KONUT TİPİ TÜKETİCİLER İÇİN TALEP TARAFI YÖNETİMİ UYGULAMASI VE ENERJİ OPTİMİZASYONU

Çağla YAMAN
Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. / İstanbul Uluslararası Eğitim ve Sertifikasyon Merkezi, İstanbul, Türkiye
caglayamann@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2621-830X

Gül KURT
Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi / Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
gul.kurt@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9212-5465

İbrahim Gürsu TEKDEMİR
Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye
ibrahim.tekdemir@btu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1381-3513

Özet
Sanayi ve konutlarda elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın gün geçtikçe artması elektrik enerjisi üretiminin de artışını zorunlu hale getirmiştir. Hem artan enerji ihtiyacını karşılamak hem de gün içi tüketim değişkenliğini dengelemek amacıyla talep tarafı yönetimi uygulamaları gündeme gelmektedir. Bu uygulamalar sayesinde gün içi tüketim değişkenliği azaltılabilir, enerji verimliliği ve maliyet açısından daha uygun işletme koşulları oluşturulabilir. Bu çalışmada konut tipi tüketicilerde elektrik enerjisinin tüketim karakteristiği tespit edilerek gün içindeki talep güç miktarındaki değişkenliğin azaltılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda tüketimin yüksek olduğu saatlerde azaltma, düşük olduğu saatlerde artırma yapılması, ayrıca enerji verimliliği ve maliyetler açısından da bir batarya sisteminin kullanılması planlanmıştır. MATLAB programı kullanılarak İç Nokta Algoritması Yöntemi (Interior Point Method) ile bataryanın şarj ve deşarj durumları için optimum zaman ve süre belirlenmiştir. Bataryanın kapasitesi, şarj durumu ve maksimum şarj/deşarj gücü değiştirilerek farklı senaryolar oluşturulmuş, her senaryoda talep tarafı yönetimi açısından optimum işletme koşulları elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntem ile konut tipi tüketiciler için talep tarafı yönetimi ve enerji verimliliği açısından optimum sonuçların elde edilebildiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji depolama sistemleri, güç sistemlerinde optimizasyon, talep tarafı yönetimi

APPLICATION OF DEMAND SIDE MANAGEMENT AND ENERGY OPTIMIZATION FOR RESIDENTIAL CUSTOMERS

Abstract
The increase in the demand for electrical energy in industry and residences has made it necessary to increase the production of electrical energy. Demand side management applications become popular in order to both meet the increasing energy demand and minimize the variability of consumption during the day. Thanks to these applications, the variability of consumption during the day can be reduced and more suitable operating conditions can be created in terms of energy efficiency and cost. In this study, it is aimed to minimize the variation in the demand power amount during the day by determining the consumption characteristics of electrical energy in residential consumers. In this context, it is planned to reduce the consumption during peak hours, to increase it during off-peak hours, and to use a battery system. By using the MATLAB software, the optimum time and duration for the charge and discharge state of the battery have been determined with the Interior Point Method. Different scenarios have been created by changing the capacity, state of charge, maximum charge/discharge power of the battery, and optimum operating conditions have been obtained. With the method used in the study, it has been shown that optimum results can be obtained in terms of demand-side management and energy efficiency for residential consumers.

Keywords: Demand side management, energy storage systems, optimization in power systems

1. GİRİŞ

Talep Tarafı Yönetimi (TTY) elektrik enerjisi şebeke yönetim sistemi olarak şebeke gereksinimlerinin ve teknik koşulların sağlanması şartı ile tüketici yükünün (konut, ticari, endüstri tipi) izlenmesi, denetlenmesi ve kontrol edilmesi için gerçekleştirilen eylemlerin tümüdür (Evangelopoulos ve ark, 2016). TTY için gerçek zamanlı ölçümlere ve veri toplanmasına gereksinim vardır (Evangelopoulos ve ark, 2016). TTY prosedürlerinin hızlı yanıtı, akıllı dağıtım şebekeleri (Smart Grid) için bir zorluk gibi görünse de en genel haliyle iki kısım amacı olduğu görülür. Bunlardan birincisi enerji tüketiminin azaltılması için teşvik olarak verilen daha yüksek bir enerji fiyatlandırması stratejisi olurken ikinci kısmın amacı ise şebeke yüklenmelerinin yüksek olduğu durumlarda elektrik yükünün kaldırılması için tazminat/teşvik olarak tüketicilere verilen bir ödeme türü veya fatura indirim stratejisidir.

Literatürde yapılan diğer çalışmalar genellikle bu iki strateji üzerinden ilerlemiş olup şebeke tarafını rahatlatmaya çalışırken tüketici davranışlarında da birtakım değişiklikler barındırmaktadır. Tüm bunlardan farklı olarak ilk kez çalışmasında "happy costumer" -mutlu tüketici- ifadesi yer alır (Poyrazoglu ve ark, 2021). Bu bağlamda ideal olan şebeke yüklenmelerini azaltırken tüketici tarafı alışkanlıklarını en az ölçüde değiştirmeye çalışmak ve tüm stratejilerin en az maliyetle gerçekleşmesini sağlamaktır. Fakat bu değişkenlerin bir araya gelmesi problemin çözümünü zor kılmaktadır. Bu çalışmada bu problemin olası en uygun çözümüne gidilmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada ABD'de bulunan ortalama büyüklükte bir konut yükünün 24 saatlik verileri kullanılmıştır. Veriler Open EI veri tabanından elde edilmiştir. Mevsim gözetmeksizin bir evin 24 saat içerisindeki tüm tüketim verisi çekilmiştir. 24 sata boyunca azalan ve artan tüketim değerleri bulunan bu mesken abonesinin bir batarya yardımı ile şebekeden çektiği güç miktarı sabit hale getirilmeye çalışılmıştır. Bu amaç için bu çalışmada enerji sistemine Enerji Depolama Sisteminin entegre edilmesi düşünülmüştür. Ancak hiçbir enerji depolama sistemi sonsuz güç ve enerjiye sahip olmadığından günlük tüketim eğirişini gerektiği yerde destekleyeceği gerektiği yerde depolama sisteminin de bir yük gibi tüketim yapacağı göz ardı edilmemelidir. Bu durum da problem çözümünü daha karmaşık hale getirmiş olup bir optimizasyon çözümüne gereksinim duyulmasına sebep olmuştur. Enerji depolama sisteminin günün hangi zamanlarında devreye gireceği; şarj/deşarj durumu birtakım kısıtlamalarla sınırlandırılmaya çalışılmıştır. Ve son durumda mesken abonenin günlük tüketim ihtiyacı dengesiz olmayan bir güç talebi haline getirilmiştir. Buradaki amaç tüketicinin tüketim karakteristiğini değiştirmeden şebekeden çekilen yükün tepe değerinin azaltılmasıdır. Bu da problem çözümünde Varyans Minimize etme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Problem çözümünde MATLAB Programında bulunan Optimizasyon Toolbox'ı kullanılıp içerisindeki algoritmada varyans minimizasyonu yapılmıştır. Ayrıca ilgili tool optizmizasyon çözümünü Interior Point Metodu ile gerçekleştirmektedir.

2.1. Elektrik Şebekesinde Optimizasyonun Yöntemleri

Elektrik şebeke optimizasyonu günümüz araştırma alanlarındaki önemli ve zorlu hedeflerden biridir. Elektrik tüketimini ve maliyeti azaltmaya çalışırken tüketici tarafı alışkanlıklarını değiştirmeden ve de şebekeye olan yüklenmeleri en aza indirmek amacı ile en uygun koşulu belirlemek için yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Literatürdeki birçok çalışma elektrik şebeke optimizasyonunun farklı algoritmalarla çözüme ulaştığını göstermiştir (Gao ve ark, 2021). Elektrik şebeke optimizasyon probleminin çözümünde literatürde yapılan çalışmalarda birkaç yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler üç geniş kategoriye ayrılabilir; nümerik /matematiksel, meta-sezgisel ve stokastik yöntemler olarak ele alınabilir (Evangelopoulos ve ark, 2016). Bu çalışmada MATLAB Programının içerisindeki Optimizasyon Toolbox'ı kullanılmıştır. İlgili tool optimizasyon problemini Matematiksel bir yöntem olan Interior Point (IP) Metodu ile çözmektedir.

2.2. Talep Tarafı Yönetimi

Talep tarafı yönetimi (TTY), elektrik enerjisi sistemlerinde daha yüksek verimlilik ve daha iyi çalışma koşulları sağlamak için enerji tüketim modelinde yapılan değişiklikler olarak tanımlanabilir (Behrangrad ve ark, 2015). Faturalanan tüketimin tüketici türüne göre dağılımı sanayi tüketimi %42,74 ile en yüksek paya sahiptir. Mesken tüketimi %25,76 ile ikinci sırada, ticarethane tüketimi ise %24,69 ile üçüncü sırada yer almaktadır. Aydınlatma ve tarımsal sulamada kullanılan elektrik tüketimi toplamı

ise %6,81 olmuştur (EPDK, 2021). Mesken tüketimi ikinci en yüksek sırada olup bu da bir mesken aboneden yola çıkarak tüm mesken abonelerin yüklerinin bir araya geldiğinde aynı saatlerde şebekeye olan yüklenmelerine işaret eder. Belli saatlerde elektrik dağıtım şebekesinde olan yüklenmelerin azaltılması üretim tarafından değil de tüketici tarafından yapılan birtakım değişimler/müdahaleler sonucunda elde edilen çözüm hem daha az maliyetlidir hem de daha hızlı ve kolay sonuçlar vermektedir. TTY stratejilerini genel haliyle; Puant Talebi Azaltma, Talep Tasarrufu, Stratejik Talep Büyümesi, Düşük Talep Zamanlarını Doldurma (Valley Filling), Esnek Yük Şekillendirme, Yük Öteleme şeklinde sıralanabilir (Ayan ve Turkay, 2017). Bu çalışmada Düşük Talep Zamanlarını Doldurma (Valley Filling) ve Puant Talebi Azaltma (Peak Clipping/Reduction) stratejileri birlikte çalışılmıştır. Her iki stratejinin birlikte çözümde kullanılması batarya kullanımı yardımıyla gerçekleşmiştir. Konut tipi tüketicinin şebekeden olan talebi batarya sistemi ile desteklenmiş olup bataryanın şarj ve deşarj zamanları optimize edilmeye çalışılmıştır.

2.3. Varyans Minimizasyonu

Varyans, bir veri seti içerisindeki değerlerin, aritmetik ortalamadan, ortalama olarak ne kadar uzaklaştığını ifade eden merkezi dağılım ölçülerinden biridir. Burada amaç tüm veri merkezi dağılım ölçülerinde olduğu gibi verilerin dağılımı ile ilgili bilgi vermektir. Varyans minimizasyonu ise veri seti içerisindeki tüm noktaların o veri seti ortalamasına çekilmesi durumudur (Xia, 2018).
Evren için varyans:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(Xi-\mu)^2}{N} \quad (1)$$

Burada σ evren için varyansını, xi veri seti değerlerini, μ evren için aritmetik ortalamayı, N=eleman sayısını ifade etmektedir. Örneklem için varyans:

$$s^2 = \frac{\sum(Xi-\bar{x})^2}{n-1} \quad (2)$$

Burada S örneklem için varyansı, xi veri seti değerlerini, $\bar{x}$ örneklem için aritmetik ortalamayı ifade etmektedir.

2.4. Batarya Şarj Durumu (State of Charge)

State of Charge (SOC) bir bataryanın belirli bir zaman dilimi içerisindeki doluluk durumunu ifade eder. Belitli bir t anında bataryanın şarj miktarının bataryanın tam şarj doluluğunda olduğu andaki miktarına oranını ifade eder. Batarya birden fazla hücrelerden oluşuyorsa eğer hem her bir hücrenin hem de toplam bataryanın ayrı ayrı SOC değerleri vardır (Sezen, 2020). SOC ifadesi aşağıda gösterilmiştir.

$$SOC(t+1) = SOC(t) + \eta\frac{P(t+1)\,\Delta T}{E_{kap}} \quad (3)$$

Burada η verimi, P batarya gücünü, ΔT zamana göre değişimi, E_{kap} ise bataryanın kapasitesini ifade etmektedir (Purohit ve ark, 2021).

3. PROBLEMİN TANITILMASI

Bu çalışmada bir mesken abonenin bir gün içerisindeki tüketim verileri ele alınarak şebekeden çekilen güç sabit ve minimum hale getirilmeye çalışılmıştır. Bunu yapabilmek için şebekeye olan yüklenmeyi azaltmak için enerji depolama sistemi; batarya entegre edilmiştir. Bataryanın ne zaman devreye gireceği kendini ne zaman şarj ya da deşarj edeceği amaç fonksiyonunu minimize edecek şekilde tanımlanmıştır. Belirlenen amaç fonksiyonu varyans minimize etme yöntemi ile tasarlanmış olup çeşitli kısıtlarla çerçevelenmiştir. Batarya gücünün sınırsız olmadığı göz önüne alındığında kısıtlar asıl istenen çözüm için belirleyici ve olmazsa olmaz kalmaktadır.

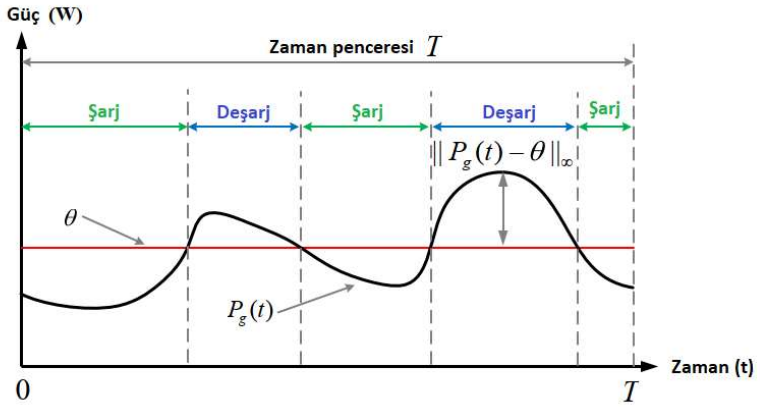
3.1 Amaç Fonksiyonu

$P_{bat}(t)$ enerji depolama sisteminin toplam şarj ve deşarj güç durumunu göstermektedir. $P_{yük}(t)$ Varsayılan toplam yük profilini göstermektedir. Denklemlerde tüm kayıplar ihmal edilmiştir. Şebekeden çekilecek olan güç ve batarya ifadeleri aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$P(t) = P_{yük}(t) + P_{bat}(t) \quad (4)$$

Burada $P_{bat}(t)$ bataryanın hem şarj olma hem de deşarj olma durumunu barındırmaktadır. Amaç tepe vadi açığını en aza indirmektir. Optimum durumu keşfetmek amacıyla ideal durum Şekil 1'de kırmızı çizgi ile gösterilen hiçbir tepe boşluğunun olmadığı hedef eğri olarak belirlenir. Amaç fonksiyonu varyans minimizasyonu olarak ifade edileceği anlamına gelir. Bu ifade aşağıda verilen denklemde gösterilmiştir.

$$\min \left[P(t) - \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} P(t)\right]^2 \quad (5)$$



Şekil 1. Varyans Minimizasyonunun Grafiksel Gösterimi (Zhang ve ark, 2018)

3.2. Birinci Kısıt

Batarya enerjisinin belirli bir zamandaki belli bir doluluğun altında düşmemesini ve belli bir doluluğun da üzerine çıkmamasının belirlendiği kısıttır. Denklem 6'da bu değerler sırası ile a ve b ifadeleri olarak gösterilmektedir. Batarya enerjileri belirli bir yüzdeliğin altında kaldıklarında ve aynı şekilde belirli bir yüzdeliğin üzerinde sürekli kaldıklarında batarya kullanım ömrü azalmaktadır. İfadesi aşağıda gösterilmektedir.

$$a \leq SOC(t) \leq b \quad (6)$$

3.3. İkinci Kısıt

Enerji depolama sisteminin belirli bir anda (t+1) ve bir önceki (t) anı ile deşarj olan kısmının toplamına eşit olduğunu öğrendiği kısım olarak ele alınmaktadır. Bu koşulda (t+1) anındaki doluluğun (t) anındaki doluluk ile geçen süredeki batarya deşarj enerjisinin farkına denk gelmektedir. Bir diğer taraftan ise (t+1) anındaki batarya doluluğu (t) anındaki enerji miktarı ve gecen zamandaki şarj olan enerjinin toplamına denk gelmektedir. Bu kısıtın matematiksel gösterimi Denklem 3'te gösterilmiştir.

3.4. Üçüncü ve Dördüncü Kısıtlar

Enerji depolama sistemi optimum durumlarda şarj deşarj dengesini bulmaya çalışırken güne belli bir enerji doluluğu ile başlayıp günü belirli bir doluluk yüzdeki ile bitirmelidir. Bu değerler sırası ile Denklem 7 ve Denklem 8'de c ve d ifadeleri olarak gösterilmektedir. Bu kısıtlama güne belirli bir şarj ile başlanması gerektiğini ifade etmektedir.

$$SOC(1) = c \quad (7)$$
$$SOC(T) \geq d \quad (8)$$

3.5.Beşinci Kısıt

Yükün şebekeden çekeceği gücün ve bataryanın gücünün toplamının her zaman sıfırın üzerinde olması gerektiğini ifade eden kısıtlamadır. Bunun sebebi yük tüketiminin az olduğu durumlarda batarya gücü talep edilen tüm yükten daha fazla depo halindeyse yük talebini karşılarken arta kalan gücü ile şebekeyi beslememesi için koyulmuş bir kısıttır. Formülü aşağıda gösterildiği gibidir.

$$0 \leq P_{load}(t) + P_{bat}(t) \leq P_{max} \quad (9)$$

3.6. Altıncı Kısıt

Enerji depolama sistemi tüm enerjisini bitirdiği koşulda, yük talebi boş durumda ve yük de maksimunda olduğu senaryoda hem yük şebekeden güç çekmeye çalışır hem de batarya kendisini şarj etmek için şebekeden güç çekmeye çalışırsa ikisinin toplamı şebekenin maximum gücünden daha fazla olmaması için koyulmuş bir kısıttır. Bu durumda batarya dolmayı bırakmalı

Batarya için

$$-Pmax_{bat} \leq P_{bat}(t) \leq Pmax_{bat} \quad (10)$$

4. ÖRNEK OLAY

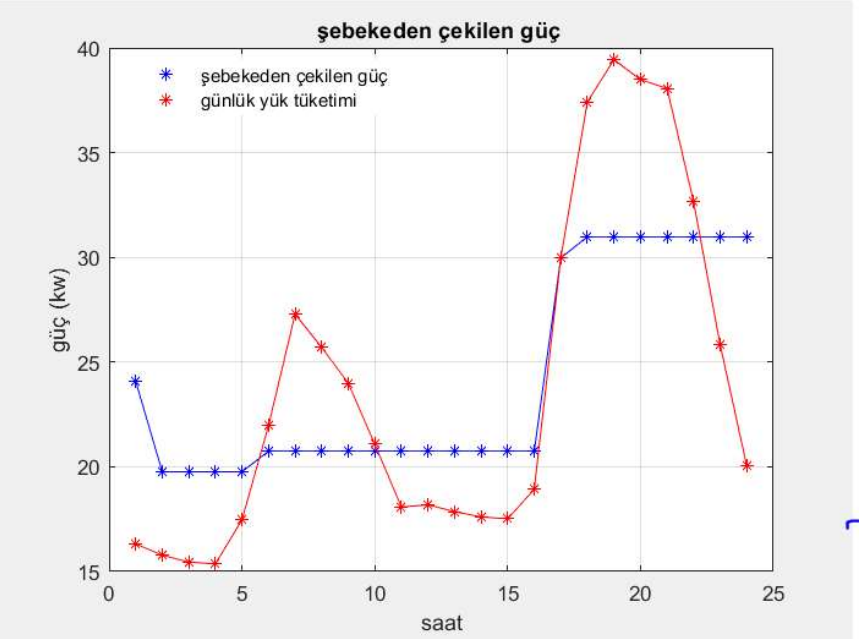
Bu bölümde amaç fonksiyonu ve kısıtları belirlenen bir problemin farklı senaryolar için sonuçları incelenecektir. Tüm senaryoların toplu gösterimi Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Senaryoların Toplu Gösterimi

	1. Senaryo	**2. Senaryo**	**3. Senaryo**
Batarya Gücü	50 kW	50 kW	50 kW
Batarya Enerjisi	150 kWh	150 kWh	750 kWh
Şebekeden Çekilecek Max. Güç	75 kW	75 kW	75 kW
Birinci Kısıt	**var**	yok	**var**
İkinci Kısıt	**var**	**var**	**var**
Üçüncü Kısıt	**var**	yok	**var**
Dördüncü Kısıt	**var**	yok	**var**
Beşinci Kısıt	**var**	yok	**var**
Altıncı Kısıt	**var**	yok	**var**

4.1. Birinci Senaryo

Varsayılan güç ve enerji değerleri ile optimizasyon yapıldığında, bataryanın şebekeden çekilen yük toplamını ortalama sabit bir seviyeye getiremediği görülmektedir. Bu senaryoda tüm kısıtlar aktif edilmiştir. Tüm kısıtların kullanıldığı durumda batarya pik anlarında güç talebini azaltmayı başarmış ancak gün içerisindeki talebi sabit yük tüketimi seviyesine çekememiştir. O halde kısıtlardan sırası ile devreden çıkarma işlemi yapılarak son durum gözlenmelidir. Buradan sonraki senaryolardan sırası ile kısıtlar devre dışı bırakılıp sonuçlar alınacaktır.



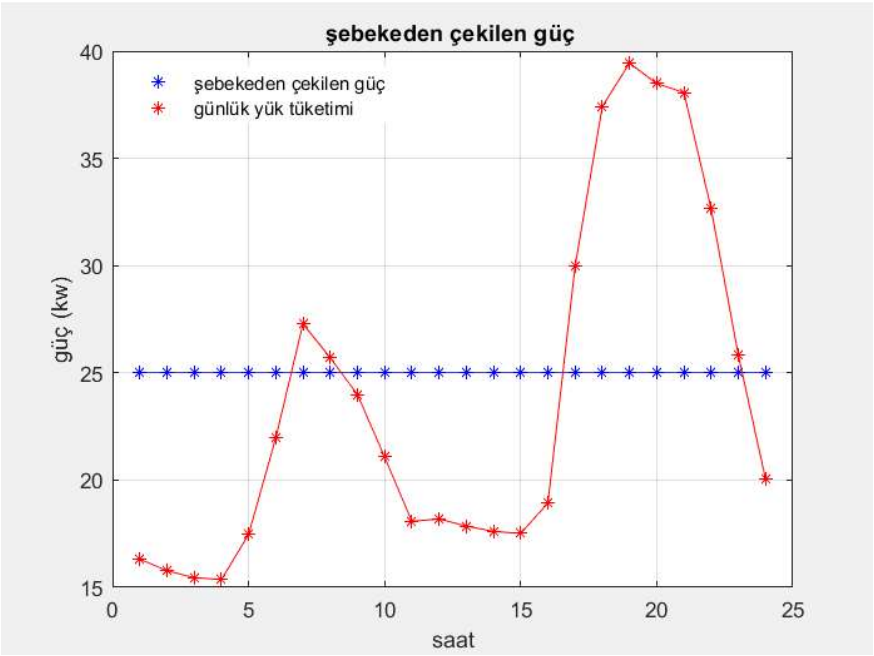
Şekil 2. Tüm Kısıtların Devrede Olduğu Durumda Şebekeden Çekilen Güç Ve Günlük Yük Tüketiminin Gösterimi

4.2. İkinci Senaryo

Bu senaryoda ise tüm kısıtların kaldırıldığı senaryo uygulanmıştır. Yalnızca ikinci kısıt kaldırılmamış olup o da programın sistemi öğrenmesine yönelik bir koşuldur. Bu durumda istenilen sonuca tam olarak ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ancak yukarıda bahsedilen hiçbir kısıt eklenmediği için istenilen sonuca ulaşılmış gibi çıktılar elde edilmiş olsa da

- Batarya ömrünün azalmasına engel olacak koşul,
- Bataryanın güne başlarken kendini dengelediği koşul,
- Şebekeyi beslemeye engel olunduğu koşul,
- Şebeke maksimum gücünün aşıldığı koşullar

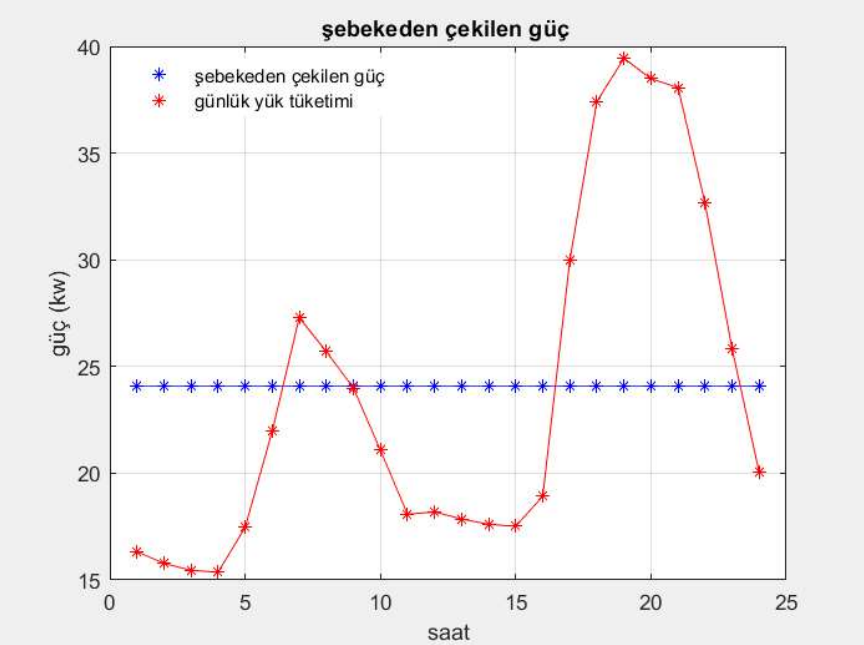
Yok sayıldığından sonuca optimum yoldan ulaşılmadığı görülmüştür.



Şekil 3. Tüm Kısıtların Devre Dışı Bırakıldığı Durumda Şebekeden Çekilen Güç Ve Günlük Yük Tüketiminin Gösterimi

4.3. Üçüncü Senaryo

Tüm kısıtların uygulandığı ancak istenen hedefe ulaşılan koşul sağlanmaya çalışıldığında ise batarya enerjisinin arttırılarak ende edilebileceği görülmüştür. Tüm senaryoların başında belirlenen batarya gücü 50kW, şebekeden çekilecek maksimum güç 75kW ve batarya enerjisi 150kWh varsayılan durumda batarya enerjisi 750kWh'e çıkartıldığında istenilen sonuca ulaşılmıştır. Bu durumda tüm kısıtlar devrede iken şebekeden çekilen güç gün boyu sabit değerde kalıp pik zamanlarında dahi şebekeye ek yüklenme yapmamıştır.



Şekil 4. Tüm Kısıtların Devrede Olduğu Durumda Ve En Uygun Batarya Enerjisi Ve Gücü Saptandığında Şebekeden Çekilen Güç Ve Günlük Yük Tüketiminin Gösterimi

5.TARTIŞMA

Bu çalışmada mesken bir abonenin bir günlük yük tüketimi ele alınmıştır. Şebekeden çekilen güç, gün içerisinde sabit ve düşük tüketimde tutulmaya çalışılmıştır. Bu da optimizasyon problemindeki amaç fonksiyonunu varyans minimizasyonu yaptırılarak sağlanmıştır. Bu amaç için ise şebekeye batarya entegre edilerek talep tarafı yönetilmeye çalışılmıştır. Talep tarafı yönetimi yapılırken en uygun koşulun bulunması için MATLAB Optimizasyon Toolbox'ı kullanılmıştır ve 3 farklı senaryoda problem çözümüne gidilmeye çalışılmıştır. İlk durumda tüm kısıtlar aktif edilmiştir ancak günlük tüketimin sabit ve minimum hale gelmediği görülmüştür. İkinci senaryoda tüm kısıtlar devre dışı bırakılmış ve şebekeden çekilen gücün sabit hale geldiği görülmüştür. Ancak herhangi bir kısıt olmadığı için sağlıklı çalışma koşulları sağlanamayacağından bu senaryo sağlıklı bulunmamıştır. Son senaryoda ise hem kısıtların tümü aktif edilmiş işletme koşullarına uygun hale getirilmiş hem de en uygun batarya enerjisi bulunmaya çalışılmıştır. En uygun batarya enerjisi 750 kWh olarak saptanmıştır. Bu hali ile bir mesken abonenin batarya entegrasyonu ile gün içerisinde optimum koşullarda talep tarafı yönetiminin gerçekleşeceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Ayan, O., & Turkay, B. E. (2017), Smart home energy management technologies based on demand side management and a review of smart plugs with smart thermostats. In 2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO) (pp. 1247-1252). IEEE.

Behrangrad, M. (2015), A review of demand side management business models in the electricity market, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47, 270-283.

EPDK. (2021), Elektrik Piyasası 2020 Yılı Piyasa Gelişim Raporu. TC Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ankara.

Evangelopoulos, V. A., Georgilakis, P. S., & Hatziargyriou, N. D. (2016), Optimal operation of smart distribution networks: A review of models, methods and future research, Electric Power Systems Research, 140, 95-106.

Gao, K., Wang, T., Han, C., Xie, J., Ma, Y., & Peng, R. (2021), A Review of Optimization of Microgrid Operation, Energies, 14(10), 2842.

Poyrazoglu, G., & Coban, E. (2021), A stochastic value estimation tool for electric vehicle charging points, Energy, 227, 120335.

Purohit, K., Srivastava, S., Nookala, V., Joshi, V., Shah, P., Sekhar, R., ... & Shum, C. (2021), Soft sensors for state of charge, state of energy and power loss in formula student electric vehicle, Applied System Innovation, 4(4), 78.

Sezen, G. F. (2020), Talep tarafı yönetimi kullanılarak konutlar için merkezi batarya veya elektrikli araç bataryası ile desteklenen PV güç sisteminin boyutlandırılması, enerji yönetimi ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zhang, Y., Melin, A., Olama, M., Djouadi, S., Dong, J., & Tomsovic, K. (2018, February), Battery energy storage scheduling for optimal load variance minimization, In 2018 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT) (pp. 1-5). IEEE.

Xia, L. (2018), Variance minimization of parameterized Markov decision processes, Discrete Event Dynamic Systems, 28(1), 63-81.