
Araştırma Makalesi / Research Article

Modellenen Bir Jet Türbin Pervanesine Uygulanan Kaplamaların Simülasyon Tabanlı Statik Analizi

Serkan ÖZEL^{1*}, Azeb ÖZCAN²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis

²Özcan Mühendislik, Tatvan, Bitlis

(ORCID: 0000-0003-0700-1295) (ORCID: 0000-0002-5603-6622)

Öz

Jet motorlarının statik davranışını belirlemek için bilgisayar destekli tasarım programlarından yararlanılması hem zamandan hem de maddi açıdan tasarruf sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, model uçaklarda kullanılabilecek bir jet motor türbin pervanesinin tasarımı SolidWorks programında gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan jet motor kanatçık kısımları oksit ve karbür malzemelerle (Al₂O₃, SiC ve WC) SolidWorks programında kaplanmıştır. Kaplama işlemi uygulanmış kanatçıkların program üzerinde statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, en iyi statik analiz sonuçlarının SiC ile kaplanan numunede olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Model uçak, türbin, kaplama, statik analiz.

Simulation-Based Static Analysis of Coatings Applied to a Modeled Jet Turbine Propeller

Abstract

The use of computer-aided design programs to determine the static behavior of jet engines can save both time and money. In this study, the design of a jet engine turbine propeller that can be used in model air planes was realized in SolidWorks program. Designed jet engine fins are coated with oxide and carbide materials (Al₂O₃, SiC and WC) in SolidWorks program. Static analysis of the fins with coating process was performed on the program. When the results were examined, the best static analysis results were found in SiC coated sample.

Keywords: Model aircraft, turbine, coating, static analysis.

1. Giriş

Son yıllarda havacılık alanında, işçilikteki ve yakıttaki maliyet artışı, tasarruflu hareket etmedeki en önemli etkenlerden biridir. Bu maliyet artışının azaltılması amacıyla hava araçlarında optimum olacak şekildeki aerodinamik ve tasarlama üzerine birden fazla araştırma yapılarak çeşitli modeller geliştirilmektedir. Hava araçlarının tasarımları yapılırken farklı tasarım ve mühendislik yazılımları kullanılmaktadır. Bu yazılımların kullanılması ile çok zaman ve maliyet alacak işlemler daha kısa ve düşük maliyette, güvenliği yüksek olarak yapılmaktadır. Üretimin farklı safhalarında bilgisayarın tasarımda kullanılıyor olması, imal edilecek ürünlerde yüksek kalite elde edilebileceğini göstermektedir [1-2].

Makine parçalarının üretimine geçmeden, imal edilmesi planlanan parçanın bilgisayar destekli tasarımının yapılması, bu tasarım üzerinde boyutlandırma, malzemenin cinsinin tespiti, bağlantı yerlerindeki statik durumun analizi gibi kontrollerin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bilgisayar programlarıyla gerçekleştirilebilen bu analizler, imalat öncesinde tasarlanan sistemin sorunsuz çalışması ve kullanılacak malzemelerin doğru seçimi gibi faktörlerde dikkat edilmesi açısından yol

*Sorumlu yazar: sozel@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 27.12.2019, Kabul Tarihi: 10.05.2020

göstermektedir. Bilgisayar destekli tasarımlardan olan parametrik tasarım, modellemenin zamanı, ölçüdeki meydana gelebilecek değişiklikler, müşteri taleplerindeki farklılıklar ile birbirine benzer olup fakat geometrilerinde bazı farklılıklar olan parçaların tasarımlarında ve analizlerinde kullanışlı bir yöntemdir [3]. Yeni nesil mühendis ve tasarımcılar, iki ve üç boyutlu tasarımları gerçekleştirirken SolidWorks programından yararlanmaktadırlar. SolidWorks, bilgisayar destekli bir tasarım programıdır. Kaydedilen veriler incelendiğinde dünya çapında en geniş kullanılan bilgisayar destekli programların başında gelmektedir. Bu programda, ayrıntıları verilen parçaların model olarak çizimleri gerçekleştirilebilmekte, bu modellerin montajları yapılabilmekte ve montaj parçalarının simülasyon analizleri gerçekleştirilebilmektedir [4].

Dinamik karmaşık yapıya sahip Jet motoru birden çok parçadan oluşmaktadır. Yüksek devirli jet motorunun hatalı tasarımı feci sonuçlara yol açabilmektedir. Bu tür kazalara mahal vermemek için jet motorunun dinamik yapısının dikkatle incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Srikrishnanivas, çalışmasında rotor dinamiğinin, mekaniğin altındaki bir alan olduğunu ve esas olarak dönen yapıların titreşimi ile ilgilendiğini belirtmiştir. Tasarım aşamasında bu tür özelliklerin dikkate alınması jet motorunun ciddi arızalarından korunmasını sağlamaktadır. Bu rotordinamik özellikler çok güvenilir sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ANSYS programında bir RM12 Jet motor rotor modeli oluşturmuş ve rotordinamik yeteneklerini özel rotordinamik aracı DyRoBeS ile değerlendirmiştir. Ansys programında campbell diyagramları oluşturularak modlar sıralanmıştır. Her mod farklı renkte belirtilmiştir [5]. Dadlani ve Joshi, yaptıkları çalışmada, 3D aksel simetrik model olan bir test diskinin termik gerilim dağılımını ve deformasyonunu belirlemek ve kritik bölgeler alanını gözlemlemek için ANSYS 16.0 kullanılarak sonlu elemanlar analizini yapmışlardır. Analizde, süper alaşım A286, inconel 718 ve Udimet 720 malzemelerini kullanarak, türbin diskinin yüksek basınç ve düşük basınç yanma aşamaları olarak kullanılması için en iyi malzemenin hangisi olduğunu tespit etmişlerdir. Grafiklere ve sonuçlara dayanarak, Udimet 720 ve Inconel 718 malzemelerinin Süper alaşım A286'ya göre, yanmanın ilk aşamasında kullanılmak üzere yüksek basınçlı türbin olarak en uygun olan malzeme olduğunu ve ayrıca Inconel 718 ve Süper alaşım A286'nın türbin disk malzemesinin yanmanın sonraki aşamalarında kullanılması için uygun olduğunu tespit etmişlerdir [6]. Akbari ve Müller, gaz türbini uygulamalarında dört bağlantı noktalı ters akışlı dalga rotorları için bir ön tasarımı, çeşitli dalga-rotor tepesi çevrimleri uygulayarak, 30 kW'lık bir mikro türbin performans gelişimini değerlendirmişlerdir. İnceleme sonucunda, yapılan çalışmalarda dalga-rotor tepesinden faydalandığını, ancak tepesinde bulunan motorun temel motorla aynı türbin giriş sıcaklığı ve kompresör basınç oranıyla çalıştığı durumda en yüksek kazancın elde edildiğini tespit etmişlerdir [7]. Hollkamp ve Gordon, jet motor kanatçıklarındaki aşırı titreşimlerin, kanatçıklarda yorulmalara ve sistem işlevsizliğine neden olduğunu, kanatlı pervane sisteminin dinamik davranışının anlaşılmasının, titreşim seviyelerinin belirlenmesinde önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bench modal testlerini basitleştirilmiş fan modellerinde başarıyla gerçekleştirerek modal parametrelerini doğru bir şekilde çıkararak bir yaklaşım geliştirmişlerdir [8].

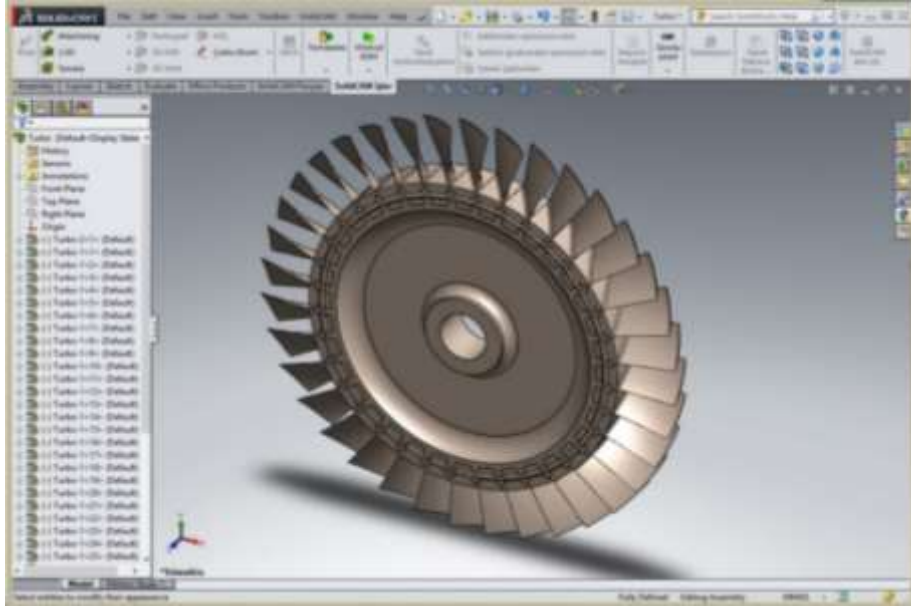
Motorlarda parçaların karakteristik özelliklerini ve türbinde statik davranışın matematiksel olarak incelenmesi, kararlı halin tespit edilmesinde önemli bir yol göstermektedir. Statik özellikler, bazı hesaplama ve ölçüm değerlerinin sonucunda geliştirilebilmiş polinomlar aracılığıyla tanımlanırlar. Kararlı hal, doğrusal olmayan ayrıntılı model aracılığıyla turbo jet motora ait bir işlem anındaki dinamik durumu hakkında bize bilgi verebilmektedir [9]. Jet motor kanatlarının tasarımı ve yapısal analizini oluştururken aynı zamanda mevcut kanat yapılarının geliştirilmesi için çeşitli simülasyonlardan yardım alınmaktadır [10].

Bu çalışmada, model uçaklarda kullanılabilecek bir jet motor türbin pervanesinin tasarımı, modellemesi ve statik analizi SolidWorks programında gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan jet motor kanatçık kısımları Al_2O_3 , SiC ve WC malzemeleri ile SolidWorks programında kaplanmıştır. Kaplamaların maliyeti düşürmesi amaçlanmaktadır. Kaplama işlemiyle elde edilen farklı tabakaların, statik analiz sonuçlarına etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

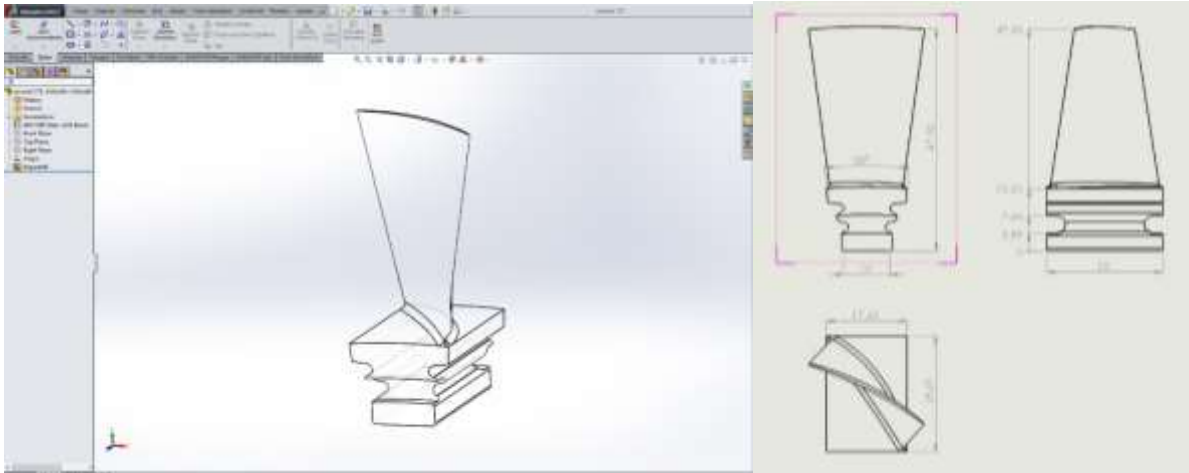
2.1. Model Jet Türbin Pervane Tasarımı

Model jet motorlarında genelde türbin pervane malzemesi olarak süper alaşımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, maliyeti yüksek olan süper alaşım malzemelerin daha kolay ve düşük maliyette olan alternatif bir şekilde farklı malzeme ile işlevlerinin yerine getirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, bilgisayar ortamında SolidWorks programı kullanılarak farklı altlık malzeme ve çeşitli kaplama malzemeleri ile modelleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. SolidWorks programına ait model jet türbin pervane tasarımı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Model uçak jet türbin pervane tasarımı.

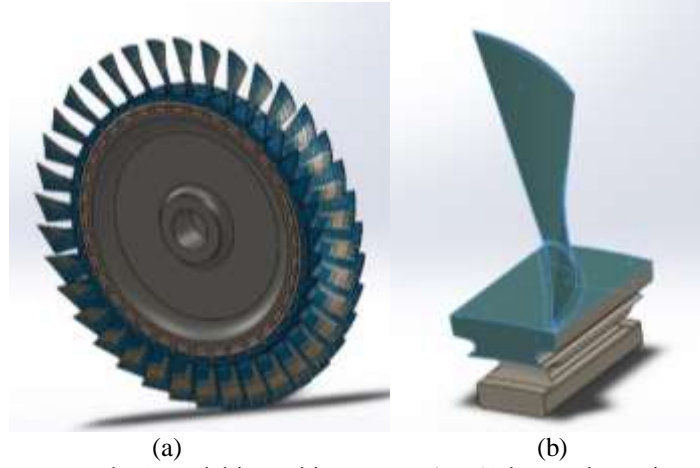
SolidWorks programında modellenen jet türbin pervanesinin tek kanatçığına ait tasarım resmi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Model Jet Türbin Pervane Kanatçık Tasarımı

SolidWorks programında tasarımı gerçekleştirilen pervane malzemesi olarak orta karbonlu çelik sınıfına giren AISI 1045 çeliği seçilmiştir. Seçilen bu malzeme üzerine yüksek sıcaklığa dayanıklı oksit ve karbür bileşik malzemeleri kaplanacaktır. Kaplama işleminde kalınlıkları 250 μm olan Al_2O_3 , SiC ve

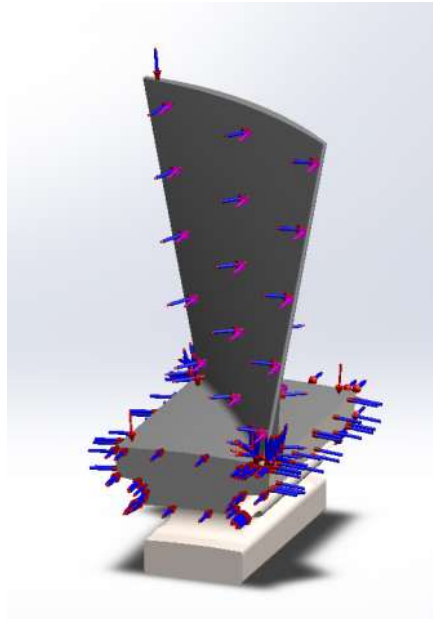
WC olarak üç farklı kaplama malzemesi seçilmiştir. Program üzerindeki kaplama işleminin görüntüsü Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. SolidWorks programında a) model jet türbin pervanesi ve b) kanatçık üzerine gerçekleştirilen kaplama görüntüsü

2.2. SolidWorks programı ile Statik Analiz

Statik analizlerde kullanılan kanatçığa ait resim Şekil 4’te verilmiştir. Statik analizler tasarlanan türbin kanatçıklarına uygulanmıştır. Literatür ışığında [11, 12, 13], analizde 20°C sıcaklığa sahip olan türbin pervanesi kanatçık tasarımı, 1200°C sıcaklığa sahip sıcak havaya, 103190 Pa basınca ve 196,2 N kuvvete aynı anda maruz bırakılmıştır. Kanatçığın bıçak ve üst tepe kısmına 1200°C, kanatçığın orta gövde kısmına ise 20°C sıcaklık uygulanmıştır. Analiz sonrasında malzeme yüzeyinde oluşan deformasyonlara incelenmiştir.



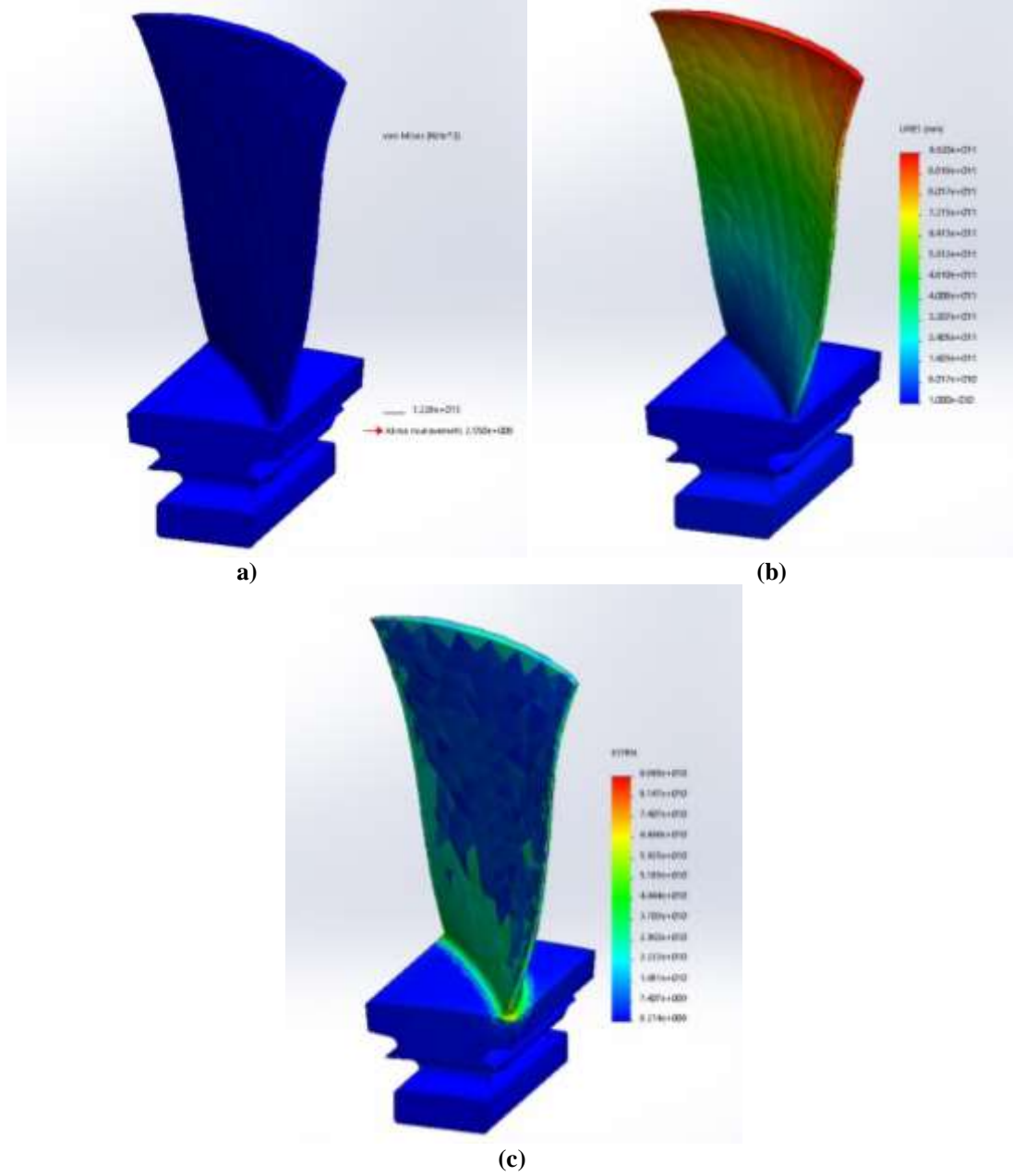
Şekil 4. Statik Analiz İçin Kullanılan Kanatçık

3. Bulgular

3.1. Al₂O₃ ile Kaplanan Kanatçığın Statik Analizi

AISI 1045 çeliği kullanılarak tasarlanan ve Al₂O₃ malzemesi ile kaplanmış olan kanatçığa ait statik analizler Şekil 5’te verilmiştir. Statik analizde parça üzerinde stres, yer değiştirme ve gerinim etkileri incelenmiştir. Şekil 5-a’da görüldüğü gibi parça üzerinde herhangi bir stresin oluşmadığı görülmüştür. Şekil 5-b’de görülen parça üzerindeki yer değiştirmede, kanatçık geometrisine nazaran uygulanan büyük

yüklerin kanatçık bıçağının üst kısmını etkileyen bir yer değiştirmeye sebep olduğu gözlemlenmiştir. Fakat bu yer değiştirmenin, kanatçıklara uygulanan yüklerin kaldırılmasıyla, kanatçığın eski formuna gelmesinde olumsuz bir etki yapmadığı görülmüştür. Şekil 5-c’de ise parça üzerinde gerinimin kanatçık bıçağının alt kısmına doğru çok az olduğu görülmüştür. Bu oluşan gerinimin, çalışan makine parçalarında görülebilen bir gerinim miktarı olduğu düşünülmektedir.

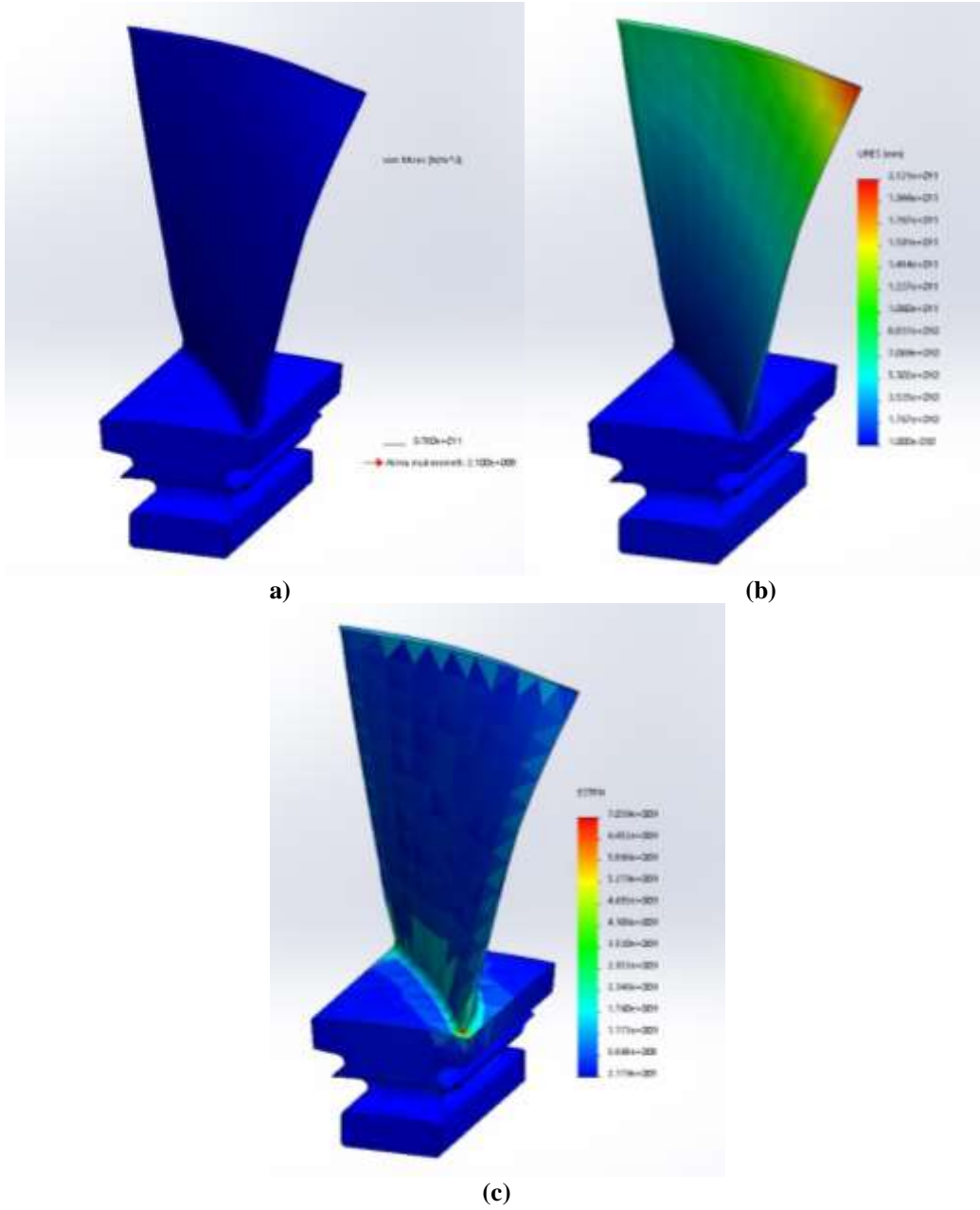


Şekil 5. Al_2O_3 ile kaplama yapılmış kanatçığın statik analiz sonucu
a) Stres analizi, b) Yer değiştirme analizi, c) Gerinim analizi

3.2. SiC ile Kaplanan Kanatçığın Statik Analizi

AISI 1045 çeliği kullanılarak tasarlanan ve SiC malzemesi ile kaplanmış olan kanatçığa ait statik analizler Şekil 6’da verilmiştir. Şekil 6-a’da parça üzerinde herhangi bir stresin oluşmadığı görülmüştür. Şekil 6-b’de görülen parça üzerindeki yer değiştirmede, kanatçık geometrisine nazaran uygulanan büyük yüklerin kanatçık bıçağının üst sağ kısmında kısmi etkileyen bir yer değiştirmeye sebep olduğu görülmektedir. Şekil 6-c’de ise parça üzerinde gerinimin kanatçık bıçağının alt kısmına doğru çok az

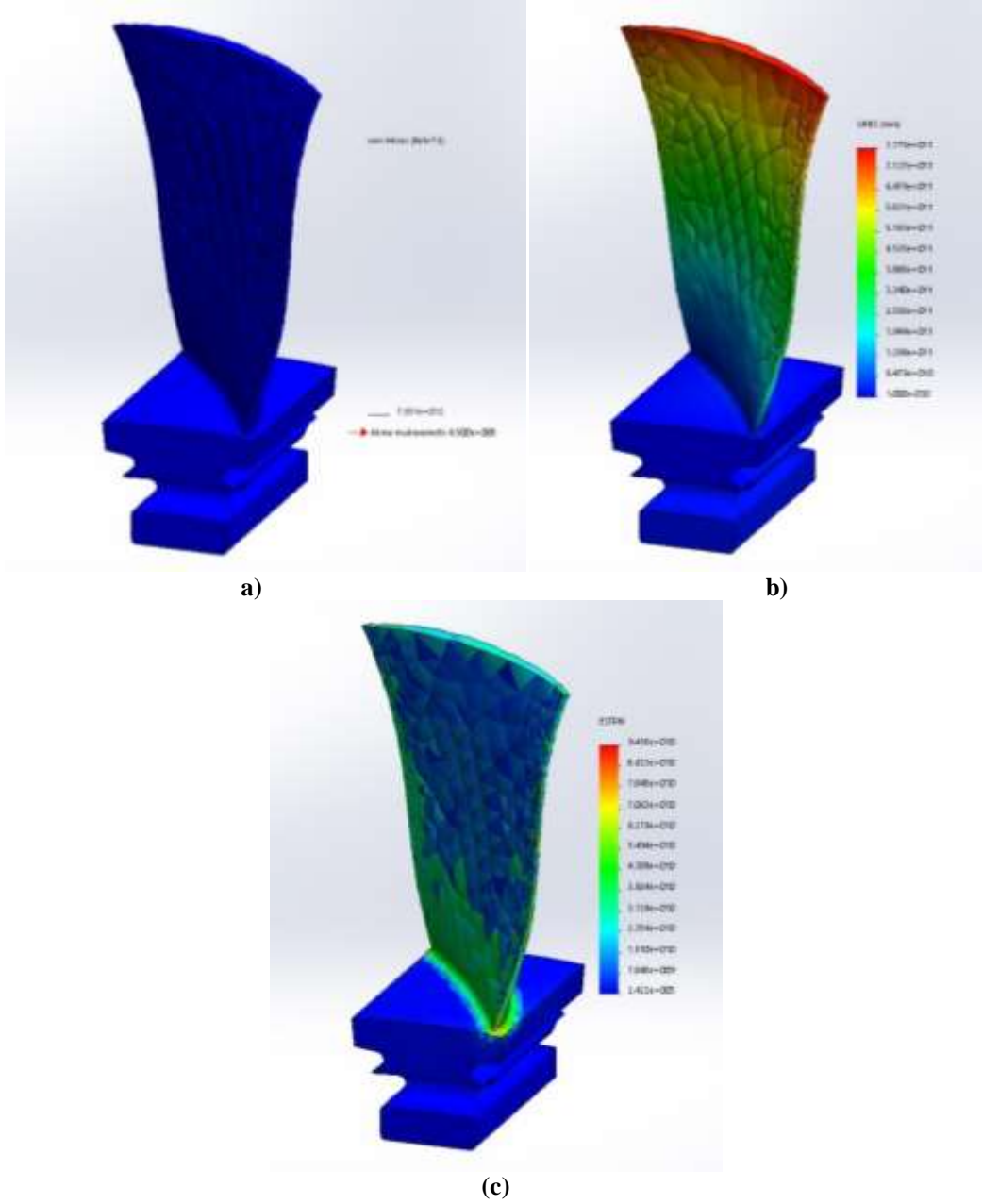
olduğu görülmüştür. AISI 1045 çeliğinden imal edilen ve SiC kaplama malzemesi ile kaplanmış olan kanatçığın statik analizde en iyi sonucu verdiği görülmüştür.



Şekil 6. SiC ile kaplama yapılmış kanatçığın statik analiz sonucu
a) Stres analizi, b) Yer değiştirme analizi, c) Gerinim analizi

3.3. WC ile Kaplanan Kanatçığın Statik Analizi

AISI 1045 çeliği kullanılarak tasarlanan ve WC malzemesi ile kaplanmış olan kanatçığa ait statik analizler Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7-a'da parça üzerinde herhangi bir stresin oluşmadığı görülmüştür. Şekil 7-b'de görülen parça üzerindeki yer değiştirmede, kanatçık geometrisine nazaran uygulanan büyük yüklerin kanatçık bıçağının üst kısmını etkileyen bir yer değiştirmeye sebep olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 7-c'de ise parça üzerinde gerinimin kanatçık bıçağının alt kısmına doğru çok az olduğu görülmüştür. AISI 1045 çeliğinden imal edilen ve WC kaplama malzemesi ile kaplanmış olan kanatçığın statik analizde en olumsuz sonucu verdiği görülmüştür.



Şekil 7. WC ile kaplama yapılmış kanatçıĝın statik analiz sonucu
a) Stres analizi, b) Yer deĝiřtirme analizi, c) Gerinim analizi

4. Sonuç ve Öneriler

AISI 1045 çeliĝi kullanılarak SolidWorks programı ile Model Jet Türbin Pervanesi tasarlanmıştır. Kaplama işlemi uygulanmış Model Jet Türbin kanatçıklarına statik analiz uygulanmıştır. Analizde stres, yer deĝiřtirme ve gerinim deĝerleri incelenmiştir. Analiz sonunda elde edilen sonuçlar ařaĝıda verilmiştir.

- Tasarlanan Model Jet Türbin Pervane üzerine yine bu program kullanılarak Al_2O_3 , SiC ve WC malzemeleri kaplanabilmiřtir.
- Statik olarak tüm numunelerin stres analizinde, stresin oluřmadıĝı tespit edilmiştir. Yer deĝiřtirmenin ise yükün kaldırılması ile numuneye herhangi bir etki yapmadıĝı görülmüştür.
- Statik analizde en iyi sonuç, SiC malzemesi ile kaplanan numunede, en olumsuz sonuç ise WC malzemesi ile kaplanan numunede tespit edilmiřtir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışma Prof. Dr. Serkan ÖZEL'in danışmanlığında yürütülen, lisansüstü eğitim öğrencisi Azeb ÖZCAN'ın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Regh J.A., Kraebber H.W. 2005. Computer Integrated Manufacturing. 3rd. Edition. Pearson Education Co. Inc., Prentice Hall Publisher, New Jersey, USA.
- [2] Cicek A., Gülesin M. 2007. A part recognition-based computer aided assembly system. Computers in Industry, 58: 733-746.
- [3] Külekci M.K., Demirel M. 2006. Perçin Sistemlerinin Parametrik Tasarım Programları Yardımı ile Bilgisayar Ortamına Tanımlanması ve Kuvvet Analizi Yapılması. Türk CAD/CAM, 1: 81-83.
- [4] Er M., Kayır Y. 2019. The Effect of the CAD Data Exchange on the Motion Analysis in the Solidworks CAD Program. Aksaray University Journal of Science and Engineering, 3 (1): 51-60.
- [5] Srikrishnanivas D. 2012. Rotor Dynamics Analysis of RM12 Jet Engine Rotor using ANSYS. Master Degree Thesis, Bilekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden.
- [6] Dadlani M., Joshi U.K. 2018. Design and Analysis of Aero Turbine Disc by FEA. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 6 (6): 1955-1968.
- [7] Akbari P., Müller N. 2003. Preliminary Design Procedure for Gas Turbine Topping Reverse-Flow Wave Rotors. Proceedings of the International Gas Turbine Congress, Tokyo.
- [8] Hollkamp J.J., Gordon R.W. 2001. Modal test experiences with a jet engine fan model. Journal of Sound and Vibration, 248 (1): 151-165.
- [9] Mutlu Ö. 2015. Küçük Ölçekli Turbo Jet Motor Modellemesi ve Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Amoo L.M. 2013. On the design and structural analysis of jet engine fan blade structures. Progress in Aerospace Sciences, 60: 1-11.
- [11] Polat C. 2009. An Electronic Control Unit Design for a Miniature Jet Engine. Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- [12] Wessley G.J.J. 2019. Design and Modeling of a Micro Turbojet Engine for UAV propulsion. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 8 (3): 722-726.
- [13] <http://aeromodelbasic.blogspot.com/2011/12/airflow-systems.html> (Erişim tarihi: 15.01.2019).