

PVsyst ve Homer Kullanılarak Şebekeye Bağlı Mikro Şebeke Tasarımı

Design of On-Grid Microgrid Using PVsyst and HOMER

Onur ÇETİNKAYA¹, Mikail PÜRLÜ², Belgin EMRE TÜRKAY³

¹⁻³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
cetinkayao17@itu.edu.tr, turkayb@itu.edu.tr

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü
mikailpurlu@cumhuriyet.edu.tr

Özet

Dünyada elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç günden güne artmakta ve artık yaşamımızın olmazsa olmazı haline gelmiş bir ihtiyaçtır. Enerji üretiminde artan ihtiyaçlar ve fosil yakıtların tükenmeye başlaması ile birlikte yenilenebilir enerjinin kullanımı çok büyük önem kazanmıştır. Artan elektrik ihtiyacı ile birlikte elektriğin üretimi, iletimi ve dağıtımını da önemli hale gelmiştir. Üretimin dağıtık halde bulunması ve tek bir merkezde yapılmaması üretilen elektriğin iletimine dair geleneksel yaklaşımdan farklı bir yaklaşım getirerek elektrik iletiminde kayıpların azalmasını amaçlamaktadır. Bu tip şebekeler mikro şebeke olarak nitelendirilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye daha fazla dahil olmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada İTÜ Elektrik - Elektronik Fakültesi Binasının elektrik ihtiyacı için mikro şebeke tasarımı yapılması ve bu çalışmanın simüle edilerek yorumlanması amaçlanmıştır. Çalışmada simülasyon programları olarak PVsyst ve HOMER programları kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Mikro şebekeler, Güneş Enerjisi, PVsyst, HOMER.

Abstract

The world's need for electrical energy is growing every day, and it has become a vital component of our daily life. The usage of renewable energy has become increasingly important due to the rising need for energy production and the depletion of fossil resources. The production, transmission, and distribution of electricity have all grown in significance with the rise in demand for it. By adopting a different strategy from the conventional approach to the transmission of the electricity produced, the fact that the production is dispersed and not done in a single hub attempts to reduce the losses in electricity transmission. These types of networks are called microgrids and enable more renewable energy sources to be included in the grid. The purpose of this study is to simulate and analyze the design of a micro-grid for the ITU Faculty of Electrical and Electronics Building's

electrical requirements. PVsyst and HOMER programs were used as simulation programs in the study.

Keywords: Microgrid, Solar Energy, PVsyst, HOMER.

1. Giriş

Elektrik enerjisinde son yıllarda artan ihtiyaçlar ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında artış gözlemlenmektedir. Buna karşın dünyada bulunan enerji kaynaklarının tükenebilir olması elektrik üretimi için farklı arayışlara yol açmaktadır. Bu doğrultuda farklı enerji kaynakları arayışı artmıştır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda geliştirilen teknolojiler ışığında güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi son yıllarda oldukça artmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2021 Ekim raporuna göre 2020 yılında güneş enerjisi üretimi geçtiğimiz yıla göre %23 oranında artmıştır [1]. Güneş enerjisinin vadedtiği potansiyel ve tesis kurululumunun rüzgar enerjisine göre daha kolay ve ucuz olması sebepleriyle elektrik enerjisi üretiminde daha kolay ulaşılabilir durumdadır.

Güneş enerjisi, artan elektrik tüketimi ile birlikte duyulan elektrik ihtiyacının fosil yakıtlara ihtiyaç duyulmadan giderebilmenin en önemli çözüm yollarından biridir. Bununla birlikte gelişen teknolojilerle birlikte özellikle metropol denilen çok fazla insanın yaşadığı şehirlerde veya bölgelerde yoğun elektrik talebi şebekede kesinti veya arızalara sebep olmaktadır. Diğer taraftan olası doğal afetler sonrası şebekenin ciddi zararlar gördüğü durumlarda dağıtık enerji kaynakları hayati derecede önemde çözümler sunmaktadır. Merkezi enerji kaynakları yerine dağıtılmış enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması ile birlikte afet sonrası kriz yönetiminin oldukça kolaylaşması öngörülmektedir [2]. Elektrik dağıtım merkezinden uzak bölgelerde ise iletim hattında oluşan sorunlar sebebiyle bu tip bölgelerde sık sık elektrik kesintileri yaşanmaktadır. Hem şehir merkezlerinde hem kasabalarda gerçekleşen farklı enerji

sorunlarına ortak bir çözüm olarak mikro şebeke sistemleri öne çıkmaktadır.

Mikro şebeke sistemleri ile enerji üretimini artırmak, şebekeden bağımsız çalışarak elektrik ihtiyacının bir kısmını veya tamamını karşılayabilmek ve şebekeye bağlı çalışırken ihtiyaç fazlası elektriği şebekenin kullanması ile birlikte enerjiyi verimli kullanmak mümkündür. İletim kayıplarını minimize ettiği gibi şebekeye dinamizm katması açısından gelişen teknolojilerle birlikte mikro şebekelerin gelecek şehir konseptlerinin bir parçası olabilmeleri beklenmektedir [3].

Bu çalışmanın amacı, üniversitemizin elektrik-elektronik fakülte binası için güneş enerjisi ile beslenen mikro şebeke tasarımı yaparak bu tasarım üzerinden mikro şebeke performansını çeşitli yönlerden analiz etmek ve bu analizlerden yola çıkarak mikro şebekelerin performansını gerçeğe yakın olarak değerlendirmektir. Bununla birlikte gelecekte yaygınlaşması öngörülen mikro şebeke sistemleri için bir simülasyon örneği olması planlanmıştır. Çalışma kapsamında binanın elektrik ihtiyaçları doğrultusunda yapılan fotovoltaik sistem tasarımının elektriksel ve fiziki gereksinimleri analiz edilip, iki ayrı simülasyon programıyla birlikte matematiksel olarak hesaplanacaktır. Bu bağlamda fakülte binasının çatısı projenin tasarım bölgesi olarak seçilmiş ve bu bölge içerisinde üretim yapması planlanan güneş enerjili ile beslenen mikro şebeke sistemi için hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar ve çıktılar, binanın enerjisini karşıladığı kaynak ile güneş enerjisi sistemleriyle ekonomik ve çevresel etki olarak karşılaştırılmıştır.

2. Mikro Şebeke

Mikro şebeke sistemi, dağıtımına yakın olarak yerleştirilen yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi yapan sistemlerdir. Geleneksel şebeke yaklaşımına kıyasla son tüketiciye yakın olmasından dolayı kayıpların oldukça az olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile birlikte şebekede kritik arızalara rağmen mikro şebekenin arızadan etkilenmeden hatta arızalı şebekeye yardımcı olacak şekilde çalışır. Şebekenin ihtiyaç duyması durumunda sağlanan enerji ile şebekeye yardım etmek amaçlanmaktadır. Çok sayıda dağıtılmış enerji kaynağını (DEK) içeren yeniden yapılandırılmış bir elektrik dağıtım şebekesi ile sistem güvenilirliği artırılıp, hizmet kalitesi yükseltilebilir [4]. Fosil yakıtlar ile elektrik üretiminin sürdürülemez oluşuna bir çözüm olarak yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimini benimseyen sistemler olan sistemler olan mikro şebeke çevresel sürdürülebilirlik adına önemli bir adım olmakta ve gelecek nesillere çevreci bir şekilde enerji üretimi konusunda yol göstermektedir.

Mikro şebeke sistemleri özellikle enerji iletiminin zor ve verimsiz olduğu koşullar için ön plana çıkması düşünülen bir sistem olmasına rağmen gerek şebekeye dinamizm katması gerek afet sonrası kriz çözümlerindeki potansiyeli sebebiyle Dünya genelinde kullanımı yavaş yavaş yaygınlaşmaya ve çalışmaların

sıklaştığı sistemler olarak öne çıkmaktadır. Türkiye'nin önemli bir kısmının afet bölgesi olması, özellikle deprem bölgesi olması mikro şebekelerin bu bölgede kullanımının yaygınlaşması gerektiğini göstermektedir. Zira eskiden şebeke altyapısının büyük afetlerde zarar görme ihtimalinin yüksek olması ve afet sonrası hayati derecede ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin mikro şebeke üzerinden elde edilebileceği unutulmamalıdır. Bu durum özellikle İstanbul gibi 25 milyona yakın nüfuslu, büyük depremler beklenen ve acil durumlarda kritik derecede oluşan altyapı sorunlarının bütün şehri etkilediği bölgeler için çok önemli bir rol üstlenebilir durumdadır. Elektrik enerjisinin günlük enerji kaynakları üzerinden dağıtım beklenen afet senaryoları sonrasında çözüm olarak durmaktadır.

Mikro şebekeler şebeke ile olan durumlarına göre 2'ye ayrılır: Şebekeden bağımsız mikro şebekeler ve şebekeye bağlı mikro şebekeler.

3. Simülasyon Programları ve Koşulları

PVsyst ve HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) programları yenilenebilir enerji sistemi tasarlamakta sıklıkla kullanılan iki program olmakla beraber tasarlanan sistemde bu programların seçilmesinin en önemli nedeni solar sistemler özelinde analiz kabiliyetlerinin üst düzey olması, mikroşebeke tasarımı için gerçekçi analiz sonuçlarına sahip olması, birçok programa göre daha basit arayüzlere sahip olması ve tasarlanan sistem için iki farklı programın analizlerinin birbirleriyle farklılıklarının karşılaştırılmasıdır.

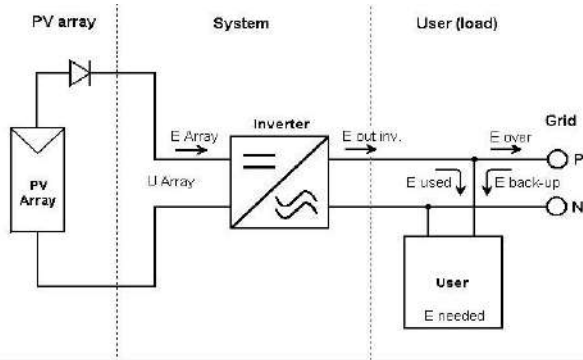
3.1. PVsyst

PVsyst simülasyon programı fotovoltaik sistemlerin incelenmesi, boyutlandırılması ve veri analizi için bir bilgisayar yazılımıdır. Bu yazılım sayesinde şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemleri tasarlanabilir ve simüle edilerek analiz edilebilir. Kapsamlı meteoroloji ve PV sistem bileşenlerine sahip veritabanlarına sahip olmasının yanı sıra genel temel güneş enerjisi araçlarını içermektedir. Program içerisinde farklı üreticilere ait evirici ve fotovoltaik panel modelleri gibi temel sistem bileşenlerini bulundurur ve bu bileşenlerin birbirleriyle uyumunu inceler [5]. Program, coğrafi sitelerin oluşturulması ve yönetimi, saatlik veri dosyasının oluşturulması, saatlik meteorolojik verilerin görselleştirilmesi ve karşılaştırılması, önceden tanımlanmış birkaç kaynaktan veya özel dosyalardan meteorolojik verilerin içe aktarılması gibi avantajlar sağlamaktadır. Program, simülasyon sonucunda coğrafi bölge koşullarına ve kullanılan alanın etrafındaki binalara göre gölgelenme analizi yapabilmektedir.

Sistem bileşenlerinin seçimi program üzerinden yapılırken aşağıdaki matematiksel hesaplamalar baz alınarak program üzerinde seçenekler kısıtlanarak seçim gerçekleştirilmiştir:

$$\begin{aligned} \text{Evirici Kapasitesi} &= \text{Gerekli enerji} \times \text{evirici kaybı} / \text{Güneşlenme Süresi} & (1) \\ \text{Kurulu Güç} &= \text{Gerekli Güç} / \text{Verim} & (2) \\ \text{Seri Bağlı Modül Sayısı} &= \text{Nominal Gerilim} / \text{Modül Gerilimi} & (3) \\ \text{Paralel Kol Sayısı} &= P (\text{panel}) / P (\text{dizi}) & (4) \end{aligned}$$

Planlanan olan sistemin modeli Şekil 1’de verilmiştir. Sistem ürettiği elektriği öncelikle kullanıcıya sunmayı amaçlarken ihtiyaç fazlası olan elektriğin batarya vasıtasıyla biriktirilmesi ve daha sonra ihtiyaç halinde kullanılması da göz önüne alınarak fazla elektriğin şebekeye verilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1. PVsyst programında oluşturulan mikro şebeke modeli

3.2. HOMER

HOMER, birçok farklı enerji kaynağını aynı sistemde birleştirebilen ve oluşturulmuş olan sistemlere en uygun ekipmanları önerebilen, bu tasarımların ekonomik analizini yapabilen bir simülasyon ve analiz programıdır. Program, aynı anda birçok tasarımı bir arada bulundurabilmesi, aynı zamanda oluşturulacak sistem için ekonomik ve teknik hesaplamalar ile en uygun ekipmanların seçilmesine ve optimum sistemin oluşturulmasını sağlar [6]. HOMER, sisteme girilen meteorolojik veriler ve elektrik yük verilerinin dışında sistem ekipmanlarının maliyet fiyatları, enflasyon değeri, bakım – onarım masrafları gibi verilere de ihtiyaç duymaktadır. Bu veriler ışığında hangi ekipmandan ne kadar ve hangi boyutta bulunması gerektiğini seçebilmekte ve değişken ekonomik koşullarda en doğru seçimlerin yapılmasına yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda bu program optimizasyon, hassaslık ve simülasyon analizi yapmayı sağlamaktadır [7]. HOMER programı üzerinden analiz yapılmak istenen konum seçilerek meteorolojik bilgilerine ulaşmak mümkündür. PVsyst programından farklı olarak programın içindeki araçlar ve girilen veriler doğrultusunda en doğru ekipman seçimini ve ekipman sayısını belirleyebilmektedir. Bu sayede PVsyst’e nazaran daha doğru bir sistem tasarımı mümkün olmaktadır.

3.3. Ekonomik Veriler

HOMER, sistem tasarımı yaparken ekonomik verileri de göz önünde bulundurur. Girilen ekonomik bilgiler simülasyonun doğruluğu açısından önem taşımaktadır.

Ekonomik veriler olarak; faiz oranı, enflasyon ve proje ömrü verileri gereklidir. Proje ömrü 25 yıl olarak alınmıştır. Bu süre fotovoltaik panelin kullanım ömrü olarak belirlenmiştir. Cumhuriyet Merkez Bankası verileri dikkate alınarak faiz oranı %11,57, enflasyon oranı %17,49 olarak alınmıştır. Sistem tasarımını ekonomik analizi yapılırken dolara göre değerlendirme yapılmıştır. Bu doğrultuda bazı verilerin Türk lirasından dolara çevrimi yapılmıştır. Dolar kurundaki değişimler dikkate alınarak ve son 1 yıldaki veriler değerlendirilerek dolar kuru 12,01 TL alınmıştır.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu’nun açıkladığı 1 Haziran 2022 tarihinden itibaren geçerli elektrik tarifisine göre tek zamanlı elektrik alış fiyatı dağıtım ücreti dahil 278 kr/kWh olarak , lisanssız fotovoltaik sistemler için elektrik satış fiyatı 245,46 kr/kWh olarak verilmiştir [8]. Bu veriler dikkate alınarak elektrik alış fiyatı 0,231 \$, elektrik satış fiyatı 0,204 \$ olarak alınmıştır.

Tablo 1. Ekonomik veriler

Dolar	12,01 ₺	
Faiz Oranı	%11,57	
Enflasyon Oranı	%17,49	
Elektrik Satış Fiyatı	278 kr/kWh	0,231 \$
Elektrik Alış Fiyatı	245,46 kr/kWh	0,204 \$

4. Simülasyon Çıktıları

İki simülasyon programı da elektrik tüketim verilerine göre analizlerini gerçekleştirmekte ve o verilerin yardımıyla gerçekçi sonuçlar ortaya koymaktadır. Elektrik tüketimi verileri programlara girilirken 2021 yılı tüketim verileri dikkate alınmıştır. Bu veriler simülasyon programlarına girilmiş ve uygun ekipman seçimi ile gerekli ekipman sayısı tespiti kısıtlamalara bağlı kalacak şekilde programlara bırakılmıştır. Bu çalışmada şebekeden olabildiğince az yararlanmak ve yenilenebilir enerji kullanım oranını artırmak için depolama sistemi bulunması uygun görülmüştür. Bu doğrultuda sistemde depolama sistemi olarak bataryalar bulunmaktadır. Depolama sistemi ile birlikte evirici sistem ve fotovoltaik sistem bileşenleri ana bileşenler olarak bulunmaktadır.

Tablo 2. İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi Binası 2021 yılı aylık elektrik tüketim verileri

Ay	Tüketim (kWh)
Ocak	73.580,07
Şubat	65.147,79
Mart	75.783,60
Nisan	62.930,80
Mayıs	50.568,80
Haziran	58.285,80
Temmuz	68.332,90
Ağustos	82.423,10
Eylül	60.726,40
Ekim	92.711,70
Kasım	94.139,30
Aralık	96.473,30

Fotovoltaik sistemin simülasyon içinde kurulacağı yer olarak İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi Binası çatısı belirlenmiş ve yaklaşık 7000 m² olan çatının %37,85'lik kısmını fotovoltaik sistemlerin kullanılabileceği hesaplanmıştır. Çatı için fizibilite çalışması yapılmadığından çatının %50'sinden fazlasının kullanılamayacağı düşünülmektedir ve elde edilen veriler ile tahminler birbiriyle uyumaktadır.

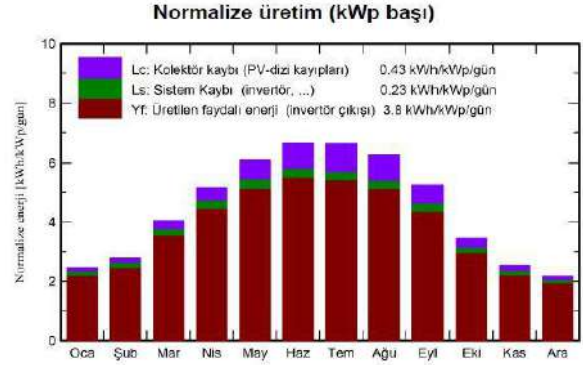
4.1. PVsyst'den Elde Edilen Çıktılar

Yapılan çalışmaya göre oluşturulan sistem tasarımının üretmesi beklenen toplam enerji program tarafından 810 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Sistemin gece elektrik üretmeyeceği düşünüldüğünden sistemde akü mevcuttur ve ihtiyaç halinde kullanıma hazır bir şekilde bulunması planlanmıştır. İhtiyaç duyulmayan durumlarda sisteme elektrik verilmesi beklendiği gibi aküye rağmen üretilen enerjinin sisteme yetmediği durumlar için şebekeden elektrik almak da mümkün durumdadır. Sistemin tüm bu değişkenler sonucunda yıllık 488 MWh elektriği öz tüketim olarak kullanması, 289 MWh elektriği şebekeye geri satması beklenmektedir. Simülasyon sonuçları gölgesiz duruma göre hesaplanmıştır.

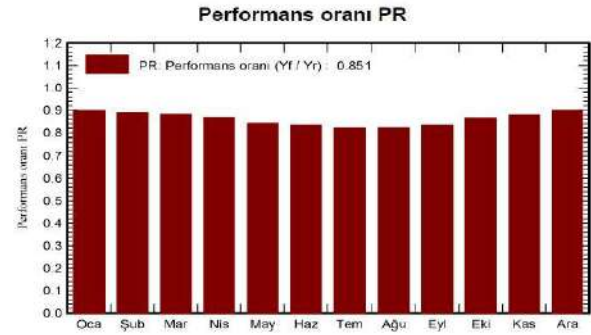
Şekil 2'de enerji üretiminin gölgeleme olmadığı durumda 0,23 kWh/kWp/gün sistem kayıpları ve 0,43 kWh/kWp/gün PV dizi kayıpları olarak yansıtılarak evirici çıkışındaki enerjinin 3,8 kWh/kWp/gün kısmının faydalı enerji olarak kullanıldığı görülmüştür.

Simülasyonla elde edilen sonuçlara göre her ay için performans oranlarının grafikleri Şekil 3'de verilmiştir. Ortalama performans oranı grafikte görüldüğü üzere 0,851 çıkmıştır. Gerçekleşen üretimin beklenen üretime oranı elde edilen değer performans oranıdır. IEC 61724'e göre sistem veriminin (Yf) referans sistem verimine (Yr) oranı olarak ifade edilmiştir [9]. Performans oranı radyasyon koşullarından bağımsız olmak üzere eşit sistem tasarımlarının yıllar içindeki performans oranlarını karşılaştırmak amacıyla kullanılan bir gösterim olarak ifade edilmesiyle beraber sıcaklığa daha fazla bağlı olduğu gözlenir. Performans oranının

sıcak iklimlerde daha düşük olduğu gözlemlenmiştir [10].



Şekil 2. Normal enerji üretimi ve kayıp faktörü



Şekil 3. Aylara göre performans oranı grafiği

Simülasyon sonuçlarına göre senelik 1467 kW/m² ışınının panel yüzeyine düştüğü görülmektedir. Panel üzerine ulaşan ışınım, panel yüzey alanı ve verim ifadesi çarpıldığında yine kayıp diyagramında verilen 895 MWh elde edilir. Diğer sistemsel kayıplar ile beraber şebekeye 810 MWh enerji ulaşmıştır. En büyük kaybın sıcaklık nedeniyle oluşan kayıplar olduğu görülmektedir. Doğrudan kullanılan enerji üretilen enerjinin %74,3'üne denk gelmektedir.

4.2. HOMER Pro'dan Elde Edilen Çıktılar

HOMER Pro uygulamasında elektriksel, ekonomik ve teknik veriler girilmesi gerekmektedir. Program bu teknik veriler doğrultusunda analizlerini gerçekleştirir. PVsyst programında elde ettiğimiz değerler doğrultusunda evirici sayısı, fotovoltaik panel sayısı, batarya sayısı gibi özelliklere bağlı kalınmaya çalışılmış ve bu doğrultuda ekonomik analiz yapılmıştır. Uygulamanın girilen teknik veriler doğrultusunda ekipman seçimi için çeşitli önerileri olmaktadır. Bu doğrultuda fotovoltaik panel seçimimiz PVsyst programında olduğu gibi Hanwha Q Cells üreticisinin Q.Peak-Duo-XL-G11.7-580 olmuştur. PVsyst simülasyonundaki sistemdeki panel ve evirici özellikleri HOMER'a aktarılmış ve aynı fotovoltaik panel ve evirici seçimlerine göre analiz yapması istenmiştir. Depolama sistemi için ise HOMER programı ekipman önerisinde bulunmuş ve generic 1kWh Lityum – Ion batarya seçimini yapmıştır.

Sistem fazla ürettiği enerjiyi bataryada depolanan ve şebekeye satma durumunda olduğu için her elde edilen fazla enerjinin şebekeye satılması söz konusu değildir. Bataryada enerji depolamak için boşluk olması durumunda enerjiyi şebekeye satmak yerine bataryada biriktirecektir. Bunun için detaylı hesaplamayı HOMER programı simülasyon sırasında yapmaktadır. Binanın bütün elektrik tüketiminin karşılanması beklenmemektedir. Hem alan hem de maliyet konusunda sıkıntı olmaması adına fakülte binasının elektrik ihtiyacına yardımcı olacak tasarım yapılırken ihtiyaç duyulması durumunda şebekeden enerji alımı yapılabilecek bir sistem tasarımı planlanmıştır. Bu doğrultuda bataryada enerjinin bulunmadığı ve fotovoltaik panellerden elde edilen enerjinin yetersiz kaldığı durumlarda şebekeden enerji alınması söz konusu olacaktır. Bu durum ekonomik analizi etkilediğinden hesaplamalar sırasında göz ardı edilmemektedir. Ancak uygulama sistemin yatırım maliyetinin geri kazanılması durumu için hesaplama yaparken normal şartlarda şebekeden alınacak olan fakat sistemin kurulması durumunda alınmayan enerji ve şebekeye satılan enerji durumlarına göre hesaplama yapmaktadır. Şebekeden alınan enerjinin azalması bir kazanç durumu olarak görülmektedir zira sistem kurulmadığı durumda alınan enerji sistem kurulduğunda azalacak ve bir kısmını şebekeden bağımsız şekilde kullanıcı kendi üretebilecektir.

4.3. Kirlenici Gazların Emisyon Hesabı

Ekonomik verilerden bir tanesi de emisyon değerleridir. Zira her üretilen enerji üretim sırasında havaya karbon ve birtakım gazlar salınımı yapacaktır. Bu durum sistemimiz için alınacak olan ekipmanların üretiminde geçerlidir. Enerji üretimi esnasında karbon ve diğer gazların salınımı minimum değere ulaşmasına karşın fotovoltaik panel ve batarya gibi araçların üretimi sırasında salınan gazlar göz ardı edilmemelidir. NASA ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan veriler doğrultusunda Tablo 3'te görüldüğü üzere emisyon değerleri programa girilmiştir. Planlanan sistemin çevresel etkileri de HOMER programı ile hesaplanabilmektedir. Bahsedilen gazların genel olarak atmosferik reaksiyonlara yol açabilen, solunum problemleri ve çeşitli sağlık sorunlarına neden olan, asit yağmurları oluşumuna sebep olan ve doğaya zararlı özellikleri bulunan gazlar olarak özetlemek mümkündür [11].

Tablo 3. Emisyon değerleri

Kirlenici Gazlar	Birim	Meteoroloji Genel Müdürlüğü	NASA
İşınım Verisi	kWh/m ² /gün	3,92	3,93
Karbon dioksit	kg/yıl	804,089	805,584
Karbonmonoksit	kg/yıl	0	0
Yanmamış hidrokarbon	kg/yıl	0	0
Partikül Madde	kg/yıl	0	0
Kükürt dioksit	kg/yıl	3,486	3,493
Azot oksitler	kg/yıl	1,705	1,708

4.4. İşletme, Bakım – Onarım Maliyetleri ve Kar – Zarar Durumu

Sistemin 25 yıl boyunca çalışacağı ve fotovoltaik panel, depolama sistemleri ve evirici için 15 yıllık ömür biçilmiş olup 15 yılın sonunda değiştirilmesi öngörülmüştür. Programa girilen maliyet değerleri Mayıs 2022 ve Haziran 2022 maliyetlerine göre oluşturulmuş olup tercih edilen ekipmanların fiyatlandırılması yaklaşık olarak belirlenmiştir. Solar sistemin kurulacağı alana bağlı olarak belirlenen fotovoltaik panel sayısından dolayı fotovoltaik panel başına maliyet hesaplanmıştır.

Seçilen fotovoltaik paneller için belirlenen panel başına maliyet 450\$, yıllık bakım masrafı kWh başına 10\$ olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda panellerin kurulum ücreti işçilik maliyetleri dahil olmaksızın 435.600\$ olması gerekmektedir. Yıllık bakım masrafı ise fotovoltaik panellerin veriminin yıldan yıla azalması sebebiyle değişmektedir. Değişken bakım masrafları, 15 yılın sonunda solar panellerin değişim masrafları ile birlikte çıkarılan hurda maliyetlerinden sonra fotovoltaik panellerin 25 yılın sonundaki maliyeti 1.281.570\$ olmaktadır.

Depolama sistemi için tercih edilmiş olan 1 kWh'lık bataryalar için kWh başına 132\$ olarak belirlenmiştir [12]. Bakım maliyeti ise kWh başına 5\$ olmaktadır. Yapılan tasarım için donanım maliyeti, yıllık bakımlar, ömrü biten ve değiştirilen bataryalar ile diğer giderler sonucu çıkarılan hurda maliyetlerinden sonra toplam 287.600\$ olarak elde edilmiştir.

Sisteme dahil edilen ve enerji dönüşümlerini gerçekleştiren evirici – çevirici grubu için 6 kW'lık birim kurulum maliyeti 5143 \$, yıllık bakım masrafları ise 1339 \$ olarak kabul edilmiştir [13]. Bu durumda hesaplamalar sonucu değişimler sonucu çıkarılan hurda maliyetlerinden sonra elde edilen toplam maliyet 4.883.706\$ olarak belirlenmiştir. Diğer bakım maliyetleri ile birlikte 25 yıllık yaklaşık maliyet toplam 6.952.876\$ olarak elde edilmektedir.

Buna karşın uygulamanın simülasyon sonuçlarına göre elde edilen elektriğin bir kısmının satılması ve şebekeden enerji almak yerine kendi enerjisini üretilip kullanması durumlarının sonucu olarak sistemin kullanıcıya maliyetini 5.3 yılda geri kazandırması beklenmektedir. Sadece ürettiği fazla elektriği şebekeye vererek kullanıcıya yaklaşık 11.9 yılda maliyetini kazandırması beklenmektedir.

5. Sonuç ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada, Türkiye'nin kuzey batısında bulunan ve en fazla nüfusuna sahip şehri olan İstanbul'daki İstanbul Teknik Üniversitesi'nin Ayazağa yerleşkesindeki Elektrik – Elektronik Fakültesi'nin elektrik ihtiyacının bir kısmının karşılanabilmesi için mikro şebeke tasarımının teknik ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Güneş enerjisi, depolama sistemi ve şebekenin birlikte yer aldığı şebekeye bağlı mikro şebeke tasarımında bir

yandan PVsyst programı ile fotovoltaik panel odaklı analizler yapılırken sistemin optimum şartlarda ekonomik açıdan incelenmesi amacıyla HOMER Pro programının kullanılarak iki farklı program ile detaylı analiz uygun görülmüştür. PVsyst yazılımı solar sistemler odaklı analizlerde kullanılırken HOMER Pro yazılımı mikro şebeke sisteminin optimizasyonunun yapılmasına, ekonomik veriler ışığında gerçeğe yakın maddi simülasyonlar gerçekleştirerek analiz etmeye imkan sağlar.

Fotovoltaik sistem tasarımı ve mikro şebeke sistemleri üzerine yapılan literatür çalışmaları incelenmiş, sistemin tasarımında bu çalışmalardan faydalanılmıştır. Mikro şebeke sistemi tasarlanmadan önce Dünya’da ve Türkiye’de enerji kullanımı incelenmiş, hem Türkiye’de hem Dünya genelinde elektrik tüketiminde artışlar görülmüş ve bu duruma bağlı olarak kurulu güç miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Dünya’daki enerji kaynakları içinde diğer kaynaklara kıyasla daha sürdürülebilir olarak gözüken yenilenebilir enerji kullanım oranı son birkaç yılda iyice artmış durumdadır. Dünya genelinde güneş ve rüzgar enerjisi kurulum maliyetlerindeki azalışlar ile birlikte yenilenebilir enerji sektörüne yapılan yatırımlar artmıştır. Buna rağmen Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin zirvesine oldukça uzak durumdadır. Elektrik üretiminin önemli bir kısmı fosil yakıtlara dayanan Türkiye için güneş enerjisi en önemli çözüm yollarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Olası şebeke arızaları için çözüm sunuyor olması ve sürdürülebilir enerji kaynağına sahip olması mikro şebeke sisteminin gelecek şehirleri için değerli bir enerji çözümü olarak durmaktadır. Güneş enerjisinin kurulumunun kolay olması sebebiyle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına nazaran daha fazla yaygınlaşması ve kullanılması beklenmekte ve gelecekte oluşabilecek potansiyel enerji krizleri için çözüm yolu olarak göze çarpmaktadır.

6. Kaynaklar

- [1] IEA, “World Energy Outlook” 2021.
- [2] Younesi, A., Shayeghi, H., Safari, A., Siano P., (2019) “Assessing the Resilience of Multi Microgrid Based Widespread Power Systems Against Natural Disasters Using Monte Carlo Simulation”, Energy, Vol. 171, pp. 150-157.
- [3] Url-1 < <https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/enerji-sistemleri/enerji-yonetimi-ve-akilli-sebeke-sistemleri/mikro-sebeke-sistemleri> >, alındığı tarih 10.12.2021.
- [4] Türkay,B.E., (2009) “ Dağıtılmış Enerji Kaynakları İçeren Şebeke Tasarım Önerisi”, *EMO Yüksek Gerilim Çalıştayı*.
- [5] Akcan, E., Kuncan, M., Minaz, C., (2020) “PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu”, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, sa 18, ss. 248-261.

- [6] Url-2 < <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/1/atest/index.html/> >, erişim tarihi 12.04.2022.
- [7] Url-3 < https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/1/atest/solving_problems/ >, erişim tarihi 12.04.2022.
- [8] Url-4 < <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari> >, alındığı tarih 04.06.2022.
- [9] Masters ,G.M., (2013) “Renewable and Efficient Electric Power Systems,” John Wiley&Sons.
- [10] Reich N.H., Mueller B., Armsbruster A., Sark W.G.J.M., Kiefer K., Reise C., (2012) “Performans ratio revisted: is PR>90% realistic?,” Progress in Photovoltaics: Research and Applications.
- [11] Özkan,U., (2021) “Şebekeye Bağlı Çatı Üstü Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Analizi”.
- [12] Url-5 < www.greencarreports.com/news/1134307_report-ev-battery-costs-might-rise-in-2022 >, alındığı tarih 08.06.2022.
- [13] IRENA, (2019)“Renewable Power Generation Costs in 2018”, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ISBN 978-92-9260-126-3.