

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ BİLİM DALI**

**BİR RÜZGAR ELEKTRİK ÜRETİM TESİSİNİN ENERJİ,
EKSERJİ VE EKONOMİK ANALİZİ**

Kaan KUM

**Danışman
Prof. Dr. Leyla ÖZGENER**

MANİSA-2025

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı herhangi bir yapay zeka ve program kullanmadığımı beyan ederim.

Kaan KUM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİR RÜZGAR ELEKTRİK ÜRETİM TESİSİNİN ENERJİ EKSERJİ VE EKONOMİK ANALİZİ

Kaan KUM

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr Leyla ÖZGENER

Bu çalışmada seçilen rüzgar santralının 2022 – 2023 yıllarına ait işletme verileri değerlendirilerek enerji ve ekserji verimlilikleri hesaplanmıştır. Ayrıca sıcaklık, nem ve basınç gibi meteorolojik parametrelerin performans üzerindeki etkileri incelenmiştir ve sonuçlar sunulmuştur. Yapılan analizler santralin uzun dönemli performansına ışık tutmakta ve benzer sistemlerin gelecekteki tasarım ve işletme stratejilerine yol gösterici nitelik taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi, enerji analizi, ekserji, ekserji analizi, ekonomik analizi

2025, 62 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ENERGY, EXERGY AND ECONOMIC ANALYSIS OF A WIND POWER PLANT

Kaan KUM

Manisa Celal Bayar University

Graduate School of Education

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Leyla ÖZGENER

In this study, the operational data of the selected wind power plant for the years 2022-2023 were evaluated and the energy and exergy efficiencies were calculated. In addition, the effects of meteorological parameters such as temperature, humidity and pressure on performance were examined and the results are presented. The analyses conducted shed light on the long-term performance of the plant and provide guidance for the future design and operational strategies of similar systems.

Keywords: Wind energy, energy analysis, exergy, exergy analysis, economic analysis

2025, 62 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam süresince yardımlarını ve her türlü desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Leyla Özgener'e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sırasında sağladığı mükemmel ortam için babama, manevi desteklerini esirgemeyen anneme ve kardeşime çok teşekkür ederim.

Kaan KUM

Manisa, 2025

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Süpürme Alanı (m^2)
$C_{p,a}$	Hava Özgöl Isısı (kJ/kgK)
$C_{p,v}$	Su Buhar Özgöl Isısı (kJ/kgK)
$\dot{E}_x$	Ekserji Değeri (kW)
$\dot{E}_{x,dest}$	Ekserji Kaybı (W, kW)
$\dot{E}_{x_1}$	Türbine Giriş Ekserji Değeri (kW)
$\dot{E}_{x_2}$	Türbinden Çıkan Ekserji Değeri (kW)
K	Maliyet
L_{ex}	Ekserji Kaybı
$\dot{m}$	Havanın Kütlesel Debisi (kg/s)
$\dot{m}_w$	Hava Su Buharı Kütlesel Debisi (kg/s)
P	Atmosfer Basıncı (kPa)
P_0	Referans Basıncı (kPa)
P_{in}, P_1	Türbin Giriş Basıncı (kPa)
P_{out}, P_2	Türbinden Çıkan Basıncı (kPa)
$P_{V,1}$	Türbine Girişte Rüzgar Hızına Bağlı Basınç Değeri (kPa)
$P_{V,2}$	Türbinden Çıkışta Rüzgar Hızına Bağlı Basınç Değeri (kPa)
ΔP	Giriş ve Çıkış Arasındaki Basınç Farkı (kPa)
R	Rotor Yarıçapı (m)
R_a	Gaz Sabiti (kJ/kgK)
R_{ex}	Ekserjoekonomik Performansı
R_v	Buhar Sabiti (kJ/kgK)
T	Sıcaklık (K)
T_0	Referans Sıcaklık (K)
V_r	Yerel Rüzgar Hızı (m/s)
W	Kullanılabilir Güç (W)
W_e	İnvertör Çıkışındaki Güç (W, kW)
W_u	Türbinden Alınabilecek Yararlı Güç (W, kW)
L_{ex}	Ekserji Kaybı (kW)

Latin Harfleri

ω	Nem Değeri ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$)
ω_0	Referans Nem Değeri ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$)
$\omega_{\eta_{ex}}$	Ekserji Verimi Belirsizliği
$\omega_{\dot{E}_{x1}}$	Giren Ekserji Büyüklüğünün Belirsizliği
$\omega_{\dot{E}_{x2}}$	Çıkan Ekserji Büyüklüğünün Belirsizliği
η	Enerji Verimi (-)
ε	Ekserji Verimi (-)
ψ_a	Havanın Özgöl Ekserjisi (kJ/kg)
ρ	Havanın Yoğunluğu (kg/m^3)

Kısaltmalar

RES	Rüzgar Enerji Santrali
-----	------------------------

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Ülkelerin rüzgar enerjisi kullanım dağılımı	2
Şekil 2. Rüzgar türbinleri 36,45678 enlem 28,5678 boylam	7
Şekil 3. İzmir’de rüzgar hızı.....	8
Şekil 4. İzmir’de rüzgar kapasite faktörü	8
Şekil 5. Türkiye'nin rüzgar enerjisinden elektrik üretimi ve santral üretimi	9
Şekil 6. Türbine giriş ve çıkışında etkili olan parametreler	10
Şekil 7. Sıcaklık ile havanın yoğunluğu ilişkisi	12
Şekil 8. Hava basıncının ve yoğunluğunun rakım ile değişimi.....	13
Şekil 9. Aylık ekserji verim değeri	20
Şekil 10. Nisan ayı içerisindeki ekserji giriş değerleri.....	21
Şekil 11. Haziran ayı içerisindeki ekserji giriş değerleri	22
Şekil 12. Türbinlerin yıl içerisindeki en yüksek ekserji kayıpları	23
Şekil 13. Türbinlerin yıl içerisindeki en düşük ekserji kayıpları	24
Şekil 14. Ekserji verimi- hava yoğunluğu grafiği	25
Şekil 15. Farklı rüzgar hızlarında ekserji verimi- ΔP değişimi.....	26
Şekil 16.Farklı rüzgar hızlarında özgül nemin ekserji verimine etkisi	27
Şekil 17. Aylık ortalama güç faktörü değerleri	28

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Ülkelerin rüzgar türbini kapasite sıralaması	3
Tablo 2. Hesaplamaların yapıldığı aylardaki meteorolojik veriler	10
Tablo 3. Rüzgar hızına bağlı olarak hesaplanmış üretilebilecek güçler.....	11
Tablo 4. Sistemin elemanlarının temel özellikleri	16
Tablo 5. Türbinlerin kullanılabilirlik oranları	19
Tablo 6. Türbinlerin R_{ex} değerleri	29



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	V
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ	IX
İÇİNDEKİLER	X
1. GİRİŞ	1
1.1 RÜZGAR ENERJİSİ VE DÜNYADAKİ YERİ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. ÜZERİNDE ÇALIŞILAN SİSTEMİN ÖZELİKLERİ	7
3.1 VARSAYIMLAR	12
4. ANALİZLER	13
4.1 ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ.....	13
4.2 BELİRSİZLİK ANALİZİ	15
4.3 SCADA KULLANILABİLİRLİK ANALİZİ	17
5.BULGULAR VE TARTIŞMA	18
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	30
7. KAYNAKÇA	32
ÖZGEÇMİŞ.....	34
Ek-1	35
Ek-2	36
Ek-3	37
Ek-4	38
Ek-5	39
Ek-6	40
Ek-7	41
Ek-8	42
Ek-9	43
Ek-10	44

Ek-11	45
Ek-12	46
Ek-13	47
Ek-14	48
Ek-15	49
Ek-16	50
Ek-17	51



1. GİRİŞ

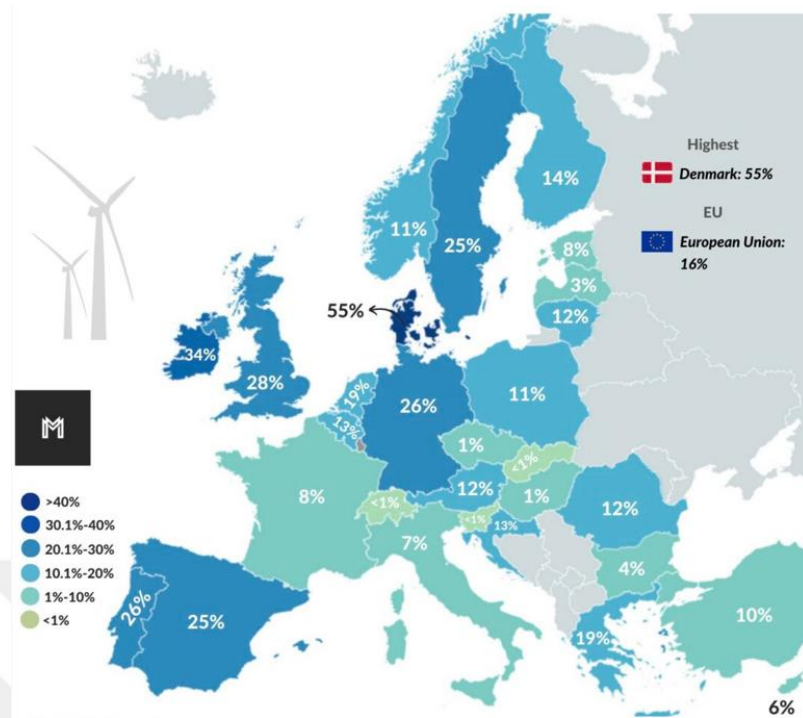
1.1 RÜZGAR ENERJİSİ VE DÜNYADAKİ YERİ

Rüzgar gücü atmosferde mevcut olan kinetik enerjinin rüzgar türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesi sürecidir. Atmosferde sürekli yenilenen bol ve çevre dostu bir kaynak olan rüzgar, kinetik enerji potansiyeli sayesinde elektrik üretiminde etkin bir şekilde değerlendirilmektedir. Rüzgar hızı, yükselti ile birlikte artış gösterirken rüzgarın taşıdığı güç hızı küpüyle orantılıdır. Bu nedenle rüzgar türbinlerinin kurulum bölgelerinin seçimi ve hub yüksekliği elde edilecek enerji miktarı açısından kritik öneme sahiptir. 2025 yılı itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu rüzgar gücü 13.000 MW'ı aşmış ve elektrik üretiminde rüzgar payı yaklaşık %12 seviyesine ulaşarak stratejik bir konuma gelmiştir [1].

Rüzgar enerjisi; çevreye zarar vermeyen, sera gazı salınım oluşturmeyen, sürdürülebilir ve temiz bir enerji biçimi olarak son dönemlerde giderek artan bir önem kazanmıştır. 2024 yılında dünya genelinde 1136 GW yeni rüzgar enerjisi kapasitesi kurularak rekor bir artış sağlanmıştır [2]. Bu büyüme rüzgar enerjisinin enerji geleceğimizde ve iklim değişikliği ile mücadelede kritik rol oynadığını göstermektedir. Özellikle G8 ülkeleri sera gazı emisyonunu azaltmak amacıyla rüzgar enerjisi projelerini teşvik etmek ve desteklemek zorundadır. 2024 yılında Avrupa'da kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi sayesinde yılda 142 milyon ton CO₂ salınımı engellenmiştir [3].

2024 yılında tek başına 117 GW yeni kurulum gerçekleştirilmiş ve bunun %60'ından fazlası karasal, geri kalanı ise deniz üstü türbinlerden oluşturulmuştur.

Avrupa'da toplam kurulu rüzgar gücü 285 GW seviyesine yükselmiştir. Bunun 231 GW'ı AB üyesi ülkelerde, 54 GW'ı ise Birleşik Krallık ve diğer Avrupa ülkelerinde bulunmaktadır. Danimarka, elektrik tüketiminin yaklaşık %56'sını rüzgar enerjisinden karşılayarak dünyada lider durumdadır. Almanya'da bu oran %28, İspanya'da %27, İrlanda'da ise %32 seviyelerindedir. Deniz üstü rüzgar kapasitesinde ise Birleşik Krallık 32 GW ile liderliği sürdürürken, Almanya 19 GW ile ikinci sıradadır [3].



Şekil 1 de ülkelerin rüzgar enerjisi kullanım dağılımı gösterilmiştir. Asya kıtasında Çin 450 GW'ın üzerinde kurulu rüzgar kapasitesi ile açık ara lider konumunu korumaktadır. Sadece 2024 yılında Çin'de 75 GW'dan fazla yeni rüzgar türbini devreye alınmıştır. Amerika kıtasında ise ABD toplam 152 GW'lık kapasitesiyle küresel liderler arasındadır ve elektrik ihtiyacının %11'ini rüzgardan karşılamaktadır [5].

Tablo 1. Ülkelerin rüzgar türbini kapasite sıralaması [4].

Sıralama	Ülke	Kurulu Rüzgar Türbini Kapasitesi 2025 (MW)	10 Yıllık Büyüme Oranı
1	Çin	521.746	353%
2	ABD	153.152	135%
3	Almanya	72.823	82%
4	Hindistan	48.163	109%
5	Brezilya	32.959	340%
6	İspanya	31.811	45%
7	Birleşik Krallık	30.902	209%
8	Fransa	24.592	146%
9	Kanada	18.376	67%
10	İsveç	17.239	146%
11	Avustralya	15.288	410%
12	İtalya	12.992	53%
13	Türkiye	12.973	159%
14	Hollanda	11.679	484%
15	Polonya	10.059	235%

Tablo 1’de Ülkelerin rüzgar türbin kapasite sıralaması verilmiştir. Bu veriler, rüzgar enerjisinin 2008’de dünya genelinde yalnızca %1,5’lik bir paya sahipken, günümüzde küresel enerji arzının kritik bir parçası haline geldiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca 2030 yılına kadar dünya genelinde rüzgar enerjisi kapasitesinin 2.7 TW seviyesine ulaşılması beklenmektedir [2].

Bu çalışmanın amacı rüzgâr enerjisi ile elektrik üreten türbin sistemlerinin enerji, ekserji ve ekonomik analizlerin yapılarak hem öğrencilere hem saha mühendislerine hem çalışan sistemlerin geliştirmesine ve iyileştirmesine yönelik çıktıların oluşturularak literatüre yeni bilgiler kazandırılmasıdır . Bu çalışma sayesinde rüzgar enerjisinin Türkiye’de kullanımın daha uygulanabilir daha kontrollü ve daha çevreci kullanılmasının sağlanması amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Rüzgar enerjisi sistemlerinde performans ve verimliliğin artırılmasında teorik temeller büyük önem taşımaktadır. Betz yasası gibi temel teorik ilkeler de türbin tasarımını optimize etmek için önemli bir rehber sağlamaktadır [6]. Bu bağlamda yapılan araştırmalar, sistemlerin maksimum verimle çalışabilmesi için teorik sınırların belirlenmesinde bu tür yasaların kritik rol oynadığını göstermektedir.

Bejan ve Tsatsaronis'in (1996) termodinamik optimizasyon çalışmaları, ekserji analizinin teorik temellerini güçlendirmektedir [7]. Bu tür çalışmalar, enerji dönüşüm süreçlerinde kayıpların nerede ve ne şekilde meydana geldiğini anlamak açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Çengel ve Boles tarafından yapılan termodinamik analizler, ekserji analizinin enerji sistemleri üzerindeki detaylı etkilerini incelemede temel bir yöntem olduğunu vurgulamaktadır[8]. Bu durum, ekserji analizinin enerji kalitesinin belirlenmesinde neden bu kadar yaygın olarak kullanıldığını da açıklamaktadır.

Bu teorik temeller ışığında, rüzgar enerji sistemlerinin performans değerlendirmelerinde ekserji analizi, sistemin gerçek kullanılabilir enerji potansiyelini belirleyebilmesi açısından önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Literatürde, rüzgar türbinleri üzerinde kısa süreli ekserji çalışmaları yapılmış olsa da uzun dönemli analizlere daha az rastlanmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin ilk ticari rüzgar santrali olan Çeşme-Germiyan Santrali'nde Başkurt (2010) tarafından yürütülen çalışmada, 2007–2008 yıllarına ait türbinlerin enerji ve ekserji verimleri analiz edilmiş ve meteorolojik parametrelerin (sıcaklık, basınç, nem) verim üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Çalışmada, ekserji analizinin yalnızca enerji dönüşüm verimliliğini belirlemekle kalmayıp, sistem tasarımı ve performans optimizasyonu için de yol gösterici bir araç olduğu vurgulanmıştır. Bu bulgular, rüzgar santrallerinde enerji kalitesinin, çevresel faktörlerin ve işletme koşullarının bütüncül şekilde değerlendirilmesinin önemini ortaya koymakta; yeni çalışmalar için, özellikle maliyet analizi ile birlikte ekserji yaklaşımının entegre edilmesi gerekliliğini desteklemektedir [9].

Benzer şekilde, yapılan bir araştırmada Celal Bayar Üniversitesi Muradiye Kampüsünün rüzgar enerjisi potansiyeli deneysel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, sistem Kasım 2006 tarihinde devreye alınmış ve Aralık 2007'ye kadar performans testleri sürdürölmüştür. Çalışmada, farklı rüzgar hızlarının elektrik üretimi üzerindeki etkileri analiz edilerek jeneratörün ortalama güç çıkışının anma gücüne oranı şeklinde tanımlanan kapasite faktörü hesaplanmıştır. Deneysel bulgulara göre, 30 m yükseklikte ölçölen yıllık ortalama rüzgar hızının 3,21 m/s olduğu, Enercon E48 (800 kW) türbini için kapasite faktörünün ise %14,1 olarak gerçekteştiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, çalışma alanındaki ortalama rüzgar hızının ekonomik açıdan verimli bir elektrik üretimi için yeterli düzeyde olmadığını ortaya koymaktadır [10].

Literatürde yer alan bir araştırmada, rüzgar türbini güç santrallerine yönelik enerji, ekserji ve teknik kullanılabilirlik analizleri ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Söz konusu çalışmada, İzmir'in Çeşme bölgesinde bulunan ve Türkiye'de 1998 yılında kurulan ilk 1,50 MW kapasiteli rüzgar santrali temel alınmıştır. Gerçek sistem verilerinin kullanıldığı analizler sonucunda, santralin ekserji verimliliğinin %0 ile %68,20 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, üç türbin için aylık ortalama teknik kullanılabilirlik oranlarının sırasıyla %96,11, %98,71 ve %98,52 olduğu saptanmıştır. Araştırmacılar ayrıca, farklı güç faktörü değerlerinin santral ekserji verimliliği üzerindeki etkisini tahmin edebilmek amacıyla çeşitli matematiksel korelasyonlar geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar, rüzgar türbini güç santrallerinin performans değerlendirmelerinde ekserji analizinin enerji verimliliği ve sistem güvenilirliği açısından önemli bir gösterge olduğunu ortaya koymuştur [11].

Bu bulgulara paralel olarak rüzgar türbini enerji santrallerinin performans analizlerinde ekserji incelemesinin kritik bir gösterge olduğu çeşitli araştırmalarla ortaya konulmuştur. Mevcut çalışmalardan birinde; ekserji verimliliği üzerinde hava yoğunluğu, ortam sıcaklığı, basınç farkı ve nem oranı gibi meteorolojik değişkenlerin etkileri ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Üç farklı türbin üzerinde yürütölen aylık analizler sonucunda ekserji verimliliğinin 0,23 ile 0,27 arasında değiştiği saptanmıştır. Türbin giriş ve çıkış noktalarındaki basınç farkının (ΔP) 100–1100 Pa aralığında olduğu durumlarda farklı rüzgar hızları için ekserji verimliliğinde belirgin düşüşler gözlemlenmiş, ayrıca özgül nem oranındaki artışın da verimlilik değerlerini kademeli olarak azalttığı tespit edilmiştir [12].

Öte yandan, literatürde gerçekleştirilen bir diğer araştırmada, rüzgar türbini güç santrallerine yönelik eksergoekonomik analiz yapılmış ve bu kapsamda ekserji kayıpları ile sermaye maliyetleri arasındaki ilişkiler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Söz konusu çalışmada, ekserji kayıp oranının sermaye maliyetine oranı ile ekserji verimliliği arasındaki bağıntı belirlenmiş ve bu ilişki grafiksel biçimde sunulmuştur. Üç farklı türbin için aylık eksergoekonomik sonuçlar elde edilerek rüzgar hızına bağlı olarak enerji ve ekserji kayıplarının sermaye maliyetine oranları analiz edilmiştir. Bunun yanında, meteorolojik değişkenlerden hava sıcaklığı veya hava yoğunluğu ile nem oranının bu parametreler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir [13].

Bu çalışmaların devamında, 1,5 kW kapasiteli bir rüzgar türbini sistemine ilişkin eksergoekonomik parametreler kapsamlı bir biçimde incelenmiştir. Bu araştırmada, enerji ve ekserji kayıp oranlarının sermaye maliyetleriyle olan ilişkisi belirli çalışma koşulları altında değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, enerji kayıp oranının sermaye maliyetine oranı 0.007 – 0.813 aralığında, ekserji kayıp oranının sermaye maliyetine oranı ise 0.006 – 0.411 aralığında değişmektedir. En yüksek Ren ve Rex değerlerinin 12 m/s rüzgar hızında ortaya çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca, rüzgar hızındaki değişimlerin türbinin eksergoekonomik performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla parametrik bir analiz yapılmış ve rüzgar hızı ile termodinamik kayıp-sermaye maliyeti oranı arasındaki ilişkiyi açıklayan bir korelasyon önerilmiştir [14].

Bunun yanı sıra yenilenebilir enerji sistemlerinde ekserji ve güvenilirlik analizlerinin eş zamanlı olarak incelenmesi, sistem performansının hem enerji kalitesi hem de süreklilik açısından kapsamlı bir biçimde değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde yürütülen bir araştırmada, 1,5 kW kapasiteli küçük ölçekli bir rüzgar türbini jeneratörünün ekserji performansı ile güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, üç kanatlı ve 3 metre çapa sahip yatay eksenli türbinin düşük rüzgar hızlarında dönmeye başlama davranışı saha testleriyle incelenmiş; sistemin teknik kullanılabilirliği, gerçek kullanılabilirliği, kapasite faktörü ve ekserji verimliliği sırasıyla %94,20, %51,67, %11,58 ve %0–48,72 aralığında belirlenmiştir. Ayrıca yapılan güvenilirlik analizinde arıza oranı 2.28×10^{-4} saat⁻¹ olarak saptanmış ve 4380 saatlik çalışma süresinde güvenilirlik faktörü 0.37 olarak hesaplanmıştır [15].

Tüm bu çalışmalar rüzgar türbinlerinin performans analizlerinde yalnızca enerji ve ekserji parametrelerinin değil; aynı zamanda güvenilirlik, maliyet ve meteorolojik faktörlerin de birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Lund ve arkadaşlarının (2017) çalışmaları, bu tür analizlerin enerji politikalarının geliştirilmesinde nasıl bir temel oluşturduğunu vurgulamaktadır [16].

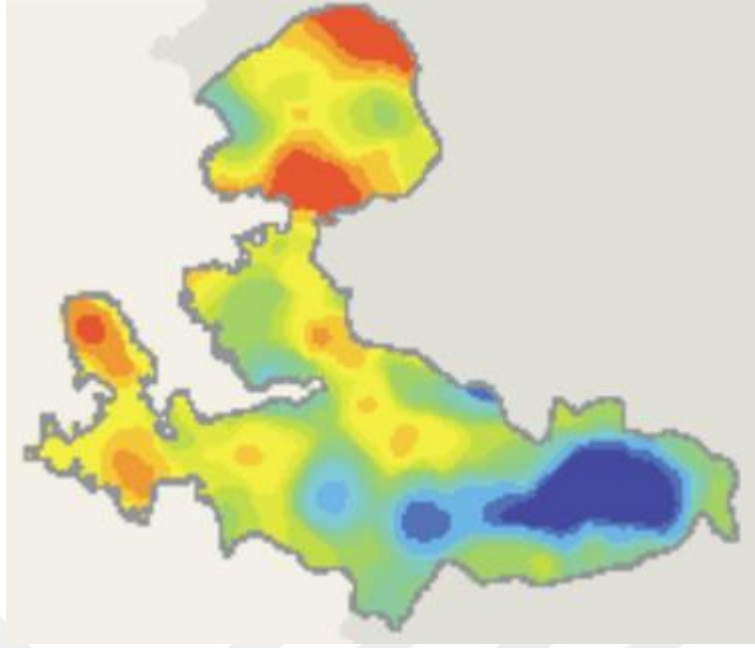
Renewable Energy (2023) dergisinde yayımlanan çalışmada, güneş ve rüzgâr enerjisiyle çalışan hibrit bir kurutma sisteminin klasik ve ileri düzey ekserji ile ekserjoekonomik performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kurutma ünitesini oluşturan tüm sistem bileşenlerinin enerji tüketim maliyetlerine olan etkileri ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve her bir ekipmanın sistem performansına katkısı incelenmiştir. Hem klasik hem de gelişmiş ekserji ve ekserjoekonomik analiz sonuçları, sistemde iyileştirme potansiyeli en yüksek bileşenin rüzgâr türbini olduğunu ortaya koymuştur [17].

3. ÜZERİNDE ÇALIŞILAN SİSTEMİN ÖZELİKLERİ

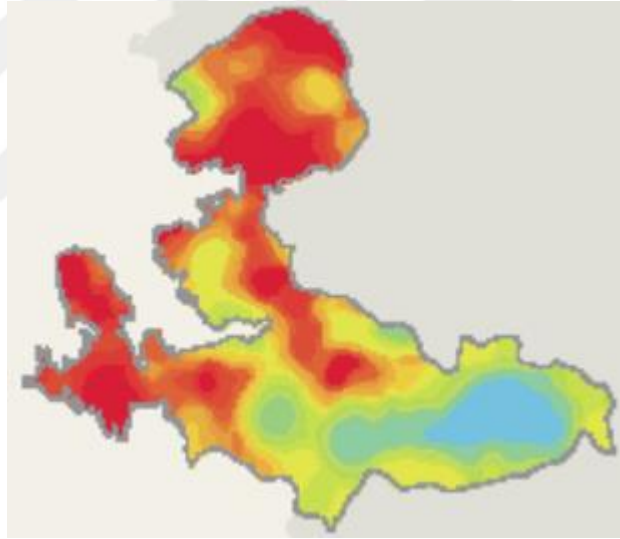
Seçilen rüzgar türbini koordinatları 36,45678 E(°) enlem ve 28,5678 N(°) boylamında Aliğa – İzmir’ de kuruludur. İzmir yaklaşık 12.000 MW’lık potansiyel rüzgar enerjisi gücüne sahiptir. İzmir’deki 759,2 MW’lık kurulu güç, Türkiye’deki toplam RES kurulu gücünün %16’sını oluşturmaktadır [18].



Şekil 2. Rüzgar türbinleri 36,45678 enlem 28,5678 boylam [19].



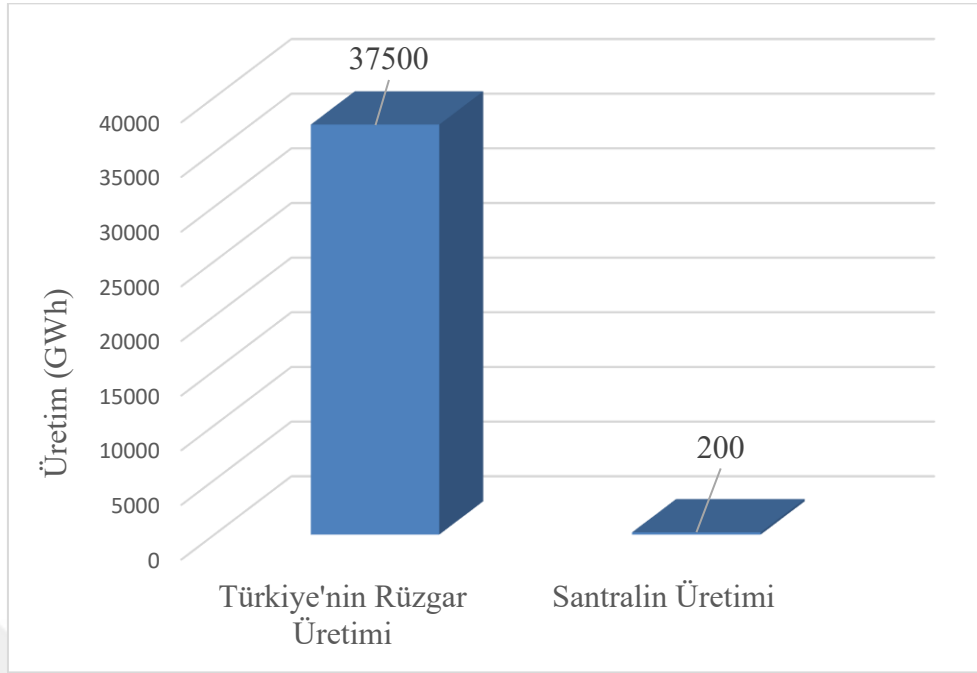
Şekil 3. İzmir’de rüzgar hızı [18].



Şekil 4. İzmir’de rüzgar kapasite faktörü [18].

Şekil 3’te İzmir’in rüzgar hızı ısı haritası gösterilmiştir. Şekil 4’te İzmir’de rüzgar kapasite faktörü ısı haritası gösterilmiştir.

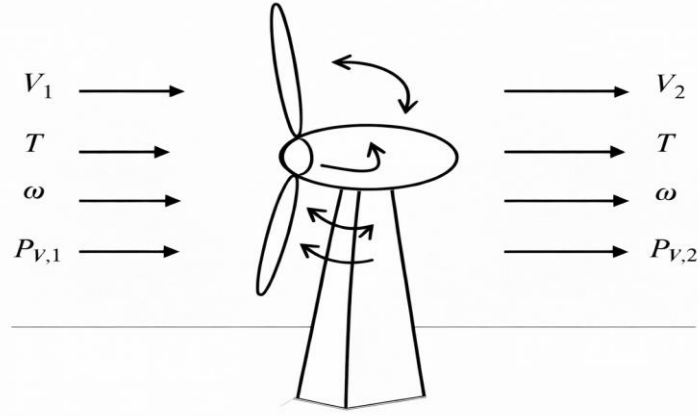
Çalışılan rüzgar santralinde türbin tipi Alstom marka ECO 110 modelidir. Hub yüksekliği 75 m, rotor çapı 110 m, tek kanat uzunluğu 53 m, kanat sayısı 3 adet, kule etrafında ölçülen ortalama rüzgar hızı 10 m/s elektrik üretimine başladığı hız 2,5 m/s ve kesilme hızı da 25 m/s’dir. Proje 51MW gücüne sahip 17 adet rüzgar türbini ile Aliğa tesisindeki enerji ihtiyacının büyük bölümünü karşılamaktadır. Yıllık üretim miktarıyla 40 bin hanelik elektrik tüketimini karşılama potansiyeline sahiptir.



Şekil 5. Türkiye'nin rüzgar enerjisinden elektrik üretimi ve santral üretimi

Şekil 5'te Türkiye'nin rüzgar enerjisinden elektrik üretimi ve santral üretimi gösterilmiştir. 17 türbini ile yılda yaklaşık 200 GWh elektrik üretme kapasitesine sahiptir. Bu 200 GWh üretimi Türkiye rüzgar türbinlerinde elektrik üretme kapasitesinin %0,53' ünü oluşturmaktadır.

Türbine giriş – çıkışına etkili olan parametreler Şekil 6. şematik olarak gösterilmiştir. Pervane düzlemi boyunca sıcaklıkta ve nem değerlerindeki değişim ihmal edilebilecek kadar düşük seviyededir. Pervane düzleminden geçen hava akımının hızı oluşan vortekslerden dolayı düzensizdir [9].



Şekil 6. Türbine giriş ve çıkışında etkili olan parametreler

V_1 ; giriş rüzgar hızı, T ; hava sıcaklığı, ω ; nem değeri, $P_{v,1}$; girişte rüzgar hızına bağlı basınç değeri, V_2 ; çıkış rüzgar hızı, $P_{v,2}$; çıkışta rüzgar hızına bağlı basınç değeri.

Tablo 2. Hesaplamaların yapıldığı aylardaki meteorolojik veriler

Aylar	Ortalama Özgül Isı(kJ/kgK)	Ortalama Ortam sıcaklığı(°C)	Ortalama Bağıl Nem(%)	Ortalama Özgül Nem	Ortalama Atmosfer Basıncı(kPa)
2022 Kasım	1,861	12,3	%71,2	0,0085	101,630
2022 Aralık	1,861	10,4	%71,3	0,0081	101,770
2023 Ocak	1,860	11,3	%71,5	0,0079	102,120
2023 Şubat	1,860	13,3	%69,2	0,0085	102,200
2023 Mart	1,862	13,7	%63,8	0,0076	101,320
2023 Nisan	1,862	17,2	%60,1	0,0090	101,340
2023 Mayıs	1,863	23,3	%57,6	0,0100	101,350
2023 Haziran	1,863	28,7	%50,2	0,0120	101,080
2023 Temmuz	1,862	31,3	%46,1	0,0110	101,100
2023 Ağustos	1,863	30,7	%47,2	0,0120	101,010
2023 Eylül	1,862	26,4	%57,3	0,0130	101,120

Tablo 2’de, Aliğa’daki istasyondan elde edilen ve hesaplamaların yapıldığı aylara ait meteorolojik veriler bulunmaktadır.

Tablo 3. Rüzgar hızına bağlı olarak hesaplanmış üretilebilecek güçler
(101,325 kPa basınç, 15°C sıcaklık, 1,225 kg/m³ hava yoğunluğunda)

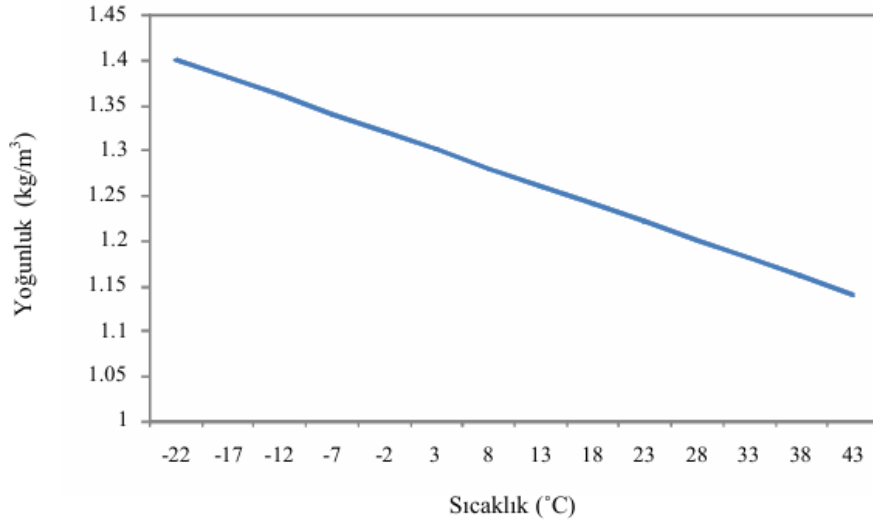
Rüzgar Hızı (m/s)	Güç (kW)
0	0,000
1	0,000
2	0,000
3	11,898
4	114,045
5	277,365
6	515,901
7	849,890
8	1290,050
9	1813,827
10	2331,491
11	2720,354
12	2919,783
13	2985,642
14	2998,877
15	3000,000

Tablo 3’te rüzgar hızına bağlı olarak hesaplanmış üretilebilecek güçler gösterilmiştir. Düşük rüzgâr hızlarında (0–2 m/s) güç üretimi gerçekleşmezken, 3 m/s’den itibaren güç üretiminin başladığı ve rüzgâr hızı arttıkça üretilen gücün belirgin biçimde yükseldiği görülmektedir. Özellikle 7–10 m/s aralığında güç artışının oldukça hızlı olduğu, 12 m/s ve sonrasında ise türbinin anma gücüne yaklaşarak 15 m/s’de 3000 kW seviyesine ulaştığı anlaşılmaktadır.

3.1 VARSAYIMLAR

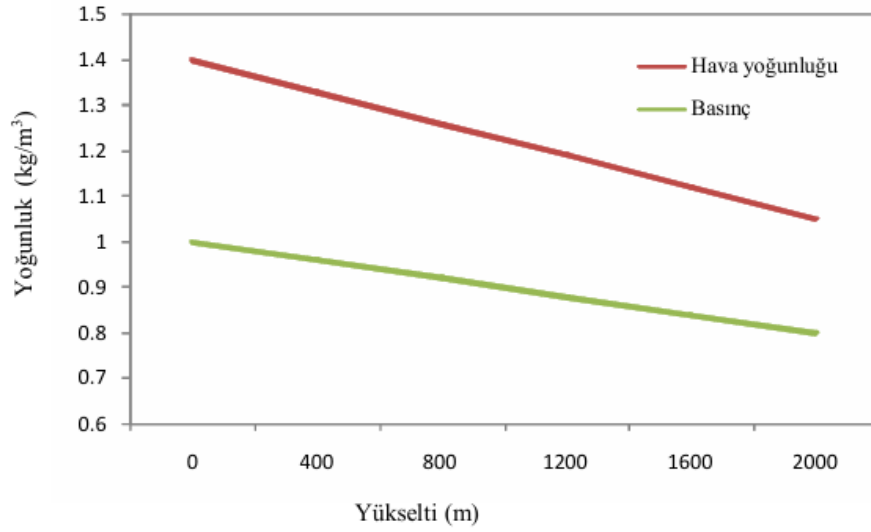
Çalışmada $C_{p,a}$ ve $C_{p,v,1}$ değerleri sırasıyla 1,004 kJ/kgK ve 1,861 kJ/kgK olarak alınmıştır. Gaz sabiti R_a , sıvı buhar sabiti R_v sırasıyla 0,287 kJ/kgK ve 0,4615 kJ/kgK olarak varsayılmıştır. Bunun yanı sıra referans çevre basıncı ve referans çevre sıcaklığı, ortamın yıllık ortalama değerleri olarak, sırasıyla 101,325 kPa ve 291,1 K olarak alınmıştır. Nem değerleri psikrometrik diyagram yardımıyla yıllık ortalama bağıl nem 0,671 kg_{su}/kg_{hava} ve özgül nem 0,0085 kg_{su buharı}/kg_{kuru hava} olarak alınmıştır. Ayrıca, aylık hesaplamalarda türbine giriş ve çıkıştaki basınç farkı 20 Pa ile 50 Pa arasında değişen değerler olarak kabul edilmiştir.

Şekil 7. 'de yoğunluk - sıcaklık grafiği bulunmaktadır. Grafikten de anlaşılabileceği üzere, sıcaklık yükseldikçe hava yoğunluğu azalmaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8 , 'Thermodynamics: an engineering approach' kitabından yararlanılarak oluşturulmuştur [20].



Şekil 7. Sıcaklık ile havanın yoğunluğu ilişkisi

Şekil 8. 'de hava basıncının ve yoğunluğunun yükselti (rakım) ile değişimi görülmektedir. Yükselti arttığında hava yoğunluğu azalmaktadır.



Şekil 8. Hava basıncının ve yoğunluğunun rakım ile değişimi [9].

4. ANALİZLER

4.1 ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Rüzgar türbinlerinin enerji verimi güç katsayısı ile belirtilir. Eşitlik 1’de belirtilen Betz kriteri ile C_p maksimum 0,5926 olarak alınabilir [14].

$$C_p = \frac{W_e}{\eta_{alternatör} \cdot \eta_{mekanik} \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_r^3} \quad (1)$$

Elektrik ve mekanik aksamın kaybı sırasıyla $\eta_{alternatör} = 0,98$, $\eta_{mekanik} = 0,97$ olarak alınmıştır. ρ ; hava yoğunluğu, R ; rotor yarıçapı V_r ; yerel rüzgar hızı. Rüzgar enerji sistemlerinde kinetik enerji biçimi olarak rüzgar hızı temel bir parametredir. Kısaca, hareket eden havanın ekserji miktarı kinetik enerji ile eşdeğerdir.

$$\frac{V_r^2}{2} \quad (2)$$

Kullanılabilir enerji miktarını belirlemek için birim sürede rüzgar türbinin rotorundan geçen hava hacmi ve kütle akışı değeri bilinmelidir. Ortalama çevresel koşullar dikkate alınarak bu çalışmada hava yoğunluğu $1,225 \text{ kg/m}^3$ olarak kabul edildi ve kütle akış değeri aşağıdaki denklemle hesaplandı:

$$\dot{m} = \rho A V_r = \rho \pi R^2 V_r \quad (3)$$

A; süpürme alanı, $\dot{m}$; havanın kütleli debisi. Ekserji verimi, faydalı iş (W_u), ekserji kaybı sırasıyla denklem (4-10) kullanılarak hesaplanmaktadır [21]. Türbinin ekserjetik verimi rüzgarın akış ekserjisinin, üretilen elektrik enerjine oranı olarak tanımlanabilir. Bunu rüzgar türbinlerine uygulayarak

Ekserji verimi hesaplanması:

$$\varepsilon = \frac{w_e}{w_u} = \frac{w_e}{\dot{E}_{x1} - \dot{E}_{x2}} \quad (4)$$

ε ; ekserji verimi, W_e ; invertör çıkışındaki güç, E_{x1} ; türbine giriş ekserji değeri, E_{x2} ; türbinden çıkış ekserji değeri. Faydalı iş :

$$w_u = (P_1 - P_2) \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (5)$$

Ekserji kaybı :

$$\dot{E}_{x_{dest}} = L_{ex} = w_u - w_e = (\dot{E}_{x1} - \dot{E}_{x2}) - w_e \quad (6)$$

$\dot{E}_{x_{dest}} = L_{ex}$; ekserji kaybı. Burada, akış ekserji değeri (E_x)

$$\dot{E}_x = \dot{m}\psi_a \quad (7)$$

ψ_a ; havanın özgül ekserjisi. Nemli havanın özgül ekserjisi denklem (9) veya (10) ile hesaplanır [22].

$$\begin{aligned} \psi_a = & (c_{p,a} + \omega c_{p,v})T_0 \left[\frac{T}{T_0} - 1 - \ln \frac{T}{T_0} \right] + (1 + 1.6078\omega)R_a T_0 \ln \frac{P}{P_0} + \\ & R_a T_0 \left\{ (1 + 1.6078\omega) \ln \left(\frac{1 + 1.6078\omega_a}{1 + 1.6078\omega} \right) + 1.6078\omega \ln \frac{\omega}{\omega_0} \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

veya

$$\psi_a = (c_{p,a} + \omega c_{p,v})(T - T_0) - T_0 \left[(c_{p,a} + \omega c_{p,v}) \ln \frac{T}{T_0} - (R_a + \omega R_v) \ln \frac{P}{P_0} \right] + T_0 \left[(R_a + \omega R_v) \ln \left(\frac{1+1.6078\omega_0}{1+1.6078\omega} \right) + 1.6078\omega R_a \ln \frac{\omega}{\omega_0} \right] \quad (9)$$

Özgül nem:

$$\omega = \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}} \quad (10)$$

$\dot{m}_w$; havanın su buharı kütleli debisi. Rex enerji sisteminde meydana gelen ekserji kayıplarının sermaye maliyet (K) oranını ifade eder

$$R_{ex} = \frac{L_{ex}}{K} \quad (11)$$

4.2 BELİRSİZLİK ANALİZİ

Çalışmada yer alan rüzgar santralinde konum belirlenirken ölçümlere etki edebilecek yapılar ve benzeri unsurlar göz önünde bulundurularak istasyonun rüzgarın geldiği yönde hiçbir engel bulunmaması temin edilmiştir. Deneysel sistem 2014'te faaliyete geçirilmiştir. Rüzgar verileri, 50 metre yüksekliğinde ölçülmüştür.

Bu sistem temelde üç ana devreden oluşmaktadır:

- Met One 034B Wind Sensor markalı bir rüzgar yön ölçer,
- Sıcaklık ölçümleri bir termometre aracılığıyla alınmıştır,
- Tüm sensörler, MAS'a bağlı bir veri kaydedici aracılığıyla zaman serisi verilerini toplamak üzere bağlanmıştır. Daha sonra veriler bilgisayara aktarılmış ve analiz edilmiştir.

Sistemin temel bileşenlerinin başlıca özellikleri Tablo 4'te sunulmuştur. Veri toplama işlemi her saniye aralıklarla gerçekleştirilmiş ve saatlik ortalama değerler de kaydedilmiştir. Bilindiği gibi, veri kaydı ile deneylerde ortaya çıkabilecek hatalar ve belirsizlikler; kullanılan cihazların türü, durumu, kalibrasyonu, çevresel etmenler, gözlem ve okuma yöntemleri ile test planlaması gibi etkenlerden kaynaklanabilir.

Tablo 4. Sistemin elemanlarının temel özellikleri

Özellik	Anemometre	Termometre	Rüzgar Yön Ölçer
Ölçüm Aralığı	0 - 75 m/s	(-40)°C ile(+70)°C	0 - 360 °
Doğruluk	0,1 m/s (0,25 mph)	± 0,9	± 2°
Çalışma Sıcaklığı	(-30)°C ile (+70)°C	(-40)°C ile(+70)°C	(-55)°C ile(+70)°C
Çözünürlük	0,10%	0,1	0,01°
Marka	Met One 034 B	Cambell Scientific CS215	Vaisala WMT700

$$\frac{\omega_{\eta_{ex}}}{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{\omega_{\dot{E}_{x2}}}{\dot{E}_{x2}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_{\dot{E}_{x1}}}{\dot{E}_{x1}}\right)^2} \quad (12)$$

$\omega_{\eta_{ex}}$; ekserji verimi belirsizliği, $\omega_{\dot{E}_{x2}}$; çıkan ekserji büyüklüğünün belirsizliği, $\omega_{\dot{E}_{x1}}$; giren ekserji büyüklüğünün belirsizliği. Denklem 12 kullanılarak ekserji verimi için toplam bağıl belirsizlik yaklaşık $\pm\%3,3$ olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değer, çalışmada hesaplanan ekserji verimlerinin kabul edilebilir doğruluk sınırları içerisinde olduğunu ve analiz sonuçlarının güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

4.3 SCADA KULLANILABİLİRLİK ANALİZİ

Kullanabilirlik teknik analizi, SCADA sisteminden elde edilen sistem verileri esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

T1:

- Rüzgar türbini herhangi bir arıza göstermediği durumda
- Rüzgar santralının veri toplayıcısı çalışır durumda olduğu zaman
- Rüzgar türbinin bağlantıları uygun şekilde yapıldığı durumda
- Rüzgar türbini çalışır durumda veya işletmeye hazır olduğu durumda

T2: Veri toplama süresi ve zaman aralığı dikkate alınarak başlama anına kadar geçen toplam süre.

T3: Şebeke bağlantısının bulunmadığı süre toplamı.

T4: Opsiyonel olarak rüzgar türbinin çalışmadığı toplam süre.

T5: Veri izleme sisteminin çalışmadığı veya kesintiye uğradığı toplam süre.

Teknik elverişlilik şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Teknik elverişlilik (\%)} = \frac{T_1}{T_2 - T_3 - T_4 - T_5} \times 100 \quad (13)$$

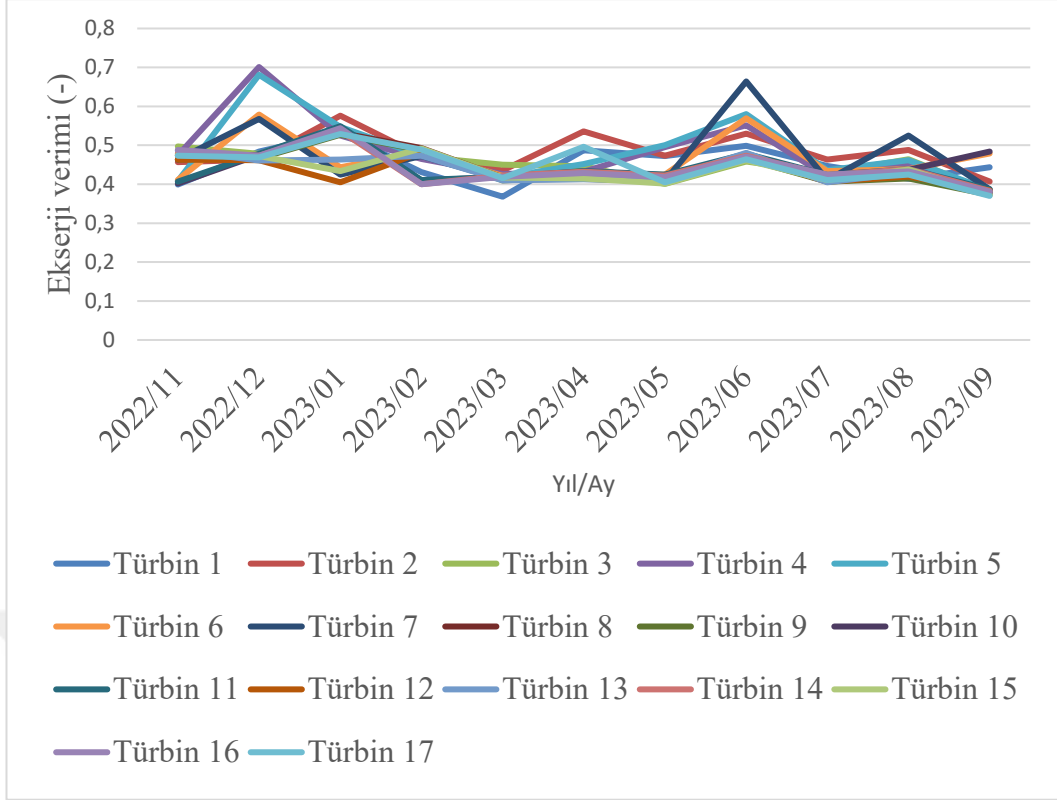
5.BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında, Aliğa Rüzgar Santralinin işletme performansı ve termodinamik verimliliği incelenmiştir. Rüzgar türbinine ait ölçüm çalışma verileri Kasım 2022 ile 31 Eylül 2023 tarihleri arasındaki temin edilmiştir. Ek-1 ile Ek-17 arasında yer alan tablolarda; esme süresi, rüzgar hızı, üretilen güç ve verim değerleri gibi performans parametreleri, 17 türbin için ayrı ayrı sunulmuştur. Ortalama rüzgar hızı, çalışma süresi ve üretilen güç değerleri sırasıyla; türbin 1 için 7,75 m/s, 612,91 saat; türbin 2 için 8,12 m/s, 576,45 saat; türbin 3 için 8,21 m/s, 581,27 saat; türbin 4 için 7,94 m/s, 571,27 saat; türbin 5 için 8,21 m/s, 569,91 saat; türbin 6 için 8,21 m/s, 570,91 saat; türbin 7 için 7,86 m/s 575,45 saat; türbin 8 için 8,06 m/s, 576,18 saat; türbin 9 için 7,85 m/s, 580,09 saat; türbin 10 için 8,27 m/s, 574,91 saat; türbin 11 için 8,32 m/s, 568,82 saat; türbin 12 için 7,90 m/s, 570,27 saat; türbin 13 için 8,14 m/s, 572,27 saat; türbin 14 için 8,19 m/s, 568,73 saat; türbin 15 için 7,93 m/s, 571,91 saat; türbin 16 için 8,16 m/s, 569,18 saat; türbin 17 için 7,84 m/s, 572,18 saat olarak belirlenmiştir. Ek içindeki tablolarda aylık kullanılabilir güç, teorik güç, ekserji ve teknik kullanılabilirlik değerleri de gösterilmektedir. Bu parametreler denklemler (4-10) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç farkı (ΔP) değerleri 10 Pa ile 50 Pa aralığında alınmıştır.

Tablo 5. Türbinlerin kullanılabilirlik oranları

Türbin No	Teknik Kullanılabilir Ortalama
Türbin 1	98,53
Türbin 2	97,55
Türbin 3	96,40
Türbin 4	97,02
Türbin 5	94,55
Türbin 6	96,55
Türbin 7	96,93
Türbin 8	97,88
Türbin 9	98,20
Türbin 10	98,38
Türbin 11	97,62
Türbin 12	97,64
Türbin 13	97,87
Türbin 14	98,17
Türbin 15	98,10
Türbin 16	98,23
Türbin 17	97,55

Aylık ortalama teknik kullanılabilirlik oranı Tablo 5’te belirtilmiştir. En düşük kullanılabilirlik değeri ortalama Türbin 5’te tespit edilmiştir. Bu düşük ortalamanın nedeni elektrik otomasyon arızaları ve mekanik aksaklıklardır.



Şekil 9. Aylık ekserji verim değeri

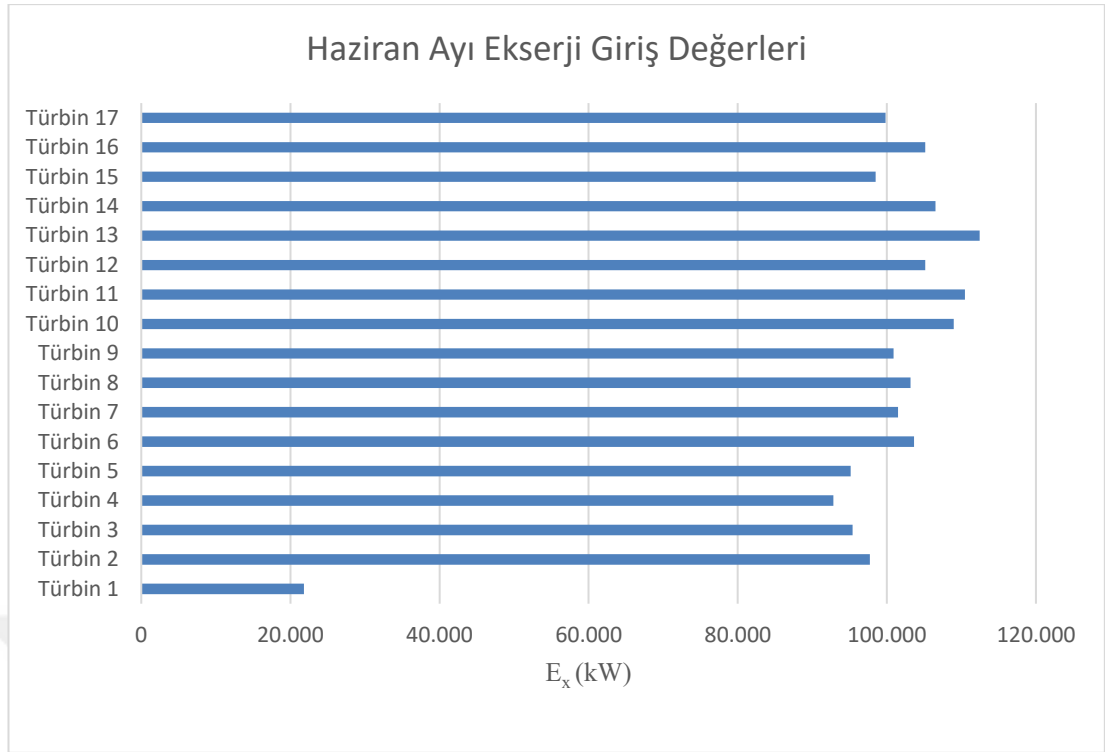
(Referans koşulları $T_0:291,1$ K, $P_0:101,325$ kPa, $\omega_0:0,0085$ kg_{su} buharı/kg_{kuru} hava)

Her bir türbine ait aylık ekserji verim değerleri Şekil 9’da sunulmuştur. Denklem 4 kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda aylık ekserji verimleri %0 ile %70 arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca aylık verim değerleri 17 türbin için benzer eğilimler gösterdiği belirtilmiştir.



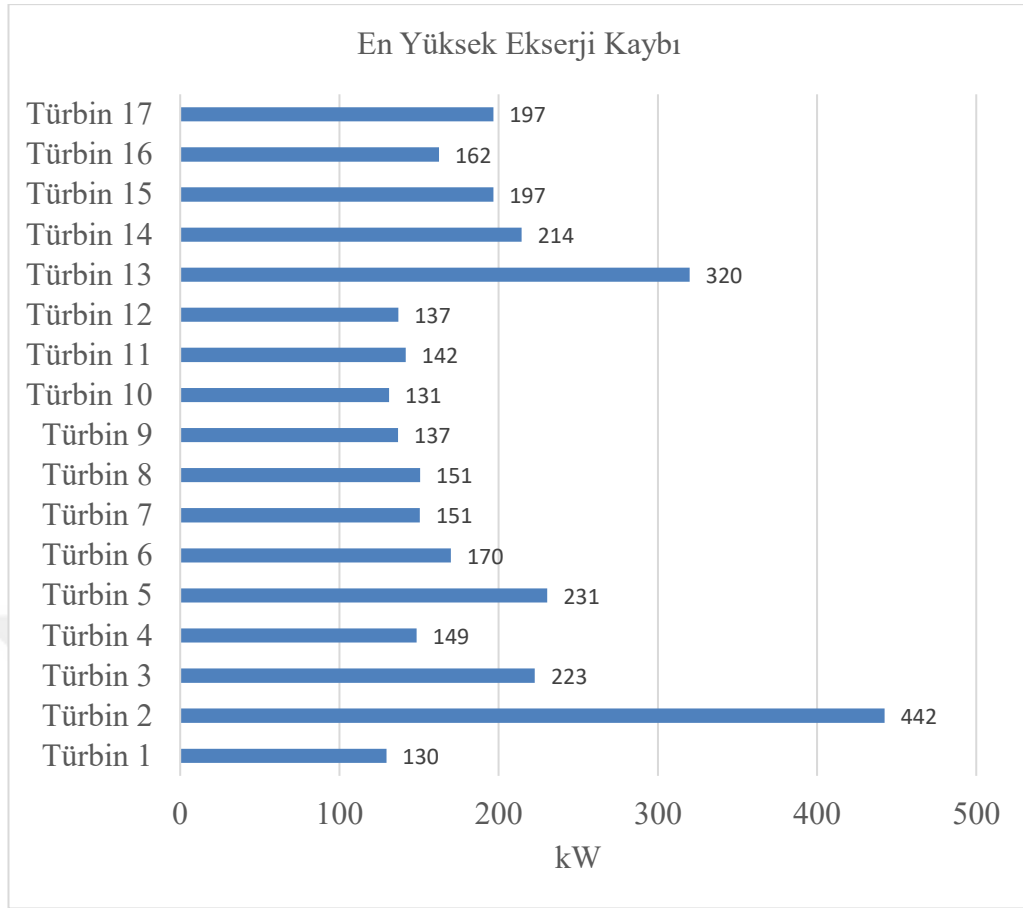
Şekil 10. Nisan ayı içerisindeki ekserji giriş değerleri

Şekil 10 'da , Nisan ayında sisteme girilen ekserji değerleri gösterilmiştir. Türbinlere giren ekserji değerleri farklı aylarda ve türbin konumlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin nisan ayı Türbin 5; 181,017 kW değerindeyken en yüksek giriş değerinde ölçülürken, Türbin 1; 44,146 kW değerinde en düşük giriş değeri olarak ölçülmüştür. Bu farklılıklar, büyük ölçüde türbinlerin yerleşim konumu ve çevresel koşullardan kaynaklanmaktadır. Yapılan yıllık değerlendirme, yüksek özgül ekserji değerlerinde ekserji veriminin düşme eğiliminde olduğunu göstermektedir; bunun temel nedeni sistemde meydana gelen ekserji kayıplarının artmasıdır. Sonuç olarak, türbinlerin yerleşim farkları ve çevresel koşullar, yıllık ekserji üretimini ve performansını önemli ölçüde etkilemektedir.



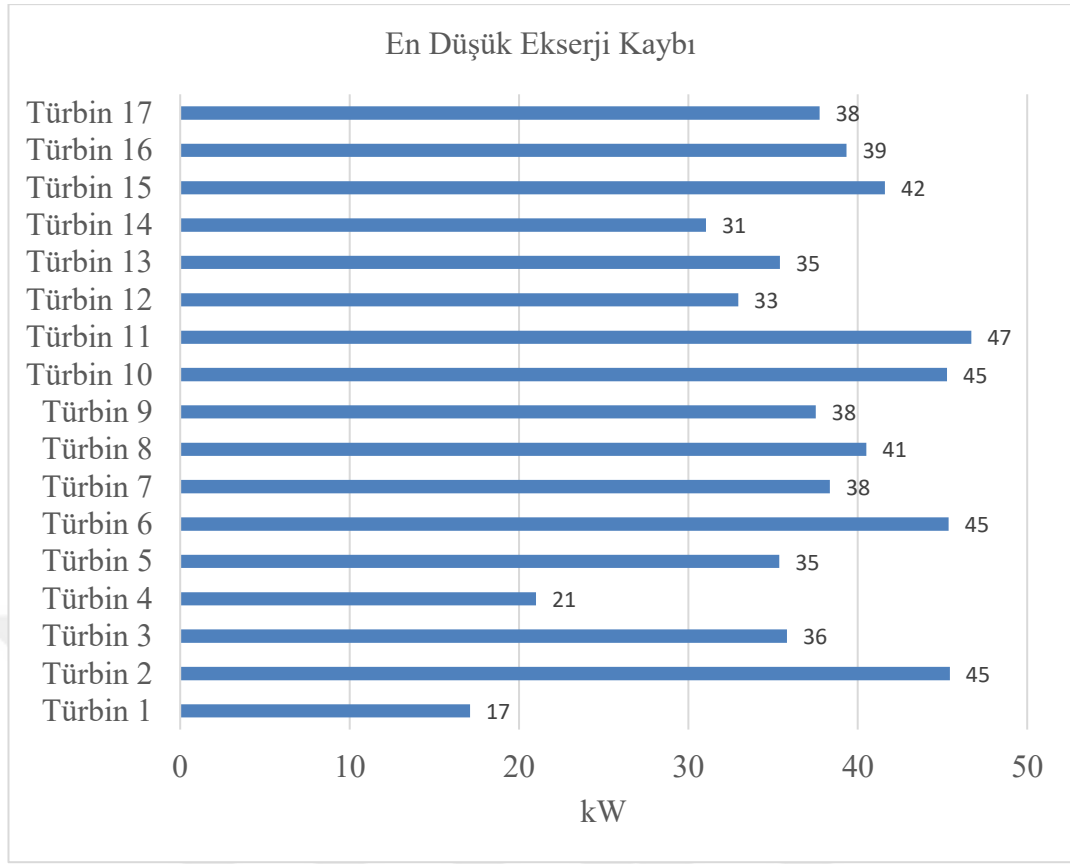
Şekil 11. Haziran ayı içerisindeki ekserji giriş değerleri

Şekil 11’de Haziran ayı içerisindeki tüm türbinler için hesaplanan ekserji giriş değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Grafik incelendiğinde, türbinler arasında belirgin bir farklılık olduğu görülmektedir. Özellikle türbin 1’in Haziran ayı içerisinde en düşük ekserji giriş değerine sahip olduğu belirtilmiştir.



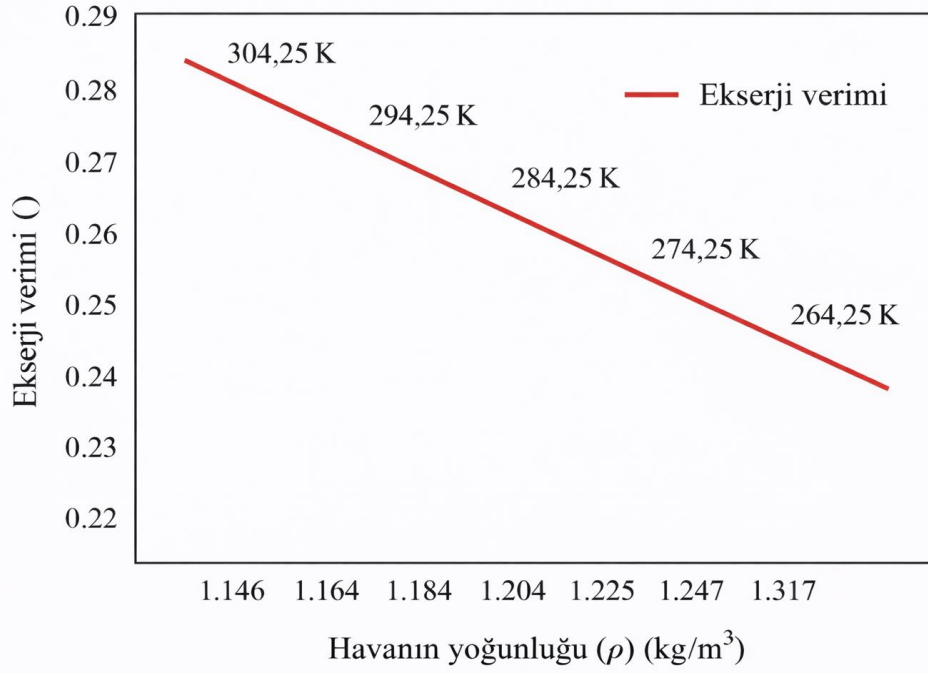
Şekil 12. Türbinlerin yıl içerisindeki en yüksek ekserji kayıpları

Şekil 12’de Türbinlerin yıl içerisindeki en yüksek ekserji kayıpları sonuçları gösterilmiştir. Yıl içerisinde en yüksek enerji kaybı türbin 2 için 442 kW olarak ölçülmüştür. Esen rüzgar hızının yüksek olmasına rağmen bu enerjinin elektrik üretiminde verimli şekilde kullanılamaması, sistemde ekserji kayıplarının artmasına neden olmaktadır.



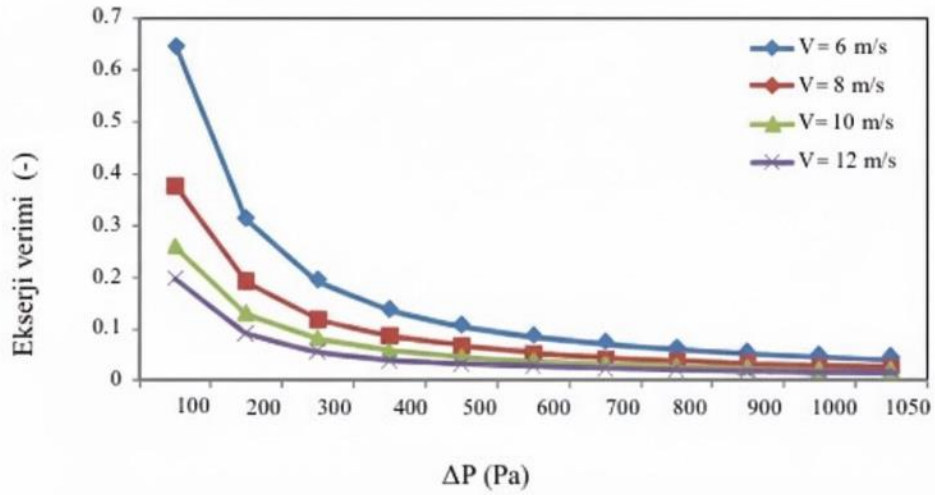
Şekil 13. Türbinlerin yıl içerisindeki en düşük ekserji kayıpları

Şekil 13'te Türbinlerin yıl içerisindeki en düşük ekserji kayıpları sonuçları gösterilmiştir. Yıl içerisinde en düşük ekserji kaybı türbin 1 için 17,11 kW olarak ölçülmüştür.



Şekil 14. Ekserji verimi- hava yoğunluğu grafiği [9].

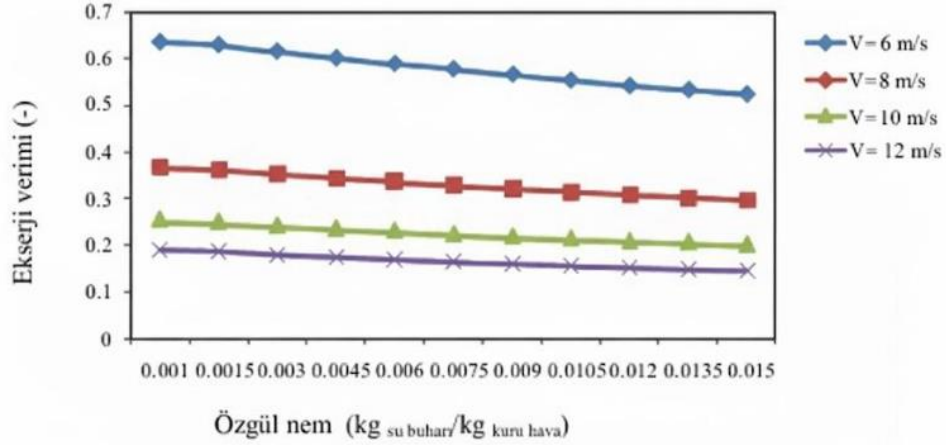
Sıcaklık hava yoğunluğunu değiştiren bir parametredir. Ortam sıcaklığı ile yoğunluk ters etkileşimdedir, ortamın sıcaklığı arttığında hava yoğunluğu azalır. 10 K ‘lık alınan değerlerde sıcaklığın 264,25 K ile 304,25 K arasında değiştiği kısımlarda, ekserji verimi %24 ile %28 aralığındaki oranlarda değişmektedir. Rüzgâr türbininin ekserji verimi üzerinde sıcaklık aralığı önemli bir etken olarak öne çıkmaktadır. Şekil 14 ‘te gösterildiği gibi sıcaklık artışı ekserji verimini olumlu yönde etkilemektedir.



Şekil 15. Farklı rüzgar hızlarında ekserji verimi- ΔP değişimi [9].

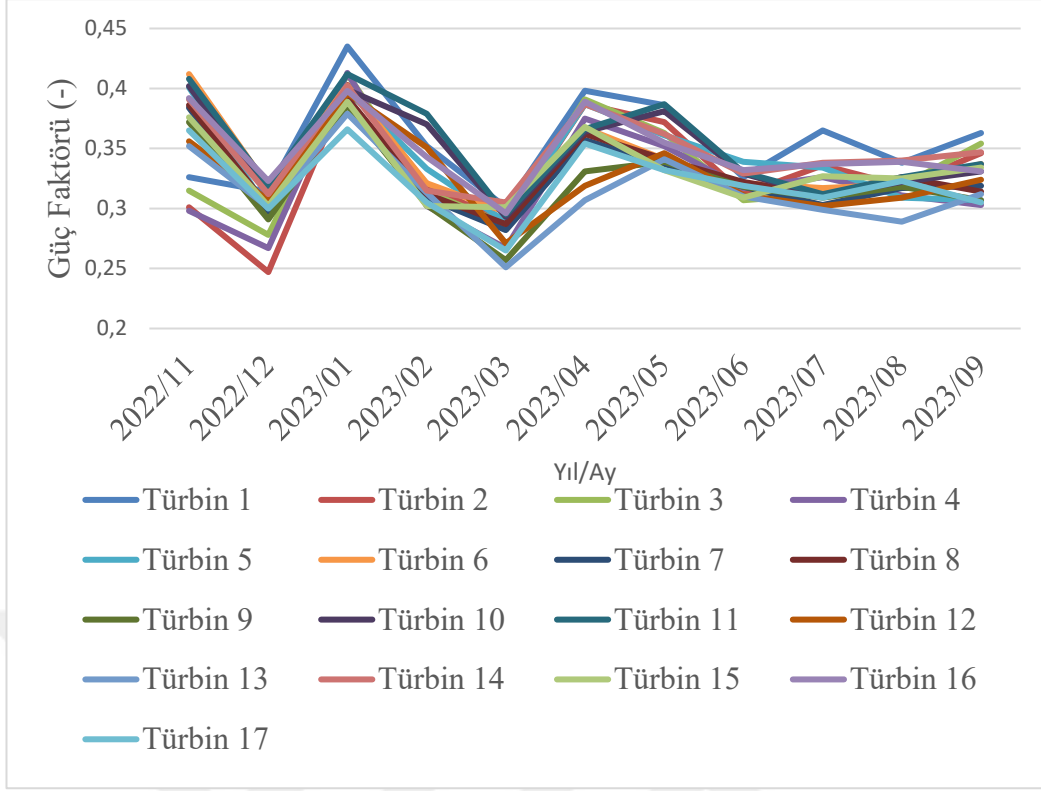
Şekil 16’te Farklı rüzgar hızlarında ekserji verimi- ΔP değişimi verilmiştir. Bu çalışmada, sistemin giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç farkının ekserji verimi üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Analiz kapsamında, basınç farkı (ΔP) değerleri 100 Pa ile 1050 Pa aralığında sistematik olarak değiştirilmiş ve bu değişimin ekserji verimine olan yansımaları detaylı biçimde gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, şekil üzerinde de açıkça görülebileceği gibi ΔP değerinin artmasıyla birlikte ekserji veriminde belirgin bir azalma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Farklı rüzgar hızları için gerçekleştirilen bu incelemeler, özellikle düşük rüzgar hızlarında sistemin daha yüksek ekserji verimlerine ulaştığını göstermektedir.

Basınç farkındaki artışın ekserji verimini düşürmesinin temel nedeni, sistemde meydana gelen ekserji kayıplarının artmasıdır. Giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç farkı büyüdükçe enerji dönüşüm sürecinde kullanılabilir enerji miktarı azalmakta ve bu durum verim üzerinde olumsuz bir etki yaratmaktadır.



Şekil 17.Farklı rüzgar hızlarında özgül nemin ekserji verimine etkisi [9].

Şekil 16 bir diğer önemli meteorolojik parametre olan özgül nemin ekserji verimi üzerindeki etkisi, farklı rüzgar hızları için detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu analizde, nem değerleri 1 atm atmosferik basınç koşulları altında, psikrometrik tablo yardımıyla özgül nem olarak belirlenmiştir [23]. Elde edilen sonuçlar, özgül nem değerinin artmasının ekserji veriminde belirgin bir düşüşe yol açtığını göstermektedir. Özellikle yüksek rüzgar hızlarında, sistemde oluşan ekserji kayıplarının artması nedeniyle ekserji verimi daha düşük seviyelerde ölçülmüştür. Rüzgar hızının artmasıyla birlikte ekserji verimi belirgin biçimde azalmaktadır. Bu durum yüksek hızlarda sistemde meydana gelen ekserji kayıplarının artmasından kaynaklanmaktadır ve enerji dönüşüm sürecindeki verim kaybını açıklamaktadır. Dolayısıyla, özgül nem ve rüzgar hızı gibi çevresel koşulların dikkatle değerlendirilmesi, sistem performansının en üst düzeye çıkarılması açısından önemli rol taşımaktadır.



Şekil 18. Aylık ortalama güç faktörü değerleri

Şekil 17’de aylık ortalama güç faktörü değerleri verilmiştir. Bu grafikte değerler 0,247 ile 0,435 arasında değiştiği görülmektedir. Betz yasasına göre tanımlanan teorik üst sınır 0,593 değerinin altında yer almaktadır. Bu türbinlerin fiziksel olarak anlamlı ve güvenilir performans değerleri sunduğunu göstermektedir.

Tablo 6. Türbinlerin R_{ex} değerleri

Türbin No	Ekserji Kaybı Toplam (kW)	R_{ex}
Türbin 1	944,43	0,104937
Türbin 2	1.682,60	0,186956
Türbin 3	1.003,75	0,111528
Türbin 4	715,15	0,079461
Türbin 5	986,80	0,109644
Türbin 6	1.158,64	0,128738
Türbin 7	1.114,96	0,123884
Türbin 8	1.067,78	0,118642
Türbin 9	967,26	0,107473
Türbin 10	1.044,18	0,11602
Türbin 11	1.104,79	0,122754
Türbin 12	954,80	0,106089
Türbin 13	1.558,76	0,173196
Türbin 14	1.005,95	0,111772
Türbin 15	1.212,67	0,134741
Türbin 16	974,73	0,108303
Türbin 17	1.101,78	0,12242

Bu çalışmada ekonomik analiz kısmı eksergoekonomik modeli olarak ele alınmıştır. Tablo 6’da türbinlerin R_{ex} değerleri verilmiştir. Yıl içerisindeki ekserji kaybı toplamı maliyet oranından türbinlerin R_{ex} değerleri bulunmuştur. R_{ex} değerleri 0,079 – 0,187 arasındadır. Elde edilen bu değerler literatürde enerji sistemleri için kabul edilebilir aralıklar içerisinde yer almaktadır. Ekserji kayıplarının sermaye maliyeti üzerinde belirleyici bir ekonomik yük oluşturmadığını göstermektedir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İzmir-Aliaga Rüzgar Santrali'nin ekserji performansı kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, sistemin performansına ilişkin sonuçlar ve geliştirilmesi mümkün olan öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Türbinlerin aylık bazda ekserji verim değerleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, aylık ekserji verim oranlarının %0 ile %70 arasında değiştiği belirlenmiştir.
- Her bir türbin için enerji verimi ile ekserji verimi arasındaki ilişkiyi ortaya koyan korelasyonlar geliştirilmiş ve bu sayede iki verim türü arasındaki bağlantılar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.
- Çevre sıcaklığı ve hava yoğunluğu gibi çevresel faktörlere bağlı olarak ekserji verimi %24 ile %28 arasında değişim göstermektedir. Bu durum, çevresel koşulların sistem performansı üzerindeki etkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.
- Türbin giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç farkı (ΔP) ile çevresel özgül nem değerleri arttığında, sistemin ekserji veriminde düşüş meydana geldiği hesaplanmıştır. Bu sonuç, hem basınç farkının hem de nemin enerji dönüşüm verimliliği üzerindeki olumsuz etkisini göstermektedir.
- Türbinlere ait güç faktörü değerleri yapılan hesaplamalar sonucunda 0,247 ile 0,435 aralığında belirlenmiştir. Bu değerler, türbinlerin enerji üretim performansındaki değişkenliği ve sistemin çalışma verimliliği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.
- Türbinler için aylık teknik kullanılabilirlik değerleri incelenmiştir.
- Maliyet analizi ekserjoekonomik analizi ile incelenmiştir

Rüzgar türbinlerinin performansını etkileyen başlıca çevresel faktörler arasında; atmosfer sıcaklığı, hava nemi, basınç ve havanın yoğunluğu gibi meteorolojik parametreler önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu parametrelerin türbinlerin verimliliği üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde analiz edilmiş ve her bir parametrenin ekserji performansı üzerindeki rolü detaylı biçimde ortaya konmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda, meteorolojik koşulların sistemin enerji dönüşüm

etkinliği üzerinde doğrudan etkili olduğu ve belirli parametrelerin değişimlerinin verim değerlerinde kayda değer farklılıklar oluşturduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, rüzgar santrallerinin kurulumu sırasında bu çevresel faktörlerin dikkatle değerlendirilmesinin, uygun kurulum sahasının sečilmesinde ve santralin genel performansının artırılmasında kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, aynı rüzgar hızı ve çalışma süresi altında bile ekserji veriminde gözlemlenen farklılıklar, meteorolojik parametrelerin türbinlerin işleyişindeki belirleyici etkisini açıkça ortaya koymakta ve sistem performansının yalnızca makine tasarımıyla değil, ayrıca çevresel koşullarla doğrudan bir ilişki içerisinde olduğunu da ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, santral tasarımı ve işletme stratejilerinde meteorolojik parametrelerin optimize edilmesi, hem enerji verimliliğini yükseltmek hem de ekserji kayıplarını en aza indirmek açısından kritik öneme sahiptir.

Ekserji analizi, enerji sistemlerindeki verim kayıplarını hassas bir şekilde tespit edebilme özelliği sayesinde sistem performans değerlendirmelerinde oldukça etkili ve güvenilir bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Bu analiz yöntemi yalnızca geleneksel enerji üretim sistemlerinin geliştirilmesinde değil, aynı zamanda rüzgar enerji sistemlerinin optimizasyonunda da büyük önem taşımaktadır. Rüzgar türbinleri ve rüzgar santrallerinde ekserji analizi enerji dönüşüm süreçlerinde meydana gelen kayıpları ortaya koymakta ve sistemin hangi noktalarında iyileştirme yapılabileceğine dair önemli bilgiler sağlamaktadır. Dolayısıyla ekserji analizinin uygulanması, hem rüzgar enerji sistemlerinin verimliliğini artırmanın yanı sıra enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlamak bakımından da önemli bir rol üstlenmektedir.

7. KAYNAKÇA

- 1– Anonim, 2025a, <https://www.teias.gov.tr>
- 2- Global Wind Energy Council (GWEC). (2025). *Wind industry installs record capacity in 2024 despite policy instability*.
- 3– Anonim, 2025b, WindEurope. (2025). *Wind energy and the environment* .
- 4- <https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads>
- 5- American Clean Power Association. (2025).
- 6- Betz, A. (1920). Introduction to the theory of wind energy. *Journal of Applied Physics*, 1(3), 9–15.
- 7- Bejan, A., Tsatsaronis, G., & Moran, M. (1996). *Thermodynamic Optimization of Complex Energy Systems*. Springer.
- 8- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (7th ed.). McGraw Hill.
- 9- Baskut, Ö. (2010), Rüzgar güç tesislerinin ekserji analizi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 15-26
- 10- Ozgener, L. (2010). Investigation of wind energy potential of Muradiye in Manisa, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3232-3236.
- 11- Baskut, O., Ozgener, O., & Ozgener, L. (2011). Second law analysis of wind turbine power plants: Cesme, Izmir example. *Energy*, 36(5), 2535-2542.
- 12- Baskut, O., Ozgener, O., & Ozgener, L. (2010). Effects of meteorological variables on exergetic efficiency of wind turbine power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3237-3241.
- 13- Baskut, O., & Ozgener, L. (2012). Exergoeconomic assessment of a wind turbine power plant (WTPP): Cesme, Izmir, example. *Energy*, 47(1), 577-581.
- 14- Ozgener, O., Ozgener, L., & Dincer, I. (2009). Analysis of some exergoeconomic parameters of small wind turbine system. *International Journal of Green Energy*, 6(1), 42-56.
- 15- Ozgener, O., & Ozgener, L. (2007). Exergy and reliability analysis of wind turbine systems: a case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(8), 1811-1826.

- 16- Lund, H., Østergaard, P. A., Connolly, D., & Mathiesen, B. V. (2017). Renewable energy systems: Case studies and policy recommendations. *Energy Policy*, 107, 220
- 17- Atalay, H., & Aslan, V. (2023). Advanced exergoeconomic and exergy performance assessments of a wind and solar energy powered hybrid dryer. *Renewable Energy*, 209, 218-230.
- 18- Anonim, 2016c, İzka, İzmir’de rüzgar enerjisi sektöründe yatırım sunumu
- 19Anonim,2025d,https://www.google.com/maps/search/36,45678+E+28,5678+N+Aliğa+izmir/@38.8147779,26.899063,1634m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MTEwMC4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D
https://www.google.com/maps/search/36,45678+E+28,5678+N+Aliğa+izmir/@38.8147779,26.899063,1634m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MTEwMC4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D
- 20- Cengel, Y.A. and Boles, M.A., 1994, Thermodynamics an engineering approach. New York: McGraw-Hill.
- 21- Betz, A., 1946, Windenergie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen Gottingen: Vandenhoeck und Ruprecht, Gottingen.
- 22- Wepfer, W.J., Gaggioli, R.A. and Obert, E.F., 1979, Proper evaluation of available energy for HVAC. ASHRAE Transactions: 85(1): 214–30.
- 23- Zhang, Z. and Pate, M., 1988, A methodology for implementing a psychrometric chart in a computer graphics system. ASHRAE Transactions; 94, 1.

ÖZGEÇMİŞ

Kaan KUM, 1999 yılında İzmir’de doğmuştur. Liseyi İzmir Atatürk Lisesinde tamamlamıştır. Lisans eğitimi Akdeniz Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nde Enerji Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine 2023 yılında başlamıştır.



Ek-1

*Türbin 1 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütleli Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanılabilirlik (%)
2022/11	6,39	565	0,326	297549,06	290,12	97000,99232	462,56	28510,95987	4221,241	0-0,399	72,71	97,82
2022/12	5,74	487	0,314	267144,44	137,98	83883,35341	386,25	27612,22119	5804,512	0-0,384	62,75	92,62
2023/01	7,88	652	0,435	366759,68	204,56	159540,4612	328,63	41805,13379	11865,568	0-0,532	129,6	98,75
2023/02	7,00	536	0,352	325779,5	239,82	114674,3829	380,12	39162,86564	12568,621	0-0,431	88,8	99,21
2023/03	8,36	672	0,301	388889,93	379,31	117055,8698	598,41	32192,98698	446,87	0-0,368	85,09	98,65
2023/04	11,55	621	0,398	537702,57	190,8	214005,6218	308,99	44146,77814	252,691	0-0,487	17,11	99,61
2023/05	6,82	648	0,386	317280,73	115,63	122470,3604	213,68	26958,15846	1057,691	0-0,472	96,69	99,48
2023/06	5,38	638	0,326	250523,73	216,35	81670,73467	336,59	21808,60541	1357,689	0-0,499	61,19	99,87
2023/07	9,54	671	0,365	443863,61	291,54	162010,2172	462,58	38141,72699	1907,963	0-0,447	125,77	98,91
2023/08	10,72	660	0,338	498967,48	237,64	168651,0087	428,87	42513,15529	1781,116	0-0,414	127,91	99,62
2023/09	5,82	592	0,363	271110,67	175,1	98413,1738	283,62	23075,1354	943,652	0-0,444	76,81	99,31

Ek-2

*Türbin 2 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütesel Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanabilirlik (%)
2022/11	6,48	492	0,301	301596,37	301,08	6332076,149	462,28	28861,322	4241,21	0-0,457	63,07456	95,51
2022/12	5,82	508	0,247	270878,22	142,63	4587647,76	396,25	49923,668	5698,652	0-0,463	45,43423	89,62
2023/01	8,82	537	0,403	410506,17	212,26	15967130,21	382,93	44261,068	10750,36	0-0,576	159,3362	98,78
2023/02	7,12	561	0,32	331383,67	247,17	8399648,11	368,92	60686,5004	11993,39	0-0,472	83,50955	99,12
2023/03	8,40	576	0,287	390958,26	386,82	13793007,41	618,41	102562,922	435,05	0-0,435	136,9088	99,87
2023/04	12,40	593	0,387	577128,86	197,18	44369666,76	305,12	132162,818	247,65	0-0,536	442,3775	98,21
2023/05	7,02	618	0,372	326729,4	119,21	8050677,836	217,93	110353,2008	998,87	0-0,473	79,41324	96,35
2023/06	6,04	642	0,312	281117,61	218,62	5127810,028	331,82	97731,9212	1348,742	0-0,53	50,31427	97,45
2023/07	9,80	659	0,336	456117,97	294,31	21902784,92	460,25	135944,485	1901,653	0-0,463	217,6874	98,75
2023/08	11,54	671	0,319	537102,18	235,46	35763378,4	418,78	93847,5716	1772,912	0-0,488	356,713	99,52
2023/09	5,92	484	0,346	275532,49	178,14	4828210,894	296,89	45923,721	938,825	0-0,407	47,83226	99,87

Ek-3

*Türbin 3 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütlesel Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanabilirlik (%)
2022/11	6,72	497	0,315	312766,61	284,67	7062019,795	589,63	40057,3932	4312,638	0-0,1497	70,26	94,78
2022/12	5,89	512	0,278	274136,21	119,34	4755180,379	326,4	66100,8102	5678,952	0-0,478	46,94	80,8
2023/01	8,74	643	0,412	406782,76	341,22	15536579,42	679,21	57252,0684	10762,61	0-0,534	154,9	98,36
2023/02	7,09	589	0,314	329987,39	267,85	8293919,522	390,54	60471,9228	11983,98	0-0,471	82,45	98,71
2023/03	8,87	661	0,287	412833,31	195,48	16240222,35	478,37	108307,3196	465,15	0-0,450	161,32	99,12
2023/04	12,37	524	0,391	575732,58	423,11	44048407,35	703,99	178846,0264	251,43	0-0,446	43,86	99,89
2023/05	7,15	497	0,363	332779,95	156,72	8506271,433	344,88	85201,871	988,17	0-0,401	84,22	97,14
2023/06	6,19	673	0,307	288099	378,59	5519415,114	621,32	95410,776	1337,632	0-0,458	54,25	96,54
2023/07	9,87	556	0,312	459375,96	312,44	22375490,76	536,7	99391,6358	1891,433	0-0,429	222,77	95,14
2023/08	11,56	600	0,319	538033,03	226,03	35949645,63	590,11	137937,1214	1781,823	0-0,464	35,82	99,98
2023/09	5,89	642	0,354	274136,21	487,28	4755180,379	694,27	59119,8246	935,813	0-0,381	46,96	99,93

Ek-4

*Türbin 4 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütleli Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanılabilirlik (%)
2022/11	6,32	484	0,298	294149,55	241,86	5874519,453	368,94	37909,9022	4292,811	0-0,474	58,4	95,65
2022/12	5,57	599	0,267	259242,56	158,32	4021487,258	444,23	62807,0086	5667,832	0-0,701	39,64	85,78
2023/01	8,62	672	0,413	401197,64	409,77	14905375,07	621,58	56608,6392	10757,48	0-0,525	148,59	98,66
2023/02	6,98	525	0,302	324867,7	296,44	7913842,072	511,47	59712,4386	11976,777	0-0,465	78,66	99,12
2023/03	8,12	643	0,267	377926,32	187,91	12459172,51	684,36	99184,8296	461,22	0-0,426	123,6	99,87
2023/04	12,02	512	0,375	559442,65	523,68	40414249,14	704,32	173791,7044	250,31	0-0,432	40,24	99,99
2023/05	6,96	571	0,352	323936,84	133,25	7846009,511	545,11	82954,8344	978,98	0-0,495	77,64	99,99
2023/06	6,02	484	0,317	280186,75	362,08	5077040,002	592,8	92835,865	1346,313	0-0,551	49,85	95,14
2023/07	9,68	657	0,326	450532,85	478,56	21108004,76	681,29	97511,6332	1888,334	0-0,420	21,01	96,35
2023/08	11,32	600	0,311	526862,8	219,47	33756731,7	487,66	135105,2078	1776,663	0-0,453	33,62	97,8
2023/09	5,76	537	0,303	268085,66	344,19	4447219,463	650,04	57833,4744	933,66	0-0,378	43,9	98,87

Ek-5

*Türbin 5 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütlesel Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanabilirlik (%)
2022/11	6,91	491	0,401	321609,71	173,42	7678126,333	314,59	41188,2066	4432,811	0-0,408	76,41	96,22
2022/12	5,87	608	0,298	273205,36	298,17	4706904,807	669,83	65908,5226	5691,832	0-0,681	46,46	95,85
2023/01	8,91	673	0,398	414695,01	127,68	16460924,52	518,44	58164,7956	10771,08	0-0,547	160,07	73,29
2023/02	7,14	559	0,333	332314,52	411,25	8470630,677	703,9	60821,9008	11992,012	0-0,473	84,21	92,86
2023/03	8,15	484	0,289	379322,6	263,9	12597777,62	523,71	99558,132	469,78	0-0,427	120,17	97,96
2023/04	12,52	647	0,387	582713,98	156,38	45670324,57	452,66	181017,7644	257,51	0-0,452	45,79	99,33
2023/05	7,14	525	0,361	332314,52	355,47	8470630,677	592,11	85078,9096	982,99	0-0,500	83,86	99,58
2023/06	6,17	593	0,339	287168,15	487,63	5466087,802	691,24	95130,194	1361,002	0-0,58	53,72	99,55
2023/07	10,01	662	0,334	465891,93	221,04	23341208,81	415,82	100774,3984	1891,214	0-0,436	230,57	92,63
2023/08	11,52	507	0,309	536171,33	342,88	35577755,7	567,09	137467,8848	1783,712	0-0,462	35,37	95,87
2023/09	6,02	520	0,307	280186,75	193,55	5077040,002	386,42	60406,9788	938,77	0-0,385	50,17	96,87

Ek-6

*Türbin 6 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütleli Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanılabilirlik (%)
2022/11	6,95	498	0,412	323471,42	267,49	7812239,072	509,67	41403,16	4434,998	0-0,411	77,75	94,23
2022/12	5,91	612	0,318	275067,06	153,82	4803784,915	428,53	66321,8178	5694,792	0-0,579	47,43	81,63
2023/01	8,87	671	0,402	412833,31	392,61	16240222,35	680,11	57955,0292	10774,08	0-0,444	160,06	99,17
2023/02	7,34	524	0,321	341623,05	219,35	9202573,423	442,85	62193,4188	11995,746	0-0,483	91,51	98,36
2023/03	7,98	486	0,297	371410,35	481,27	11825779,73	703,94	97494,3204	472,842	0-0,421	120,93	93,96
2023/04	11,72	653	0,367	545479,86	174,96	37463120,26	573,22	169468,4594	258,381	0-0,421	170,06	99,87
2023/05	7,98	599	0,341	371410,35	318,44	11825779,73	496,71	94976,6772	987,12	0-0,425	120,67	99,86
2023/06	6,73	537	0,321	313232,03	285,73	7093593,608	699,35	103644,959	1365,111	0-0,569	69,91	99,12
2023/07	9,98	642	0,317	464495,65	132,58	23131976,12	644,2	100483,8382	1897,007	0-0,434	123,34	97,54
2023/08	11,02	567	0,32	512900	357,12	31143390,76	537,88	131582,1348	1787,032	0-0,439	131,61	98,67
2023/09	5,82	491	0,337	270878,22	443,09	4587647,76	682,44	58433,6478	941,127	0-0,479	45,37	99,66

Ek-7

*Türbin 7 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütleli Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanılabilirlik (%)
2022/11	6,12	492	0,384	284841,02	184,57	5334274,712	512,4	36981,0702	4427,811	0-0,463	53,01	96,58
2022/12	5,51	675	0,296	256450	312,44	3892923,845	603,17	62206,8508	5683,177	0-0,568	38,36	78,71
2023/01	8,62	563	0,391	401197,64	129,68	14905375,07	429,88	56624,0962	10772,937	0-0,425	150,52	99,76
2023/02	7,12	517	0,309	331383,67	398,12	8399648,11	680,21	60685,0094	11991,899	0-0,472	83,5	97,33
2023/03	7,67	641	0,282	356982,13	241,89	10500432,88	514,33	93723,0976	470,624	0-0,412	100,64	99,91
2023/04	11,51	599	0,357	535705,9	157,36	35485185,7	392,75	166435,0452	256,888	0-0,413	135,62	99,83
2023/05	7,41	488	0,337	344881,04	363,75	9468381,22	587,96	88261,3864	985,369	0-0,408	93,81	96,88
2023/06	6,59	654	0,318	306716,06	277,48	6660047,939	495,64	101514,981	1362,797	0-0,664	65,59	97,63
2023/07	9,47	527	0,303	440758,9	421,06	19763827,22	699,12	95443,7958	1894,969	0-0,411	120,87	99,69
2023/08	10,68	603	0,317	497075,5	202,83	28348812,37	411,09	127576,5342	1785,999	0-0,525	128,68	99,96
2023/09	5,78	571	0,319	269016,52	335,29	4493705,703	558,44	58037,1162	939,733	0-0,387	144,36	99,93

Ek-8

*Türbin 8 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütsel Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanabilirlik (%)
2022/11	6,34	486	0,386	295080,4	138,57	5930466,883	489,53	38153,4644	4429,99	0-0,475	58,96	95,86
2022/12	5,61	617	0,301	261104,27	267,34	4108749,793	512,87	63236,2288	5686,717	0-0,475	40,51	91,63
2023/01	8,72	652	0,392	405851,91	319,88	15430164,86	603,21	57159,8922	10776,817	0-0,532	150,67	97,84
2023/02	7,55	534	0,312	351397,01	157,42	10015253,96	421,68	63627,782	11993,936	0-0,493	99,63	99,36
2023/03	7,82	675	0,287	363963,52	412,76	11128621,47	691,34	95548,9706	472,785	0-0,417	110,96	99,97
2023/04	11,88	492	0,362	552926,68	221,05	39018487,75	399,72	171780,0256	259,912	0-0,427	139,74	99,34
2023/05	7,63	559	0,341	355120,42	352,61	10337004,97	578,46	90854,9922	987,784	0-0,415	100,88	98,67
2023/06	6,70	601	0,322	311835,76	184,93	6999153,521	344,95	103191,041	1367,121	0-0,468	68,97	99,87
2023/07	9,69	643	0,311	450998,28	298,47	21173489,73	512,44	97620,0846	1898,001	0-0,421	121,33	99,64
2023/08	10,84	507	0,326	504522,33	436,12	29642099,32	704,32	129462,7916	1787,754	0-0,432	130,12	99,88
2023/09	5,85	572	0,314	272274,5	375,28	4658957,081	632,88	58732,318	943,444	0-0,380	46,01	94,62

Ek-9

*Türbin 9 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütsel Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanılabilirlik (%)
2022/11	6,12	495	0,372	284841,02	147,86	5334274,712	512,88	36970,3792	4417,12	0-0,463	53,01	99,31
2022/12	5,47	668	0,291	254588,3	318,47	3808755,465	591,22	61773,2506	5659,912	0-0,467	37,52	98,34
2023/01	8,65	483	0,386	402593,92	192,55	15061541,88	428,63	56769,835	10759,101	0-0,527	105,62	97,89
2023/02	7,41	527	0,303	344881,04	259,34	9468381,22	473,51	62658,2162	11981,819	0-0,487	94,17	96,99
2023/03	7,59	641	0,257	353258,71	403,12	10175281,65	654,39	92749,9382	470,111	0-0,410	100,07	99,98
2023/04	11,63	589	0,331	541291,02	133,29	36606672,65	292,74	168147,4566	236,773	0-0,418	136,87	97,45
2023/05	7,54	601	0,339	350931,58	276,48	9975510,935	498,36	89787,8066	980,631	0-0,412	98,86	99,31
2023/06	6,55	513	0,318	304854,36	351,66	6539507,036	583,21	100898,401	1354,121	0-0,465	64,39	99,78
2023/07	9,39	675	0,309	437035,48	225,77	19267168,18	401,18	94639,6726	1881,121	0-0,407	109,67	99,24
2023/08	10,44	557	0,318	485905,27	387,91	26480282,1	677,42	124711,0236	1747,242	0-0,415	126,77	99,99
2023/09	5,60	632	0,307	260638,84	305,24	4086817,011	539,77	56277,061	957,797	0-0,373	40,31	91,91

Ek-10

*Türbin 10 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütlesel Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanabilirlik (%)
2022/11	6,81	484	0,402	316955,45	162,34	7349578,741	421,88	40822,2496	4598,77	0-0,402	73,13	99,87
2022/12	5,82	599	0,312	270878,22	284,97	4587647,76	603,12	65415,7726	5712,001	0-0,476	45,27	95,66
2023/01	8,91	673	0,399	414695,01	197,56	16460924,52	512,47	58206,5496	10812,834	0-0,547	106,07	97,61
2023/02	7,86	561	0,37	365825,23	341,22	11300268,16	678,23	65865,2052	12111,294	0-0,410	110,97	99,74
2023/03	7,88	492	0,293	366756,08	125,48	11386749,43	305,77	96287,6734	482,003	0-0,418	110,47	99,21
2023/04	12,03	648	0,364	559908,08	398,61	40515200,59	704,32	173931,0726	245,301	0-0,433	104,63	94,71
2023/05	7,92	532	0,381	368617,79	217,85	11561033,41	452,09	94277,6468	994,778	0-0,423	110,15	99,99
2023/06	7,08	607	0,329	329521,96	366,44	8258874,838	592,14	108959,971	1360,963	0-0,476	81,51	99,83
2023/07	9,66	493	0,311	449602	305,19	20977440,15	537,66	97314,6574	1888,927	0-0,419	121,09	98,41
2023/08	10,97	659	0,322	510572,87	432,77	30721399,38	671,55	130993,1968	1787,001	0-0,437	131,22	97,22
2023/09	6,00	576	0,331	279255,9	278,63	5026606,2	499,34	60231,639	960,999	0-0,484	49,67	99,94

Ek-11

*Türbin 11 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütsel Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanılabilirlik (%)
2022/11	6,89	487	0,408	320678,86	153,29	7611649,419	498,22	41249,1324	4600,12	0-0,407	75,75	99,87
2022/12	5,88	615	0,319	273670,78	298,44	4731001,543	602,11	66034,0854	5714,811	0-0,478	46,7	96,54
2023/01	8,94	528	0,412	416091,29	132,57	16627756,95	347,88	58368,4014	10815,111	0-0,549	107,66	91,99
2023/02	7,89	662	0,379	367221,51	367,81	11430155,03	591,43	66073,0698	12113,991	0-0,411	110,01	99,74
2023/03	7,89	493	0,295	367221,51	214,63	11430155,03	457,69	96410,5842	483,333	0-0,419	110,84	99,21
2023/04	12,05	600	0,366	560838,93	389,12	40717607,55	678,32	174220,671	246,145	0-0,434	141,63	99,36
2023/05	7,97	651	0,387	370944,92	175,48	11781377,6	425,77	94866,7748	994,999	0-0,425	121,03	96,54
2023/06	7,18	507	0,33	334176,23	312,9	8613793,262	533,1	110480,656	1361,888	0-0,478	85,04	98,55
2023/07	9,76	572	0,312	454256,26	401,35	21635680,75	689,45	98305,5774	1892,003	0-0,424	122,39	99,64
2023/08	11,01	643	0,326	512434,58	228,77	31058685,3	401,88	131466,1224	1788,801	0-0,439	131,78	92,41
2023/09	6,09	499	0,337	283444,74	342,66	5256213,403	567,23	61121,0486	961,349	0-0,387	51,96	99,99

Ek-12

*Türbin 12 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütleli Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanabilirlik (%)
2022/11	6,12	484	0,356	284841,02	168,42	5334274,712	498,61	37140,3722	4587,113	0-0,463	53,01	98,63
2022/12	5,24	598	0,307	243883,49	251,77	3348227,603	583,27	59540,0622	5786,151	0-0,462	32,94	95,86
2023/01	8,36	672	0,396	389096,55	133,95	13596901,26	362,45	55266,4906	10798,313	0-0,405	104,74	91,04
2023/02	7,33	531	0,351	341157,62	379,66	9165011,945	621,88	62237,1346	12107,851	0-0,482	91,14	98,63
2023/03	7,66	507	0,271	356516,7	204,58	10459415,61	475,12	93612,8918	481,999	0-0,412	100,33	97,45
2023/04	11,53	653	0,319	536636,75	412,33	35670486,56	704,32	166711,9186	245,007	0-0,414	136,95	96,85
2023/05	7,59	520	0,346	353258,71	287,41	10175281,65	399,76	90386,4966	990,414	0-0,413	100,07	99,88
2023/06	6,83	609	0,311	317886,3	324,88	7414523,098	591,23	105159,163	1359,555	0-0,471	73,1	99,74
2023/07	9,39	666	0,302	437035,48	197,64	19267168,18	418,9	94649,3936	1890,842	0-0,407	109,91	97,88
2023/08	10,85	492	0,309	504987,75	356,29	29724210,35	603,55	129578,836	1786,017	0-0,42	103,44	98,63
2023/09	5,98	541	0,324	278325,05	298,12	4976507,505	512,44	60031,8482	958,777	0-0,384	49,17	99,41

Ek-13

*Türbin 13 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütleli Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanılabilirlik (%)
2022/11	8,11	491	0,352	377460,89	145,36	12413197,75	498,12	47638,2956	4499,908	0-0,487	123,7	99,85
2022/12	5,19	607	0,301	241556,35	298,77	3253293,047	603,44	59025,8802	5784,888	0-0,461	320	94,65
2023/01	9,11	659	0,379	424003,54	176,42	17594472,16	422,89	59240,3366	10782,789	0-0,463	175,54	92,33
2023/02	7,14	523	0,313	332314,52	359,18	8470630,677	591,76	60932,6348	12102,746	0-0,473	84,21	98,24
2023/03	7,61	484	0,251	354189,57	213,64	10255930,8	475,32	93003,0998	480,111	0-0,410	101,63	99,97
2023/04	11,52	645	0,307	536171,33	387,25	35577755,7	678,21	166566,4054	243,871	0-0,413	35,41	99,14
2023/05	7,58	538	0,341	352793,29	159,88	10135116,11	367,55	90266,2322	987,931	0-0,413	100,45	98,47
2023/06	7,31	599	0,31	340226,77	331,44	9090195,892	533,8	112446,449	1351,993	0-0,481	89,79	97,68
2023/07	9,34	666	0,299	434708,35	402,77	18961021,91	689,14	94149,2506	1884,621	0-0,405	188,86	99,78
2023/08	10,81	512	0,289	503126,05	226,95	29396673,8	401,88	129105,9104	1784,217	0-0,430	292,69	96,44
2023/09	5,87	571	0,312	273205,36	317,53	4706904,807	567,99	58941,2508	954,808	0-0,381	46,48	99,98

Ek-14

*Türbin 14 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütleli Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanılabilirlik (%)
2022/11	6,40	486	0,391	297872,96	162,75	6100438,221	512,66	38473,745	4431,121	0-0,479	60,66	95,92
2022/12	5,70	613	0,312	265293,11	287,33	4309686,491	601,23	64160,197	5687,431	0-0,473	42,51	92,54
2023/01	8,78	527	0,402	408644,47	141,88	15750874,06	368,44	57481,6568	10779,432	0-0,537	157,7	98,92
2023/02	7,67	662	0,315	356982,13	374,56	10500432,88	623,18	64449,6724	11995,156	0-0,400	104,47	99,45
2023/03	7,99	499	0,305	371875,77	219,42	11870293,28	478,55	97616,6502	473,591	0-0,422	117,73	99,99
2023/04	12,01	601	0,387	558977,23	398,71	40313465,52	704,32	173657,0712	260,054	0-0,432	40,14	99,78
2023/05	7,87	651	0,362	366290,66	176,54	11343453,85	392,77	93682,7008	988,739	0-0,422	112,5	98,69
2023/06	6,92	507	0,329	322075,14	342,19	7711509,444	587,9	106535,359	1367,967	0-0,473	76,06	99,98
2023/07	9,75	575	0,338	453790,84	411,28	21569245,74	691,44	98213,544	1898,754	0-0,423	214,47	99,88
2023/08	11,02	643	0,34	512900	238,67	31143390,76	417,88	131584,6698	1789,567	0-0,439	31,04	99,9
2023/09	5,96	492	0,347	277394,19	329,45	4926742,801	543,21	59821,2794	945,777	0-0,383	48,67	94,79

Ek-15

*Türbin 15 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütsel Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanabilirlik (%)
2022/11	6,33	484	0,376	294614,97	148,92	5902448,976	497,88	38099,4958	4429,213	0-0,475	58,68	95,87
2022/12	5,66	599	0,302	263431,4	267,55	4219591,463	602,14	63749,2908	5686,86	0-0,472	41,61	92,66
2023/01	8,75	671	0,389	407248,19	131,47	15589969,68	357,66	57321,193	10778,543	0-0,434	155,43	98,75
2023/02	7,52	532	0,302	350000,73	362,88	9896340,584	591,32	63423,0014	11994,323	0-0,492	98,44	99,32
2023/03	7,82	507	0,301	363963,52	215,63	11128621,47	473,59	95548,8836	472,698	0-0,417	110,03	99,87
2023/04	11,57	655	0,368	538498,46	385,21	36043021,28	678,21	167304,4274	260,007	0-0,415	135,87	99,69
2023/05	7,21	520	0,332	335572,51	158,34	8722217,368	387,44	85907,6874	987,298	0-0,402	86,37	98,64
2023/06	6,39	608	0,309	297407,53	329,76	6071887,074	532,77	98479,862	1367,198	0-0,462	59,74	99,91
2023/07	9,47	663	0,327	440758,9	401,19	19763827,22	689,11	95446,8228	1897,996	0-0,411	196,67	99,8
2023/08	10,98	491	0,325	511038,3	229,44	30805490,75	402,08	131113,1422	1789,165	0-0,438	130,6	99,87
2023/09	5,55	561	0,334	258311,71	316,87	3978323,185	561,33	55769,996	944,654	0-0,372	139,23	94,75

Ek-16

*Türbin 16 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütsel Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanabilirlik (%)
2022/11	6,56	487	0,392	305319,78	153,48	6569504,728	498,35	39323,6976	4430,008	0-0,488	65,34	96,78
2022/12	5,68	615	0,323	264362,25	284,79	4264480,359	603,21	63954,5854	5686,987	0-0,473	42,06	92,55
2023/01	8,88	529	0,398	413298,73	138,62	16295211,77	362,77	58011,6158	10777,475	0-0,544	162,47	98,77
2023/02	7,67	662	0,343	356982,13	369,25	10500432,88	624,18	64449,5124	11994,996	0-0,400	104,47	99,49
2023/03	7,89	494	0,296	367221,51	221,87	11430155,03	482,66	96400,8612	473,61	0-0,419	113,34	99,99
2023/04	11,93	602	0,389	555253,81	392,14	39513221,81	704,32	172502,0096	260,01	0-0,429	39,34	99,78
2023/05	7,76	648	0,355	361170,96	167,53	10874424,32	398,9	92387,3634	988,997	0-0,418	107,83	98,81
2023/06	6,83	508	0,332	317886,3	336,88	7414523,098	589,44	105167,714	1368,106	0-0,471	73,1	99,89
2023/07	9,79	573	0,337	455652,54	407,22	21835803,97	690,12	98608,9186	1898,991	0-0,425	121,39	99,79
2023/08	10,88	643	0,339	506384,03	235,64	29971452,98	419,55	129934,8262	1788,663	0-0,433	98,43	99,96
2023/09	5,89	500	0,331	274136,21	324,71	4755180,379	547,88	59128,3216	944,31	0-0,381	46,96	94,71

Ek-17

*Türbin 17 için aylık ölçülen ve hesaplanan değerler.

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylık Ölçülen Çalışma Saati	Aylık Ortalama Enerji Verimi (-)	Aylık Ortalama Kütleli Debi (kg/s)	Aylık Yararlı Güç (kW)	Aylık Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Kullanılabilir Enerji (kWh)	Aylık Sisteme Giren Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Sistemden Çıkan Ekserji Miktarı (kW)	Aylık Ortalama Ekserji Verimi (-)	Aylık Ekserji Kaybı (kW)	Aylık Ortalama Teknik Kullanabilirlik (%)
2022/11	6,29	485	0,365	292753,27	167,42	5791259,795	512,88	37885,5114	4427,995	0-0,473	58,75	94,87
2022/12	5,53	608	0,3	257380,85	293,55	3935469,087	601,22	62412,7514	5683,91	0-0,469	38,78	91,43
2023/01	8,68	533	0,366	403990,2	142,88	15218795,7	368,44	56945,4208	10775,112	0-0,529	151,17	97,42
2023/02	7,47	659	0,305	347673,6	371,66	9700249,768	623,18	63078,8464	11992,114	0-0,489	96,49	99,12
2023/03	7,79	492	0,265	362567,24	228,19	11001033,43	478,55	95183,4082	471,965	0-0,416	109,63	99,78
2023/04	11,04	651	0,354	513830,86	398,47	31313263,43	704,32	159650,4138	257,985	0-0,496	131,58	99,28
2023/05	7,32	519	0,332	340692,2	176,34	9127552,815	392,77	87202,6248	986,64	0-0,405	90,41	98,11
2023/06	6,48	603	0,319	301596,37	345,77	6332076,149	587,9	99846,649	1366,201	0-0,464	62,33	99,65
2023/07	9,47	667	0,309	440758,9	413,22	19763827,22	691,44	95445,8288	1897,002	0-0,411	196,67	99,44
2023/08	10,68	507	0,323	497075,5	241,88	28348812,37	417,88	127576,5332	1785,998	0-0,425	128,22	99,7
2023/09	5,48	570	0,305	255053,72	331,45	3829682,647	543,21	55075,9642	942,113	0-0,370	37,75	94,29