



Rüzgâr Enerjisi Verimliliğinin Artırılması ve Simülasyonunda Etkisinin İncelenmesi

Increasing Wind Energy Efficiency and Investigating Its Impact in Simulation

Resul Ünal^{*1} , Mehmet Taciddin Akçay² , Soner Özgünel³ 

^{1,2,3} Haliç University, Engineering Faculty, İstanbul, TURKIYE

Başvuru/Received: 18/08/2023

Kabul/Accepted: 25/12/2023

Çevrimiçi Basım/Published Online: 31/01/2024

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2024

Öz

Yenilenebilir enerji kaynakları, zararlı emisyonlar yaymadığından dolayı temiz ve sürdürülebilirdir. Geçmişten günümüze rüzgâr enerjisi farklı alanlarda kullanılmıştır. Su pompalamak, tarım ve ulaşım için kullanılan rüzgâr enerjisinin aynısı şu anda elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden biri çevresel tehlikeler ve konvansiyonel enerji üretim tesislerinden hammadde girdilerinin azaltılması olarak tanımlanmaktadır. Bu gelişmelerle birlikte alternatif enerji kaynakları gündeme gelmiştir. Rüzgâr enerjisi, kalite, temizlik ve süreklilik sağlaması nedeniyle bu enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olmakla birlikte, elektrik sistemindeki payı nedeniyle rüzgâr enerjisi enerjiden daha hızlı büyümektedir. Bu nedenle, rüzgâr santrallerinin şebekeye bağlı güç sistemleri üzerindeki etkisinin incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, rüzgâr enerjisi sistemlerinin enerji verimliliği üzerindeki etkilerini detaylandırmaktadır. Simülasyon sonuçlarına göre, enerji maliyetlerinde %25'e kadar bir azalma potansiyeli saptanmıştır. Rüzgâr türbinlerinin aerodinamik tasarımı, malzeme seçimi ve hava durumu modelleri enerji üretimi üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Çevresel etkilerin minimize edilmesi ve bakım/onarım stratejilerinin optimize edilmesiyle enerji üretimi sürekli ve verimli hale gelmektedir.

Anahtar Kelimeler:

“Aerodinamik Tasarım, Enerji Maliyeti, Enerji Verimliliği, Rüzgâr Enerjisi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları”

Abstract

Renewable energy sources are clean and sustainable since they do not emit harmful emissions. From the past to the present, wind energy has been used in different areas. Wind energy used for pumping water, agriculture, and transportation in the past is now used to generate electricity. One of the main reasons for this is to reduce environmental hazards and raw material inputs from conventional energy production facilities. With these developments, alternative energy sources have come into the agenda. Due to its quality, cleanliness, and continuity, wind energy holds a significant place among these energy sources. Although wind energy is one of the renewable energy sources, its share in the electricity system is growing faster than energy itself. Therefore, it is necessary to examine the effects of wind power plants on grid-connected power systems. This study elaborates on the effects of wind energy systems on energy efficiency. According to simulation results, there is a potential to reduce energy costs by up to 25%. Aerodynamic design, material selection, and weather models of wind turbines have a significant impact on energy production. Minimizing environmental effects and optimizing maintenance/repair strategies result in continuous and efficient energy production.

Key Words:

“Aerodynamic Design, Energy Cost, Energy Efficiency, Renewable Energy Sources, Wind Energy”

1. Giriş

Rüzgâr enerjisinden faydalanmanın geçmişi 5.000 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. İnsanlık tarihinin önemli bir döneminde rüzgâr sadece mekanik güç için kullanılmıştır. Mezopotamya'da ilk sulama uygulaması MÖ 2800'de Babil'de olmuştur. Yel değirmenleri ilk olarak İskenderiye'de ortaya çıkmıştır. Tarih kitapları MS 7. yüzyılda Türklerin ve Perslerin yel değirmenlerini kullandıklarından bahsetmektedir. Avrupa ülkelerinde yel değirmenleri 12. yüzyılda kullanılmaya başlanmıştır (Aydınöz ve Ekren, 2016).

Rüzgâr, suyu pompalamak (su çarkları) veya tahıl öğütmek (yel değirmenleri) için gereken mekanik gücü sağlamak için 20. yüzyılın başlarına kadar kullanılmamıştır (Ülgen, 2019). Sanayi Devrimi'ne dayanan endüstriyel ilerlemenin başlamasıyla birlikte fosil yakıtların (petrol, kömür vb.) günümüz teknolojisinin, ekonomisinin ve toplumunun gelişmesiyle birlikte, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin, çevresel etkiyi de göz önünde bulundurarak, yüksek kalitede, güvenilir ve ekonomik olarak kesintisiz olarak üretilmesi gerekmektedir (Şenpınar ve Gençoğlu, 2006).

Fosil yakıtlar, kısa ömürlü olması sebebi ve çevre kirliliğine neden olması sebebi ile alternatif enerji kaynakların arayışları da zorunlu olmuştur (Bayraç, 2010). Bu bağlamda, çevre kirliliği bakımından fosil yakıtlara en büyük alternatifler, yenilebilir enerji kaynaklarıdır. Özellikle de son dönemlerde rüzgâr enerjisi, biyokütle, güneş enerjisi, jeotermal enerji gibi doğal kaynaklardan elektrik üretimi açısından önemli bir adımdır (Öymen, 2020).

Rüzgâr enerjisi dünyanın en hızlı büyüyen enerji kaynağıdır. 2011 yılı sonunda dünyadaki rüzgâr enerjisi kurulu gücü 236.733 MW iken, 2014 yılı sonunda 2011 yılına göre 1,5 kat artarak 370.000 MW'a ulaşmıştır. 2013'ten 2014'e bir yılda ise dünya çapında rüzgâr santrali kurulumları toplam 17.613 MW'a ulaşmıştır (İlkılıç, 2016). Rüzgâr enerjisi bu hızla gelişmeye devam ederse ve daha destekleyici politikalar uygulanırsa, ilerleyen dönemlere kadar dünyanın kurulu gücü milyon MW'ı geçebildiği belirtilmektedir (Aydınöz ve Ekren, 2016). 2017 ve 2018 yılları arasında offshore rüzgâr enerjisi sistemlerinin büyümesi, rüzgâr enerjisi endüstrisinde önemli bir gelişmeydi. Açık deniz rüzgâr santralleri, açık okyanus üzerindeki daha güçlü ve daha tutarlı rüzgârlardan yararlanabildikleri için, karadaki benzerlerinden daha fazla enerji üretme potansiyeline sahiptir. Örneğin Türkiye'de rüzgâr santrallerinin elektrik üretimindeki payı son yıllarda istikrarlı bir şekilde artıyor ve bu büyümede offshore rüzgâr enerjisi önemli bir rol oynamaktadır (Amal ve ark., 2022).

Birleşik Krallık ve Almanya gibi diğer ülkelerde açık deniz rüzgâr santrallerinin genişlemesi de bir bütün olarak sektörün büyümesine katkıda bulunmuştur. 2019'dan 2020'ye kadar rüzgâr türbinlerinin boyutunda ve verimliliğinde bir artış yaşanmıştır (Haber Portalı, 2022). Teknoloji gelişmeye devam ettikçe rüzgâr türbinleri daha büyük ve daha verimli hale geliyor, bu da her bir türbinden daha fazla enerji üretimine olanak sağlamaktadır. Verimlilikteki bu artış, rüzgâr enerjisi sistemlerinin elektrik şebekelerine entegre olmaya devam etmesi ve istikrar ve güvenilirlikle ilgili zorluklarla karşı karşıya kalması nedeniyle özellikle önemlidir. Rüzgâr enerjisi sistemleri, türbin başına daha fazla enerji üreterek ekonomik açıdan daha uygun hale gelebilir ve daha sürdürülebilir bir enerji geleceğine katkıda bulunabilmesi ön görülmüştür. 2021-2022 yılları arasında rüzgâr enerjisi sistemlerinin enerji depolama ve elektrik şebekeleri ile entegrasyonu konusunda önemli gelişmeler yaşanmıştır (Amal ve ark., 2022).

Rüzgâr enerjisi sistemleri genişlemeye devam ettikçe etkili enerji depolama çözümlerine duyulan ihtiyaç giderek önem kazanmaktadır. Rüzgâr enerjisi sistemleri, piller ve pompalı hidroelektrik depolama gibi enerji depolama teknolojilerini entegre ederek, yüksek rüzgâr üretimi dönemlerinde fazla enerjiyi depolayabilir ve düşük üretim dönemlerinde serbest bırakabilir. Bu durum, elektrik şebekelerinin istikrara kavuşturulmasına ve tutarlı bir enerji tedarikinin sağlanmasına yardımcı olur (Yeşeren Enerji, 2021). Ek olarak, elektrik şebekesi teknolojisindeki gelişmeler rüzgâr enerjisi sistemlerinin daha verimli ve etkili entegrasyonuna olanak tanımaktadır. Örneğin, "akıllı şebekeler" enerji arzını ve talebini otomatik olarak dengeleyebilir, yedek güç kaynaklarına olan ihtiyacı azaltabilir ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin güvenilirliğini artırabilir (Yahılı Kılıç ve Adalı, 2022; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023). Bu araştırmada, Rüzgâr Enerjisi verimliliğinin artırılması ve simülasyonunda etkisinin incelenmesi ele alınmıştır.

2. Materyal ve Method

2.1. Rüzgârın güce dönüşümü ve denklemler

Potansiyel enerji, bir cismin konumundan dolayı sahip olduğu enerji olmakla beraber, kinetik enerji ise bir cismin hareketinden sahip olduğu enerjidir. Bununla beraber hareket halinde olan her cismin kinetik enerjisi söz konusudur (Keleş, 2012). Denklemler aşağıda gösterilmektedir (Keleş, 2012). V hızıyla hareket eden bir hava kütesinin hacmi V_h ile ve yoğunluğu ile gösteriliyorsa, havanın kinetik enerji denklemi aşağıdaki gibidir:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_h \cdot V^2 \quad (1)$$

Hava kütesinin hareket halinde olması, rüzgâr türbinlerinin A süpürme alanında olan kanat sistemine düşey bir şekilde çarpması ile, havanın çarpmasının kinetik enerjisinin bir bölümü frenlenerek rüzgâr türbinlerinin dönmesini sağlamaktadır. Bununla beraber kanatların süpürme alanına çarptığı havanın debisi AV ise, bu bağlamda birim zaman içerisinde yapacağı iş; diğer bir deyiş ile rüzgâr gücü aşağıdaki denklemde gösterildiği şekildedir.

$$P_o = \frac{\rho}{2} \cdot V \cdot A \cdot V^2 = \frac{\rho}{2} \cdot V^3 \cdot A \quad (2)$$

Maksimum teorik rüzgâr türbini gücü, süpürme alanındaki rüzgâr hızı V, birim zaman başına basınç p ve iş fonksiyonu dikkate alınarak aşağıdaki denklemden elde edilir.

$$P_{max} = \frac{16}{27} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^3 \cdot A \quad (3)$$

Burada (Bingöl, 2018);

ρ : Hava yoğunluğu, m³ /kg

A: Kanat sisteminin süpürme alanı, m²

P_{max}: Maksimum teorik rüzgâr türbin gücü, kW

V: Rüzgâr hızı, m/s

Rüzgâr türbininin teorik gücü maksimumda iken sisteme çarpan V rüzgâr hızının, sistemin frenleyip arkaya ilettiği V2 rüzgâr hızına oranı (rüzgâr oranı) 1/3 oranındadır. Aerodinamik faktörler sebebi ile beraber maksimum dinamik güç, türbin gücünden daha da fazladır. Bununla beraber rüzgâr türbinleri, havada olan orijinal gücün %59,3'ünü üretmektedir (Perçin ve Çalışkan, 2021). Ayrıca hava, rüzgâr türbinine yatay bir ekseninde yaklaştığında, burada silindirik bir akışın var olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla türbin kanatlarının sıvı kayıpları sebebi ile tükettiği aktif bir güç olan P_{max}'tan daha azdır. Sistemin verimi bu durumda rotorun yapısına bağlı olmakla beraber aynı zamanda hız oranına, tipine, mekanik yapısı gibi etkenlere bağlıdır. İyi aerodinamik olarak tasarlanmış iki kanatlı bir rotorun tahmini dönüştürme veriminin %75 olduğu kabul edilmektedir (Keleş, 2012).

2.2. Rüzgâr türbinlerinin çevresel etkilerine genel bir bakış

Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri denilince insanların aklına gelen ilk olumsuz çevresel etki gürültü kirliliğidir. Rüzgâr türbinlerinde gürültü hem mekanik hem de aerodinamik olarak ele alınabilir. Mekanik gürültü, jeneratörlerdeki çeşitli hareketli parçalardan, dişli kutusu mil yataklarından ve diğer yardımcı cihazlardan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla aerodinamik gürültü kanatlardan kaynaklanmaktadır (Fıçıcı ve ark., 2007). Aerodinamik gürültü, esas olarak kanat yüzeylerinin ve hava akışının farklı şekillerde etkileşiminden kaynaklanır.

Yayılan gürültü miktarı, bu bileşenlerin şekline ve özelliklerine göre değişmektedir. Gürültü türleri frekans spektrumlarına göre iki grupta incelenebilir. Bunlar sürekli geniş bant gürültüsü ve sürekli dar bant gürültüsüdür. Gürültünün çoğu sürekli bir spektrumdan oluşmaktadır. Gürültüyü oluşturan ses frekansları, tüm frekans spektrumuna yayılmaktadır. Sürekli geniş bant gürültüsü bu şekilde tanımlanmaktadır. Sürekli dar bant gürültüde, birkaç frekans yoğunlaşmaktadır (Doğan ve Çataltepe, 2018).

Mekanik gürültü öncelikle tonaldır, yani mekanik kaynaklar tarafından üretilen gürültü belirli frekanslarda zirve yapar ve insan kulağını geniş bant gürültüden daha fazla rahatsız etmektedir. Geniş bant gürültüsünün aksine, spektrum sürekli olmayabilir. Bununla birlikte, ses emici malzemeler, titreşim sönmüleme yöntemleri ve kabinin uygun şekilde korunması yoluyla mekanik gürültü büyük ölçüde azaltılabilir. Aerodinamik gürültü, akış yapısının kanat profili yüzeyi ile etkileşiminden kaynaklanan akış kaynaklı gürültü olarak tanımlanabilir. Rüzgâr türbinlerinin aerodinamik gürültüsü, giriş türbülansı gürültüsü ve kanatların kendi gürültü mekanizmalarına ayrılabilir. Giriş türbülansı gürültüsü, kanat yüzeyinin (özellikle ön kenar) yaklaşmakta olan atmosferik türbülansla etkileşiminden kaynaklanmaktadır (Yağız Gürbüz ve ark., 2021).

Türbülanslı girdapların bıçaklarla etkileşimi, atmosferik türbülans yoğunluğuna ve türbülans uzunluk ölçeğine büyük ölçüde bağlı olan düşük frekanslı spektrumda geniş bant gürültüsü üretir (Köse ve Has, 2019). Bir rüzgâr türbininden kaynaklanan gürültü tiplerinin frekansa bağlı dağılımı Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 1'de gösterildiği üzere, rüzgâr türbini mahfazasındaki mekanik gürültünün hem tonal hem de geniş bant özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, 100 ile 500 Hz arasındaki düşük frekanslı gürültünün ana nedeni, rüzgâr türbini kanatlarının düşük dönüş hızıdır. 500 ile 1000 Hz aralığında kanat gürültüsü, öncelikle kanatlar ve hava tarafından üretilen rüzgâr gürültüsüdür (Fıçıcı ve ark., 2007). Rüzgâr türbini nacelle mekanik gürültüsü de 1000 ve 1500 Hz arasında yüksek frekanslıdır, ancak 2000 ve 8000 Hz arasındaki yüksek frekanslar esas olarak aerodinamik hava gürültüsü içermektedir (Liu, 2017).



Şekil 1. Gürültü Frekansı ve Dağılımı (Yağız Gürbüz ve ark., 2021).

Rüzgâr türbini gürültüsü incelendiğinde, diğer toplu gürültü kaynaklarından daha rahatsız edici bir faktöre sahip olması söz konusu olabilir. Dolayısıyla insanların rahatsızlığının en aza indirilmesi ve bu bağlamda rüzgâr türbini gürültüsünün azaltılması için etkili bir yöntem ihtiyacı vardır. Bununla beraber rüzgâr enerjisi ile çalıştırılan kanat gürültüsünün azaltılması için yapılan bir takım modifikasyon etkisi, aerodinamik performansını etkilememektedir (Elibüyük ve Uçgöl, 2014). Bununla beraber bu modifikasyonların etkileri de dengede olabilir. Ayrıca hesaplamalı yöntemler, zaman ve çabanın azaltılarak düşük gürültülü kanatların tasarımını kolaylaştırmaktadır.

Gerçek çalışma koşulları altında olan etkinlikleri ve bir çiftlikte olan birden fazla rüzgâr türbininin gürültü etkileşimini incelemek amacı ile yeni yöntemlerin tam ölçekli bir saha uygulamasının yapılmasına ihtiyaç söz konusudur. Yenilenebilir rüzgâr enerjisi üretimi çeşitli sosyo-ekonomik faydalar sunmaktadır (Elibüyük ve Uçgöl, 2014). Yapılan araştırmalar incelendiği zaman, bu tür yenilenebilir enerji yatırımlarının ekonomik olarak yetersiz bir hizmet alan kırsal alanları iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla beraber rüzgâr çiftliklerinin yerel çevre üzerinde önemli bir etki söz konusudur (Torres-Sibille ve ark., 2009).

Gürültü etkilerine ek olarak, görsel/estetik etkiler de değerlendirilmesi gereken bir diğer çevresel etkidir. Bu soru subjektif olsa da rüzgâr türbini sahasının konumu bu soruyu etkileyebilir. Rüzgâr çiftliği inşaat projelerine yöneltilen temel eleştirilerden biri, türbinlerin çevre ile uygunsuz entegrasyonudur. Türbinler genellikle 100 metreden daha uzundur ve estetiği nedeniyle eleştirilen oldukça yapay bir görünüme sahiptir (Gordon, 2001). Rüzgâr çiftliği projelerine dayalı deneyim, rüzgâr çiftliği kurulumlarının estetik etkisinin analiz edilmesi ve değerlendirilmesi ihtiyacını göstermektedir. Optimum rüzgâr koşullarından yararlanmak için, rüzgâr türbinleri tepeler veya düz arazi gibi yüksek görünürlüklü yerlere yerleştirilmelidir. Ayrıca, büyük miktarlarda enerji üretmek için birden çok türbinin kullanılmasını gerektirmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda bir rüzgâr santralının görsel/estetik etkisini etkileyen parametrelerin rüzgâr santralının görünürlüğü, türbinlerin rengi, türbinlerin konumu olduğu söylenebilir (Yağız Gürbüz ve ark., 2021).

Literatür incelendiğinde, rüzgâr enerjisi ile ilgili olarak rüzgâr türbinlerinin görsel etkilerinin incelendiği birçok çalışma söz konusudur. Bu bağlamda yapılan bir araştırma incelendiğinde Torres Sibille ve ark. (2009), rüzgâr çiftliklerinin görsel etkisini analiz etmek için çok kriterli bir gösterge geliştirmişlerdir. Bu nedenle görünürlük, renk, boyut vb. etkenler ile beraber birbirinden farklı parametreler de kontrol edilmektedir. Yapılan araştırmalar arasında Maslov ve ark. (2017), açık deniz rüzgâr çiftliklerinin coğrafi bilgi sistemleri üzerindeki görsel etkisini incelemiştir. Kuzeybatı Fransa'yı kapsayan bir çalışmanın sonuçlarına dayanarak,

tanımlanan farklı değişkenleri bir araya getiren çok kriterli bir analizin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Yapılan bir başka araştırma ise Sæþþórsdóttir ve Ólafsdóttir (2020)'e aittir. Dolayısıyla bu araştırmalar değerlendirildiğinde İzlanda'da olan rüzgâr türbinlerinin görsel etkisi ile beraber; bölgede yaşamlarını devam ettiren insanlar ve aynı zamanda ziyaret eden turistler bağlamında da değerlendirme yapılmıştır. İncelenen çalışmalar bağlamında sonuçlar elde edilirken; rüzgâr türbinleri ve iletim hatları; görsel algı bağlamında turistler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve bunun etkileri olduğu ortaya konulmuştur. Rüzgâr türbinlerinin de elektromanyetik etkileri vardır ve radyo ve televizyon sinyallerini engelleyebilirler. Eski nesil rüzgâr türbinlerinin metal kanatlarının olması ise bunun nedenleri arasında gösterilmektedir. Ancak sentetik malzemelerden üretilen yeni nesil türbin kanatları bu etkiyi en aza indirmiştir. Aynı zamanda uygun yerleştirme ile bu olumsuz etki sifıra indirilebilir (Yağız Gürbüz ve ark., 2021).

2.3. Enerji veriminin artırılması ve simülasyonu programları

Enerji veriminin artırılması ve simülasyonu için kullanılan programlar sayesinde yapılarda enerji tasarrufu yapılabilirken, aynı zamanda uluslararası yeşil bina sertifikaları da edinilebilir. Bu bağlamda çevreci bir büyüme sağlanabilir. Enerji veriminin simülasyonu için kullanılan programlar, sahip oldukları teknoloji ile bünyesinde geliştirdiği enerji analiz simülasyonu sayesinde her bir yapı için 100'den fazla veriyi analiz edebilmektedir. Bununla beraber yapının bütün enerji tüketim problemlerini de teknolojik bir tabanda belirleyebilir (Anbarcı ve ark., 2012). Bu bağlamda enerji tüketim problemlerine yönelik olarak en verimli ve en doğru çözümler bir bütün halinde sunulmaktadır.

Enerji simülasyon programları, binaların birincil enerji tüketim problemlerini ve birçok veriyi eş zamanlı analiz yaparak tespit edebilmektedir ve en önemli özelliklerinden biri de kullanımda olan binaların enerji tüketimlerini analiz edebilmektedir. Yukarıda da belirtildiği üzere, kullanılan bu programların teknik donanımı sayesinde 100'den fazla veriyi aynı anda analiz edebilmekte ve çok küçük detayların bile enerji tüketimine etkisini tespit edebilmektedir (Akın ve Kaplan, 2019). Dolayısıyla bir binanın enerji tasarruf potansiyelini artırmaya yönelik en etkin çözümlerin, tüm enerji tüketim verileri dikkate alınarak hayata geçirilmesi, yatırımların doğru planlama sınırları içinde yapılacağı göstermektedir.



Şekil 2. Enerji Simülasyon Programlarının Analiz Alanları (Winergy Technologies, 2023).

Ülkemizde enerji ihtiyacının %62'sinin ithal edilmesi gerekirken, elektriğe dönüştürülen fosil yakıt kullanan santrallerin toplam veriminin %30 olması enerjinin verimli kullanılmasının önemini göstermektedir. Enerjinin verimli kullanımı, refah, kalite veya performans seviyelerinden ödün vermeden bir mal veya hizmet elde etmek için gereken enerji miktarını azaltmak anlamına gelmektedir. Herkes bilmelidir ki aydınlatmada verimli enerji kullanımı ışıkları kapatmakla değil, görüş ve görsel konfordan ödün vermeden gereken minimum ışık şiddetini oluşturmakla sağlanır. Düzgün aydınlatılmış bir ortam, çok fazla ışık alan değil, gerektiği kadar ışık kullanan bir ortamdır (Doğan ve Yılankıran, 2015).

Aydınlatma kontrolü, ışığın miktarı ve kalitesi açısından her çalışan için uygun aydınlatmayı yaratması gereken uygun kontrol teknikleri ve sistemleri kullanılarak yapılmaktadır. Ayrıca gün ışığından en uygun şekilde yararlanılarak enerji tasarrufu sağlanmalıdır. Bu durum, rahat bir görsel ortam yaratır ve genel maliyetlerden tasarruf ederken çalışan üretkenliğini artırır. Aydınlatma sistemlerini daha akıllı hale getirerek, üretkenliği artırırken konfordan ödün vermeden gün ışığını en üst düzeye çıkarmaktadır. Ortamdaki insan sayısına göre akıllı sistem kontrolü ile enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Gür, 2020).

Enerji simülasyon programları, lümenleri hesaplayarak (metre kareye düşmesi gereken ışık gücünü hesaplayıp analiz ederek) binalar için en uygun aydınlatma ekipmanını ve algoritmasını belirlemektedir. Bu programlar ile aydınlatma otomasyonu ile sistemi en doğru ve verimli şekilde aydınlatmaktadır. Bununla beraber işletmelerin elektrik enerjisi tüketiminde verimliliği artırmak için çeşitli çözümler sunmaktadır. Teknik ekibin saha analizi ve enerji analizi simülasyon sonuçlarına göre en doğru bina çözümünü belirlemektedir. Enerji simülasyon programlarının sunduğu bazı çözümler aşağıdaki gibidir (Winergy Technologies, 2023):

- Lümen/m² ve lümen/vat hesaplamalarına dayalı aydınlatma analizi ve sistemlerin aydınlatma ihtiyacına göre düzenlenmesi
 - Aydınlatma analizine dayalı aydınlatma otomasyonu oluşturmak
 - Elektrik sistemi analizi
 - Elektronik denetimi, profesyonel bakım ve enerji verimli elektronik bileşenlerin sisteme entegrasyonu (yerel güç kalitesi dengeleyicileri, güç faktörü düzelticileri, bekleme koruyucuları, vb.)
 - Fatura analizine dayalı olarak en ucuz elektriği sunmak
 - Reaktif güç analizi ve kompanzasyon yaparak cezaların önüne geçmek
 - Tanımlı alanların aydınlatmasının sensörler yardımıyla kontrol edilmesi
 - Trafo sistemi kayıplarını tespit etmek ve en aza indirmek
 - Transformatör analizinden sonra yük adımına göre ve transformatörde akıllı hata ayıklama
 - Yük Analizi ve Yük Tablolarının belirlenmesidir.
- Bilgisayar simülasyon programları aşağıdaki konularda çalışır (Winergy Technologies, 2023):
- Tasarım önerilerinin değerlendirilmesi ve çalışma tasarımı optimizasyonu,
 - Alternatif bina cepheleri (opak yüzeyler, tek cepheler, çift camlı kabuklar vb.) ve cephe optimizasyonu,
 - Bina yalıtımını, ısı kaybını ve kazancını optimize etmek,
 - Binaların enerji performansının önceden belirlenmesi,
 - Binaların ilgili mevzuata uygunluğunu denetlemek,
 - Doğal havalandırma modellemesi (bazı programlar yapabilir),
 - Ekonomik analiz yapılması,
 - Enerji araştırması ve EPC araştırması yapmak,
 - Gölgeleme modellemesi,
 - Ömür boyu maliyet analizi (bazı programlar yapabilir),
 - Yeni fikirler keşfedebilmek,
 - Kalorimetrelere gibi paylaşılan sorunlar için tüketim tahminlerini içeren kullanışlı paylaşım sistemi şeklinde ifa edilmektedir.

3. Simülasyon Modeli

Çalışmamızda rüzgâr türbini Mgn'nin (maksimum güç noktası) keşfini tartışıyoruz. Rüzgâr enerjisi çevre dostu ve tükenmez bir kaynaktır. Bu nedenle, rüzgâr enerjisi sistemleri gelecekteki talepleri karşılamak için gelecek vaat eden alternatif enerji kaynaklarından biri olabilir. Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür. Dönüştürülen bu mekanik enerjinin büyüklüğü hava yoğunluğuna ve rüzgâr hızına bağlıdır. Türbin tarafından üretilen rüzgâr kuvveti (P_m) aşağıdaki denklemle verilir: Rüzgâr türbinlerinin matematiksel modellemesi aşağıdaki gibidir:

$$P_m = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \beta) \rho A w^3 \quad (4)$$

P_m= Türbinin mekanik çıkış gücü

A= Türbinin kanatlarının alanı (m³)

β = Bıçak hatve açısı (derece)

w = Rüzgâr hızı (m/sn)

λ = Rotor kanadı uç hızının rüzgâr hızına uç hızı oranı

C_p = Türbin performans katsayısı

ρ= Hava Yoğunluğu (kg/m³)

C_p katsayısı, mekanik enerjiye dönüştürülen rüzgâr türbininin kinetik enerjisinin bir fonksiyonudur. Uç hız oranı (λ) ile ilişkilidir.

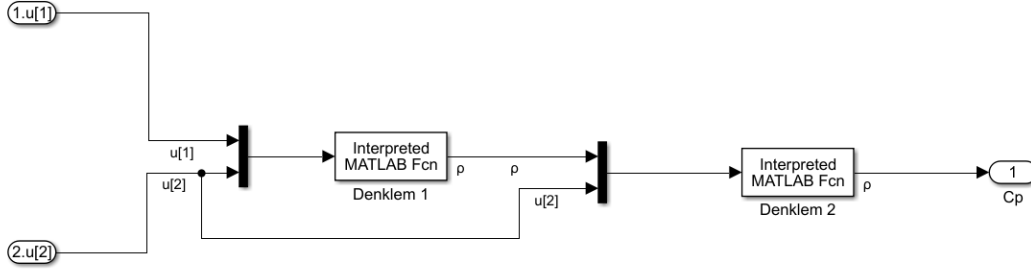
İkinci denklem ise aşağıdaki gibidir:

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3\beta - c_4 \cdot \beta^x - c_5 \right) \exp\left(-\frac{c_6}{\lambda_i}\right) \quad (5)$$

Verilen denklemde “C” sabit katsayılarımız olarak değerlendirilmektedir. Üçüncü denklem ise aşağıdaki gibidir:

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3}$$

$$\lambda = \frac{\omega_r \cdot R}{V_w} \quad (6)$$



Tüm bunların yanı sıra aşağıdaki tabloda 20.5 Kw Rüzgâr türbini için değerler verilmiştir.

Tablo 1. 20.5 kW Rüzgâr Türbini İçin Değerler

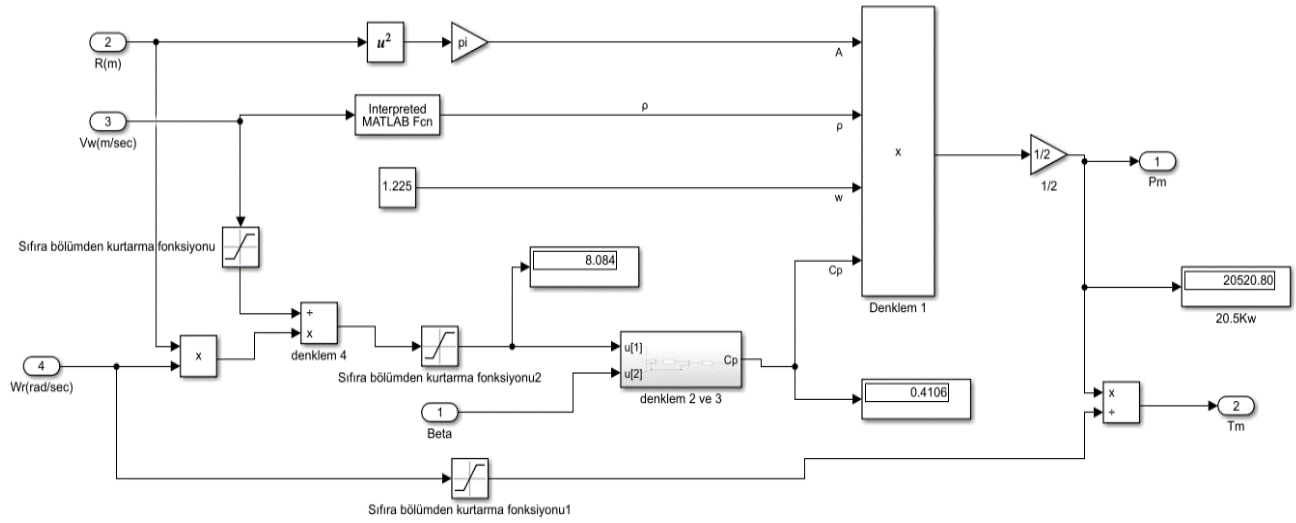
λ	8.1
$C_p(\lambda, \beta)$	0.41
W	12 m/s
R	3.877
C_1	0.5
C_2	116
C_3	0.4
C_4	0
C_5	5
C_6	21

Simülasyonun amacı, tork uygulamak amacıyla mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektir. Rüzgâr hızındaki değişikliklerin üretilen tork üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir rüzgâr türbini tasarlanmıştır. Uç hız oranı λ ve kanat hat ve açısı β 'ya bağlı olan performans katsayısı $C_p(\lambda, \beta)$, doğrusal olmayan C_p formülüne göre rüzgâr türbini sistemi tarafından ne kadar rüzgâr kinetik enerjisinin yakalanabileceğini belirler. Bu bağlamda ise belirtilmiş ve denklem Matlab/Simulink tarafından oluşturulmuştur.

Projede, 20.5 kW kapasiteli bir rüzgâr türbini tasarlandı. Sabit C değerleri kullanılarak Matlab/Simulink'te denklemleri bloklarla temsil edilen bir simülasyon oluşturuldu. Bu simülasyonda, türbinin rüzgâr gücü formülüne (P_m) entegre edildi. Türbin, kalıcı mıknatıslı senkron makine (PMSG) jeneratöre bağlandı ve belirtilen parametrelerle çalıştırıldı.

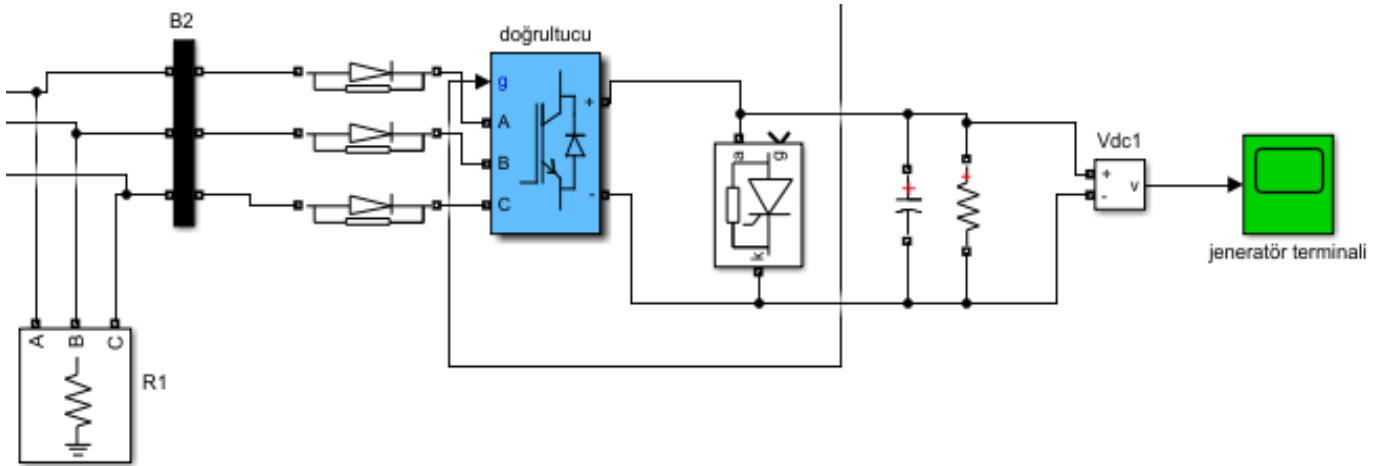
Stator phase resistance R_s (Ohm):	0.0918
Armature inductance (H):	0.000975
Machine constant	
Specify:	Flux linkage established by magnets (V.s)
Flux linkage:	0.1688

Şekil 3. PMSG Parametreleri



Şekil 4. Rüzgâr Türbini Matematiksel Modelleme

Doğrultucu olarak bilinen elektronik devreler, alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) dönüştürmek için kullanılır. Bu devreler, rüzgâr türbinleri tarafından üretilen değişken frekans ve voltajlı AC gücün sabit voltajlı DC güce dönüştürülmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Doğrultucular oluşturmak için kullanılan düzeneğe genellikle dört birincil diyot ve bazen ekstra yardımcı diyotlar içeren bir köprü doğrultucu denir. Bu diyotlar, AC girişinin hem pozitif hem de negatif yarım döngüleri sırasında akımın bir yönde akışını kolaylaştırır. Köprü doğrultucunun çalışma prensibi, pozitif yarım döngü sırasında pozitif gerilim terminallerini DC çıkışına ve negatif yarım döngü sırasında negatif voltaj terminallerini DC çıkışına bağlamayı içerir. Bu işlem, AC girişini sürekli olarak aynı yönde akacak şekilde düzeltir ve böylece bir DC çıkışı üretir. Şekil 5, Simulink modelindeki PMSM gelen sinyal bağlantısını göstermektedir.

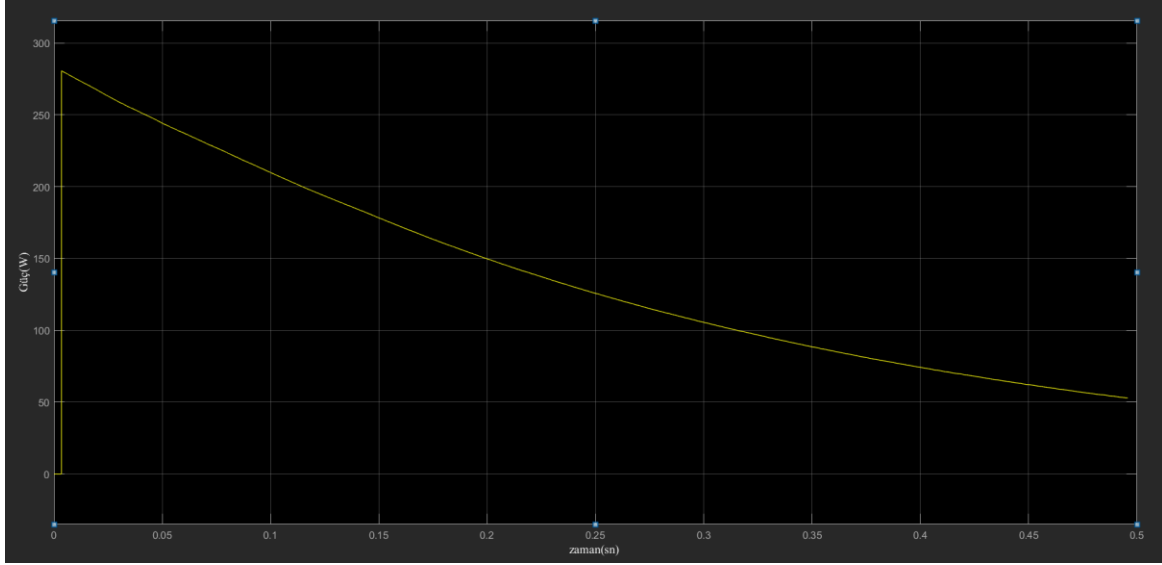


Şekil 5. Doğrultucu Simulink Model

PMSM'nin üç farklı fazı olan A, B ve C arasında RLC üç fazlı kaynağa bağlantı kurularak birim gerilim akım değerlerinin diyotlara aktarılması sağlanır. Jeneratörün çıkış gerilimini ölçmek için, akımların tek bir yönde pozitif ve negatif olarak akmasına izin veren bir doğrultucu kullanılır.

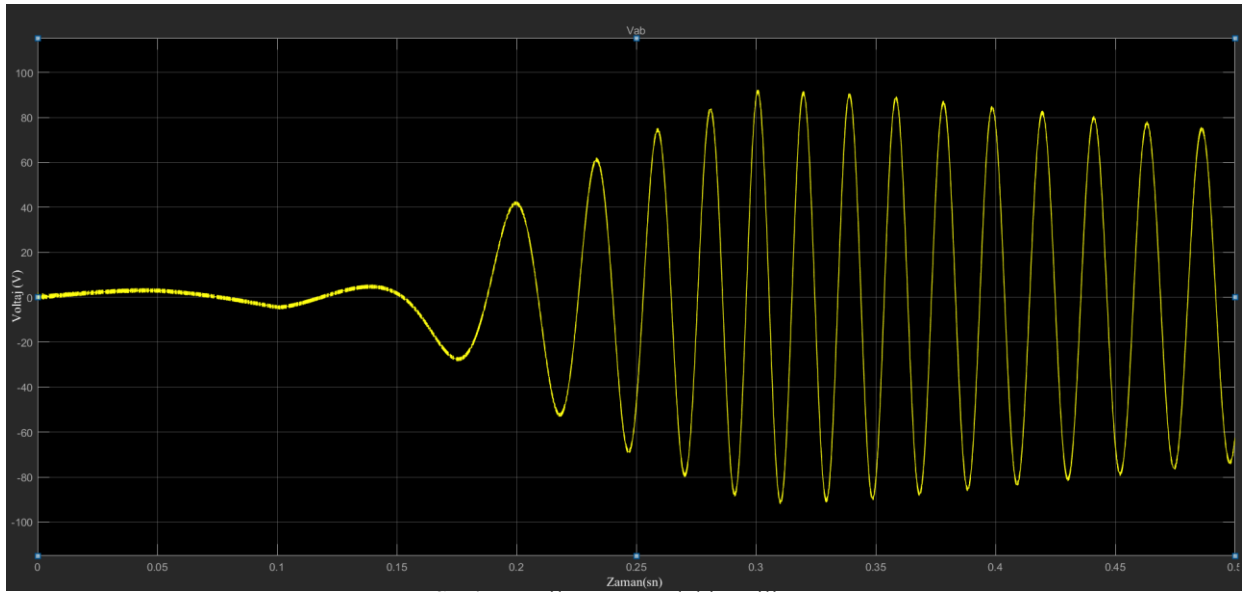
4. Bulgular

Bir rüzgâr türbininin en yüksek seviyede çalışmasını sağlamak için, voltaj ve akım çıkışını sürekli olarak gözlemlemek amacıyla Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) algoritması kullanılır. MPPT algoritması, güç-voltaj eğrisini analiz ederek ve maksimum gücü hedefleyerek doğrultucunun çalışma noktasını değiştirir.

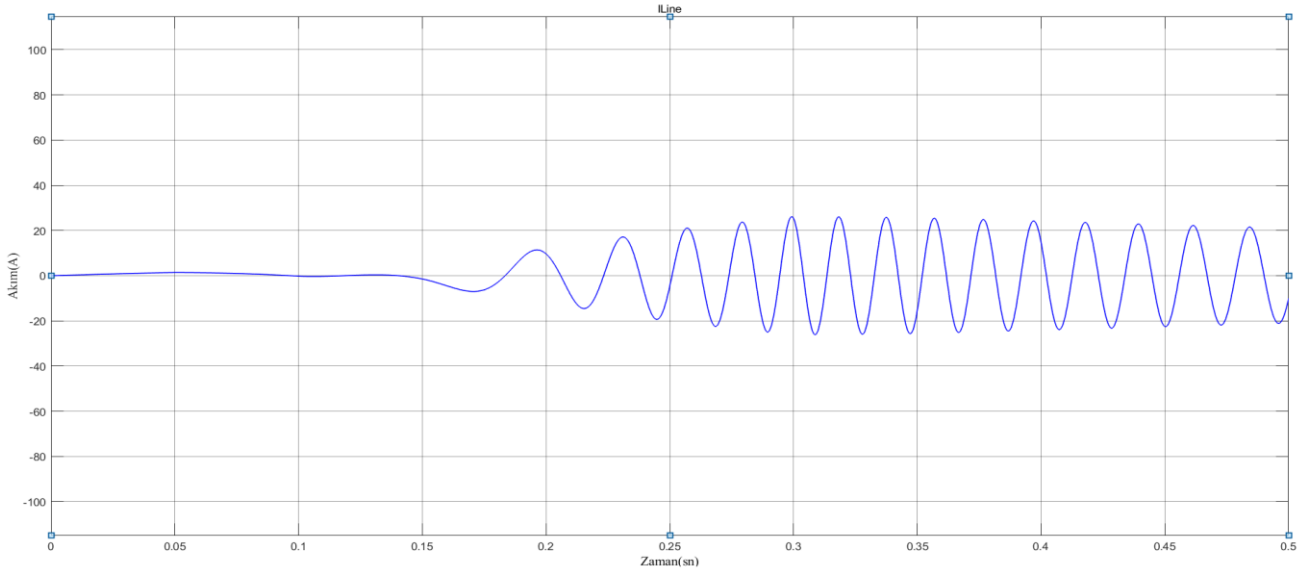


Şekil 6. Jeneratör çıkış gücü

Bu sürecin son aşamasında, bir model oluşturmak ve maksimum güç noktası izleme algoritmasının doğruluğunu ve etkinliğini değerlendirmek için Matlab Simulink simülasyonu kullanıldı. Bu aşamaların tamamlanması, rüzgâr türbini tasarımının ve maksimum güç noktası izleme uygulamasının başarılı olduğunu gösterir. A ve B noktaları arasındaki gerilim ve akım değerleri verilmiştir.

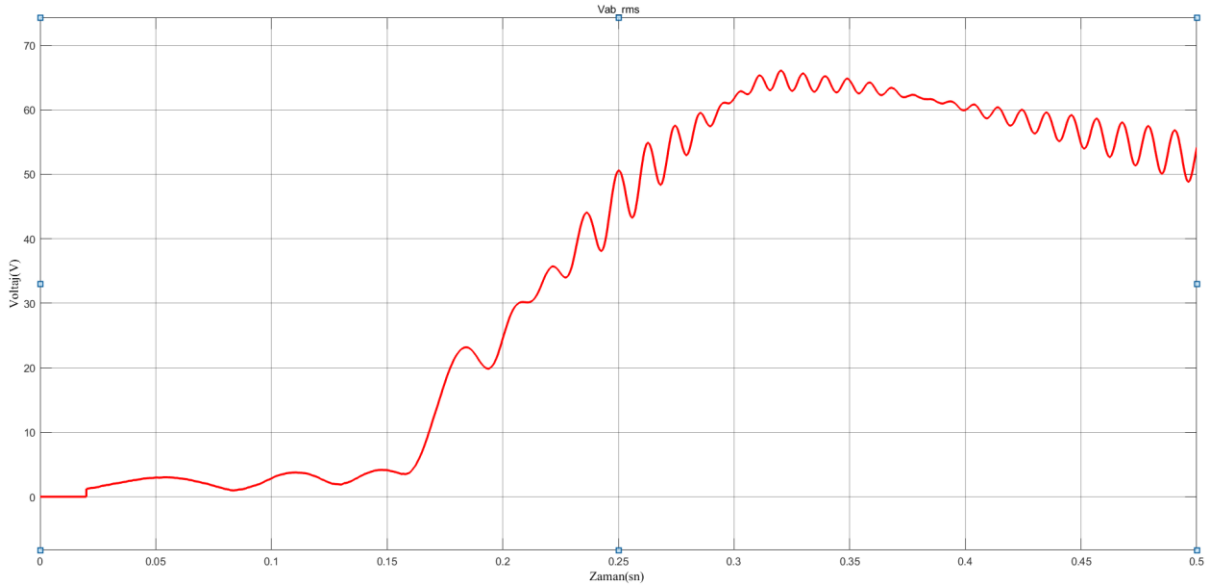


Şekil 7. A ile B arasındaki gerilim

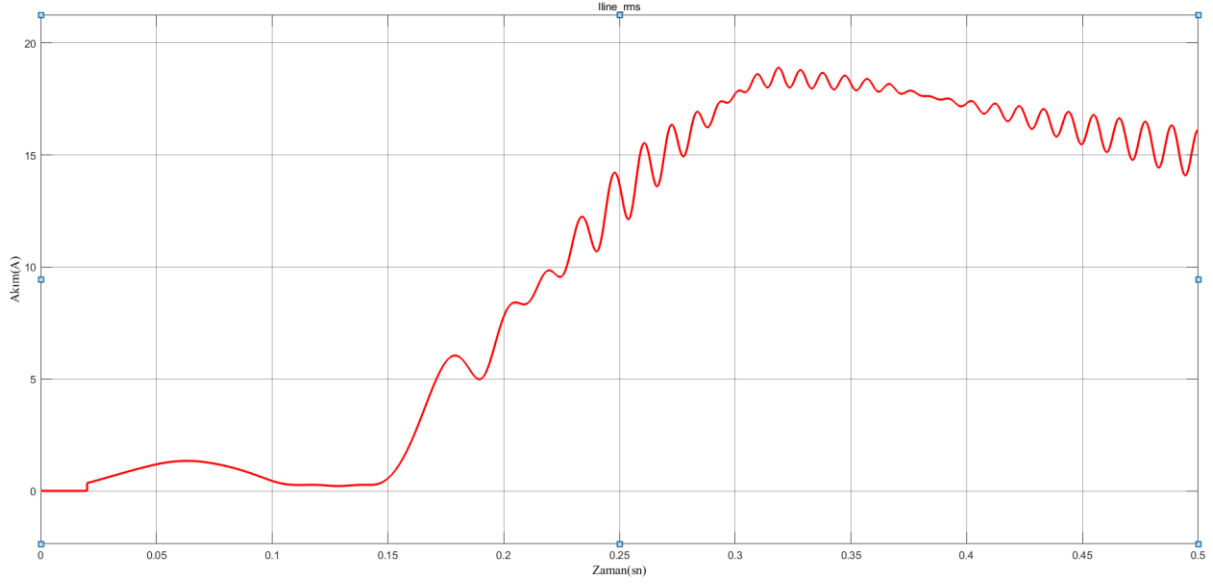


Şekil 8. A ile B Arasındaki Akım

Rüzgâr türbini modelinin hassasiyetinin değerlendirilmesi ve maksimum güç noktası izleme algoritmasının etkinliği simüle edilmiş sonuçlar incelenerek ölçülmüştür. Bu değerlendirme aşamasında, akım ve gerilim çıkışlarının Ortalama Karekök (RMS) değerleri incelenmiştir. Bu değerler, güç hesaplamaları için kullanılan akım ve gerilim sinyallerinin etkin okumalarını temsil eder. Algoritmanın kesinliği, çıkış gücü ve RMS değerleri incelenerek değerlendirilmiştir. Aşağıdaki şekiller, analiz edilen ve grafik haline getirilen modellerden elde edilen çıktıların sonuçlarını göstermektedir.

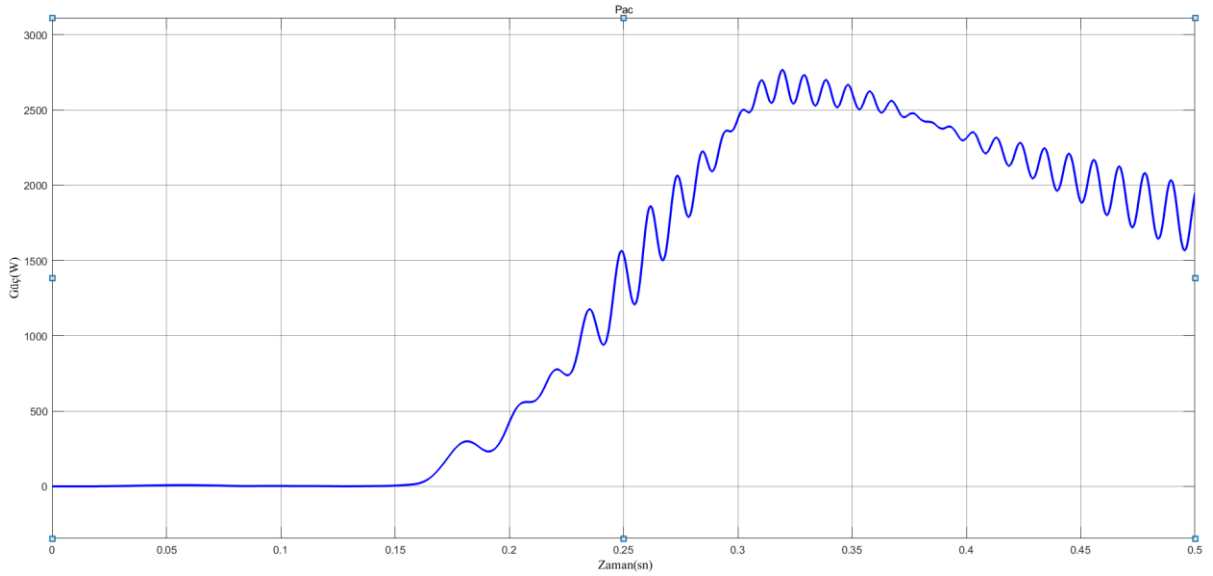


Şekil 9. RMS Voltaj Değeri

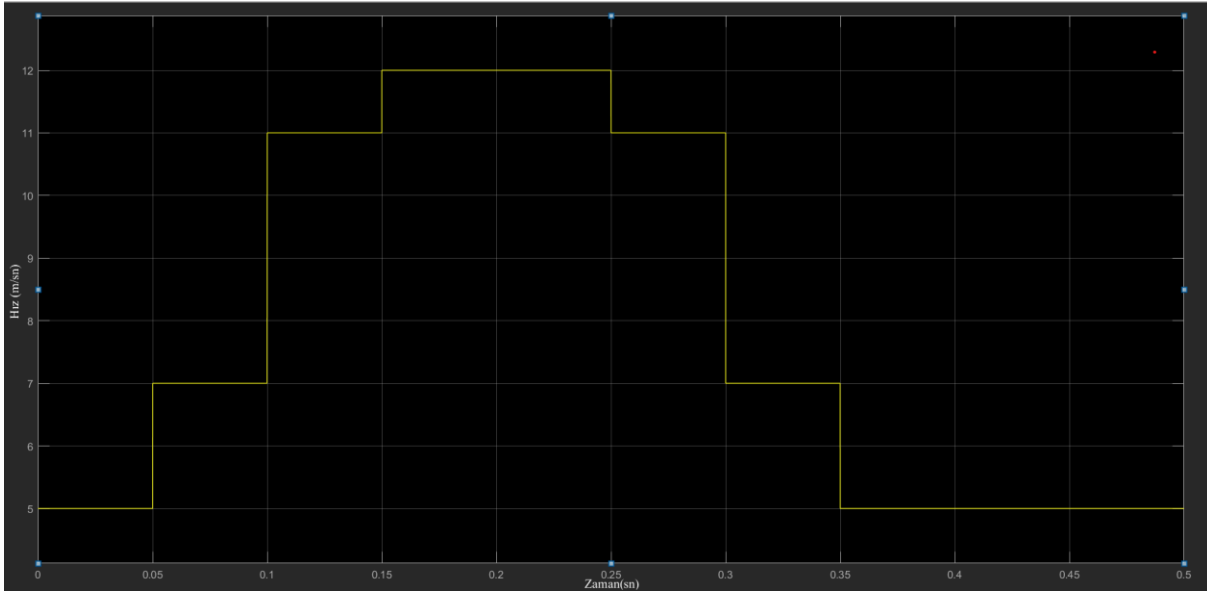


Şekil 10. RMS Akım Değeri

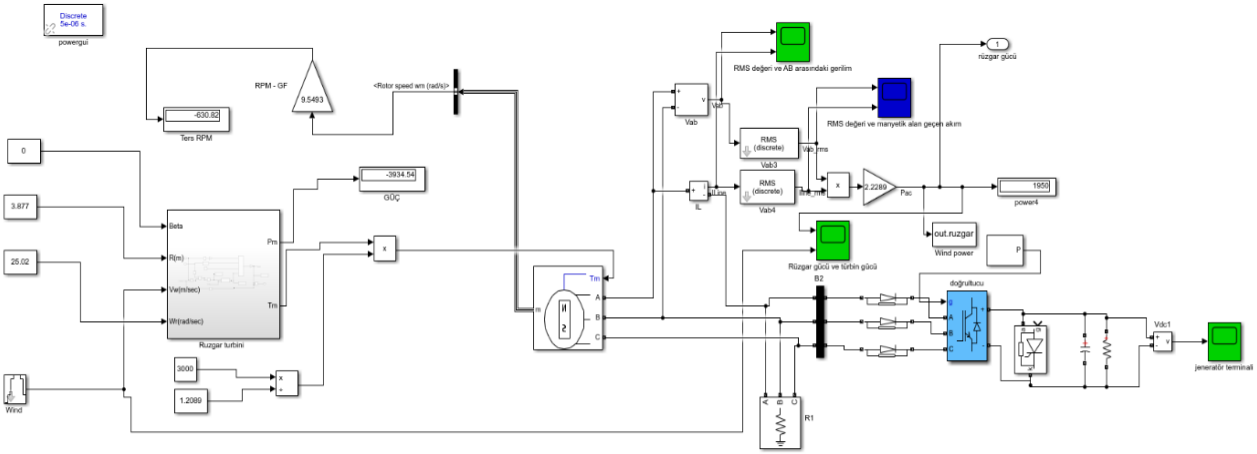
Rüzgâr türbinlerinde güç noktası kavramı, türbinin ulaşabileceği en yüksek güç seviyesini ifade eder. MPPT algoritması, rüzgâr türbini çıkışındaki güç-voltaj eğrisini analiz ederek ve maksimum güç elde etmeye çalışarak doğrultucunun çalışma noktasını optimize etmek için kullanılır. Bu sayede rüzgâr türbini tasarımının verimliliği artırılmakta ve türbin en yüksek güç noktasında çalışabilmektedir. Bu çalışma ile rüzgâr türbini modelinin ve MPPT algoritmasının verimliliğinin ve doğruluğunun yüksek olduğu gösterilmiştir. Maksimum güç noktası için izleme, türbinin optimum hızda çalışmasını sağlayarak güç üretimini ve verimliliği en üst düzeye çıkarır. Güç noktası takibi ile tasarlanan rüzgâr türbini modeli, A ve B aralığında gerilim ve akım değerleri ile 20,5 kW güç vermiştir.



Şekil 11. Rüzgâr Güç Grafiği



Şekil 12. Rüzgâr Hız Zaman Grafiği



Şekil 13. Rüzgâr Türbini Genel Blok Diyagramları

Bu çalışma, rüzgâr enerjisi sistemlerinin etkisini ve enerji verimliliğini artırma yeteneklerini değerlendirmeye odaklanmıştır. Bunu başarmak için enerji simülasyon programlarından yararlanılmıştır. Simülasyonların sonuçları, aşağıdakiler de dahil olmak üzere birçok önemli keşfe yol açtığı bulunmuştur:

- Aydınlatma ve enerji tüketimi göz önüne alındığında, lümen/m² ve lümen/watt hesaplamalarını içeren aydınlatma analizi kullanılarak bir binanın enerji gereksinimlerini büyük ölçüde azaltmak mümkündür. Rüzgâr enerjisinin ürettiği enerjiyi etkili bir şekilde kanaliz eden otomatik aydınlatma sistemleri, enerji kullanımını %15'e kadar azaltma potansiyeline sahiptir.
- Yerel güç kalitesi stabilizatörlerinin ve güç faktörü düzelticilerinin rüzgâr enerjisi sistemlerine entegrasyonu, elektrik sistemi verimliliğinde önemli gelişmelere yol açmıştır. Özellikle elektrik enerjisi tüketiminde %20'ye varan bir artış gözlemlenmiştir.
- Bilgisayar simülasyonları yapıldıktan sonra, rüzgâr enerjisinin entegrasyonu ile bina cepheleri ve yalıtımının optimizasyonunun bina performansında kullanılan enerjiden %10'a kadar tasarruf sağlama potansiyeli olduğu keşfedilmiştir.
- Araştırmalar rüzgâr enerjisi sistemlerinin binalarda doğal havalandırma sürecini kolaylaştırabileceğini göstermiştir. Bu uygulamanın enerji giderlerini %5'e kadar önemli ölçüde azalttığı bilinmektedir. Yaşam döngüsü maliyet analizine

dayanarak, rüzgâr enerjisi sistemlerinin entegrasyonu önemli ekonomik faydalar sağlama potansiyeline sahiptir. Spesifik olarak, uzun vadeli enerji maliyetleri %25'e kadar azaltılabilir.

4.1. Aerodinamik dizayn optimizasyonu

Yapılan aerodinamik analizler, rüzgâr türbin kanatlarının yüzey profillerinin enerji dönüşüm verimliliği üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermektedir. Özellikle laminar ve turbulent akışın sınırlarını belirlemek ve bu sınırları optimizasyon çalışmalarında kullanmak, enerji üretimini önemli ölçüde artırabilir.

4.2. Malzeme seçimi ve hafiflik ilkesi

Gelişmiş kompozit malzemelerin kullanılması, türbin kanatlarını daha hafif ve dayanıklı yapabilir. Hafif kanatlar, rüzgârın hafif esintilerine bile daha hızlı tepki vererek enerji üretimi sırasında daha stabil bir performans sunabilir.

4.3. Yüksek çözünürlüklü hava durumu modelleri

Yerel hava durumu modellerinin yüksek çözünürlüklü analizi, rüzgâr hızı ve yönünün yanı sıra diğer atmosfer koşullarını daha doğru tahmin etmemizi sağlar. Bu, rüzgâr türbinlerinin gerçekte hangi koşullarda çalışacağını anlamamıza yardımcı olur.

4.4. Yenilikçi şebeke entegrasyon teknikleri

Rüzgâr enerjisi üretiminin dalgalı doğası, enerji şebekesine entegrasyon sırasında sorunlara neden olabilir. Ancak, enerji depolama çözümleri ve talep yanıtı yönetimi gibi yenilikçi teknikler sayesinde bu dalgalanmalar minimize edilebilir.

4.5. Akustik ve gürültü analizi

Rüzgâr türbinlerinin çevresel etkisi de önemli bir araştırma konusudur. Akustik analiz, türbinlerin çıkardığı gürültüyü anlamamıza ve bu gürültüyü minimize edecek tasarım değişiklikleri yapmamıza yardımcı olabilir.

4.6. Bakım ve onarım stratejileri

Dijital ikizler ve yapay zekâ tabanlı izleme sistemleri kullanılarak, türbinlerin bakım ihtiyaçları önceden tahmin edilebilir. Bu, beklenmedik arızaların ve duruşların önüne geçerek enerji üretimini sürekli kılabilir.

5. Sonuç ve Tartışma

Rüzgâr enerjisi sistemlerinin enerji verimliliğinde kritik bir rol oynadığı bu çalışmada detaylıca incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, bu sistemlerin entegrasyonu sayesinde enerji maliyetlerinde %25'e kadar bir azalma potansiyeli bulunmaktadır. Bu potansiyel tasarruf, aydınlatma sistemlerinden yalıtıma, otomatik aydınlatma sistemlerinin entegrasyonundan doğal havalandırmaya kadar geniş bir yelpazede enerji tasarrufu imkanları sunmaktadır. Ayrıca, simülasyonlar rüzgâr türbinlerinin aerodinamik tasarımı, malzeme seçimi ve hava durumu modelleri gibi faktörlerin enerji üretimi üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Enerji şebekesine entegrasyon ve akustik analizlerle, rüzgâr enerjisinin çevresel etkileri en aza indirilebilir. Bunun yanında, bakım ve onarım stratejilerinin yenilikçi yöntemlerle optimize edilmesi enerji üretiminin sürekli ve verimli olmasını sağlar. Bu çalışma, rüzgâr enerjisi sistemlerinin sürdürülebilir enerji üretiminde ne denli önemli olduğunu vurgulamakta ve bu alandaki yenilikçi uygulamaların sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşmada ne kadar kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Referanslar

- Akın, C.T. ve Kaplan, S. (2019). Enerji Kimlik Belgelerinin Enerji Etkin Mimari Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10 (1), 373-384.
- Amal, E., Yılmaz, K. & Özdemir, E. (2022). Rüzgâr Enerji Santrallerinin Elektrik Şebekesine Etkilerinin İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5 (2) , 50-65 .
- Anbarcı, M., Giran, Ö. ve Demir, İ. H. (2012). Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ile Türkiye'deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması. Engineering Sciences, 7 (1), 368-383.
- Aydınöz, H. İ. ve Ekren, O. (2016). Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Enterkonnekte Sistemde PSS/E ile Modellenmesi. EMO Bilimsel Dergi, 5 (10), 1-8.
- Bayraç, H. N. (2010). Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi ve Önleyici Politikalar. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11 (2), 229-259.
- Bingöl, F. (2018). Rüzgâr Enerji Sistemleri İçin Hava Yoğunluğunun Hesaplanması. Politeknik Dergisi, 21 (2), 273-281.
- Doğan, H. ve Çataltepe, Ö. A. (2018). Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. Journal of Health and Sport Sciences, 1 (1), 29-38.

Doğan, H. ve Yılankırkan, N. (2015). Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 3 (1), 375-384.

Elibüyük, U. ve Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. Yekarum, 2 (3), 1-14.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2023). EİGM Raporları. <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari>. Erişim Tarihi: 23.09.2023.

Fıçıcı, F., Dursun, B. ve Gökçöl, C. (2007). Rüzgâr Enerji Sistemlerinden Kaynaklanan Gürül Tünün İncelenmesi. Sakarya University Journal of Science, 11 (1), 54-62.

Gordon G. (2001). Wind, energy, landscape: reconciling nature and technology”, Philos Geog, 4,169-184.

Gür, M.G. (2020). Endüstriyel Tesislerde Aydınlik Düzeyi Kontrolü ile Aydınlatma Otomasyonu ve Bir Örnek Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Haber Portalı, (2022). ABD rüzgâr enerjisi sektöründe rekor üretim bekleniyor. <https://temizenerji.org/2022/08/18/abd-ruzgar-enerjisi-sektorunde-rekor-uretim-bekleniyor/>. Erişim Tarihi: 23.09.2023.

İlkılıç, Z. (2016). Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi ve Rüzgâr Enerji Sistemlerinin Gelişimi. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 6 (2/2), 1-13.

Keleş, D. (2012). Bir Rüzgâr Türbini Tasarımı ve Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Köse, Ö. ve Has, A. (2019). Türbülans parametrelerinin ölçümü ve türbülans kinetik enerjisinin oksijen transferine etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34 (4), 2159-2172.

Liu W.Y., (2017). A review on wind turbine noise mechanism and de-noising techniques. Renewable Energy, 108, 311–320.

Maslov N., Claramunt C., Wang T., Tang T., (2017). Evaluating the Visual Impact of an Offshore Wind Farm. Energy Procedia, 105, 3095–3100.

Öymen, G. (2020). Yenilenebilir Enerjinin Sürdürülebilirlik Üzerindeki Rolü. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 19 (39), 1069-1087.

Perçin, H. B. ve Çalışkan, A. (2021). Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası İzleme Kontrolünün Farklı Yöntemler Üzerinden Karşılaştırmalı Analizi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33 (2), 635-644.

Sæþórsdóttir A.D., Ólafsdóttir R. (2020). “Not in my back yard or not on my playground: Residents and tourists' attitudes towards wind turbines in Icelandic landscapes”, Energy for Sustainable Development, 54: 127-138.

Şenpınar, A. ve Gençoğlu, M. T. (2006). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri Açısından Karşılaştırılması. Fırat Üniversitesi Dođu Araştırmaları Dergisi, 4 (2), 49-54.

Torres-Sibille A., Cloquell-Ballester V., CloquellBallester V., Darton R. (2009). Development and validation of a multicriteria indicator for the assessment of objective aesthetic impact of wind farms. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(1), 40-66.

Ülgen, P. (2019). Orta Çağ'ın Fabrikaları Olan Deđirmenlerin Dođu–Batı Ekseninde Değerlendirilmesi. Antakiyat, 2 (1), 52-66.
Winergy Technologies, (2023). <https://winergytechnologies.com/enerji-verimlilik-similasyonu/> Erişim Tarihi: 07.02.2023.

Yağız Gürbüz, E. Y., Altıntaş, A., Sürücü, B. ve Tuncer, A. D. (2021). Rüzgâr Türbinlerinin Yaban Hayatına Etkilerinin İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 24 (3), 953-962.

Yalılı Kılıç, M. & Adalı, S. (2022). Elektrik İhtiyacının Karşılanmasında Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi-Süpermarket Örneđi . Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 5 (1) , 224-235 .

Yeşeren Enerji, (2021). Rüzgâr Enerjisinde Kullanılan Programlar. <https://yeserenerji.com/ruzgar-enerjisinde-kullanilan-programlar/>. Erişim Tarihi: 23.09.2023.