

**Atf İçin:** Güçyetmez, M. (2023). Mikro ve Akıllı Şebekelere Geçiş Sürecinde Binaya Entegre Düşey Rüzgâr Türbini ve Güneş Hibrit Enerji Sistemi (DRTG-HES)'in İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 225-236.

**To Cite:** Güçyetmez, M. (2023). Investigation of Building Integrated Vertical Wind Turbine and Solar Hybrid Energy System (VWTS-HES) in Transition to Micro and Smart Grids. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1), 225-236.

## Mikro ve Akıllı Şebekelere Geçiş Sürecinde Binaya Entegre Düşey Rüzgâr Türbini ve Güneş Hibrit Enerji Sistemi (DRTG-HES)'in İncelenmesi

Mehmet GÜÇYETMEZ<sup>1\*</sup>

### **Öne Çıkanlar:**

- Düşey rüzgar türbini
- Mikro şebeke
- Akıllı şebeke

### **Anahtar Kelimeler:**

- Mikro-akıllı şebeke yapıları
- Düşey rüzgâr türbini
- Güneş enerjisi
- Binaya entegre düşey rüzgâr türbini-güneş hibrit enerji sistemi

### **ÖZET:**

Elektrik şebekesi, yeterli yatırımların yapılamaması, yaşlı alt yapı, hat kayıpları, düşük verimlilik ve enerji kalitesi sorunlarıyla karşı karşıyadır. Bu nedenle, birçok gelişmiş ülkede bir bölge içerisinde üretim, tüketim ve depolamanın yoğunlaştığı mikro ve akıllı şebeke yapılarına geçiş yapılmaya başlanmıştır. Bu süreçte, yerel enerji üretim kaynaklarının mikro-akıllı şebekelere entegre edilmesi enerji tedarikine yardımcı olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr ve güneş enerjisi yaygın ve uygulama potansiyeli yüksektir. Yerel uygulama açısından düşey rüzgâr türbinleri kule gerektirmezler, bakım maliyetleri düşüktür ve dümen sistemine ihtiyaç duymazlar. Güneş enerjisi ile hibrit sistem haline geldiğinde bu avantajlar artmaktadır. Özellikle tüketimin sürekli olduğu binalarda bu sistemlerin gelecekte belirli bir oranda olsa dahi enerji üretiminde çeşitliliğe katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, binaya entegre düşey rüzgâr türbini-güneş enerjisi hibrit enerji sistemleri (DRTG-HES) incelenmiş, elektrik yükünü karşılayabilecek en uygun yenilenebilir enerjili hibrit sistemi belirlemek için, HOMER PRO programı ile verilerin teknik ve ekonomik analizi yapılmış, bu doğrultuda önerilerde bulunulmuştur. Bu sonuçlara göre incelenen üç DRTG-HES içerisinde Aktürk DRTG-HES kurulununun 4 kişilik bir ailenin aylık ortalama elektrik tüketimi olan 7 kW güç için en düşük maliyetli ve en kısa amortisman süresine sahip DRTG-HES olduğu sonucuna varılmıştır. Günümüz koşullarında tüketicilerin güç sistemine üreten tüketici olarak katkıda bulunabilmeleri ve mikro-akıllı şebeke yapılarının gelişebilmesi için tüketicilerin bir araya gelerek binaya entegre DRTG-HES'lerine yönelebilecekleri ve bu şekilde elektrik enerjisinde üretim çeşitliliğine katkı sağlayabilecekleri görülmüştür.

## Investigation of Building Integrated Vertical Wind Turbine and Solar Hybrid Energy System (VWTS-HES) in Transition to Micro and Smart Grids

### **Highlights:**

- Vertical wind turbine
- Microgrid
- Smartgrid

### **Keywords:**

- Micro and smart grid structures
- Vertical wind turbine
- Solar energy
- Building-integrated vertical wind turbine solar hybrid energy system

### **ABSTRACT:**

The electricity grid is faced with the problems of insufficient investments, old infrastructure, line losses, low efficiency and energy quality. For this reason, many developed countries have begun to transition to micro and smart grid structures in which generation, consumption and storage are concentrated within a region. In this process, integrating local power generation resources into micro-smart grids will help energy supply. Among renewable energy sources, wind and solar energy are common and have a high application potential. In terms of local application, vertical wind turbines do not require towers, have low maintenance costs, and do not require a rudder system. These advantages increase when it becomes a hybrid system with solar energy. Especially in buildings where consumption is continuous, it is thought that these systems will contribute to the diversity in energy generation, even at a certain rate in the future. In this study, building integrated vertical wind turbine-solar hybrid energy systems (VWTS-HES) were examined, technical and economic analysis of the data was made with the HOMER PRO program in order to determine the most suitable renewable energy hybrid system to meet the electrical load, and suggestions were made in this direction. According to these results, it was concluded that Aktürk VWTS-HES installation is the VWTS-HES with the lowest cost and the shortest depreciation period for 7 kW power, which is the monthly average electricity consumption of a family of 4, among the three VWTS-HESs examined. In today's conditions, it has been seen that consumers can come together and turn to building-integrated VWTS-HESs so that consumers can contribute to the power system as producing consumers and micro-intelligent grid structures can develop, and VWTS-HES structures can contribute to the diversity of electrical energy generation.

<sup>1</sup> Mehmet GÜÇYETMEZ ([Orcid ID: 0000-0003-2191-8665](https://orcid.org/0000-0003-2191-8665)), Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mehmet GÜÇYETMEZ, e-mail: mehmetgcy@sivas.edu.tr

## GİRİŞ

Elektrik enerjisi tedarikinin sürdürülebilmesi için bireylerin de bu alanda yatırımcı olmaları gerçeği son yıllarda daha belirgin şekilde görülmeye başlanmıştır (Espe ve ark., 2018). Geleneksel elektrik şebekesi çevreci olmayan enerji kaynakları, enerjinin uzak mesafelerden taşınması nedeniyle oluşan kayıplar, ilk yatırım maliyeti ve sonrasında oluşan bakım maliyetleri, küresel ısınma nedeniyle daha fazla gerçekleşen elektrik kesintileri sorunları ile karşı karşıyadır. Bu sorunlar ancak yerinde üretim, tüketim ve depolama esasına dayanan şebeke yapıları ile aşılabılır. Bu yapılar elektrik tüketicilerinin artan yatırımları ile desteklediği mikro şebeke, algılayıcı ve haberleşme teknolojileri ile donatılmasıyla mümkündür. (Gharavi ve Ghafurian, 2011).

Mikro şebeke bir bölgenin bir pastanın dilimleri gibi parçalara bölündüğü her biri kendi içerisinde farklı üretim, tüketim ve depolama özelliklerine sahip bireylerin enerjiyi üreten tüketiciler şeklinde kullandığı modern bir elektrik şebekesi yapısıdır. Böyle bir altyapı içerisinde bireyler, üretmiş oldukları elektrik enerjisini ana tedarikçiye ya da diğer tüketicilere satabilir, onlardan enerji temin edebilir ve elde ettikleri gelirlerle de sistem içerisinde yeni yatırımlarda bulunabilirler (Hatziargyriou ve ark., 2007). Akıllı şebekeler ise mikro şebeke şeklinde tasarlanmış yapıların akıllı sensörler, akıllı sayaçlar gibi karar verme mekanizmasına sahip ekipmanlarla desteklenen ileri ölçüm yapısına sahip, çift yönlü veri iletimi ve haberleşme teknolojilerinin entegre edildiği modern elektrik şebekeleridir (Bayındır ve ark., 2016).

Geleneksel şebeke tarafından sağlanan birincil enerji kaynaklarına ilaveten sistemde bulunan ikincil dağıtık enerji üretim kaynakları ve mikro enerji kaynakları çok sayıda uygun yerleşim bölgesinde zamanla birincil enerji kaynaklarını destekleyici enerji kaynakları olacaklardır.

Mikro ve akıllı şebeke yapısında enerji üretim kaynakları birleşik ısı ve güç sistemleri şeklinde yerleşim yerine oldukça yakın konumlandırılırlar. Böylece enerji kayıplarının etkin bir şekilde önüne geçilmiş olur. Bu amaçla mikro-akıllı şebeke yapılarının etkin olabilmesi için yerel enerji üretim kaynaklarının geliştirilmesi ve çeşitlendirilmesi gerekmektedir.

Şehir merkezlerinde bulunan yerleşim yerleri; binalar, ofisler, eğitim merkezleri, endüstriyel alanlar şeklinde sınıflandırılabilir. Bu birimlerin her biri kendi karakteristiklerine sahiptir. Bunların arasında binalar elektrik enerjisinin yüksek oranda tüketildiği toplam enerji tüketiminde % 30'lar seviyesinde paya sahip yerleşimlerdir (Anonim, 2018).

Binalarda rüzgâr türbinlerinin kullanımı düşünce olarak yeni olmamasına karşın uygulamada henüz yaygınlaşmamıştır. Düşey eksenli rüzgâr yapıları ilk geliştirilen rüzgâr türbinleri olup MS 644 ve daha sonrasında çeşitli medeniyetler tarafından kullanılmışlardır (Şen, 2009). Kule ihtiyacı olmaması, rüzgâra göre yön değiştirmenin gerekmemesi, sessiz olması, düşük rüzgâr hızlarında üretim yapabilmesi ve bakım onarım ihtiyacının yok denecek kadar az olması sebebiyle yerleşimler için düşey rüzgâr türbinleri en uygun olan yapılardır (Şen, 2009). Güneş panelleri son yıllarda üretimin artması, panel maliyetlerinin düşmesi, yerli üreticilerin de panel üretimine başlamaları ile tedarik süresinin azalması gibi nedenlerle artık ülkemizde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin elektrik üretimindeki payı 2021 yılı ilk 9 ayı sonunda % 4.4'e kadar yükselmiştir (Anonim, 2021a).

Binalarda rüzgâr türbinlerinin kullanımı düşünce olarak yeni olmamasına karşın uygulamada henüz yaygınlaşmamıştır. Düşey eksenli rüzgâr yapıları ilk geliştirilen rüzgâr türbinleri olup MS 644 ve daha sonrasında çeşitli medeniyetler tarafından kullanılmışlardır (Şen, 2009). Kule ihtiyacı olmaması, rüzgâra göre yön değiştirmenin gerekmemesi, sessiz olması, düşük rüzgâr hızlarında üretim yapabilmesi ve bakım onarım ihtiyacının yok denecek kadar az olması sebebiyle yerleşimler için düşey rüzgâr türbinleri en uygun olan yapılardır (Şen, 2009). Güneş panelleri son yıllarda üretimin artması,

panel maliyetlerinin düşmesi, yerli üreticilerin de panel üretimine başlamaları ile tedarik süresinin azalması gibi nedenlerle artık ülkemizde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin elektrik üretimindeki payı 2021 yılı ilk 9 ayı sonunda % 4.4'e kadar yükselmiştir (Anonim, 2021a)

## MATERYAL VE METOT

Düşey eksenli rüzgâr türbinleri (DERT) esasen çok uzun zaman önce keşfedilmiş ve günlük yaşamda yel değirmenlerinde kullanılmaya başlanmıştır. DERT, rüzgârı her yönden kabul edebilme özelliğine sahiptir ve kanatçıklarına gelen rüzgârı mekanik harekete dönüştürür. Bu türbinlerin verimleri yaklaşık olarak %35'tir. Türbinlerin üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgâr hızlarında çalışmak zorunda kalırlar. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da beraberinde getirdiğinden, yüksek rüzgâr hızlarında verimsiz çalışır (Nurbay ve Çınar, 2005).

Düşey eksenli türbinlerin kule ve dümen masrafının yoktur. Mil parçası dışında diğer tüm parçaların bakım ve onarımı kolaydır. Düşey eksenli türbinlerde elde edilen enerjinin nakledilmesi daha kolaydır çünkü elde edilen güç toprak seviyesinde çıkar ve yerleşim yerlerine yakın kurulabildiklerinden yeni yüksek gerilim güç hattı gerektirmezler (Sert, 2019). Düşey eksenli türbinlerin yere yakın oldukları için alt noktalardaki rüzgâr hızlarının düşük olması, yatay eksenli türbinlere göre daha düşük verime sahip olmaları, ayakta durabilmesi için tellerle yere sabitlenmesi gerekliliği, türbin mili yataklarının değişmesi gerektiğinde, makinenin tamamının yere yatırılmasının gerekmesi (Şen, 2003) gibi bazı dezavantajları vardır. Bununla birlikte, anılan bu dezavantajlara karşın bina uygulamalarında yatay bir türbin, düşey bir türbinin hiçbir şekilde yerini alamamaktadır.

Rüzgâr enerjisinin kullanımı gittikçe artmasına rağmen rüzgâr türbinleri henüz insanların yaşam alanlarına entegre olmuş değildir. Bunun ana sebebi büyük enerji üretim kapasitelerine sahip rüzgâr türbinlerinin yüksek hızlarda rüzgâr hızına ihtiyaç duymaları ve şehir merkezlerinde de binalardan dolayı yeterli rüzgâr hızlarına ulaşamamasıdır. Bunun yanı sıra bu tarz büyük kapasiteli rüzgâr türbinlerinin gürültülü çalışmaları da insanları yaşam alanlarında olumsuz etkilemektedir. Yaşam alanlarındaki rüzgâr enerjisinden faydalanmak için bir veya birkaç dairenin faydalanabileceği küçük kapasitelerde rüzgâr türbinlerinin tasarlanması gerekmektedir. Bu tasarımlar için en uygun rüzgâr türbini tipleri ise düşey eksenli Darrieus ve Savonius rüzgâr türbinleridir (Ardıç, 2019). Bina tipi uygulamalara daha uygun olduğundan bu çalışmada Savonius tipinde rüzgâr türbinleri ele alınmıştır.

### Savonius Rüzgâr Türbini (SRT)

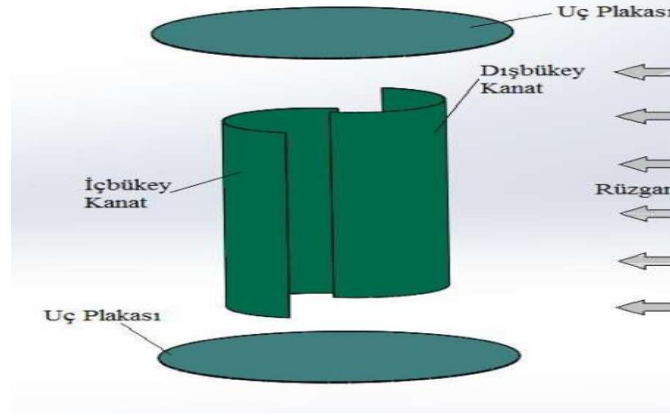
Düşey eksenli SRT'yi, ilk olarak 1925 tarihinde Sigur Savonius geliştirmiştir. Kanat yapısı S şeklinde iki yarım daireden oluşmaktadır. Rüzgârın sürüklenme etkisi ile hareket ettirilen türbin yapısı iç ve dış bükey kanat kısımlarında meydana gelen tork farkı ile çalışmaktadır. Mekanik güç miktarı torktaki farka bağlıdır. SRT'ler sac, kompozit gibi farklı malzemelerden imal edilebilir. Şekil 1'de bir SRT'nin katı modellenmesi görülmektedir (Sert, 2019).

SRT, aerodinamik verimlilik olarak Darrieus türbinleri ve yatay türbinlere göre daha düşük değerlere sahip olsa da imalatı kolay ve ucuz maliyetlidir. Rüzgarın az olduğu durumlarda kolay kalkınır ve çeşitli yönlerden gelen rüzgarla ilk hareket desteğine gerek kalmaksızın çalışabilir.

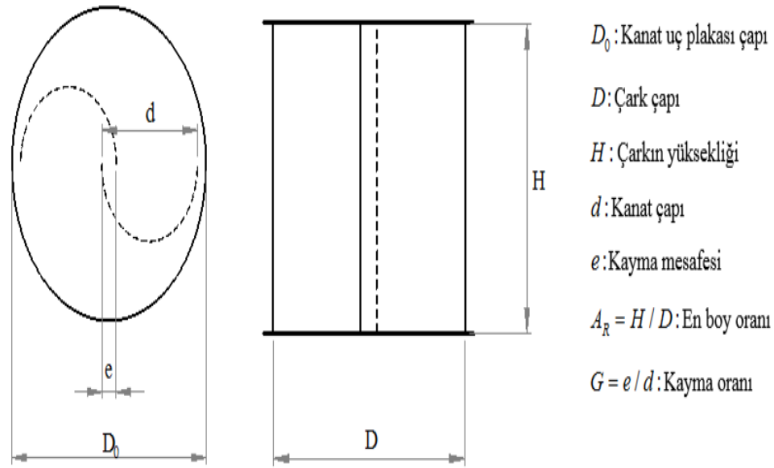
Sırasıyla  $C_p$  ve  $C_t$  güç ve tork katsayıları Savonius türbinlerinin verimliliğinde kullanılan temel parametrelerdir. Bunun dışında Şekil 2'de verilen geometrik parametreler türbin tasarımında kullanılmaktadır (Sert, 2019).

Savonius türbinleri bazı generatörlerin ilk tahrik elemanı, havuzlarda su hareketlendirilmesi, çeşitli tarım uygulamalarında yaygın bir kullanımı bulunmaktadır. Teknolojik ilerlemeler sayesinde

artık günümüzde elektrik üretiminde de kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Dairelerin enerji gereksinimleri bu türbinlerle belirli seviyede karşılanabilir (Abraham ve ark., 2012). Şekil 3 (a) ve (b)'de Savonius rotorunun sokak lambası uygulamaları gösterilmiştir (Sert, 2019).



Şekil 1. İki kanatlı Savonius rüzgâr türbini (Sert, 2019)



Şekil 2. Savonius çarkının geometrik özellikleri (Sert, 2019)



Şekil 3. (a) Savonius rotoru ile çalışan sokak lambası, (b) Sokak lambaları için elektrik üreten mikro Savonius türbini çizimi (Sert, 2019)

SRT performans değerlerini yükseltmek amacıyla gerek kanat yapısını değiştirerek gerekse farklı perde sistemleri kullanarak çalışmalar yapılmıştır. Colmenero ve ark., SRT'yi modifiye ederek incelemişler ve 45° burulma açısında güç katsayısının, 0° burulma açısına göre kıyasla %32 daha fazla olduğunu bulmuşlardır (Mercado-Colmenero ve ark., 2018). Şekil 4'te klasik SRT'nin rotor yapısı ve burulma açılarında göre modifiye edilmiş Savonius rotoru görülmektedir.



Şekil 4. Klasik Savonius rotoru ve 0°, 22.5°, 45° burulma açılarında modifiye edilmiş Savonius türbinleri (Mercado-Colmenero ve ark., 2018)

Elektrik üretimi tek bir kaynaktan yapılabileceği gibi birden fazla kaynağın aynı sistemde bulunduğu hibrit sistemler ile de yapılabilmektedir. Bu sistemler, özellikle başta yaz ve kış olmak üzere farklı mevsimlerde sürekli enerji temini istenen sistemler için son derece uygundur.

Yaz ve kış aylarının güneşlenme ve rüzgar hız değerleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu nedenle, enerji verimi de aylara göre değişkenlik göstermektedir. Rüzgar hızının yeterli olmadığı günler için güneş enerjisi destekleyici bir kaynaktır. Bu şekilde sürekli enerji üretimi sağlanmış olacaktır.

#### Düşey rüzgâr türbini ve güneş hibrit enerji sistemi (DRTG-HES) maliyet hesabı

Bu çalışmada, Kırşehir sınırları içinde belirlenmiş yakınlarında bina ve toplu bahçelerin bulunduğu bir konum için bir dairenin tüm elektrik ihtiyacını karşılayacak olan, şebekeye bağlı ya da bağımsız olarak çalışabilen bir DRTG-HES için maliyet analizi yapılmıştır.

Elektrik Mühendisleri Odasının (EMO) verilerine göre 4 kişilik bir ailenin aylık ortalama elektrik tüketimi 230 kWh olarak belirtilmiştir (Anonim, 2021b). Bu verilere göre günlük elektrik tüketimi 7 kW civarında olmaktadır. Isıtma soğutma su hidroforu kullanması gibi giderleri de hesap ederek aylık 300 kWh civarlarında olduğu düşünülmüştür. Bu tüketime göre kurulması gereken DRTG-HES araştırılmıştır.

Kırşehir de sistem kurulurken elektrik yükünü karşılayabilecek en uygun yenilenebilir enerjili DRTG-HES belirlemek için, HOMER PRO (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) programı kullanılmıştır (Anonim, 2022a). HOMER PRO programı NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilmiş olup, NASA verilerini kullanarak seçilen bölgenin aylık, yıllık güneşlenme oranını ve rüzgâr hızı haritasını kullanarak DRTG-HES tasarlanmasını sağlamaktadır.

DRTG-HES bulunduğu alan Şekil 5'te görüldüğü gibi Kırşehir şehir merkezi sınırları mücavir alanı içerisinde Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi çevresinde 2 ve daha yüksek katlı yapıların olduğu bir bölgede bulunmaktadır. Benzer şekilde bölgede müstakil ya da apartman şeklinde çok sayıda yapı bulunmaktadır. Çalışma yapılan konum ve Kırşehir'in merkez çevresindeki birçok nokta için rüzgâr hızını olumsuz etkileyecek bir etken bulunmamaktadır. Ayrıca, DRTG-HES'in bina üzerine konumlanacak olması da avantaj sağlamaktadır.



Şekil 5. Çalışmada hesaplaması yapılan DRTG-HES konumu

Belirli bir bölge için güneş enerji üretimi yatırımı o bölgenin meteorolojik verileri temel alınarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmadaki güneş enerjisine ait veriler HOMER PRO programında ek olarak bulunan NASA veri tabanından temin edilmiştir (Anonim, 2022b). Temmuz 1983-Temmuz 2005 dönemine ait toplam 22 yıllık ölçüm verilerinin ortalaması hesaplanarak ilgili veriler elde edilmiştir.

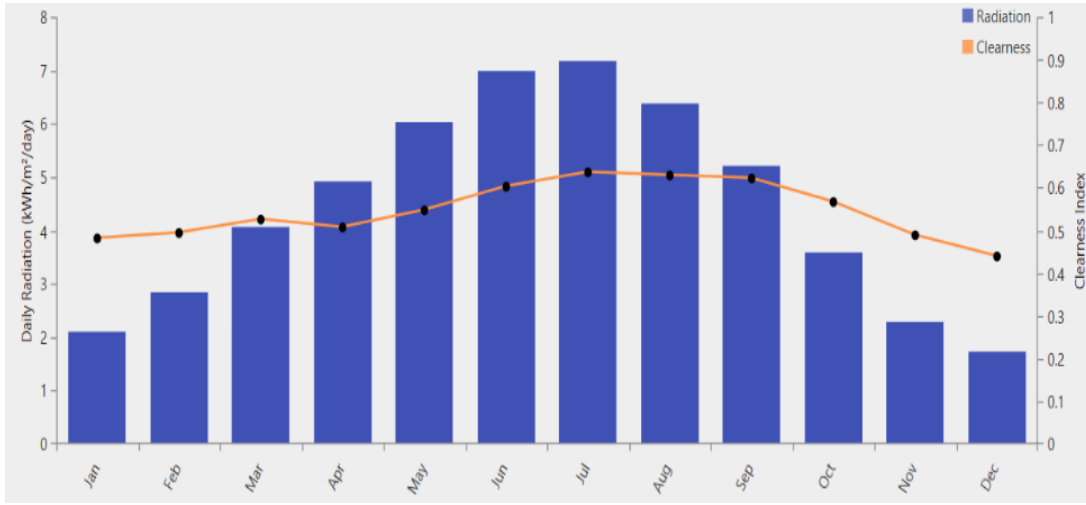
#### Çizelge 1. Kırşehir Aylara Göre Güneşlenme İndeksi

Aylar	Netlik indeksi	Günlük ışınm (kWh/m <sup>2</sup> /gün)
Ocak	0.481	2.110
Şubat	0.494	2.850
Mart	0.525	4.060
Nisan	0.507	4.910
Mayıs	0.547	6.040
Haziran	0.602	6.980
Temmuz	0.636	7.180
Ağustos	0.629	6.390
Eylül	0.622	5.210
Ekim	0.566	3.590
Kasım	0.489	2.290
Aralık	0.439	1.740

Yıllık ortalama (kWh/m<sup>2</sup>/gün): 4.45 (Anonim, 2022b)

Çizelge 1'de aylara göre güneşlenme indeksi ve bu indekse göre m<sup>2</sup> başına üretilebilecek güç miktarı gösterilmiştir. Günlük güneşlenme oranının yıllık ortalaması 4.45 kWh/m<sup>2</sup>/gün olarak

belirtilmiştir. Şekil 6'da ise Kırşehir ili güneşlenme indeksi ve aylık güneş üretimi verilmiştir (Anonim, 2022b).



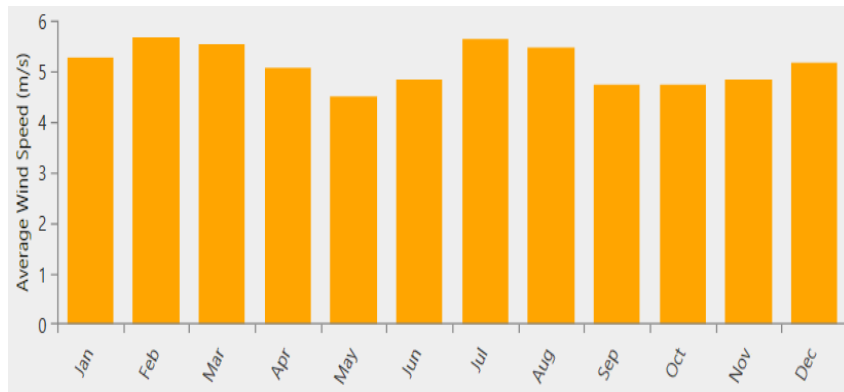
Şekil 6. Kırşehir güneşlenme indeksi ve aylık güneş üretimi miktarları (Anonim, 2022b)

Çizelge 2. 30 yıllık Kırşehir Aylık Rüzgâr Hızı Ortalaması (Anonim, 2022b)

Aylar	Ortalama (m/s)
Ocak	5.270
Şubat	5.660
Mart	5.520
Nisan	5.080
Mayıs	4.490
Haziran	4.820
Temmuz	5.620
Ağustos	5.460
Eylül	4.730
Ekim	4.750
Kasım	4.840
Aralık	5.160

Yıllık ortalama (m/s): 5.12 (Anonim, 2022b)

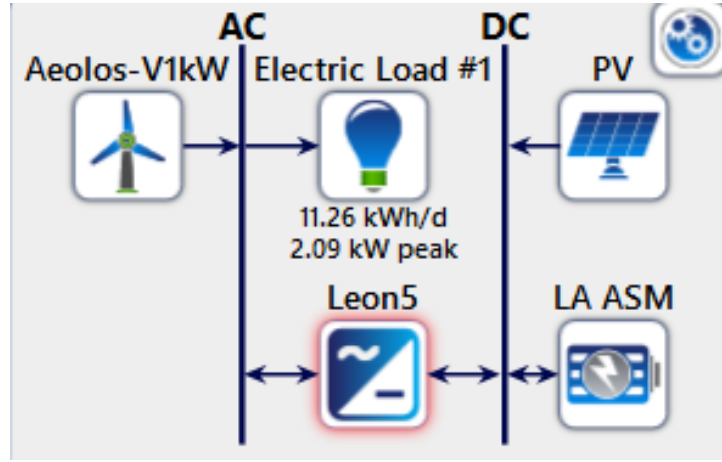
Çizelge 2 ve Şekil 7'de rüzgâr verileri incelendiğinde ise aylık rüzgâr hızı ortalamasının 5.12 m/s olduğu görülmektedir (Anonim, 2022b).



Şekil 7. 30 yıllık Kırşehir aylık rüzgâr hızı ortalaması (Anonim, 2022b)

Kırşehir için yukarıda 30 yıllık NASA verilerinin ortalamasına göre çıkan güneşlilik ve rüzgâr ortalamaları bilgileri ışığında HOMER PRO programı ile Şekil 8'de gösterilen DRTG-HES tasarlanmıştır. Bu tasarımda rüzgâr türbini maksimum 2.09 kW'a kadar çıkabilmekte, 5 kW'lık toplam

güneş paneli ilavesi ile de toplam kurulu güç yaklaşık bir evin ihtiyacı olarak belirlenen 7 kW'a ulaşmaktadır. 11.26 kWh/d ise Kırşehir şartlarında günlük üretilebilecek enerjiyi ifade etmektedir.



Şekil 8. HOMER PRO ile DRTG-HES tasarımı

HOMER PRO programında 1kW lık Aeolos V1kW model düşey türbin, PV marka 1kW'lık güneş panelleri, Leon 5 marka konvertör ve LA ASM marka jel akü seçilmiştir. Programa göre Şekil 9'da gösterilen güç ve sayıda malzemeler kullanılan bir sistem tasarlanmıştır.

				PV (kW)	Aeolos-V1kW	LA ASM	Leon5 (kW)
				4.59	2	25	5.00
				10.5		49	5.00
					11	47	5.00

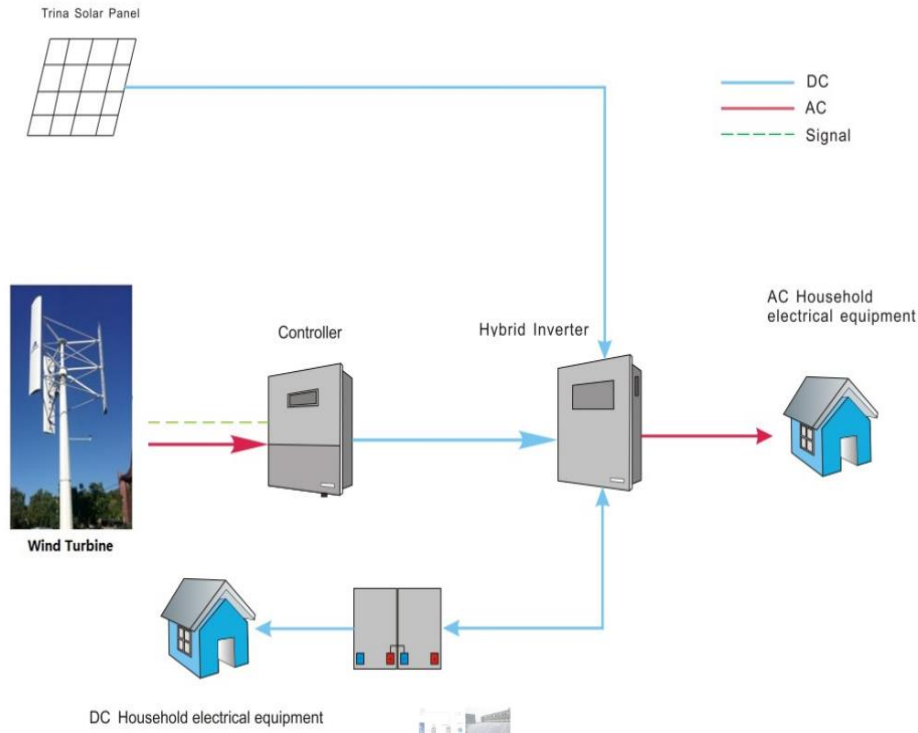
Şekil 9. DRTG-HES rüzgâr ve güneş paneli güç seçenekleri

HOMER PRO programında tasarlanan sistemin gösterildiği Şekil 9'a göre 2 kW'lık düşey rüzgâr türbini ve 4.59 kW'lık güneş panelleri, 5 kW'lık konvertör ile verilen konumdaki dairenin şebekeden bağımsız elektrik ihtiyacı karşılanabilmektedir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Rüzgâr ve güneşlenme değerleri ışığında çalışma yapılan konumda Şekil 10'da verilen DRTG-HES kurulumu ile ilgili paket halinde sistemin montajının yapılması için farklı firmalardan fiyat teklifleri Çizelge 3, 4 ve 5'teki gibi temin edilmiştir. 1 kW ve 3 kW düşey rüzgâr türbinleri ve farklı ölçekte güneş panelleri için batarya depolamasına göre, daire başına kurulu güç değeri 2 kW, aylık toplam tüketim ise 300 kWh alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Nominal tüketim değeri yaklaşık 7 kWh olan bir daire için Çizelge 3 ve Çizelge 5'teki güç değerleri dikkate alınmıştır. Mikro ve akıllı şebeke yapılanmasında her bir tüketici bireysel olarak düşünülmemekte ancak bu durum maliyet olarak zorlayıcı olabilmektedir. Bu çalışmada, kişisel uygulanabilirlik ve ideal mikro-akıllı şebeke yapılanmasından uzaklaşmamak açısından DRTG-HES'in besleyeceği daire sayısı en fazla 12 olarak alınmıştır.





Şekil 10. Lotus Enerji DRTG-HES örneği (Anonim, 2022c)

Lotus Enerji DRTG-HES’de (Anonim, 2022c), tek modülde 1 kW’lık düşey rüzgâr türbini ve 1580 W’lık 4 adet güneş paneli bulunmaktadır. Çin menşeli üründen 2 modül kullanıldığında 2 kW’lık 3 daire için maliyet 14480 \$, 12 daire bulunan bina için 57920 \$ toplam maliyet çıkmaktadır. Lotus Enerji DRTG-HES’de ekipmanlar parçalı değil bütünleşik bir yapıdadır.

### Çizelge 3. Lotus Enerji DRTG-HES fiyat teklifi

Malzeme	Miktar	Fiyat (\$) (3 daire için)	Fiyat (\$) (12 daire için)
Rüzgâr Türbini	V-1 kW		
Güneş Paneli	395W×4		
İnvertör	3 kW	7240×2 modül (6 kW)=14480	57920
Batarya	3 kW		
Diğer Parçalar			

Aktürk Enerji DRTG-HES’de (Anonim, 2022d), tek modülde 5 adet 1 kW’lık düşey rüzgâr türbini ve 330 W’lık 12 adet güneş paneli bulunmaktadır. Toplamda 9 kW civarında güce sahiptir ve bu şekilde 4 adet daireyi rahatlıkla besleyebilmektedir. 9 kW’lık tek modül için maliyet 10625 \$, 12 daire bulunan bina için 31875 \$ toplam maliyet çıkmaktadır.

### Çizelge 4. Aktürk Enerji DRTG-HES fiyat teklifi

Malzeme	Miktar	Fiyat (\$) (4 daire)	Fiyat (\$) (12 daire)
Rüzgâr Türbini	V-1 kW (5 adet)		
Güneş Paneli	330W×12		
İnvertör	5 kW 48 V	10625	31875
Batarya	4×200Ah		
Diğer Parçalar			

Çizelge 5’teki Lisepro Enerji DRTG-HES (Anonim, 2022e), 3 dairenin ihtiyacını rahatlıkla karşılayacak güçte bir sistemdir. Alman menşeli DRTG-HES’de tek modülde 3 kW’lık düşey rüzgâr türbini ve yine toplam 3 kW’lık güneş panelleri bulunmaktadır. Sistem 6 kW güce sahiptir ve bu şekilde 3 adet daireyi rahatlıkla besleyebilmektedir. 6 kW’lık tek modül için maliyet 10370 \$, 12 daire bulunan bina için toplam 41480 \$ maliyet çıkmaktadır.

Çizelge 5. Lisepro Enerji fiyat teklifi

Malzeme	Miktar	Fiyat (\$) (3 daire)	Fiyat (\$) (12 daire)
Rüzgâr Türbini	V-3 kW		
Güneş Paneli	3 kW		
İnvertör	6 kW	10370	41480
Batarya	6 kW		
Diğer Parçalar			

Sistemlerin amortisman süresi hesaplanmadan önce elektrik tüketim bedellerinin incelenmesi gerekmektedir.

### Elektrik tüketim bedeli

2022 yılı itibari ile meskenler için elektrik tüketiminde “Verimlilik Odaklı Kademeli Tarife” ye geçilmiştir (Anonim, 2022f). 1 Mart 2022 tarihli güncelleme ile aylık 240 kW tüketime kadar 1kW elektrik tüketim bedeli 1.37 TL üzerinden, 240 kW’ın üstündeki 1 kW tüketim bedeli 2.06 TL üzerinden hesaplanmaktadır (Anonim, 2022f). Bu fiyat tarifesine göre ortalama aylık 300 kW elektrik kullanan bir mesken sahibi Çizelge 6’ da gösterildiği gibi 411.3 TL aylık, 4935.6 TL yıllık elektrik faturası ödeyecektir.

Çizelge 6. Aylık 300 KW’lık Elektrik Tüketim Bedeli Hesabı

	Kullanılan kW	1kW değeri (TL)	Toplam (TL)
1. Kademe Fiyatı	240	1.37	328.8
2. Kademe Fiyatı	60	2.06	123.6
<b>Toplam Aylık Fatura Bedeli</b>			<b>411.3</b>
<b>Toplam Yıllık Fatura Bedeli</b>			<b>4935.6</b>

### Hibrit enerji sistemi amortisman süreleri

Elektrik kullanımının aylık ve yıllık ortalama tüketim bedelleri hesaplandıktan sonra her teklif için amortisman süreleri hesaplanabilir. Alınan tekliflerin, yıllık tüketim bedeli fiyatlarına bölünmesi ile amortisman süreleri Çizelge 7’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Çizelge 7 incelendiğinde tek modülde DRTG-HES kurulu gücü arttıkça kurulum maliyetlerinin daha ekonomik olduğu görülmektedir. Ekipmanların parçalı değil bütünleşik bir yapıda olması, yerlilik oranı maliyetleri artıran diğer etkenler olarak verilebilir. Ancak ürün kalitesi, satış sonrası hizmet gibi diğer faktörler de göz önüne alınmalıdır.

Çizelge 7. DRTG-HES Amortisman Süreleri

Firma	Maliyet (\$)	Modül başına sistem gücü (kW)	Kullanılacak modül sayısı	Yıllık tüketim (TL)	Amortisman süresi (Yıl)	Daire başına amortisman süresi (Yıl)
Lotus Energy	7240	3	8	4935.6	23.4	16.42
Aktürk Enerji	10625	8	3	4935.6	36.2	9.04
Lisepro Energy	10370	6	4	4935.6	33.6	11.76

## SONUÇ

Yapılan çalışma neticesinde binaya entegre DRTG-HES için 4.45 kWh/m<sup>2</sup>/gün güneşlenme oranı ve 5.12 m/s rüzgâr hızında Kırşehir ili merkezi için 9 yıl ile 16.5 yıl arasında amortisman süreleri elde edilmiştir. Hesaplanan süreler küçük ölçekli ve bireysel yatırımcılar için olup, ekonomik olarak kısa görünmemekle birlikte tüketicilere verilecek çeşitli destekler, toplu ekipman tedariki gibi teşvik edici mekanizmalar ile bu süreler önemli miktarda kısalabilir. Ülkemiz genelinde çalışma yapılan bölgedeki güneşlenme oranı ve rüzgâr hızına sahip ya da yakın değerlerde bulunan çok sayıda yerleşim bulunmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışma çok sayıda yerleşim için uyarlanabilir, uygulanabilir.

Elektrik güç sistemi altyapısı her geçen gün yıpranmaktadır. Bu sisteme yalnızca firmaların yatırım yapması yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, bireylerde üreten tüketici olarak aktif şekilde güç sistemine dahil edilmeli, entegrasyonda gecikilmemelidir. Mikro ve akıllı şebeke yapılarına hızla geçilmesi ancak bireylerin üretici olarak rüzgâr-güneş hibrit enerji sistemleri gibi enerji üretim sistemlerinde rol almaları ile sağlanabilir. Günümüz koşullarında binaya entegre DRTG-HES yerleşim yerleri için en uygun hibrit enerji sistemi olarak görünmektedir. Verimlilik ve montajdaki bazı dezavantajlarına karşın düşey rüzgâr türbinleri, şebekeye bağlı veya şebekeden uzak bireysel binalar için en başta uygulama ve kurulum gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu nedenle düşey rüzgâr türbinlerinin binaya entegre DRTG-HES içerisinde kullanımı teşvik edilmelidir.

Mikro ve akıllı şebeke yapılarında esas olan her dairenin kendisinin tekil olarak sisteme entegre olmasıdır ancak maliyetler dolayısıyla bunu gerçekleştirmek zor görünmektedir ve bu durum bireylerin güç sistemine bağlanması sürecini uzatmaktadır. Ancak şebekeye dairelerin bireysel olarak bağlanması hedefinden uzaklaşmadan bireylerin bir araya getirilerek hibrit enerji sistemleri ile ilk aşamada mikro ve akıllı şebeke yapılarına geçişleri gerçekleştirilebilir. Böylece kesintisiz üretim yapılabilen hibrit enerji sistemlerinin buna bağlı olarak mikro ve akıllı şebeke yapılarının hızla yaygınlaştırılması sağlanarak ülkemizin enerjide dışa bağımlılığı azaltılabilir.

### Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

### KAYNAKLAR

- Abraham, J. P., Plourde, B. D., Mowry, G. S., Minkowycz, W. J., & Sparrow, E. M. (2012). Summary of Savonius wind turbine development and future applications for small-scale power generation. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 4(4), 042703.
- Anonim, (2018). Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevresel Göstergeler, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sectorlere-gore-nihai-enerji-tuketimi-i-85804>
- Anonim, (2021a). Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş., 2021 Enerji Görünümü Raporu, Elektrik Üretim Analizi, <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf>, sf. 31.
- Anonim, (2021b). TMMOB, Elektrik Mühendisleri Odası, 4 Kişilik Bir Ailenin Aylık Elektrik Faturası, [https://www.emo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=135116&tipi=2&sube=](https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=135116&tipi=2&sube=)
- Anonim, (2022a). Homer Software, Homer Pro, <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>
- Anonim, (2022b). NASA Prediction of Worldwide Energy Sources, The Power Project, <https://power.larc.nasa.gov/>
- Anonim, (2022c). Lotus Grup Yenilenebilir Enerji Elektrik İnşaat İth. San. Tic. A.Ş., <https://lotusenerji.com/>
- Anonim, (2022e). Lisepro Energie & Robotik Sanayi Ticaret Limited Şirketi, <https://lisepro.com/iletsim/bize-ulasin.html>
- Anonim, (2022f). Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/4-12567/kademeli-tarife-ve-kist-uygulamasi-hakkinda-duyuru>
- Anonim, 2022d. Aktürk Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, <https://www.akturkenjerji.com.tr/>
- Ardıç, İ. (2019). *Ev uygulamaları için düşey eksenli rüzgâr türbini performansının deneysel incelenmesi* (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).

- Bayindir, R., Colak, I., Fulli, G., & Demirtas, K. (2016). Smart grid technologies and applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 66, 499-516.
- Espe, E., Potdar, V., & Chang, E. (2018). Prosumer communities and relationships in smart grids: A literature review, evolution and future directions. *Energies*, 11(10), 2528.
- Gharavi, H., & Ghafurian, R. (Eds.). (2011). *Smart grid: The electric energy system of the future* (Vol. 99, pp. 917-921). Piscataway, NJ, USA: IEEE.
- Hatziaargyriou, N., Asano, H., Iravani, R., & Marnay, C. (2007). Microgrids. *IEEE power and energy magazine*, 5(4), 78-94.
- Mercado-Colmenero, J. M., Rubio-Paramio, M. A., Guerrero-Villar, F., & Martin-Doñate, C. (2018). A numerical and experimental study of a new Savonius wind rotor adaptation based on product design requirements. *Energy Conversion and Management*, 158, 210-234.
- Nurbay, N., & Çınar, A. (2005). Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19-21.
- Sert, Ş. M. (2019). *Farklı kanat tiplerinde savonius rüzgar çarkı tasarımı* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Sigurd, J. S. (1925). The wing-rotor in theory and practice, Publ. SAVONIUS & CO., Helsingfors, Finland, 1-39.
- Şen, Ç. (2003). Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir*.
- Şen, Z. (2009). *Temiz enerji kaynakları ve modelleme ilkeleri*. Su Vakfı.