

RÜZGAR TÜRBİNİ KANAT BAĞLANTI NOKTALARINDA ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLARIN KULLANILMASI

Cem EMEKSİZ¹, Numan Sabit ÇETİN², Zafer DOĞAN³

¹Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, ²Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, ³Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği

¹cem.emeksiz@gop.edu.tr, ²numan.sabit.cetin@ege.edu.tr, ³zafer.dogan@gop.edu.tr

ÖZET

Yüksek rüzgar hızlarında kanat ve rotor dayanımı önemlidir. Önlem alınmaması durumunda, yüksek rüzgar hızlarında türbin kulesinde ve özellikle kanatlarda mukavemet problemleri ortaya çıkmakta, sonuç olarak türbin elemanlarının deformasyonu ve hatta kırılması söz konusu olabilmektedir.

Bu çalışmada; rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinde yer alan kanatların bağlantı noktalarında kullanılan klasik malzemeler yerine, şekil hafızalı alaşımlar kullanılarak kanat modellemesi yapılmıştır. Modellenen kanatın yapısal analizleri ve bilgisayar simülasyonlarının gerçekleştirilmesi sonucunda şekil hafızalı alaşımlardan Ni-Ti'un çeliğe göre daha sağlam ve uzun ömürlü olduğu sonucuna varılmıştır.

1. GİRİŞ

Rüzgar enerjisi eski çağlardan günümüze kadar değişik amaçlar için kullanılmasına rağmen, elektrik üretimi amacıyla 1980'li yıllarda ayrı bir önem kazanmıştır. Daha sonraları teknolojiye yaşanan büyük gelişmeler ve rüzgardan elektrik enerjisi üretimi, mevcut enerji kaynakları ile ekonomik ve teknik olarak rekabet edebilir düzeye gelerek ülkelerin enerji üretim planlarında yerini almıştır.

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak adlandırılan güneş, rüzgar, jeotermal, hidrojen, deniz-dalga enerjileri gibi enerji kaynakları üzerinde çalışmalar ve araştırmalar yapılmakta, uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda Türkiye'nin enerji üretimi incelendiğinde büyük bir kısmının fosil kaynaklı termik santrallerden elde edildiği görülmektedir. 2013 yılı sonu itibarıyla Türkiye'nin kurulu gücü 64007 MW' tır. Bu kurulu gücün dağılımına baktığımızda; bunun 38648 MW kurulu güç ile %60,38'i termik santrallerinden oluşmakta, 22289 MW kurulu güç ile %34,82' i hidroelektrik santrallerinden, 2759 MW kurulu güç ile %4,31'i rüzgar santrallerinden ve 310 MW kurulu güç ile % 0,48'i jeotermal enerjiden elde edilmektedir. Türkiye'nin 2023 yılı için hedeflenen rüzgar enerjisi kurulu gücü ise 20.000 MW'tır [1]. Güneş enerjisi santrali ise henüz bulunmamaktadır [2].

Türkiye, dünya ülkeleri arasında;

- Birincil enerji tüketiminde 21.
- Petrol tüketiminde 26.
- Doğal gaz tüketiminde 20.
- Kömür tüketiminde 14.
- Elektrik tüketiminde 20.
- En fazla kömür rezervine sahip 17.
- En fazla kömür üreten 13.
- Elektrik üretiminde 20.

- Jeotermal enerji kapasitesinde 12.
- Güneş enerjisi kapasitesinde 27.
- Rüzgar enerjisi kapasitesinde 16. ülke konumundadır [3].

İstatistiksel veriler gösteriyor ki, rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında Türkiye için büyük bir öneme sahiptir. Avrupa komisyonu ve Global Rüzgar Enerjisi Konseyi (GWEC)'nin ortaya koyduğu senaryolara göre 2050 yılında rüzgar endüstrisinin önde gelen enerji üretim teknolojisi olması beklenmektedir [4]. Rüzgar enerjisi çevirim sistemlerinin en önemli parçalarından birisi olan rüzgar türbinlerindeki teknolojik gelişmeler, elektrik enerjisi üretimi amaçlı rüzgar türbinlerinin kurulu güçlerinin artmasına, dolayısıyla birim enerji maliyetinin düşmesine sebep olmaktadır. 2013 yılında rüzgardan elde edilen elektrik birim fiyatı kilowatt başına 7,3 dolar/cent'tir [5]. Bunun sonucu olarak, rüzgar türbinlerinin elektrik enerjisi üretimindeki payı gün geçtikçe artmaktadır.

Kuleyi zorlayan yük, kule ve özellikle pervaneye etki eden rüzgar kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Kanatlara ise, hem rüzgar kuvveti hem de kanatların dönmesinden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin teğetsel ve normal bileşenleri etki etmektedir. Bu kuvvetler, kule ve kanatlarda eğilme gerilmeleri ile normal gerilmeler oluşturmakta, bu gerilmelerin kullanılan malzemeye özgü güvenli gerilme sınırını aşması durumunda da malzemede plastik deformasyonlar, çatlaklar ve hatta kırılmalar meydana gelmektedir.

Bu nedenle özellikle son yarım asırda, malzeme biliminin önemi oldukça artmıştır. Gelişen teknolojiye bağlı olarak performanslı malzemelerin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Elektronikten otomotiv sektörüne, uzay araştırmalarından savunma sanayine kadar çok geniş bir alanda, daha iyi ve kalıcı mekaniksel özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Genel olarak, malzemenin ham halden (bulk formundan) endüstride kullanılacak formlara (plaka, levha, tel vb.) getirilmesi sürecinde, mekanik özellikler en belirleyici unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Mekaniksel özelliklerin, malzemelerin üretim şartlarına ve dolayısıyla mikro yapısına bağlı oldukları iyi bilinmektedir. Genellikle, dış kuvvet etkisi altında malzemelerin davranışlarını inceleme esasına dayanan mekaniksel karakterizasyon teknikleri, endüstrinin ihtiyacı olan ürünlerin performans değerlendirmelerinde kullanılan başlıca yöntemlerdir.

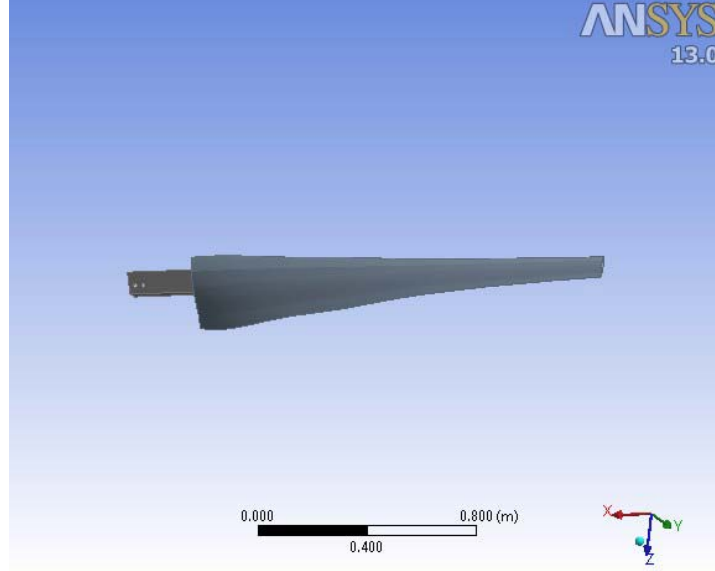
Bununla birlikte, şekil hafızalı alaşımlar (ŞHA) alanındaki gelişmeler ve üretilen malzemeler yukarıda bahsedilen sektörlerde büyük katkı sağlaması bakımından oldukça ilgi çekicidir. Şekil hafızalı alaşımlar, uygulanan ısı işlem ve mekanik deformasyon sonrasında eski şekline veya boyutuna geri dönebilme yeteneğine sahip, metalik malzemelerdir.

Şekil hafızalı alaşımlar, tıp alanında (ortodontik diş telleri, endodontik uygulamalarda kullanılan aletler, damar tıkanıklıklarının ameliyatsız tedavisinde kullanılan stentler, ortopedik bağlantı elemanları), robot ve hareketlendirici teknolojisinde, uzay araçları, sönümlenme elemanları, elektrik bağlantıları ve ince film uygulamaları gibi mikro-elektro-mekanik sistemlerde çok geniş uygulama alanları bulmuştur. Buna ilave olarak NASA özellikle rüzgar türbini kanatlarında ve hava taşıtlarında şekil hafızalı alaşımların kullanılması ile ilgili çalışmalara büyük yer vermektedir [6].

Bu çalışmanın asıl amacı, rüzgar enerjisi çevrim sisteminde yer alan türbin kanatlarının bağlantı noktalarında klasik malzemelerin kullanılması yerine şekil hafızalı alaşımların kullanıldığı kanat modellemesinin yapılmasıdır. Modelleme için referans olarak HF4.0-2kW rüzgar türbininin kanatları seçilmiş yapısal analizleri ve bilgisayar simülasyonlarında; şekil hafızalı alaşımlardan Ni-Ti'un kanat bağlantı noktalarında (kanat sapı) kullanıldığında çeliğe göre daha sağlam ve uzun ömürlü olduğu sonucuna varılmıştır.

2. TÜRBİN KANATLARININ MODELLENMESİ

Referans olarak seçilen HF4.0-2kW rüzgar türbininin kanatlarının çizimleri ve katı modellemesi gerçekleştirilmiştir. 2kW'lık türbin kanat uzunluğu 168 cm olup kanat bağlantı noktası ile birlikte toplam 194.5 cm uzunluğunda tasarlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. 2kW türbin kanadının katı modeli

Gerekli literatür taraması yapılarak çalışmada kullanılmak üzere seçilen 4140 çeliği ve şekil hafızalı alaşımlardan; Ni-Ti, Cu-Zn-Al ve Cu-Al-Ni'in fiziksel özellikleri Çizelge 1'de belirtilmiştir.

Çizelge 1. Seçilen malzemelerin fiziksel özellikleri [7]

Malzemeler				
Mekaniksel Özellikler	4140 çelik	Ni-Ti	Cu-Zn-Al	Cu-Al-Ni
Yoğunluk (gr/cm ³)	7.85	6.45	7.64	7.12
Young Modulus (GPa)	200	83	72	85
Yield Strength (MPa)	417.1	690	350	400
Ultimate Tensile Strength (MPa)	655	895	600	800
Poission Oranı	0.3	0.34	0.33	0.33

Yapılan bütün analizlerde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar (SE) yöntemi, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözümleme yöntemidir. Sonlu elemanlar yöntemi fiziksel bir sistemin matematiksel olarak ifade edilmesidir. Bu sistem alt parçalara ayrılabilen bir model olup malzeme özelliklerine ve uygulanabilir sınır şartlarına sahiptir. Sonlu elemanlar yöntemi düzensiz ve karmaşık geometriye sahip sistemlerin incelenmesine olanak sağlar ve değişik, karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlere de uygulanabilir.

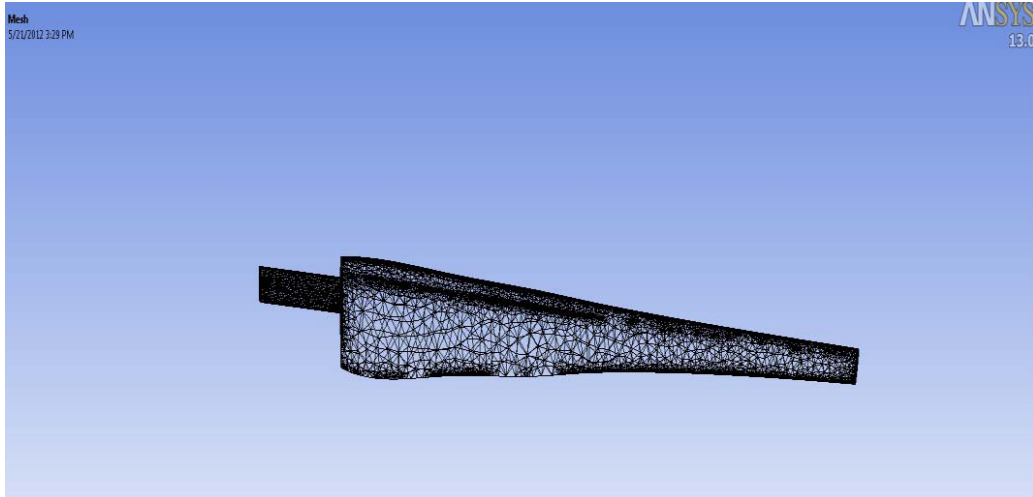
Özel problemlerin çözümü için genel bir programın kullanılabilir olması, sonlu elemanlar metodunun güçlü ve çok amaçlı bir araç olmasına neden olmuş ve çok sayıda genel amaçlı sonlu elemanlar program paketi geliştirilmiştir. Bu paketlerden bazıları oldukça genel amaçlı olup, değişik mühendislik alanlarındaki problemlerin çözümü için çok az veya hiçbir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilir. Bu paketlerden günümüzde yaygın olarak kullanılanlardan bazıları; Ansys, Bersafe, Nastran, Marc, Asas vb.

Katı modeli oluşturulan rüzgar türbini kanat bağlantı noktasında 4140 yapı çeliği ve Çizelge 1’de verilen şekil hafızalı alaşımlar kullanılarak yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. 5 m/s’lik rüzgar hızından başlayarak 60 m/s’lik rüzgar hızına kadar kanatta oluşan Total Deformasyon, Equivalent (von-Mises) Stress, Shear Stress parametreleri incelenerek malzemeler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Kanatın bu parametrelere göre analizleri iki durum için incelenmiştir:

- 1- Kanatın dönmediği durum
- 2- Kanatın döndüğü durum

Çözümleme işlemi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen 2kW’lık türbin kanadının sonlu elemanlar modeli Şekil 2’de gösterilmektedir.

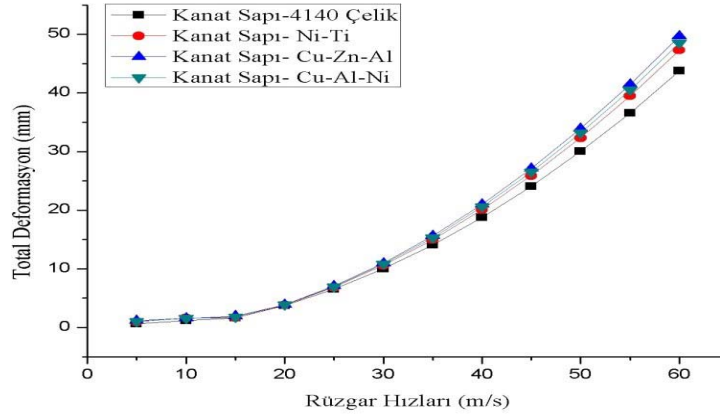


Şekil 2. 2kW türbin kanadının sonlu elemanlar modeli

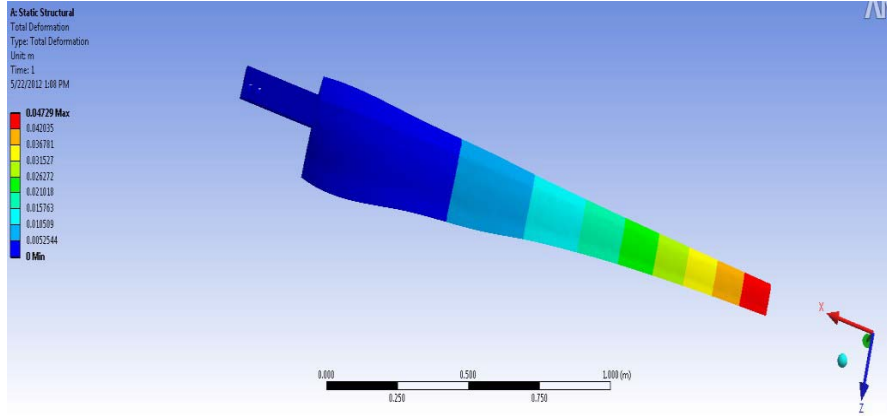
Kanat üzerinde yapılan mesh işlemi sonucunda kanat 394611 tane düğüme 233156 tane parçaya ayrılmıştır. İlk olarak kanatın dönmediği park durumu için analizleri yaptığımızda ayrı ayrı kanat saplarında farklı malzemelerin kullanılması sonucu ortaya çıkan sonuçlar şu şekildedir:

2.1 KANATIN DÖNMEYİŞİ DURUM

Kanat dönmezken 2kW’lık türbin kanadındaki total deformasyon kanat bağlantı noktası olarak Cu-Zn-Al kullanıldığında yüksek, çelik kullanıldığında ise düşük çıktığı görülmüştür (Şekil 3). Deformasyon en çok kanat ucunda meydana gelmekte olup deformasyon değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlenmiştir (Şekil 4).

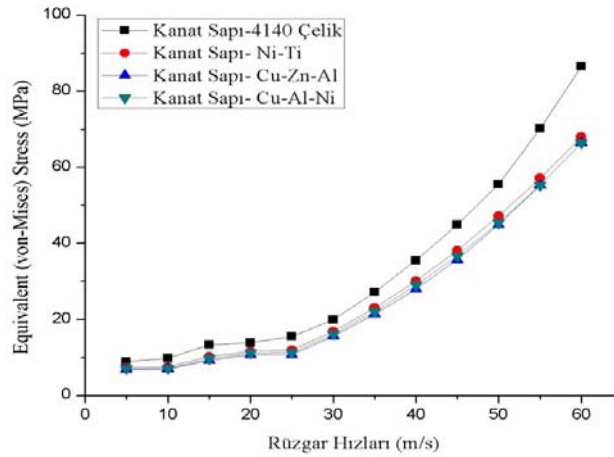


Şekil 3. Total deformasyon (Kanat dönmezken)

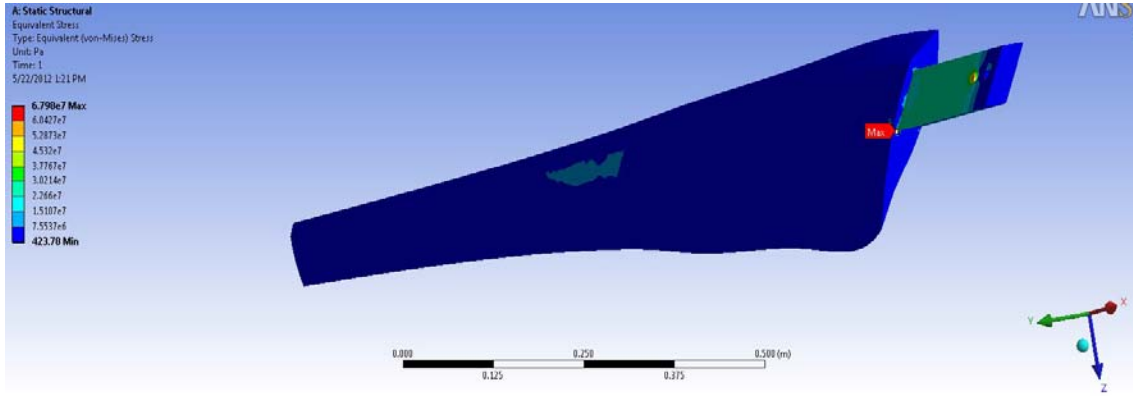


Şekil 4. Kanatta oluşan total deformasyon (Kanat sapı: Ni-Ti, V=60m/s, Kanat dönmezken)

Yapılan analizlerde bütün malzemeler için Equivalent (von-Mises) Stress değerleri Yield Strength (akma mukavemeti) değerinden küçük çıktığı için malzemelerde plastik deformasyon gözlenmemiştir. Fakat çelikte bu değer diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır (Şekil 5).

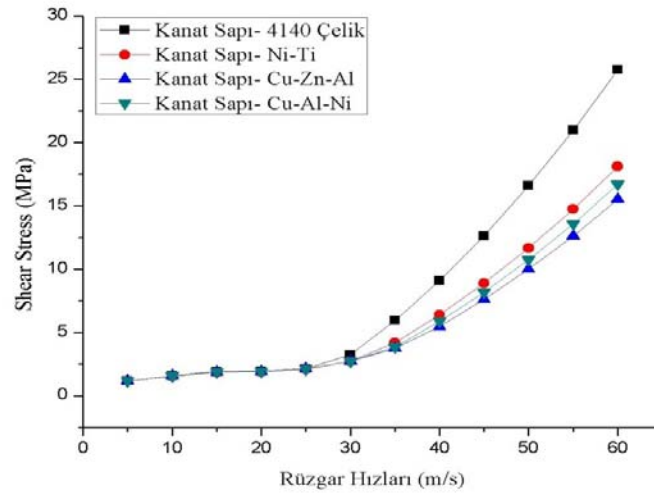


Şekil 5. Equivalent (von-Mises) stress (Kanat dönmezken).

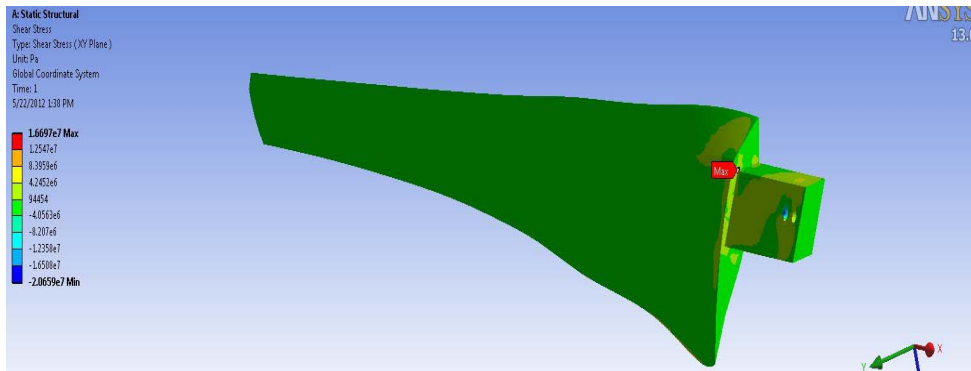


Şekil 6. Kanatta oluşan maksimum equivalent (von-Mises) stress
(Kanat Sapı: Ni-Ti, V=60m/s, Kanat dönmezken)

Şekil 7 incelendiğinde kanat dönmezken en düşük shear stress kanat sapı Cu-Zn-Al seçildiğinde elde edilmiştir. En yüksek shear stress değerleri kanat sapının çelik olduğu durumda gözlenmiştir. Shear stress'in maksimum olduğu nokta kanat ile kanat sapının bağlantı noktasına yakın kanat sapında ortaya çıkmıştır (Şekil 8).



Şekil 7. Shear stress (Kanat dönmezken)

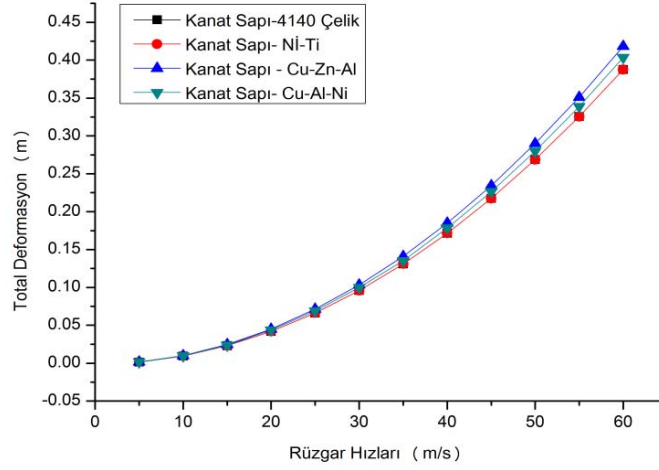


Şekil 8. Kanatta oluşan maksimum shear stress
(Kanat Sapı: Cu-Al-Ni, V=60m/s, Kanat dönmezken)

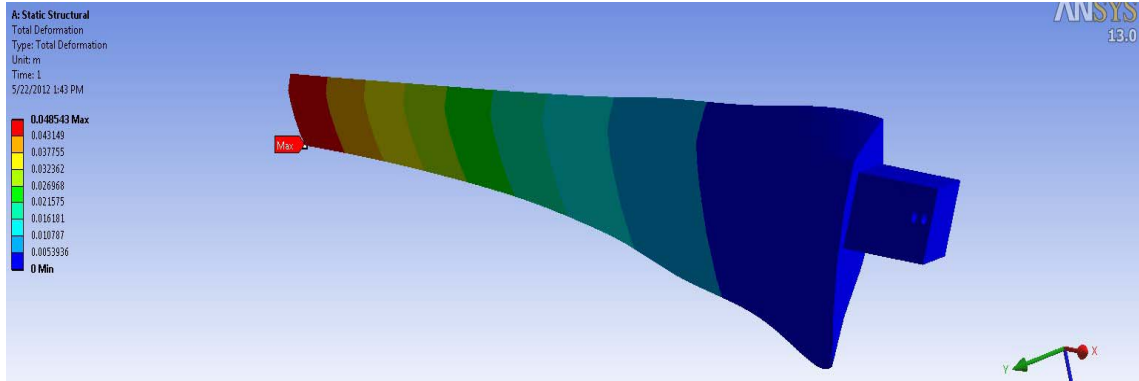
2.2 KANATIN DÖNDÜĞÜ DURUM

İkinci olarak kanatın döndüğü durum için analizleri yaptığımızda ayrı ayrı kanat saplarında farklı malzemelerin kullanılması sonucu ortaya çıkan sonuçlar şu şekildedir:

Kanatın dönme durumunda düşük total deformasyon değerleri kanat sapının Ni-Ti seçilmesinde görülmüştür (Şekil 9).

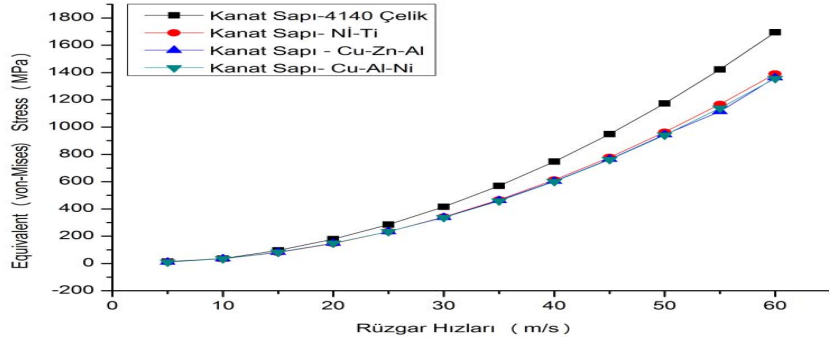


Şekil 9. Total deformasyon (Kanat dönerken).

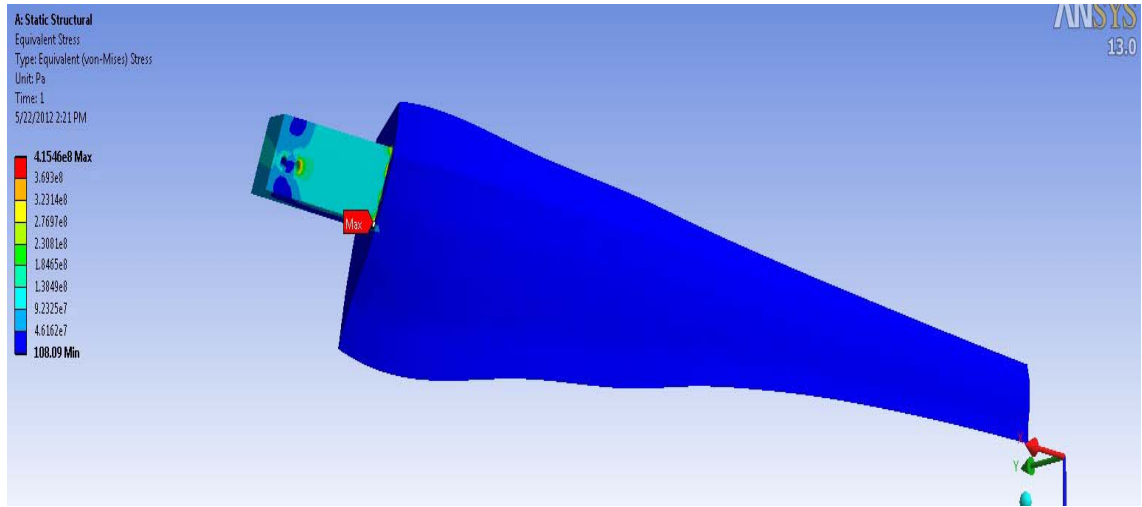


Şekil 10. Kanatta oluşan total deformasyon (Kanat sapı: Cu-Al-Ni, V=60m/s, Kanat dönerken)

Equivalent (von-Mises) Stress değerleri yield strength değerleri ile kıyaslandığında; kanat sapı 4140 çeliği iken rüzgar hızı 30 m/s'de, Cu-Zn-Al iken rüzgar hızı 25 m/s'de, Cu-Al-Ni iken rüzgar hızı 30 m/s'de ve Ni-Ti iken 40 m/s'lik rüzgar hızlarından sonra plastik deformasyona uğradığı görülmüştür (Şekil 11).

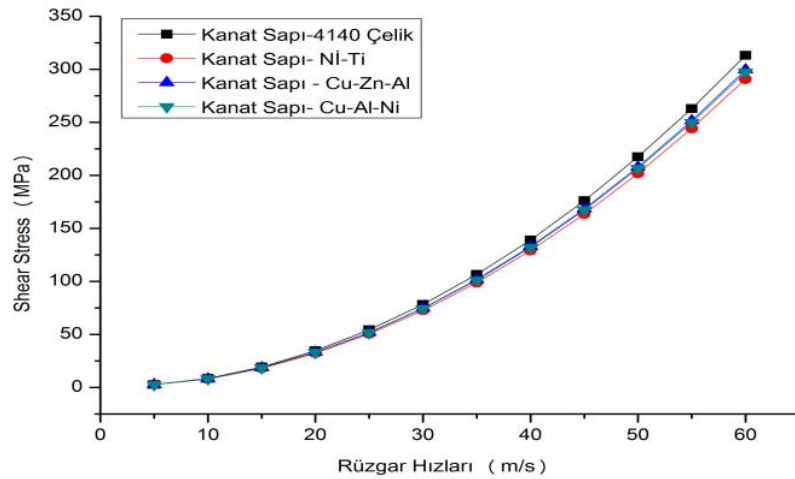


Şekil 11. Equivalent (von-Mises) stress (Kanat dönerken)



Şekil 12. Kanatta oluşan maksimum equivalent (von-Mises) stress (Kanat sapı: Çelik, V=30m/s, Kanat dönerken).

Şekil 13 incelendiğinde kanat dönerken en düşük shear stress kanat sapı Ni-Ti seçildiğinde elde edilmiştir. En yüksek shear stress değerleri kanat sapının çelik olduğu durumda görülmüştür.



Şekil 13. Shear stress (Kanat dönerken)

3. SONUÇ

Bu çalışmada yapılan kanat analizleri değerlendirildiğinde; eşdeğer gerilmelerin maksimum görüldüğü noktanın kanat bağlantı noktaları (kanat sapı) olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki asıl amaçta, kanat bağlantı noktalarındaki zayıflığın dikkate alınarak daha performanslı malzemelerin kullanılmasına yol gösterici olmaktadır. Modellenen 2kW'lık türbin kanadının yapısal analizleri incelendiğinde, kanatların dönmediği durumlarda kanatlarda plastik bir deformasyonun oluşmadığı görülmüştür. Fakat eşdeğer gerilmeler, kanat bağlantı noktasının çelik seçilmesi durumunda daha yüksek, Ni-Ti seçildiği durumlarda ise düşük değerler sergilemiştir.

Benzer şekilde kanatların dönme durumları incelendiğinde; modellenen 2kW'lık türbin için kanat bağlantı noktasında, çelik kullanıldığında 30 m/s'lik rüzgar hızında, Cu-Zn-Al kullanıldığında 25 m/s'lik rüzgar hızında, Cu-Al-Ni kullanıldığında 30 m/s'lik rüzgar hızında ve Ni-Ti kullanıldığında ise 40 m/s'lik rüzgar hızlarında plastik deformasyonlar görülmeye başlanmıştır. Görülüyor ki yapılan her iki analiz sonucun da kanat bağlantı noktasının Ni-Ti seçilmesi durumunda kanat bağlantı noktaları çelik olan türbin modellerine göre daha sağlam bir yapının oluştuğu görülmüştür. Ayrıca sağlamlık açısından da maliyete olan etki değerlendirildiğinde kanatların bir tanesinde bile meydana gelecek deformasyon yada kırılmalar türbinin tamamını etkileyeceğinden yine kanat bağlantı noktalarında Ni-Ti'un değerlendirilmesi bir avantaj oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **TÜREB**, 2013, “Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu”, http://www.tureb.com.tr/attachments/article/206/Istatistik%20Raporu%202013_Statistics%20Report%202013.pdf
- [2] **Teiaş**, 2013. <http://www.teias.gov.tr/T%C3%BCrkiyeElektrik%C4%B0statistikleri/istatistik2013/istatistik2013.htm>.
- [3] **ETKB**, 2012. 2013 Yılı Bütçe Sunumu.
- [4] **GWEC**, 2013, “Global Wind Report”, http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2012_LowRes.pdf.
- [5] **Elektrik Üreticileri Derneği**, 2015., <http://www.eud.org.tr/TR/Genel>
- [6] **NASA**, 2013, “Shape memory alloys”, <http://search.nasa.gov/search/search.jsp?nasaInclude=shape+memory+alloys>.
- [7] **Hodgson, D.E., Ming, H.W., Robert J.B.**, 1990. Shape Memory Applications, Inc., Memry Corporation, and Harison Alloys, Inc., ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials ASM Handbook Committee, pp. 897-902.

