



Örtüşme Oranının S-Rotor Rüzgâr Türbini Performansı Üzerine Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Emre Varış^{1*}, Cemil Yiğit²

ÖZ

Dikey eksenli rüzgâr türbinleri; küçük ve estetik yapıda olması, sessiz çalışabilmesi, şehir merkezlerinde ve sosyal alanlarda da sıkça kullanılması sayesinde tercih edilmektedir. Dikey eksenli rüzgâr türbini olan Savonius rüzgâr türbininin düşük olan kanat performansını arttırabilmek için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, kanatlar arasına toplamda aynı yüzey alanına sahip daire, kare, altıgen ve yekpare hava akış kanalı açılmıştır. İncelenen hava akış kanallarından yekpare hava akış kanalının $2,82 \times 10^{-2}$ değeri ile en yüksek güç katsayısını verdiği tespit edilmiştir. Yekpare hava akış kanalı türbinin 0,10-0,30 arasında örtüşme oranlarına sahip tasarımları incelenmiş ve 0,25 örtüşme oranının en yüksek güç katsayısını verdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dikey eksenli rüzgâr türbini, savonius rüzgâr türbini, hava akış kanalı, örtüşme oranı

Numerical Investigation of the Effect of Overlap Ratio on S-Rotor Wind Turbine Performance

ABSTRACT

Due to their quiet operation, small and aesthetic structure vertical axis wind turbines frequently use in city centers and social areas. Various studies have been carried out in the literature in order to increase the low blade performance of the Savonius wind turbine, which is a vertical axis wind turbine. In this study, circular, square, hexagonal, and monolithic airflow ducts with the same total surface area were opened between the blades. Among the airflow ducts, it has been determined that the monolithic airflow duct gives the highest power coefficient with a value of 2.82×10^{-2} . The designs of the monolithic airflow duct turbine with overlap ratios of 0.10-0.30 were examined and it was concluded that the 0.25 overlap ratio gave the highest power coefficient.

Keywords: Vertical axis wind turbine, savonius wind turbine, airflow duct, overlap ratio

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 09.08.2021

Kabul/Accepted : 18.10.2021

¹ Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Sakarya emrevaris400@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4383-6858

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya cyigit@sakarya.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0908-2148



EXTENDED ABSTRACT

Introduction/ Background

Energy resources can be grouped under two main headings as fossil resources and renewable energy resources. Renewable energy sources are a type of energy that is clean and has no resource costs, unlike fossil sources. Wind energy is one of the most important sources of renewable energy sources and wind turbines are used to generate electricity from this source. Although vertical axis wind turbines (VAWT) operate with lower efficiency compared to horizontal axis wind turbines (HAWT), They are preferred more in residential areas due to their quiet operation and aesthetic appearance. Additionally; due to their structure, they can operate independently of the direction of the wind.

As a result of the efforts to increase the performance of the Savonius wind turbine in recent years, the usage areas of these turbines have started to become widespread. In the literature, barrier and deflector applications are studied to reduce the negative torque on the rotor. In addition, studies are carried out to find the optimum number of blades, shape, and aspect ratio in order to increase turbine performance. In this study, airflow ducts in different geometries were opened to the rotor rotation axis and airflow was obtained on the back face of the returning blade. In this way, the negative torque on the rotor has been tried to be reduced. The effect of the shape of the airflow ducts and the overlap ratio on the turbine performance was investigated numerically.

Methods/ Methodology

In order to improve the performance of Savonius wind turbines, airflow ducts in various geometries were opened to the rotor rotation axis and the optimum airflow geometry was tried to be determined. The effect of the overlap ratio on the turbine performance was also investigated over the determined flow geometry. The S-rotor Savonius wind turbine which has a blade diameter of 200 mm, a height of 370 mm and a swept area of 0.107 m² was created using the Ansys/Design models program. The computational region prepared in 3D was modeled using the Ansys/Fluent program. The power coefficients of the wind turbine at various blade tip speed ratios were obtained by computational fluid dynamics (CFD) analyses.

Airflow ducts were investigated using four different geometries which are circular, square, hexagonal, and monolithic. Although the airflow ducts have different geometries, they have the same total surface area. After the optimum duct geometry was determined, a numerical study was carried out by taking the overlap ratio parameter. In order to determine the optimum overlap ratio, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 and 0.30 overlap ratios were examined.

Using the Ansys/Fluent Meshing program, a mesh structure containing poly elements was created. The mesh structure contains 650k elements and the maximum skewness value is 0,80. Boundary layer thickness and number of layers for all wind speeds; It was recalculated as a function of the Re number and different boundary layer thicknesses were created in the mesh structure for each CFD analysis depending on the air velocity. E.g; For a wind speed of 4 m/s, the total boundary layer thickness and first layer thickness were calculated as 4.2 x10⁻³ m and 2.20x10⁻⁴ m, respectively.

Results/ Findings

In the optimization study; C_p values of circular, square, hexagonal, and monolithic airflow ducts were obtained and when the results were examined, it was determined that the highest C_p value was 2.82x10⁻² at 6 m/s wind speed, in a monolithic profile. Although the power coefficient gave close results for all airflow duct geometries at low tip speed ratios, it is seen that duct geometry is more effective on the power coefficient at tip speed ratio values above 0.4. It has been found that the monolithic airflow duct achieves a higher power coefficient when compared to other duct geometries.

The power coefficient values for various tip speed ratios were obtained by using the numerical model. For the numerical model, overlap ratios ranging from 0.1 to 0.3 were used. It has been determined that the po-



wer coefficient value tends to increase depending on the increasing tip speed ratio starting from 0.2 overlap ratio and this increasing tendency shows a decreasing trend after peaking with a 3.8×10^{-2} power coefficient value at a 0.25 overlap ratio.

The design in which the optimum airflow duct geometry was determined and the power coefficient values produced by the turbine without airflow ducts depending on the blade tip speed ratio were compared. While the power coefficient of the turbine without airflow duct is 2.4×10^{-2} at a tip speed ratio of 0.54, the power coefficient of the geometry with the optimum airflow channel is 3.8×10^{-2} . Additionally, it is concluded that the optimized wind turbine has higher performance at high tip speed ratios.

Discussion and Conclusions

In the CFD analyzes performed for 2, 4, 6, and 8 m/s air velocities, it has been determined that the monolithic airflow duct provides a performance increase of 2% to 6% compared to other ducts geometries.

When the 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, and 0.30 overlap ratios are examined for the monolithic airflow duct design, it has been determined that the model with a 0.25 overlap ratio provides a 1% to 12% performance increase.

When the wind turbine without airflow ducts and the turbine with optimum overlap ratio are compared; the turbine with optimum overlap ratio has 36% higher performance. In addition, it has been determined that the turbine, which has an optimum design, does not fall into stall even at higher blade tip speed compared to the turbine without airflow duct, and it operates at high efficiency.

1. GİRİŞ

Enerji kaynakları genel olarak fosil kaynaklar ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki ana başlık altında toplanabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil kaynakların aksine temiz ve kaynak maliyeti olmayan bir enerji türüdür. Rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ön plana çıkan en önemli kaynaklardan biridir ve bu kaynaktan elektrik üretmek amacıyla rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri, yatay eksenli rüzgâr türbinleriyle kıyaslandığında daha düşük verimle çalışsalar da, dikey eksenli rüzgâr türbinleri; sessiz çalışmaları ve estetik görüntüleri nedeniyle yerleşim bölgelerinde daha çok tercih edilmektedir. Bunun yanında yapıları itibarıyla rüzgârın geliş yönünden bağımsız olarak çalışabilirler. Ancak, nispeten düşük verimde çalışmaları nedeniyle ticari olarak elektrik üretilmesi amacıyla kullanılması hususunda yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin gerisinde kalmışlardır.

Son yıllarda Savonius rüzgâr türbininin performansının artırılmasına yönelik yapılan çalışmalar neticesinde, bu türbinlerin kullanım alanları yaygınlaşmaya başlamıştır. Literatürde, rotor üzerindeki negatif torku azaltmaya yönelik bariyer ve saptırıcı uygulamaları üzerinde çalışılmaktadır. Bunun yanında, türbin performansını arttırmaya yönelik olarak optimum kanat sayısı, şekli ve en-boy oranını bulmaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, rotor dönme eksenine farklı geometrilerde hava akış kanalları açılmış ve geriye dönen kanadın arka yüzü üzerinde hava akışı elde edilmiştir. Bu şekilde rotor üzerindeki negatif tork azaltılmaya çalışılmıştır. Hava akış kanallarının şekli ve örtüşme oranının türbin performansı üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir.

2. BİLİMSEL YAZIN TARAMASI

Dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin kullanım alanını yaygınlaştırmak ve daha ekonomik hale getirmek için, türbinin performansını arttırmaya yönelik literatürde pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları geri dönen kanadın üzerine etki eden hava direncini azaltmak için kanat önüne bir bariyer koyarak hava akışını perdelemek üzerine iken, bazıları ise uç plaka kullanımının, kanat sayısının, şeklinin ve en-boy oranının üzerinedir. Mishra ve diğerleri (2020) uç plakla kullanılan etkisini incelemek için yaptıkları deneysel çalışmada uç plaka kullanılmayan modele göre %15 lik bir performans artışı sağlandığını rapor etmişlerdir [1]. Halmy ve diğerleri (2021) yaptıkları sayısal çalışmada, kanat adedinin türbin performansı üzerine etkisini çift kademeli bir Savonius rüzgâr türbinini üzerinde incelemiştir. İki, üç ve dört kanatlı türbin kullanılarak yaptıkları karşılaştırmada maksimum %18,4 güç katsayısı ile iki kanatlı türbinin en yüksek güç katsayısını verdiği sonucuna varmışlardır [2]. Wenehenubun ve diğerleri (2015) kanat sayısının Savonius rüzgâr türbinini performansı üzerine etkisini



deneysel olarak inceledikleri çalışmalarında, üç kanatlı türbinin, iki ve dört kanatlı rüzgâr türbinine göre yüksek uç hız oranlarında en iyi performansa sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Üç kanatlı türbinin 7 m/s rüzgâr hızında en yüksek uç hızı oranının 0,55 olduğunu belirlemişlerdir [3]. Zakaria ve Ibrahim (2019) çalışmalarında, Savonius rüzgâr türbinlerinin dönmeye başlama kabiliyetlerini; 0°, 90° ve 180° büküm açısına sahip üç farklı helisel kanat yapısı ile sayısal olarak incelemişlerdir. En yüksek değer olan 0,44 ortama statik tork katsayısına, 90° büküm açısına sahip rotor ile ulaşmışlardır. Ayrıca en düşük değer olan 0,38 ortama statik tork katsayısına 180° büküm açısına sahip rotor ile ulaşmışlardır [4]. Yiğit (2020) çalışmasında optimum Savonius rüzgâr türbinini kanat en-boy oranını ve kanat örtüşme oranını ile belirlemeye çalışmıştır. En-boy oranının 0,84 ve kanat örtüşme oranının 0,07 olduğu durumda maksimum verimin %22 ile elde edildiği sonucuna varmıştır [5]. Aldos (1984) hava direncini azaltma fikrinden hareket ederek, kanadın uç kısmına mafsal mekanizması eklemiş ve böylece kanat geri dönüş hareketi yaparken hava akışına müsaade ederek, oluşan hava direncini azaltmıştır. Yaptığı çalışmada geri dönen kanat için optimum açılma açısını irdelemiş ve geleneksel bir Savonius rüzgâr türbini rotoruna kıyasla %17 bir performans artışı sağladığını rapor etmiştir. [6]. Atılgan ve Deda (2001) rüzgâr yönünün aksine hareket eden geri dönen kanat üzerinde meydana gelen direnci azaltmak ve hava akışını ileri dönen kanat üzerine yönlendirmek için huni şeklinde perde kullanarak Savonius rüzgâr türbininin performansını arttırmaya çalışmıştır. En yüksek türbin performansının perde açısının toplamda 60 derece olduğu tasarımda elde edildiği tespit edilmiştir [7]. Saha ve Rajkumar (2006) çalışmalarında, helisel üç kanatlı Savonius rüzgâr türbini ile geleneksel üç kanatlı rüzgâr türbininin performansını rüzgâr tüneline incelemişlerdir. İlk harekete başlayabilme karakterinin helisel kanatlı Savonius rüzgâr türbininde daha iyi olduğunu belirlemişlerdir [8]. Kamoji ve diğerleri (2009) Savonius rüzgâr türbini üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalarında, helisel kanatlı rotor ile klasik s-rotorun en-boy oranının ve örtüşme oranlarının, güç katsayısı üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, 0,88 en-boy oranına sahip helisel rotorun, 0,93 ve 1,17 en-boy oranına sahip rotordardan daha yüksek performans gösterdiğini ve 0 örtüşme oranlı shaftsız helisel rotorun, 0,10 ve 0,16'lık örtüşme oranına sahip tasarımlara kıyasla 0,17'lik güç katsayısıyla daha iyi performansa sahip olduğunu ortaya koymuşlardır [9]. Roy ve diğerleri (2013) çalışmalarında, Savonius rüzgâr türbini tasarımı üzerine sayısal olarak çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada değişik hesaplama yöntemleri kullanmışlardır. Türbin parametrelerini değiştirerek farklı modelleri yapılan deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Hesaplama yöntemlerinin ve modellerin Savonius rüzgâr türbininde güç ve tork katsayısı değerlerini tahmin etmede önem taşıdığını belirlemişlerdir. Savonius rüzgâr türbini performansının kanat sayısı, en boy oranı, kanatların örtüşme oranı gibi pek çok değişkene bağlı olduğu sonucuna varmışlardır [10].

3. YÖNTEM

Yapılan optimizasyon çalışmasında Savonius rüzgâr türbini rotor dönme eksenine hava akış kanalları açılmış ve rotor üzerindeki negatif torku minimuma indiren hava akış kanalı geometrisi belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen hava akış kanallı geometrisi üzerinden örtüşme oranının türbin performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. Göktaş ve Kılıç Savonius türbin sayısal çalışması yapmışlardır ve yakınsanan değerleri Frozen rotor ile incelemişlerdir. Düşük kanat uç hız oranlarında iyi ve hızlı sonuç aldıkları için örtüşme oranı araştırmaları, Frozen rotor ile incelenmiştir [11,12]. Ancak yüksek kanat uç hız oranlarında çalışılırken Frozen rotor metodu ile stol etkisi model tarafından yakalanamadığı için optimum örtüşme oranı belirlenen model, 6-DOF metodu ile zamana bağlı çözümleme yapılmıştır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizlerinde yüksek ve düşük kanat uç hızları için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar, düşük kanat uç hız oranlarında kullanılan Frozen rotor” ve nispeten yüksek kanat uç hız oranlarında kullanılan 6-DOF yöntemidir. İki farklı yöntemin tercih edilmesinin nedeni, Frozen Rotor yönteminin; az hesaplama yükü ve hızlı çözümler sunmasına rağmen, yüksek kanat uç hız oranlarında kanat üzerindeki ayrılma olayını tam olarak modelleyememesinden dolayı deneysel verilerle uyumlu sonuçlar verememesidir. Frozen Rotor yönteminde, türbin kanatları sabit tutulurken, etrafındaki hava sabit bir açısal hızla döndürülür. Böylece, hesaplama bölgesindeki katı yüzeyler hareket ettirilmeden kanat ile hava arasında bağıl bir hava akışı oluşturulur. Temelde yöntemin avantajı olan bu durum, yüksek kanat hız oranlarında stol etkisini yakalayamadığı için, gerçek fiziksel olayı iyi bir şekilde modelleyemez. Diğer taraftan, 6-DOF yönteminde kanat etrafındaki havanın yerine kanatlara tanımlanan dinamik mesh ile türbin kanatlarının dönmesi sağlanır. Kanatların dönmesi için, gelen serbest hava akımının, programda türbinin boyutu, malzemesi ve yataklanmasına bağlı olarak hesaplanan ataleti yenmesi gerekmektedir. Frozen Rotor yönteminde olduğu gibi sabit bir açısal hız tanımlanmayıp, türbine gelen serbest hava akımının türbini durağan halden harekete geçirip maksimum hıza kadar kademeli bir şekilde hızlandırması, gerçekte olan durumu sayısal olarak daha gerçekçi modellemekte ve deneysel verilerle daha uyumlu sonuçlar elde edilmektedir [13, 14]. Ancak 6-DOF yönteminde, Frozen Rotor yöntemine göre çok daha fazla hesaplama yükü ve daha uzun hesaplama süreleri gerekmektedir.

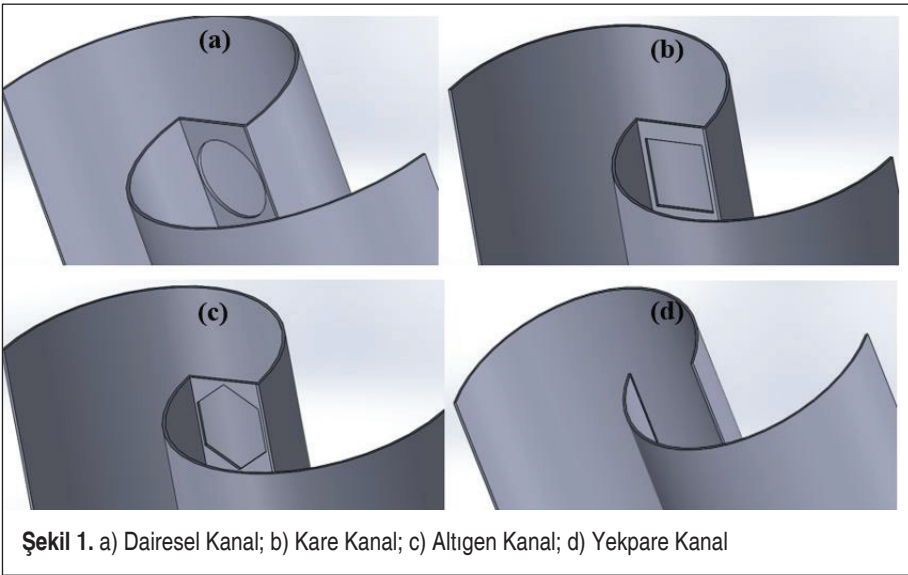
6-DOF yöntemi, x, y ve z eksenlerinde öteleme ve dönme hareketi olmak üzere 6 adet serbestlik derecesini ifade etmekle birlikte, mevcut çalışmada z ekseninde dönme hareketi tanımlanmıştır. 6-DOF çözümleme yönteminde zaman adımı boyutu küçüldükçe, çözücünün daha kolay yakınsaması sağlanır ve nispeten daha doğru sonuçlar elde edilir. Ancak hesaplama yükü ağırlaşır. Bu nedenle zaman adımı boyutu belirlemek, doğru sonuçlara kısa zamanda ulaşılabilmesi için önemlidir [15].

3.1 Sayısal Çalışma

Bu çalışmada; Savonius rüzgâr türbinlerinin performansını geliştirmek için rotor dönme eksenine çeşitli geometrilere hava akış kanalları açılarak optimum hava akış geometrisi belirlenmeye çalışılmıştır. Tespit edilen akış geometrisi üzerinden örtüşme oranının türbin performansı üzerine etkisi de araştırılmıştır. Kanat çapı 200 mm, yüksekliği 370 mm ve süpürme alanı 0,107 m² olan S-rotor Savonius rüzgâr türbini Ansys/Design modeller programı kullanılarak oluşturulmuştur. 3 boyutlu olarak hazırlanan hesaplama bölgesi, Ansys/Fluent programı kullanılarak modellenmiştir. Sayısal model, aynı şartlarda gerçekleştirilen literatürdeki bir deneysel çalışmayla [16] doğrulanmış ve HAD analizleri ile rüzgâr türbininin çeşitli kanat uç hız oranlarındaki güç katsayıları elde edilmiştir.

Hava akış kanallı geometrilerin 2, 4, 6 ve 8 m/s hızları için Frozen rotor analizleri basınca dayalı bir çözümleme yöntemi ile yapılmıştır. Frozen rotor metodunun kullanıldığı HAD analizlerinde viskoz model olarak k-epsilon metodu [17], 6-DOF metodunun kullanıldığı HAD analizlerinde detached eddy simulation metodu [18] kullanılmıştır. Ayrıca 6-DOF metodunda Viscous Model olarak katı yüzeylerdeki hava akışı için geliştirilen bir çözüm yöntemi olan spalart -almaras seçilmiştir [19].

Hava akış kanalları dört farklı geometri kullanılarak incelenmiştir. Rotorun merkezindeki hava akışını sağlayan bu kanallar için toplamda aynı yüzey alanına sahip daire, kare ve altıgen küçük kanalların yanında, bir tasarımda yine aynı yüzey alanına sahip olacak şekilde dikdörtgen şeklinde yekpare bir hava akış kanalı kullanılmıştır.

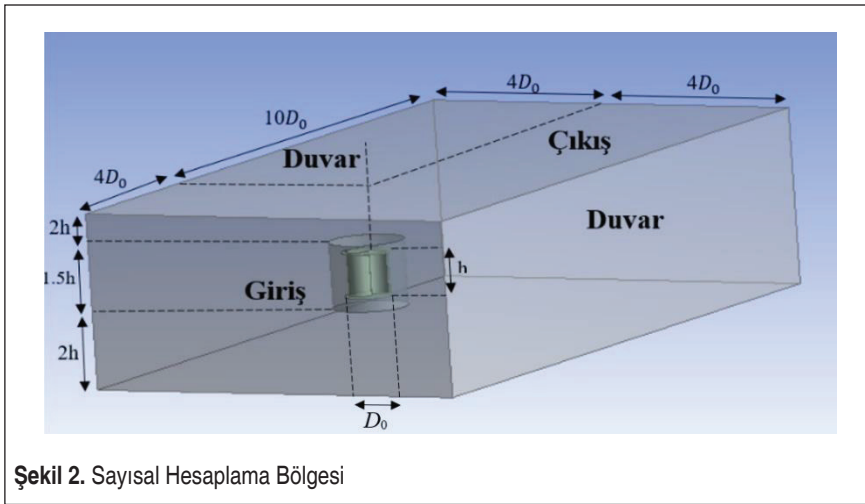


Dairesel hava akış kanallı geometride yarı çapı 24,30 mm olan dairesel kanallar bulunurken, kare kanalların bir kenar uzunluğu 43,07 mm, altıgen kanalların ise kenar uzunluğu 26,72 mm'dir. Daire, kare ve altıgen geometrilerin olduğu modelde altı adet hava akış kanalı bulunmaktadır. Diğer taraftan, dikdörtgen şeklindeki yekpare hava akış kanalının kenar uzunlukları sırasıyla 30 mm ve 370 mm olup, her bir model için hava akış kanallarının yüzey alanları, toplamda $1,11 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 'dir.

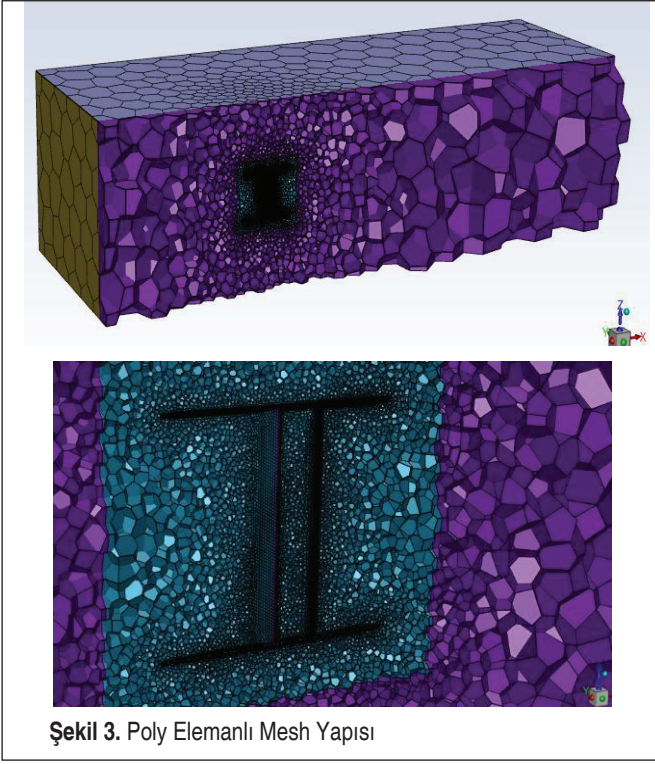
Optimum kanal geometrisi tespit edildikten sonra, hava akış kanallarının konumlandırıldığı, rotorun merkez bölgesindeki açıklığın (e) kanat çapına (d) oranı olarak tanımlanan, örtüşme oranı parametre alınarak sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. Optimum örtüşme oranını tespit edebilmek için 0,10, 0,15, 0,20, 0,25 ve 0,30 örtüşme oranları incelenmiştir.

Hesaplama bölgesinin boyuttan bağımsızlığı çalışması kapsamında, farklı büyüklükte hesaplama bölgeleriyle HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de 3 boyutlu olarak hesaplama bölgesi gösterilmektedir. Hesaplama bölgesine havanın girdiği yüzey, velocity inlet, çıkış yaptığı yüzey pressure outlet olarak tanımlandı. Hesaplama bölgesinin geri kalan yüzeyleri wall sınır şartı olarak tanımlandı. Hava akışının hesaplama bölgesinin yan yüzeylerinden etkilenmemesi için bu sınır şartına sıfır kayma gerilmesi tanımlandı. Böylelikle olması gerekenden daha küçük hesaplama bölgesiyle çalışılabilirdi [20]. Diğer taraftan, türbin yüzeylerine ise kaymama koşulunu sağlayan wall sınır şartı tanımlanmıştır.

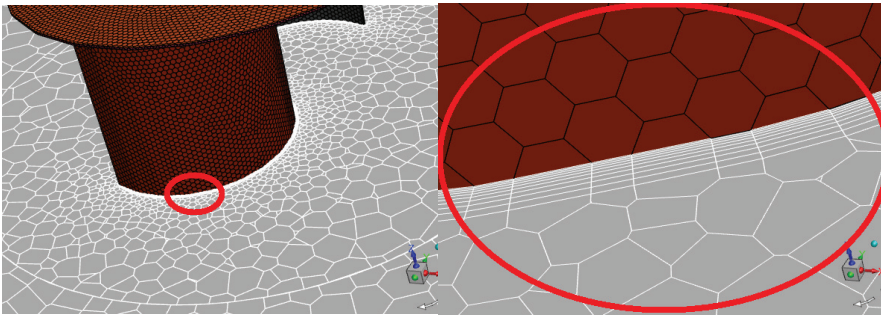
Ansys/Fluent Meshing programı kullanılarak poly elemanlar ihtiva eden ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ yapısı 0,65 milyon eleman içermektedir ve maksimum çarpıklık değeri 0,79'dur.



Şekil 2. Sayısal Hesaplama Bölgesi



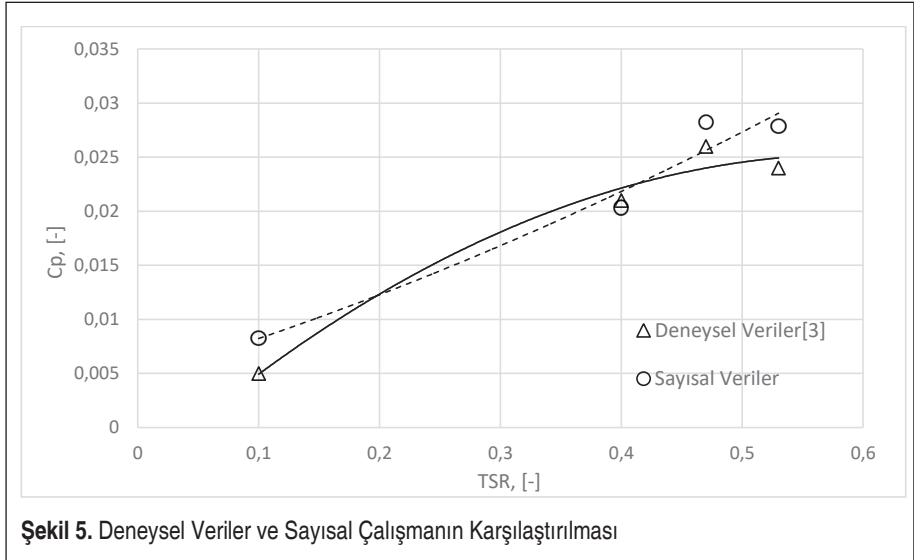
Her rüzgâr hızı için sınır tabaka kalınlığı ve katman sayısı Re sayısının fonksiyonu olarak yeniden hesaplanmış ve hava hızına bağlı olarak her bir HAD analizi için ağ yapısında farklı sınır tabaka kalınlıkları oluşturulmuştur. 4 m/s rüzgâr hızı için toplam sınır tabaka kalınlığı ve ilk katman kalınlığı sırasıyla $4,2 \times 10^{-3}$ m ve $2,20 \times 10^{-4}$ m olarak hesaplanmıştır.



3.2 Validasyon Çalışması

Sayısal model, Wenehenubuna ve diğerleri (2015) tarafından kanat sayısının s-rotor Savonius rüzgâr türbini performansı üzerine etkisinin incelendiği çalışmadaki deneysel veriler ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 5’de verilmiştir.

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar arasındaki hata %12-%2,5 arasında gerçekleşmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalarda [14. 20] ulaşılan hata oranlarıyla kıyaslandığında, sayısal modelin deneysel çalışmayı iyi bir şekilde temsil edebileceği söylenebilir.



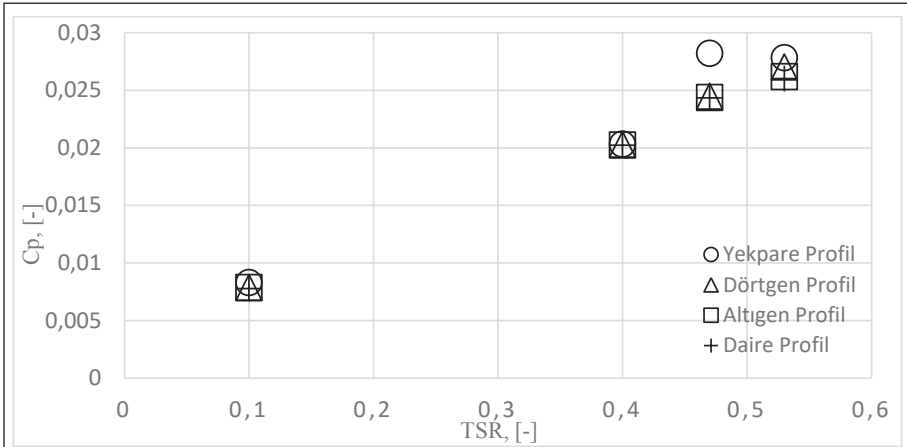
Şekil 5. Deneysel Veriler ve Sayısal Çalışmanın Karşılaştırılması

4. BULGULAR

4.1 Kanal Geometrisinin Türbin Performansı Üzerine Etkisi

Kanal geometrisinin türbin performansı üzerine etkisini inceleyebilmek için yekpare, daire, kare ve altıgen formda kanal geometrileri seçilmiştir. Seçilen bu kanal geometrilerini aynı şartlarda karşılaştırmak amacıyla, bütün kanal geometrileri toplam hava akış alanı aynı olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Yapılan optimizasyon çalışmasında; kare, altıgen, daire ve yekpare hava akış kanallarının güç katsayısı (C_p) değerleri elde edilmiştir. Güç katsayısı, serbest hava akımıyla gelen gücün ne kadarının türbin rotoruna aktarılacağına bir ölçüsü olması münasebetiyle türbin performansının değerlendirilmesi hususunda önemli bir parametredir. Bunun yanında, kanat ucundaki teğetsel hızın, serbest akım hızına oranı olarak tanımlanabilecek kanat uç hız oranı

(TSR) da güç katsayısı ile ilişkilendirilen boyutsuz bir sayıdır. Bundan dolayı, türbin performansı güç katsayısına ve kanat uç hız oranına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek C_p değeri 6 m/s rüzgâr hızında $2,82 \times 10^{-2}$ olarak, yekpare profilde olduğu tespit edilmiştir. Güç katsayısı, düşük kanat uç hız oranlarında tüm hava akış kanalı geometrileri için yakın sonuçlar vermiş olsa da 0,4'ün üzerindeki kanat uç hız oranı değerlerinde kanal geometrisinin güç katsayısı üzerinde daha etkili olduğu görülmektedir. Şekil 6 incelendiğinde, yekpare hava akış kanalının, diğer kanal geometrileriyle kıyaslandığında daha yüksek güç katsayısına ulaştığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı, örtüşme oranı için gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları yekpare profil üzerinden yapılmıştır.

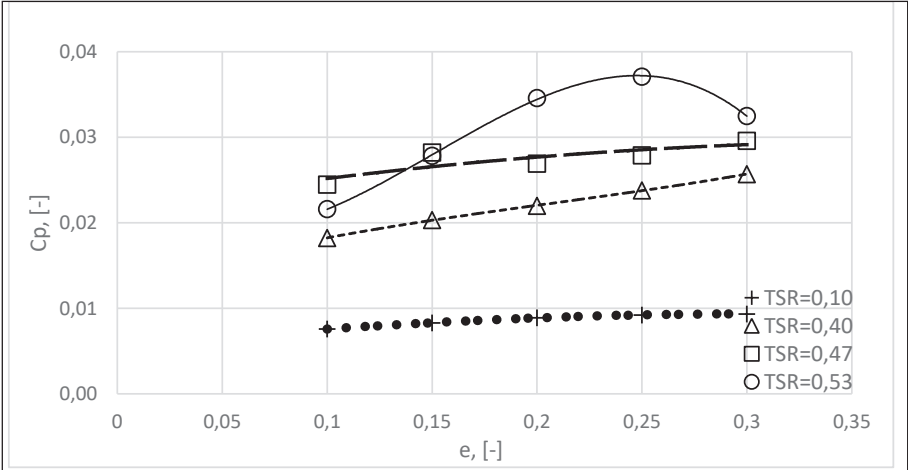


Şekil 6. Hava Akış Kanallı Tasarımların Güç Katsayıları

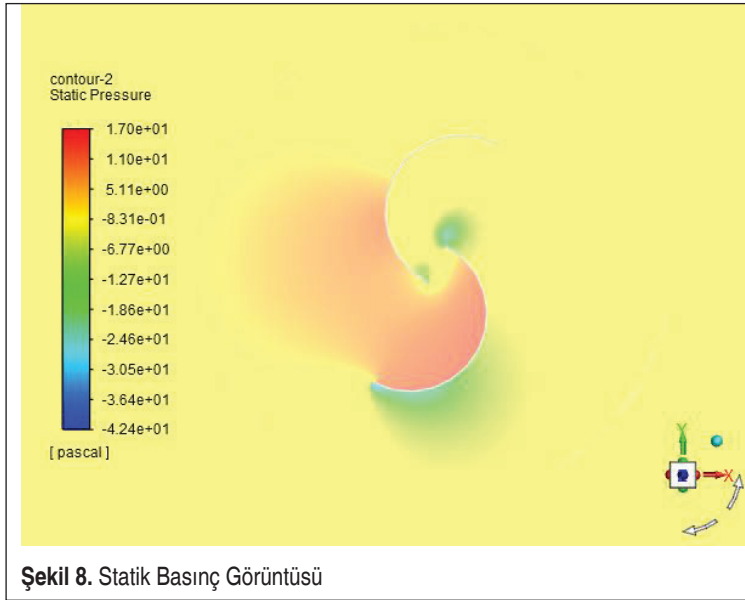
4.2 Örtüşme Oranının Türbin Performansı Üzerine Etkisi

0,1'den 0,3'e kadar değişen değerlerde örtüşme oranı parametre alınarak, çeşitli kanat uç hız oranları için güç katsayısı değerleri sayısal model kullanılarak elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde 0,2 örtüşme oranından itibaren güç katsayısı değerinin artan kanat uç hız oranına bağlı olarak artma eğiliminde olduğu ve bu artış eğiliminin 0,25 örtüşme oranında $3,8 \times 10^{-2}$ güç katsayısı değeriyle pik yaptıktan sonra azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.

Kanatların kesit görüntüsü üzerindeki statik basınç kontürü Şekil 8'de gösterilmektedir. Her ne kadar geriye dönen kanadın üzerinde oluşan basınç negatif tork oluştursa da şekil incelendiğinde hava akışını toplayan ileri dönen kanadın ön kısmında maksimum basıncın oluştuğu ve s-rotor üzerindeki pozitif basınç farkıyla rotorun saat yönü-



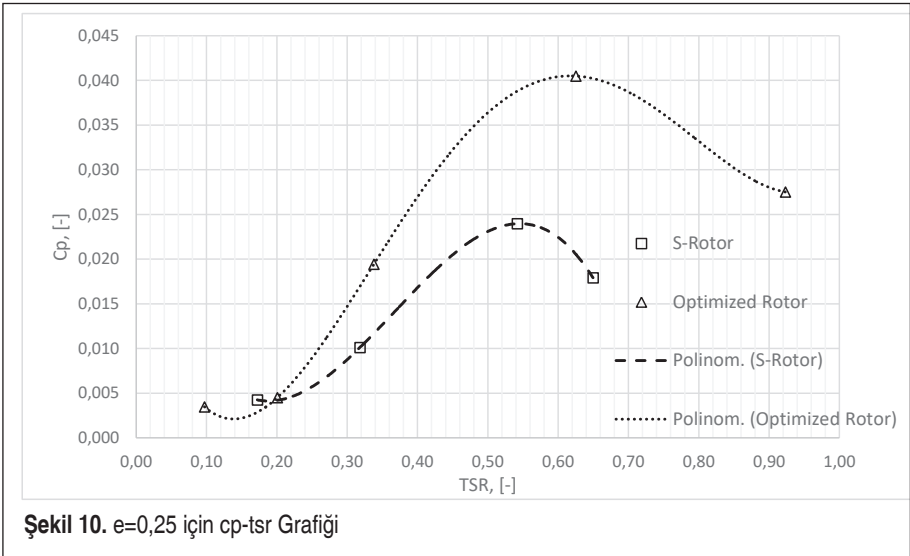
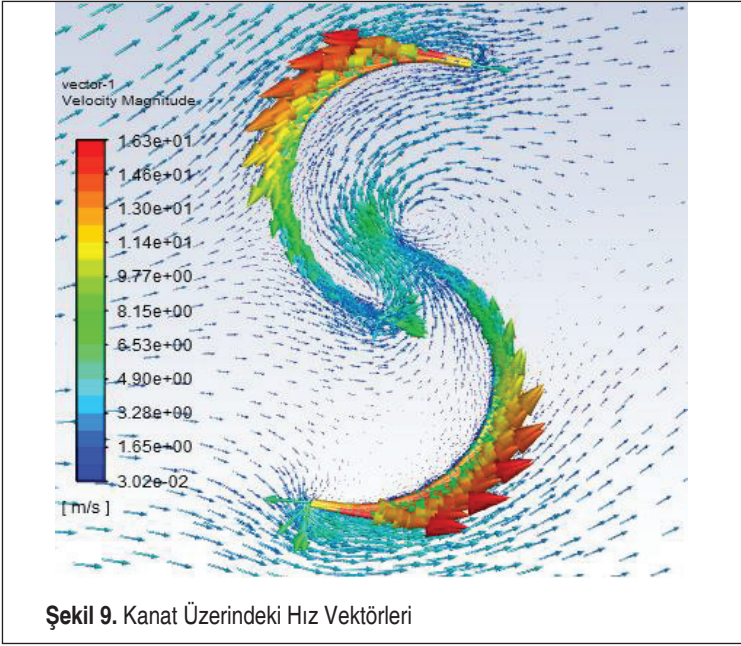
Şekil 7. Örtüşme Oranına Bağlı Olarak Güç Katsayısının Değişimi



Şekil 8. Statik Basınç Görüntüsü

nün tersinde döndüğü anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, Şekil 9’da verilen hız vektörleri incelendiğinde, s-rotorun merkezinde açılan hava kanallarından geçen hava akışının, geriye dönen kanadın arka kısmına çarparak, bu kanadın direnç kuvvetini azalttığı ve s-rotorun dönüşünü desteklediği görülmektedir.

Optimum hava kanal geometrisinin belirlendiği tasarım ile hava kanalsız türbinin ka-



nat uç hız oranına bağlı olarak ürettiği güç katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. 0,54 kanat uç hız oranında hava akış kanalsız türbinin güç katsayısı $2,4 \times 10^{-2}$ iken optimum hava akış kanalına sahip geometrinin güç katsayısı $3,8 \times 10^{-2}$ ' dir. Ayrıca optimi-

ze edilen rüzgâr türbininin yüksek kanat uç hız oranlarında daha yüksek performansa sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, s-rotor savanius rüzgâr türbininde hava akış kanal geometrisinin ve örtüşme oranının, türbin performansı üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen verilere bağlı olarak optimum türbin tasarımı gerçekleştirilmiştir.

2, 4, 6 ve 8 m/s hava hızları için gerçekleştirilen analizlerde yekpare hava akış kanalının diğer kanal geometrilerine göre %2 ila %6 arasında performansı artışı sağladığı tespit edilmiştir.

Yekpare hava akış kanallı tasarım üzerinden 0,10, 0,15, 0,20, 0,25 ve 0,30 örtüşme oranları incelendiğinde 0,25 örtüşme oranına sahip modelin %1 ila %12 performansı artışı sağladığı tespit edilmiştir.

Hava kanallarının olmadığı rüzgâr türbini ile optimum örtüşme oranına sahip türbin karşılaştırıldığında; optimum örtüşme oranına sahip türbin %36 daha yüksek performansa sahiptir. Bunun yanında, optimum tasarıma sahip olan türbinin hava kanalının olmadığı türbin ile kıyaslandığında daha yüksek kanat uç hız oranında bile stola düşmediği yani artan kanat uç hız oranına bağlı olarak güç kaybetmediği ve yüksek verimde çalıştığı tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

1. **Mishra, N., Jain, A., Nair, A., Khanna, B., Mitra, S.** 2020. “Experimental Investigation on a Ducted Savonius Vertical Axis Wind Turbine and its Performance Comparison with and without End-plates,” *Renewable Energy Research and Applications*, vol. 1, p. 1-9
2. **Halmy, M.S., Didane, D.H., Afolabi, L.O., Alimi, S.** 2021. “Computational Fluid Dynamics (CFD) Study on the Effect of the Number of Blades on the Performance of Double-Stage Savonius Rotor,” *Cfd Letters*, vol. 1, p. 1-10
3. **Wenehubuna, F., Saputraa A., Sutanto H.** 2015. “An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades,” *Energy Procedia*, vol. 68, p. 297 – 304
4. **Zakaria, A., Ibrahim M.S.** 2019. “Effect of twist angle on starting capability of a Savonius rotor – CFD analysis,” *Materials Science and Engineering*, vol. 1, p.1-6
5. **Yiğit, C.** 2020. “Optimization of the S-Rotor Savonius Wind Turbine,” *Sakarya University Journal of Science*, vol. 24, p. 1215-1222
6. **Aldoss, T.K.** 1984. “Savonius Rotor Using Swinging Blades as an Augmentation System,” *Wind Engineering*, vol. 8, p. 214-220.
7. **Deda, B., Atılğan, M.** 2001. “Savonius rüzgâr çarklarının performanslarının arttırılması”, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri*, p.157-164.



8. **Saha, U. K., Rajkumar, M. J.** 2006. "On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blades," *Renewable Energy*, vol. 31, p. 1776-1788
9. **Kamoji, M. A., Kedare, S. B., & Prabhu, S. V.** 2009). "Performance tests on helical Savonius rotors," *Renewable Energy*, vol. 34, p. 521-529
10. **Roy, S., Saha, K. U.** 2013. "Review on the numerical investigation into the design and development of Savonius wind rotors," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.24, p. 73-83.
11. **Göktaş, M., Kılıç, F.** 2019. "Savonius rüzgâr türbini çevresindeki hava akışının hesaplanabilir akışkanlar dinamiği yöntemi ile analizi," *Polietnik Dergisi*, vol. 22, p. 11-17
12. **Göktaş, M., Kılıç, F.** 2018. "Savonius Rüzgâr Türbini (İkili ve Üçlü) Kanat Çevresi Akışının Sayısal Analizi," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 22, p. 1256-1261
13. **Amiri, M., Kahrom, M., and Teymourtash A. R.** 2019. "Aerodynamic Analysis of a Three-Bladed Pivoted Savonius Wind Turbine," *Wind Tunnel Testing and Numerical Simulation. Journal of Applied Fluid Mechanics*, vol. 12, p. 819-829
14. **Yiğit, C.** 2020. "Computer-aided simulation of a vertical-axis wind turbine," *Emerging Materials Research*, vol. 9, p. 1325-1333
15. **Adanta, D., Budiarso, W., Siswantara, A.I., and Prakoso, A.P.** 2018. "Performance comparison of NACA 6509 and 6712 on pico hydro type cross-flow turbine by numerical method," *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, vol. 45, p. 116-127
16. **Wenhenubuna, F., Saputraa A., Sutanto H.** 2015. "An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades," *Energy Procedia*, vol. 68, p. 297 – 304.
17. **Setiawan, P., A., Yuwono, Y., and Widodo, W., A.** 2018. "Numerical simulation on improvement of a Savonius vertical axis water turbine performance to advancing blade side with a circular cylinder diameter variations," *International Conference n Climate Change*, vol. 200, p. 1-7
18. **Dobrev, I., Massouh, F.** 2012. "Exploring the Flow around a Savonius Wind Turbine," *Int Symp on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics*, vol.16, p. 1-9
19. **Chaklasiya, S., H., Saxena, R., R., Ramana, P., V.** 2018. "Review on Performance Evaluation of Helical Savonius Wind Turbine," *Ijsrset*, vol. 4, p. 1464-1471
20. **Lanzafame, R., Mauro, S., and Messina, M.** 2014. "2D CFD Modeling of H-Darrieus Wind Turbines Using a Transition Turbulence Model," *Energy Procedia*, vol. 45, pp. 131- 140