

Hibrit Düşey Rüzgâr Türbini Tasarım ve Analizi

Barış AKBUDAK^{1*}, Rasim DOĞAN²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Bölümü, Afyonkarahisar.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

Sorumlu yazar* e-posta¹: baris519@hotmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9416-9493>

e-posta²: rsmgdgn@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2122-9528>

Geliş Tarihi: 24.11.2021

Kabul Tarihi: 19.10.2022

Anahtar kelimeler

Rüzgâr;
Darrieus;
Savonius;
Rüzgâr Enerjisi;
Elektrik Enerjisi;

Öz

Bu çalışma kapsamında, rüzgâr gücünden faydalanarak geleneksel türbinlerden farklı olarak tasarımının ve analizlerinin yapıldığı hibrit düşey rüzgâr türbinlerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bunun için araştırmalar sonucunda üç farklı kanat tipinde tasarım ortaya koyulmuş ve analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. İncelenen türbin tasarımlarının içerisinde en yüksek verimi sağlayan kanat profilleri ile tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu tasarımlar simülasyon ortamında test edilmiş ve sonuçları sunulmuştur.

Hybrid Vertical Wind Turbine Design and Analysis

Keywords

Wind;
Darrieus;
Savonius;
Wind Energy;
Electrical Energy;

Abstract

Within the scope of this study, hybrid vertical wind turbines, which are designed and analyzed differently from traditional turbines, are compared by using wind power. For this purpose, as a result of the research, three different blade types were designed and analyzed. Among the turbine designs examined, designs were made with blade profiles that provide the highest efficiency. These designs were tested in the simulation environment and the results were presented.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji sistemleri arasında yer alan önemli kaynaklardan birisidir. Bu sebeple ülkeler, enerji ihtiyaçlarının ihmal edilemeyecek bir kısmını rüzgâr enerjisinden elde etmeye yönelmişlerdir (Horstink *et al.* 2020). Ülkemizde ise yüksek rüzgâr potansiyelinin varlığı, rüzgâr enerji santrallerinin hem sayısının artması hem de genişlemesi için uygun ortam sağlamaktadır. Rüzgâr türbinleri yatay ve düşey eksenli olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri genellikle bireysel veya küçük ölçekli kullanımlar için tercih edilmemektedir (Türkdoğan vd. 2020). Bu tür kullanımlar için geliştirilen düşey eksenli rüzgâr türbinleri ise her yönden rüzgâr alabilmesi, düşük rüzgâr hızlarında çalışabilmesi ve küçük boyutlu olmasından dolayı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinden daha kullanışlı olduğu ortaya konulmuştur (Göktaş ve Kılıç 2019). Türkiye’de ise son zamanlarda düşey rüzgâr türbinleri üzerine

yapılan yatırımlar artmaktadır (Sercan 2017). Özellikle, sokak ve karayolu aydınlatmaları üzerine çeşitli ürünler denenmeye ve kullanılmaya başlanmıştır.

Düşey eksenli rüzgâr türbinleri (DERT) sayesinde çeşitli güçlerde elektrik üretimi yapılabilmektedir. Küçük ve orta boy inşa edilecek türbinlerle mesken yapılarıdaki elektrik ihtiyacının karşılanması sağlanabilmektedir (Ragunath *et al.* 2019). Daha büyük boylarda inşa edilecek türbinlerle ise bölgesel elektrik ihtiyacının karşılanmasına yetecek üretim yapılabilmektedir (Int Kyn. 1).

Düşey eksenli rüzgâr türbinleri Darrieus ve Savonius tip olmak üzere iki ana grupta karşımıza çıkmaktadır (Johari *et al.* 2018). Darrieus tip türbinler aerodinamik bakımdan, Savonius tip türbinler ise kalkış gücü bakımından üstünlük göstermektedirler (Kumar *et al.* 2018). Bu nedenlerden dolayı, makalede tasarımı yapılan hibrit düşey rüzgâr türbininde bu iki farklı tip türbin özelliklerinin bir

arada kullanılması amaçlanmıştır. Bu konuya benzer çalışmalar literatürde yer almaktadır. Örneğin, El-Zafry (2019) hibrit modellerde dahil olmak üzere DERT türlerini incelediği çalışmada, hangisinin daha iyi performansa sahip olduğu konusunda bir çalışma gerçekleştirmemiştir. Siddiqui vd. (2016) ise deneysel bir çalışma gerçekleştirmişler, ancak hibrit düşey rüzgâr türbinin karşılaştırılmasını yalnızca bir boyutu ile ele almıştır. Loughborough Üniversitesi öğrencisi Ahmedov (2016) doktora tezinde hibrit rüzgâr türbinlerinin bilgisayar ortamında iki boyutlu modellemesini gerçekleştirmiştir. Fakat bu modellemede, kanat sayısına dikkat etmeyip gerçek bir akış durumunda oluşacak sürtünmeleri de dikkate almamıştır. Mazarbhuiya vd. (2019) rotor kanatlarındaki kalınlığın rüzgâr türbininin performansı üzerine etkisini incelemiştir. Rassoulinejad-Mousavi vd. (2013) ise hibrit rüzgâr türbini için kombine yöntemler üzerine bir çalışma yapmışlar ve iki farklı güçte türbin tasarlamışlardır. Bu türbin modelleri üzerine geliştirme yapılabileceğine dikkat çekmişlerdir.

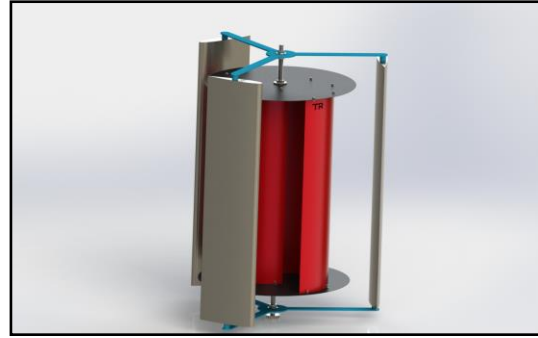
Bu makale kapsamında, araştırılan ve incelenen çalışmalardaki önemli noktalara dikkat edilerek tasarım, analiz ve üretim boyutlarıyla üç farklı türbin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlar ile yapılan simülasyon sonuçlarına göre, türbinlerin dinamik ve verimli olmasına önem verilerek incelenenler içerisinde en yüksek verimi sağlayan kanat profilleri ile tasarım gerçekleştirilmiş ve hibrit düşey rüzgâr türbinlerinin aerodinamik karakteristiklerinin karşılaştırılmalı analizi yapılmıştır. Önerilen tasarım profilleri kuşkusuz rüzgârdan yüksek güç elde etme ve bu alanda araştırma boşluklarını katkıya sahip olacaktır.

2. Materyal ve Metot

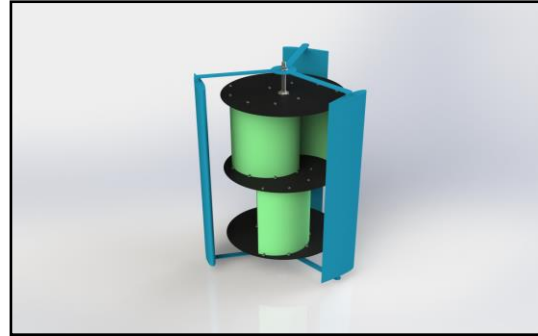
Materyal ve metot kısmında, öncelikle üç farklı tip hibrit türbin tasarımı açıklanmıştır. Sonrasında rüzgâr türbini için kritik rol oynayan kanat çizimleri gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, türbinlerin akış diyagramları da detaylıca açıklanmıştır.

2.1. Türbin Tasarımı

Hibrit düşey rüzgâr türbininin tasarım işlemi Solidworks programında düzenlenmiştir ve en verimli tasarım belirlenerek 3 farklı model ortaya konulmuştur (Schubel and Crossley 2012). Şekil 1'de tek katlı kanat sistemi, Şekil 2'de iki katlı kanat sistemi, Şekil 3'te ise Spiral tip kanat sistemi tasarımı yer almaktadır.

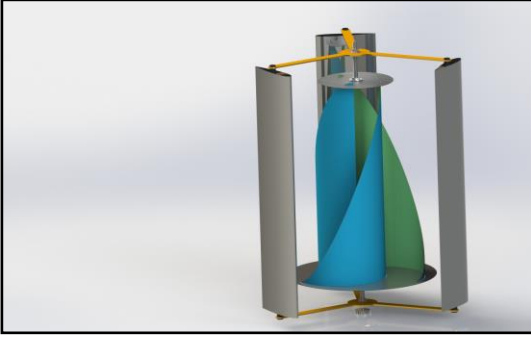


Şekil 1. Hibrit-1 Türbin (H1).



Şekil 2. Hibrit-2 Türbin (H2).

Türbin, iç ve dış kanatlar olmak üzere iki kısımdan oluşan bir yapıdadır (Kumar and Nikhade 2014). Savonius iç kanatlar, Darrieus dış kanatlardır. Rüzgâr türbinlerinde hafiflik ve esneklik bakımından genellikle kompozit malzeme kullanılmaktadır (Leon et al. 2017). Bunun yanında geleneksel kompozitlerin dışında nano mühendislikle yapılmış hibrit kompozitler de kullanılmaya başlanmıştır (Leon et al. 2017).



Şekil 3. Hibrit-3 Türbin(H3).

Kanatlar için bu projede maliyet, ağırlık ve kullanılabilirliği ön planda olan galvanizli sac tercih edilmiştir. Bu malzeme ucuz ve kolay şekillendirilebilir, aynı zamanda uzun ömürlüdür. Sac malzeme kullanılarak simülasyon ortamında tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Kanatlarda en önemli kriter hangi ortam şartlarına uygun olarak yapılacağıdır. Bunun için incelenen çalışmalardan, ortam şartlarında en yüksek verimi sağlayacak olanların tasarımlarından yararlanıldı (Mazarbhuiya et al. 2019). Bu konudaki yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen tasarımlar arasında proje için verimli olanları seçilip düzenlemeleri yapıldı. Optimizasyon işlemi sonucunda en yüksek verimde tasarım bulunduktan sonra da türbinin hava akış analizine başlandı.

2.2. Kanatların Çizimi

Üç farklı türbin tasarımında da hem Darrieus hem de Savonius tipi kanatlar bulunmakta ve her birinin boyut ve ölçüleri ayrı ayrı ele alınmıştır.

2.2.1 Darrieus Kanadının Çizimi

Bu aşamada Darrieus kanat tasarımına uygun şekil için kanat profilleri içerisinde seçim yapılması gerekmektedir. Daha önceki araştırmalarda ulaşılan sonuçlara göre, rüzgar türbinleri için en kullanışlı kanat profil çeşidi NACA profilleri olduğu belirlenmiştir (Tanürün vd. 2020).

NACA profillerinden tasarım için uygun olan 4 hane seri kesit ailesinden 0018 seçilmiştir. Bunun nedeni bu serideki kanatların üstün özellikleri ki bunlar;

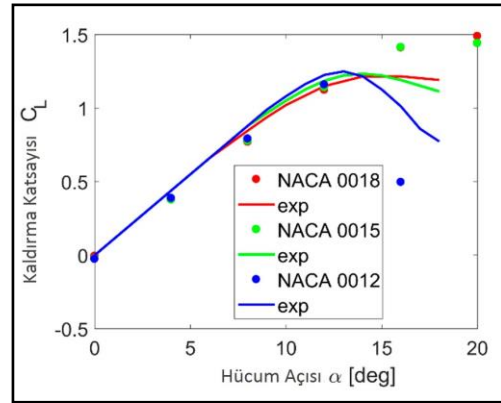
- İyi tutunma kaybı davranışı
- Basınç merkezinin büyük bir sürat aralığı içinde çok az yer değiştirmesi

• Yüze pürüzlülüğüne karşı hassas olmama
Bu serinin zaafı ise;

- Düşük azami kaldırma katsayısı
- Göreceli yüksek direnç katsayısı
- Yüksek trim momenti

NACA 0018 kanat modeli aerodinamik performans olarak düşey türbinler için kolaylık sağladığı da rapor edilmiştir (Tanürün vd. 2020).

Ayrıca düşey türbinler için kullanılan diğer kanat tipleriyle karşılaştırması da Şekil 4'te gösterilmiştir (Rogowski et al. 2020). İncelenen projede NACA 0018 kanat profilinin azimut açısı basınç değerleri vs. diğer üstün özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

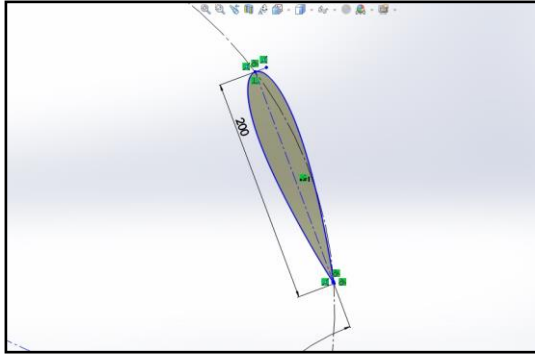


(b)

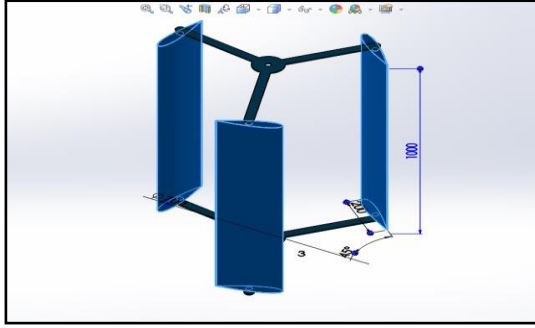
Şekil 4. NACA 0012, NACA 0015 ve NACA 0018'in aerodinamik kanat profili özelliklerinden kaldırma katsayısının karşılaştırılması.

Çizimin ilk aşamasında dış kanat şablonu için Şekil 5a'da gösterildiği gibi kanat veter uzunluğu 20 cm ve Şekil 5b'de gösterildiği gibi yüksekliği de 100 cm olarak alınmıştır. Ayrıca 3 kanadın aralarındaki mesafe 360 derecenin düzlemde 45 derecelik boşluklarla eşit olarak yerleştirilmesiyle yapılmıştır (Akbudak 2021).

Darrieus kanatlarının sayısının üç olmasının nedeni ise pervanenin tüm hızlarda sabit atalet momentine sahip olmasıdır (Elibüyük ve Üçgül 2014). Bununla birlikte kanatların aerodinamik olarak titreşimini en az seviyede tutmak için de bu sayı kullanılır.



(a)



(b)

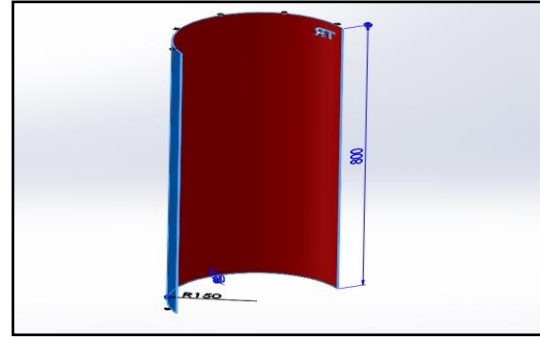
Şekil 5. (a) Darrieus kanatlarının kesit görünümü ve (b) son hali.

Kanatları birbirine bağlamak için hem aşağı hem yukarıda olmak üzere 35 cm uzunluğunda çubuklar kullanılmıştır. Çubukların ortada birleşmesi için de 10 cm çapında kazayağı metal kullanılmıştır.

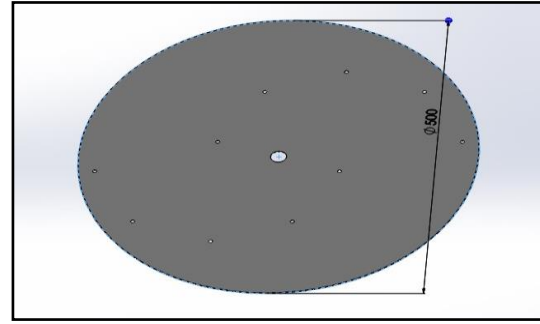
2.2.2 Savonius Kanadının Çizimi

Tasarlanan üç tip hibrit düşey rüzgâr türbinlerinin kendi içinde farklı kanatları bulunmaktadır. Makalede bulunan türbinlerin kanatları ikili ve üçlü seçilmiştir (Kılıç ve Göktaş 2018).

H1 türbinindeki kanat, Şekil 6a'da gösterildiği gibi 15 cm yarıçapında ve 80 cm uzunluğunda 0,5 mm levhanın yarım daire şeklinde bükülmesiyle meydana gelmektedir. Bükülen levhanın üst ve altında Şekil 6b'de görülen 2 adet 50cm çapında 1 mm kalınlığında metal levha bulunmaktadır. Kalınlığın 1 mm olmasının nedeni ise levhaların üzerine koyulan kanatların taşınması ve levha ağırlığının orta mile binen yükünün azaltılmasıdır. Bükülen levha ile diğer metal levhanın üst ve alt bağlantısı yapılarak H1 türbininin iç kanadı tamamlanmıştır (Akbudak 2021).



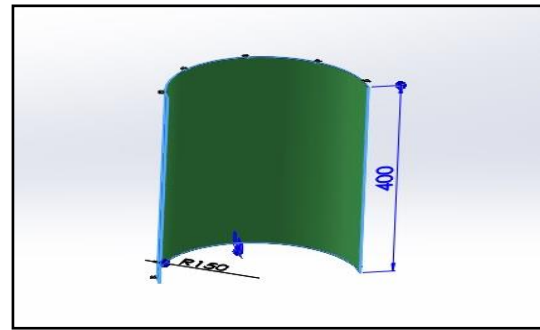
(a)



(b)

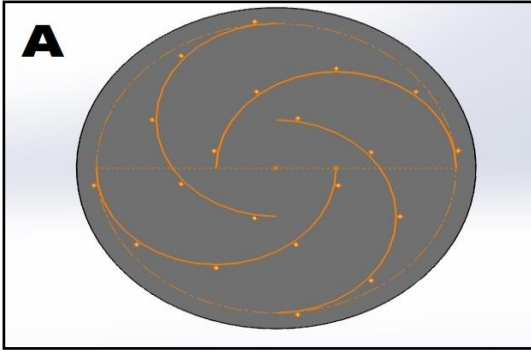
Şekil 6. (a) H1 Savonius kanatları ile (b) üst ve alt levhası.

H2 türbininde ise, buradaki kanat yapısı Şekil 7'de gösterildiği gibi 15 cm yarıçapında ve 40 cm uzunluğunda 0,5 mm levhanın bükülmesiyle meydana gelmektedir (Akbudak 2021).

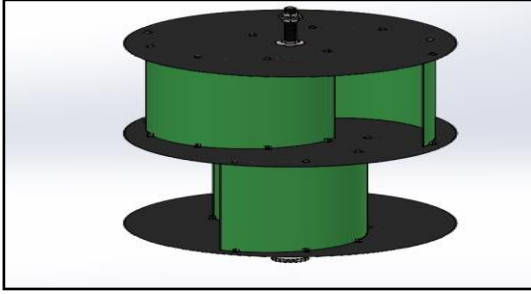


Şekil 7. H2 Savonius kanatlarının çizimi.

Bu tasarımda 2 kat bulunmakta ve her kat 2 kanatlı bir yapıya sahiptir. Bükülen kanatların üst, alt ve ortasında 3 adet 50 cm çapında 1 mm kalınlığında metal levha bulunmaktadır. Orta levha Şekil 8'deki gibi tasarlanırken alt ve üst levhalar H1 türbini için tasarlanan levhalarla aynıdır (bkz. Şekil 6b). Ancak üst iki kanat alt iki kanatla aynı yönde değil, 90° döndürülmüş haldedir (bkz. Şekil 9).



Şekil 8. 4 kanat için delinen orta levha.



Şekil 9. H2 türbin kanatlarının son hali.

H3 türbinindeki kanat yapısı 0,5 mm levhanın Şekil 10a'da gösterildiği gibi 15 cm yarıçapında ve 81 cm uzunluğunda bükülmesinden sonra 20° açıyla kesilmesi sonucunda meydana gelmektedir. Bu tasarımda kanatlardan 3 tane kullanılmıştır. Bükülüp kesilen kanatların altına ve üstüne diğer tasarımlardaki gibi levhalar (bkz. Şekil 6b), kanatların sabitlenmesi için delinmiş ve yerleştirilmiştir (bkz. Şekil 10b).

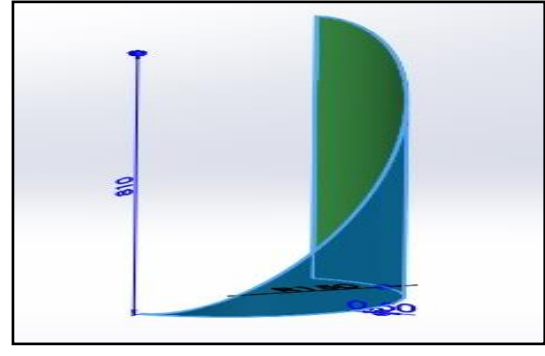
2.3. Türbinlerin Akış Analizleri

Çizim ve tasarım işlemleri yapılan türbinlerin, akış analizleri aşaması ANSYS programında gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar tekniği kullanılarak yapılan analiz için öncelikle sınırların belirlenmesi (Şekil 11) ve sonrasında ise bu sınırlar içerisindeki ağ örgüsünün oluşturulması gerekmektedir (Akbudak 2021).

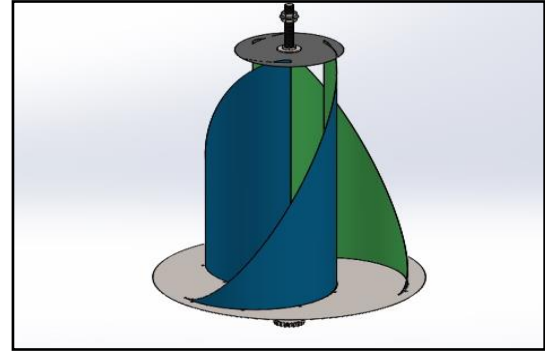
Oluşturulan ağ örgüsü sayıları her bir tasarım için ayrı ayrı Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Ağ örgüsü değerleri.

Model	Ağ örgü sayısı
H1	782968
H2	853626
H3	1619355

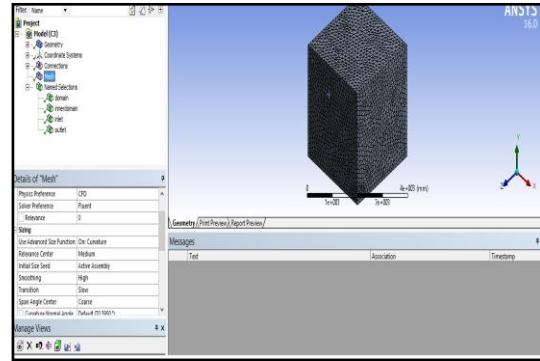


(a)



(b)

Şekil 10. (a) H3 Savonius kanatları ve (b) son hali.



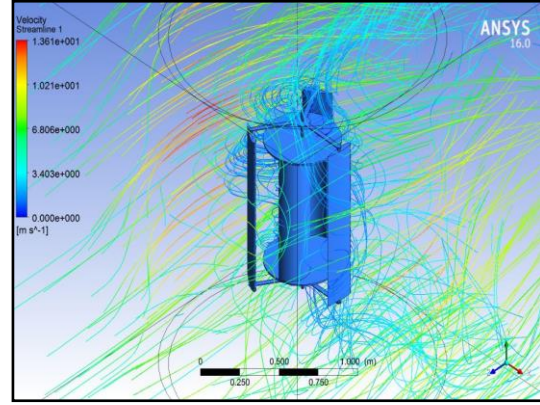
Şekil 11. Türbinin ağ örgüsünün yapılması.

Ağ yapısının belirlenmesinden sonra, gerekli olan verilerin girişleri yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir (Akbudak 2021). Bu veriler;

- Hava değerinin yoğunluğu: 1,225 kg/m³
- Hız büyüklüğü: 5m/s
- Türbülans yoğunluğu: %0,01
- Viskozite oranı: 0,5
- Geri akış türbülans yoğunluğu: %0,01
- Geri akış viskozite oranı: 0,5
- Adım boyutu: 0,1sn
- Adım sayısı: 150
- Maksimum iterasyon: 20

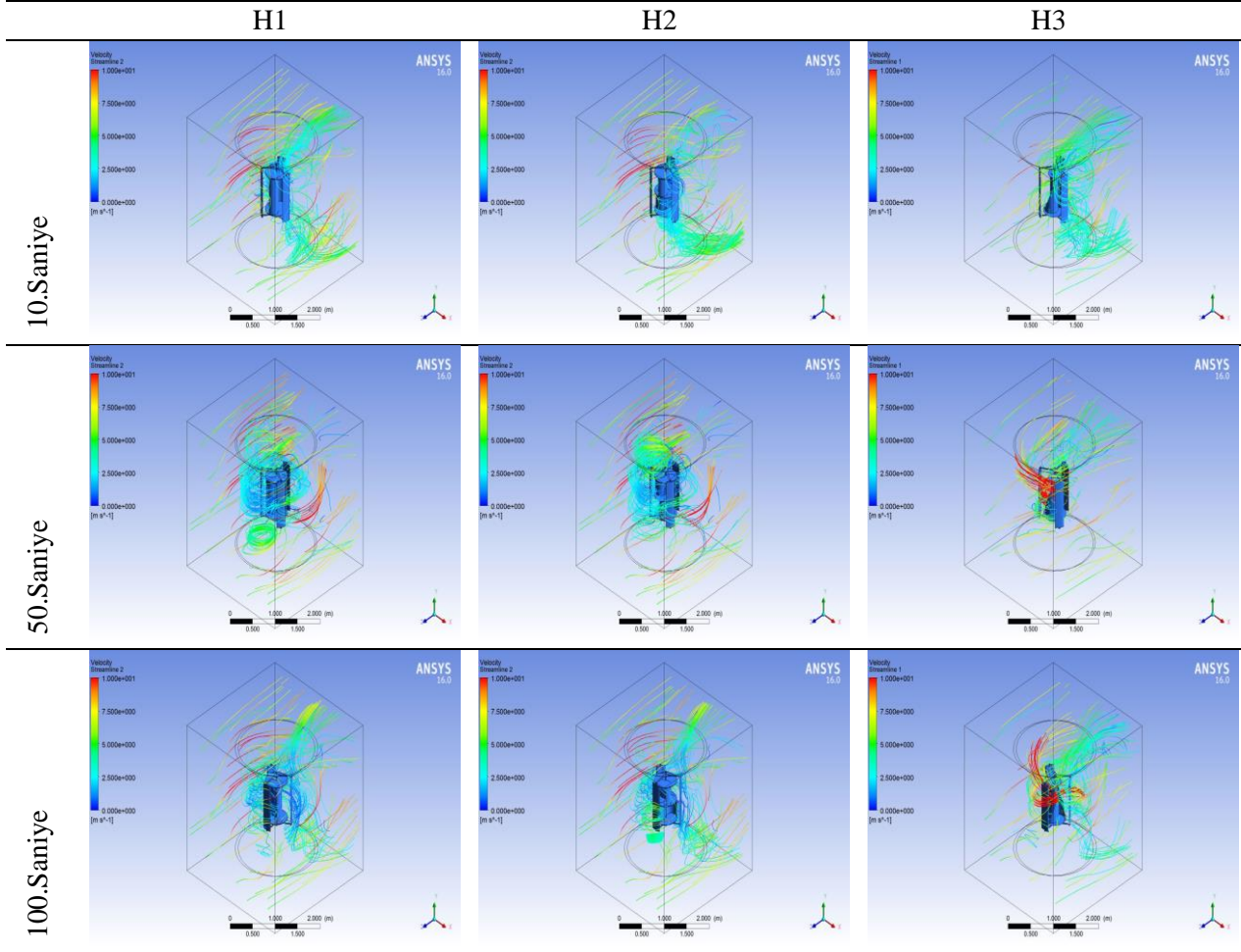
3. Bulgular ve Tartışma

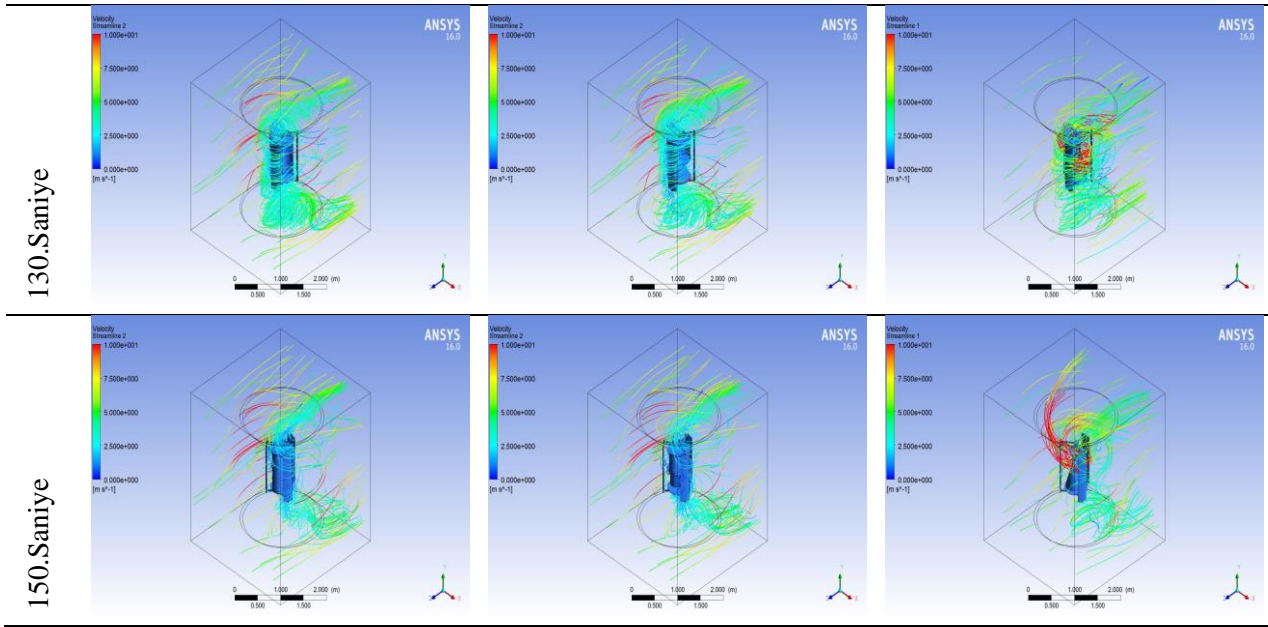
Bu çalışmada H1, H2 ve H3 olmak üzere 3 farklı tip hibrit düşey rüzgâr türbininin tasarım ve performansları incelenmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre türbinlere uygulanan 5m/s rüzgâr hızının türbin kanatlarındaki hareketliliği Şekil 12’de sunulmaktadır. Uygulanan rüzgâr ile türbin dönmeye başlamış ve rüzgâr hızı renklerle belirtilmiştir. Yeşil çizgiler 6,8m/s hızı gösterirken mavi çizgiler 3,4m/s hızı ifade etmektedir (Akbudak 2021). Uygulanan rüzgâr hızına göre, 10, 50, 100, 130 ve 150sn sonunda üç ayrı türbinin verdiği tepkilerin karşılaştırılması Çizelge 2’de gösterilmiştir. Türbinlerin rüzgâr tepkileri sonrasında, vektörel hız akış incelemesi de Çizelge 3’te sunulmuştur.



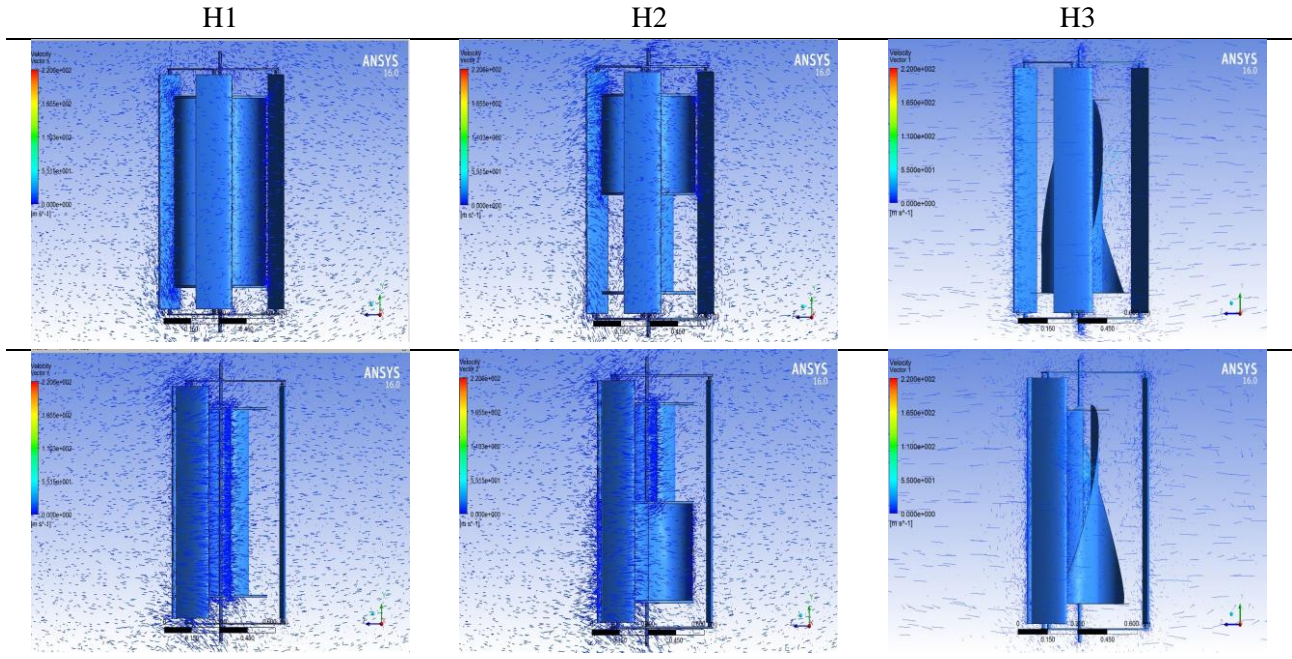
Şekil 12. Türbine uygulanan rüzgâr kuvveti.

Çizelge 2. Türbine uygulanan rüzgâr kuvvetinin karşılaştırılması.





Çizelge 3. Türbine uygulanan rüzgâr kuvvetinin vektörel karşılaştırılması.



Görüldüğü üzere H1, H2 ve H3 türbinlerine uygulanan rüzgâr enerjisinin türbinleri döndürmesi ve rüzgârın türbinden çıkarken savurulması işlenmiştir (bkz. Çizelge 2). Buradaki her satır belli bir zamandaki türbin durumunu göstermektedir. Uygulanan rüzgâr kuvvetinde rüzgâr ilk olarak iç kanatlara çarpmış ve dönüşe başlamıştır. Devamında türbin dış kanatlarındaki hava akımının kaldırma etkisi ile dönüşüne devam etmiştir. Türbin dönmeye devam ederken hava akımlarının farklı zamanlarda kanadı terk etmesinden dolayı basınç farkı oluşmuştur.

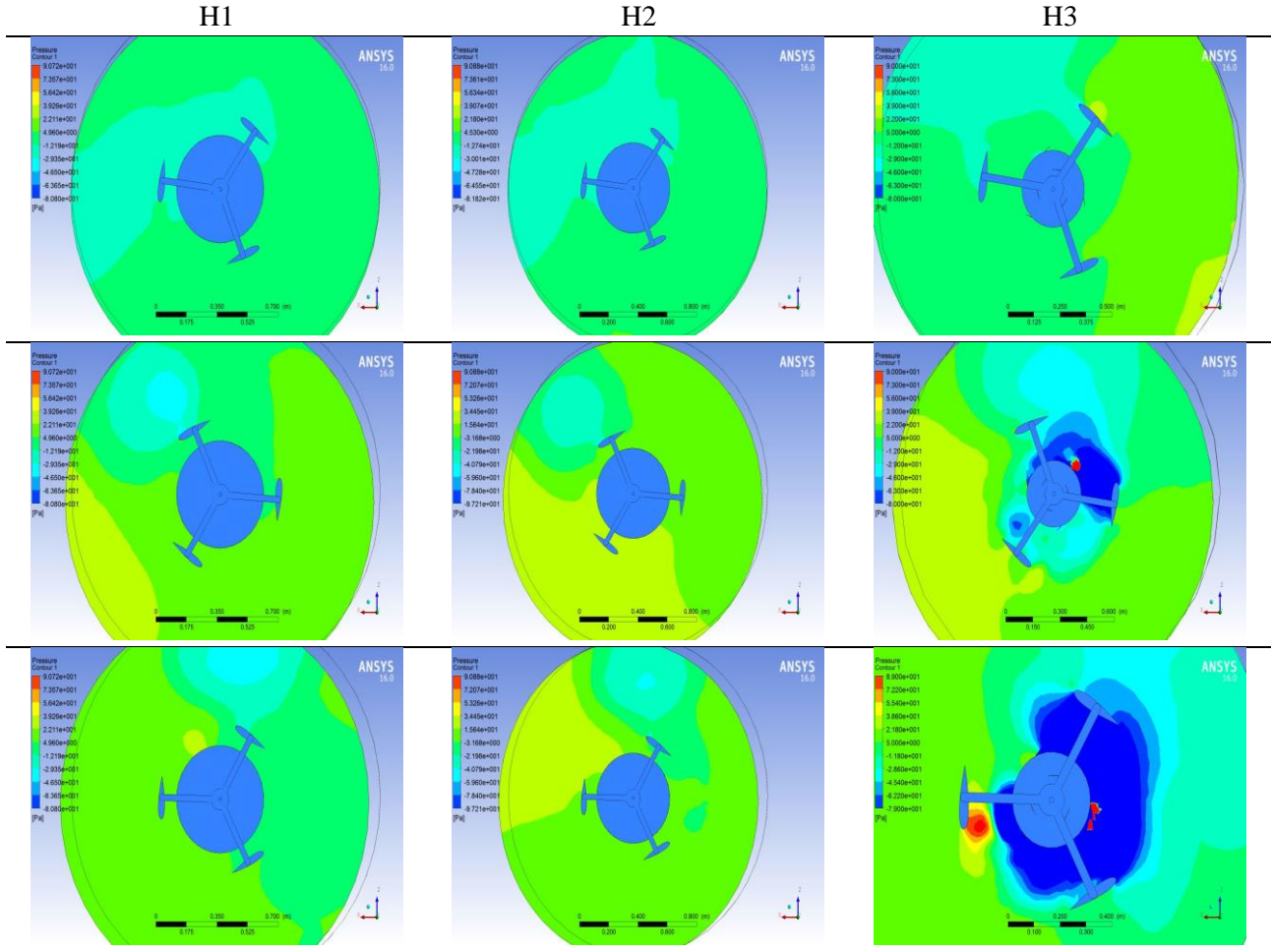
Üç türbin için de basınç farkı Çizelge 4'te gösterilmiştir. Kanat ön ve arka bölgesinde oluşan basınç farkından tork üretimi oluşmaktadır. H1 ve H2 türbinlerindeki basınçlar 5 Pa ile 50 Pa arasında normal değerler gösterirken H3 türbininde kırmızı renkli görünen yer belli bir zaman sonra kanatlardaki uç basınç yükselişini, mavi renkli kısım ise basınç düşüşünü ifade etmektedir.

Çizelge 3'te vektörel karşılaştırmada ise rüzgârın türbinlere noktasal çarpması gözükmemektedir. Burada en dikkat çekici kısım H2 türbininin 90°'lik 2 katlı kanatlarının her yönden rüzgârı alışıdır. Elde edilen şekil örüntülerini daha iyi anlamak ve

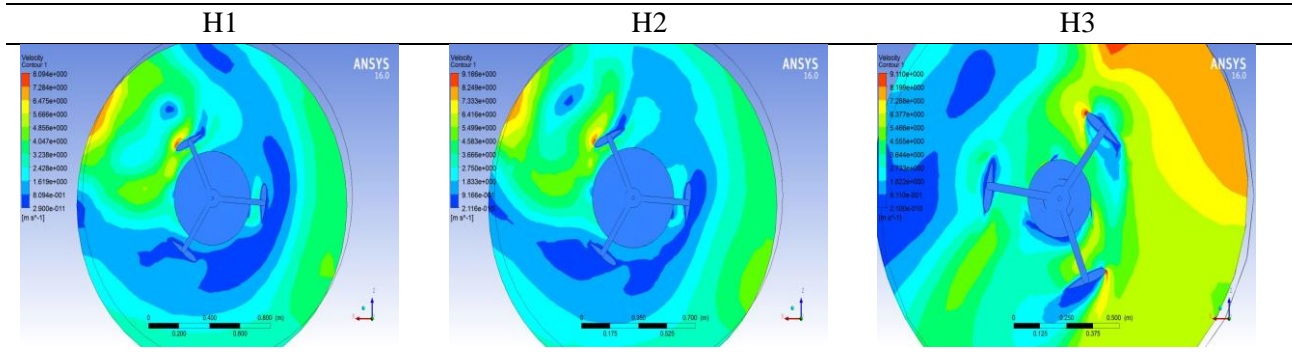
yorumlamak için yüzeysel hız dağılımlarına da bakılması gerekmektedir (Akbudak 2021). Çizelge 5'te yüzeysel hız dağılımları gösterilmiştir. Yüzeysel hızlara göre türbinlerdeki yeşil renkli kısımlar, optimum rüzgâr hızını gösterirken mavi renkli kısımlar ise düşük rüzgâr hızını göstermektedir. H1 ve H2 türbinlerine uygulanan rüzgârın, türbin

çıkışında mavi renge döndüğü yani türbinin rüzgârı kullandığı görülmektedir. H3 türbininde ise uygulanan rüzgâr türbin çıkışında yeşil-mavi karışımı renkte gözükmemektedir. H3 türbinini spiral tip olduğu için rüzgârı yukarı yönlü kaldırmış ve dışarı yönlendirmiştir.

Çizelge 4. Türbinlerdeki basınç farklılıkları.



Çizelge 5. Türbinlerin yüzeysel hız dağılımları.



Hava gücü ve türbin gücü sonuçları formüller ve görsellerden yararlanılarak bulunmuştur (Akbudak 2021). Türbin gücü ve rüzgâr gücü

karşılaştırmalarına göre H2 türbinini H1 türbininden %32 H3 türbininden %37 daha fazla güç üretebileceği (bkz. Çizelge 6) görülmüştür.

Çizelge 6. Analizleri yapılan türbinlerin rüzgâr ve türbin güçlerinin karşılaştırılması.

Türbin Adı	Ortalama Hız Değeri (m/s)	Rüzgâr Gücü (W)	Türbin Gücü (W)
H1	7	660	251
H2	8	985	374
H3	6,85	618	235

4. Sonuç

Bu çalışmada hibrit düşey rüzgâr türbinlerinin aerodinamik karakteristiklerinin karşılaştırılması analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde listelenmiştir.

- Çizim ve tasarım işlemi yapılan model türbinlerin uygulanan rüzgârla birlikte gösterdikleri dönme eğilimleri, H1, H2 ve H3 türbinlerinin hepsinde de yüksek seviyede olduğu gösterilmiştir.
- Uygulanan kuvvetin vektörel gösteriminde de dikkat edileceği üzere türbinlerin tüm kanatlarına noktasal olarak rüzgâr teması söz konusudur. Burada dikkat edilirse H2 ve H3 türbinlerinin uygulanan kuvveti dış kanatlara daha çok ilettiği böylece dönmeye devam etme gücünü arttırdığı belirlenmiştir.
- İncelenen basınç farklarına göre H3 türbininde Savonius yani iç kanatlarında belli bir zaman sonra basınç farkının arttığı gözlemlenmiştir. H3 türbininin kanat açıklıkları dikkate alındığında havayı yukarı yönlü süpürmesi kanatın üst kısımlarında basıncın artmasına neden olmuştur. Bu basınç farkı zamanla türbinde dış kanatlarda da hissedilmiştir.
- Yüzeysel hız dağılımlarında H1 ve H2 türbinleri yakın değerler gösterirken H3 türbini biraz daha yavaş kalmıştır. Bunun sebebi kanat ucunda oluşan basınçtır. Bu durum, dönme hızının düşük ve basıncının yüksek olması nedeniyle aerodinamik olarak daha yavaş bir hıza sahip olmasına neden olmuştur.
- Bu araştırma neticesinde H2 türbininin diğer iki türbine göre çok yönlü rüzgâr alması, başlangıç dönme hareketi ve devamlılığı gibi özellikleriyle diğerlerine oranla daha başarılı olduğu aerodinamik olarak ortaya konulmuştur.

5. Kaynaklar

- Ahmedov, A.S., 2016. Investigation of the Performance of a Hybrid Wind Turbine Darrieus-Savonius. Doktora Tezi, University of Ruse 'Angel Kanchev', Ruse, 40.
- Akbudak, B., 2021. Hibrit Dikey Rüzgâr Türbini Tasarım ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 66.
- Elibüyük, U. ve Üçgül İ., 2014. Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri. *Yekarum e-Dergi*, **2**, 1-14.
- El-Zafry, A.M.A., El-Hameed, O.E., Hassan, M.S., and Shaheen, M.M., 2019. A review on the types of vertical axis wind turbine sand the methods of their performance study. *Journal of Multi disciplinary Engineering Science and Technology*, **6**, 10633–10643
- Göktaş, M. ve Kılıç, F., 2019. Savonius rüzgâr türbini çevresindeki hava akışının hesaplanabilir akışkanlar dinamiği yöntemi ile analizi. *Politeknik Dergisi*, **22**, 11-17.
- Horstink, L., Wittmayer, J.M., Ng, K., Luz, G.P., Marín-González, E., Gährs, S., Campos, I., Holstenkamp, L., Oxenaar, S. and Brown, D., 2020. Collective Renewable Energy Prosumers and the Promises of the Energy Union: Taking Stock. *Energies*, **13**, 421.
- Johari, M.K., Jalil, M. and Shariff, M.F.M., 2018. Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT). *International Journal of Engineering and Technology*, **7**, 74-80.
- Kılıç, F. ve Göktaş, M., 2018. Savonius Rüzgâr Türbini (İkili ve Üçlü) Kanat Çevresi Akışının Sayısal Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **22**, 1256-1261.
- Kumar, A. and Nikhade, A., 2014. Hybrid Kinetic Turbine Rotors: A Review. *IJESAT*, **4**, 453-463.
- Kumar, R., Raahemifar, K. and Fung, A.S., 2018. A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **89**, 281-291.
- Leon, M.Jr., Kim, B., Helga, N.P., Justine, B., Malcolm M. and Bent, F.S., 2017. Materials for Wind Turbine Blades: An Overview. *Materials*, **10**, 1285.
- Mazarbhuiya, H.M.S.M., Biswas, A. and Sharma, K.K., 2019. Experimental Investigation on the Performance of Varying Thickness H-Darrieus Rotor. *J. Phys: Conf. Ser.*, **1172**, 012082.

- Ragunath, S.V., Pandey, J.K., Mondal, A.K. and Karn, A., 2019. Electricity Generation from Wind Turbines at Low Wind Velocities: A Review. *SSRN*, 1, 33.
- Rassoulinejad-Mousavi, S.M., Jamil, M. and Layeghi, M., 2013. Experimental Study of a Combined Three Bucket H-Rotor with Savonius Wind Turbine. *World Applied Sciences Journal*, **28**, 205-211.
- Rogowski, K., Hansen, M. and Bangga, G., 2020. Performance Analysis of a H-Darrieus Wind Turbine for a Series of 4-Digit NACA Airfoils. *Energies*, **13**, 3196.
- Sercan, A., 2017. Kanatlarına Basamak Açmanın Darrieus Düşey Eksenli Rüzgar Türbini Güç Üretimine Etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **19**, 399-409.
- Schubel, P.J. and Crossley, R.J., 2012. Wind Turbine Blade Design. *Energies*, **5**, 3425-3449.
- Siddiqui, A.S., Mian, N.S., Alam, M., Haq-ul, M.S., Memon, A.H. and Energy, M.S.J., 2018. Experimental Study To Assess The Performance of Combined Savonius Darrieus Vertical Axis Wind Turbine At Different Arrangements. *2018 IEEE 21st International Multi-Topic Conference*, 1-8.
- Tanürün, H.E., Ata, İ., Canlı, M.E. ve Acır, A., 2020. Farklı açıklık oranlarındaki NACA-0018 rüzgâr türbini kanat modeli performansının sayısal ve deneysel incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, **23**, 371-381.
- Türkdoğan, S., Mercan, M.T. ve Çatal, T., 2020. Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik Bir Topluluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının Karşıllanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **18**, 476-485.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://qz.com/763715/>, (01.05.2021)