

Sıfır Emisyonlu Bir Ada İçin Enerji Üretim Analizi, İstanbul Adalar İlçesi

Yunus URALTAŞ *, Zehra YUMURTACI**†

*Enerji Bölümü, Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Mühendisliği Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ), Yıldız, Beşiktaş, İstanbul 34349, Türkiye

**Enerji Bölümü, Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Mühendisliği Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ), Yıldız, Beşiktaş, İstanbul 34349, Türkiye

(yunusuraltas@hotmail.com, zyumur@yildiz.edu.tr)

Alındı: xx.xx.xxxx Kabul Edildi: xx.xx.xxxx

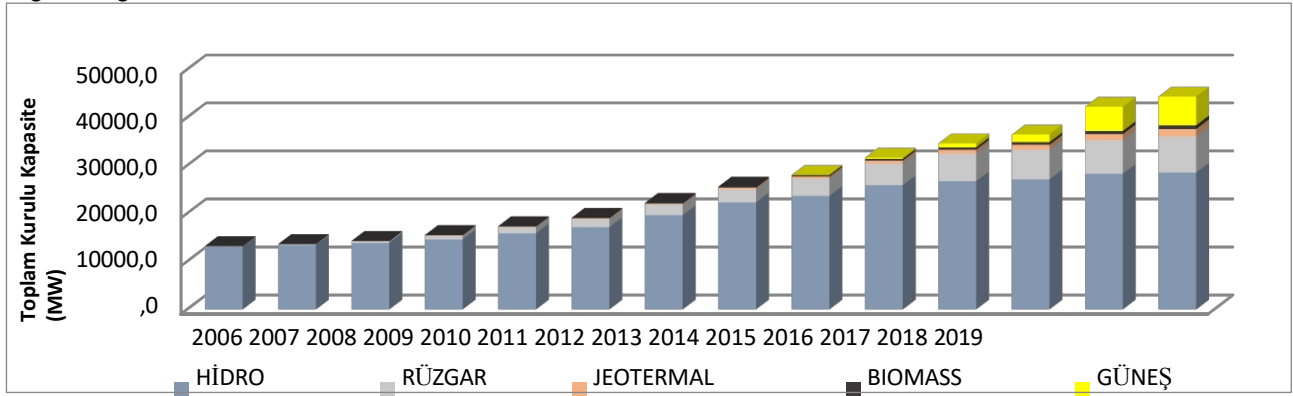
Özet- Bu çalışmada rüzgar, güneş, biyogaz kaynakları ve enerji depolama yöntemleri kullanılarak şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız iki senaryoda adanın enerji ihtiyacı analiz edilmiştir. Bu kapsamda Adalar ilçesinin 2019 yılı elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri ilgili kurumlardan temin edilmiştir. Adalar şamandıra istasyonundan 2017-2019 yılları arasında 5,74 m/s rüzgar ölçüm değerleri elde edilmiştir. 1983- 2005 yılları arasında ortalama güneş radyasyonu değerleri 4,02 kWh/m²/gün olarak belirlenmiştir. Biyogaza dönüştürülebilecek atık miktarı 24,90 ton/gün olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda Demokrasi ve Özgürlük Adası açıklarında yapılan mikro konumlandırma çalışması ile offshore rüzgar enerji santrali kapasitesi 124,2 MW olarak belirlenmiştir. Adadaki evlerin çatısına uygulanabilecek güneş paneli kapasitesi ise 64,9 MW olarak hesaplanmıştır. Şebekeden bağımsız sistemde Li-Ion depolama kapasitesi ise 2,373 MW olarak belirlenmiştir. Homer programı ile yapılan analizler sonucunda Ada'nın enerji ihtiyacı %100 olarak kendi kaynaklarından sağlanabilmekte olup, bu durum ile sıfır emisyon üreten Ada modeli oluşturulmuştur. Sıfır emisyonlu Ada senaryosuna göre seviyelendirilmiş enerji maliyeti 0,886 \$/kWh olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler Emisyon, Yenilenebilir Enerji, Homer, Ada

1. Giriş

Dünyada 177 ülke tarafından imzalanan Paris İklim Anlaşması ile 2038 yılına kadar küresel karbon emisyon değerlerinin düşürülmesi planlanmaktadır[1]. Bu kapsamda küresel ısınmadaki artışın 1,5 °C ile sınırlandırılması öngörülmekte olup, AB ülkeleri 2050 yılına kadar sıfır emisyon hedefi belirlemiştir[2]. Mevcut hedefe ulaşabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına önem verilmelidir. Şekil 1, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım dağılımını göstermektedir.

Temiz hava kalitesi sorunu özellikle büyükşehirlerde (İstanbul, Ankara ve İzmir) ortaya çıkmaktadır. İstanbul'da günlük ölçülen PM (Partikül Miktarı) sayısı çok yüksek değerlere ulaşmış olup, karbon emisyon değerleri de yüksek değerlerdedir. Bunların temel nedeni sanayi tesislerinde fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan atık gazlar, diğer nedeni ise araçlardan ve konutlardan çıkan atık gazlardır[5] Son 15 yılda yenilenebilir enerji kurulu kapasitesi neredeyse üç katına çıkmıştır[3].



Şekil 1. Kurulu Güç Açısından Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması, küresel emisyon azaltım hedefine de katkıda bulunacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı aynı zamanda çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji sistemidir[4].

Temiz hava kalitesi sorunu özellikle büyükşehirlerde (İstanbul, Ankara ve İzmir) ortaya çıkmaktadır. İstanbul'da günlük ölçülen PM (Partikül Miktarı) sayısı çok yüksek değerlere ulaşmış olup, karbon emisyon değerleri de yüksek değerlerdedir. Bunların temel nedeni sanayi tesislerinde fosil yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan atık gazlar, diğer nedeni ise araçlardan ve konutlardan çıkan atık gazlardır[5].

Bu bağlamda literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. 2019 yılında Ioannis Kougias ve meslektaşları Rodos, Midilli, Sakız, Karpathos, Patmos adalarının şebeke elektrik bağlantısına sahip olmadığını tespit etmiştir. Bu adalar elektrik ihtiyaçlarının büyük bölümünü fosil yakıtlardan sağlıyor. Çalışmalarında Harmony Search Algoritması ile adaların 2016-2036 yılları arasındaki elektrik ihtiyaçlarını belirlemişlerdir. Adaların her birini kendi içinde değerlendirerek rüzgâr, güneş ve depolama seçeneklerini incelemişler ve en uygun enerji kaynağının rüzgâr olduğunu tespit etmişlerdir[6].

AA. Chen ve arkadaşları 2020 yılında, elektrik şebekesinden izole olan Jamaika'daki yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırmıştır. Jamaika enerji ihtiyacının büyük bir kısmını fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Jamaika için en uygun enerji seçeneğinin Li-Ion teknolojisi ile çalışan Batarya Enerji Depolama Sistemi olduğunu tespit etmişlerdir[7].

A. Çolak, 2019 yılındaki çalışmasında Gökçeada ve Gaziköy için bir offshore rüzgar çiftliği tasarladı. Meteoroloji gözlem istasyonundan elde ettiği verilere göre VESTAS V116-2.0 MWIEC IIB rüzgar türbininin bölge için en uygun türbin olduğunu tespit etti. Yaptığı çalışma sonucunda Gökçeada'nın açık deniz rüzgar çiftliği için uygun olduğunu tespit etmiştir[8].

M. Alves ve arkadaşları 2020 yılında Portekiz'in Pico ve Fail adalarında şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji üretim olanaklarını araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, 2050 yılında şebekeye bağlı sistemin %6,5 daha maliyetli olduğunu tespit etmişlerdir[9].

H. Mehrjerdi, 2020 yılında izole bir adanın temiz su ihtiyacını ve adanın elektrik ihtiyacını PV panel, Rüzgar Türbini, Dizel kullanan hibrit bir sistemle karşılamayı önerdi.

jeneratör ve batarya depolama sistemi. Yaptıkları çalışmada Adanın içme suyu ihtiyacını karşılayacağı düşünülen damıtma ünitesi aracılığıyla[10].

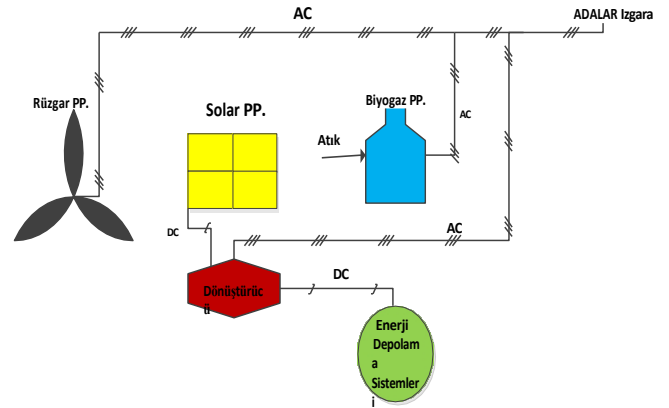
Literatürde İstanbul'un Adalar İlçesi'nde kapsamlı bir enerji analizi ve modelleme çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışmada bu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma, daha önceki çalışmalarının bir devamı olarak planlanmıştır.

Daha önce yayınlanan "Adalar kara ve deniz rüzgar enerjisi santrali (RES) mikro konumlandırma çalışması ve enerji üretim analizi"[11].

Homer mikro şebekelerde karar verme konusunda küresel standart olan uluslararası bir markadır ve

dağıtılmış enerji kaynağı (DER) alanı. Homer programı kullanılarak İstanbul'un Adalar ilçesinin enerji ihtiyacının sıfır emisyonlu bir şekilde karşılanmasına yönelik modellemeler ve analizler gerçekleştirilmiştir. Enerji üretim analizi için adanın rüzgar, güneş ve biyokütle kaynakları değerlendirilmiştir. Depolama yöntemleri olarak pompaj depolamalı hidroelektrik santrali ve Li-Ion tipi depolama yöntemi üzerinde durulmuştur. Ayrıca şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız iki senaryo üzerinde çalışılmış ve bunlar üzerinden enerji üretim ve maliyet analizleri yapılmıştır. Çalışmanın genel olarak şeması Şekil 2'de gösterilmiştir. Şebekeden satın alınan elektriğin fiyatı 0,112 \$/kWh, şebekeye satılan elektriğin fiyatı ise 0,049 \$/kWh olarak varsayılmıştır.



Şekil 2. Hibrit Güç Üretim Sistemi Şeması

2. Teori

Rüzgar çiftliği enerji üretim analizi ve modellemesi aşağıdaki ilkelere göre yapılmıştır. Burada, P güç (watt cinsinden), A= pervane tarafından süpürülen alan ($A=\pi r^2$, r pervane yarıçapı) ve V (m/s) rüzgar hızıdır. (Burada $\rho=1,225$ kg/m³ deniz seviyesindeki havanın yoğunluğudur. Teori

$$P = \frac{1}{2} \rho \times A \times V^3 \quad (1)$$

Türbin gövdesine gelen rüzgarın hesaplanmasında Denklem 2 kullanılır.

$$\frac{U_{hub}}{U_{anem}} = \frac{\ln \left(\frac{Z_{hub}}{Z_{anem}} \right)}{\ln \left(\frac{Z_{hub}}{Z_0} \right)} \quad (2)$$

U_{hub} = Türbin gövde yüksekliğindeki rüzgar hızı [m/s], U_{anem} = Ananometre yüksekliğindeki rüzgar hızı [m/s], Z_{hub} = türbin gövde yüksekliği [m], Z_{anem} = ananometre yüksekliği [m], Z_0 = yüzey pürüzlülük uzunluğu [m]

Weibull dağılım fonksiyonu denklem 3'e göre hesaplanır.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (3)$$

v = rüzgar hızı[m/s], k = Weibull şekil faktörü, c = Weibull ölçeği[m/s]

Uyanma etkisi denklem 4'e göre hesaplanır.

$$\delta V = (1 - \sqrt{(1 - CT)}) / (1 + (\frac{2kx}{D})^2) \quad (4)$$

CT= itme kuvveti (-), $k = \frac{A}{\ln(\frac{R}{r_0})}$ (Zayıflama Faktörü) A= 0,5 h =

gövde yüksekliği (m) r_0 = sürtünme yüksekliği (m) x= türbinler arasındaki mesafe (m)

RES ve Biyogaz enerji santrali yıllık kapasite faktörü (CF) denklem 5'e göre hesaplanır;

$$CF = \frac{\text{SANTRAL GÜÇ ÜRETİMİ (}_{yıl})}{\text{SANTRAL KAPASİTESİ (MWh)} \times 8760} \quad (5)$$

Güneş enerjisi santrali kapasite analizi ve modellemesi aşağıdaki ilkelere göre yapılmıştır.

Bina başına ortalama taban alanı (A.F.A) hesaplanmıştır denklem 6'ya göre. TAKS'ın 0,21 olduğu varsayılmıştır

$$A.F.A = \frac{\text{Residential Area}}{\text{Number Of Buildings}} \times TAKS \quad (6)$$

GES sistemi çatı alanı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır

Denklem 7. Ç.F= Çıkış faktörü %17 olarak alınmıştır. K.A.F=Kullanılabilir alan faktörü %70 olarak alınmıştır.

$$\text{Güneş Sistemi Çatı Alanı} = [A.F.A + (A.F.A \times \text{Ç. F})] \times \text{Suitable Buildings} \times U.A.F \quad (7)$$

Toplam PV sayısı denklem 8'e göre hesaplanmıştır.

$$PV \text{ Sayısı} = \frac{\text{Solar System Roof Area (M2)}}{PV \text{ AREA (M2)}} \quad (8)$$

GES'in kurulu gücü denklem 9'a göre hesaplanır.

$$\text{GES'in kurulu gücü} = FV \text{ Sayısı} \times \text{Panel Gücü (kW)} \quad (9)$$

Güneş paneli verimliliği ve güç hesaplaması denklem 10'a göre hesaplanır.

P_{max} =Maksimum güç çıkışı (W), E=Olay radyasyon akısı (W/m^2), Ac=Kolektörün alanı

$$\eta (\%) = \frac{P_{max}}{E \times A_c} \times 100 \quad (10)$$

Güneş enerjisi sisteminin yıllık enerji üretim değeri denklem 11'e göre hesaplanmıştır.

E=Enerji (kWh), η =Güneş paneli verimliliği (%), A=Toplam Güneş Paneli Alanı (m^2), H= Eğik paneller üzerindeki yıllık ortalama güneş radyasyonu ($kWh/m^2/yıl$) DF=Kayıplar için Sapma Faktörü katsayısı (0,5 ile 0,9 arasında, varsayılan değer = 0,85)

$$E = A \times \eta \times H \times DF \quad (11)$$

Biyogaz tesisinin elektriksel verimliliği denklem 12'ye göre hesaplanmıştır. LHV= Düşük Isıtma Değerli Biyogaz (5,5 MJ/kg), Yakıt tüketimi (ton/yıl)

$$\eta (\%) = \frac{\text{Electrical Production (kWh)}}{\text{LHV} \times \text{Yakıt Tüketimi}} \quad (12)$$

Pompaj depolamalı hidroelektrik santral kapasite hesabı denklem (13,14)'e göre hesaplanır. Deşarj süresi (h) 12 saat olarak varsayılmıştır. F=Deşarj akış hızı (m^3/s), ρ = deniz suyunun yoğunluğu ($1025 kg/m^3$), h = Kafa yukarıdan aşağıya yükseklik (m), η = Pompa verimliliği (%90)

$$F = \frac{\text{Reservoir Alanı (m}^2\text{)}}{h \times 60 \times 60} \quad (13)$$

$$P(kW) = \frac{9,81 \times \rho \times h \times head \times \eta \times F}{1000} \quad (14)$$

Ekonomik model olarak aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$i = \frac{\text{Kurulum Maliyeti} + \text{İşletme ve Bakım Maliyeti (Yıl} \times \text{Proje Ömrü)}}{\text{Santral Net Elektrik Üretimi (}_{yıl}) \times \text{Proje Ömrü (Yıl)}} \quad (15)$$

Gerçek iskonto oranı "i" olarak tanımlanır, ii= nominal iskonto oranı (%6), f = beklenen enflasyon oranı (%0)

$$CRF(i, N) = \frac{i \times (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (16)$$

CNPC = Net bugünkü değer (\$)

$$CNP C = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (17)$$

R_t = Net nakit akışı (\$/Yıl), t= zaman dilimi sayısı, CRF= Sermaye geri kazanım faktörü, N = yıl sayısı,

$$C_{ann, tot} = CRF \times (i, R_{proj}) \times CNPC_{tot} \quad (18)$$

$C_{ann, tot}$ = Toplam yıllık maliyet, toplam net cari maliyetin yıllık değeridir. (\$/yıl), R_{proj} = Proje ömrü (25 yıl)

$$COE(\text{enerji maliyeti}) = \frac{C_{ann, tot} (\$)}{E_{served} (\frac{kWh}{year})} \quad (19)$$

Şebeke İşletme ve Bakım maliyeti, şebekeden elektrik satın almanın yıllık maliyetinden (enerji maliyeti artı talep maliyeti) şebekeye elektrik satışından elde edilen gelirin çıkarılmasına eşittir. Şebekeden satın alınan elektriğin fiyatı şu şekilde varsayılır 0,112 \$/kWh ve şebekeye satılan elektriğin fiyatı 0,049 \$/kWh.

$$C_{\text{şebekesi İşletme ve Bakım}} = C_{\text{Energy Purchased}} - C_{\text{Energy Sold}} \quad (20)$$

Sistem tarafından üretilen faydalı elektrik enerjisinin kWh başına ortalama maliyeti olarak seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE). (\$ / kWh), E_{served} = Toplam elektrik yükü ($kWh/Yıl$)

$$İşbirliği = C_{ann, tot} - C_{ann, sermaye} \quad (21)$$

$$C_{ann, sermaye} (\$/Yıl) = C_{ann, tot} \times CRF \quad (22)$$

$$f_{\text{yenilenebilir}} = 1 - \frac{E_{\text{nonrenewable}}(\text{kWh})}{E_{\text{served}}(\text{kWh})} \quad (23)$$

$f_{\text{yenilenebilir}}$ Yenilenebilir enerjinin toplam enerji üretimi içindeki oranıdır.

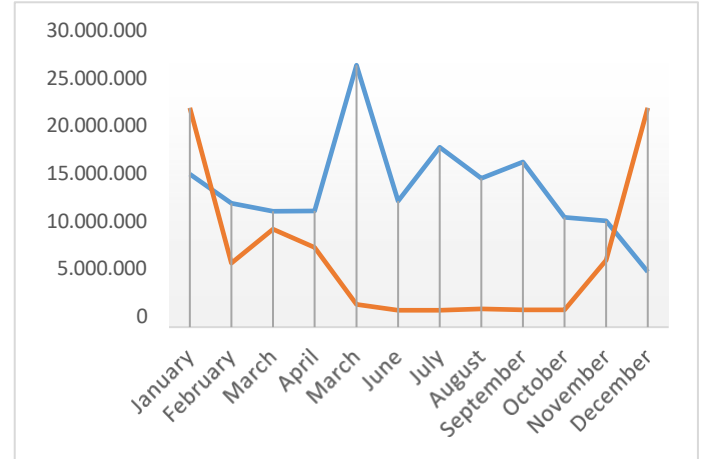
$$E_{\text{nonren}} = E_{\text{produce}} - E_{\text{renewable}} \quad (24)$$

Tablo 1'de görüldüğü üzere 2019 yılında Adalar ilçesinin toplam elektrik tüketimi 171 MWH olmuştur[12]. Adalar ilçesi 5 mahalleden oluşmaktadır. Maden ve Nizam mahalleleri Büyükkada'da yer almakta, bunların dışında Heybeliada, Kınalıada ve Burgazada mahalleleri bulunmaktadır. 2019 nüfus sayımına göre Ada'da 15.238 vatandaş yaşamaktadır. Ancak bahar aylarında nüfus 140.000 kişiye kadar çıkmaktadır. İklimi ılıman olan adanın büyük bir bölümü ormanlık alan olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1. Adalar İlçesinde 2019 Yılı Mahalle Bazında Toplam Elektrik Tüketimi

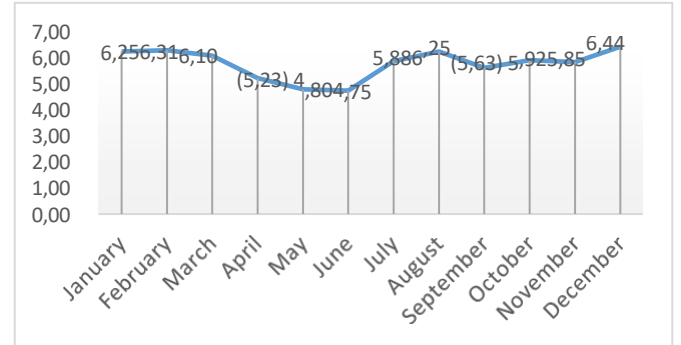
Yıl	Şehir	Bölge	Yıllık Toplam Elektrik Tüketimi (kWh/yıl)
2019	Adalar	Maden Mah,	48.618.492
2019	Adalar	Heybeliada Mah,	47.753.914
2019	Adalar	Nizam Mah,	38.962.163
2019	Adalar	Kınalıada Mah,	19.739.332
2019	Adalar	Burgazada Mah,	16.022.769
2019	Adalar	Tüm Şehir	171.096.670

Şekil 3, elektrik ve doğal gaz tüketiminin aylara göre dağılımını göstermektedir. Elektrik tüketimi bahar aylarında önemli ölçüde artmıştır. Doğal gaz tüketimi ise kış aylarında zirve yapmıştır.



Şekil 3. Adalar İlçesi Adalar İlçesi 2019 Yılı Aylık Bazda Toplam Elektrik Tüketimi ve Doğal Gaz Yükü

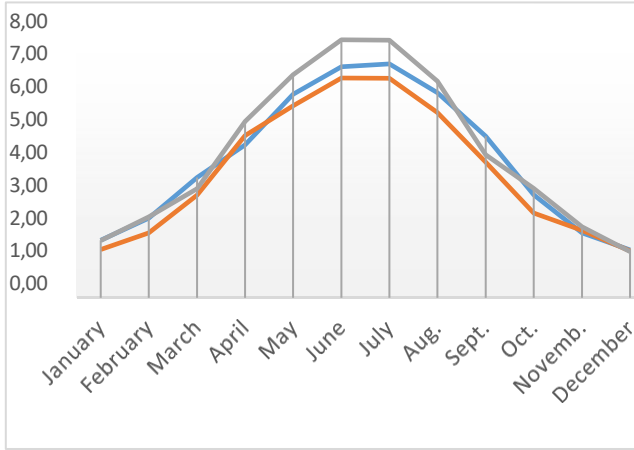
Şekil 4, Adalar şamandıra meteoroloji gözlem istasyonundan (h:2 m) alınan 2017-2019 yılları arasındaki aylık ortalama rüzgar hızı dağılımını göstermektedir. Ortalama rüzgar hızı 5,72 m/s olarak ölçülmüştür[13]. Rüzgar hızı bahar aylarında düşüş eğilimine girerken diğer aylarda değişken olmayan bir seyir izlemektedir.



Şekil 4. Adalar Şamandırası Adalar Şamandırası Gözlem İstasyonu Rüzgar Değerleri (m/s)

Şekil 5, üç farklı veri setinin ortalama güneşlenme değerlerini göstermektedir. NASA'nın veri seti 1983-2005 yılları arasındaki ortalama güneşlenme değerlerini göstermektedir. Meteororm verileri ise 2004-2010 yılları arasındaki ortalama güneşlenme değerlerini göstermektedir.

Mevcut PVGIS verileri, Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi'nden (JRC) alınan en son verilerin yeniden değerlendirilmesine dayalı olarak TMY (Tipik Meteorolojik Yıl) olarak tanımlanmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi değerler benzerdir. Bu çalışmada 22 yıllık bir süre boyunca yapılan ölçümlerden elde edilen Nas anı verileri kullanılmıştır. Ölçüm periyodunun uzun olması ve 3 ölçümün ortalamasının alınması bu verilerin kullanılmasında etkili olmuştur. Bu doğrultuda Adalar için ortalama güneş radyasyonu değeri 4,02 kWh/m²/gün olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5. Adalar Küresel Adalar Küresel Horizontal İrradasyon Değeri

Adalar İlçesinin Bina Yapı Durumu tablo 2'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere binalar yığma, ahşap, betonarme ve prefabrik yapılardan oluşmaktadır. Toplamda 6.393 adet bina bulunmaktadır. Bu yapılar içerik olarak sadece konutları kapsamaktadır. Herhangi bir ek özelliği olan binalar (cami, okul, sosyal yapı, tarihi eser vb.) hariç tutulmuştur[14].

Tablo 2. Adalar İlçesi Adalar İlçesi Bina Yapı Durumu [14]

İnşaat Yapısı	Bina Sayısı
Masonry	2.269
Ahşap	1.209
Beton	2.908
Prefabrik	7
Toplam	6.393

Binalar yapım yılları açısından incelendiğinde 1980 öncesi 3.584, 1980 sonrası 1.741 bina bulunmaktadır.

1980 ve 2000 yılları arasında, 1.068 bina ise 2000 yılından sonra inşa edilmiştir. Görüleceği üzere bu yapıların büyük çoğunluğu 2000 yılından önce inşa edilmiştir. İBB tarafından yapılan çalışmada olası bir 7,5 MW'lık depremde bu yapılardan 3.050'sinin ağır, çok ağır veya orta derecede hasar göreceği varsayılmıştır. Güneş paneli sistemlerinin sağlam ve uzun ömürlü yapılara uygulanması önerilmektedir. Bu doğrultuda üzerine güneş paneli inşa edilebilecek uygun bina sayısı 3.343 olarak hesaplanmıştır.

2010 yılında konut alanlarının arazi içindeki payı 332 hektar, Adalar ilçesinin ortalama taban alanı katsayısı ise 0,21'dir.[15] 2010 yılında Adalar'da toplam 5.796 konut bulunmaktadır. Denklem 6 kullanılarak ortalama taban alanı değeri 120 m²olarak hesaplanmıştır.

Adalar ilçesinin çatı alanı değerinin bina taban alanına oranla yüzde 17 arttığı varsayılmaktadır. Güneş paneli sisteminin çatı alanına kurulumu düşünüldüğünde, çatıda baca sistemleri, anten vb. güneş paneli sistemini engelleyen parametrelerin varlığı da göz önünde bulundurularak toplam çatı alanının %70'inin aktif olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Denklem 7 kullanılarak GES sistemi çatı alanı 334,634 m²olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4 biyometanizasyon için uygun atık miktarını göstermektedir. Evsel atık miktarı 3.388 ton/yıl, hayvansal atık miktarı ise 5.700 ton/yıl olarak belirlenmiştir. Bu atıkların enerji eşdeğeri, evsel atıklar ve hayvansal atıklar için 139,6 TEP (ton eşdeğer petrol)/yıl olarak hesaplanmıştır. [16]

Tablo 4. Adalar İlçesi Adalar İlçesi Biyogaza dönüştürülebilecek atık miktarı [16]

Atık türü	Nicelik	Atık Miktarı (ton/yıl)	Enerji Değeri (TEP/Yıl)
Evsel Atık	15.238	3.388	109,3
At	1.033	5.655	30,3
Eşek	5	13,7	0
Sığır	30	2,73	0
Keçi	21	15,4	0
Koyun	14	15,3	0

3. Sonuçlar ve Tartışma

Açık deniz rüzgar çiftliği mikro konumlandırma ve enerji üretim analizi çalışmasında 36 türbin kurulmuştur. Türbin tipi olarak 3,45 MW kapasiteli VESTAS V136 türbininin en uygun türbin olduğu sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda 36 adet türbin Şekil 6'ya göre yerleştirilmiştir. Yıllık elektrik üretim miktarı denklem (1.4) kullanılarak 445 GWh/y olarak hesaplanmıştır[11].



Şekil 6. Açık Deniz Rüzgar Enerji Santrali Açık Deniz Rüzgar Enerji Santrali Yerleşimi

3 tip güneş paneline ait veriler Tablo 4'te verilmiş olup, bakıldığında 3 tip panel için kurulu güç değerleri denklem 9 kullanılarak hesaplanmıştır. Görüleceği üzere kurulu güç değerlerinde önemli bir farklılık tespit edilmemiştir. Bu çalışmada biraz daha fazla güç üretim kapasitesine sahip olan LG330 tipi güneş paneli tercih edilmiştir.

Kapasite (MW)	0,5	20	240
Yakıt Fiyatı (\$/kg)	Ücretsiz	0,1	0,1
Minimum Yük Oranı (%)	50	50	50
Kapasite Faktörü	24	2,39	2,19
Ortalama Elektrik Verimliliği	31,2	10,1	38,2
Kullanım Ömrü (h)	20.000	20.000	20.000

Tablo 6 iki tip depolama sisteminin karşılaştırmasını göstermektedir. Li-ion tipi depolamanın daha yüksek depolama kapasitesine ve daha hızlı tepki süresine sahip olduğu görülmektedir. Li-Ion tipi depolama teknolojisinin daha uzun ömürlü olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada depolama teknolojisi olarak Li-Ion tipi depolama türü tercih edilmiştir.

Tablo 4. Güneş Paneli Çeşitleri Güneş Paneli Çeşitleri

Panel Tipi	CWT200	LG 330	CWT395
Panel Tipi	Çatı/Mono	Çatı /Mono	Çatı /Mono
Panel Gücü (kW)	0,2	0,33	0,395
Verimlilik (%)	19,65	19,30	19,78
Panel Alanı (m2)	1,07	1,7	2,1
Panel Sayısı	312.742	196.843	159.349
Güç Yükleme	62.548	64.958	62.943

Tablo 5'te biyogaz yakma cihazları 3 farklı durumda değerlendirilmiş ve denklem (5,12) kullanılarak kapasite faktörleri ve verimleri hesaplanmıştır. 20 MW ve 240 MW biyogaz yakıcıları için Ada'nın kendi atık miktarının yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Ada'nın kendi atık miktarına uygun olarak 500 kW biyogaz tesisinin çalıştığı tespit edilmiştir.

Tablo 5. Biyogaz Yakıcı Cihazların Biyogaz Brülör Cihazlarının Kapasite ve Verimlilik Analizi

Biyogaz Jeneratör Tipi	Jeneratör 1	Jeneratör 2	Jeneratör 3
Yakıt Kaynağı	İçland Atık	Biyogaz Satın Alma	Biyogaz Satın Alma

Tablo 6. Depolama Sistemlerinin Depolama Sistemlerinin Karşılaştırılması

Depolama Türü	Süre (saat)	Maks. Discha Güç (kW)	Min. Gürcis tan Eyaleti . (%)	Üretim (kWh)	Yaşam Süresi (Yıl)
Li-Ion 1 kW	0,33	3	20	3.000	15
Kurşun Asit 1 kW	3,40	0,292	40	800	10

Tablo 7'de enerji sistemlerinin kurulum maliyeti, değiştirme maliyeti ve yıllık bakım ve onarım maliyetleri gösterilmektedir. Bakıldığında, açık deniz rüzgar çiftliği diğer enerji sistemlerinden çok daha yüksek enerji kurulum maliyetlerine sahiptir. Çatı üstü güneş enerjisi santrali maliyetleri açık deniz rüzgar çiftliğinin yarısı kadardır. Bir biyogaz tesisinin maliyeti, bir güneş enerjisi tesisinin maliyetinin yarısı kadardır. Enerji depolama sistemleri olarak Li-Ion tipi depolamanın maliyeti 700 dolar, pompa depolamalı enerji santralinin enerji maliyeti ise \$1.000. Dönüştürücü maliyeti 300\$ civarında seyretmektedir.

Tablo 7. Enerji Maliyetleri Analizi Enerji Maliyetleri Analizi

Enerji Sistemle ri	İlk Maliyet (\$/kW)	Değiştirme. Maliyet (\$/kW)	İşletme ve Bakım (\$/yıl)	Yaşam Süresi (Yıl)
RES (Rüzgar Enerji Santrali)	1.995	0	4.957.768	25
GES (Güneş Enerjisi Santrali)	1.000	0	974.376	25
BPP (Biyogaz Enerji Santrali)	500	500	0,030(\$/opr.saats)	15.000 (hours)

Enerji Depolama (Li-İYON)	700	700	10.000	15
Enerji Depolama (PDH ES)	1.000	1.000	2.000	7
Dönüştürücü	300	300	0	15

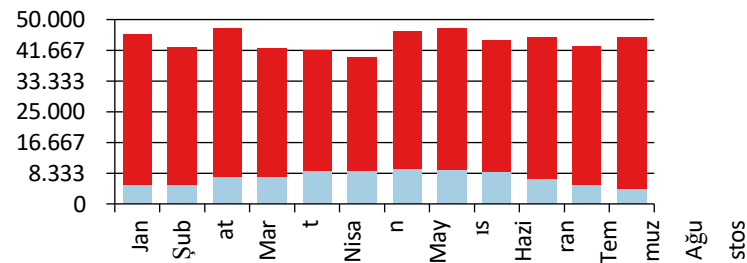
Tablo 8 üzerinde detaylı bir çalışma yapılarak adanın enerji ihtiyacının şebeke desteği olmadan da karşılanabileceği hesaplanmıştır. Şebeke destekli rüzgar ve güneş enerjisinin hibrit olarak kullanıldığı senaryoda, 0,0361 \$/kWh değerine düşürülen enerji maliyeti denklem (19) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem (19)

Tablo 8. Enerji Sistemlerinin Enerji Sistemlerinin Karşılaştırılması

Senaryo	Rüzgar (MW)	Güneş Enerjisi (MW)	Biyogaz (MW)	Dönüştürücü (MW)	Depolama LI(MW)	Depolama PDHES (MW)	Yenilenebilir Oran (%)	COE Maliyeti (\$/kWh)
Izgara Üzerinde	124,2	64,9		41,9			91,9	0,0361
	124,2	64,9		41,8		3,4	91,9	0,0362
	124,2						88,3	0,038
		64,9		42,9			29,6	0,0896
Off Grid	124,2		240	90		1.143	92,7	0,228
	124,2		240	104	175		82,1	0,248
	124,2	64,9	240	92		1.203	94,7	0,249
	124,2	64,9	240	105	152		85,2	0,252
		64,9	240	145	164		18,9	0,425
	124,2	64,9	20	144	1.045		98,4	0,496
	124,2	64,9	0,5	217	2.289		100	0,886
	124,2	64,9		170	2.373		100	0,906

Şekil 7, enerji depolama ile birlikte rüzgar, güneş ve biyogaz sisteminin yıllık enerji üretim miktarlarını göstermektedir. Toplam elektrik üretimi 41.500 MWh seviyesinde gerçekleşmektedir. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmı rüzgârdan karşılanmaktadır. Yaz aylarında güneşin payı nispeten artmaktadır. Biyogaz tesisi bu senaryoda 0,5 MW olduğundan pik talepleri karşılamaktadır.

yenilenebilir enerji oranı denklem (22) kullanılarak %91,9 olarak hesaplanmıştır. Şebekeden bağımsız senaryoya göre en ucuz enerji üretimi rüzgar, biyogaz ve PDHES (pompa depolamalı tesis) sistemlerinden oluşan hibrit sistem olarak bulunmuştur. Bu sistemde yenilenebilir enerji oranı 92,7 olarak hesaplanmıştır. Tek değere indirgenmiş enerji maliyeti 0,228 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Sıfır emisyonlu ada modellemesi kapsamında rüzgâr, güneş, biyogaz ve Li-Ion depolama ile hibrit bir sistemin birlikte kullanılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Ancak enerji maliyeti açısından en pahalı sistem olduğu da tespit edilmiştir.



Şekil 7. Li-Ion Depolamalı Rüzgar, Güneş ve Biyogaz Senaryosu Yıllık Enerji Üretimi

4. Sonuç

Bu çalışmada sıfır emisyonlu ada modellemesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda adanın 2019 yılı elektrik ve doğalgaz ihtiyacının rüzgar, güneş ve biyogaz kaynakları kullanılarak karşılanabileceği tespit edilmiştir. Bu senaryo için enerji maliyeti 0,886 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Günümüz koşullarında bu değer yüksektir.

Depolama kapasitesi yaklaşık 2.300 MW olarak hesaplanmıştır ki günümüz koşullarında bunun sağlanması mümkün görünmemektedir. Enerji depolama teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte bu durumun önümüzdeki yıllarda sorun olmaktan çıkacağı öngörülmektedir.

Tüm senaryolar sonunda adanın enerji ihtiyacının %90'ın üzerinde bir yenilenebilir enerji oranı ile karşılanabileceği tespit edilmiştir. Günümüz koşullarında en uygun ve uygulanabilir senaryonun şebeke destekli rüzgar, güneş hibrit sistemi olduğu görülmüştür.

Karbon emisyon değerlerinin artması küresel ısınmayı artırmaktadır ve bu değerlerin azaltılması için yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi devletler tarafından teşvik edilmelidir. Yenilenebilir enerji maliyetleri noktasında devletler yatırımcıları destekleyici politikalar geliştirmelidir.

- [7] A. A. Chen, Stephens, A. J. Koon, R. K.M Ashtine, K. M. K. Koon (2020). Küçük bir ada için %100 yenilenebilir enerji ile iklim değişikliğini azaltma ve istikrarlı enerjiye giden yollar: Bir örnek olarak Jamaika. *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 121, 109671.
- [8] A. Gülay, "Gaziköy ve Gökçeada'da potansiyel off-shore rüzgar çiftliği", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019
- [9] M. Alves, R. Segurado, & M.Costa, (2019). Güç sistemlerinin birbirine bağlanması yoluyla izole adalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının penetrasyonunun artırılması. Pico ve Faial adaları örneği, Azor Adaları. *Energy*, 182, 502-510.
- [10] H. Mehrjerdi, (2020). Hibrit bir güneş-rüzgar yenilenebilir sistemi ile çalışan bir ada su-enerji bağlantısının modellenmesi ve optimizasyonu. *Enerji*, 197, 117217
- [11] Y. Uraltaş, Z. Yumurtacı, (2021). Adalar İlçesinde Karada ve Karadan Uzakta Rüzgar Enerji Santrali (Wpp) Mikro Yerleşimi ve Enerji Üretiminin Analizi Üzerine Çalışma. *Uluslararası Yenilenebilir Enerji Araştırmaları Dergisi (IJRER)*, 11(2), 709-720
- [12] Ayedaş Prencess Adaları Elektrik Tüketim Raporu, 2019
- [13] Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2017-2019 Arası Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Raporu, Mart 2020
- [14] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 'İstanbul İli Adalar İlçesi Muhtemel Deprem Kayıp Tahminleri Raporu, Haziran 2020
- [15] Adalar İlçesi Şehir Planlama Raporu, Web 14 Eylül 2021, <https://sehirplanlama.ibb.istanbul/adalarilcesi/#kunya>
- [16] Adalar İlçesinde Biyometanizasyona Uygun Atık Miktarları, Web 14 Eylül 2021, <https://bepa.enerji.gov.tr/>

Referanslar

- [1] E. Karakaya, "Paris İklim Anlaşması: İçerik ve Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme" Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt:3, Sayı:1 ss. 1-12, 2016
- [2] Avrupa Birliği'nin uzun vadeli iklim değişikliği hedefleri Avrupa Birliği Türkiye Delegasyonu, ss. 1-4, 2016
- [3] Yenilenebilir enerji istatistikleri raporu, IRENA, s. 1-2, 2020
- [4] K. Saidi & A.Omri (2020). Yenilenebilir enerji tüketen 15 büyük ülkede yenilenebilir enerjinin karbon emisyonları ve ekonomik büyüme üzerindeki etkisi ülkeler. *Çevre araştırmaları*, 186, 109567
- [5] Vo, D. H., Vo, A. T., Ho, C. M., & H. M. Nguyen, (2020). CPTPP ülkelerinde karbon emisyonlarının azaltılmasında yenilenebilir enerji, alternatif ve nükleer enerjinin rolü. *Yenilenebilir Enerji*, 161, 278-292.
- [6] I. Kougias, S. Szabó, A. Nikitas, & N. Theodossiou, (2019). Birbirine bağlı olmayan Akdeniz adalarının sürdürülebilir enerji modellemesi. *Yenilenebilir Enerji*, 133, 930-940.

