

Kanatsız Rüzgâr Türbini Tasarımı

Esra AKKÖSE¹, Onur Özdal MENGİ¹, Kenan YANMAZ²

¹Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fak, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Giresun, TÜRKİYE

¹Giresun Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Programı, Giresun, TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 21.05.2018

Kabul Tarihi: 04.06.2018

*Sorumlu Yazar: onur.ozdal.mengi@giresun.edu.tr

Öz

Bu makalede kanatsız rüzgar türbini ile enerji elde edilmesi kanatlı rüzgar türbinlerinin sorunlarının giderilmesi ve elde edilen enerji ile 3 fazlı yüklerin beslenmesi incelenmiştir. Kanatsız rüzgar türbininde kullanılan fiberglas malzeme rüzgar ne hızla eserse essin max verimle elektrik enerjisine dönüşmesi için tasarlanmıştır. Bu çalışmada kanatsız rüzgar türbini için 3 farklı malzeme seçilip sistemin: doğal frekansı ve salınım hareketini nasıl etkilediği incelenmiştir. Sonlu elemanlar teoremi alt yapılı olan Solidworks paket programı kullanılarak sistemin kanat yapısı tasarlanmış statik ve frekans analiz sonuçlarına ulaşılmıştır. Sonuç olarak: Tasarlanan türbinin yapacağı salınım hareketinin seçilen malzemeye göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Sistemde doğal kauçuk malzeme kullanıldığında çıkan frekans değeri diğer kullanılan malzemelere oranla istenilen sonuca daha yakın çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: kanatsız rüzgar türbini, vortex bladeless, vortex.

Bladeless Wind Turbine Tower Design

Abstract

In this article, we have investigated the problems of the wind turbine with bladeless wind turbines and energy supply and the obtained energy and the feeding of 3-phase loads. The fiberglass material used in the windless turbine is designed to convert wind energy into electric energy with maximum efficiency. In this study, three different materials were selected for the bladeless wind turbine and the effect of the system on natural frequency and oscillation motion was investigated. Using the SOLIDworks package program with the finite element theorem sub-structure, the blade structure of the system has been designed and the static and frequency analysis results have been obtained. As a result: It has been determined that the oscillation motion of the designed turbine differs according to the selected material. When the natural rubber material is used in the system, the frequency value is closer to the desired result compared to other used materials.

Keywords: Bladeless wind turbine, vortex bladeless, vortex.

1. Giriş

Elektrik enerjisi şüphesiz hayatımızda çok önemli bir yere sahiptir. Buna rağmen günümüzde enerji kaynakları azalmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bu kaynaklardan enerji elde etme isteği günden güne daha da artmaktadır. Enerji elde etmenin yanı sıra enerjinin verimli kullanılması, kullanılan enerji kaynaklarının sorunlarının giderilip çevreye zarar vermeden yaygınlaştırılması ve mevcut sistemle birleşik olması da o kadar önemli hale gelmiştir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan rüzgar enerjisi yaygın olarak kullanılan çevre dostu bir enerjidir

Günümüzde enerjinin maliyetinin artması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve önem daha da artmaktadır. Rüzgar enerjisinden yararlanma konusunda son zamanlarda birçok çalışma yapılmış olup halen de yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir. Bilgili ve arkadaşları (Bilgili ve ark., 2010) tarafından Türkiye'nin güney, güneybatı ve batı kıyısında bulunan Akhisar, Bababurnu, Belen, Datça, Foça, Gelendost, Gelibolu, Gökçeada ve Söke kısımlarındaki rüzgâr enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, ilgili bölgelerin rüzgâr enerjisi potansiyelleri yüksek olduğu ve rüzgâr türbini kurulmasına uygun bölgeler olduğu belirtilmiştir

Akyüz ve arkadaşları (Akyüz ve ark., 2009), elektrik şebekesinden bağımsız Balıkesir iline ait rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu verileri kullanarak ticari bir tavuk çiftliğinin enerji ihtiyacını karşılamak için hibrid bir sistemin tekno-ekonomik uygulanabilirliği ve çevresel performansını değerlendirmek için çalışma yapmışlardır.

Rüzgâr enerjisi kullanımı, yeni bir teknoloji olmayıp insanlık tarihinde önemli bir rol oynamıştır. İnsanoğlunun, rüzgârın gücünü keşfedip onun gücünden yararlanmaya başlaması çok eski dönemlere dayanır. İlk kez M.Ö. 2800 yıllarında Mısırlıların kürek mahkûmlarının gücüne ek olarak rüzgâr enerjisini kullandıkları bilinmektedir. Mısırlılar metrelerce uzunluktaki yelkenleri şişirip tonlarca ağırlıktaki gemileri yüzdürmek için rüzgârın gücünden yararlanmışlardır. Hollanda'dan Amerika'ya birçok farklı coğrafyada rüzgâr enerjisi yel değirmenleri vasıtasıyla üretilmekte ve su kuyularından su çekmekte kullanılmıştır. İran ve Afganistan'da ise insanlar tahıl öğütme amaçlı rüzgâr enerjisini kullanmışlar (İlkılıç, 2003).

Türkiye'de genel kullanıma yönelik ilk rüzgar enerjisi kaynaklı elektrik üretimi 1986 yılında Çeşme'de 55 kW nominal güçlü rüzgar türbini ile elde edilmiş ve 1998 yılında bu güç 8.7 MW'a çıkarılmıştır (Bergey, 1997). Rüzgâr enerjisi ile ilgili yapılan çalışmaların sonucundan, Çanakkale Boğazı civarı, Bozcaada, Gökçeada, Sinop, İnebolu, Bozkurt, Samsun, Bandırma, Balıkesir, Çorlu, Edremit, Ayvalık, Dikili, Çeşme, Bodrum, Bergama, Antakya, Anamur, Silifke, Mardin, Malatya,

Erzurum, Seydişehir, Karaman ve Afyon yörelerinin rüzgâr enerjisinden yararlanılabilir alanlar olduğu tespit edilmiştir.

Dünyada; rüzgâr enerjisinden elektrik üreten ilk türbin, Paul la Cour tarafından Danimarka'da tasarlanmıştır. Ancak elektrik birim fiyatı yüksek olduğundan 55 kW kapasiteli türbinler yapılmıştır. Daha sonraları elektrik birim fiyatlarında önemli ölçüde azalmalar olmuştur (Danish Wind History, 1999).

Rüzgar enerjisi sadece karada değil denizlerde de büyük zenginlik gösterir. Örneğin denizlerde deniz üstü (Offshore - Alarga) rüzgar santralleri kurulmasına başlanmıştır. Avrupa'da şu anda 12MW'lı offshore santrali çalışır durumdadır. Ve Avrupa bu kurulu gücünü 180MW'a çıkarmayı planlamaktadır. 2030 yılında ise Avrupa da rüzgar enerjisi kurulu gücünün %25'ini Offshore RT'lerinin oluşturacağı beklenmektedir (Tusiad, 1998).

Tüm bu çalışmaların dışında Vortex Bladeless İspanyol bir kuruluşu olup yeni bir rüzgar türbini kavramı geliştirmektedir. Vorteks ya da vortisite rüzgar türbini denilen bıçaklar kullanıp Vorteks dizaynı, konvansiyonel jeneratörlerdeki mevcut sorunların çoğunu ve rüzgar enerjisinin yeni bir paradigmasını temsil eder. Bu morfolojik olarak basittir ve tek bir yapısal bileşenden oluşmaktadır (Suriol ve Yanez, 2015).

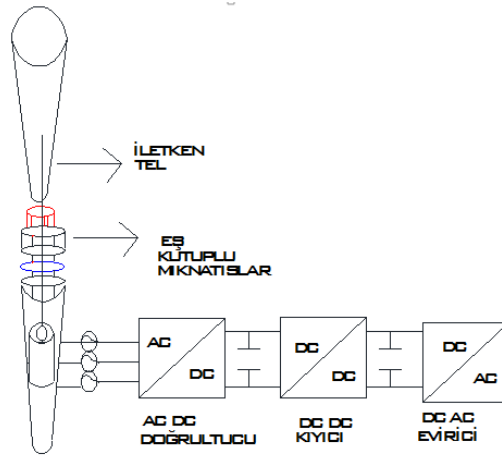
Vortex bladeless in geliştirilebilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Alya kodu simülasyonu geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar tatmin edici bir şekilde deneysel verilerle uyumaktadır (SHAPE Project Vortex Bladeless, 2016).

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele açısından yenilenebilir rüzgâr enerji sistemlerinin kullanımı büyük önem arz etmektedir. Özellikle şebeke bağlantısı olmayan kırsal bölgelerdeki küçük yerleşim alanları ve tarımsal üretim sistemleri için rüzgâr enerjisi dikkate alınması gereken önemli enerji kaynaklarından biridir.

Enerji gereksinimini karşılamak üzere çeşitli rüzgar türbinleri kullanılmıştır. İnsanların rüzgar enerjisinden faydalanma çalışmaları çok önceden başlamış ve günümüze kadar bir gelişme içerisinde olmuştur. Çok çeşitli şekillerde yararlandığımız rüzgar enerjisinden verimli bir enerji elde etmek için kurulacak Rüzgar Türbinleri'nin seçimi çok önemlidir. Her bir rüzgar türbini de farklı özelliklere ve kullanım alanlarına sahiptir.

Günümüzde farklı kanat yapısına sahip rüzgar türbinleri vardır. Bunlar tek kanatlı çift kanatlı üç kanatlı ve çok kanatlı rüzgar türbinleridir ve bunlarında kendi içlerinde avantaj ve dezavantajları vardır.

Bu çalışmada kanatsız rüzgar türbininden enerji elde edilmesinde kanat yapısının önemi ve kullanılan malzemeye göre nasıl değişiklik gösterdiği anlatılmıştır. Şekil 1'de üzerinde çalışılan sistemin yapısı görülmektedir. Burada direğin sallanmasıyla elde edilen frekans mıknatıslar tarafından güçlendirilip daha sonra şarj dinamosu vasıtasıyla elektrik enerjisine çevrilmiştir.



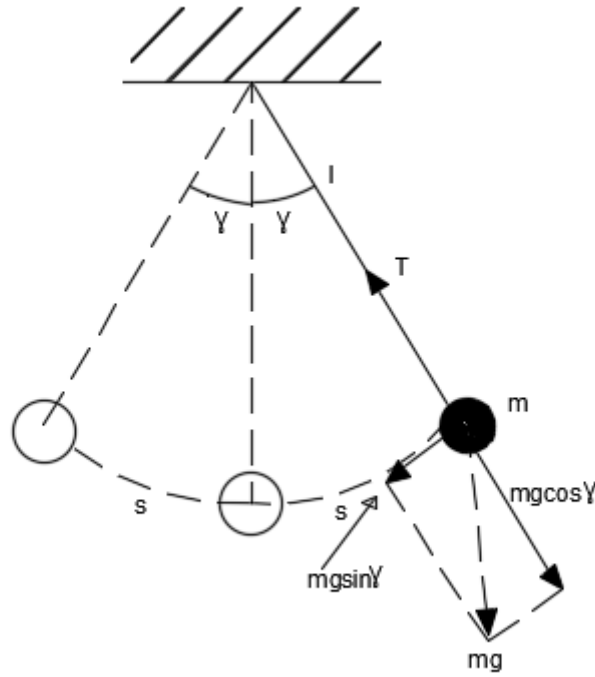
Şekil 1. Kanatsız rüzgar türbini dizaynı

2. Materyal ve Metot

Simulasyonu yapılan sistem şekil-1 de görüldüğü gibidir. Sistem üst kısmından aşağıya doğru daralan silindirik koni şeklinde dizayn edilmiştir. Bunun nedeni rüzgarın avantajlı bir şekilde aşağıya doğru yönlendirilmesini sağlayıp huni etkisi yaratmaktır. Aşağı doğru yönelen rüzgar iç yüzeylerde dönecek şekilde doğrusal bir bileşeni korur. İç yüzeyindeki sistem spiral olarak düzenlenmiştir. Böylelikle girdap oluşmasına yardımcı olmaktadır. Girdapın üst kısımdan aşağıya doğru sürekli olabilmesi için Arşimet vidası sistemin önemli bir kısmı boyunca kurulmuştur. Sistemin tüm katı eleman ve yapı olarak salınım çeşitli modu vardır

2.1. Kanatsız Rüzgar Türbini Eşdeğer Devre

Şekil 2 de gösterilen eşdeğer devre önerilen kanatsız rüzgar türbininde kullanılan kuleyi modellemek için kullanılır. Bu model aşağıdakilerden oluşur: F_g geri tepme kuvveti [N] m sarkacın kütlesi (m) s (rad/sn) yer değiştirmeyi göstermektedir



Şekil 2. Kanatsız rüzgar türbini eşdeğer devresi

Solidworks ortamında gerçekleştirilen kanatsız rüzgar türbini modeli şekil 2 ye dayanmaktadır ve burada kullanılan formüller (1) de ve (2) de gösterildiği gibidir

$$w_1 = \frac{F_g}{m \cdot s} \quad (1)$$

Burada; $w_1 = \text{doğal frekans (rad/sn)}$ $F_g = \text{Geri tepme kuvveti [N]}$ $m = \text{sarkaç kütlesi (kg)}$
 $s = \text{yer değiştirme (m)}$ $\alpha = \text{Açı (rad/sn)}$ 'dır.

1 nolu denklemde verilen rüzgar türbini salınım frekansı sisteme gelen rüzgarın hızına ve kulenin yapıldığı fiberglas malzemeye bağlıdır. Referans başlangıç taban modeli olarak şekil 2 ve denklem 1 kullanılarak değişen rüzgar hızı ve kuleye etkisi Solidworks de simülasyonu yapılarak gösterilmiştir. ($g=9,8, l=0,5$)

$$Tc = mgl \sin \alpha = Ia \cdot \quad (2)$$

$$Is^2 \theta(s) - sa(0) - a(0) + mgl \theta(s) = 0 \quad (3)$$

$$a(0) = 0 \quad (4)$$

$$\theta(s) = \frac{sa(0)}{Is^2 + mgl} \quad (5)$$

$$a(s) = a(0) \cos\left(\sqrt{\frac{g}{l}}t\right) = 0.5 \cos\left(\sqrt{\frac{g}{l}}t\right) = \quad (6)$$

(2)

m=sarkaç kütlesi (kg) g=yer çekimi l=kulenin boyu(m) a=açı (rad/sn) a(0) Başlangıç açısal hız (w=açı/sn)

2.2. Mıknatıs Eşdeğer Devre

Mıknatısların eş kutuplu olmasından dolayı sistemde birbirini iterler . Kullanılan mıknatıslar çok güçlü mıknatıslar olduğundan kulenin salınım frekansını artırırılar.Modelin matematiksel formülleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\oint E \cdot d \cdot A = \frac{qiç}{\epsilon_0} \quad (7)$$

$$qiç = \lambda \cdot L \quad (8)$$

$$E = (2\pi r L) = \frac{\lambda \cdot L}{\epsilon_0} \quad (9)$$

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\lambda}{r} \quad (10)$$

$$E = 2k \cdot \frac{\lambda}{r} \quad (11)$$

$$q dıış = 3\lambda \cdot L \quad (12)$$

$$w2 = \frac{q \cdot B}{m \cdot c} \quad (13)$$

w2=Mıknatısın doğal frekansı, q=manyetik alan yükü, B=mıknatısın manyetik akısı, m=mıknatısın kütlesi, c=ışık hızı

2.3. Kullanılan Malzemeler

Sistemde kullanılacak en uygun kanat yapısı için farklı malzemeler üzerinde çalışmalar yapılarak sisteme en uygun ,en hafif, daha fazla girdap akımı oluşturabilecek malzeme seçimi yapılabilmesi hedeflenmiştir. Bunun için kullanılan ilk malzeme doğal kauçuk ikinci malzeme ve alaşım çelik malzeme ve üçüncü kullanılan malzeme titanyum alaşım malzemedir.Kullanılan üç farklı malzeme ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

3. Benzetim çalışmaları

Kanatsız rüzgar türbini sisteminin solidworks paket programında çizimi yapılmıştır ve sonlu elmanlar analizi ile doğal frekans hesabı yapılmıştır.

Tasarım süresince 3 farklı malzeme kullanılarak tasarlanmış kanat yapıları incelenmiştir. İlk kanat tasarımında doğal kauçuk malzeme kullanılmıştır ve frekans değerleri tablo 1 de gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında 5 farklı modda belirlenen frekans değerlerinin şebeke frekansına daha yakın olduğu ve doğal kauçuk malzemenin hafif olmasından dolayı daha kolay salınım yaptığı görülmüştür

İkinci kanat tasarımında alaşım çelik malzeme kullanılmış ve frekans değerleri tablo 2 de gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında 5 farklı modda belirlenen frekans değerlerinin istenen değerden daha uzak olduğu görülmüştür. Ayrıca malzemenin özelliğine baktığımızda elastiklik modülü doğal kauçuğa göre daha düşüktür esnek olmaması, frekans değerinin istenildiği gibi çıkmaması salınımdan istenilen değerin alınmasını engelleyecektir.

Üçüncü kanat tasarımında itanyum alaşım malzeme kullanılmış ve frekans değerleri tablo 3 de gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında 5 farklı modda belirlenen frekans değerlerinin istenen değerden daha düşük olduğu görülmüştür. Malzemenin özelliklerine bakıldığında istenilen değerlerde olmadığı anlaşılmıştır

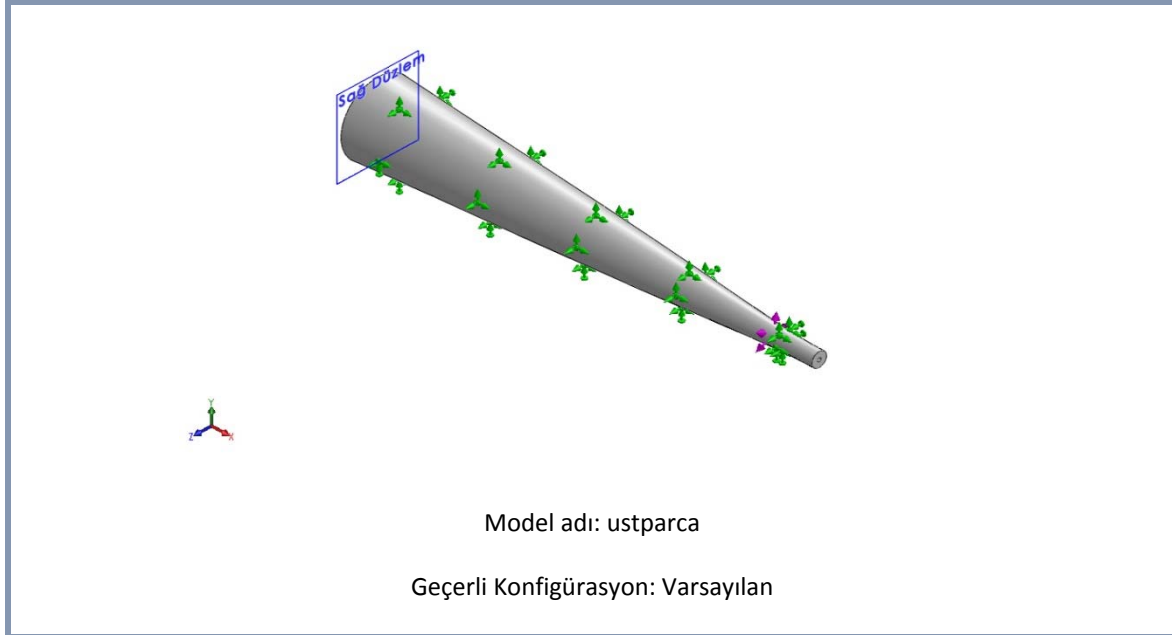
Sonuç olarak doğal kauçuk ile tasarlanan kanatsız rüzgar türbini diğerlerine oranla hem daha fazla salınım yapabilmeye hem de sisteme montajı açısından en uygun malzeme olarak karşımıza çıkmış

4. Sonuçlar ve Öneriler

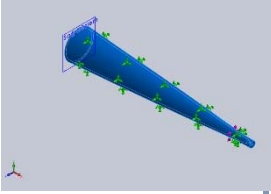
Doğal Kauçuk Malzeme Sonuçları

Deneyi ilk yapılan malzeme Doğal kauçuk fiberglas bir malzemedir. Oldukça dayanıklıdır, düşük deformasyona sahiptir, dinamik özellikleri iyidir, aşınmaya karşı dayanıklıdır, kolayca işlenebilir, çok yüksek elastikiyete sahiptir bu sebeplerden dolayı kullanılabilirliği yüksektir. Bu deneyde malzeme katı gövdeli olarak düşünülmüş belirli ağırlık ve kütle ve hacimde saniyedeki frekans değeri ölçülmüştür ve elastikiyet deneyi yapılmıştır.

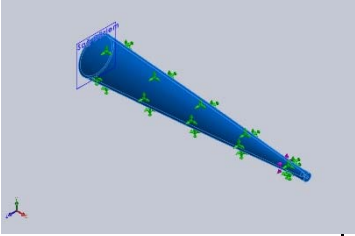
Model Bilgisi



Katı Gövdeler

Belge Adı ve Referansı	Parça Özelliği	Hacimsel Özellikler	
Kes-Ekstrüzyon1 	Katı Gövde	Kütle:0.455037 kg Hacim:0.000473996 m ³ Yoğunluk:960 kg/m ³ Ağırlık:4.45936 N	

Malzeme Özellikleri

Model Referansı	Özellikler	Bileşenler
	Ad: Doğal Kauçuk	SolidBody 1(Kes- Ekstrüzyon1)(ustparca)
	Model tipi: İzotropik Doğrusal Elastik Analizi	
	Varsayılan hata kriteri: Bilinmeyen	
	Gerilme mukavemeti: 2e+007 N/m²	
	Kütle yoğunluğu: 960 kg/m³	
	Elastik modül: 10000 N/m²	
	Poisson oranı: 0.45	
Eğri Verisi:N/A		

Mod Listesi

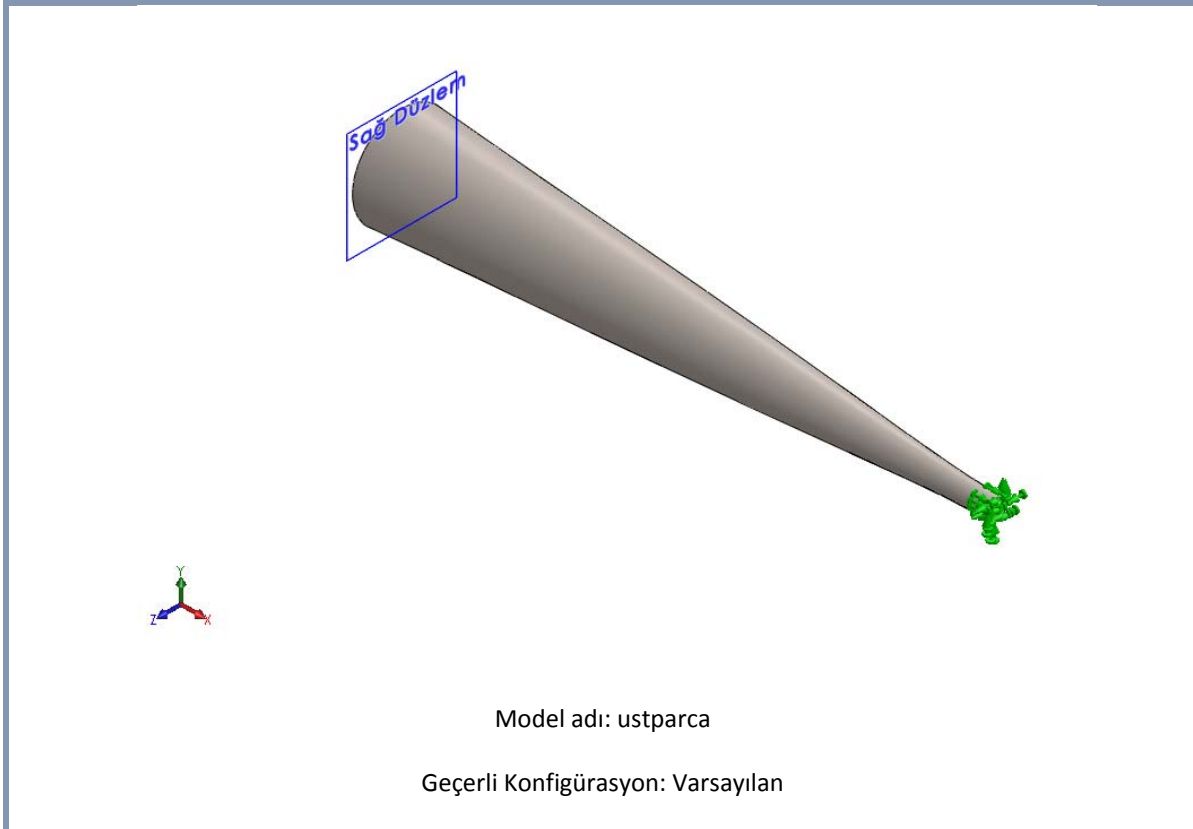
Tablo 1. Doğal Kauçuk Malzeme frekans değerleri

Frekans Numarası	Rad/sec	Hertz	Saniye
1	499.96	79.572	0.012567
2	602.72	95.926	0.010425
3	603.91	96.116	0.010404
4	604.43	96.198	0.010395
5	605.73	96.405	0.010373

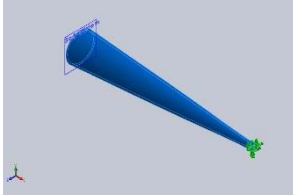
Alaşım Çelik Malzeme Sonuçları

Deneyde ikinci kullanılan malzeme Alaşım çelik malzemedir. Bu malzeme kimyasal bileşime uygundur kolaylıkla şekillendirilebilir. Hafiftirler ve ekonomik maliyetleri de düşüktür.

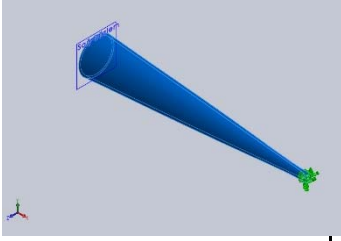
Model Bilgisi



Katı Gövdeler

Belge Adı ve Referansı	Şöyle Davran	Hacimsel Özellikler	
Kes-Ekstrüzyon1 	Katı Gövde	Kütle:3.64977 kg Hacim:0.000473996 m ³ Yoğunluk:7700 kg/m ³ Ağırlık:35.7678 N	

Malzeme Özellikleri

Model Referansı	Özellikler	Bileşenler
	Ad: Alaşım Çelik	SolidBody 1(Kes- Ekstrüzyon1)(ustparca)
	Model tipi: İzotropik Doğrusal Elastik Analizi	
	Varsayılan hata kriteri: Maks. von Mises Gerilimi	
	Akma mukavemeti: 6.20422e+008 N/m²	
	Gerilme mukavemeti: 7.23826e+008 N/m²	
	Kütle yoğunluğu: 7700 kg/m³	
	Elastik modül: 2.1e+011 N/m²	
	Poisson oranı: 0.28	
Termal genleşme katsayısı: 1.3e-005 /Kelvin		
Eğri Verisi:N/A		

Mod Listesi

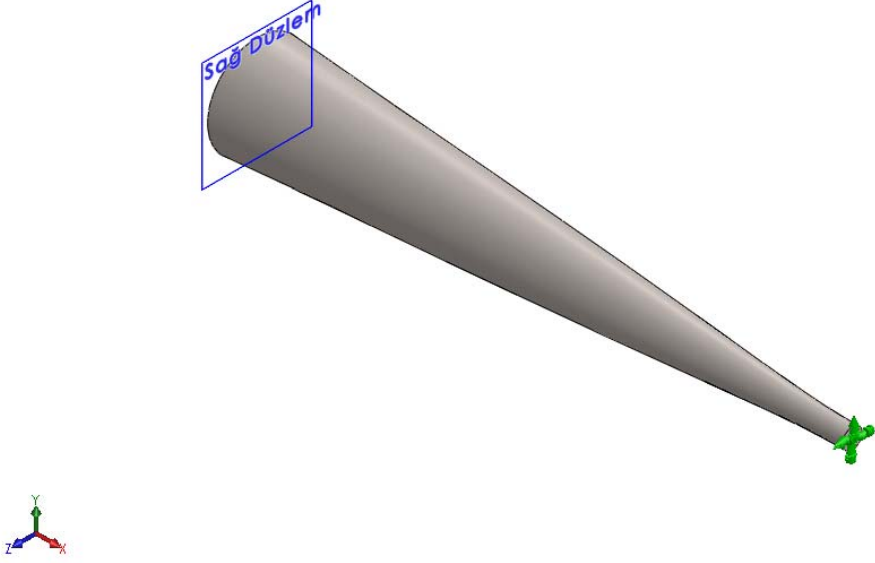
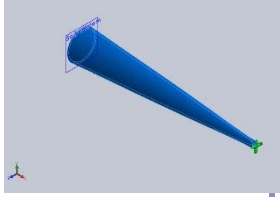
Tablo 2 Alaşım Çelik Malzeme frekans değerleri

Frekans Numarası	Rad/sec	Hertz	Saniye
1	189.01	30.082	0.033242
2	189.26	30.121	0.033199
3	1760.6	280.21	0.0035687
4	3330.4	530.05	0.0018866
5	3333.4	530.52	0.0018849

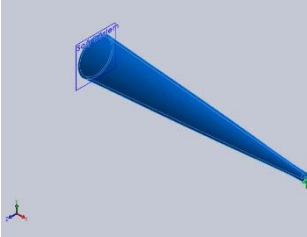
Titanyum Alaşım Malzeme Sonuçları

Deneyde üçüncü kullanılan malzeme Titanyum Alaşım malzemedir. Alaşımın ısı mukavemetleri ve hafifliklerinin yanı sıra korozyona karşı dayanıklılıklarıyla da bilinmektedirler

Model Bilgisi

 <p>Model adı: ustparca Geçerli Konfigürasyon: Varsayılan</p>			
Katı Gövdeler			
Belge Adı ve Referansı	Şöyle Davran	Hacimsel Özellikler	Belge Yolu/Değiştirilme Tarihi
Kes-Ekstrüzyon1 	Katı Gövde	Kütle:2.28466 kg Hacim:0.000473996 m ³ Yoğunluk:4820 kg/m ³ Ağırlık:22.3897 N	D:\13.12.2016-SW Geometry\ustparca.SL DPRT Mar 22 14:48:49 2017

Malzeme Özellikleri

Model Referansı	Özellikler	Bileşenler
	Ad: Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr (SS)	SolidBody 1(Kes-Ekstrüzyon1)(ustparca)
	Model tipi: İzotropik Doğrusal Elastik Analizi	
	Varsayılan hata kriteri: Maks. von Mises Gerilimi	
	Akma mukavemeti: 1.03421e+009 N/m²	
	Gerilme mukavemeti: 1.22e+009 N/m²	
	Kütle yoğunluğu: 4820 kg/m³	
	Elastik modül: 1.04e+011 N/m²	
	Poisson oranı: 0.33	
Termal genleşme katsayısı: 8e-006 /Kelvin		
Eğri Verisi:N/A		

Mod Listesi**Tablo 3** Titanyum alaşım Malzeme frekans değerleri

Frekans Numarası	Rad/sec	Hertz	Saniye
1	66.827	10.636	0.094021
2	67.36	10.721	0.093278
3	990.99	157.72	0.0063403
4	2350.3	374.06	0.0026734
5	2351.8	374.3	0.0026716

Tablo 4. Kullanılan malzeme değerleri

MALZEME	FREKANS DEğERİ[HERTZ]	KÜTLE[KG]	AğIRLIK[N]
DOğAL KAUÇUK	499,96	0.455	4.45
ALAŞIM ÇELİK	189,01	2.,647	35.7678
TİTANYUM ALAŞIM	66.827	2.28	22.387

Sonuç olarak Tablo 4'ten de anlaşıldığı üzere diğer kullanılan malzemelerin saniyedeki frekans değerleri daha küçük iken doğal kauçuk malzeme nin frekans değeri 500 e yakın çıkmıştır. Bu da bize doğal kauçuk malzeme ile tasarlanan kanatın salınımın daha hızlı olacağı böylelikle daha çok girdap oluşturup türbinin daha hızlı hareket etmesini sağlayıp verimi yükseltecektir.

Teşekkür

“Titreşimle çalışan Rüzgar Türbini ve Enerji Elde Edilmesi” FEN-BAP-A-160317-144 isimli ve numaralı projeye desteklerinden dolayı Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Bilgili M., Şahin B., Şişek E. (2010). Türkiye'nin Güney, Güneybatı ve Batı Bölgelerindeki Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli, Isı Bilimi ve Tekniđi Dergisi, 1300-3615.
- Akyüz E., Bayraktar M., Oktay Z. (2009). Hibrid Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Endüstriyel Tavukçuluk Sektörü İçin Ekonomik Açından Deęerlendirilmesi: Bir uygulama, BAÜ FBE Dergisi,11(2): 44-54.
- İlkılıç C. (2003). Rüzgâr Enerjisi ve Kullanımı, Dođu Anadolu Bölgesi Araştırmaları 4.
- Bergey. B., (1997). “Wind Energy History”. Windpower.com, USA
- Danish Wind History, (1999). *Danish Wind Turbine Manufacturers Association Wind Power*. Danimarka.
- TUSİAD, (1998), 21. yy. *Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Deęerlendirilmesi*. TUSİAD-T/98-12/239.
- Yanez David. Suriol David Vortex Bladeless,05/2015
- SHAPE Project Vortex Bladeless: Parallel multi-code coupling for Fluid-Structure Interaction in Wind Energy Generation (2016) Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación, Spain b Vortex Bladeless S.L., Spain.