Batarya Enerji Depolama Sistemleri Kullanımının Analizi\*

Ercüment Özdemirci<sup>1\*\*</sup> ve Mehmet Cebeci<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.araconf37)

**ATIF/REFERENCE:** Özdemirci, E & Cebeci, M. (2020). Primer Frekans Kontrolünde Batarya Enerji Depolama Sistemleri Kullanımının Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 292-297.

## Öz

Güç sistemlerinde artan yenilenebilir üretim, düşen sistem ataleti ve buna bağlı olarak değişen sistem frekans davranışı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu probleme depolama sistemlerinin frekans kontrolünde kullanımı ile önemli bir çözüm oluşturulabilmektedir. Batarya depolama sistemlerinin hızlı tepki verme özelliği, frekans kontrolünde en yaygın kullanılan teknoloji olmasını sağlamaktadır. Primer frekans kontrolü sistem frekansının düşmesine veya yükselmesine tepki olarak ünite aktif güç çıkışının otomatik artırılması veya düşürülmesi yoluyla sistem frekansının yeni bir denge noktasına getirilmesi olarak tanımlanır. Bu çalışmada bataryanın iletim sisteminde primer frekans kontrolünde kullanılması halinde sistem frekans kontrolü performansına katkısı Matlab/Simulink ortamında analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde Türkiye güç sisteminde işletmede olan santrallerin bir bölümüne ait hız regülatörü ve türbin modelleri kullanılmıştır. Batarya kullanımı ile birlikte maksimum frekans sapmasının önemli oranda azaldığı benzetim sonuçları ile gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:**Primer Frekans Kontrolü, Batarya Enerji Depolama Sistemleri.

## An Analysis of Battery Energy Storage Systems for Primary Frequency Control

### Abstract

Increased renewable production in power systems cause falling system inertia and consequently changing system frequency behavior. An important solution can be created to this problem via participation of storage systems in frequency control. The fast response facility of battery storage systems makes it the most widely used technology in frequency control. Primary frequency control is defined as setting the system frequency to a new balance point by automatically increasing or decreasing the generation unit active power output in response to the falling or rising of the system frequency. In this study, the batteries effect to the frequency control performance was analyzed through Matlab / Simulink. Speed regulators and turbine models of some part of power plants in Turkish power system were used in the analysis. Simulation results have shown that the maximum frequency deviation decreases significantly with support of the battery.

**Keywords:** Primary Frequency Control, Battery Energy Storage Systems

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\*Sorumlu Yazar:Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-ElektronikBölümü, Elazığ, Türkiye, ORCID: 0000-0000-0000-0000, [ozdemirci@hotmail.com](mailto:ozdemirci@hotmail.com)

## 1. Giriş

Elektrik enerjisinin kalitesini; limitler dahilinde frekans, limitler dahilinde gerilim ve kesintisiz enerji olmak üzere üç temel bileşen belirlemektedir. Frekans limitleri, üretim-tüketim dengesinin oluşturulması ile sağlanabilmektedir. Yenilenebilir üretim kaynaklarının toplam üretimdeki payı her geçen gün artmakta olup, buna bağlı olarak elektrik sisteminin kalite limitleri dahilinde işletilmesi, her geçen gün zorlaşmaktadır. Konvansiyonel güç sistemlerinde kontrol dışı değişkenlik yalnızca tüketim tarafında iken, yenilenebilir üretim kaynakları ile birlikte kontrol dışı değişkenlik kavramı üretim tarafı için de söz konusu olmaktadır. Bu durumda sistem işletmeciliği çok daha karmaşık bir yapı halini almaktadır. Sistem işletmeciliğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının getirdiği olumsuzluklara karşın; teknolojik çeşitliliği artan depolama sistemleri; elektrik sisteminde arz güvenliği, enerji kalitesi ve enerji ekonomisi ana başlıkları altındaki çeşitli uygulamalar için olumlu katkılar sunmaktadır. Önümüzdeki süreçte depolama sistemleri, enerjideki değişimi destekleyen en önemli araç olacaktır.

Bataryalar, pompa depolamalı HES'lerden sonra en çok kullanılan ikinci teknolojidir. Dünya genelinde bataryaların toplam kurulu gücü 1,9 GW seviyesine ulaşmıştır [1]. Depolama sistemleri yan hizmetler piyasasında, özellikle primer frekans kontrolünde her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Frekans normal olarak 50 Hz etrafında sürekli bir salınım gösterir, ters yönlü ani bir frekans sapması durumunda konvansiyonel bir elektrik santrali zamanında güç çıkışı değiştiremeyebilir. Bu durum, santralin bir süre boyunca istenilen primer frekans kontrol davranışının tam tersi tepki vermesi anlamına gelmektedir. Batarya depolama sistemlerinde ise bu gecikmeler pratik olarak mevcut değildir.

Elektrik Piyasasına satış yapan üretim santralleri, frekans kontrolünü etkinleştirmek için her zaman belirli bir Güç Rezervini elinde bulundurmalıdır. Enerji satışı ile rezerv güç arasında optimizasyon sağlamak her zaman mümkün olmayabilir. Bunun yerine bataryalar yalnızca yan hizmet servisleri için kullanılırlar. Primer frekans kontrolü yerel ve otomatik olarak etkinleştirilmiş bir hizmettir ve sekonder frekans kontrolü gibi, merkezi bir sinyal ve haberleşme sistemi kurulmasını gerektirmez. Evlerde kullanılan küçük bataryalar gibi dağıtılmış kaynaklar teorik olarak erişim noktasındaki frekans referans olarak kullanılarak kontrol mekanizmasına katılabilirler [2]. Bu çalışmada, batarya depolama sisteminin primer frekans kontrolünde kullanımı incelenmiş, sistem frekans performansına etkisi benzetim çalışmaları ile ortaya konulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

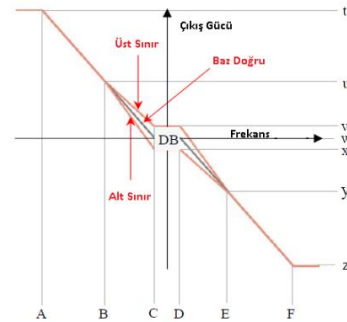
### 2.1. Batarya Depolama Sistemlerinin Frekans Kontrolünde Kullanımı

Şebekenin bir anma frekansında (örneğin, Avrupa Şebekesi için 50 Hz) dengelenmesi, birçok farklı üretim kaynağının değişken yüklerle karşı yönetilmesini gerektirir. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının miktarındaki artış ve sisteme atalet sağlayan geleneksel üretim kaynaklarının azalması ile gittikçe zorlaşmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için, İngiltere'deki ana iletim şebekesi operatörü National Grid, sistem frekansını normal koşullarda 50 Hz'e daha yakın tutmayı amaçlayan.

Geliştirilmiş Frekans Cevabı (GFC, Enhanced Frequency Response-EFR) adı verilen yeni bir hızlı frekans hizmeti sunmaktadır. Böyle bir hizmeti şebekeye sunmak için Batarya Enerji Depolama Sistemi (BEDS, Battery Energy Storage System-BESS) ideal bir adaydır.

Ref.Noktası	Set-1 (Hz)	Set-2 (Hz)
A	49.5	49.5
B	49.75	49.75
C	49.95	49.985
D	50.05	50.015
E	50.25	50.25
F	50.5	50.5

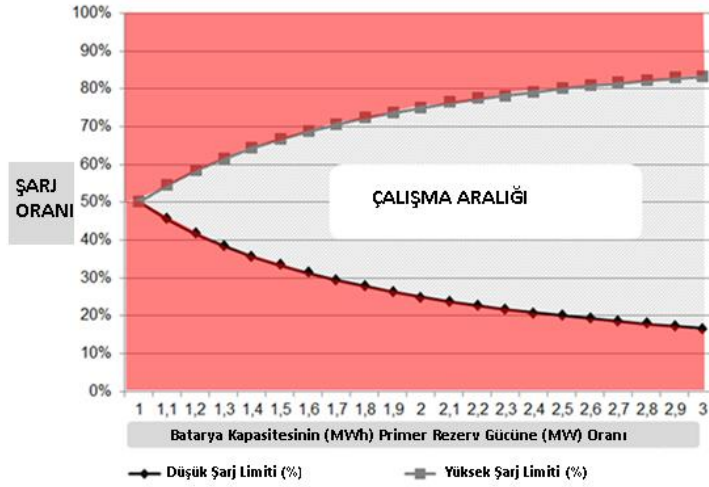
Ref.Noktası	Set-1 (%)	Set-2(%)
t	100	100
u	44.44444	48.45361
v	9	9
w	0	0
x	-9	-9
y	-44.44444	-48.45361
z	-100	-100



Şekil-1 İngiltere'de uygulanan gelişmiş frekans kontrolü hizmeti sınır değerleri [3]

İngiltere'de, şebeke frekans desteği sağlamak için uygun sınırlı sayıda kurulu batarya depolama sistemi mevcuttur. 2013'te, İngiltere'nin Willenhall Enerji Depolama Sistemi olarak adlandırılan ilk şebeke bağlantılı lityum titanyum BEDS, büyük ölçekli bataryalarla ilgili araştırma yapmak ve şebeke yan hizmetleri araştırması için bir platform oluşturmak amacıyla Sheffield Üniversitesi tarafından işletmeye alınmıştır. GFC frekans sapmasının 1 saniyesi içinde %100 aktif güç sağlayabilen yeni bir yan hizmet sunmaktadır National Grid, 2016 yılı bir GFC şartnamesi hazırlamıştır [3].

Şekil-2’de, 30 dakika boyunca sağlanan primer frekans kontrolüne ilişkin batarya sistemlerinin, Almanya’da uygulanan MWh/MW oranına göre çalışma aralığı grafiği verilmiştir. Örneğin 2,5 MWh depolama kapasitesine sahip bir batarya 1 MW Primer rezerv gücüne sahip ise %20-%80 şarj aralığında çalışması gerekmektedir.



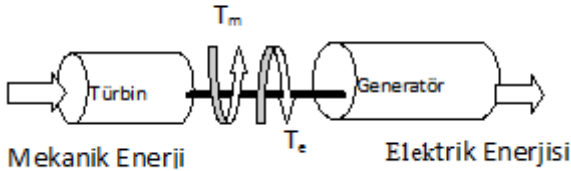
Şekil-2 Almanya’da uygulanan batarya çalışma sınır değerleri [4]

Sisteme güç elektroniği komponentleri üzerinden bağlı rüzgar ve güneş üretiminin artışı ile eş zamanlı kömür, doğal gaz ve petrol yakıtlı elektrik santrallerinin üretimi düşmektedir. Kaynak dağılımı değiştikçe, sistem ataleti azalmakta ve bu durum acil durum olaylarına daha duyarlı olabilecek bir elektrik şebekesi oluşturmaktadır. Düşük ataletli bir ortamda, frekans değişim hızı artacaktır. Bu da şebeke elemanlarının frekans düşüşünü durdurmak ve şebekeyi kararlı kılmak için daha hızlı cevap vermelerini gerektirmektedir. Düşük ataletli bir ortamda, sistem ataleti ve konvansiyonel santrallerin governer fonksiyonları ile primer frekans tepkisi, sistem kararlılığını korumak için yetersiz kalabilir. Güney Avustralya’da 2016 yılında meydana gelen sistem oturması, büyük çaplı düşük ataletli güç sistemlerinin bugün hali hazırda çalışmakta olduğunu ve bu tür riskleri azaltmak için sistem işletimi, kontrolü ve korumalarında farklı bir yaklaşım gerektiğini göstermektedir[4].

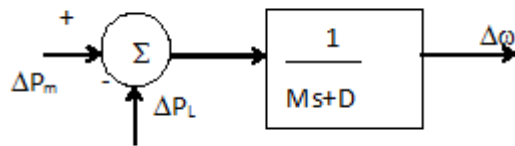
Yenilenebilir oranı arttıkça, sistem ataleti ve governer tepkisi azalacaktır. Bu durumda geleneksel olmayan kaynaklardan frekans tepkisi tedarik edecek yeni piyasa yapıları ve mekanizmaları gerekecektir. Bu mekanizmalar rüzgar ve güneş kaynakları, enerji depolaması ve talep tarafı tepkisi olarak sıralanır. İrlanda, İngiltere, Yeni Zelanda, Hawaii, Texas (ERCOT-Electric Reliability Council of Texas) ve Avustralya’da GFC pazarları ve ödeme mekanizmaları şekillenmektedir [4].

## 2.2. Güç Sistemi ve Batarya Modellemesi

Türbin-generatör sisteminin Şekil-3’de yer alan basite indirgenmiş blok diyagramı generatörün hızı ile generatöre uygulanan elektriksel ve mekanik güç arasındaki transfer fonksiyonunu göstermektedir.



Şekil-3 Türbin-generatör sistemi fiziksel modeli



Şekil-4 Dönen kütle ve yükün indirgenmiş blok diyagramı

$$P_a = P_m - P_e = M \frac{d\omega}{dt}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} (P_m - P_e)$$

Burada Pa ivme gücü, Pm mekanik güç, Pe elektriksel güç, ω açılmal hız, M ise makinanın açılmal momentumudur.

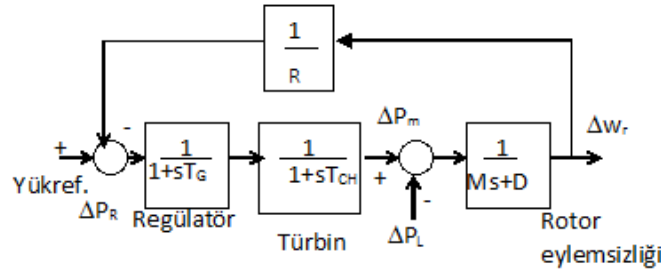
$$\Delta P_e = \Delta P_L + D\Delta\omega$$

Elektriksel güç sisteminde yükler değişik elektriksel aygıtlardan oluşur ve buna bağlı olarak farklı yük karakteristikleri mevcuttur. Elektriksel yüklerin önemli bir kısmını fanlar ve pompalar gibi frekansa bağlı olarak gücü değişen motor yükleri oluşturduğundan, frekans değişikliğinin sistemin çektiği toplam yükü nasıl etkilediğinin modellenmesi çok önemlidir. Frekans değişikliğine bağlı olarak yükün değişmesi aşağıdaki gibi modellenir:

Yük sönüm sabiti D, yükteki yüzde değişimin frekanstaki yüzde değişime oranı olarak ifade edilir. Örneğin frekanstaki %2 değişim için, yük %1 değişirse,  $D=2/1=2$  olarak hesaplanır.  $\Delta P_e$  elektriksel güçteki net değişim,  $\Delta P_L$  ise frekansa duyarsız yük değişimidir. Dönen Kütle ve yükün indirgenmiş modeli Şekil-4’de verilmektedir.Şekil-4’deki blok diyagramında verilen döner kütle-yük modelinde  $1/(Ms+D)$  ifadesi yerine  $K_p/(1+sT_p)$  ifadesi kullanılabilir [5].

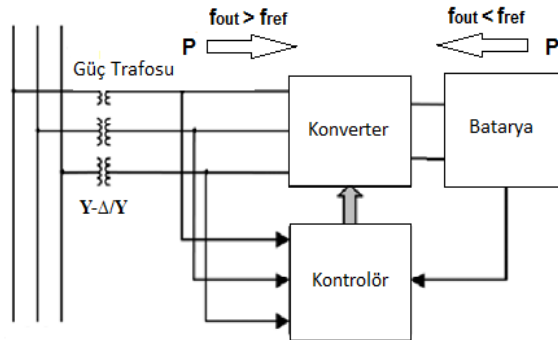
$$K_p = \frac{1}{D} \quad \text{ve} \quad T_p = \frac{M}{D} \quad \text{olur.}$$

Yük-frekans kontrolünde aktif rol oynayan hız regülatörü, türbin ve yükten oluşan ikincil regülasyonun olmadığı tek alanlı güç sistemi modeli Şekil-5’de görüldüğü gibidir. Burada R regülasyon sabiti, T ise hız regülatörü Türbin zaman sabiteleridir.



Şekil-5 İkincil regülasyonun olmadığı durumda tek alanlı güç sistemi blok diyagramı

Güç sistemi ile entegre batarya depolama sisteminin şematik gösterimi Şekil-6’da verilmektedir. Uygun kontrolör tasarımı ile dönüştürücü ve batarya kaskat bağlanmaktadır. Ayrıca Y/Δ-Y transformatör üzerinden sistemin şebeke bağlantısı gerçekleştirilmektedir [6].



Şekil-6 Batarya Depolama Sistemi Şebeke Bağlantısı [6]

Batarya depolama sistemleri, dönüştürücünün mevcudiyeti ve elektro-kimyasal olayların doğası sayesinde çok hızlı ve kolay regüle edilebilir bir ünedir. Bu nedenle Pimer Frekans Kontrolünde konvansiyonel üretim tesislerindeki %5 hız regülatörü karakteristiğine göre çok daha iyi performans gösteren %4'lük değer kullanılabilir. Konvansiyonel santrallerde Pmax değeri ile Pnom arasındaki

%5'lik primer frekans kontrolü için kullanılırken bataryada bu değer %100'dür. Bu nedenle batarya için yeni eşdeğer hız-eğim karakteristiği hesaplaması zorunludur. Şekil-7'de batarya için eşdeğer hız-eğim karakteristiği tablosu verilmektedir [7].

Generatör [%]	Batarya [%]
5	0.25
4	0.2
3	0.15
2	0.1

Şekil-7 Batarya Eşdeğer Hız-Eğim Karakteristiği [7]

Batarya depolama sisteminin dinamik karakteristiği basit ve çok hızlı olması nedeniyle batarya tepki modeli birinci dereceden zaman gecikmeli fonksiyon kullanılabilir [8].

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Benzetim Sonuçları

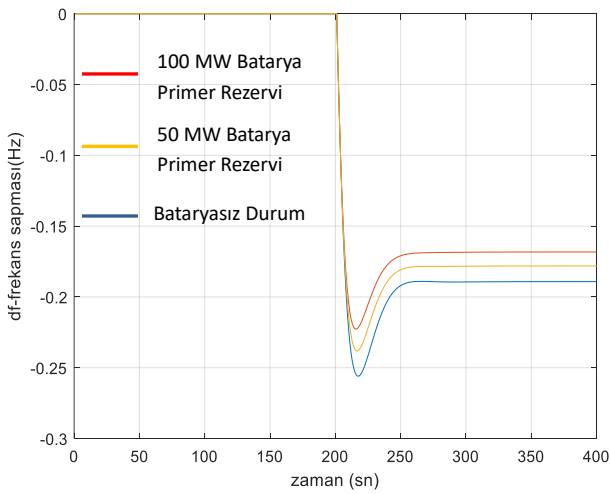
Benzetim çalışması Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. Tablo 1 ile Tablo 2'de yer alan termik ve hidrolik santral üniteleri çalışmaya dahil edilmiştir. Türkiye elektrik güç sistemi döner kütle yük modeli oluşturulurken literatürde yer alan bilgiler kullanılmış,  $K_p = 120 \text{ Hz/MWpu}$ ,  $T_p = 20 \text{ s}$  olarak seçilmiştir [9].

Tablo 1. Termik Santral Ünite Güçleri

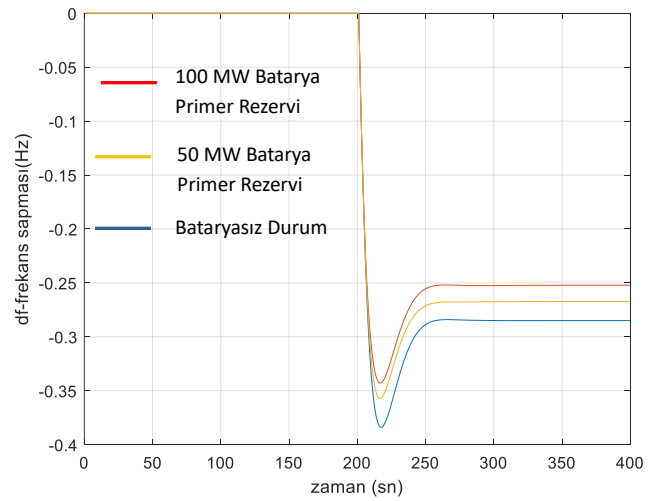
Santral Adı	Ünite No	Güç (MW)
Ambarlı Fueloil	1-5	5x114
Ambarlı Doğalgaz	A1,A2,A3 B1,B2,B3 C1,C2,C3	6x138,8+3x172,8
Bursa Doğalgaz	A1,A2,A3 B1,B2,B3	4x239+2x237,5
Çayırhan	1-4	4x160
Çolakoğlu	A1,A2,A3	2x136+170
Elbistan	1-4	4x344
Kangal	1-3	3x160
Kemerköy	1-3	3x210
Seyitömer	1-2	2x153
Seyitömer	3-4	2x159,8
Tunçbilek	5-6	2x159,8
Yatağan	1-3	3x210
Yeniköy	1-2	2x210

Tablo 2. Hidrolik Santral Ünite Güçleri

Santral Adı	Ünite No	Ünite Gücü (MW)
Altınkaya	1-4	4x175
Atatürk	1-8	8x300
Birecik	1-6	6x125
Gökçekaya	1-4	4x93,8
H.Uğurlu	1-4	4x125
Karakaya	1-6	6x300
Keban	1-4	4x157,5
Keban	5-8	4x165
Oymapınar	1-4	4x150



Şekil-8 600 MW üretim kaybı için frekans sapması



Şekil-9 900 MW üretim kaybı için frekans sapması

Batarya tepki modeli olarak birinci dereceden zaman gecikmeli (0.03 s) fonksiyon kullanılmıştır. Sistem 15190 MW üretim değerinde dengede çalışırken, 600 MW ve 900 MW üretimin devre harici olması durumları analiz edilmiştir. Analizler batarya desteğinin olmadığı durum, 50 MW ve 100 MW batarya primer rezervi durumları için yinelenmiştir.

600 MW ani üretim kaybında bataryanın devrede olmaması, 50 MW ve 100 MW batarya primer rezervi durumları için sırasıyla 0.26, 0.24 ve 0.22 Hz frekans sapması oluşmuştur. 900 MW ani üretim kaybında ise bataryanın devrede olmaması, 50 MW ve 100 MW batarya primer rezervi durumları için sırasıyla 0.38, 0.36 ve 0.34 Hz frekans sapması oluşmuştur.

#### 4. Sonuç

Batarya sistemlerinin hızlı tepki verme özelliği, frekans kontrolünde en yaygın kullanılan teknoloji olmasını sağlamaktadır. Yenilenebilir oranı arttıkça, sistem ataleti azalacaktır. Bu durumda geleneksel olmayan kaynaklardan frekans tepkisi tedarik edecek yeni piyasa yapıları ve mekanizmaları gerekecektir. Bu mekanizmalar rüzgar ve güneş kaynakları, enerji depolaması ve talep tarafı tepkisi olarak sıralanır. Bu çalışmada batarya depolama sisteminin primer frekans kontrolüne katkısı analiz sonuçlarına yansıtılmıştır. Herhangi bir ani üretim kaybında sistem için en kritik husus maksimum frekans sapması olup, batarya depolama sistemi primer kontrol rezerv miktarı arttıkça bu sapma değeri önemli oranda azalmaktadır. Batarya tarafından primer frekans kontrol rezervleri sağlanırken bataryalar için ana zorluk, şarj durumu yönetimidir. Dolayısıyla primer frekans kontrolüne katılan bataryanın elektrik piyasası yan hizmetler mekanizması fiili verileri dahilinde şarj durumu yönetimi ve optimizasyonu yapılacak çalışmaların temelini oluşturacaktır.

#### Kaynakça

- [1] «EPRI-DOE Handbook of Energy Storage for Transmission & Distribution Applications,» EPRI, Washington, 2003.
- [2] F. Arrigo, *Primary Frequency Control by Energy Storage System: a Fourier Transform procedure for the dynamic analysis of the Grid*, Milano: Politecnico Milano, 2016.
- [3] B. Gundogru, S. Nejad, D. Gladwin ve D. Stone, *A Battery Energy Management Strategy for UK Enhanced Frequency Response*, IEEE, pp. 26-31, 2017.
- [4] *FCR Storage Battery Capacity Requirements*, German TSO's, 2017.
- [5] Faried S.O, Demeter E., *Teaching Load Frequency Control Using Matlab and Simulink*, *Int. J. Electrical Enging. Education*, Vol 35, pp 155-161 1998,
- [6] Pradipkumar Prajapati, Ashok Parmar, *Multi-area Load Frequency Control by Various Conventional Controller using Battery Energy*, 2016 IEEE
- [7] Francesco Arrigo, *Primary Frequency Control by Energy Storage System: a Fourier Transform procedure for the dynamic analysis of the Grid*, Master Thesis 2016
- [8] H.-J. Moona, A.-Y. Yuna, E.-S. Kimb ve S.-I. Moona, *An Analysis of Energy Storage Systems for Primary Frequency Control of Power Systems in South Korea*, *Energy Procedia*, 107, pp. 116121, 2017.
- [9] Ercüment Özdemirci, Mehmet Özdemir *“Load Frequency Control that is Formed Fuzzy PI Controller”*, TAINN, 2001