Fırat Üniv. Fen Bilimleri Dergisi
30(3),7-14, 2018

Firat Unv. Journal of Science
30(3),7-14, 2018

Enerji Depolama Sistemlerinin Farklı Kullanım Zamanlarının Elektrik Sistemine Olan Etkisi

Mustafa Erdem SEZGİN[1], Mehmet Uğur GÜDELEK[2], Efe ARIN[3], Cem Recai ÇIRAK[1], Murat GÖL[1]

[1]Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, Ankara, Türkiye
[2]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, TOBB ETÜ, Ankara, Türkiye
[3]Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
erdems@metu.edu.tr

(Geliş/Received: 23.03.2018; Kabul/Accepted: 03.09.2018)

Özet

Günümüzde elektrik depolama sistemi teknolojilerinin gelişmesi ile bu birimler evlerin içinde kullanılabilir boyutlara gelmişlerdir. Bu bildiride enerji depolama sistemlerinin elektrik sistemine olan etkisi hem sistem operatörleri bazında hem de tüketici bazında incelenecektir. Aynı zamanda elektrik depolama sistemlerinin farklı şartlar altındaki en uygun biçimde kontrolü değerlendirilecektir. Bunların en önemlileri üç zamanlı ve çok zamanlı tariflerin modellenmesidir. Bunun yanında elektrik depolama sistemlerinin yük aktarımına ve tepe tıraşlamaya olan etkileri kullanım oranın bazında incelenecek olup ekonomik etkileri de değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Enerji depolama sistemleri, elektrik sistemi, tarife zaman dilimleri, 3-zamanlı tarife, çok zamanlı tarife

The Effect of Different Usage Times of Energy Storage Systems to Electricity Network

Abstract

Today, with the development of electrical storage system technologies, these units have come to dimensions that can be used in houses. In this report, effect of energy storage systems on electrical system will be examined both on the basis of the system operators and on the basis of consumer. At the same time, control of electrical storage systems will be evaluated in the most appropriate way under different circumstances. The most important of these are the modeling of triple-time and multi-time tariffs. Besides that, the effects of electric storage systems on load transfer and peak shaving will be examined in some cases and economic effects will also be assessed.

Keywords: Energy storage systems, electrical system, tariff time slots, 3-time tariff, multi-time tariff

1. Giriş

Son yıllarda dünyadaki elektrik tüketimi tüm zamanların en yüksek seviyesinde seyretmektedir. Fakat gün içindeki elektrik tüketimi maalesef sürekli aynı seviyede olmamakta gün içinde farklılıklar göstermektedir. Mesken kullanımlarda mevsime bağlı olmakla beraber genellikle en çok elektrik tüketimi akşam saatlerinde olup en düşük elektrik tüketimi ise gece saatlerinde gözlenmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için dağıtım sistemi operatörleri ilk önce talep yönetimi üzerine çalıştılar. Bu yöntemlerden en bilineni ve en etkili olanı çok zamanlı tarifelerin yaygınlaştırılmasıdır. Bu sayede tüketicilerin tüketim alışkanlıklarını düşük enerji kullanım zamanlarına kaydırmak istemektedirler. Fakat bu tüketicilerin yaşam konforunu belirli oranda düşürmektedir.

Batarya ve diğer enerji depolama teknolojilerinin gelişmesi ile enerji depolama sistemleri gelecekteki elektrik sistemlerinin değişmez parçalarından biri olma yolundadır [1]. Son zamanlarda Avrupa Birliği çerçevesinde alınan kararlar ile binaların CO2 salınımlarını azaltma yoluna gidilmiş olup [2], bu çerçevede enerji depolama sistemleri kullanılarak net sıfır enerji binaların planlamaları yapılmaktadır [3]. Bu sebepten ötürü enerji depolama sistemlerinin sisteme olan etkisinin incelenmesi gerekmektedir.

Bunun yanı sıra, üretim tarafında güneş ve rüzgâr gibi anlık değişimlerden etkilenen

yenilenebilir enerji kaynaklarının alt yapıda yaygınlaşması ile elektrik sisteminin esnekliği azalmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bu olumsuz etkisinin önüne geçmek ve yük tahmininin kolaylaştırılabilmesi için enerji depolama sistemlerinin kullanımı önerilmektedir [4].

Bu bildiride enerji depolama sistemlerinin mesken tipi kullanıcılarda yaygınlaşmasının etkileri tartışılacaktır. Ayrıca enerji depolama sistemlerinin farklı optimum çalıştırma stratejileri mümkündür. Örneğin çok zamanlı tarifelerin kullanıldığı ülkelerde, belirli bir fiyat endeksinin üstündeki zaman aralıklarında depolanan enerjinin kullanılırken, belirli bir fiyat endeksinin altında da enerji depolama birimlerinde depolanabilir [5]. Bundan farklı olarak sistem açısından önemli olan çalıştırma stratejileri ve tüketiciler açısından üç-zamanlı tariflerde çalıştırma stratejileri önerilecektir.

Bildirinin 2 numaralı konu başlığında yük kaydırma ve tepe tıraşlamanın ne olduğu, ne gibi sorunların çözümünde kullanıldığı ve bu zamana kadar nasıl yapıldığı açıklanacaktır. 3 numaralı konu başlığında enerji depolama sistemlerinin bu sorunlara nasıl cevap verebileceği tartışılacaktır. 4 numaralı konu başlığında ise enerji depolama sistemlerinin nasıl elektrik sistemini en ideal biçime getirebileceği ve buna ait kontrol stratejileri önerilecektir. 5 ve 6 numaralı başlıklarda ise enerji depolama sistemlerinin tüketici açısından en uygun kullanımları sıra ile önce üç zamanlı tarife senaryosunda sonra ise çok zamanlı tarife senaryosunda incelenecektir. Son olarak da 7. konu başlığında genel yorumlar ve bildirinin genel sonucu verilecektir.

2. Yük Kaydırma ve Tepe Tıraşlama

Gün içerisindeki güç ihtiyacı sürekli değişmektedir. Sistem operatörleri açısından sistemin yük durumunun sürekli değişmesi istenmeyen bir durumdur. Sürekli ve hızlı bir şekilde değişen güç ihtiyacı demek, sürekli sıcak rezerv bekletmek anlamına gelebilmektedir. Bu tarz durumlarda yan hizmetlerin rolü ön plana çıkmaktadır. Özellikle bekleme yedekleri, tüketimin hızlı yükseldiği dönemlerde çok önemli bir paya sahip olmaktadır.

Değişimlerin tahmin edilememesi de bir diğer zorluk olarak sistem operatörlerinin karşısına çıkmaktadır. Ani yük artış ve azalışlarının karşılanması için sistemdeki jeneratörlerin ataleti kullanılmakta olup, bu sistemin frekansını değiştirmektedir. Yine yan hizmetler bu durumda devreye girmekte ve primer-sekonder frekans kontrolü yapılmaktadır.

Elektrik sisteminin, sistem operatörleri açısından en önemli özelliği ise gün içi güç talep eğrisindeki tepelerdir. Elektrik sistemi için gerekli üretim miktarı bu tepe değerleri karşılayacak şekilde planlanmaktadır. Aynı zamanda gün içindeki tepe yük değeri ve düşük yük değeri sistem operatörleri için zorlu koşullar oluşturmaktadır. Örneğin, Türkiye genelinde tepe değerde yük çekildiği zaman hatlarda kayıplar artmakta ve gerilim düşümleri gözlenmektedir. Hatta ve hatta trafoların aşırı yüklenmesi bazı bölgelerde elektrik kesintilerine yol açmaktadır. Bir diğer uç örnek olan düşük yük talebinde ise iletim sistemindeki hatların kapasitif etkisi baskın geldiği için batı tarafındaki indirici merkezlerde gerilim yükselmesi gözlenmektedir.

Gelişen teknoloji sebebi ile artan elektrik ihtiyacımızı karşılamak için daha fazla elektrik üretim tesisine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat çevreye verilen zararı en düşük seviyeye indirebilmek için bazı farklı yöntemler izlenebilir. Talep tarafı yük yönetimi bu yöntemler içerisinde en güncel olanıdır. Türkiye'de, İtalya'da kullanılan [6] kullanım zamanı bazlı elektrik ücretlendirme tarifesi benzeri bir seçenek bulunmaktadır. İtalya'da hafta içi, hafta sonu ve tatil günleri için farklı kullanım zaman tarifeleri mevcut iken [6], Türkiye'deki uygulama çerçevesinde her gün için aynı olmak üzere üç farklı zaman dilimi oluşturulmuş olup her zaman dilimi farklı fiyat oranına sahiptir. Bu şekilde tüketicilerin tepe değer zaman dilimindeki tüketimlerini düşük fiyatlı zaman dilimlerine kaydırmaları beklenmektedir. Bu şekilde gün içi güç talep eğrisindeki tepelerin tıraşlanması ve daha düzgün bir eğrinin elde edilmesi hedeflenmektedir.

Fakat bu uygulamanın başarıya ulaşabilmesi için tüketicilerin bu uygulamaya aktif katılım göstermesi ve tüketim alışkanlıklarını değiştirmeleri gerekmektedir. Bu yöntemde tüketicilerin hayat tarzlarında değişim yapmaları beklenmektedir. Bu yöntemin, kullanım

açısından esnekliği düşük olduğu için sürdürülebilirliğinin fazla olduğu söylenemez.

Gelişen pil teknolojileri ile enerji depolama birimleri gitgide küçülmektedir. Bunun sayesinde de yaygınlıkları gitgide artmaktadır. Son yıllarda elektrikli araçların artması buna örnek olarak gösterilebilir. Benzer şekilde enerji depolama sistemleri sistemin çalışma düzeninin iyileştirilmesi için de kullanılabilmektedir.

3. Enerji Depolama Sistemlerinin Kullanımının Elektrik Sistemine Etkileri

Türkiye elektrik dağıtım ve iletim sisteminin, gün içi güç talep eğrisinin etkilerini en aza indirgemek için gelişen teknolojilerden yararlanması mümkündür. Enerji depolama sistemlerinin kullanılması bunlardan en popüler olanıdır. Dünyada birçok ülke de gerek elektrikli araçların artması gerekse enerji depolama sistemlerinin kullanılması ile sistem operatörleri bunların etkilerini incelemeye başlamıştır.

Enerji depolama sistemleri bugüne kadar var olan elektrik sistemi için yepyeni bir eleman olmakla birlikte birçok yeniliği de beraberinde getirmektedir.

Enerji depolama sistemlerinin yakın gelecekte tüketiciler tarafından kullanımının artacağı düşünülmektedir. Bugüne kadar kullanılan yük kaydırma ve tepe tıraşlama yöntemlerinden daha farklı bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Enerji depolama sistemlerinin tüketici kanadında kullanımı ile tüketicilerin kullanım alışkanlıklarını değiştirerek yük kaydırma yapılmasına gerek kalmayacaktır. Aksine, tüketicilerin yük alışkanlıklarını sürdürürken geri planda enerji depolama sistemleri çalışacak olup, otomatik olarak yük kaydırması yapılacaktır. Örnek olarak, elektrikli araçlarda yer alan enerji depolama birimlerinin araçtan şebekeye teknolojisi (vehicle to grid) ile talep tarafı yük yönetimine etkisi [7]'de incelenmiştir.

Tüketicilerin tepe değer zaman aralığında kullandıkları yük miktarı kadar enerji düşük enerjili zaman dilimlerinde enerji depolama sistemine depolanması ve tepe değer zaman aralığında bu depolanan enerjinin kullanılması durumu söz konusudur. Böylece, tepe değer zaman aralığında tüketiciler dağıtım ve iletim sistemlerine çok fazla yüklenmeyecek olup, aşırı gerilim düşümlerinin önüne geçilecektir. Benzer şekilde düşük talep saatlerinde enerji depolama sisteminin dolması için enerji çekilecek olup bu dönemdeki talep arttırılacaktır. Bunun sonucunda da indirici merkezlerde Ferranti Effect sebebi ile gözlemlenen gerilim yükselmelerinin önüne geçilmiş olunacaktır.

Enerji depolama sistemlerinin tüketici kanadında yaygınlaşması ile düşen tepe değer yükünün bir diğer yansıması da gerekli olan üretim santrali sayısının azalmasıdır. Bu şekilde yeni üretim tesisi gerekliliğinin önüne geçilecek olup doğaya verilen tahribat en düşük seviyelere indirilecektir.

Enerji depolama sistemlerinin sistem operatörleri açısından en önemli yararı ise elektrik sisteminin tahmin edilebilirliğini yükseltebilmesidir. Bağlı bulundukları yükün ani artışları sırasında primer kontrol elemanı olarak yükün ihtiyacını karşılayabilirler ve elektrik sistemindeki frekans dalgalanmalarını sönümlenmesinde etkin rol oynayabilirler.

4. Enerji Depolama Sistemlerinin Sistem İyileştirilmesi Açısından Kontrolü

Elektrik sistemlerinin enerji depolama sistemleri ile güçlendirilebilmeleri için bazı kontrol mekanizmalarının kullanılması gerekmektedir. Merkezi kontrole sahip enerji depolama sistemleri ile tepe değer zaman aralığı boyunca daha düz bir elektrik enerjisi tüketim grafiği elde edilebilir. Benzer şekilde düşük tüketim zaman aralığında da daha düz bir enerji tüketim grafiği elde etmek için merkezi kontrole ihtiyaç vardır.

Gün içi güç talep eğrisinin düzleştirilmesi için enerji depolama sistemlerinin kontrolünde karşılaşılan sıkıntılar;

- Enerji depolama sistemlerinin kapasitesi
- Üç ve çok zamanlı tarifelerin fiyat farkı

Sistematik bir analiz yapılabilmesi için aşağıdaki varsayımlar yapılacaktır;

- Enerji depolama sistemlerinin kapasitesi sabit ve

2 kWh olarak alınacaktır.

- Enerji depolama sistemlerinin çevirici değerleri 500 W olarak alınacaktır.
- Gündüz tarifesi saat aralığı 06:00 - 17:00

Puant tarifesi saat aralığı 17:00 - 22:00

Gece tarifesi saat aralığı 22:00 - 06:00 arası olarak alınacaktır.

- Gündüz tarifesi fiyatı 0.212 TL/kWh

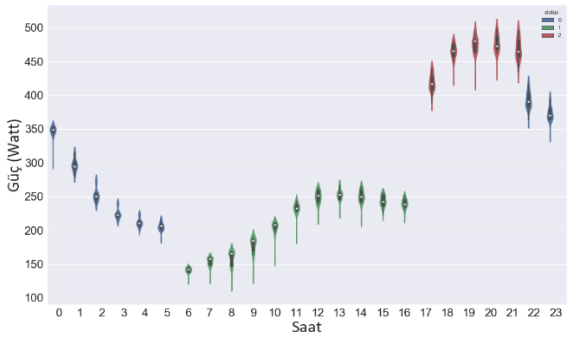
Puant tarifesi fiyatı 0.3775 TL/kWh

Gece tarifesi fiyatı 0.0926 TL/kWh olarak alınacaktır.

- Tek zamanlı tarife fiyatı 0.2134 TL/kWh olarak alınacaktır.
- Ankara ilinin 2016 yılı mesken elektrik tüketim verileri kullanılacaktır [8].

Sistem operatörleri açısından daha tahmin edilebilir bir sistem yaratmak amacı göz önüne alındığında tarife saat aralıkları ve tarife fiyatları göz ardı edilmelidir. Tamamen sistemde sabit bir güç akışı yaratacak şekilde geliştirilmelidir. Bu çerçevede fiyat dilimi önemsenmeden enerji depolama birimleri doldurulup kullanılacaktır.

Sistemin ilk durumuna bakıldığında aşağıdaki grafik gözlemlenmiştir:

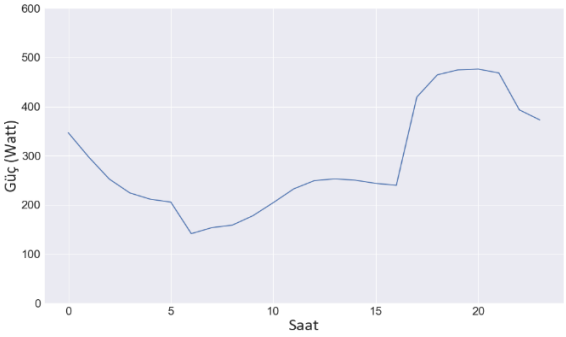


Şekil 1. Yıllık gün içi güç talebi dağılımı

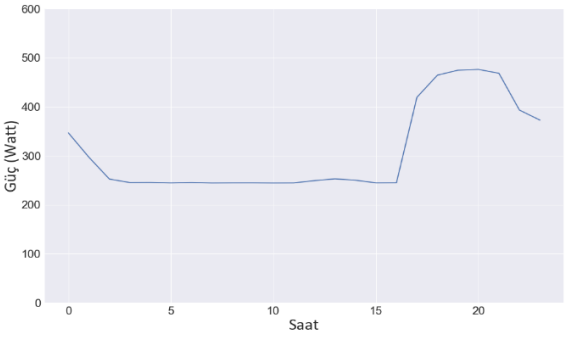
Şekil 1'de mavi renkli bölgeler gece tarifesini, yeşil renkli bölgeler gündüz tarifesini, kırmızı renkli bölgeler ise puant tarifesini temsil etmektedir. Bunun yanında renkli bölgelerin kalın olduğu değerler o değerin sene içerisinde daha fazla gözlemlendiğini, ince olan yerler ise o değerin daha az gözlemlendiğini anlatmaktadır. Renkli bölgelerin içerisindeki beyaz noktalar ise ilgili saatin bir yıllık ortalamasını göstermektedir.

Şekil 1'den de anlaşılacağı üzere puant saatlerinde elektrik kullanımı çok yaygın olmakla beraber, gündüz saatlerindeki kullanım daha azdır.

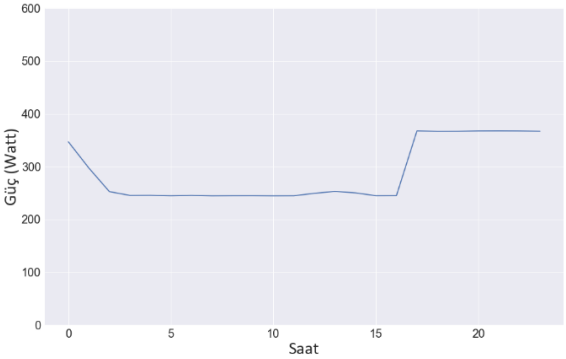
Enerji depolama sistemlerinin (0.5 kWh kapasiteli) sistem operatörlerinin elektrik sistemini iyileştirilmesi amacı ile kullanımı senaryosu göz önüne alındığında aşağıdaki durum oluşmaktadır;



Şekil 2. Yıllık ortalama gün içi güç talebi



Şekil 3. Bataryaların düşük enerji tüketiminin olduğu zamanlarda doldurulması



Şekil 4. Depolanan enerjinin yüksek enerji tüketilen zamanlarda kullanımı

Şekil 4'ten de anlaşılacağı gibi 0.5 kWh'lik enerji depolama birimleri dahi gün içi güç talep eğrisini büyük ölçüde düzelterek, sistem operatörlerinin ihtiyacını karşılamaktadır.

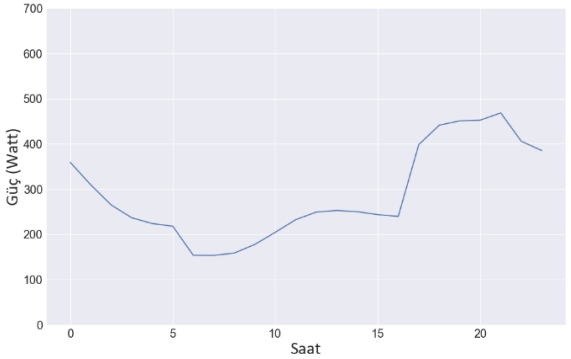
Kullanılan verilere dayanarak, meskenlerde tam olarak düz bir güç talep eğrisi elde etmek için gerekli olan optimum enerji depolama birimi kapasitesi 1.118 kWh olarak hesaplanmıştır. Fakat bu sonuca varılırken, bütün mesken tipi müşterilerin enerji depolama sistemine sahip

olduğu ve enerji depolama sistemi kayıplarının olmadığı varsayılmıştır. Bunun dışında, mevsimsel ortalama yük, olası güneş enerjisi katkısı ve enerji depolama biriminin fiyatının kullanıldığı daha detaylı optimizasyon çalışmaları da yapılabilmektedir [9].

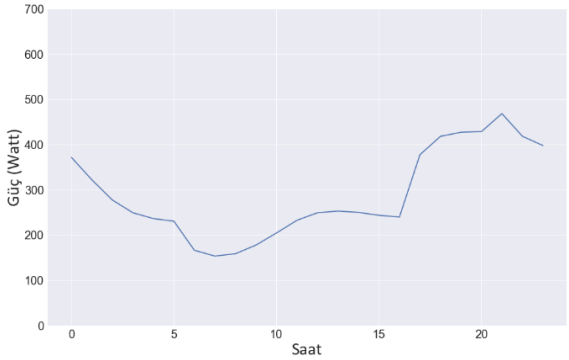
5. Enerji Depolama Sistemlerinin Üç Zamanlı Tarifelerde Kontrolü

Enerji depolama sistemlerinin tüketici tarafına olan ekonomik etkisi, bu sistemlerin yaygınlaşması konusundaki en önemli hususlardan bir tanesidir. Aynı zamanda bu sistemlerin yaygınlaşması durumunda gerçekte oluşacak senaryonun bu durum olması muhtemeldir.

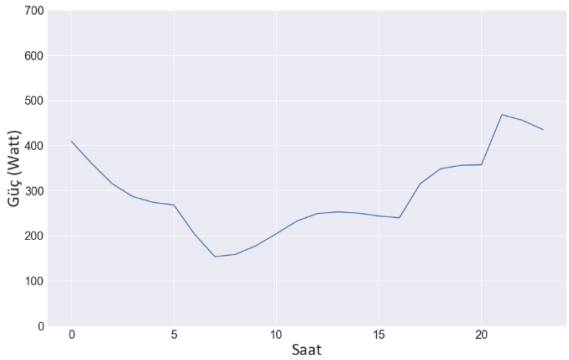
Tüketici açısından bakıldığında en ekonomik çözüm enerji depolama ünitelerinin ucuz saatlerde doldurulması ve pahalı saatlerde harcanmasıdır. Ucuz saatlerdeki dolum sırasında gerekli enerjinin her saat aralığında eşit oranda depolandığı varsayılmaktadır. Bu durum göz önüne alındığı zaman aşağıda gösterilen sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 5. Meskenlerin %5'inde enerji depolama sistemi kullanımı durumu



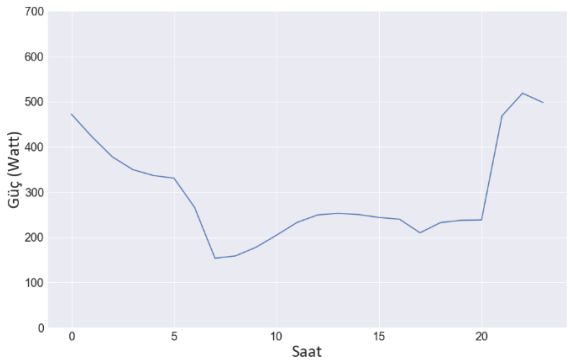
Şekil 6. Meskenlerin %10'unda enerji depolama sistemi kullanımı durumu



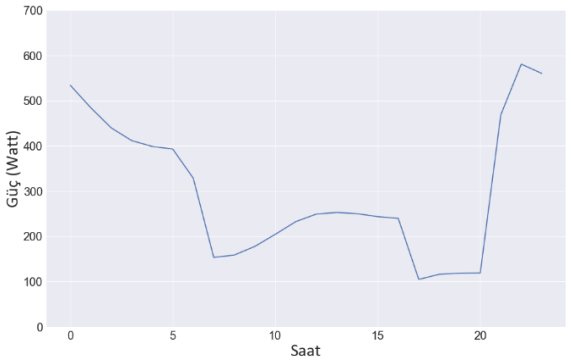
Şekil 7. Meskenlerin %25'inde enerji depolama sistemi kullanımı durumu

Şekil 7'den de anlaşılacağı üzere tüketim profili düzelmiş olup, operatörler açısından uygulaması daha kolay bir güç talebi sağlanmıştır.

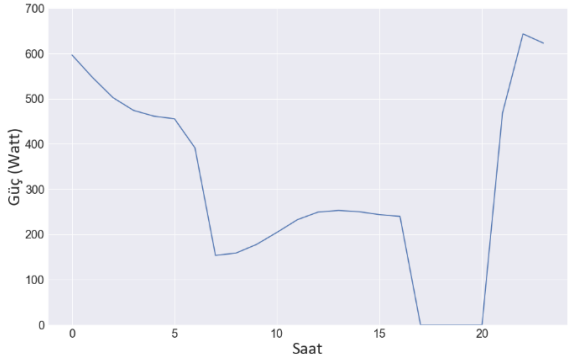
Fakat enerji depolama sistemlerinin mesken tüketicileri tarafında kullanımının daha da artması ile aşağıdaki sonuçlar gözlenmeye başlanmıştır:



Şekil 8. Meskenlerin %50'sinde enerji depolama sistemi kullanımı durumu



Şekil 9. Meskenlerin %75'inde enerji depolama sistemi kullanımı durumu



Şekil 10. Meskenlerin tamamında enerji depolama sistemi kullanımı durumu

Şekil 10'dan da anlaşılacağı üzere tüm tüketicilerin enerji depolama sistemine sahip olması durumunda ekonomik kaygılarından ötürü ucuz saatlerde güç çekecek ve tepe değer saatlerinde bu enerjiyi kullanacaklardır. Bunun sonucunda tepe değer saatinden ucuz saat dilimine geçiş yapıldığında çok büyük bir eğim ile enerji ihtiyacı artacaktır. Bu durumun gerçek olması halinde sistem operatörleri zorluklar yaşayacak ve sorunun üstesinden gelinebilmesinde yan hizmetlerin önemi artacaktır.

Değişimin daha iyi anlaşılabilmesi için Tablo 1'deki ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri verilmiştir;

Tablo 1. Enerji depolama sistemlerinin kullanım oranlarına bağlı olarak gerçekleşen istatiksel değişimler

	%5	%10	%25	%50	%75	%100
Ortalama	288.9	289.8	292.3	296.7	301	305.3
S. Sapma	103.6	98.2	90.8	109.5	152.8	205.7
Min	153.5	153.5	153.5	153.5	104.9	0
Max	468.6	468.6	468.6	518.4	580.9	643.4

Meskenlerde elektrik depolama sisteminin finansal açıdan katkısı da dikkate alınırsa, tek bir meskende elde edilen maliyet azalışı aşağıdaki gibidir;

$$2\times30\times(0.3775-0.0926)=17.094 \text{ TL/ay}$$

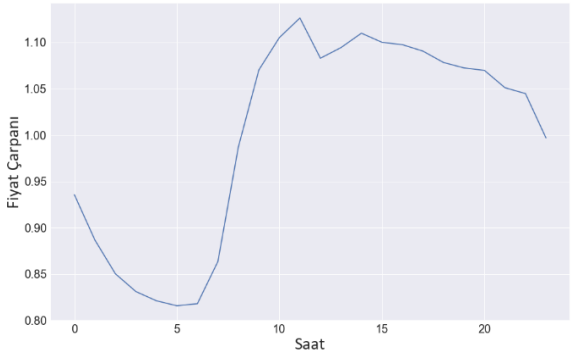
6. Enerji Depolama Sistemlerinin Çok Zamanlı Tarifelerde Kontrolü

Olası bir diğer senaryo ise enerji depolama sistemlerinin yaygınlaşması ile çok zamanlı tarifelere geçilmesidir. Bu tür bir durumda her saat için ayrı bir fiyatlandırma politikasının izlendiği varsayılmakta olup, gün öncesi ya da gün içi piyasanın varlığına göre karar alımı yapılması gerekmektedir.

Bu tarz bir durumda elektrik sisteminin kullanım koşullarını sistem operatörleri açısından iyileştirmek için enerji depolama sistemlerini yine tarife zaman aralıklarından bağımsız bir şekilde çalıştırmak gerekecektir. Bu da yukarıda anlatılan düz bir gün içi güç talep eğrisi elde etme mantığı ile tamamen aynı sonuçları vermektedir.

Belirtilen durum altında tüketici tarafına bakıldığında ise devreye iki çeşit market yapısı girmektedir. Bunlar gün öncesi ve gün içi piyasadır. Gün öncesi piyasa senaryosunda fiyat bilgileri saatlik bazda bilinirken, gün içi piyasada gelecek saatlerin fiyat bilgisi bulunmamaktadır.

Öncelikle gün öncesi piyasası senaryosunu ele alırsak, gün içinde saatlik fiyat bilgisine ihtiyacımız olmaktadır. Kullanılan verilere uygun saatlik ortalama bir fiyat politikası yaratmak için, Türkiye'nin 2016 yılındaki saatlik bazda ortalama elektrik tüketimi kullanılmış olup saatlik bazda bir çarpan eğrisi elde edilmiştir;



Şekil 11. Normalize edilmiş günlük elektrik birim fiyatı çarpan eğrisi

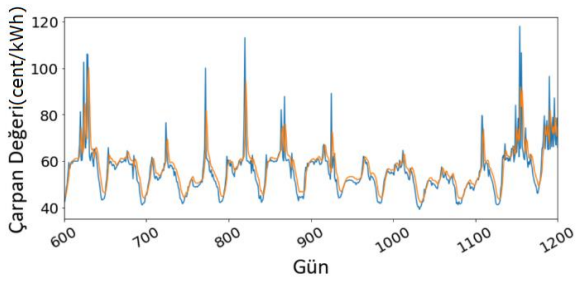
Elde edilen saatlik fiyat verisi kullanılarak ve mesken tipi tüketicilerin %50'sinin enerji

depolama sistemi kullandığı varsayılarak yapılan analizin sonuçları Şekil 12'de verilmektedir.



Şekil 12. Çok zamanlı tarife sisteminde enerji depolama sistemlerinin etkisi

Gün içi piyasa olması durumu yukarıdaki duruma benzerlik göstermektedir. Fakat farklı olarak saatlik elektrik fiyatı bilinemeyeceği için, fiyat tahmini yapılması gerekecektir. Bu durumda 24 saatlik fiyat tahmininin geçmiş fiyat verileri ve diğer yan veriler kullanılarak enerji depolama birimi tarafından yapılması gerekmektedir. Türkiye'de halihazırda gün içi piyasa olmadığı için fiyat verisi bulunamamış olup, bu durumun simüle edilebilmesi için Avustralya verileri kullanılmıştır [10].



Şekil 13. Avustralya gün içi piyasası elektrik fiyat tahmini

Şekil 13'te elde edilen grafik LSTM (uzun kısa süreli bellek) yöntemi ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçta mavi renkli grafik gerçekleşen elektrik fiyatını gösterirken, turuncu renkli grafik fiyat tahminini göstermektedir. Tahmin ile gerçekleşen değer arasındaki farkın 0.1$'ı geçmesi durumunda hata olduğunu varsayarsak, fiyat tahmininin %82 doğruluk payı ile çalıştığı söylenebilir. Eğer bu hata payını 0.2$'a çıkarırsak doğruluk oranı %91'e çıkmaktadır. Bu doğruluk payının daha da üst seviyelere çıkarılması daha detaylı bir yapay sinir ağı kullanımı ile mümkündür.

7. Sonuç ve Yorumlar

Gelişen teknoloji çerçevesinde enerji depolama sistemlerinin yaygınlaşması genel anlamda sistem operatörlerinin elektrik sistemine olan kontrolünü kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Fakat Şekil 10'dan da anlaşılacağı üzere enerji depolama sistemlerinin çok yaygınlaşması durumunda bazı yan etkilerinin olması çok muhtemel bir senaryodur.

Enerji depolama sistemlerinin bu tarz olumsuz etkilerinden kaçınmak için enerji depolama sistemlerinin gerekli durumlarda merkezi kontrolünün sistem operatörleri tarafından yapılabilmesi gerekmektedir. Bu şekilde ani yük artışları ve ani yük azalışlarının önüne geçilebilecektir.

Benzer şekilde enerji depolama sistemlerinin dolumu sırasında sebep oldukları ani yük artışını engellemek için, sistemin yük durumuna bakarak sistemden enerji çekmeleri önemlidir. Bu sonuca ulaşmak için yapılabilecek en iyi yöntem, meskenlere özel saatlik bazda elektrik tarifesinin uygulanmasıdır. Elde edilecek sonuçlar 4. kısımda verilen sonuçlar ile benzerlikler gösterecek olup, daha düşük bir depolama sistemi kapasitesinin de yeterli olmasını sağlayacaktır.

Bir diğer önemli nokta da yapılan analiz ve simülasyonlar sırasında her bir kullanıcının yük profilinin birbiri ile aynı olduğu varsayılmıştır. Fakat gerçekte bütün kullanıcıların kendine özel bir profili olduğu için, enerji depolama sistemlerinin kontrolünde yardımcı olması adına mesken bazında yük tahmininin yapılması hem sistem hem de tüketici açısından daha yararlı olacaktır [11]. Örnek olarak, tepe değer zaman dilimi sırasında elektrik tüketimi olmayan bir tüketici, gece depoladığı enerjiyi yük tahmini yapılarak tepe değer zaman dilimine saklamak yerine gündüz de kullanabilecektir.

Enerji depolama birimlerinin tüketicilere bir diğer yararı ise, olası elektrik kesintilerinin etkilerini minimuma indirgemesidir. Önemli yüklerin enerji ihtiyacı bu tür elektrik kesintileri sırasında enerji depolama birimleri tarafından sağlanabilir. Hatta sistemin tepe değerindeki

elektrik talebini azalttığı için elektrik kesintilerinin de önüne geçilecektir.

Bu bildiride gelecek yıllarda enerji depolama sistemlerinin meskenlerde kullanımının yaygınlaşması ile elektrik sistemine hem pozitif hem de negatif etki yaratabileceği görülmüştür. Bu olumsuz etkilerin önlenebilmesi merkezi kontrol ve yük tahmininin yapılması büyük yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Her ne kadar enerji depolama sistemlerinin bazı senaryolarda olumsuz etkileri olsa da genel olarak sistemin daha düzgün işlemesine yardımcı olmaları muhtemeldir. Bu cihazların merkezi kontrolleri ve yük tahmini yapabilme kapasiteleri hakkında çalışmalar yapılması bir sonraki adım olacaktır.

8. Kaynakça

1. C.K. Ekman ve S.H. Jensen (2010). Prospects for large scale electricity storage in Denmark. EnergyConvers. And Manag., vol. **51**(6), pp. 1140-1147.
2. 2009/125/EC ve 2010/30/AB sayılı Direktifleri tadil eden ve 2004/8/EC ve 2006/32/EC sayılı Direktifleri yürürlükten kaldıran 25 Ekim 2012 tarihli ve 2012/27/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi AÇA ile ilişkilidir.
3. M. Ferraro, F. Sergi, V. Antonucci, F. Guarino, G. Tumminia ve M. Cellura (2016). Load match and grid interaction optimization of a net zero energy building through electricity storage: An Italian case-study. 16. IEEE Çevre ve Elektrik Mühendisliği Uluslararası Konferansı (EEEIC), pp. 1-5.
4. B. Zakeri, S. Syri and F. Wagner (2017). Economics of energy storage in the German electricity and reserve markets. 2017 14. Uluslararası Avrupa Enerji Piyasası Konferansı (EEM), Dresden, pp. 1-6.
5. L. Dusonchet, M. G. Ippolito, E. Telaretti, G. Zizzo ve G. Graditi (2013). An optimal operating strategy for combined RES-based generators and electric storage systems for load shifting applications. 4. Uluslararası Enerji Mühendisliği Konferansı, Enerji ve Elektrikli Sürücü, İstanbul, pp. 552-557.
6. F. Bignucolo, A. Savio, R. Turri, N. Pesavento and M. Coppo (2017). Influence of electricity pricing models on the daily optimization of residential end-users integrating storage systems. 2017 Uluslararası Modern Güç Sistemleri Konferansı (MPS), Cluj-Napoca, pp. 1-6.
7. E. Galván-López, M. Schoenauer and C. Patsakis (2015). Design of an autonomous intelligent demand-side management system by using electric vehicles as mobile energy storage units by means of Evolutionary Algorithms. 2015 7. Uluslararası İşlemsel Zeka Ortak Konferansı (IJCCI), Lisbon, pp. 106-115.
8. https://rapor.epias.com.tr/rapor/xhtml/uzlDagitimProfilListesi.xhtml
9. C. K. Nayak and M. R. Nayak (2016). Optimal battery energy storage sizing for grid connected PV system using IHSA. 2016 Uluslararası Sinyal İşleme, Haberleşme, Güç ve Gömülü Sistemler Konferansı (SCOPES), Paralakhemundi, pp. 121-127.
10. https://www.aemo.com.au/Electricity/National-Electricity-Market-NEM/Data-dashboard#aggregated-data
11. M. Rowe, T. Yunusov, S. Haben, C. Singleton, W. Holderbaum and B. Potter (2014). A Peak Reduction Scheduling Algorithm for Storage Devices on the Low Voltage Network. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. **5**, no. 4, pp. 2115-2124.