



Mikro Rüzgâr Türbin Modelleri Üzerine Bir Araştırma

Yasin İçel

¹Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Adıyaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9529-4841),
yasinicel@gmail.com

(2nd International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS, January 28 - 31, 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1241992)

ATIF/REFERENCE: İçel, Y. (2023). Mikro Rüzgâr Türbin Modelleri Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (47), 47-52.

Öz

İnsanoğlunun geçmişten günümüze kadar olan en büyük sorunlarından biri enerji ihtiyacı olup teknolojinin günden güne ilerlemesiyle birlikte hayatın tüm evresindeki gereksinimlerini enerji kaynakları karşılamıştır. Günümüzde iklim değişiklikleri ele alınırken gelecekteki dünya enerji ihtiyaçlarını karşılamak için konvansiyonel enerji kaynakları üzerinde daha fazla baskı oluşmaktadır. Sürdürülebilir enerji kaynaklarından biri rüzgâr enerjisidir. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında rüzgâr enerjisi, bugün dünyanın karşı karşıya olduğu birçok çevre sorununun (sera etkisi, atmosfer, toprak ve su kirliliği) çözülmesine yardımcı olan alternatif bir enerji çözümüdür. Ancak büyük ölçekli rüzgâr enerji santrali kurulmalarının iklim şartlarına ve çevreye potansiyel etkileri (yüksek desibelde gürültü oluşturmaları, yerleşim yerlerine yakın kurulamaları, göçmen kuşlara ve tabiata zarar vermeleri, şebekeye aktarma ve depolama sorunları, kurulumda yüksek maliyetler gerektirmesi, ışık kirliliği ve görüntü kirliliği oluşturmaları vb.) olduğundan, merkezi olmayan mikro rüzgâr türbinleri bu etkileri minimize etmek için sürdürülebilir bir seçenektir. Bu derleme çalışması mikro rüzgâr türbinlerinin üstünlüklerini ve farklı kanat sayısına sahip mikro türbinleri uygulanabilirliğini göstermek amacıyla yapılmıştır. Çok kanatlı (6 ve üstü) mikro rüzgâr türbinlerinin daha verimli olduğu belirtilmiştir. Ancak çalışmalar genellikle simülasyon ağırlıklı olduğundan deneysel çalışmalar yapılması ve mikro rüzgâr türbinlerinin yerleşim alanlarında kullanılabilirliğini göstermek gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikro rüzgâr türbini, Rüzgâr enerjisi, Türbin modeli, Yerleşim alanı, Verim.

A Research on Micro Wind Turbine Models

Abstract

One of the biggest problems of mankind from the past to the present is the need for energy, and with the advancement of technology day by day, energy resources have met the requirements of all stages of life. Today, while addressing climate change, there is more pressure on conventional energy sources to meet the future world's energy needs. One of the sustainable energy sources is wind energy. Compared to fossil fuels, wind energy is an alternative energy solution that helps to solve many environmental problems (greenhouse effect, atmosphere, soil and water pollution) facing the world today. However, the potential effects of large-scale wind power plants' installation on climatic conditions and the environment (they create high-decibel noise, they cannot be established close to settlements, damage to migratory birds and nature, transmission and storage problems to the grid, high costs in installation, light pollution and visual pollution, etc.), decentralized micro wind turbines are a sustainable option to minimize these effects. This review study was conducted to present the advantages of micro wind turbines and the applicability of microturbines with different blade numbers. It has been stated that multi-blade (6 or more) micro wind turbines are more efficient. However, since the studies are mostly simulation-based, it is necessary to carry out experimental studies and to demonstrate the usability of micro wind turbines in residential areas.

Keywords: Micro wind turbine, Wind energy, Turbine model, Residential area, Efficiency.

1. Giriş

Ülkelerin gelişmişlik durumlarını gösteren önemli faktörlerden biri olan enerji üretiminde ham madde olarak büyük oranda fosil yakıtların (kömür, petrol, doğal gaz, nükleer) kullanılması, bu yakıtların hızla tükenmesine ve bu kaynaklara sahip olmayan ülkeler için dışa bağımlılığı artırmaktadır. Ayrıca bu yakıtların kullanılması ile ortaya çıkan zararlı gazlar (karbon dioksit, sera gazları, kükürt dioksit, sülfat vb) ve nükleer enerjiye karşı gösterilen tepkiler bilim insanlarını, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmeye yöneltmiştir (Köse vd.,2012). Bu nedenle oldukça iyi bir potansiyele sahip olan ülkemizin için yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir öneme sahiptir. Türkiye için önemli bir potansiyele sahip olan rüzgâr enerjisi atmosferde bol ve serbest olarak bulunan, güvenilir, kararlı ve sürekli bir enerji kaynağıdır (Dursun, 2006). Rüzgâr enerjisinden elektrik üretilmesi üzerine ülkemizde ve dünyada gerçekleştirilen çalışmalar ve konu ile ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından yapılan ve yapımı devam eden alt yapı çalışmaları, dünyada ve ülkemizde sürdürülen ve planlanan reformlar ile enerji piyasası kalkınma projeleri yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretilmesini desteklemektedir.

Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kurulan rüzgâr enerjisi santrallerinde kullanılan klasik rüzgâr türbinleri; yüksek rüzgâr hızları, kesintili bir enerji kaynağı olması, yüksek desibelde ses oluşturmaları, yerleşim yerlerine yakın kurulmaması, kurulum için geniş sahalara ihtiyaç duyması, göçmen kuşlara ve tabiata zarar vermesi, şebekeye aktarma ve depolama sorunları, yüksek meblağlar gerektirmesi, TV sinyallerini bozması, ışık kirliliği ve görüntü kirliliği oluşturmaları vb. dezavantajlara sahiptir. Bu dezavantajları gidermek veya minimize etmek için tasarlanan mikro rüzgâr türbinleri; klasik rüzgâr türbinlerinin küçük bir parçası boyutunda olup en küçük rüzgarlarda dahi enerji üretebilmektedir (Tuncer, 2021).

Global Wind Energy Council (GWEC) 2022 yılı verileri incelendiğinde; dünya genelinde kurulu rüzgâr kapasitesi 2020 yılına kıyasla %12,4 lük bir artışla 837 GW'a yükseldiği ve bu durumun dünyada yılda 1,2 milyar tondan fazla CO2 salınımının önlediği görülmektedir. 2021 yılında büyüme oranı %-1,8 olmasına rağmen dünya çapında yeni 93,6 GW rüzgâr kapasitesi eklenmiştir. Bu düşüşün nedeni Çin ve ABD'nin 2020 yılına kıyasla %10'luk pazar payı kaybetmesidir. Bu gerilemeye rağmen Çin yeni kurulumun %80'inden fazlasına sahip durumdadır.

GWEC araştırmaları, rüzgâr enerjisinin güvenli ve esnek bir küresel enerji geçişini gerçekleştirmek için hızlı ve yeterince geniş bir büyüme göstermediğini, bu durumda 2030 yılında hedeflenen kapasiteye ulaşamayacağını göstermektedir. Bunun için önümüzdeki beş yıl içinde 557 GW yeni kapasitenin eklenmesi beklenmektedir. Eğer dünya 2050 yılı hedeflerine ulaşmak ve iklim hedeflerini yakalamak istiyor ise rüzgâr enerjisi kurulumunda on yıl sonunda dört kat hızlı bir büyüme göstermelidir (GWEC, 2021).

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) verilerine göre yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri yıllık ortalama rüzgâr hızlarına sahip kullanılabilir alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiş ve Türkiye'de kurulabilecek rüzgâr elektrik santrallerinin toplam kapasitesinin 47.849,44 MW olduğu belirlenmiştir (ETKB, 2022a). Sonuçlar dikkat edilirse mikro rüzgâr türbinlerin enerji ürettiği rüzgâr hızları ve yükseklikler bu

kapasite içine alınmamıştır. Dolayısıyla mikro rüzgâr türbinlerinin kullanılabilirdiği hız ve yükseklikler dikkate alındığında insanoğlunun yaşamını sürdürdüğü alanlardaki rüzgâr enerjisi potansiyeli bu değerden çok daha yüksek çıkacaktır. Türkiye'de 2011 yılında 1.729 MW rüzgâr kurulu gücüne sahip olurken 2022 de 10.976 MW kurulu güce ulaşmış ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı %10,81 yükselmiştir (ETKB, 2022b). Enerji kaynaklarını büyük oranda doğalgaz, kömür ve hidroelektrik oluşturduğu ülkemizde diğer kaynaklara oranla bakıldığında rüzgâr enerjisi için son 10 yılda büyük yatırımlar yapılmıştır (Ertan, 2022). Türkiye'nin; 2022 yılı aralık ayı sonu itibarıyla kurulu gücü 103.809 MW'a ulaşmıştır. Kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; %30,4'ü hidrolik enerji, %24,4'ü doğal gaz, %21'i kömür, %11'i rüzgâr, %9,1'i güneş, %1,6'sı jeotermal ve %2,5'i ise diğer kaynaklar şeklinde olup rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında ilk sırada yer almaktadır (ETKB, 2022c). Türkiye Ulusal Enerji Planı raporlarına göre; 2020 yılında yeni kurulu güç içinde %52,0 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2035 yılına kadar %64,7'ye ulaşmaktadır. Rüzgâr enerjisi kurulu gücünün ise 2035 yılında 29,6 GW'a ulaşması öngörülmektedir. Ayrıca 2020 yılında elektrik üretiminde %42,4 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2035 yılında %54,8'e çıkmaktadır. Rüzgâr enerjisinin elektrik üretimindeki payı 2020 yılında %8,1 iken bu oranın 2035 yılında %17,1'e çıkarak yenilenebilir enerji kaynakları arasında ilk sırada yer alacaktır (ETKB, 2022d). Tüm araştırma ve raporlar rüzgâr enerjisinin elektrik üretimindeki önemine ve hızla artan payına dikkat çekmektedir.

Rüzgâr enerjisi oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olup özellikle, elektrik, mekanik ve ısı enerjisi uygulamalarında öne çıkmaktadır. Rüzgâr enerjisi aydınlatma sistemleri, su depolama ve su pompalama sistemleri, ısıtma ve soğutma mekanizmaları, şarj sistemleri, tahıl öğütme mekanizmaları ve taşımacılık sektörü gibi çok farklı alanlarda da kullanılmaktadır (Tuncer, 2021). Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için ana yapı elemanı türbindir. Genel tanımıyla rüzgârın oluşturduğu kinetik enerji, rüzgâr türbinleri sayesinde mekanik enerjiye ve daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürülür (Tummala vd., 2016). Enerji üretim maliyetlerindeki yükseliş sonsuz ve sıfır hammadde gideri nedeniyle ucuz bir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi özellikle mikro rüzgâr türbinlerinin kullanımının yaygınlaştırılması kişilerin kendi enerjilerini çok düşük maliyetlerle ve çevreye zarar vermeden üretebilmelerine olanak sağlayacaktır.

Geçmiş eskilere dayanan ve temiz bir enerji kaynağı olarak bilinen rüzgâr enerjisinin sahip olduğu avantajlar; tükenmeyen ve bedava bir enerji kaynağı olması, kirlilik yaratmayan ve çevreye çok az zarar veren, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, dışa bağımlılığın olmamasıdır. Ayrıca rüzgâr türbinleri karmaşık olmayan otomatik makineler olup periyodik bakımlar sonucu uzun yıllar sorunsuz çalışabilirler (Ünal, 2021). Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi elde etmenin dezavantajları ise; rüzgârın kesilmesi veya hızının azalmasıyla enerji kaybı oluşması, frekansın değişken olması, sadece yeterli rüzgârın bulunduğu alanlarda kurulabilir olmaları, santralin kurulacağı arazinin engebeli oluşu veya sit alanlarına yakın olma durumu olumsuzluk yaratabilir, rüzgâr türbinlerinin meydana getirdiği ses şiddeti çevreye gürültü olarak yansımakta, türbin maliyetleri yüksek olabilmekte, türbin büyük dönel bir makine olduğundan dolayı çevrede kuş ölümlerine neden olabilmekte, türbinlerin aydınlatılması gerektiğinden ışık kirliliğine neden olmakta, türbinler ortamda bulunan elektromanyetik dalgayı etkilemesidir

(Ünal, 2021). Mikro rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji santrallerindeki klasik türbinlerin dezavantajlarına çözüm getirmekte ve bu dezavantajları minimize etmektedir.

Bu inceleme çalışmasının amacı; ülkemiz için önemli bir potansiyele sahip olan rüzgâr enerjisine dikkat çekmek ve düşük hızlarda elektrik enerjisi üreten mikro rüzgâr türbinlerinin insanoğlunun yaşam alanlarında kullanılabilirliğini göstermektir.

2. Mikro Rüzgâr Türbinleri

Mikro rüzgâr türbinleri klasik rüzgâr türbinlerin mikro boyutlara indirgenmiş hali olup ve 2m/s'lik rüzgâr esintisinde dahi elektrik enerji üretebilmektedir. Klasik rüzgâr türbinlerinin enerji üretebilmeleri için 8-15 m/s'lik bir rüzgâr hızı gerekmektedir. Ancak yeryüzünde standart yüksekliklerde ve normal hava şartlarında ortalama rüzgâr hızı 0-7 m/s arasında değişmektedir (Tuncer, 2021). Mikro rüzgâr türbinleri düşük rüzgâr hızlarında dahi elektrik enerjisi üretebildikleri için rüzgâr enerjisinin kullanımında öne çıkmaktadır.



Şekil 1. Mikro rüzgâr türbini (Tuncer, 2021)

Mikro rüzgâr türbinleri enjeksiyonla kalıplanmış plastik polimer dişlilerden oluşturulmuştur. Her biri 26 cm çapında ve birbirlerine çatı üstüne, balkonlar gibi herhangi bir yere yerleştirilebilecek iskelet diziler ile bağlanmıştır. Dişliler birbirine bağlanarak sistemin daha çok elektrik üretmesi sağlanmıştır. 6-8-10 ve 20'lik dişli paketleri şeklinde satılmaktadır. Tıpkı küçük rüzgâr değirmenleri gibidirler ve dizilerin boyutu müşterinin özel alan ve enerji ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir (Gambarota, 2022).



Şekil 2. Mikro rüzgâr türbin paneli (Gambarota, 2022)

Klasik rüzgâr türbinlerinde olduğu gibi, mikro rüzgâr türbinlerinde de enerji çıkışı tabii ki rüzgârın hızına bağlıdır. 1 m² boyutunda olan ve 20 dişliden oluşan bir sistem 5 m/s rüzgârla 15-17 W güç üretmektedir. 6 m/s rüzgârdaki güç çıkışı 27-39 W, saniyede 8 m/s rüzgârdaki 64-65 W enerji üretilir. Rüzgâr hızı her 2 katına çıktığında güç çıkışı 8 katına çıkmaktadır. Bu teknoloji,

üretim süreci göz önünde bulundurularak ve bakım için kolayca kullanılacak bir boyutta tasarlanmıştır. Seri üretimin düşük maliyete sahip olması için plastik polimerden (nylon) üretilmiştir. Plastik polimer kimyasallar, kirlilik, tuzlu su, kum, ısı, soğuk, kardan etkilenmez. Bu nedenle dünyanın herhangi bir yerinde kullanılmaya uygundur (Tuncer, 2021; Gambarota, 2022).

2.1. Mikro Rüzgâr Türbinlerinin Üstünlükleri

Klasik türbinlerinin dezavantajlarını minimize etmek için tercih edilen mikro türbinlerini üstünlüklerini aşağıdaki şekilde inceleyebiliriz.

2.1.1. Bakım

Yenilenebilir enerji kaynaklı sistemlerde bakım çok önemli olup klasik rüzgâr türbinlerinin bakımı karmaşık ve profesyonel işçilik nedeniyle yüksek maliyetler gerektirmektedir. Ancak mikro rüzgâr türbinlerinde bakım çok basit olup kullanıcı tarafından dahi yapılabilmektedir. Sistem kurulumunda kullanılan bileşenler yerli üretim olduğundan yedek parça maliyetleri de oldukça düşüktür (Tuncer, 2021; Gambarota, 2022).

2.1.2. Yapısal Güvenlik Faktörü

Rüzgâr enerji santrallerinde kullanılan klasik türbinler, 60 m/s rüzgâr hızına 3 saniye dayanacak şekilde tasarlanmış olup bu rüzgâr basıncına kule, bu kuvvetin 1,2 ile 1,3 katına dayanacak şekildedir ve güvenlik faktörü 1,2-1,3'tür. Ancak mikro rüzgâr türbinlerinde güvenlik faktörü 3 ile 4 arasında olduğundan kaza olasılığı çok düşüktür (Tuncer, 2021; Gambarota, 2022).

2.1.3. Çevresel Faktörler

Rüzgâr enerji santrallerinde kullanılan klasik türbinler, buzu, kumlu, karlı hava şartlarında türbin kanatları zarar gördüğü için kullanılamazlar. Ancak mikro rüzgâr türbinleri, paslanmaz çelik çerçeve üzerine plastik polimer malzemeden üretildikleri için bu hava şartlarından etkilenmezler (Tuncer, 2021; Gambarota, 2022).

2.1.4. Gürültü Kirliliği

Konvansiyonel türbinler düşük frekanslı ses yaydığı ve insanlar ile hayvanlara zarar verdiği için rüzgâr enerji santralleri yaşam alanlarından en az 2-3 km'lik mesafede kurulmalıdır. Mikro rüzgâr türbinleri çok daha sessizdir ve etrafa bu tür bir gürültü yaymaz. Türbinler, rüzgâra karşı direnç gösterirken oluşturduğu titreşimde yüksek bir ses oluşturur ancak mikro rüzgâr türbinlerin üretildiği plastik polimer malzeme titreşmez ve buna bağlı ses oluşturmaz (Tuncer, 2021; Gambarota, 2022).

2.1.5. Diğer Canlılara Zarar Verme

Rüzgâr enerji santrallerinde kullanılan konvansiyonel türbinler tasarım ve büyüklük nedeniyle, çalışırken özellikle kuşlara ve uçan hayvanlara zarar vermektedir. Ancak mikro rüzgâr türbinleri tasarım ve büyüklüğü nedeniyle tabiiata hiçbir zarar vermemektedir (Tuncer, 2021; Gambarota, 2022).

2.1.6. Üretim Parametreleri

Konvansiyonel türbinlerde maksimum verimlilik için çok önemli olduğu için rüzgâr yönünü takip edebilmesi gerekirken mikro rüzgâr türbinlerinin simetrik olmaları ekstra takip sistemi gerektirmemektedir. Klasik türbinler enerji üretimine başlamak için en az 4-5 m/s rüzgâr hızına ihtiyaç duyarlar. Mikro türbinler ise 2 m/s rüzgâr hızında enerji üretimine başlamaktadır. Konvansiyonel türbin kullanılarak kurulan enerji santralleri AC üretim yaptıklarından doğrudan şebekeye bağlanmalıdır, enerji

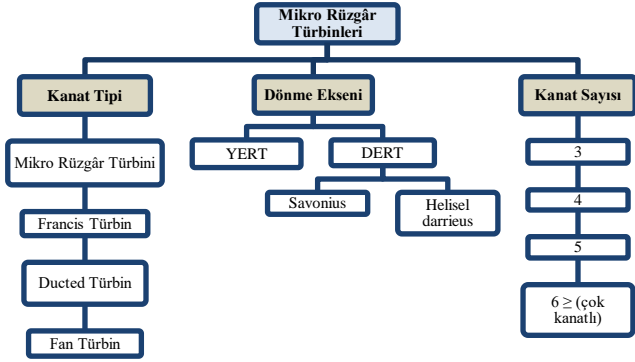
depolama yapılamaz. Mikro türbin kullanılarak kurulacak enerji sistemlerinde ise üretim DC olacağından depolama yapılabilmektedir. Ayrıca mikro türbin sistemleri diğer yenilenebilir enerji kaynakları (güneş panelleri vb) ile uyumlu olduğundan hibrit sistemler de kurulabilir (Tuncer, 2021; Gambarota, 2022).

2.1.7. Kullanılan Alan ve Görsellik

Rüzgâr enerji santrallerinde kullanılan klasik türbin için çok geniş arazi (1-2 dönüm) gerekirken aynı gücü sağlayacak mikro türbin sistemi için onda bir oranında arazi yeterli olacaktır. Ayrıca mikro rüzgâr türbinleri kullanılarak farklı renkli grafik ve logo tasarımları ile klasik türbinlerin neden olduğu görüntü kirliliği görsel bir şölene dönüştürülebilir (Tuncer, 2021; Gambarota, 2022).

3. Mikro Rüzgâr Türbinleri Modelleri

İlk olarak İtalyan mucit Lucien Gambarota tarafından tasarlanan mikro türbinler, farklı kullanım alanları ve ihtiyaçlara göre geliştirilmiş ve değişik modelleri oluşturulmuştur. Sınıflandırma klasik türbinlerden farklı olarak tasarımsal modeller üzerinden yapılmıştır.



Şekil 3. Mikro rüzgâr türbinlerin sınıflandırılması (Tuncer, 2021)

Mikro rüzgâr türbinlerinde kanat sayısı ile ilgili klasik rüzgâr türbinlerinde olduğu gibi bariz bir sınıflandırma mevcut olmayıp mikro rüzgâr türbinler tasarımıda istenildiği kadar kanat sayısı ile üretilebilmektedir. Tek kanatlı mikro rüzgâr türbinini ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olup iki kanatlı yatay eksenli mikro rüzgâr türbinini deneysel bir çalışma için üretilmiş ve çalışma sonuçları teorik olarak değerlendirilmiş ve verimli bulunmamıştır (Hogan, 2011).



Şekil 4. İki kanatlı mikro rüzgâr türbinini (Hogan, 2011)

Mikro rüzgâr türbinleri genellikle en az 3 kanatlı üretilmekte olup, ihtiyaca göre daha fazla kanatlı üretim gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5. Üç kanatlı mikro rüzgâr türbinini (World Energy, 2022)



Şekil 6. Beş kanatlı mikro rüzgâr türbinini (Reve, 2022)



Şekil 7. Çok kanatlı mikro rüzgâr türbinini (Gambarota, 2022)

Mikro rüzgâr türbinleri üzerine yapılan bir çalışmada; 13,8 cm çapında 2-3-6 kanatlı üç adet mikro rüzgâr türbinini kullanarak türbinlerin ürettiği güçler incelenmiş ve 6 kanatlı mikro rüzgâr türbininin, 7 m/s rüzgâr hızı ile 439 mW'lık bir üretme gücüne sahip en güçlü performansa sahip olduğu belirlenmiştir (Park vd., 2012).

Bir diğer çalışmada, 2 - 4 m/s 'lik düşük rüzgâr hızı olan yerlerde bile istikrarlı güç kaynağı sağlayabilen sürdürülebilir bir rüzgâr enerjisi sistemi geliştirmek amacıyla 3 kanatlı mikro rüzgâr türbinini ile yapılan araştırma sonucunda çatılarda 3-6 m/s'lik rüzgâr hızlarında ticari olarak kullanılabilirliğini göstermiştir (Tiwari ve Harinarayana, 2014).

Konut enerji üretimi için çatı üstü güneş panelinin yanı sıra, düşük rüzgâr çalışma kabiliyeti nedeniyle yerel güç talebini

desteklemek için dikey eksenli mikro rüzgâr türbinlerini performanslarının incelendiği çalışmada; sabit rüzgâr (8,5 m/s) hızında 30 cm çapında 8, 16 ve 24 kanatlı türbinler için maksimum güç çıkışları sırasıyla 1,2- 2,3- ve 3,6 W bulunmuştur (Loganathan vd., 2018).

Mikro ölçekli bir rüzgâr türbini sistemi için çok kanatlı bir yaklaşım tercih edilen çalışmada, kanat sayıları 3 ile 12 arasında değişen farklı türbinler test edilmiş ve 8 veya daha fazla kanatlı türbinlerin torkunda belirgin bir fark olmadığı görülmüştür (Leung vd., 2010).

Diğer bir çalışmada, mikro rüzgâr türbinlerinin çevresel sürdürülebilirliği fotovoltaik panel ile karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve rüzgâr türbininin %7,5 daha düşük ötrofikasyondan %85 daha düşük ozon tabakası incelmeye kadar değişen 11 çevre kategorisinin yedisinde fotovoltaik panellerden daha çevresel olarak sürdürülebilir olduğu belirlenmiştir (Greening ve Azapagic, 2013).

Santimetre ölçekli mikro rüzgâr türbinleri (2-12 cm) üzerine yapılan çalışmalarda, 3-12 kanatlı türbinlerin üretiminin çok ekonomik olduğu ve performansının 120-240 cm türbinlere nazaran düşük olduğu belirtilmiştir. Ancak, düşük rüzgâr hızı olan coğrafyalarda ve yerleşim yerlerinde verimli bir şekilde kullanılabilecekleri gösterilmiştir (Zakaria vd., 2015; Akour vd., 2018).

Mikro rüzgâr türbinlerinin yerleşim alanlarında kullanım performansının incelendiği bir çalışmada, şebekeden elektrik almaya nazaran daha rekabetçi olduğu ve yerleşim alanlarında tercih edilebilir olduğu gösterilmiştir (Pellegrini vd., 2021).

Çatı üzerine mikro rüzgâr türbinlerini kurulmasının incelendiği bir çalışmada ise, düz çatılara kurulumun rüzgâr akışı, rüzgâr hızı ve türbülans yoğunluğu dikkate alındığında daha performanslı olacağı belirtilmiştir (Ledo vd., 2021).

4. Sonuç

Rüzgâr enerji santrallerinde kullanılan büyük ölçekli rüzgâr türbinlerinin küresel iklim üzerine olumsuz etkileri ve çevreyi etkilemeleri, gürültü ve ışık kirliliğine neden olduğu dikkate alındığında mikro rüzgâr türbinleri bu olumsuz etkileri minimize etmesi ve yerleşim alanlarında insan oğlunun yaşamının her alanında yeterli elektrik enerjisi üretmek için alternatif bir uygulama alanı sunmaktadır. Yapılan araştırmalar genellikle kanat sayısı fazla olan (6 ve üzeri) mikro türbinlerin daha verimli olduğunu göstermektedir. Ancak mikro rüzgâr türbinlerinin yerleşim alanlarında uygulanabilirliği, çevresel parametrelerin mikro türbinlere etkileri, mikro türbinlerin kanat sayısı ve farklı çaplarda değişik rüzgâr hızlarındaki performansı konularında yeterli araştırma mevcut değildir. Mikro rüzgâr türbinlerinin yerleşim yerlerinde kullanılabilir hale gelmesi için bu alanda simülasyon uygulamalarının yanı sıra detaylı deneyler ve fiziki uygulamalar yapılması gerekmektedir.

5. Teşekkür

Bu araştırma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından TEBMYOMAP/2021-0004 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Akour, S.N., Al-Heydari, M., Ahmed, T. & Khalil, K.A. (2018). Experimental and theoretical investigation of micro wind turbine for low wind speed regions. *Renewable Energy*, 116, 215-223.
- Dursun, B. (2006). Dikey eksenli bir Darrieus türbin dizayn edilmesi ve kanat üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze, Türkiye.
- Ertan, M. (2022). Kütahya'nın seçilen ilçeleri için rüzgâr potansiyelinin değerlendirilmesi ve teknik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye.
- ETKB (2022a). TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar/> Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- ETKB (2022b). TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar/> Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- ETKB (2022c). TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik/> Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- ETKB (2022d). TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/Turkiye_Ulusal_Enerji_Plani.pdf Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- Gambarota, L. (2022). *Mikro Rüzgâr Türbin Teknolojisi, Motorwind Farms*. <http://www.motorwavegroup.com/windfarm>. Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- Greening, B. & Azapagic, A. (2013). Environmental impacts of micro-wind turbine. *Energy*, 59, 454-466.
- GWEC-2021 (2022). *Global Wind Report*. <https://gwec.net/global-wind-report-2022/> Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- Hogan, F. (2011). *Designing Micro Wind Turbines for Portable Power Generation, Department of Mechanical Engineering, McGill University, Montreal, Canada*. <https://www.mcgill.ca/engineering/files/engineering/SURE2011MechHoganFrancois.pdf>. Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- Köse, F., Kaya, M.N., & Berber, A. (2012). *The importance of renewable energy sources for sustainable development in Turkey*. 1st International Conference on Sustainable Business and Transitions for Sustainable Development, Konya, Türkiye, 227-235.
- Ledo, L., Kosasih, P.B. & Cooper, P. (2021). Roof mounting site analysis for micro-wind turbines. *Renewable Energy*, 36, 1379-1391.
- Leung, D.Y.C., Deng, Y. & Leung, M.K.H. (2010). *Design Optimization of a Cost-Effective Micro Wind Turbine*. Proceedings of the World Congress on Engineering, London.
- Loganathan, B., Chowdhury, H., Mustary, I., Rana, M. & Alam, F. (2018). *Design of a micro wind turbine and its economic feasibility study for residential power generation in built-up areas*. 2nd International Conference on Energy and Power, Sydney, 812-819.
- Park, J.W., Jung, H.J., Jo, H. & Spencer Jr, B.F. (2012). Feasibility study of micro-wind turbines for powering wireless sensors on a cable-stayed bridge. *Energies*, 5(9), 3450-3464.
- Pellegrini, M., Guzzini, A. & Sacconi, C. (2021). Experimental measurements of the performance of a micro-wind turbine located in an urban area. *Energy Reports*, 7, 3922-3934.

- Reve (2022). <https://www.evwind.es/2015/12/04/global-small-wind-turbines-installed-capacity-will-surge-to-4-8-gigawatts-by-2025/54854>. Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- Tiwari K. & Harinarayana, T. (2014). Increasing the efficiency of grid tied micro wind turbines in low wind speed regimes. *Smart Grid and Renewable Energy*, 5, 249-257.
- Tummala, A., Velamati, R.K., Sinha, D.K., Indraj, V. & Krishna, V.H. (2016). A review on small scale wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1351-1371.
- Tuncer, T. (2021). Farklı model mikro rüzgâr türbinlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye.
- Ünal, A. (2021). Küçük delta tipi darrieus rüzgâr türbini verimine farklı düşey kanat açısı ve uç açıklıklarının etkisinin deneysel olarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- World-Energy (2022). <https://www.world-energy.org/article/1158.html>. Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- Zakaria, M.Y., Pereira, D.A. & Hajj, M.R. (2015). Experimental investigation and performance modeling of centimeter-scale micro-wind turbine energy harvesters. *J. Wind Eng. Ind. Aerodynamics*, 147, 58-65.