



Mikroşebekelerde Yakıt Sarfiyatının ve Karbon Emisyonunun Azaltılması

Bora SEMİZ

Mustafa BAYSAL

Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi

Davutpaşa Yerleşkesi

borasemizz@gmail.com

baysal@yildiz.edu.tr

Özet

Teknoloji ve enerji alanındaki gelişimlere bağlı olarak, son yıllarda alternatif enerji kaynaklarının kullanım artmış ve bunun sonucunda mikroşebeke kavramı ortaya çıkmıştır. Mikroşebekelerde yedek güç takviyesi için kullanılan dizel generatörler yük paylaşımı sırasında nominal çıkış güçlerinden daha düşük güçlerde çalışırlar. Ancak bu çalışma verimlilik açısından ideal bir çalışma şekli değildir. Bu çalışmada bir enerji depolama aygıtı ile beraber generatörlerin en verimli noktada çalıştırılması için bir işletme şekli önerilmiştir. Yakıt tasarrufu sağlayan bu işletme tarzı aynı zamanda karbon emisyonunun azaltılmasına da yardımcı olmaktadır.

Abstract

Due to developing in technology and energy area, the utilization of alternative energy sources has recently increased and microgrid concept has emerged consequently. Diesel generators used for backup power in microgrids operate at lower than the rated output power. This operation, however, is not an ideal way of operating in terms of efficiency. In this study, an operation way to be run generators at most efficient point along with energy storage is proposed. This operation way providing fuel saving also helps to reduce the carbon emissions.

I. Giriş

Elektrik enerjisine olan talebin gün geçtikçe artması, enerji sisteminde yeni arayışlara neden olmuştur. Özellikle üretim ve dağıtım noktasında yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Elektrik enerjisi üretiminde merkezi büyük güçlü santrallerin yerini tüketim noktalarına yakın konumlanan küçük güçlü üretim birimleri almaya başlamıştır [1]. Özellikle çevreci kaygılardan dolayı yenilebilir enerji kaynaklarının ön planda olduğu bu alternatif enerji üretimi dağıtık üretim olarak (DÜ) tanımlanmaktadır [2].

DÜ birimlerinin sayılarının giderek artması bu kaynakların mevcut enerji sistemine entegrasyonunda bazı sorunlara yol açabilmektedir. Son yıllarda DÜ birimlerinin daha etkin ve verimli bir biçimde kullanılmasını sağlamak ve entegrasyon sorunlarını aşmak için önerilen kavramlardan birisi **mikroşebekelerdir**. Bu kavram aynı zamanda geleceğin elektrik sistemi olan Akıllı Şebekelerin en önemli bileşenlerinden birisidir [3-4].

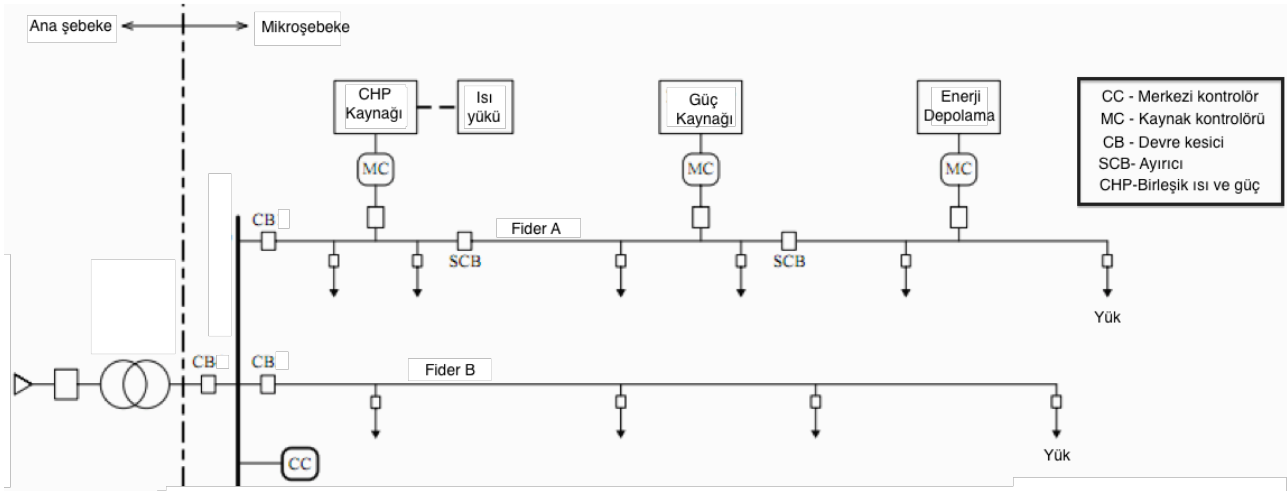
Mikroşebeke yapısında yer alan DÜ kaynakları çoğunlukla yenilenebilir/alternatif enerji kaynaklarıdır. Ancak yapıları gereği her zaman kesintisiz enerji üretemeyen bu kaynakları tamamlayıcı mahiyette enerji depolama sistemleri ve dizel generatörler de mikroşebekelerde kullanılmaktadır [5]. Genellikle alternatif enerji kaynaklarının yeterli olmadığı durumlarda devreye giren dizel generatörler sistemde kısa süreli olarak çalışmaktadır.

Bu çalışmada birden fazla dizel generatör içeren bir mikroşebekede, söz konusu generatörlerin konvansiyonel biçiminden farklı bir yaklaşımla işletilmesi ve bunun sonucunda sağlanan yakıt sarfiyatı tasarrufu incelenmiştir. Ekonomik açıdan sağlanan tasarrufun yanı sıra karbon salınımındaki azalma sonucu çevre üzerindeki olumlu etkisi de analiz edilmiştir.

II. Mikroşebekeler

Elektrik enerji sistemlerindeki uygulamalarda gün geçtikçe daha çok rastlanan DÜ birimlerinin sisteme entegrasyonu sırasında planlama, koruma, kararlılık gibi konularda sorunlara neden olabilmektedir. Bu tür sorunlara çözüm olarak ortaya konan yaklaşımlardan birisi olan mikroşebeke kavramı DÜ kaynaklarından, lokal yüklerden ve enerji depolama sistemlerinden oluşan bir alt sistemdir. DÜ kaynakları küçük ölçekli hidro, dizel generatörler gibi hem konvansiyonel hem de yakıt hücreleri, rüzgâr, güneş enerjisi gibi alternatif enerji teknolojilerinden oluşmaktadır. Enerji depolama sistemleri ise batarya, süper kapasitör, volan gibi çok farklı teknolojilerden oluşmaktadır. Günümüzde bütün modern enerji sistemleri arz güvenilirliği, sistem kararlılığı, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması ve maliyetlerinin minimize edilmesi gibi birçok nedenle enerjinin depolanmasını zorunlu kılar. Şekil 1’de tipik yapısı görülen mikroşebeke gerektiğinde entegre olduğu dağıtım sistemi ile paralel olarak çalışabilirken, gerektiğinde ana şebekeden ayrılarak bağımsız olarak da çalışmasına devam edebilmektedir [6].

Mikroşebelerde temel olarak iki farklı kontrol yaklaşımı kullanılmaktadır; merkezi ve merkezi olmayan kontrol. Haberleşme sistemine dayalı olan merkezi kontrolde DÜ birimleri merkezi bir kontrolörden gönderilen komutlar ile kontrol edilirken, merkezi olmayan yaklaşımda her biri ayrı bir kontrolöre sahip olan DÜ birimleri diğerlerinden bağımsız olarak kendilerini kontrol etmektedirler. Daha iyi kontrol imkanı sağlanmasına karşın pahalı ve güvenilirliğinin düşük olması nedeniyle merkezi olmayan kontrol yaklaşımı yerine tak-çalıştır özelliğine de uygun olan merkezi olmayan kontrol yaklaşımı uygulamalarda avantaj sağlamaktadır.



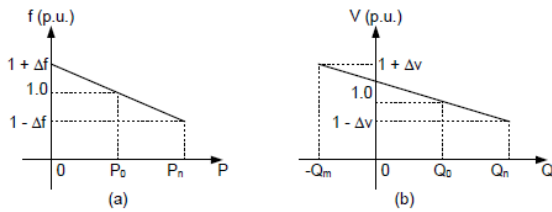
Şekil 1: Mikroşebeke yapısı.

Merkezi olmayan kontrol prensibinde en yaygın olanı düşüm (droop) kontrol olarak tanımlanan metottur. Şekil 2’de bir DÜ birimine ait frekans ve gerilim düşüm karakteristikleri görülmüyor. Sözkonusu düşüm karakteristikleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta f = m_p(P_n - P_0) \quad (1)$$

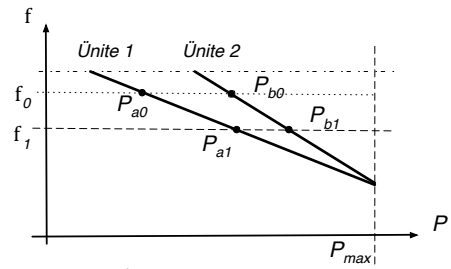
$$\Delta V = m_Q(Q_n - Q_0) \quad (2)$$

burada, sırasıyla m_p ve m_Q frekans ve gerilim düşüm eğimlerini, P_0 ve Q_0 şebekeye bağlı durumda üretilen aktif ve reaktif güçleri, P_n ve Q_n şebekeden bağımsız durumda üretilen aktif ve reaktif güçleri, Δf ve ΔV frekans ve gerilimdeki değişim miktarını göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi üretilen aktif ve reaktif arttıkça terminal uçlarındaki gerilimin frekansı ve genliği azalmaktadır. Senkron generatörlerde frekans ve gerilim kontrolü için kullanılan bu yöntem inverterler için uyarlanarak mikroşebekelerdeki alternatif DÜ birimlerinin kontrolünde de kullanılmaktadır.



Şekil 2: Frekans ve gerilim düşüm karakteristikleri

Şebekeye bağlı mikroşebekedeki DÜ kaynaklarının frekansı şebeke tarafından belirlenirken, bağımsız çalışma durumunda şebeke frekansı kaynaklar arasındaki yük paylaşımına göre belirlenir. Şekil 3’de farklı frekans eğimine sahip iki üretim birimi arasında yük paylaşımı ve frekans değişimi görülmektedir. Üniteler şebekeye bağlı iken frekans f_0 (şebeke frekansı) değerinde, ünite 1 ve 2 tarafından üretilen güçler ise daha önce set edilen değerler olup, sırasıyla P_{a0} ve P_{b0} ’dır. Üniteler şebekeden ayrıldığında frekans f_1 e düşmekte, üretilen güçler ise P_{a1} ve P_{b1} olmaktadır. Şebekeden bağımsız çalışma durumunda üretilen bu güçler karakteristiği ve yük miktarına bağlıdır.



Şekil 3: İki üretim birimi için yük paylaşımı

III. Önerilen İşletme Sistemi

Dizel generatörler mikroşebekelerde normal koşullarda şebekeden bağımsız çalışma durumunda ihtiyaç duyulması halinde devreye giren yedek güç sistemi olarak yer alırlar. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının yer aldığı hibrid sistemlerde söz konusu kaynaklardan sağlanan enerjinin yetersiz olduğu veya arıza, bakım gibi durumlarda, sisteme destek (back-up) güç servisi yapmak amacıyla kısa süreli olarak çalışırlar. Dizel generatörlerin yakıt tüketimleri yüklenme durumuna bağlı olarak değişmektedir. Tablo 1’de nominal gücü 925 kW olan dizel bir generatörün çeşitli yüklenme şartları için yakıt tüketim tablosu görülmektedir [7].

Çizelge 1: 925 kW dizel bir generatöre ait yakıt tüketimi

| Yük % / kW | Yakıt Tüketimi Litre / saat | Verim kWh / litre |
|---------------|--------------------------------|----------------------|
| 100/925.0 | 233.0 | 3.97 |
| 90/832.5 | 209.2 | 3.98 |
| 80/740.0 | 186.6 | 3.97 |
| 75/693.8 | 175.9 | 3.94 |
| 70/647.5 | 165.2 | 3.92 |
| 60/555.0 | 144.0 | 3.85 |
| 50/462.5 | 123.0 | 3.76 |
| 40/370.0 | 102.8 | 3.60 |
| 30/277.5 | 82.3 | 3.37 |
| 25/231.3 | 71.9 | 3.22 |
| 20/185.0 | 61.4 | 3.01 |

Tablodan da anlaşıldığı üzere yüklenme miktarına göre yakıt tüketim verimi değişmekte ve genel olarak düşük çıkış güçleri için verim azalmaktadır. Dizel generatörler arızalanma riski ve ömrünün azalması gibi nedenlerden

dolayı %30 yüklenmeden daha düşük çıkış gücünde çalıştırılmazlar. Bu durumda ise tam yüklenme durumuna göre %20'ye yakın daha fazla yakıt sarfiyatı söz konusu olmaktadır.

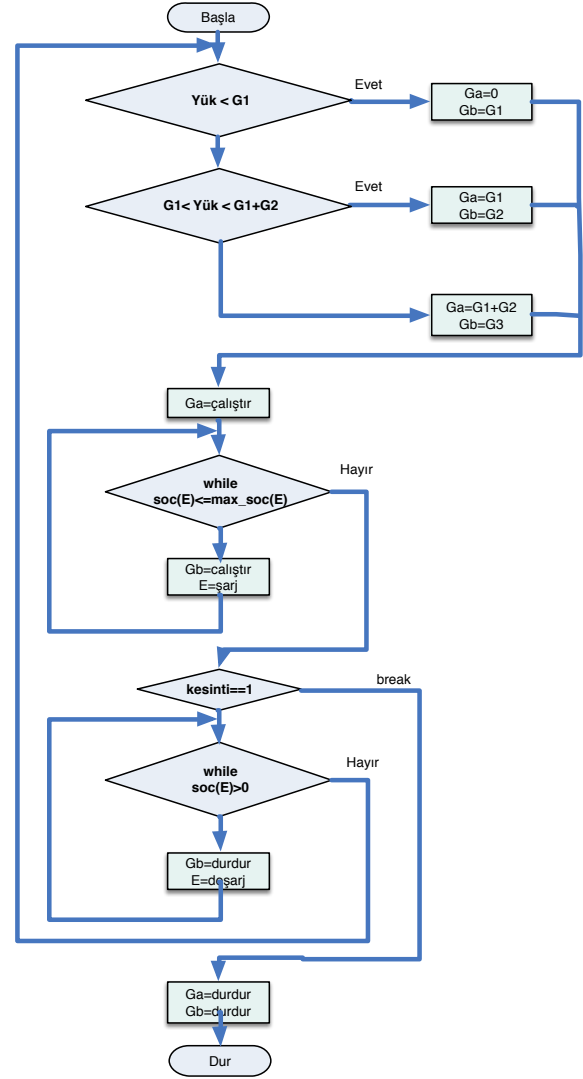
Daha önce belirtildiği gibi, mikroşebekede yer alan genartörlerin ürettikleri güç, düşüm karakteristiğine bağlı olarak talep edilen güç miktarı, yani sistemdeki elektriksel yük tarafından belirlenir. Yük değerine bağlı olarak genartörlerin ürettikleri güç nominal çıkış gücünden farklı olabilecektir. Sonuç olarak genartörlerin beslediği elektriksel yükler az olduğunda genartörlerin yakıt tüketimleri verimsiz olmaktadır. Bu soruna bir çözüm olarak genartörlerin nominal çıkış gücünde çalışmaları önerilmiştir. Bu amaçla enerji depolama aygıtının genartörlerle interaktif biçimde çalıştığı bir sistem geliştirilmiştir. Batarya, volan gibi enerji depolama aygıtları üretilen fazla enerjiyi depolayıp gerektiğinde kullanmak, gerilim desteği sağlamak vb. nedenlerden dolayı mikroşebekelerde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Önerilen sisteme ait akış diyagramı Şekil 4'de görülmektedir.

Geliştirilen algoritma akış diyagramında üç genartörden ve enerji depolama aygıtından oluşan bir mikroşebeke için verilmiştir. Bununla birlikte söz konusu algoritma daha az veya fazla sayıda genartör içeren mikroşebelere aynı şekilde uygulanabilir. Algoritmadaki G1, G2 ve G3 genartörlerin nominal çıkış gücünü göstermektedir. $soc(E)$ ve $max_soc(E)$ enerji depolama aygıtının üzerindeki sırasıyla anlık ve maksimum şarj değerlerini temsil etmektedir. Geliştirilen sistemdeki temel prensip şu şekildedir: yük tarafından talep edilen gücün bir üst kademesi her zaman nominal çıkış gücünde çalışan genartörler tarafından karşılanırken, enerji fazlası depolama aygıtını şarj etmektedir. Maksimum şarja ulaştıktan sonra ise genartörlerden birisi (son kademedeki) durarak yükün talep ettiği enerjinin eksik kısmı depolama aygıtından sağlanır. Böylece tüm genartörler her zaman nominal çıkış gücünde, yani yakıt sarfiyatı açısından en verimli olduğu durumda çalışır.

IV. Uygulama

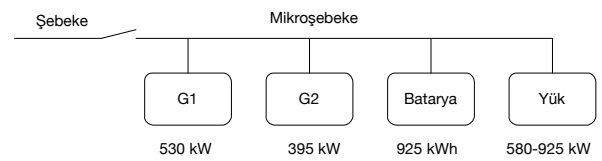
Önerilen sistemin performansını değerlendirmek için Şekil 5'de görüldüğü gibi iki genartör ve enerji depolama aygıtından oluşan küçük bir mikroşebeke uygulaması üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Söz konusu uygulamada Kanada'nın Quebec bölgesinde kullanılmak üzere dizayn edilmiş bir rüzgâr-dizel genartör hibrit mikroşebekesine ait veriler baz alınmıştır [7].

Buradaki sistemde anti-aging problemleri ve sistemin genel verimi göz önüne alınarak maksimum yüklenilebilir gücü 635kW ve 560kW olan iki adet genartör kullanılmıştır. Tam yük altında, birinci genartör 530kW yüklenebilirken diğer genartör ise 395kW yüklenebilirlik göstermektedir. Yük ise 580 kW ile toplam genartör çıkış gücü olan 925 kW arasında değişmektedir. Enerji depolama aygıtı olarak 925 kWh kapasiteye sahip batarya kullanılmıştır. Çalışmada lityum-iyon ve kurşun-asit olmak üzere iki çeşit batarya kullanılmıştır. Verim aralıkları olarak, lityum-iyon bataryalar, değişik yük altında kararlılık gösterirken; kurşun asit olanlar, sabit bir verimlilik göstermemektedir. Ancak, verim sabitleri



Şekil 4: Önerilen sisteme ait akış diyagramı.

normalize edildiğinde yaklaşık olarak %85'lik bir verim oranına sahiptirler [7].



Şekil 5: Uygulamada kullanılan örnek mikroşebeke.

Öncelikle eşit m_p eğimine sahip iki genartörün düşüm karakteristiklerine bağlı olarak yük paylaşımının gerçekleştiği klasik çalışma şekli incelenmiştir. Bu durumda bataryanın bir işlevi yoktur. Değişik yük değerleri altında genartörlerin yüklenme oranları ve söz konusu yüklenme oranlarına karşılık gelen yakıt tüketim değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2: Klasik çalışma biçiminde generatörlerin yüklenme oranları

| Yük (kW) | G1 (kW) | G2 (kW) | G1 Verim (kWh/litre) | G2 Verim (kWh/litre) |
|----------|---------|---------|----------------------|----------------------|
| 580 | 332,32 | 247,67 | 3,78 | 3,58 |
| 630 | 360,97 | 269,02 | 3,82 | 3,63 |
| 680 | 389,62 | 290,37 | 3,86 | 3,68 |
| 730 | 418,27 | 311,73 | 3,89 | 3,74 |
| 780 | 446,92 | 333,08 | 3,92 | 3,78 |
| 830 | 475,56 | 354,43 | 3,94 | 3,81 |
| 880 | 504,21 | 375,78 | 3,96 | 3,84 |
| 925 | 530 | 395 | 3,97 | 3,87 |

Eldeki bu verilere dayanarak, her bir generatörün ve sistemin toplam saatlik yakıt tüketimi Çizelge 3’de hesaplanmıştır.

Çizelge 3: Klasik çalışma biçiminde yakıt tüketim tablosu

| Yük (kW) | G1 Tüketim (litre/saat) | G2 Tüketim (litre/saat) | Toplam Tüketim (litre/saat) |
|----------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 580 | 87,88 | 69,17 | 157,05 |
| 630 | 94,49 | 73,98 | 168,47 |
| 680 | 100,90 | 78,75 | 179,65 |
| 730 | 107,55 | 83,20 | 190,75 |
| 780 | 114,02 | 88,08 | 202,10 |
| 830 | 120,72 | 93,00 | 213,72 |
| 880 | 127,28 | 97,70 | 224,98 |
| 925 | 133,49 | 102,10 | 235,59 |

Önerilen sistemde yükün minimum değeri G1 in çıkış gücünden büyük olduğundan söz konusu generatör her zaman çalışacak. G2 ise ilk aşamada nominal gücünde çalışarak hem yük beslenecek hem de fazla enerji depolanacak. İkinci aşamada G2 çalışmayıp yükün ihtiyaç duyduğu enerjinin eksik kalan kısmı enerji depolama aygıtından sağlanacak. Bu çalışmada hesaplamalarda kolaylık olması açısından bataryanın şarj-deşarj döngüsü 4 saat olarak kabul edilmiştir. Bu kabul ile sistemin, her bir yük değeri için değişken olan şarjdeşarj sürelerini hesaplamak için 3 ve 4 nolu denklemlerden yararlanılabilir.

$$P_{şarj} = G_1 + G_2 - \text{Yük} \quad (3)$$

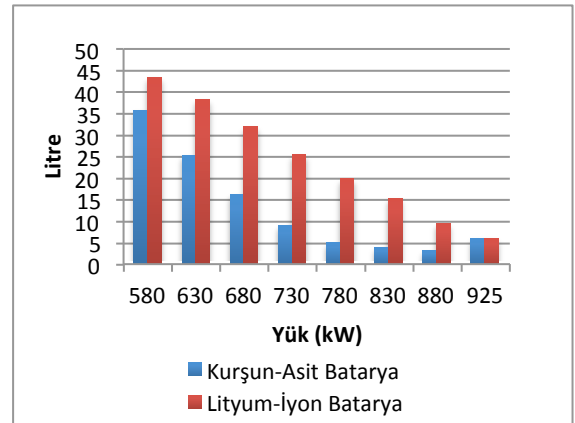
$$P_{şarj} * t = P_{deşarj} * (4 - t) \quad (4)$$

Kurşun-asit batarya kullanılması durumunda %85 değerindeki verim 4 nolu denklemde dikkate alınmalıdır. Söz konusu denklemler kullanılarak elde edilen şarjdeşarj sürelerine göre farklı yüklenme koşullarına ait yakıt tüketimleri Çizelge 4’de görülmektedir.

Çizelge 4: Önerilen çalışma biçiminde yakıt tüketim tablosu

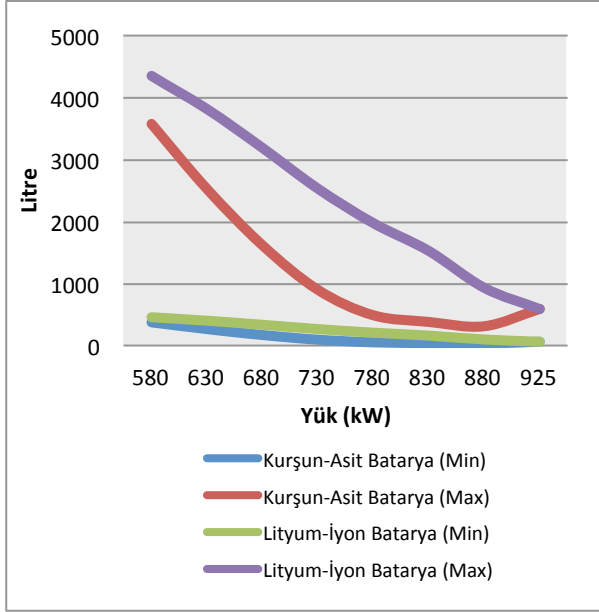
| Yük (kW) | Şarj süresince toplam tüketim (litre) | | Deşarj süresince toplam tüketim (litre) | |
|----------|---------------------------------------|---------------------|---|---------------------|
| | Kurşun-Asit batarya | Lityum-iyon batarya | Kurşun-Asit batarya | Lityum-iyon batarya |
| 580 | 136,40 | 118,53 | 456,03 | 466,22 |
| 630 | 266,96 | 237,05 | 381,60 | 398,65 |
| 680 | 392,06 | 355,58 | 310,29 | 331,08 |
| 730 | 512,03 | 474,11 | 241,90 | 263,51 |
| 780 | 627,178 | 592,641 | 176,26 | 195,95 |
| 830 | 737,79 | 711,17 | 113,20 | 128,38 |
| 880 | 844,12 | 829,70 | 52,59 | 60,81 |
| 925 | 936,37 | 936,37 | 0 | 0 |

Çizelge 3 ve 4’deki değerler kullanılarak 4 saatlik bir periyot boyunca klasik çalışma biçimine göre sağlanan yakıt tasarrufu Şekil 6’da görülmektedir. Grafikten de anlaşıldığı üzere en fazla yakıt tasarrufu düşük yüklerde elde edilmektedir. Ayrıca lityum-iyon bataryalar yüksek verimlerinden dolayı daha fazla yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Sağlanan yakıt tasarrufu kurşun-asit batarya kullanılması durumunda %5.7 iken lityum-iyon batarya kullanılması halinde ise bu miktar yaklaşık %7 civarındadır.



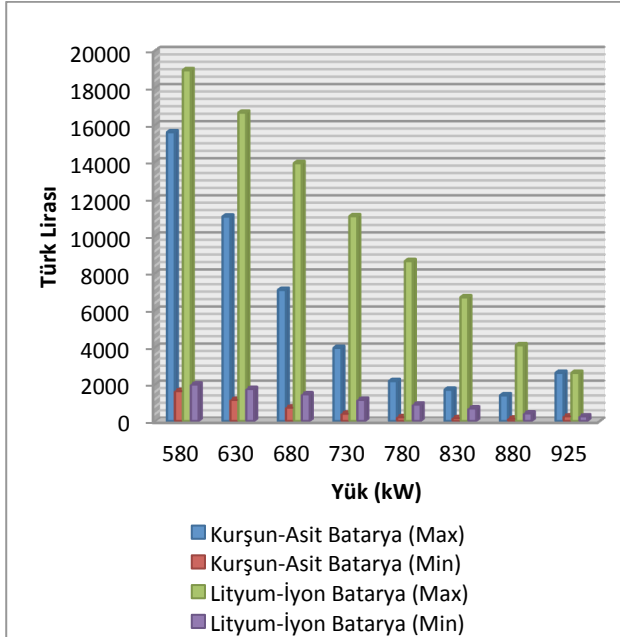
Şekil 6: Önerilen sistemin sağladığı tasarruf (4 saat).

Sağlanan yıllık yakıt tasarrufunu bulmak için generatörlerin çalışma süreleri İstanbul Anadolu yakasında bir yıl içerisinde meydana gelen enerji kesintilerinin süresi dikkate alınmıştır. Söz konusu bölgede bir yıl boyunca ortalama olarak 42 ila 400 saat arasında kesinti meydana gelmektedir. Bu süreler referans alınarak önerilen sistemin minimumum ve maksimum yıllık yakıt tasarrufu ve bu tasarrufun ekonomik değeri sırasıyla Şekil 7 ve 8’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7: Önerilen sistemle bir yılda sağlanan tasarruf.

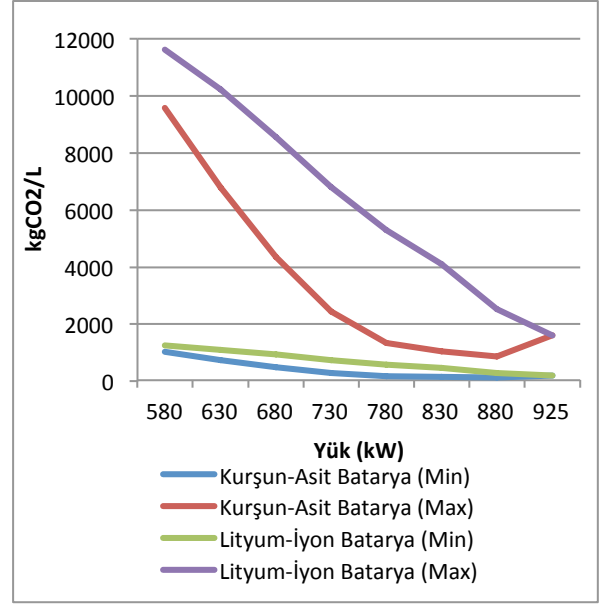
Tasarruf miktarının ekonomik karşılığı hesaplanırken güncel petrol fiyatı olan 4,36 TL/litre¹ baz değer olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 8: Önerilen sistemin sağladığı yıllık ekonomik tasarruf.

Yakıt sarfiyatındaki azalma aynı zamanda karbondioksit salınımının da azalmasını sağlayacaktır. Karbon emisyonundaki yıllık azalma miktarları Şekil 9'da görülmektedir. Söz konusu karbon salınımındaki azalma hesaplanırken 1 litre dizel yakıtın 3,2 kg CO₂ emisyonu neden olduğu dikkate alınmıştır [8].

¹ 01.06.2014 tarihli Petrol Ofisi A.Ş. tarafından belirlenmiş akaryakıt fiyatları listesinden baz değer olarak alınmıştır.



Şekil 9: Yıllık karbon emisyonundaki azalma.

V. Sonuç

Bu çalışmada mikroşebekelerde yedek güç sağlamak amacıyla kullanılan dizel generatörlerin yakıt sarfiyatı açısından en verimli olacak biçimde çalışmalarını sağlayan bir sistem önerilmiştir. Bu sistemde enerji generatörler depolama aygıtları ile birlikte interaktif biçimde çalışmaktadır.

İki generatör ve batarya kullanılarak yapılan bir uygulamada sağlanan yakıt tasarrufu analiz edilmiştir. Batarya olarak kurşun-asit ve lityum-iyon olmak üzere iki farklı teknoloji kullanılarak kıyaslama yapılmıştır. Uygulama ile elde edilen sonuçlara göre, enerji sağlanan elektriksel yükün değeri ile değişen oranlarda yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Düşük yük değerlerinde en fazla tasarruf sağlanırken, yük değerleri generatörün nominal güç değerlerine yaklaştıkça bu tasarruf azalmaktadır. Ayrıca lityum-iyon batarya kullanıldığında daha fazla tasarruf elde edilmektedir. Tasarruf miktarı kurşun-asit bataryalar için %5.7 iken lityum-iyon bataryalar için ise %7 civarında olmaktadır. Yakıt sarfiyatında sağlanan tasarruf karbon emisyonunda da azalmayı sağlamaktadır. Sonuç olarak önerilen sistem ekonomik kazanımın yanı sıra çevre üzerinde de olumlu etki sağlamaktadır.

Kaynakça

- [1] Lasseter, R.H., "Smart Distribution: Coupled Microgrids," *Proceedings of the IEEE*, vol.99, no.6, pp.1074,1082, June 2011
- [2] Mike M. He, Evan M. Reutzler, Xiaofan Jiang, Randy H. Katz, Seth R. Sanders, David E. Culler, Ken Lutz, "An Architecture for Local Energy Generation, Distribution, and Sharing", *IEEE Energy2030*, Atlanta, Georgia, USA, Kasım 2008
- [3] Kroposki, B.; Lasseter, R.; Ise, T.; Morozumi, S.; Papatlianassiou, S.; Hatziargyriou, N., "Making microgrids work", *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol.6, no.3, pp.40,53, May-June 2008
- [4] Lasseter, R.H., "MicroGrids," *Power Engineering Society Winter Meeting*, 2002. IEEE, vol.1, no., pp.305,308 vol.1, 2002

- [5] Türkay B., "Dağıtılmış Enerji Kaynaklarını İçeren Şebeke Tasarım Önerisi", *Ulusal Elektrik Tesisat Kongresi*, İzmir, 2009.
- [6] Chowdhury,S.; Chowdhury,S.P.; Crossley,P., "Microgrids and Active Distribution Networks", 2009.
- [7] Farid Katiraei, Member, and Chad Abbey, Student Member, "Diesel Plant Sizing and Performance Analysis of a Remote Wind Diesel Microgrids", IEEE, 2007
- [8] Nadir D., Oltan C., Mehmet K., "Biyodizel Kullanımının Çevre için Önemi", Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze