

YENİ NESİL HELİKOPTER PALLERİNİN YAPISAL İNCELEMESİ

Buse Tuğçe TEMUÇİN*
TUSAŞ/İstanbul

Yrd. Doç. Dr. Özge ÖZDEMİR **
İstanbul Teknik Üniversitesi/İstanbul

ÖZET

Bu araştırma kapsamında helikopter pallerindeki farklı yapısal uygulamaların pal mukavemeti ve titreşim özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. . Gelişmiş helikopter tasarımları, yeni nesil paller ve helikopterin uçuş durumları hakkında literatüre bağlı kalınarak , yeni nesil pallerde kullanılan uygulamalar ve rotor tipleri incelenmiştir. Karşılaştırmak istenen tüm uygulamaları içeren rotor sistemi verileri baz alınarak pal tasarımları CATIA yazılım paketi yardımıyla yapılmıştır. Ankastre giriş olarak modellenen helikopter palinin incelenmesinde serbest titreşim ve mukavemet analizleri sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmıştır. Çözüm için ANSYS yazılım paketinden yararlanılmıştır. ANSYS yazılım paketinden elde edilen doğal frekanslara ve von-mises gerilme-gerinme değerlerine dayalı sonuçlar literatürle karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler doğrulandıktan sonra yükleme şartları değiştirilerek karşılaştırılmalı sonuçlar yorumlanmıştır.

GİRİŞ

Havacılıkta helikopterler kurtarma, taşıma, saldırı ve kargo gibi birçok görev alanında kullanılmaktadır. Bu nedenle günümüzde helikopterlerin gelişimine havacılık sektöründe büyük önem verilmektedir. Gelişmiş helikopter konseptlerinde kompozit malzeme kullanımı, gelişmiş rotor çalışmaları, modern kontrol sistemleri kullanımına bağlı olarak aerodinamik ve yapısal etkinliklerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmalarda helikopterlerde askı durumundayken düşük titreşim, yakıt tüketimi ve daha çok verim alınması gibi gereklilikler tilt rotor projelerini ve konseptlerinin gelişimini sağlamıştır. [Gunston, Spick, 1998] Bu nedenlerden yola çıkılarak bir tilt rotorun palleri üzerinde çalışılmıştır.

Houbolt ve Brooks [1958] palleri lineer giriş teorisini kullanarak elde ettikleri bağlı denklemlerle, ön-burulmalı yapısal model olarak gelişmiş pal uygulamalarına katkıda bulundular. Bu çalışmalar temel alınarak ilerleyen yıllarda da yeni nesil rotor palleri uça ok etkisi elde edilmesi için değişken açılı [burulmalı] ve mafsalsız olarak başarılı biçimde geliştirilmektedir [Piccione, Bernardini, Gennaretti, 2012]. Uçuş durumlarındaki en önemli faktör taşıma kuvvetidir ve bu taşıma kuvvetini karşılayan itki alanı değerlendirildiğinde düşük disk alanı gerekliliği görülmüştür.

Bu nedenle askıda kalma durumu yapısal analizlerle verim bilgisi elde etmek için en uygun uçuş şartlarına sahiptir ve girişlerin maruz kaldıkları titreşimlerin incelenmesinde frekanslar kullanılır. Bu çalışmada pallerde burulma, farklı kesit alanları kullanımı ve sivrilme oranı uygulama etkilerinin ayrı ayrı incelenmesi ile beraber gelişmiş pallerin getirileri analiz edilmiştir.

*Yapısal Tasarım Mühendisi Teknopark İstanbul TUSAŞ, E-posta: temucin@itu.edu.tr

**Yrd. Doç. Dr., Uçak Müh. Böl., E-posta: ozdemirozg@itu.edu.tr

YAPISAL TASARIM VE ANALİZLER

Tasarım

Gelişmiş pal tasarımı için pal sayısı, veter uzunluğu, profil datası, burulma ve sivrilme oranı gibi özelliklerin belirlenmesi gereklidir. Bell Boeing V-22 Osprey dik ve kısa iniş kalkış yeteneklerine sahip askeri bir tilt rotordur. V-22'nin pal özellikleri askıda kalma durumunda değerlendirilmesi açısından gelişmiş pal tasarımına en uygun örneği oluşturmaktadır. Bu nedenle çalışmada, Bell Boeing V-22 Osprey hava aracının rotor sistemi ve palleri örnek alınarak, bu değişimlerden burulma, sivrilme ve bölümsel kanat profilinin kullanımıyla ilgili veriler elde edildi.



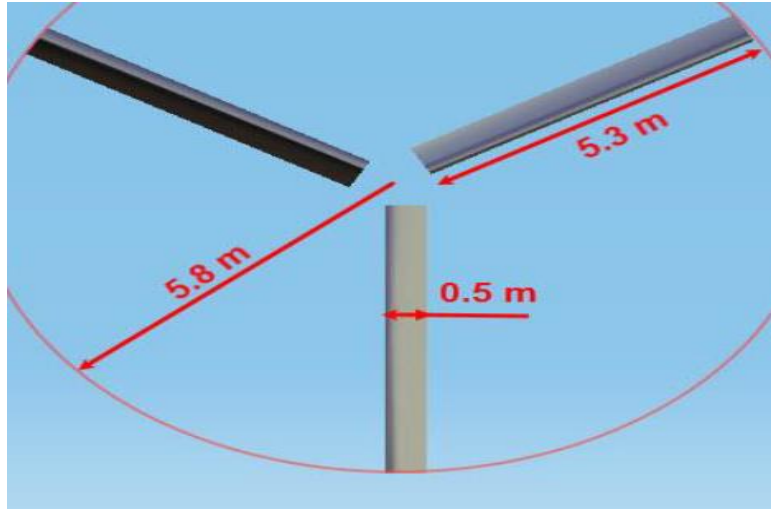
Şekil 1 Bell Boeing V-22 Osprey ve palleri

Bell V-22 Osprey'e ait kanat profili verileri elde edilemediği için Romander önceki çalışmalarında onların yerine kalınlık oranlarına göre referans olarak NACA profillerini kabul etmiştir [Romander,2006]. Burada yapılan tasarım için kanat profili seçiminde de aynı NACA profilleri referans kanat profili olarak kabul edildi.

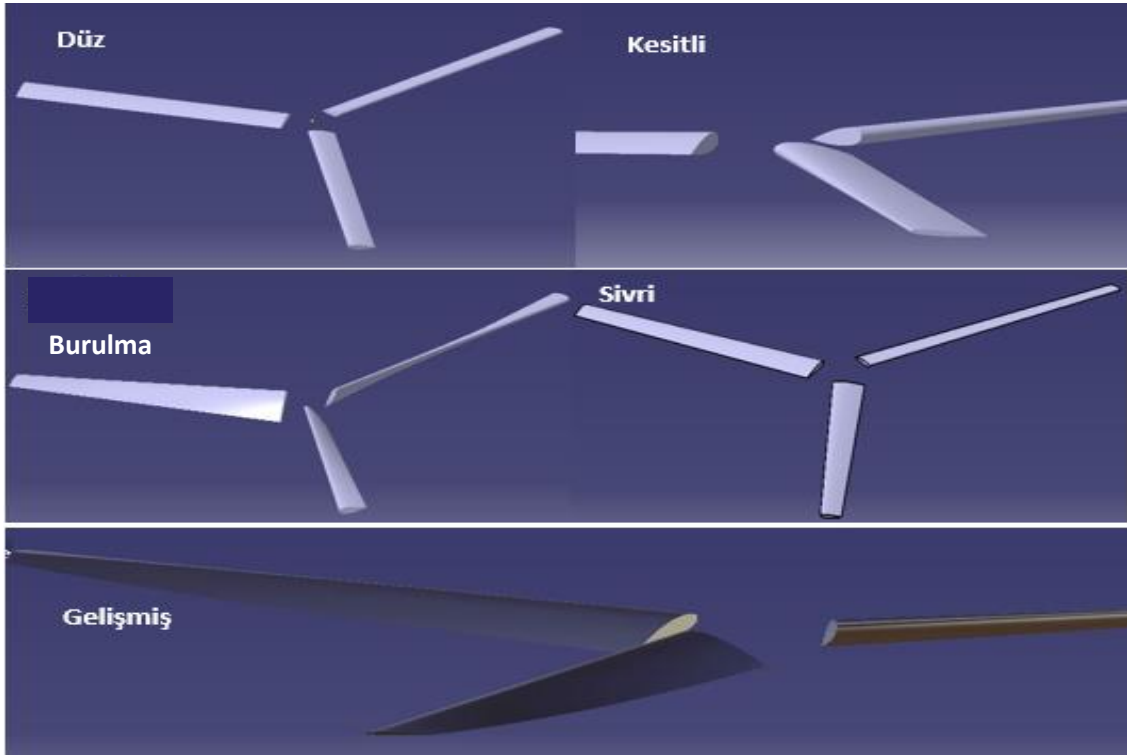
Tablo 1 Bell Boeing V-22 Osprey pallerinin özellikleri [Johnson, n.d.].

Pal sayısı	3	NACA profili	Kalınlık	Profil lokasyonu [r/R]	Burulma [Deg]	Veter uzunluğu [m]
Rotor Yarıçapı	5,8 m	NACA0028	%28	0.06	32	0.6
Veter Uzunluğu	0,5 m	NACA0018	%18	0.50	12	0.5
		NACA0012	%12	0.75	-2	0.42
		NACA0009	%9	1.00	-8	0.4

Elde edilen veriler kullanılarak beş farklı tipteki pal modelleri [düz, burulma, sivri, bölümsel, gelişmiş] CATIA programı kullanılarak ayrı ayrı modellendi. Malzeme verisi etkisi değerlendirilecek özellikler içerisinde olmadığından tasarım sırasında Alüminyum olarak standart belirlenmiştir. Paller içi dolu olarak modellenmiş ve değerlendirilmeye alınmıştır.



Şekil 2 Rotor palleri veter ve yarıçap verisi



Şekil 3 Pal Uygulamaları Modelleri

Tablo 2 Pal Uygulamaları Model Verileri

	Kanat Profili	Profil Lokasyonu [r/R]	Burulma [deg]	Sivrilme [r/R'de veter uzunluğu] [m]
Düz Pal	NACA0018	Kökten Uca Aynı	0	0
Bölümsel Pal	NACA0028	0.06	0	0
	NACA0018	0.50	0	0
	NACA0012	0.75	0	0
	NACA0009	1.00	0	0
Burulmalı Pal	NACA0018	0.06	32	0
	NACA0018	1.00	-8	0
Sivri Pal	NACA0018	0.06	0	0.6
	NACA0018	1.00	0	0.4
Gelişmiş Pal	NACA0028	0.06	32	0.6
	NACA0018	0.50	12	0.5
	NACA0012	0.75	-2	0.42
	NACA0009	1.00	-8	0.4

Analiz

Askıda kalma durumunda, taşıma ve itki kuvvetleri yukarı doğru iken ağırlık ve sürüklenme aşağı doğrudur ve toplamaları eşit olacak şekilde dengededirler. Helikopter bu durumda havanın hızından dolayı oluşan rotasyonel hızdan etkilenirler ve bu pallerin dönme kızı merkezkaç kuvvetini meydana getirir [Shawn,1996].

Askıda kalma durumunda, palin üzerindeki hız dağılımı asimetrik, radyal olarak lineerdir ve maksimum hız palin uç kısmında elde edilir [Leishman,2006]. Askıda kalma durumu için bu nedenle sadece dönme hızı dikkate alındı. Yeni nesil pal uygulamalarının titreşim ve dayanıklılık üzerindeki etkileri farklı dönme hızlarında incelendi. Artan dönme hızıyla beraber merkezkaç kuvveti artırılmış oldu ve bu sayede farklı yükleme şartları oluşturuldu.

Merkezkaç kuvvetinin nümerik hesabı [Jiang, Ma, Zhang, n.d.];

$$F = \rho \omega^2 \int_r^R r A_r dr$$

iken; ρ = Palin öz kütlesi $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

A_r = Rotor alanı (m^2)

ω = Palin dönme hızı (rpm)

r = kök boşluğu [m]

R = Rotor yarıçapı [m]

Şeklinde verilir.

Paller pervane göbeğine sabitlenmiş olduğu için FEM metoduna göre ankastre kiriş olarak ANSYS programı kullanımı ile modellendi. Malzeme olarak tasarım sürecinde de belirtilen Alüminyum tanımlandı ve analiz ortamı sıcaklığı 300°C kabul edilerek sırasıyla 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, 400 rpm dönme hızı uygulandı ve titreşim analizleri yapıldı.

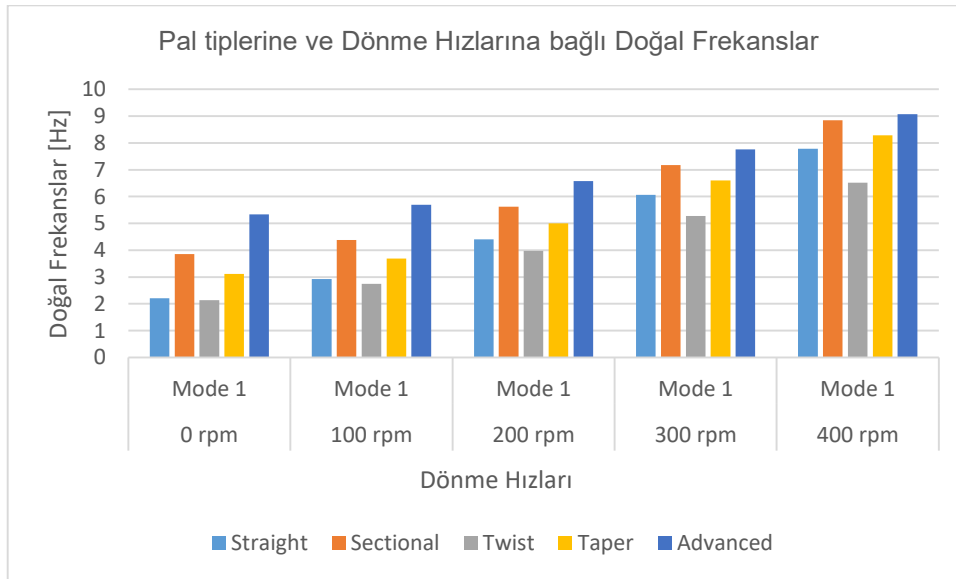
Riemenschneider ve Opitz [2011] araştırmaları esnasında burulma uygulamasının titreşim ve akustik değerlerini düşürerek verimi arttırmada başarılı olduğunu bulduklarını açıklamışlardır. Bunun nedeni olarak titreşim artışında teğet hızlarının ve birim kuvvetin pal boyunca artışı görüldüğünden, pal boyunca değiştirilen açı eğim açısını değiştirerek kuvvetlerin dağılımını etkilemiş ve titreşimi azaltır.

Sivriltilmiş paller harmonik olarak bağlantısız olan titreşim modlarında avantaj yaratırlar bu nedenle kullanılmaktadırlar ancak Mazanoğlu ve Güler [2017] de doğal frekans parametrelerinin pal boyunca artan sivrilme oranı ile beraber arttığı ve gürültü oluşumuna neden olduğundan bahsetmişlerdir.

Aynı koşullarda dört farklı dönme hızı için Von-Mises gerilme, gerinim ve deformasyon verileri elde edildi. Mukavemet olarak en iyi uygulamanın bölümsel [kalınlık değişimi] uygulama olduğu da bilinmektedir.

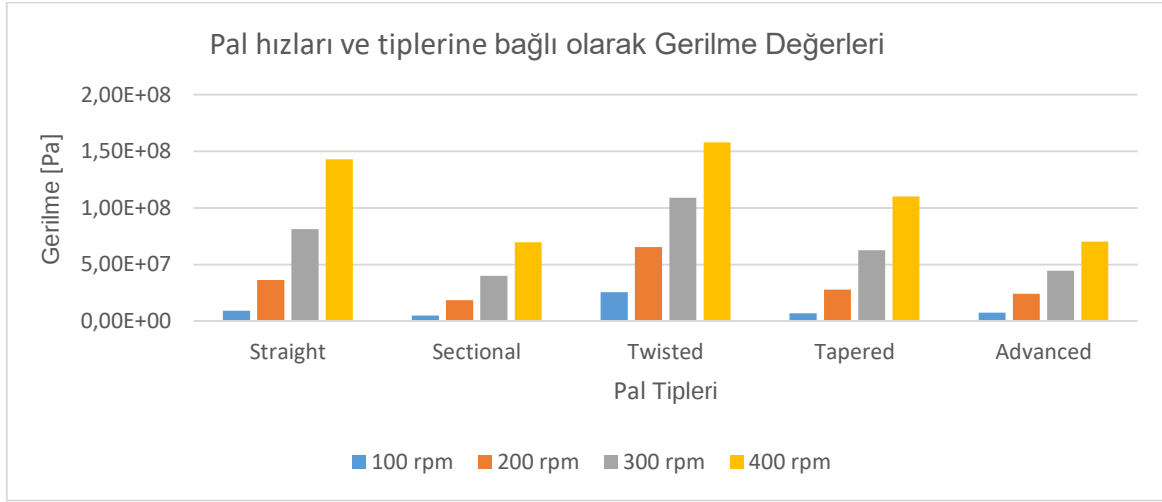
Artan merkezkaç kuvvetinin ve yüklemelerin frekans değişimine ve pallerin mukavemetine etkisi gözlemlendi.

Titreşim değerlerinin pal uygulamaları temel alınarak kıyaslanmaları ile ilgili sonuçlar Şekil 4'de görülmektedir.

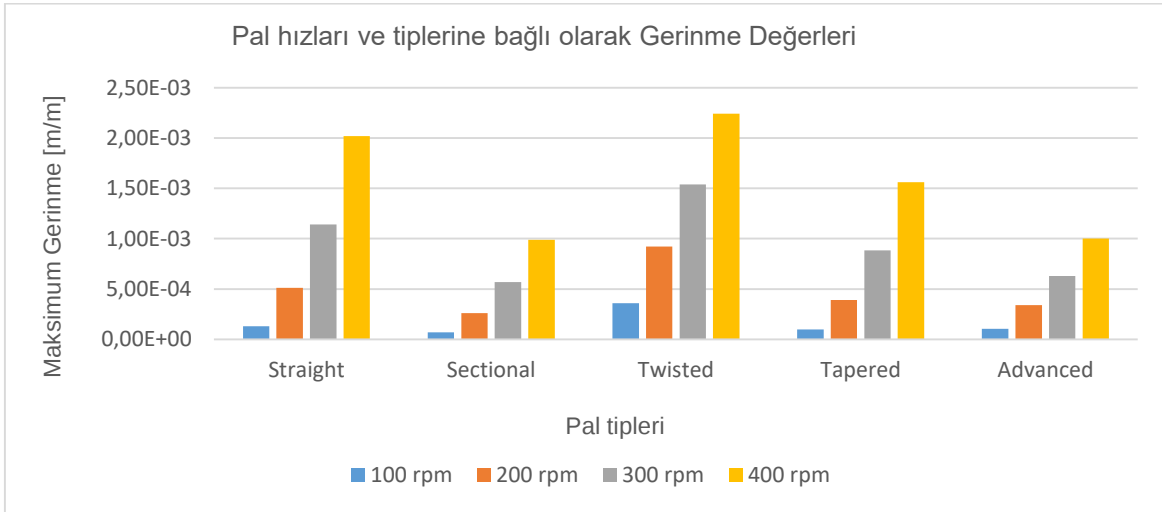


Şekil 4 Pal tiplerine ve Dönme Hızına bağlı Doğal Frekanslar

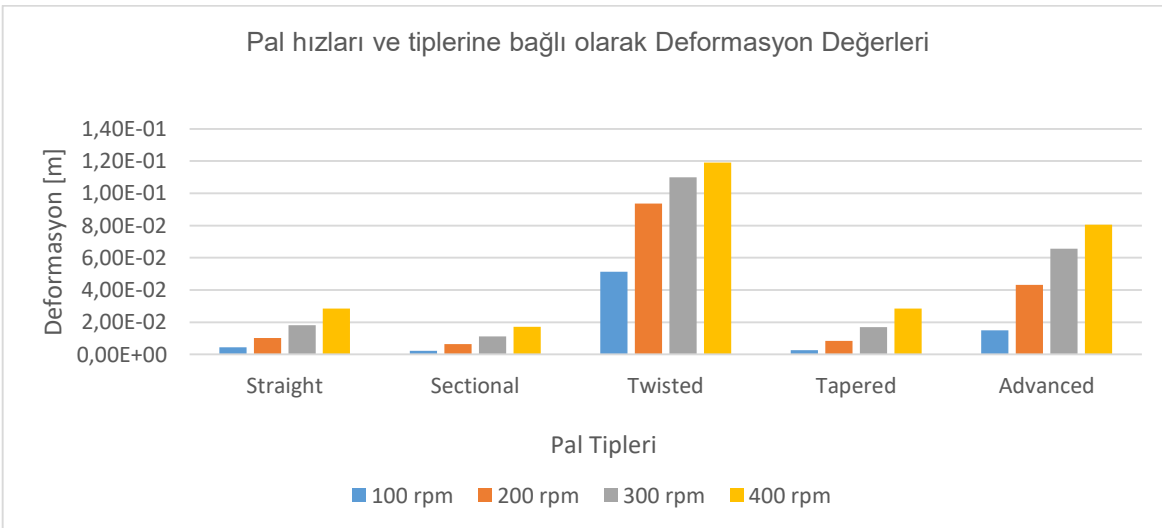
Mukavemet açısından değişken pal uygulamalarının etkileri değerlendirilirken elde edilen sayısal sonuçlar Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 5 Pal tiplerine göre gerilme dağılımı

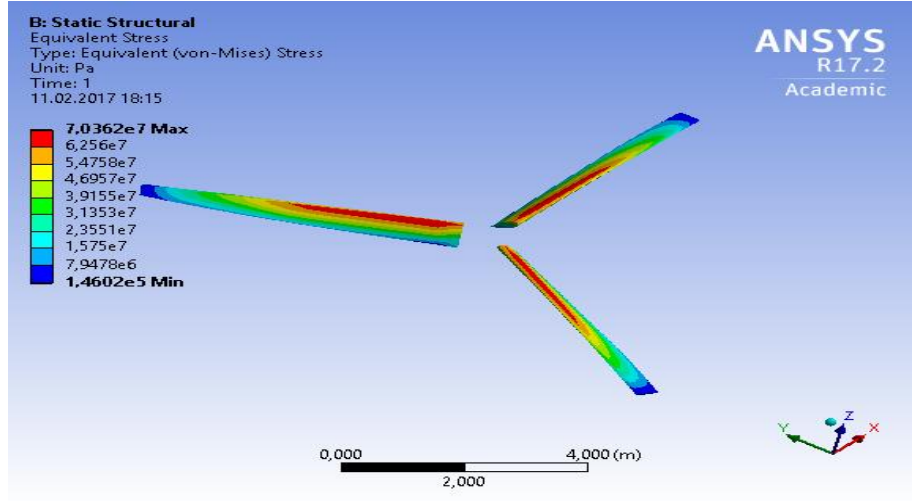


Şekil 6 Pal tiplerine göre gerinim dağılımı

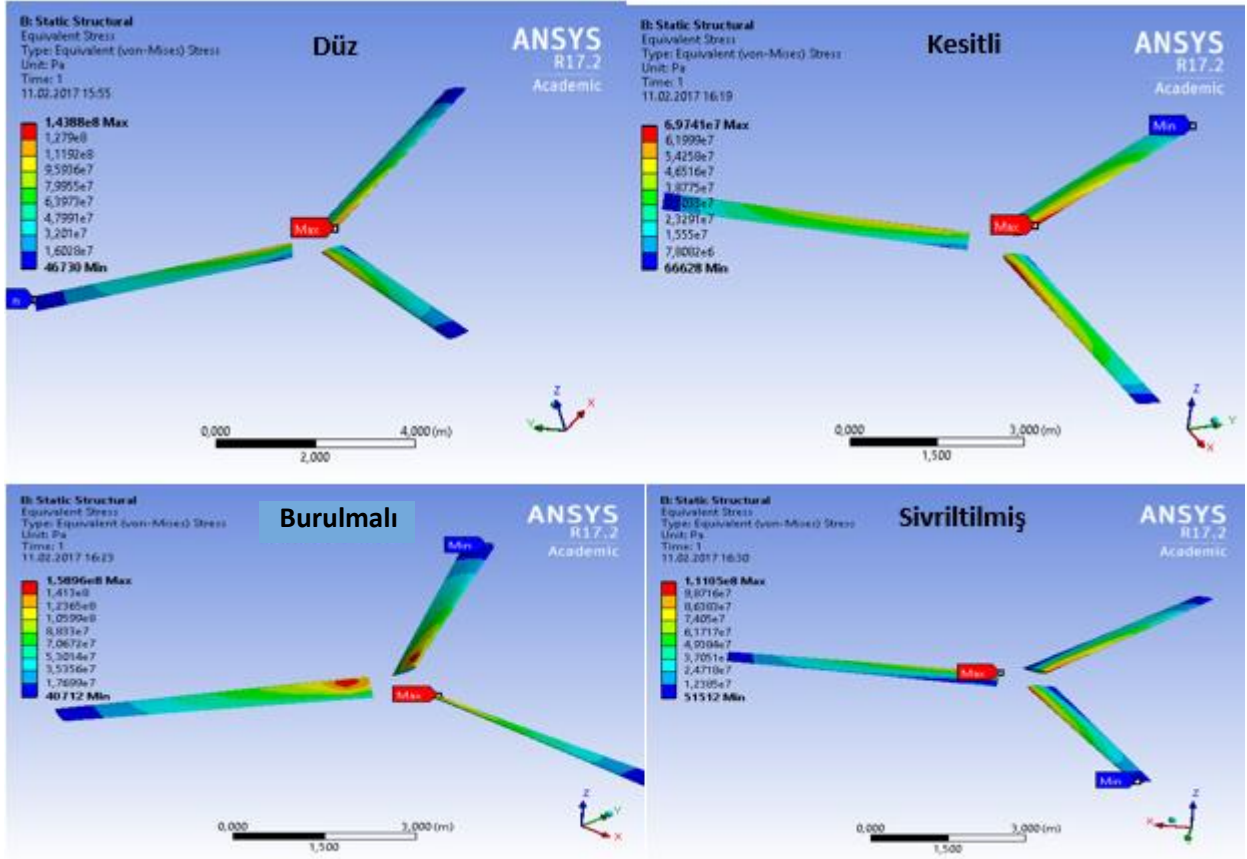


Şekil 7 Pal tiplerine göre deformasyon dağılımı

Şekil 8 Gelişmiş pal uygulamasının mukavemet analizi Şekil 8 yardımıyla bu uygulamaların ortak kullanıldığı gelişmiş pallerin mukavemet analizi ve Şekil 9 yardımıyla da uygulamaların ayrı ayrı etkileri görülerek gerilme değerleri hakkında bilgi edinilebilir.



Şekil 8 Gelişmiş pal uygulamasının mukavemet analizi



Şekil 9 Pal Uygulamaları Mukavemet Analizleri

SONUÇ

Bu çalışmada, pal geometrilerindeki gelişmelerin pallerin mukavemetine ve titreşime etkileri araştırılmış ve analizlerle değerlendirilmiştir. Burulma, sivrilme ve bölümsel kanat uygulamalarının ayrı ayrı ve birlikte uygulandığı paller üzerinde yapılan çalışmaların sonuçları şu şekilde verilebilir;

Artan merkezkaç kuvveti ve yüklemelerin etkisiyle beraber titreşim, deformasyon, gerinim ve gerilme artmaktadır.

Askıda kalma durumunda doğal frekans verileri kullanılarak elde edilen karşılaştırılmalı veriler baz alınarak titreşimi azaltan en iyi uygulama pallerde burulma uygulaması yapılmasıdır.

En yüksek deformasyon kökten uca artan kuvvetten dolayı uçlarda oluşur ve askıda kalma durumunda gerinim-gerilim etkilerinin dağılımı ve miktarı ile deformasyon oranı olarak en verimli sonuç pallerde bölümsel [kalınlık değişimi] uygulaması yapılmasıdır.

Bu analiz ve değerlendirmelerle, burulmanın titreşimi düşürmek, bölümsel ve sivri uygulamaların da mukavemeti arttırmak için kullanılabileceği görüldü ve tüm uygulamaların beraber kullanılmasının titreşime negatif etkisi olduğu gözlemlendi. Ancak aerodinamik etkiler de göz önüne alınacak olursa gerekli optimizasyonlar yapılarak bu uygulamalarla titreşimi azaltarak, mukavemeti arttırmanın mümkün olduğu sonucuna ulaşıldı.

Gelişmiş pallerde burulmanın, bölümsel veya sivriltilmiş kanat uygulamalarından biriyle beraber kullanılmasının yapısal anlamda en verimli sonucu veren pal tasarımı olacağı belirlendi.

Kaynaklar

- Gunston, B., Spick, M. [1998]. *Modern Fighting Helicopters* [2nd ed.]. Salamander Books, London; United Kingdom.
- Jiang, N., Ma, X., Zhang, Z. [n.d.]. The Dynamic Characteristics Analysis of Rotor Blade Based on ANSYS. China: The Research Institute of Simulation Technology of Nanjing.
- Johnson, W. [n.d.]. Influence of Wake Models on Calculated Tiltrotor Aerodynamics. Moffett Field, California: NASA Ames Research Center.
- Leishman, J. G. [2006]. *Principles of Helicopter Aerodynamics* [2nd ed.]. Cambridge University Press, Cambridge; New York.
- Mazanoğlu, K., Güler, S. [2017]. Flap-wise and chord-wise vibrations of axially functionally graded tapered beams rotating around a hub. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 89, 97–107. doi: 10.1016/j.ymssp.2016.07.017
- Piccione, E., Bernardini, G., Gennaretti, M. [2012]. Structural-aeroelastic finite element modeling for advanced-geometry rotor blades. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 84 [6], 367-375. doi: 10.1108/000226612112728 73
- Riemenschneider, J., Opitz, S. [2011] Measurement of twist deflection in active twist rotor. *Aerospace Science and Technology*, 15, 216–223.
- Romander, E. [2006]. 3-D navier-stokes analysis of blade root aerodynamics for a tiltrotor aircraft in cruise. Paper presented at the 2006 137-144.
- Shawn, C. [1996]. *The Art and Science of Flying Helicopters*. Arnold, London.