

## Güç Sistemlerinde Farklı Enerji Depolama Seviyelerinde Sistem Kararlılığının İncelenmesi

### Investigation of System Stability at Different Energy Storage Levels in Power Systems

Ayşe Acar\*<sup>1</sup>, Asım Kaygusuz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

(36193615031@ogr.inonu.edu.tr, asim.kaygusuz@inonu.edu.tr)

Received:Oct.9, 2022

Accepted:Feb.02,2023

Published:Jun.08,2023

**Özetçe**—Günümüzde fosil yakıt tabanlı kaynaklar gittikçe tükenmekte ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Fosil kaynakların sınırlı olması, bizi yenilenebilir enerji kaynaklarına(YEK) yöneltmektedir. YEK' ler ile yapılan üretim de bazı problemleri beraberinde getirmektedir. Güneş ve rüzgâr gibi YEK' lerin gün içerisinde üretim değerleri değişken olduğu için tüketicilerin enerji talebine hızlı ve güvenilir cevap verememektedir. Bu da enerjiden daha verimli ve sürekli faydalanmak için enerjinin depolanması konusunu beraberinde getirmektedir. Literatürde enerji depolama sistemleri(EDS) ve kararlılık üzerine yapılan çalışmalar henüz yeterli bir düzeyde bulunmamaktadır. Bu çalışma ile literatüre bu konuda bir katkı sağlanması amaçlanmıştır. Bu makalede farklı iki güç seviyesindeki EDS' lerin güç sistemi kararlılığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analiz için IEEE 14 baralı güç sistemi kullanılıp enerji depolama sistemi, güneş ve rüzgar üretim birimleri entegre edilerek test sistemleri oluşturulmuştur. Düşük ve yüksek güçteki depolama sistemleri ile YEK' ler ile birlikte oluşturulan senaryolarda güç sistemlerinde yaşanması olası bir arıza oluşturularak, test sistemlerinin bu arıza karşısındaki gerilim, frekans ve rotor açısı kararlılığı analizleri yapılmış, arıza temizleme sürelerindeki değişim her saat dilimi için analiz edilip karşılaştırılmıştır. Simülasyonlar Matlab programında; Hadi Saadat' ın temel yük akış programına eklenen kararlılık analizi programı yazılmıştır. Ardından bu program üzerinden geliştirilerek tasarlanan enerji depolama sistemi ile gerçek zamanlı üretim değerleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz çalışmaları sonucunda sistemlerde kullanılan YEK türünden ve EDS' nin güç seviyesinden kaynaklanan farklı sonuçlar meydana gelmiştir. Sistem kararlılığında iyileşmenin yanı sıra bozulmalar da meydana gelmiştir. Enerji depolama sisteminin gücünün artırılmasıyla temizleme sürelerindeki değişime bakıldığında ise yüksek güç seviyesindeki EDS' nin düşük güç seviyesindeki EDS' ye göre daha kararlı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler** : Enerji Depolama Sistemi, Dağıtık Üretim, Yenilenebilir Enerji, Güç Sistem Kararlılığı.

**Abstract**— Today, fossil fuel-based resources are becoming increasingly depleted and cause environmental pollution. The limited fossil resources lead us to renewable energy resources (RES). Generation with RES also brings some problems. Since the generation values of RES such as solar and wind are variable during the day, they cannot respond quickly and reliably to the energy demand of consumers. This brings with it the issue of storing energy in order to benefit from energy more efficiently and continuously. Studies on energy storage systems (EDS) and stability are not yet at a sufficient level in the literature. With this study, it is aimed to contribute to the literature on this subject. In this article, the effects of ESS's at two different power levels on power system stability are investigated. For the analysis, IEEE 14 bus power system was used and test systems were created by integrating the energy storage system, solar and wind generation units. In the scenarios created with low and high power storage systems and RES, a possible failure in the power systems was created, voltage, frequency and rotor angle stability analyzes of the test systems against this fault were made, the change in fault clearing times was analyzed and compared for each time zone. Simulations in Matlab program; The stability analysis program, which was added to Hadi Saadat's basic load flow program, was written. Then, analyzes were carried out by using real-time generation values with the energy storage system designed and developed over this program. As a result of the analysis studies, different results have occurred due to the type of RES used in the systems and the power level of the EDS. Along with the improvement in system stability, deterioration also occurred. When the change in cleaning times with increasing the power of the energy storage system is examined, it is seen that the high power level EDS is more stable than the low power level EDS.

**Keywords** : Energy Storage System, Distributed Generation, Renewable Energy, Power System Stability.

## I. Giriş

Gündelik hayatımızda anahtar konumunda olan enerji, dünya genelinde sosyal ve ekonomik açıdan çok önemlidir. Enerji kelimesi belleğimize öncelikle hayatımızın mihenk taşı olan elektrik enerjisi getirmektedir. Enerji, üretimi esnasında kullanılan çeşitli kaynaklar sayesinde hayatımızın birçok yerinde farklı formlarda kullanılabilir. Aydınlatma, ısınma, sanayi, haberleşme, ulaşım gibi hayatımızın birçok alanında kullandığımız enerji miktarı dünya nüfusunun gün geçtikçe artması ve teknolojinin sürekli gelişmesinden ötürü artmaktadır ve artmaya devam etmektedir. Talepteki bu artışa paralel olarak üretim de artmaktadır. Günümüzde bu artışa cevap verebilmek adına üretim sahalarında sürekli ve verimli enerji talep edilmektedir. Bununla birlikte tükenen fosil yakıt kaynağı ve sonucunda oluşabilecek enerji krizleri, çevre kirliliği ve küresel iklim değişimi bizi Yenilenebilir Enerji Kaynakları(YEK) kullanımına yönlendirmektedir. YEK ile yapılan üretimle enerji verimliliğinin sağlanması hedeflenmiştir. Öncelikle kaynağı güneş ve rüzgâr olan yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin, çevreye zarar vermemesinden ve kaynakları tükenmemesinden ötürü enerji üretim sistemleri arasındaki yeri gün geçtikçe büyümektedir.

Ancak güneş ve rüzgâr gibi YEK' lere dayalı sistemlerin mevsimsel olarak gün içerisinde dalgalı ve kesintili güç çıkışlarının ve günümüzde kullanılan geleneksel şebeke alt yapısının YEK' lere dayalı güç sistemlerine uygun olmayışı bizi bu probleme çözüm bulmaya yönlendirmiştir. Akıllı şebeke alt yapılarının geliştirilmesiyle beraber enerji verimliliğini ve sürekliliğini sağlamak adına EDS' lerin kullanımının yaygınlaşacağı hedefleniyor. Enerji depolama sistemleri belirli zamanda artan elektriği depolayıp ihtiyaç olduğu zamanda şebekeye geri vererek sistemi rahatlatmaktadır.

Enerji depolama sistemleri enerji talebi ve üretim kapasitesi arasındaki farkı azaltarak frekans ve gerilimde kararlılık sağlar. Enerji depolama sistemleri (EDS) büyük ölçekli üretim yapan üreticiler için daha kararlı güç temin edebilir. Bu özelliği, sistemde güç bazında oluşabilecek problemleri çözebileceğinden artan talebe paralel olarak üretim sistemlerinin artırılması yerine enerji depolama sistemlerinin kullanımı santral kurulum ve işletim maliyetleri gibi maddi zararlardan koruyacaktır. Enerjinin dağıtılması esnasında enerji depolama sistemlerinin kullanımının yaygınlaşması şebekelerin çalışmasını daha verimli hale getirerek verimi yükseltebilir. Klasik güç sistemlerindeki YEK entegrasyonu yaygınlaştıkça, kesintisiz, verimli ve emniyetli güç kullanımı için enerji depolama yöntemlerine olan gereksinim kilit rol oynayacaktır (Özdemir vd., 2017).

Ayrıca depolama sistemleri doğal afetlerden ötürü, şebekelerde oluşacak sorunlarda, güç kaynağının emniyetini artırmak adına kullanıcılara destek olur. Hatta şebekelerin frekans ve gerilimlerini emniyete alarak güç vasfını arttırmaktadır. Bahsi geçen faydalarından ötürü; elektrik enerjisi depolama sistemleri, akıllı şebekelerin ilerlemesinde en mühim maddelerden biridir. İleri zamanlarda güç sisteminin iki yönlü ilerleyişi ve akıllı şebekelere yönleneceği düşünülürse, enerji depolama sistemlerinin akıllı ve mikro şebekeler üzerindeki önemi iyi biçimde idrak edilecektir (Kocaman, 2013).

Enerji depolama sistemlerinin güç şebekelerine entegrasyonu, entegrasyon sayısı, entegrasyon yeri, kullanılacak uygun teknolojinin belirlenmesi, hangi yenilenebilir enerji kaynağıyla beraber kullanımının daha verimli olacağı, en verimli uygun depolama sistemi tasarımı, atalet sabiti değerinin belirlenmesi gibi alanlardaki çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Öyle ki 2008 yılında H. İbrahim vd., yazdıkları makalede yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin anında talebe karşılık veremediğini söylemişlerdir. Bu soruna çözüm olarak hâlihazırda olan ve geliştirilmekte olan enerji depolama sistemlerinden bahsederek elektrik depolama yöntemlerinin temel özelliklerini ve kullanım yerlerini incelemişlerdir (İbrahim vd., 2008). Rüzgâr enerjisinin kesikli belirsiz üretiminde enerji depolamanın hayati olduğunu belirten Kurt 2010 yılında yaptığı çalışmada rüzgâr gücündeki varyasyonu yumuşatacak, talep-üretim istikrarına fayda sağlayacak ve rüzgâr enerjisinin güç sistemine eklenmesine yardımcı olacak enerji depolama yöntemlerinin uygulama ve finansal karakteristiklerini, kullanım yerlerini ve kapasitelerini tanımlamıştır (Kurt, 2010).

2013 yılında Çaliker vd.; çalışmasında, bu günlerde kullanılan ve özellikleri arttırılmaya devam eden enerji depolama teknolojileri ayrıntılı biçimde analiz edilmiş, teknolojilerin kıyaslanması ve uygulama yerleri irdelenmiştir (Çaliker & Özdemir, 2013). 2015 yılında Kuşdoğan tarafından yapılan çalışmada güç sistemini daha etkin, istikrarlı ve emniyetli hale getirmek için, makul mali değerlere sahip enerji depolama sistemlerine yönelim arttığı belirtilmiştir. Enerji depolama sistemlerinin türlerine göre ayırma, teknolojilerin kıyaslanması ve sistemin ihtiyaçları ele alınmıştır. Depolama teknikleri depolama kapasitesi, elde edilen verim yönünden kıyaslanmıştır (Kuşdoğan, 2015).

Güneş enerji sistemleri gibi süresiz enerji sağlayan sistemlerin puant zamanlarda ürettiği enerjiyi sisteme geri veren enerji depolama sistemlerinin sistem üzerindeki etkilerini incelemek için Bahçeci tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada 30 baral güç sisteminde rastgele seçilen 3 baraya güneş üretim birimi ve enerji depolama sistemi entegre edilmiş ve güç sistemi üzerindeki tesiri incelenmiştir. Analiz sonucunda gerilim düzeyinde artış ve hat

kaybında azalma gözlemlenmiştir (Bahçeci & Daldaban, 2017). 2020 yılında Karahan vd.; çalışmada, mobil batarya elektrik depolama sistemlerinin elektrik dağıtım sistemlerine entegre edilebilmesi ve dağıtım sistemindeki güç kaybı, gerilim düşümü ve kısa devre arızası gibi parametrelere etkisi incelenmiştir. IEEE 13-baralı test sistemi kullanılarak farklı senaryolarda analizler yapılmıştır ve farklı batarya konumlarına göre mobil batarya elektrik depolama sistemlerinin dağıtım sistemlerine etkileri yorumlanmıştır. Buna göre uygulanan senaryolarla birlikte temel duruma göre en fazla %23.07'lik güç kaybı azalması gözlemlenmiştir (Karahan vd., 2020).

2020 yılında Türkiye Sınai Kalkınma Bankası'nın hazırlamış olduğu "Enerji Görünümü" raporunda, enerji sektörünün çeşitli alt başlıkları (elektrik, doğal gaz, petrol, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği) detaylıca incelenmiş, ayrıca enerji piyasasında öne çıkan hâkim ve belirleyici eğilimler de değerlendirilmiştir. 2020 raporunda "enerji yatırımları ve finansmanı" konusu müstakilen analiz edilmiştir. Raporda batarya depolama sistemlerinin gerekliliğinden bahsedilmiştir. Batarya enerji depolama sistemlerinin sınıflandırılması ve kıyaslaması yapılmış enerji yoğunluğu bakımından li-ion(lityum iyon) pillerin daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır. Li-ion batarya teknolojisinin 2018 yılındaki bedeli ve maliyetlerdeki azalma göz önüne alındığında gelecekteki projeksiyonu oluşturulmuş, 2030 yılında fiyatın azalacağı tahmin edilmiştir. Yapılan GZFT analizine göre rüzgâr ve güneşte kurulu gücün artması güç sisteminin esnekliğini arttıracak batarya tipi depolama sistemlerine olan mevduatın artırılmasının önemli olduğu sonucuna varılmıştır (TSKB, 2020).

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı güç sistemlerine entegre edilen EDS'lerin sistem kararlılığı üzerine etkilerinin incelenmesi için Matlab programı kullanılarak 14 baralı güç sistemleri üzerinden rotor açısı, gerilim ve frekans kararlılığı analizleri yapılmıştır. Ayrıca test sistemlerinin oluşan arızayı temizleme sürelerindeki değişim 24 saat dilimi için ayrı ayrı analiz edilip karşılaştırılmıştır. Analizlerde güneş santralleri ve rüzgâr türbinleri için gerçek üretim değerleri kullanılmıştır. Böylece gerçek sistemlerde görülmesi olası gerçek sonuçların sanal ortamda elde edilmesi amaçlanmıştır. Enerji depolama sisteminin konumu, Dağıtık Üretim Birimlerinin (DÜB) konumu, güneş veya rüzgâr üretim birimlerinin H sabitinin değeri ve kullanılan EDS ve DÜB'lerin sayısı gibi değişimler yapılarak, analiz sonuçlarının farklılığı görülmüştür. DÜB'lerin güç sisteminin yük yoğunluğuna bakılarak, yük yoğunluğunun fazla olduğu baralara eklenerek sistemdeki yüklenmenin azaltılması hedeflenmiştir. Ayrıca EDS'nin şarj ve deşarj saatleri belirlenirken elektriğin birim fiyatının düşük olduğu saat dilimlerinde depolama yapıp, birim fiyatının yüksek olduğu saat dilimlerinde sisteme güç vermesi sağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece maliyetten kazanç sağlanması hedeflenmiştir. Böylece gelecekteki sistemlerde bu durumların uygulanması için bir ön çalışma elde edilmiştir. Bunun sonucunda enerji depolama sistemlerinin, güneş enerji sistemiyle birlikte kullanılan EDS hariç, genel olarak sistemin gerilim, rotor açısı ve frekans kararlılığında olumlu sonuçlar doğurduğu görülmektedir. Dağıtım şebekelerine uygun EDS teknolojisinin seçimini doğru yapabilmek için bu sistemlerin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi önemlidir. Özellikle rüzgâr ve güneş gibi kesikli üretim yapan yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketici tarafında sürekli üretimini sağlamak için uygun EDS'nin seçiminde önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısının gün geçtikçe arttığı göz önüne alınırsa EDS'lerin de bu sayılara paralel olarak artacağı ön görülmektedir.

## 1. Materyal

### 1.1. 14 Baralı Güç Sistemiyle Oluşturulan Test Sistemleri, Enerji Depolama Sistemi ve Üretim-Tüketim Profillerinin Tanıtılması

Akıllı şebekeler, küçük ölçekli enerji üretiminden büyük güçlü enerji sistemlerine kadar çok büyük bir alanı kapsayan enerji rezervlerinin dağıtım şebekesine bağlanmasına imkân sağlamaktadır (Turan, 2014). Ayrıca YEK, EDS gibi sistemlerin de entegresine uyumlu olan akıllı şebekeler günümüzde enerji sektöründe büyük öneme sahiptir. Enerji depolama ise enerjinin daha sonra kullanılmak üzere, özellikle kesikli üretim yapan kaynakların sürekliliğini sağlamak için enerjinin aynı biçimde ya da farklı bir biçimde saklanmasına denir. Enerji birçok formda depolanabilmektedir. Bunlardan bazıları biyolojik depolama, kimyasal depolama, ısıl depolama, elektriksel depolama, potansiyel enerji, yerçekimi potansiyel enerjisi, kinetik enerji vs. dir. Günümüzde şebekelerde tercih edilen depolama sistemleri çoğunlukla, mekanik, termal ve elektrokimyasal sistemler olarak ifade edilebilir (Erdoğan, 2021).

Enerji depolama metotları birbirlerinden enerji kapasitesi, en yüksek depolama zamanı, çevrim ömrü, özgül enerji ve özgül güç değerleri yönünden değişiklik gösterirler. Mali yönden bakıldığında işletme ve inşaat maliyetlerinde büyük farklılıklar vardır. Kurulum için tercih yapılacağına her bir enerji depolama yönteminin idealliyi titizlikle incelenmelidir (N. Özdemir & Hadra, 2016).

Bu çalışmada enerji depolama sistemlerinin güç sistemi kararlılığını nasıl etkilediğini incelemek için bazı senaryolar üzerinden test sistemleri oluşturulmuştur. Test sistemleri için IEEE'nin 14 baralı güç sistemi kullanılmıştır. Simülasyonlar Matlab programı üzerinden gerçekleştirilmiş olup programın yazılımı için Hadi Saadat'ın kararlılık analizi için temel olarak görülen yazılım üzerine enerji depolama sistemleri uyarlanarak

geliştirilmiştir. Analizde kullanılan 14 baralı güç sistemi: 15 iletim hattı, 3 transformatör, 5 makine ve 11 yükten meydana gelmektedir.

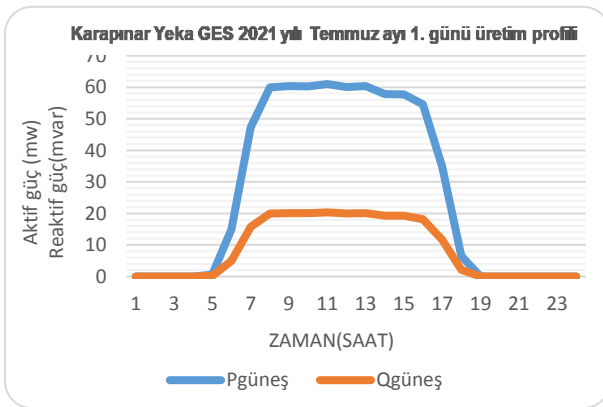
**Tablo 1.** 14 baralı güç sisteminde yapılan modifikasyonlar

Bara Numarası	Bara Kodu	Test Sistemi 1	Test Sistemi 2	Test Sistemi 3	Test Sistemi 4
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2+P <sub>güneş</sub>	2+P <sub>güneş</sub> +PQ <sub>mesken</sub>
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0+	0+P <sub>rüzgâr</sub> +P <sub>EDS</sub>	0+P <sub>güneş</sub> +P <sub>EDS</sub> +PQ <sub>sanayi</sub>
5	0	0+P <sub>rüzgâr</sub> +P <sub>EDS</sub>	0+P <sub>güneş</sub> +P <sub>EDS</sub>	0+P <sub>güneş</sub>	0+P <sub>güneş</sub> +PQ <sub>sanayi</sub>
9	0	2	0	0	0

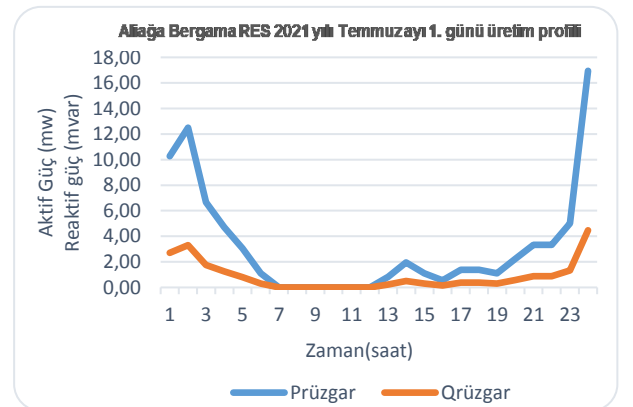
Tablo 1’den görüldüğü üzere analiz için 4 test sistemi oluşturulmuştur. Burada görülen P<sub>güneş</sub> baraya güneş üretim biriminin, P<sub>rüzgâr</sub> baraya rüzgâr üretim biriminin, P<sub>EDS</sub> baraya enerji depolama sisteminin, PQ<sub>sanayi</sub> baraya sanayi tipi yükün, PQ<sub>mesken</sub> baraya mesken tipi yükün entegre edildiği anlamına gelmektedir. Tabloda bara kodu sütununda gösterilen 0 kodu baranın yük barası olduğu, 1 kodu referans (slack) bara olduğu, 2 kodu gerilim kontrollü bara olan üretim barası olduğu anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada kullanılan enerji depolama sistemi literatürden elde edilen verilere dayanılarak tasarlanmıştır. Yani araştırmalarda en verimli durumun EDS’lerin 3 saatte şarj olup 3 saatte deşarj olacak şekilde sağlanmasından ötürü şarj ve deşarj saati 3 saat olarak belirlenmiştir. 4, 19 ve 24. saat dilimlerinde depolama sistemi bir güç kaynağı gibi davranmaktadır yani depoladığı gücü sisteme geri vermektedir. 11, 15 ve 21. saat dilimlerinde depolama sistemi bir yük gibi davranmaktadır yani sistemden şarj olmaktadır.

Enerji depolama sistemlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı güç sistemlerindeki etkisini inceleyebilmek için mevcut güç sistemi güneş, rüzgâr ve değişken yük birimleri kullanılarak tekrardan modellenmiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisinin 24 saatlik üretim değerleri EPIAŞ (Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi)’in şeffaflık platformundan yararlanılarak elde edilen gerçek zamanlı üretim değerleri ile Şekil 1’de gösterilen güneş ve rüzgâr üretim profili oluşturulmuştur (Acar, 2022).



(a)

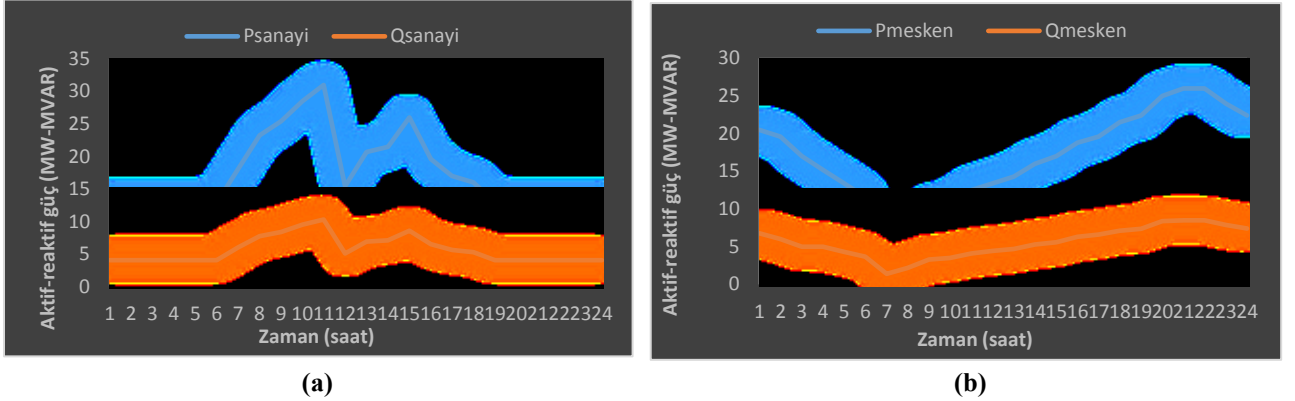


(b)

**Şekil 1.** (a) Güneş üretim birimi, (b) Rüzgâr üretim biriminin 24 saatlik üretim profilleri (Acar, 2022)

Çalışmada kullanılan yükler sanayi tipi ve mesken tipi olarak düşünülmüştür. Sanayi tipi yükler sanayi bölgelerindeki tüketimi ifade etmektedir ve P<sub>sanayi</sub>/Q<sub>sanayi</sub> şeklinde ifade edilmektedir. Mesken tipi yükler ise

yerleşim yerlerindeki tüketimi ifade etmektedir ve Pmesken/Qmesken şeklinde ifade edilmektedir. Değerler varsayımsaldır. Şekil 2’ de yüklerin 24 saatlik tüketim profilleri gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) Sanayi tipi yük ve (b) Mesken tipi yüke ait 24 saatlik tüketim profilleri

## 2. Araştırma Bulgular

14 baralı güç sistemine DÜB ve EDS entegrasyonu yapılırken sistemin yük yoğunluk haritasına bakılmıştır. Bunun sonucunda 2. bara %73, 4. bara %63 yoğunluğa sahipken bunları 5. bara takip etmektedir(Acar, 2022). Sistemde öncelikle 150 MW sonra 300 MW’ lık EDS kullanılmıştır.

EDS’ nin sistem kararlılığı üzerindeki etkisini incelemek için sırasıyla aşağıdaki simülasyon aşamaları izlenmiştir.

*1.Aşama:* Gerçek zamanlı üretim değerleri, varsayımsal yük değerleri kullanılarak ve tasarlanan EDS sistemi ile birlikte test sistemi oluşturulmuştur.

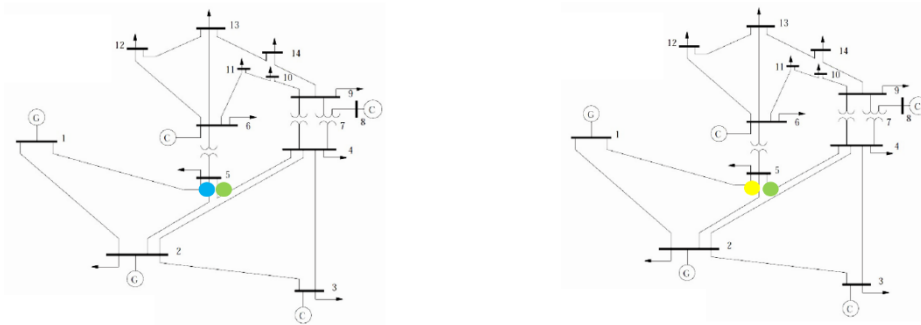
*2.Aşama:* Matlab programı aracılığıyla test sistemleri üzerinden yük akış analizi yapılarak 24 saatlik gerilim kararlılığı grafikleri elde edilmiştir

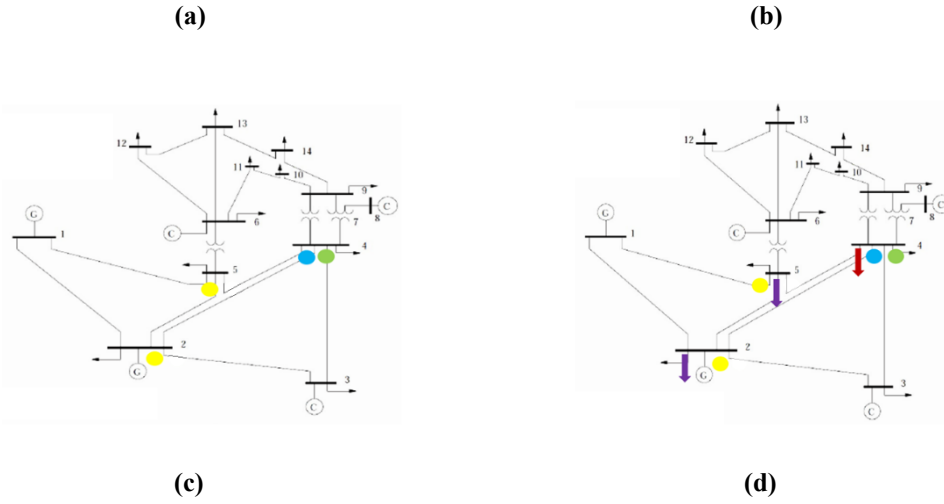
*3.Aşama:* Sistemde oluşabilecek 3 faz arızası geçici durum kabul edilerek bu durum üzerinden analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda;

- rotor açısı kararlılığı
- frekans kararlılığı grafikleri elde edilmiştir.

*4.Aşama:* 3.aşamada yapılan işlemler bir günün her saati için uygulanmıştır.

Bu aşamalar Test sistemleri üzerinde sırasıyla uygulanmış ve sonuçlar aşağıda gösterilmiştir. Analizde 5-6 hattı arasında 5. baraya yakın bir 3 faz arızası oluşturulmuştur. Arızanın 5 ve 6. bara arasındaki trafonun çalışmasını olumsuz etkileyeceğini ve bu baralara entegre edilecek DÜB, EDS’ lerin çalışmasının etkileneceği hatta devre dışı kalabileceği göz önüne alınması gerekmektedir. Yapılan entegrasyon işlemleri Şekil 3’ de gösterilmiştir. Atalet sabitleri güneş santrali için 0.3 ve rüzgâr santrali için 2.4 değerindedir.

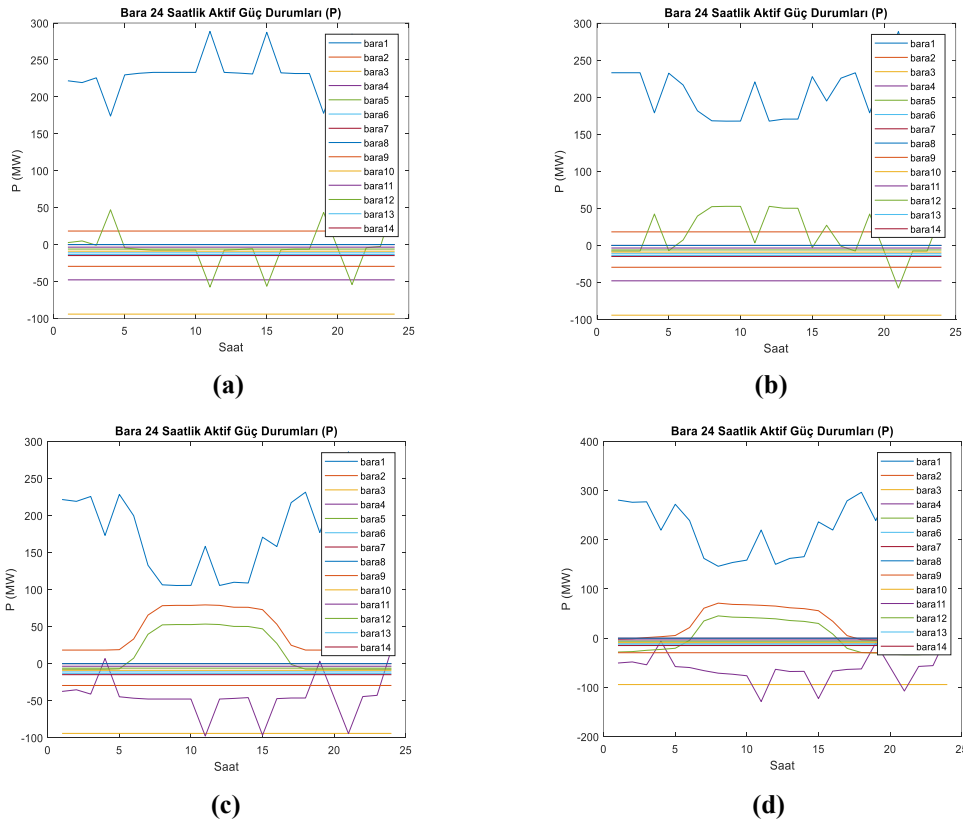




Şekil 3. (a) Test sistemi 1, (b) Test sistemi 2, (c) Test sistemi 3, (d) Test sistemi 4 (Acar, 2022)

Test sistemi şekillerinde IEEE 14 baralı sistem üzerinde görülen yeşil renkli daireler enerji depolama sistemini, sarı renkli daireler güneş enerji santralini, mavi renkli daireler rüzgâr üretim santralini, bordo renkli ok sanayi tipi yükü, mor renkli ok mesken tipi yükü temsil etmektedir.

- *Aktif Güç Grafikleri*



Şekil 4. (a) Test sistemi 1'in, (b) Test sistemi 2'nin, (c) Test sistemi 3'ün, (d) Test sistemi 4'ün 24 saatlik Aktif Güç grafikleri

Grafiklerde görülen 0' ın altındaki değerlere sahip baralar tüketim barasını, 0' ın üzerindeki değerler üretim barasını, 0 değeri ise baranın geçiş barası olduğunu göstermektedir. Test sistemi 1'in grafiği incelendiğinde; rüzgâr üretim biriminin ve EDS entegrasyonun 1. bara(grafikte mavi ile gösterilen) olan referans barayı ve entegre yapılan 5. barayı(grafikte yeşil ile gösterilen) etkilediği görülmektedir. Grafiğe bakıldığında 5. bara üzerinde depolama sisteminin sisteme yük sağladığı deşarj saatleri olan 4, 19 ve 24. saat dilimlerinde gücün mevcut duruma göre yükseldiği, 11, 15 ve 21. saat dilimlerinde sistem üzerinden depolandığı şarj durumundan ötürü güç değerinde olan azalma 5. ve 1. bara üzerinden açıkça görülmektedir.

Şekil 1 (b) incelendiğinde; rüzgâr üretim biriminin 24 saatte toplam sağladığı 77.5 MW' lık gücün EDS' nin deşarj saatlerinde sağladığı toplam 150 MW' lık güç bir arada düşünülürse sistemin mevcut duruma göre iyileşmesi olası bir durumdur. Test sistemi 2' nin grafiği incelendiğinde; entegre edilen güneş üretim biriminin etkin olduğu 6-18 saat dilimlerinde sağladığı gücün ve EDS' nin 5. bara üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere depolama sisteminin sistemden güç çektiği 21. saat dilimi hariç şarj olduğu saatlerde dahi gücün kısmen mevcut durumla aynı olduğu yani kötü olmadığı görülmektedir. Şekil 1 (a) incelendiğinde güneş üretim biriminin 24 saatte toplamda 636 MW sağladığı ayrıca EDS' den gelen 150 MW göz önüne alındığında mevcut duruma göre ve Test sistemi 1' e göre daha iyi bir durumun oluşması doğal bir durumdur. Şeklin (d) öncülü yani Test sistemi 3 incelendiğinde entegre edilen güneş üretim biriminin etkisi 5. bara(grafikte yeşil ile gösterilen) ve 2. bara(grafikte turuncu ile gösterilen) üzerinde görülmektedir. 4. bara(grafikte mor ile gösterilen) üzerinde ise rüzgâr üretim birimi ile EDS' nin etkisi görülmektedir. Depolama sisteminin sisteme güç verdiği saat dilimleri mevcut durumla karşılaştırıldığında güç değerleri daha yüksektir, sistemden güç çektiği saat dilimlerinde ise mevcut duruma göre daha düşük güç değerlerinde olduğu açıkça görülmektedir. Şekil (e)' ye bakıldığında güneş üretim birimlerinin varlığı 2. bara(grafikte turuncu ile gösterilen) ve 5. bara(grafikte yeşil ile gösterilen)da görülmektedir ancak şekil (d) ile karşılaştırıldığında bu baralara entegre edilen mesken tipi ve sanayi tipi yükler güç değerinde bir azalmaya neden olmuştur. Ayrıca depolama sisteminden kaynaklanan güç artışı da şekil (d)' ye göre daha azdır.

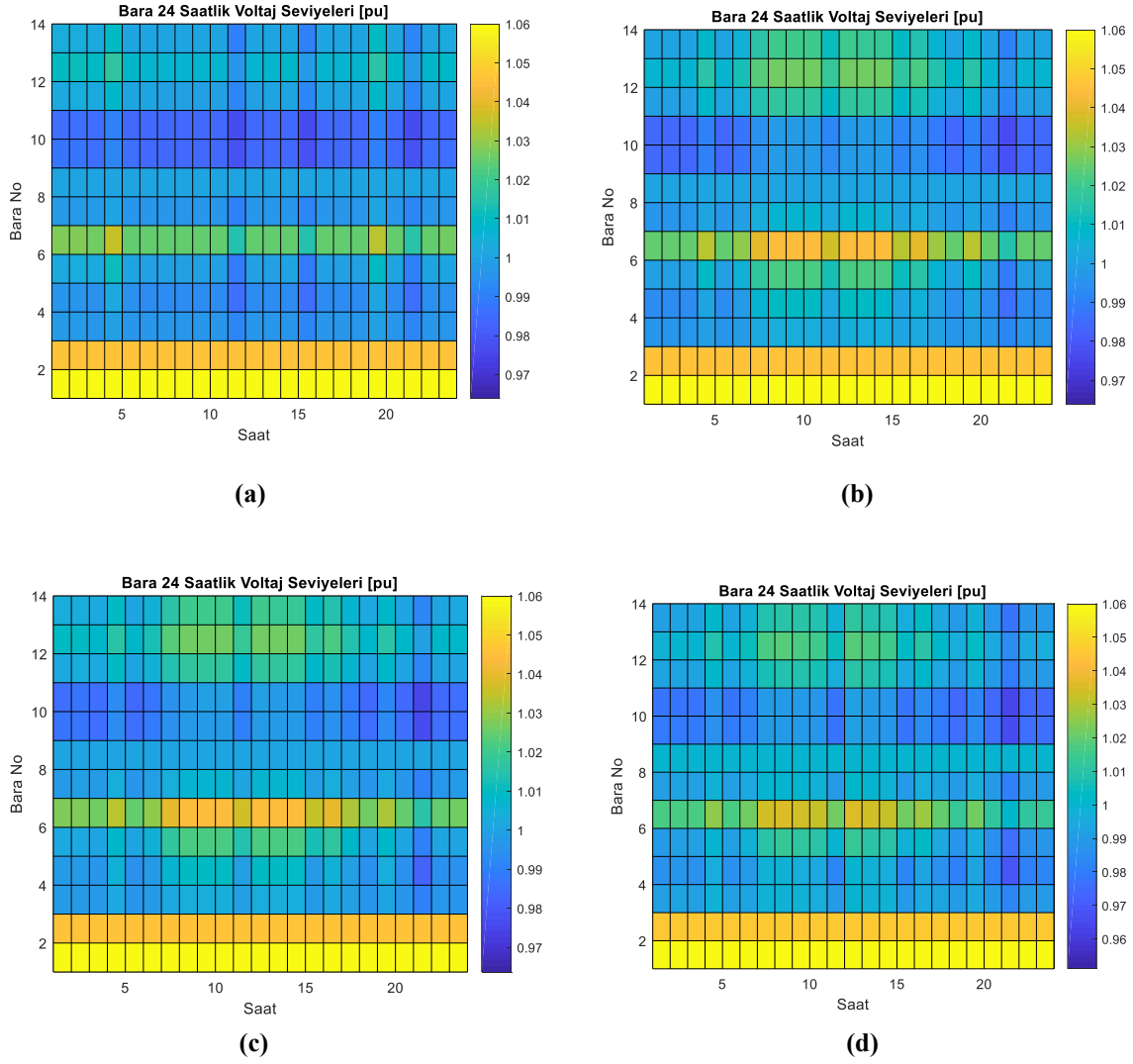
- *Gerilim Seviyesi Grafikleri*

Şekil 5' de test sistemlerinin voltaj seviyelerinin blok gösterimi görülmektedir. Tüm test sistemlerine bakıldığında enerji depolama sistemlerinin şarj olduğu saat dilimleri(11, 15, 21) ve deşarj olduğu saat dilimleri(4, 19, 24) diyagramlar üzerinde görülmektedir. Test sistemi 2, test sistemi 3 ve Test sistemi 4' de ayrıca güneş üretim birimlerinin varlığı da güneşin etkin olduğu saat dilimlerinde açıkça görülmektedir. Test sistemi 3 ile Test sistemi 2' ye bakıldığında aynı değerlere sahip gibi görünse de depolama sisteminin şarj olduğu saat dilimlerine ve sistemin geneline bakıldığında Test sistemi 2' den farklı olarak fazladan 1 güneş üretim birimi, 1 rüzgâr üretim biriminin varlığından kaynaklı Test sistemi 3'ün daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Dağıtık üretim birimleriyle birlikte enerji depolama sistemlerinin pozitif varlığı gerilim kararlılığı açısından bakıldığında olumlu sonuçlar oluşturmuş ancak referans bara (1 nolu bara) nominal değer (1.05) üzerinde seyretmiştir. Bu da güç sisteminde problem teşkil etmektedir.

- *Rotor Açılı Kararlılığı Grafikleri*

Rotor açılı kararlılığını görmek için simülasyonun 3a aşaması gerçekleştirilmiştir. Arıza durumu olarak 5-6 hattı arasında 5 numaralı baraya yakın trafo arızası oluşturulmuştur. Arızanın konumuna ve yakın olduğu baraya bakıldığında DÜB, EDS ve yüklerin bağlı olduğu bir baradır. Bu noktaya yakın bir arızanın entegre edilen üretim birimlerinin çalışmalarının aksaması dahası devre dışı kalması anlamına gelmektedir. Bu bilgiler ışığında yapılan analiz 4. saat diliminde gerçekleştirilmiştir. Arızanın temizlenme süresi 0.20 s olacak biçimde analiz yapılmıştır. Simülasyon 30 saniye boyunca sürdürülmüştür. Analiz sonuçları aşağıda gösterilmiştir.



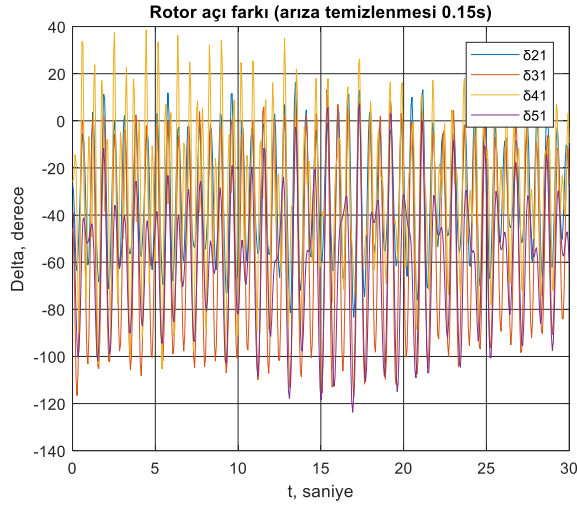
**Şekil 5.** (a) Test sistemi 1'in (b) Test sistemi 2'in, (c) Test sistemi 3'nin, (d) Test sistemi 4'ün, 24 saatlik Voltaj seviyelerinin blok gösterimi

Şekil 6 incelendiğinde test sistemlerinin 5-6 hattında 5. baraya yakın bir arıza varlığında 0.15. saniyedeki rotor açığı farkı grafikleri görülmektedir. Test sistemi 2' de bu arıza bilgilerinde sistemler kararsızlığa gitmiştir. Test sistemi 1' e bakıldığında 6. baradaki jeneratörü temsil eden  $\delta_{41}$ 'deki salınımlar daha büyük genliğe sahiptir. Rüzgâr üretim birimi 5. bara üzerindedir ancak 2. ve 6. barayla bağlantılı olduğu göz önüne alınırsa etkisi  $\delta_{41}$  üzerinde görülmektedir. Test sistemi 3' e bakıldığında 8. baradaki jeneratörü temsil eden  $\delta_{51}$ 'deki salınımların diğer jeneratörlere göre daha düzensiz salınım yaptığı görülmektedir. Test sistemi 4' e bakıldığında jeneratör etkilenme durumu test sistemi 3 ile aynıdır. Ancak salınımların genlikleri sistem 3' e göre düşük ve salınımlar daha seyrek.

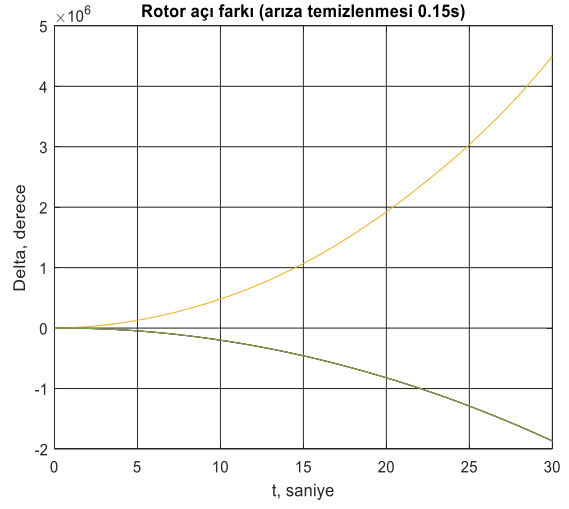
- *Frekans Kararlılığı Grafikleri*

Simülasyonun 3b aşaması gerçekleştirilerek frekans kararlılığı analizi yapılmıştır. Arıza bilgileri rotor açığı kararlılığı analizindeki bilgiler ile aynıdır. Analiz 15 saniye gerçekleştirilmiştir. Sistemin oluşturulan arızaya karşı verdiği tepki aşağıda gösterilmiştir.

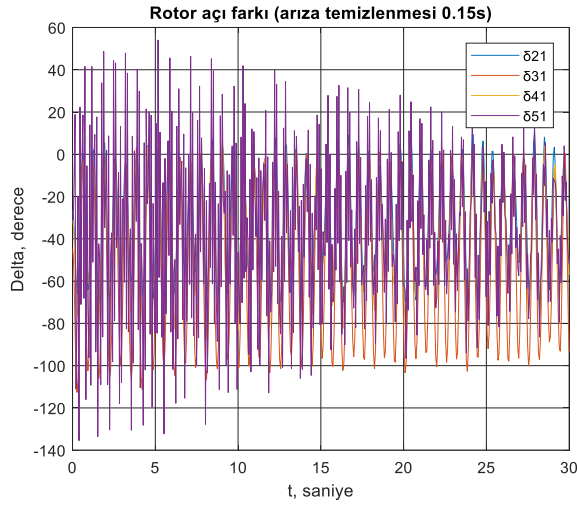




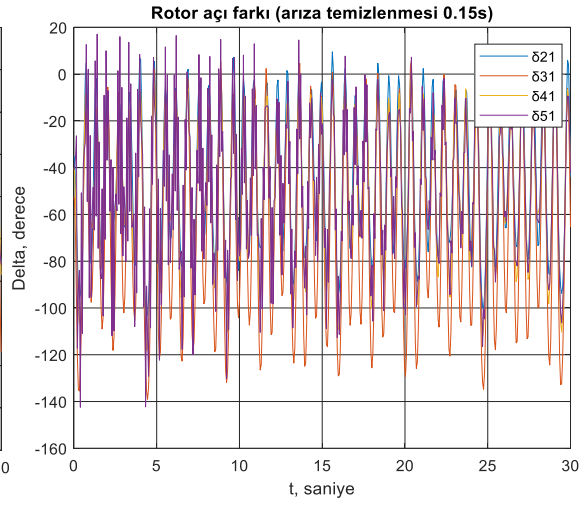
(a)



(b)



(c)



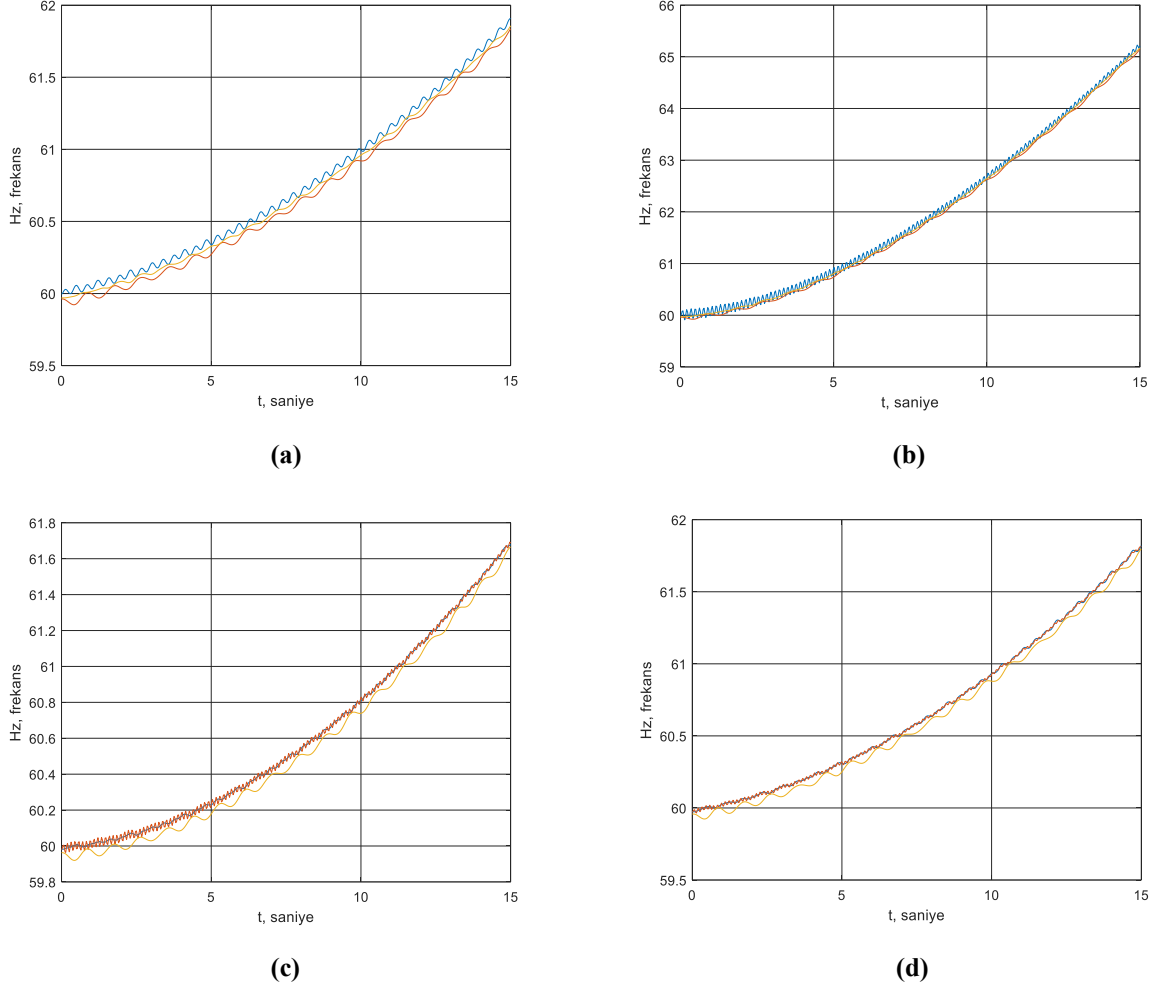
(d)

**Şekil 6.** (a) Test sistemi 1'in, (b) Test sistemi 2'nin, (c) Test sistemi 3'ün ve (d) Test sistemi 4'ün 4. Saat dilimindeki 30 saniyelik rotor aç farkı grafikleri

Şekil 7' de test sistemlerinin 15. saniyedeki frekans değerleri incelendiğinde; Test sistemi 1, 60 Hz olan standart frekans değerinden % 3, Test sistemi 2 % 8.5, Test sistemi 3 % 2.75, Test sistemi 4 % 2.91 değerinde uzaklaşmıştır. Sistemi frekans olarak kararsız saymamız için kararlılık üst sınırı 62.99 Hz değerini aşması gerekmektedir. Bu duruma göre Test sistemi 3 hariç diğer sistemler 15 saniye süresince frekans olarak kararlılık aralığındadır denilebilir. Şekillerden görüleceği üzere analizi 1 dakika devam ettirdiğimizde ise frekans değerleri yükselmekte ancak belli bir sınırdadır ve kararlılık üst sınırı olan 62.99 Hz değerini tüm sistemler aşmaktadır. Bu durumun genel nedeni arızanın enerji depolama birimi ve dağıtık üretim birimlerine çok yakın bir yerde olması ve sisteme eklenen yükler, EDS' nin sistemden temin ettiği güçtür diyebiliriz ancak sistemleri ayrı ayrı ele almak daha doğru olacaktır. Frekans sapma değeri en kötü durumda olan sistem 2. sistemdir. 2. sistemin en kötü değerlere sahip olmasındaki neden DÜB olarak sadece H sabiti sıfıra yakın olan güneş üretim birimi kullanılmasıdır. Yani H sabitinin düşük oluşundan kaynaklı sistem arıza anında dayanıklılığını koruyamamıştır. 3. sistemde ise güneş üretim birimi ile beraber H sabiti yüksek olan rüzgâr üretim biriminin kullanılmasıdır. Test sistemi 1' in en azından bu mantığa göre sistem 4' e göre rüzgâr üretim biriminden kaynaklı frekans olarak en iyi sistem olması beklenir ancak bu durum farklıdır. Çünkü sadece 1 rüzgâr üretim biriminin sisteme verdiği güç yetersiz kalmıştır.

- *Temizleme Süresi( $t_c$ )*

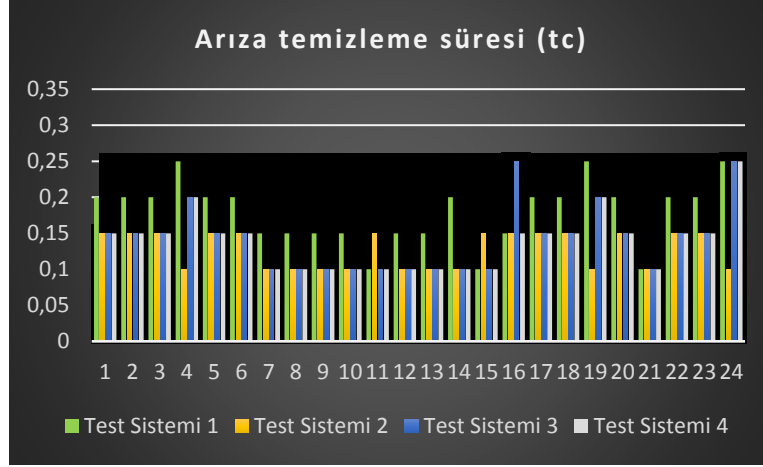
Simülasyonun 4. aşaması uygulanarak tüm test sistemlerinin 5-6 hattı arasında 5. baraya yakın arıza karşısında temizleme süreleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 7.** (a) Test sistemi 1'in, (b) Test sistemi 2'nin, (c) Test sistemi 3'ün, (d) Test sistemi 4'ün 4. Saat dilimindeki 15 saniyelik frekans kararlılığı grafikleri

14 baralı güç sisteminin mevcut durumunun bu arıza karşısında temizleme sürelerine bakıldığında 24 saat için değeri 0.15 olduğu görülmüştür. Şekil 8 incelendiğinde Test sistemi 1' de depolama sisteminin sisteme güç verdiği saat dilimlerinde(4, 19, 24) sistemin arıza karşısında daha uzun süre kararlı kaldığı görülmektedir. Sistemden güç çekilen saat dilimlerinde(11, 15, 21) ise kararlı kalma süresi mevcut durumun kararlı kalma süresinden de düşüktür. Teorik olarak depolama sistemlerinin sisteme güç verdiği saat dilimlerinde sistemin arıza karşısında kararlı kalma süresinin mevcut durumdan daha uzun olması beklenir. Test sistemi 2' ye bakıldığında teoriden farklı bir durum söz konusudur. 4, 19 ve 24. saat dilimlerinde mevcut durumdan düşük  $t_c$ ' ye süresine sahiptir. Bu durumun nedeni bu test sistemi 2' de dağıtık üretim birimi olarak güneş üretim birimi kullanılmasıdır. Sayılan saat dilimlerinde güneşin etkin olmadığı ve H sabitinin de sıfıra yakın bir değerde olduğu düşünülürse sistem arıza karşısında yeterli sönmüleme momenti üretememiştir denilebilir. Test sistemi 3' e bakıldığında deşarj saatlerinde kararlı kalma süresi mevcut duruma göre daha uzundur, şarj saatlerinde ise kararlı kalma süresi 0.1 değeriyle mevcut durumdan düşüktür. Test sistemi 4' de 24. saat diliminde 0.25 olan süre, 4. ve 19. saat dilimlerinde 0.2' ye düşmüştür ancak bu değer yine mevcut durumdan iyidir. Deşarj saatlerinde ise durum diğer test sistemlerinden farksız değildir. En avantajlı sistemin de sistem 1 olduğu görülmektedir. Genel olarak incelendiğinde güneş üretim biriminin düşük atalet sabiti ve sınırlı saatlerde etkin oluşu, rüzgâr üretim biriminin sınırlı saatlerde etkin oluşu, sistemlere yüklenen ekstra yükler ve depolama sisteminin güç sistemlerinden temin ettiği yük nedeniyle zaman

zaman kararlı kalma süresi mevcut durumdan düşük değerleri görmüştür. Tam tersi sisteme güç takviyesi yapan EDS ve DÜB' ler sayesinde zaman zaman kararlı kalma süresi mevcut durumdan yüksek değerleri görmüştür.



Şekil 8. Test sistemlerinin her saat dilimi için arıza karşısında kararlı kalma süreleri

- *300 MW' lık Enerji Depolama Sistemi*

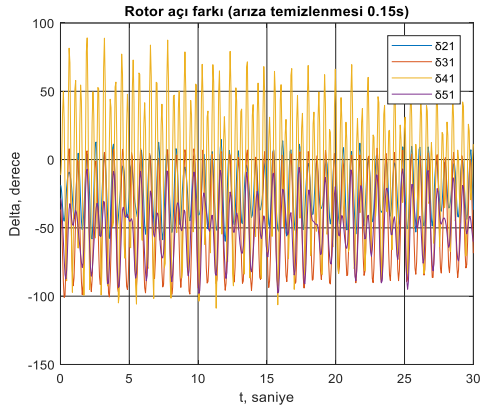
Tüm parametreler aynı tutulup sadece depolama sisteminin gücü değiştirilerek gücün kararlılık üzerindeki etkisini açıkça görebilmek hedefiyle depolama sisteminin gücü 150 MW' dan 300 MW' a yükseltilip simülasyonun ilk 3 aşaması gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda aktif güç değerlerinde depolama sisteminin güç ve yük artışından kaynaklı 11. saat dilimi referans alınarak yapılan karşılaştırmada; senaryo 1 için; ortalama %16.9 oranında güç değerinde bir artış, senaryo 2 için ortalama %21.42 oranında artış, senaryo 3 için; ortalama %23.8 oranında artış görülmüştür. Senaryo 4 için, kayda değer bir azalma veya artma görülmemiştir. Voltaj seviyesi grafiklerine bakıldığında genel olarak şarj saatlerinde ortalama %23 değerinde artış, deşarj saatlerinde kayda değer bir artış ya da düşüş görülmemiştir.

21. saat dilimi referans alınarak gerilim değerleri 150 MW' lık sistemlerle karşılaştırıldığında; 1. senaryoda % 0.3' lük bir yükselme, 2. senaryoda % 0.8 değerinde bir yükselme, 3. senaryoda % 0.7 değerinde bir yükselme görülmüştür. Bu yükselme olumlu bir durumdur ancak çok yüksek değerlerde bir artış değildir. 4. senaryoda durum farklıdır; %1.3' lük düşüşle sistemin bu saat dilimine ait gerilim değeri 0.95 sınırının altına düşmüştür. Bu 4. senaryoyu gerilim olarak kararsız duruma geçirmektedir.

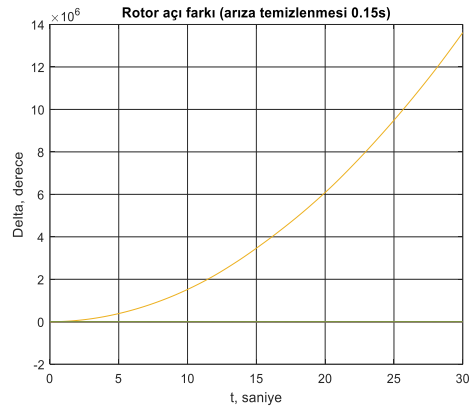
- *Rotor Açılı Kararlılığı Grafikleri*

Rotor açılı kararlılığını görmek için simülasyonun 3a aşaması gerçekleştirilmiştir. Arıza durumu olarak 5-6 hattı arasında 5 numaralı baraya yakın trafo arızası oluşturulmuştur. Arızanın konumuna ve yakın olduğu baraya bakıldığında DÜB, EDS ve yüklerin bağlı olduğu bir baradır. Bu noktaya yakın bir arızanın entegre edilen üretim birimlerinin çalışmalarının aksaması dahası devre dışı kalması anlamına gelmektedir. Bu bilgiler ışığında yapılan analiz 4. saat diliminde gerçekleştirilmiştir. Sistemlerin  $tc=0.15$  saniye seçilip 30 saniye boyunca analiz sürdürülmüştür. Grafikler Şekil 9' da gösterilmiştir.

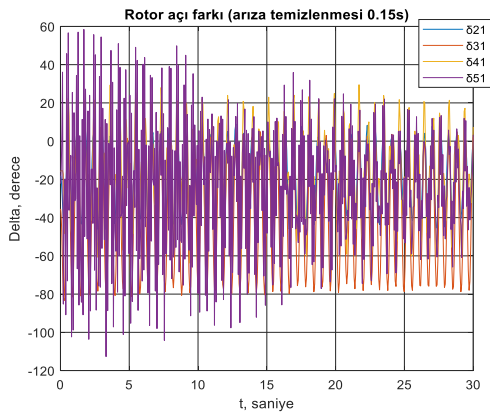
Şekiller incelendiğinde Test sistemi 2' de güneş üretim biriminin düşük H değerinden kaynaklı kararsız olduğu görülmektedir. Test sistemi 1' e bakıldığında 6. baradaki jeneratörü temsil eden  $\delta_{41}$ ' deki salınımlar daha büyük genliğe sahiptir. Rüzgâr üretim birimi 5. bara üzerindedir ancak 2. ve 6. barayla bağlantılı olduğu göz önüne alınırsa etkisi  $\delta_{41}$  üzerinde görülmektedir. Test sistemi 3' e bakıldığında 8. baradaki jeneratörü temsil eden  $\delta_{51}$ ' deki salınımların diğer jeneratörlere göre daha düzensiz salınım yaptığı görülmektedir. Test sistemi 4' e bakıldığında 3. jeneratörü temsil eden  $\delta_{31}$ ' deki salınımların daha büyük genliğe sahip olduğu görülmektedir. Salınımlar test sistemi 3' e göre daha düzenlidir. Tüm test sistemleri 150 MW' lık depolama sistemindeki rotor açılı grafikleriyle karşılaştırıldığında Test sistemi 2 hariç diğer sistemlerde kararlılık bakımından 300 MW' lık depolama sisteminin daha avantajlı olduğu görülmektedir.



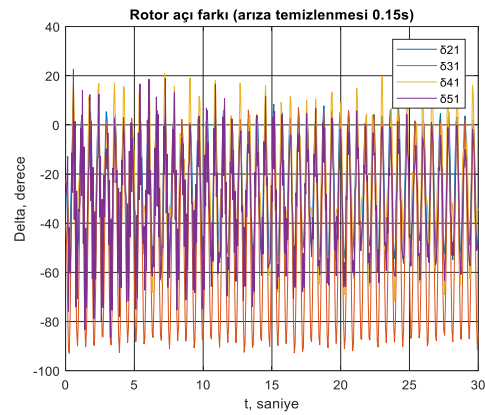
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 9.** (a) Test sistemi 1'in, (b) Test sistemi 2'nin, (c) Test sistemi 3'ün, (d) Test sistemi 4'ün 24. saat dilimindeki 30 saniyelik rotor açısı kararlılığı grafikleri

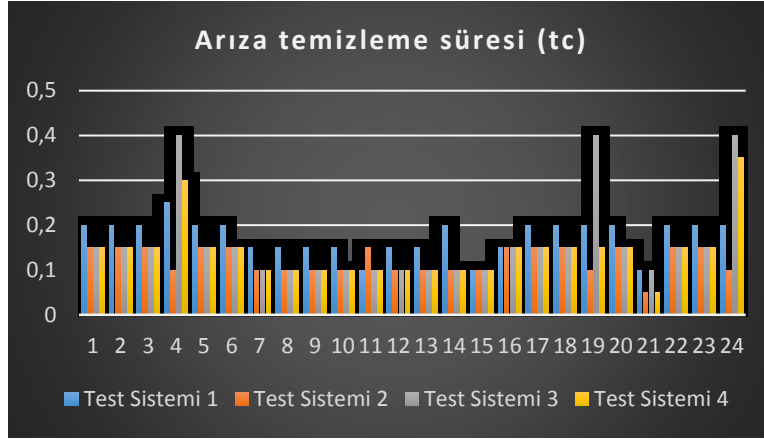
Simülasyonun 3b aşamasında 150 MW ve 300 MW değerlerindeki depolama sistemlerinin frekans değerleri aşağıdaki tabloda karşılaştırılmıştır.

**Tablo 2.** Test sistemlerinin 300 MW ve 150 MW'lık EDS ile frekans değerleri (Acar, 2022)

EDS Gücü	Test sistemi 1	Test sistemi 2	Test sistemi 3	Test sistemi 4
150 MW	61,9	65,1	61,72	61,6
300 MW	62	73	61,8	61,5

Tablodan görüleceği üzere frekans grafiklerinden ortalama değerler elde edilmiştir. Test sistemi 2 hariç tüm sistemlerde frekans değerleri birbirine çok yakındır. Test sistemi 2' de kullanılan güneş üretim biriminin H sabitinin sıfıra yakın değerde olmasından dolayı yeterli sönümlenme momenti üretilememiş ve sistem frekans olarak kararsızdır. 300 MW' a ait diğer tüm frekans olarak kararlıdır ancak frekans değerleri artış eğilimi gösterip bir süre sonra sabit kalmaktadır. Ayrıca 300 MW' lık depolama sisteminin sisteme verdiği güç değerinin olumlu sonuçları olsa da depolama yaptığı zamanlarda sistem üzerinden kendine sağladığı güç değeri de büyük olduğundan frekans değerini olumsuz yönde etkilemiştir.

Simülasyonun 4. aşaması gerçekleştirilerek depolama sisteminin güç artışının sistemin kararlı kalma süresindeki etkisini incelemek amaçlanmıştır. Analiz sonuçları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 10.** 14 Baralı Test sistemlerinin her saat dilimi için arıza karşısında kararlı kalma süreleri

Şekil 10 incelendiğinde genel olarak tüm test sistemlerinin depolama sisteminin sisteme ekstra güç verdiği zaman dilimlerinde kararlı kalma sürelerinde artış görülmektedir. Test sistemi 2' de durum farklıdır, genel olarak bu sistem arıza karşısında diğer sistemlere göre kararlı kalamamıştır. H sabitinin sıfıra yakın bir değerde tercih edilmesi arıza karşısında sistemi dayanıksız hale getirmiştir. Özellikle saat 21' de sistem 2 ve sistem 4' ün en kötü değerlere(0,05) sahip olduğu görülmektedir. Sistem 4' e eklenen ekstra yükler sistemi kısa sürede kararsızlığa sürüklemiştir. Test sistemi 3' e bakıldığında deşarj saatlerinde sistem 0,4 saniyelere kadar kararlı kalmıştır. En iyi sistemin Test sistemi 3 olduğu görülmektedir. Güneş üretim biriminin rüzgâr üretim biriyle beraber varlığı sonuçların olumlu olmasına olanak sağlamıştır

### 3. Sonuç

Her geçen gün artan enerji ihtiyacını karşılamak için YEK' ler kullanılmaktadır. YEK' lerdeki güç dalgalanmalarını kararlı hale getirmek ve tüketiciye verimli enerji sunmak için çözümlerden birinin enerji depolama sistemi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada 14 baralı mevcut güç şebekesine dağıtık üretim birimleriyle birlikte farklı enerji seviyelerindeki enerji depolama sistemleri entegre edilmiş ve güç değerindeki bu artışın sistemlerin rotor açısı, frekans ve gerilim kararlılıklarında oluşturacağı etkiler incelenip karşılaştırılmıştır. Ayrıca arıza temizleme sürelerindeki değişim her saat dilimi ve her senaryo için analiz edilip tablolar halinde sunulmuştur.

150 MW' lık EDS için simülasyonlar gerçekleştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. DÜB' lerle EDS' lerin birlikte varlığı güç voltaj değeri ve aktif güç bakımından sistemlerde olumlu sonuçlar doğurmuştur. Test sistemi 2 hariç tüm sistemlerde frekans olarak kararlılığını korumuştur. Rotor açısı kararlılığına bakıldığında tüm mevcut durum ve sistem 2 kararsız, diğer sistemler uç noktada kararlıdır. Sistemin kararsızlığa gitme sürelerine bakıldığında EDS' lerin sistem üzerinden deşarj olduğu zaman yani sisteme güç temin ettiğinde sistemin kararlı kalma süresinde iyileşme olduğu görülmüştür.

300 MW' lık EDS için sonuçlar daha olumludur. Aktif güç ve gerilim değerlerinde depolama sisteminin sisteme güç verdiği saat dilimlerinde artışlar görülmüştür. Test sistemi 2 rotor açısı ve frekans olarak kararsızdır. Diğer tüm sistemler frekans ve rotor açısı bakımından kararlıdır. Geçici durumu temsil eden arıza karşısında sistemin kararlı kalma süreleri incelendiğinde mevcut duruma göre deşarj saatlerinde sistemin daha uzun süre kararlılığını koruduğu görülmektedir. Gücü yüksek olan depolama sistemi için diğer depolama sistemine göre deşarj saatlerinde daha uzun süre kararlılığını sürdürdüğü görülmüştür.

Sonuç olarak 14 baralı sistem yapısından dolayı en ufak bir değişiklik ve arıza durumundan çok çabuk etkilenebilir. Bu bakımdan kararlılık durumları için farklı senaryoların oluşturularak sistem incelenmiştir. Buradan, 14 baralı sistemlerde güneş üretim birimleriyle depolama sisteminin birlikte kullanımı olumsuz sonuçlar doğururken; rüzgâr üretim birimiyle birlikte kullanımı ya da güneş/rüzgâr üretim birimlerinin aynı güç sistemlerinde kullanıldığı sistemlerle güç seviyesi yüksek olan EDS daha olumlu sonuçlar vermiştir.

Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yapısından kaynaklı düşük H değerinin negatif etkisinin yok edilmesi sebebiyle bu çalışmalara devam edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda bu yenilenebilir kaynakların değişken ve süreksiz üretim yapısı ve değişken tüketim profillerinden kaynaklanan problemleri uygun enerji depolama sistemiyle çözümlenebilir. Ancak depolama sistemlerinin kullanımı da kararlılık probleminin önüne tamamen geçememektedir. Gelecekte yenilenebilir enerji kaynakları payının enerji piyasamızdaki payı oldukça artacaktır. Bu kaynakların giderek artan uygulamalarıyla beraber bu üretim kaynaklarından üretilen fazla enerji

dağıtık depolama şeklinde isimlendirilen elektrik depolama sistemlerinden akıllı şebekeler ile daha da faydalanılması beklenmektedir. Bu sistemler üretim fazlası olan enerjiyi depo edecektir. Bunun sonucunda herhangi bir elektrik kesintisi halinde, enerjinin yetmediği veya sistemde meydana gelen arıza durumlarında, enerji depolama kapasitesi dâhilinde belirli sınıra kadar enerji ihtiyacına karşılık vererek üretimdeki devamlılığı sağlayacaktır.

Depolama sistemlerinin akıllı şebeke alt yapısına uydurulması, güç sistemine uygun teknoloji ve güçte depolama sistemi seçimi, adedi, şarj ve deşarj saatlerinin en verimli sonuç alacak şekilde belirlenmesi sistem kararsızlığı problemlerinin önüne geçebilmek adına farklı senaryo ve güç sistemleriyle birlikte analiz edilmesi çalışmalarının artırılması önerilmektedir.

5 Temmuz 2022 yılında Resmi gazetede yayımlanan Elektrik Piyasası Kanunu' ndaki tesis yatırımlarıyla ilgili maddeye göre enerji depolama tesisi yapmayı üstlenen sermayedarlar, kurulacak tesisin gücü sınırında yenilenebilir enerji(rüzgâr ve/veya güneş) yatırımları için bir pürüz oluşmadan lisans sahibi olabileceklerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla birlikte enerji depolama tesislerinin kurulmasının devlet tarafından da teşvik edilmesi ile bu tesislerin sayısının gün geçtikçe artması ön görülmektedir. Dolayısıyla bu alandaki çalışmaların büyük önem taşıdığı görülmektedir.

Yapılan bu çalışmada, literatürde yapılan benzer çalışmalar incelenmiş, EDS' lerin hayatımızdaki yeri ve öneminden bahsedilmiştir. Aynı zamanda bu çalışma yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı güç sistemlerinin farklı güç seviyelerindeki depolama sistemleriyle birlikte modellenmesinin güç sistem kararlılığı üzerindeki etkilerini öğrenmek adına sanal bir çalışma konumundadır. Sanal ortamda yapılan analizlerle güç sistemlerinde olması muhtemel arıza durumlarında sistemin verdiği tepkilerin incelenmesi gerçek güç sistemlerinde karşılaşılabilecek sorunlara çözüm bulmamız için önem teşkil etmektedir. YEK' e dayalı güç sistemlerinin sayılarının gün geçtikçe artmasına paralel olarak, enerjinin tüketici tarafında sürekliliğini sağlamak için enerji depolama sistemlerinin sayısının da artması muhtemeldir. Bu çalışmadan esinlenilerek temin edilen bilgiler doğrultusunda, ileriki seviyelerde çalışmada kullanılmayan güç sistemleri kullanılıp gerçek güç sistemleri esas alınarak oluşturulan değişik modelleme çalışmaları aracılığı ile akıllı şebekeler için enerji depolama sistemi çalışma planlamaları yapılması önerilmektedir. Gerek enerji verimliliğinin artırılması gerek karbon emisyonunun azaltılması için çözüm niteliğinde olan elektrikli araçlarda, kullanım sürekliliğini sağlamak adına da enerji depolama sistemlerinin önemli bir rol oynadığı açıkça görülmektedir ve bu konudaki çalışmaların da artacağı öngörülmektedir.

## Kaynaklar

- Acar A. (2022). Yenilenebilir Enerjiye Dayalı Güç Sistemlerinde Enerji Depolamanın Sistem Kararlılığı Üzerine Etkileri (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Bahçeci S, Daldaban F. (2017). Dağıtım Şebekelerinde Güneş Panelleri ve Enerji Depolama Sistemi Uygulaması. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 4(3), 308-313.
- Çalıklar A, Özdemir E. (2013). Modern Enerji Depolama Sistemleri Ve Kullanım Alanları. *V. Energy Efficiency And Quality Symposium*.
- Erdoğan Ö. (2021). Enerji Depolama. <http://www.guyad.org/Eklenti/241,guyad-enerji-depolama>
- Ibrahim H, Ilinca A, Perron J. (2008). Energy storage systems—Characteristics and comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), 1221-1250.
- Karahan O, Özcan A, Bağrıyanık M. (2020). The Effects of Mobile Battery Electricity Storage Systems On The Distribution Network. *2020 12th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 183-187.
- Kocaman B. (2013). Akıllı Şebekeler ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri. *BEU Journal of Science* 2(1), 119-127.
- Kurt G. (2010). Technical and economical analysis of energy storage technologies used for wind energy storage. *National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*, 17-21.
- Kuşdoğan Ş. (2015). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Enerji Depolama Uygulamalarının Verimliliği. 10.
- Özdemir E, Aktaş A, Erhan K, Özdemir Ş. (2017). Akıllı Şebekelerde Enerji Depolama Uygulamalarının Önündeki Fırsatlar Ve Karşılaşılan Zorluklar. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 499-506.

- Özdemir N, Hadra M. (2016). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Depolama Yöntemleri*. Geliş tarihi gönderen <http://gsk.cigreturkiye.org.tr/bildiriler2016/4.3.pdf>
- TSKB. (2020). *Enerji Sektör Görünümü*. <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2020.pdf>
- Turan M T. (2014). *Akıllı şebekelerde arıza analizi ve koruma*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.