

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNİ KANADINA KUŞ ÇARPMASI ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Beyza Nur Cencki ve Halit S. Türkmen
İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi / İstanbul

ÖZET

Son yıllarda, dünyada petrol ürünleri yerine rüzgar enerjisi kullanımında büyük bir artış olmuştur. Bu durumda rüzgar enerjisinin sınırsız kaynak olması ve kolay dönüştürülebilir enerji olmasının büyük bir etkisi olmuştur. Söz konusu özellikler dikkate alındığında, rüzgar enerjisi kullanımı dünyada her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte, rüzgar türbini alanlarının bazı dezavantajları vardır ve en önemli dezavantajları doğal çevreye yerleştirilmesinden dolayı bu bölgelerdeki kuş ölümlerine neden olmasıdır. Kuş çarpmasından dolayı rüzgar türbini kanatları da zarar görebilmektedir. Bu çalışmada, küçük ölçekli yatay eksen rüzgar türbini kanadına kuş çarpması etkileri araştırılmıştır. Rüzgar türbini kanadı son sayısal teknikler kullanılarak CATIA V5 yazılımında modellenmiştir. Rüzgar türbini kanadı yapısı için kompozit malzemeler kullanılmıştır. Rüzgar türbini kanadının sonlu elemanlar modeli ANSYS yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Rüzgar türbini kanadına sınır şartları ve basınç olmak üzere yapısal yükler uygulanmıştır. Statik yapısal test sonuçları incelenmiş ve sonuçlar önceki yayınlanmış araştırmalarla makul derecede uyumlu bulunmuştur. Sonlu elemanlar ağı için hassasiyet çalışması yapılmış ve nihai ağ yapısına elde edilen sonuçlara göre karar verilmiştir. Daha sonra, kuş Düzgün Parçacık Hidrodinamiği (Smooth Particle Hydrodynamics) yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Bu yöntemi kullanmanın amacı çarpma analizinden daha iyi sonuçlar alabilmektir. ANSYS Autodyn analiz yazılımında, zaman aralığı, etkileşim boşluğu ve kuş hızı başta olmak üzere tüm analiz koşulları belirlenmiştir. Kuş çarpmasının rüzgar türbini kanadına etkisi, rüzgar türbini kanadının yer değiştirmesi, gerilme ve gerinim dağılımları incelenip yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlar belirlenen dönüş ve rüzgar hızında, belirlenen yönde kuş çarpmasının kanat üzerinde bir hasar meydana getirmediğini göstermiştir.

GİRİŞ

Rüzgar türbinleri, rüzgar enerjisini kanatlar ve güç jeneratörü ile elektriğe çeviren basit bir çalışma prensibine sahiptir ve böylece mekanik enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Düşey eksenli rüzgar türbini ve yatay eksenli rüzgar türbini olmak üzere dönüş eksenlerine göre iki tür rüzgar türbini sistemi vardır.

Yatay eksenli rüzgar türbinleri, verimlilik ve güç üretimi açısından diğer tiplerden daha avantajlıdır. Maksimum verim için kanatların rüzgar yönünde olması gerekmektedir. Kanat eğiminin değişimi yatay eksenli rüzgar türbin kanadı için optimum açıyı sağlar [Kitano ve Shraki (2010)].

Bu çalışmada, avantajlarından dolayı yatay eksenli rüzgar türbini kanadı dikkate alınmıştır. Yatay eksenli rüzgar türbini sistemi bileşenleri temel olarak kanat, rotor, dişli kutusu, jeneratör ve kuyruk pervanesidir. Rotor, maksimum yüzey alanı rüzgarını almak için aerodinamik kurallara göre tasarlanmıştır. Rotor ve jeneratör arasına yerleştirilen bir dişli sistemi ile hız arttırımı gerçekleşir. Dönme nedeniyle elektrik üretimi ise jeneratörde gerçekleşir. Yatay eksenli rüzgar türbini sisteminde, rüzgar yönü önemli bir faktördür; kuyruk kısmı, maksimum rüzgar enerjisi almak için türbini yönlendirir.

¹Yüksek Lisans Öğrencisi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak ve Uzay Müh. Böl.,
E-posta: cencki@itu.edu.tr

²Prof.Dr., İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Müh. Böl., E-posta: halit@itu.edu.tr

Rüzgar türbini üzerindeki kuş çarpması etkisi büyük rüzgar türbini sahalarında çok yaygındır. Küçük rüzgar türbinine kuş çarpması olasılığı daha azdır [Loss, Will ve Marra(2013)]; Ancak yine de bu durum kanat dayanıklılığını saptamak için analiz edilmelidir.

Bu çalışmada, küçük ölçekli rüzgar türbini kanadının yapısal tasarımı ve sonlu eleman modeli yapılmış ve kuş çarpması durumunda kanadın emniyetliliği incelenmiştir. Kanat CATIA V5 kullanılarak tasarlanmıştır. Statik analizleri yapılan kanat daha sonrasında kuş çarpması analizi için ANSYS Autodyn modülüne aktarılmıştır.

RÜZGAR TÜRBİNİ KANADININ TASARIMI

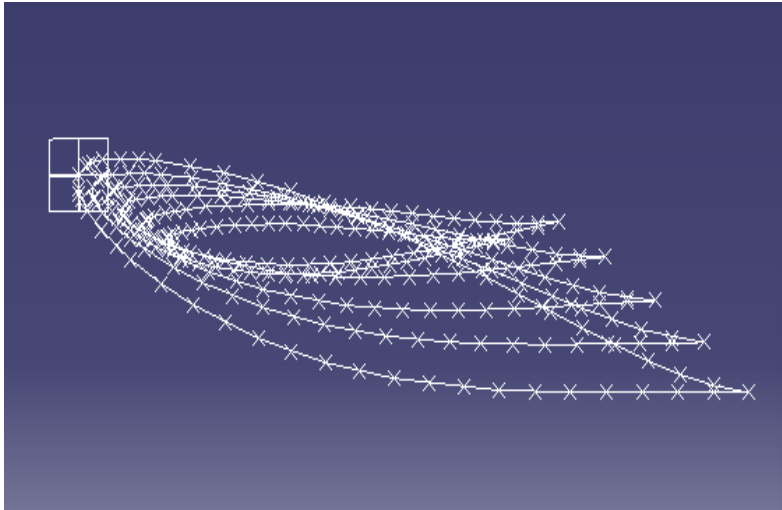
Parametrelerin Belirlenmesi

Parametreler mevcut literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tablo 1: Küçük Ölçekli Rüzgar Türbünü Kanadının Parametreleri

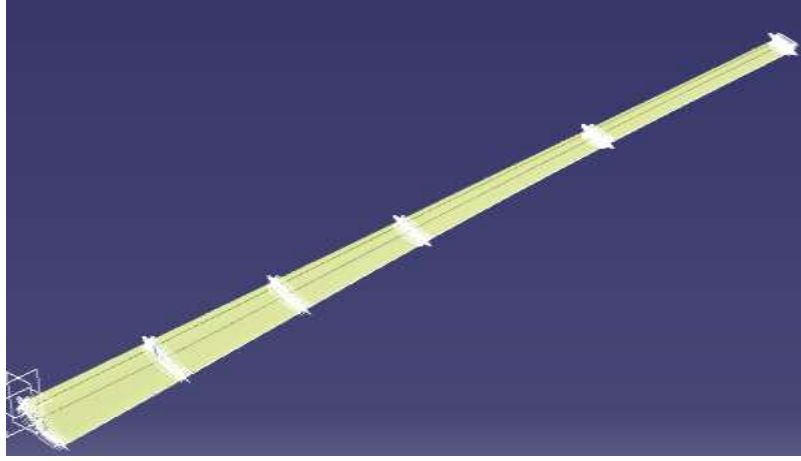
Güç	500 W
Rotor çapı	2.47 m
Kanadın kök veter uzunluğu	149.2 mm
Kanadun uç veter uzunluğu	45 mm
Kanat profili	NACA 63-415
Kökteki hücum açısı	10°
Ortadaki hücum açısı	5°
Uçtaki hücum açısı	0°

Kanat Tablo 1'de verilen parametreler kullanılarak tasarlanmıştır. Kanat profillerinin yandan görünümü Şekil 1'de, kanadın CATIAV5 programındaki ön tasarımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1 : NACA 63-415 Kanat Profillerinin Yandan Görünümü

Nokta ve eğrilerden oluşan kanat kesitlerine çoklu yüzey atamaları yapılmıştır. Modelde 5 tane kesit bulunmaktadır ve kalınlıklar kesitlerle orantılı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 2: Rüzgar Türbini Kanadının Katı Modeli

MALZEME ÖZELLİKLERİ

Mukavemet, esneklik, yüksek sıcaklık dayanımı ve özellikle çarpma dayanımı gibi birçok avantajı olduğundan dolayı, bu çalışmada kompozit malzemeler kullanılmıştır.

Tasarlanan kanat, yüzey ve spar bölümleri olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Cam epoksi kumaş, yüzey ve spar bölümleri için kullanılmıştır. Cam epoksi kumaş, mukavemet, çarpma dayanımı, sertlik, sıcaklık dayanımı, yorulma dayanımı ve radar şeffaflığı açısından alüminyumdan farklıdır. Bu malzeme daha iyi ağırlık ve maliyet performansına sahiptir. Hasar toleransı ve yüksek seviye gerilme dayanımı, söz konusu malzemenin seçilmesinde rol oynamıştır.

Kanat yüzeyi için kompozit malzeme olan cam epoksi kumaş kullanılmıştır ve iç dolgusu için poliüretan köpük kullanılmıştır. Malzemelerin özellikleri aşağıdaki Tablo 2'de yer almaktadır. Kuş modeli yoğunluğu 1000 kg/m^3 olarak alınmıştır.

Tablo 2: Kanat İçin Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Özellik	Cam/epoksi Kumaş	Poliüretan Köpük
E_{11} (MPa)	10500	60.86
E_{22} (MPa)	10500	59.86
G_{12} (MPa)	1450	19.18
X_t (MPa)	283.9	2.63
X_c (MPa)	184.6	1.41
Y_t (MPa)	283.1	2.49
Y_c (MPa)	184.6	1.41
S (MPa)	1.705	0.1197
Katman kalınlığı (mm)	0.25	12.5

SONLU ELEMEN MODELLEMESİ

Sonlu eleman modeli hassasiyetinin belirlenmesi için üç farklı ağ yapısı kullanılarak analiz yapılmıştır. Söz konusu analizlerde sonlu eleman boyutları değiştirilerek gerçeğe en yakın sonuç veren ağ modelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada en iyi sonuç veren model tercih edilmiştir.

ANSYS Statik Analiz modülünde yapılan analizler sırasında SHELL181 ve SURF153 elemanları kullanılmıştır. Kompozit malzeme kabuk olarak dikkate alındığı için ve altı serbestlik derecesi olan

SHELL181 elemanı kullanılmıştır. SURF153 elemanı ise kompozit malzeme ve köpük malzeme arasındaki ağ yapısı için tercih edilmiştir.

Kuş çarpması analizi için kullanılacak kanadın sonlu eleman modeline yapılan statik analizler sonucu karar verilmiştir.

KANADIN YAPISAL STATİK ANALİZİ

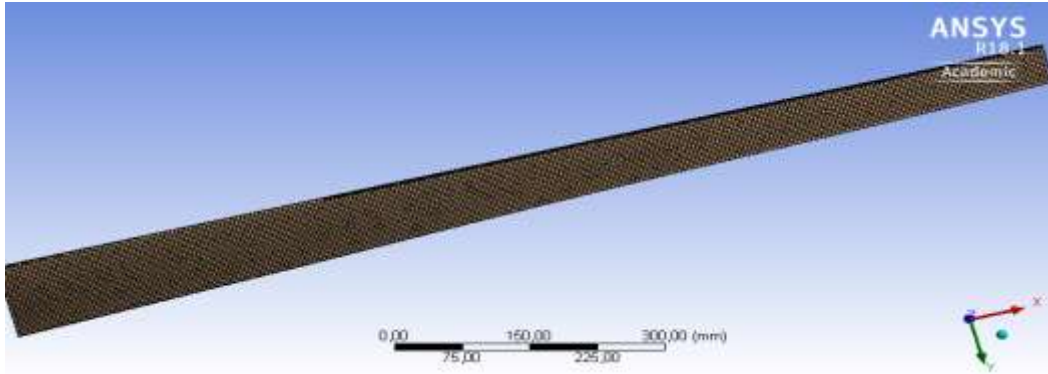
Analizde ANSYS Statik Yapısal modül kullanılmıştır. Malzeme, ağ yapısı, kuvvetler ve mesnetler belirlendikten sonra analiz yapılmıştır.

Sınır Koşulları

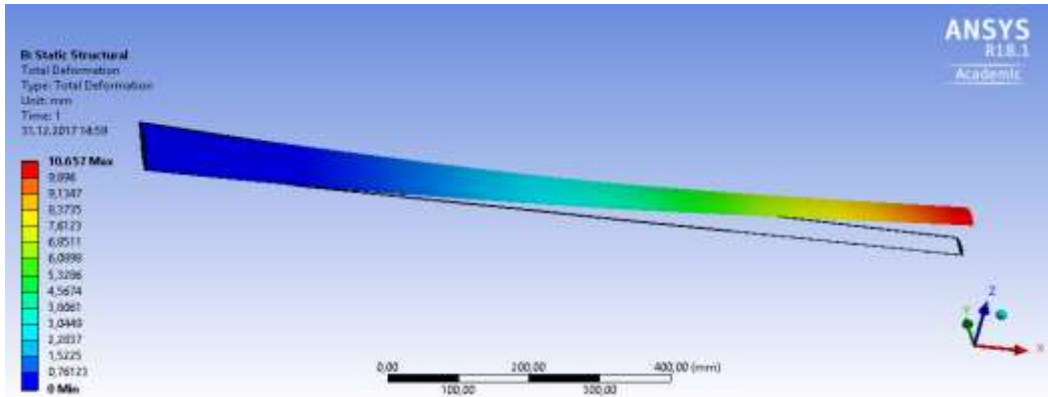
Rüzgar hızı, bu projedeki önemli parametrelerden biridir. Bu değer her bölge veya ülke için farklıdır. Referans rüzgar hızı yerel koşullara göre alınır [Sedaghat ve Mirhosseini (2011)]. Bu projede rüzgar hızı 8 m/s olarak alınmış, herhangi bir fırtına olmadığı kabul edilmiş ve rüzgar yükü kanadın üzerine basınç alanı olarak uygulanmıştır. Kanadın kök kısmı X, Y ve Z eksenleri yönlerinde ve söz konusu eksenlerin etraflarındaki dönme yönlerinde sabitlenmiştir.

Analizler için eleman boyutu 5 mm olarak alınmış ve bu durumda 113451 düğüm noktası ve 13319 eleman oluşmuştur. Ağ yapısı, elde edilen gerilme ve yer değiştirme sonuçları sırasıyla Şekil 3 – Şekil 5’de ve maksimum değerler Tablo 3’de verilmiştir.

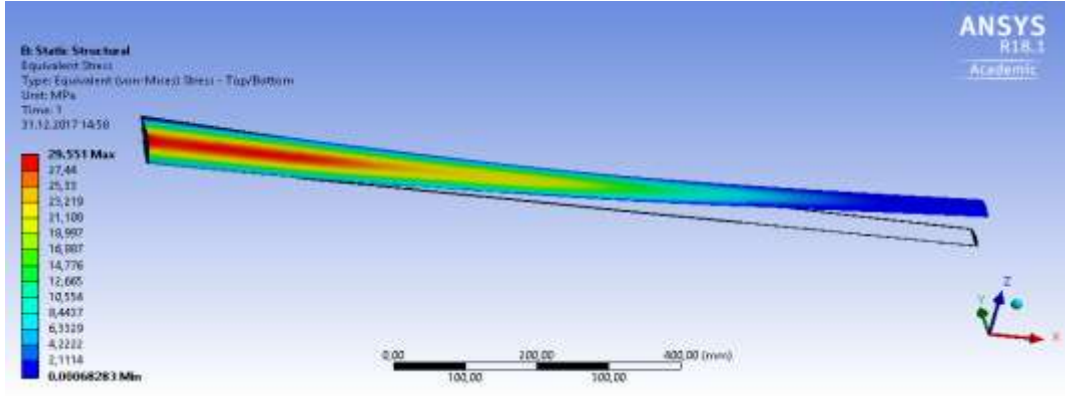
Analiz Sonuçları



Şekil 3: Ağ Yapısı



Şekil 4: Yer Değiştirme Dağılımı (mm)



Şekil 5: Gerilme Dağılımı (MPa)

Tablo 3: Statik Yapısal Analiz Sonuçları

Maksimum Yer Değişirme (mm)	10.93
Maksimum Gerinim	0.0007245
Maksimum Gerilme (MPa)	29.91

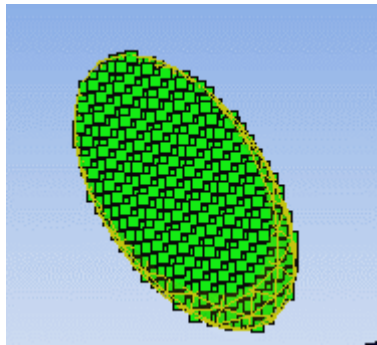
Kompozit malzeme kullanıldığı için gerilme analizi yerine gerinim analizi sonuçları daha önemlidir [Lee ve Lim (2014)]. Örnek olarak alınan çalışmalarla karşılaştırıldığında uyumlu sonuçlar bulunmuştur. Oluşturulan kanat modeli kuş çarpması analizinde kullanılmak üzere ANSYS Autodyn modülüne aktarılmıştır.

KUŞ ÇARPMASI ANALİZİ

Araştırmalar arasında kuş standardizasyonu bulunmamakta ve kuş çeşitliliğinin her kuş türü için değişmesine rağmen, kuşların biyolojik parametrelerinin kullanılması rüzgar enerjisi sektöründe yaygın değildir. Tavsiye edilen ve yaygın olarak kullanılan kuş modelleri, düz uçlu silindir, elipsoid ve yarı küresel uçlu silindirlerdir.

Kuş modellemesi için Düz Parçacık Hidrodinamiği yöntemi (The Smooth Particle Hydrodynamic method) kullanılmıştır. Ağ örgüsüne sahip olmayan kuş modeli, diğer yöntemlere kıyasla daha iyi sonuçlar vermektedir [Xinjun (2007)].

Silindir Kuş Modeli



Şekil 6: Silindir Kuş Modeli

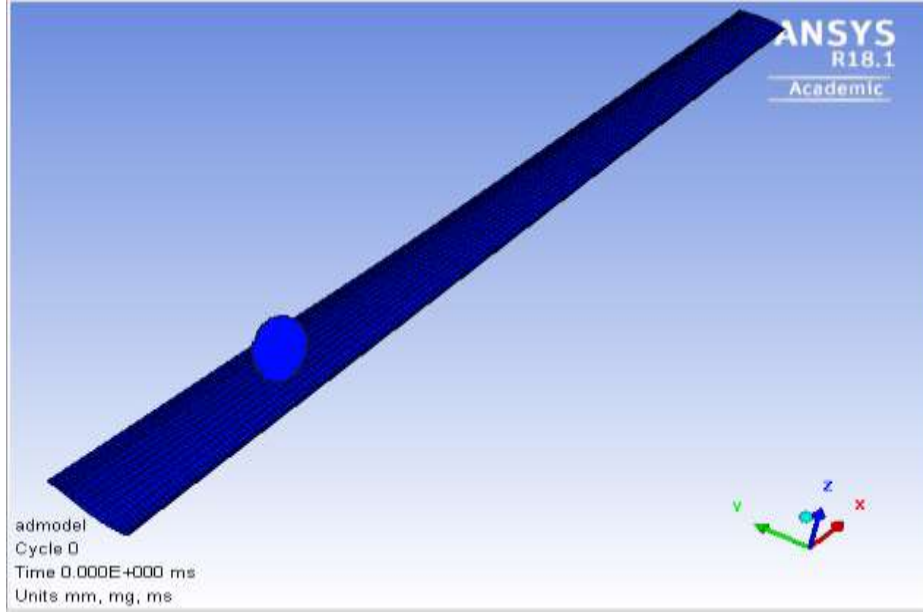
Kuş 1345 parçacık kullanılarak modellenmiştir. Kuş, programa katı model olarak aktarılır ve düz parçacık hidrodinamiği yöntemi katı gövdeye uygulanır.

Analiz Ayarları

İlk olarak, statik kuvvetler, kuşun hızı ve ağ örgüsü Autodyn'e aktarılmıştır.

Kuşların hızı ortalama ölçümlere göre 55 m/s olarak verilmiştir. Kanat kök bölgesinden sabit bir mesnete sahiptir ve rüzgar koşullarından dolayı kuşla etkileşime giren bölümü basınç alanı etkisi altındadır.

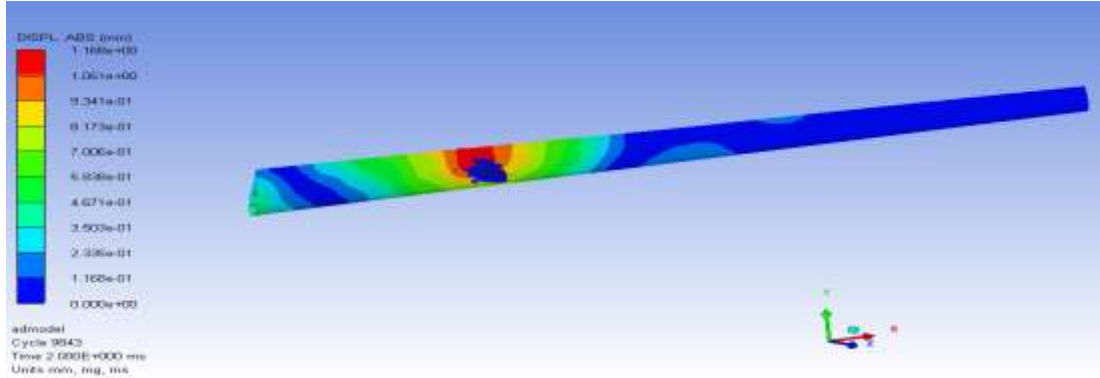
İlk boşluk mesafesi, transfer edilen modeldeki boşluk boyutuna göre otomatik olarak hesaplanan 0.7070 mm olarak alınmıştır.



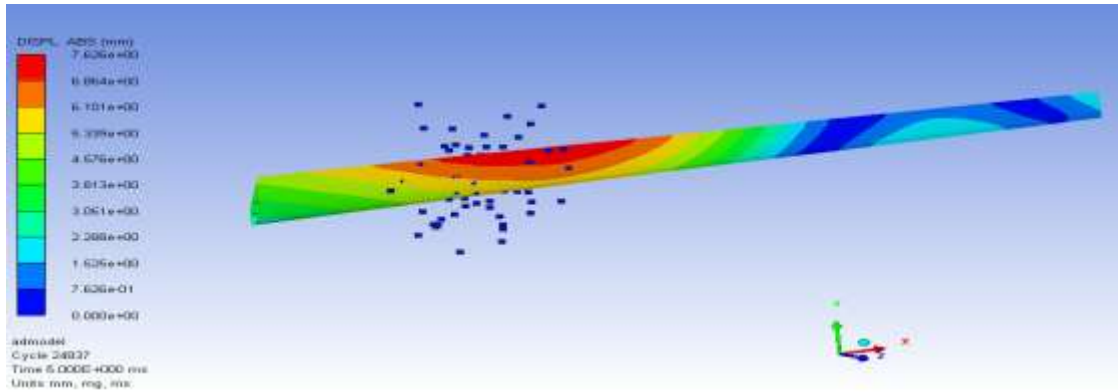
Şekil 7: Analiz Ayarları Sonrası Kuş ve Kanat Modeli

Analiz Sonuçları

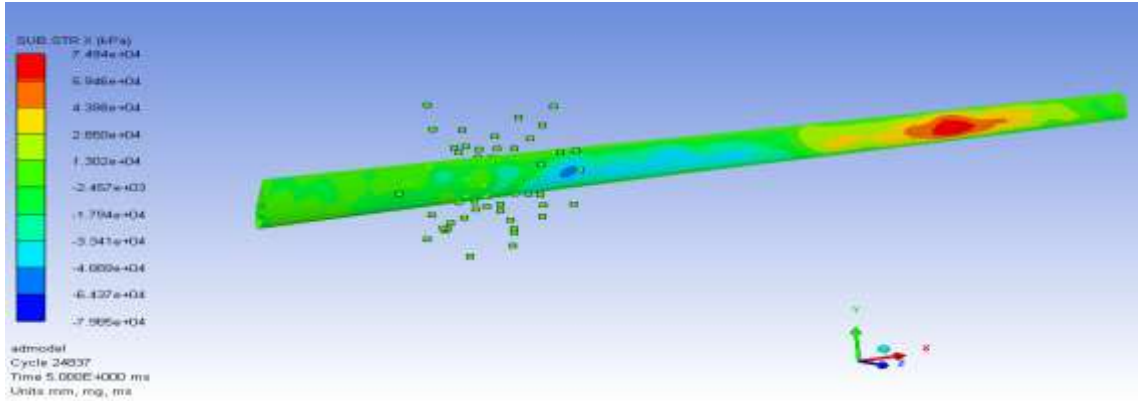
Toplam beş milisaniye süren analiz 24837 döngü halinde gerçekleşmiştir. Analiz sonucunda belli zamanlarda yer değiştirme, gerilme ve gerinimler elde edilmiştir (Şekil 8 – Şekil 11). Elde edilen en büyük değerler Tablo 4’de verilmiştir.



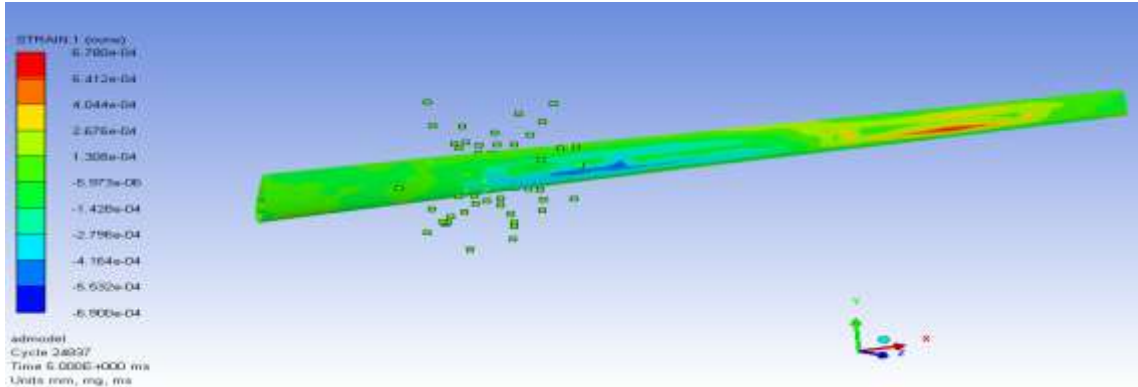
Şekil 8: Yer Değiştirme Dağılımı (z) (mm) (t=2 ms)



Şekil 9: Yer Değişirme Dağılımı (z) (mm) (t=5 ms)



Şekil 10: Gerilme Dağılımı (x) (MPa) (t=5 ms)



Şekil 11: Gerinim Dağılımı (x) (t=5 ms)

Tablo 5: Kuş Çarpması Analizi Sonuçları

Kuş Hızı (m/s)	55
Süre (ms)	5
Döngü Sayısı	24837
Maksimum Yer Değişirme (mm)	7.63
Maksimum Yer Değişirme (z) (mm)	7.59
Maksimum Gerilme (x) (MPa)	79.85
Maksimum Gerilme (y) (MPa)	41.09
Maksimum Gerilme (z) (MPa)	9.10
Maksimum Gerinim (1)	0.000678

İlk etki analiz başladıktan 2.8 ms sonra olmuştur ve kuş çarpması analizi 5 ms'de bitmiştir. Maksimum yer değiştirme ve maksimum gerinim makul değerlerdir. Analiz sonuçları göstermiştir ki, kompozit kanat 4 mm kalınlığa sahiptir ve bu kalınlık değeri kuş çarpması etkisinden korunmak için yeterlidir [McCarthy (2014)]. Temel gerilmeler ve yer değiştirme sonuçları örnek alınan tez çalışmaları ile uyumludur.

DEĞERLENDİRME

Rüzgar türbini teknolojisinin bir çok avantajı olsa da yüksek oranlı kuş ölümlerine neden olmaktadır. Bu konuda kuş ölümlerini azaltmak için birçok proje de bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı kuş çarpmasının rüzgar türbini kanadı üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

İlk olarak, kanat ve spar tasarımı örnek çalışmalar göz önüne alınarak yapılmıştır. Küçük çaplı rüzgar türbini kanadı iki metrelik çapa sahiptir ve NACA 63-415 kanat profiline sahiptir. Kanadın yüzey tasarımı CATIA V5 yazılımında yapılmıştır. Kanat malzemesi olarak, kompozit ve köpük kullanılmıştır. ANSYS Statik Yapısal yazılımda tüm yapısal analizler yapılmıştır. Daha sonra, ANSYS Explicit Dynamics modülünde kuş çarpması analizi gerçekleştirilmiştir.

Kuş modeli, CATIA V5'te katı bir model olarak yapılmış ve ayrıca modüle aktarılmıştır. Kuş modeli, ağ yapısı olmayan ve çarpma analizinde daha iyi sonuçlar elde etmek için SPH (Pürüzsüz Partikül Hidrodinamiği) parçacıkları olarak ele alındı. Yöntem, Eulerian ve Lagrangian formülasyonundan geliştirilmiş ve tüm yöntemler detaylarla açıklanmıştır. Etkileşim aralığı ve kuş hızı seçildikten sonra analiz başlatılmıştır. Analiz süresi 5 milisaniye ve 24357 döngüdür. Analiz tamamlandıktan sonra, yer değiştirme, gerilme ve gerinim sonuçları incelenmiştir.

Malzeme özelliklerine ve küçük ölçekli rüzgar türbinleri ile ilgili son çalışmalara göre, kanadın verilen koşullarda kuş çarpmasına karşı yeterli dayanımda olduğu görülmüştür. Daha ileri çalışmalar için, kanat daha karmaşık modellenebilir ve kuş modeli daha büyük ve farklı hıza sahip olabilir. Kanadın malzemesinde de geliştirmeler yapılabilir. Bu araştırmadaki analiz sonuçlarının gelecek bilgi birikimi açısından önem arz ettiği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] S. R. Loss, T. Will, and P. P. Marra (2013) *Estimates of Bird Collision Mortality at Wind Facilities in the Contiguous United States*, Biol. Conserv. 168, 201.
- [2] M. Kitano and S. Shiraki (2010) *Estimation of Bird Fatalities at Wind Farms with Complex Topography and Vegetation in Hokkaido, Japan*. Wildlife Soc. Bull. 37, 41.
- [3] A. Sedaghat, M. Mirhosseini (2011) *Aerodynamic design of a 300 kW horizontal axis wind turbine for province of Semnan*. Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran.
- [4] Xinjun, W. (2007). *Dynamic response analysis of bird strike on windshield based on damage-modified nonlinear viscoelastic constitutive relation*. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S1000-9361\(07\)60075-2](https://doi.org/10.1016/S1000-9361(07)60075-2).
- [5] Young-Tae Lee, Hee-Chang Lim (2014) *Numerical study of the aerodynamic performance of a 500 W Darrieus-type vertical-axis wind turbine*. Retrieved from http://soar.wichita.edu/bitstream/handle/10057/3339/t10048_Walvekar.pdf?sequence=3.
- [6] International Electro-Technical Commission (2011) *Small wind turbines*. IEC 61400–2 Ed. 3.
- [7] Guida, M., Marulo, F., Meo, M., and Riccio, M. (2008) *Analysis of Bird Impact on a Composite Tailplane Leading Edge*, *Applied Composite Materials*. Retrieved from vol. 15, 2008, pp. 241–257.
- [8] McCarthy. (2004), *Modelling of bird strike on an aircraft wing leading edge made from fibre metal laminates - Part 2: Modelling of impact with SPH bird model*, *Applied Composite Materials*. Retrieved from vol. 11, 2004, pp. 317–340.