

Makale

Farklı Malzemelerden İmal Edilmiş Paletli Rotorun Titreşim Analizi

İ. Uçun, M. Çolakoğlu, S. Taşgetiren

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 03200, Afyonkarahisar

Özet

Paletli kompresörler basınçlı hava üretiminde önemli bir yere sahiptir. Dönme ve basıncın etkisiyle paletli rotorlara değişik kuvvetler etki etmektedir. Bu kuvvetlerin etkisinde rotor statik ve dinamik zorlanmalara maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, paletli kompresör rotor dökme demir, çelik, bakır ve pirinç malzemelerden modellenmiş ve sonlu elemanlar metodu ile dinamik analizleri yapılmıştır. Rotorun doğal frekans ve mod şekilleri modal analiz ile her bir malzeme için belirlenmiştir. Ayrıca, paletler üzerine gelen basınç kuvvetleri ve dönme hızı dikkate alınarak sönümlü harmonik analiz yapılmıştır. Bu analizde, malzemelerdeki frekans cevap sinyalleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Paletli Rotor, Titreşim, Doğal Frekans, Modal Analiz, Sonlu Elemanlar Metodu.

1.Giriş

Basınçlı havayı sıkıştırmaya yarayan en önemli sistemlerden birisi kompresörlerdir. Günümüz endüstrisinde pistonlu, paletli, döner, vidalı gibi birçok kompresör kullanılmaktadır. Kompresörler mekanik enerjiyi basınç enerjisine dönüştürür. Paletli kompresörler, endüstrinin çeşitli kademelerinde genişçe kullanılmakta ve silindir içerisine yerleştirilmiş eksantrik bir rotordan meydana gelmektedir. Paletleri, rotor üzerinde bulunan kanallar içerisinde hareket etmektedir. Rotorlar genellikle çelik veya dökme demirden imal edilmekte ve kullanım yerlerine göre kompozit rotorlar da bulunmaktadır [1,2].

Rotor, kompresör gövdesine eksantrik olarak bağlandığından dönme etkisiyle merkezkaç kuvvetler meydana gelmektedir. Bundan dolayı, dinamik ve statik kuvvetlere maruz kalarak rotorda önemli hasarlar görülmektedir. Aslantaş vd.[3] gri dökme demirden imal edilmiş bir kompresör rotorun hasar analizini incelemişlerdir. Kırılmış rotor üzerinde sertlik, darbe testi, mikro yapı gibi değişik analizler yapmışlardır. Karbon miktarının fazla çıkmasının tokluğu düşürdüğü ve kırılmanın keskin köşelerde meydana geldiği görülmüştür. Bu köşelerde, önemli gerilme konsantrasyonları oluşmaktadır [4]. Rotor gövdesinin kırılmasıyla meydana gelen hasar genellikle yorulma sonucunda meydana gelmektedir [5].

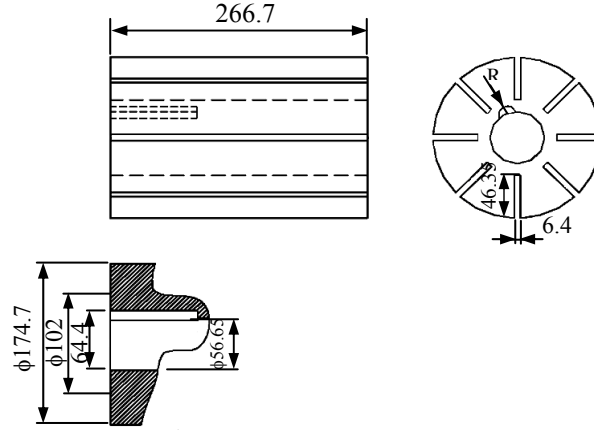
Paletler, rotor üzerindeki kanallarda sürekli olarak hareket etmektedir. Bu yüzden, rotor kanallarında ve paletlerde çeşitli aşınmalar meydana gelmekte ve bu durumu önlemek için değişik kaplama yöntemleri geliştirilmiştir [6]. Ayrıca, paletlerde önemli titreşimler oluşmakta [7-9] ve titreşimin etkisi ile büyük salınımlar meydana gelebilmektedir [10,11].

Bu çalışmada, farklı malzemelerden imal edilmiş paletli kompresör rotorun sonlu elemanlar metodu ile dinamik analizleri incelenmiştir. Analizlerde, rotor malzemesi olarak dökme demir, çelik, pirinç ve bakır malzemeler kullanılmıştır. Rotorun doğal frekans ve mod şekilleri modal analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Ayrıca, harmonik kuvvetler etkisinde rotorun dinamik davranışları tespit edilmiştir. Sönümlü harmonik analizde rotor üzerine gelen basınçlar ve dönme etkisi dikkate alınmıştır.

2. Materyal Ve Metot

2.1. Paletli Kompresör Rotorun Geometrik Özellikleri

Analizi incelenecek rotor gövdesinin modeli AutoCAD programı yardımıyla oluşturulmuştur. Çizimi yapılan rotor gövdesi dwg ve igs uzantılı olarak kayıt edilmiştir. Analizi yapılan rotorun geometrik özellikleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Rotor gövdesinin geometrik özellikleri

2.2. Rotorun Malzeme Özellikleri

Analizlerde rotor için farklı malzeme türleri ele alınmıştır. Çözümlerde kullanılan malzeme türleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Rotor gövdesi ve paletler için aynı malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Sönümlenme oranı sadece harmonik analizlerde kullanılmıştır. Sönümlenme oranları malzeme özelliklerine bağlı olarak tespit edilmiştir [12].

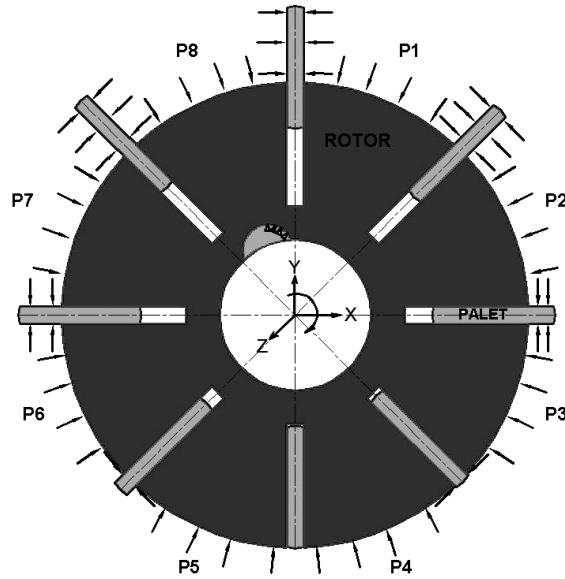
Tablo 1. Rotor ve paletlerin malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	Dökme demir	Çelik	Pirinç	Bakır
Elastisite Modülü (GPa)	170	210	109	117
Yoğunluk (kg/m ³)	6860	7850	8500	8970
Poisson Oranı (ν)	0.25	0.27	0.295	0.295
Sönümlenme oranı	0.01	0.0045	0.001	0.0005

2.3. Rotorun Sınır Koşulları

Üç boyutlu olarak modellenen kompresör rotorun x, y ve z ekseninde delik çevresi boyunca sınır koşulları oluşturulmuştur. Ayrıca, kamanın temas bölgesi x ve y koordinatlarında tutulu kabul edilmiştir. Analizlerde kullanılan rotorun sınır koşulları Şekil 2’de gösterilmiştir.

Paletli kompresörün dönme etkisiyle paletlere ve rotor gövdesine önemli basınçlar etki etmektedir. Bu basınçlar rotoru zorlamaktadır. Rotor üzerinde meydana gelen basınçlar Şekil 2’de gösterilmiştir. Rotor eksantrik olarak yataklandığı için her bir bölgede farklı basınçlar oluşmaktadır. Her bölge için hesaplanan basınç değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca, rotorun dönme hızı 1800 dev/dk olarak kabul edilmiştir.



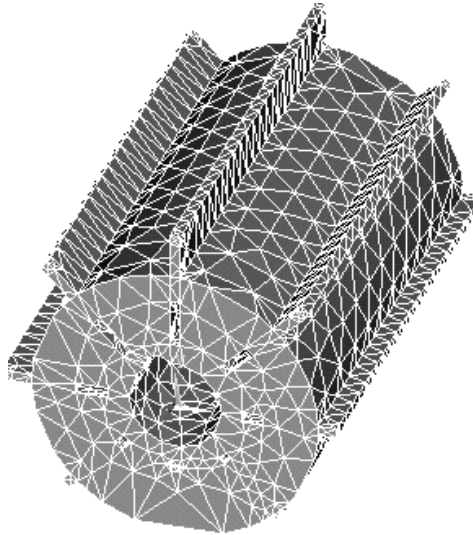
Şekil 2. Rotor üzerine gelen basınçlar ve sınır koşulları

Tablo 2. Her bir bölge için basınç miktarları

Basınç Bölgesi	P ₁ (Pa)	P ₂ (Pa)	P ₃ (Pa)	P ₄ (Pa)
Basınç Miktarı	1*10 ⁵	1.17*10 ⁵	2.1*10 ⁵	7.27*10 ⁵

3. Rotorun Sonlu Elemanlar Modeli

AutoCAD programı ile çizimi yapılan rotor gövdesinin modeli igs uzantılı olarak ANSYS7.1 analiz programına üç boyutlu olarak aktarılmıştır. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması için rotor yüzey alanları ve mesh yapısı oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar metodunda küp şeklinde izoparametrik altı yüzlü sekiz düğümlü elemanlar seçilmiştir. Oluşturulan sonlu elemanlar modeli Şekil 3’de gösterilmiştir. Sonlu elemanlar modelinin eleman sayısı 28230 ve düğüm sayısı 6220’dir. Analizler için rotor gövdesi ve paletler birlikte modellenmiştir.



Şekil 3. Paletli Rotorun Sonlu Elemanlar Modeli

4. Sonuçlar Ve Tartışma

4.1. Modal Analiz

Çalışmada, dört farklı rotor malzemesi kullanılarak modal analiz yapılmıştır. Analizlerde rotorun dinamik tepkisi olarak doğal frekans ve mod şekilleri bulunmuştur. Tablo 3’de farklı malzemelerde elde edilen doğal frekans değerleri gösterilmiştir. Buradaki değerler serbest titreşim durumunu göstermektedir. Bir sistemin doğal frekansı sınır şartlarına ve malzeme özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Analizlerde, dökme demir, çelik, pirinç, ve bakır malzemelerin frekans değerleri birbiri ile farklı olarak elde edilmiştir.

Rotor malzemeleri arasından en yüksek doğal frekans değeri çelik malzeme için elde edilmiştir. En düşük frekans değerleri ise pirinç malzeme için bulunmuştur. Dökme demir ile çeliğin frekans değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bu malzemelerin kullanılması durumunda rotorun daha düşük verim ile çalıştırılması gerekmektedir. Aynı malzeme içerisinde IV. V. ve VI. modlardaki frekans değerleri birbirine çok yakın elde edilmiştir. Frekans değerlerinin yakın çıkmasına rağmen mod yönleri birbirinden farklıdır.

Dökme demirin sönümlenme oranı çelik malzemeye göre büyük olması daha avantajlıdır. Rotorda istenmeyen bir salınım oluştuğu zaman genliğin daha yükseğe çıkmasını engelleyecek ve salınımı absorbe edecektir.

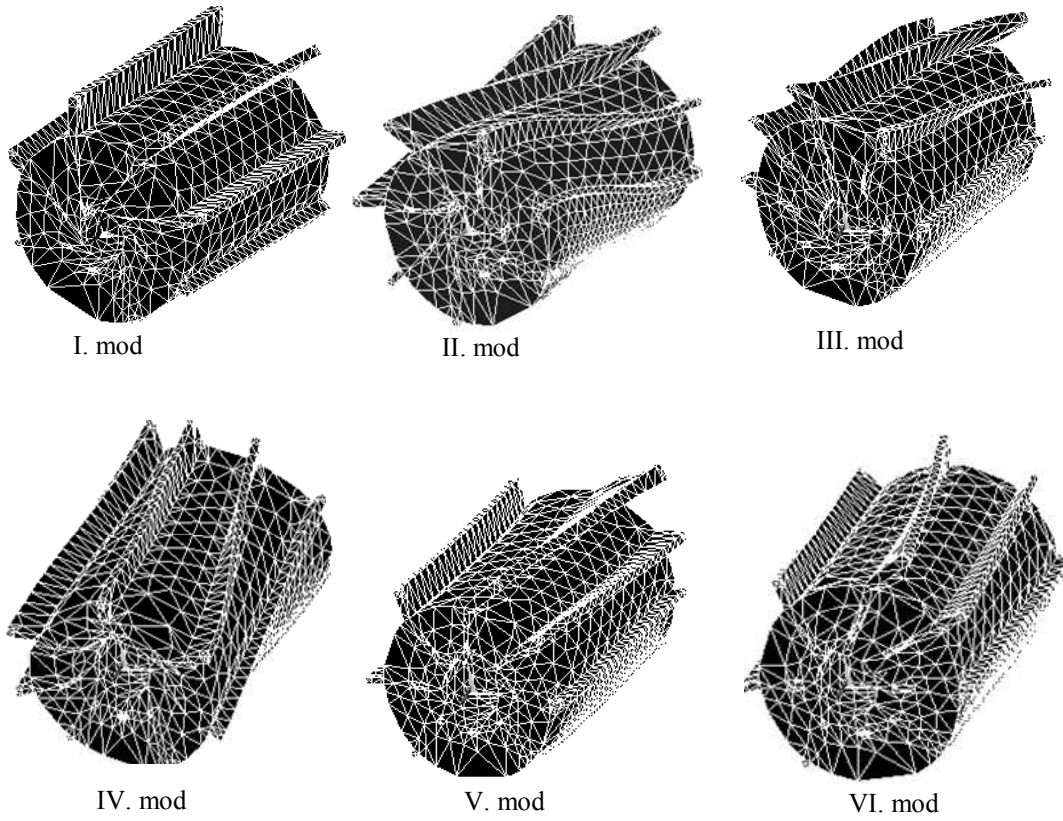
Tablo 3. Farklı Malzemelerde elde edilen doğal frekans değerleri

Mod		Dökme demir	Çelik	Pirinç	Bakır
Doğal Frekans (Hz)	I.	6178.9	6385.6	4394.6	4432.2
	II.	8370.1	8643.4	5941.6	5992.5
	III.	9649.8	9074.4	6863.4	6922.1
	IV.	10107	10453	7199.4	7260.9
	V.	10261	10610	7304.5	7367
	VI.	10412	10763	7407.8	7471.1

Genellikle testere, rotor, volan gibi mekanik sistemlerin doğal frekanslarının hesaplanmasında dönme etkisi dikkate alınmaktadır. Dönme etkisi ile sistemde oluşacak gerilmeler doğal frekansları değiştirmektedir. Bu gibi mekanik sistemler için doğal frekanslarının hesaplanmasında ön gerilmeli modal analiz yöntemi uygulanır. Rotorun doğal frekans değerlerinin bulunmasında farklı olarak ön gerilmeli modal analiz yapılmıştır. Bunun sonucu olarak dönme hızı düşük olduğundan frekanslarda önemli değişimler meydana gelmemiştir.

Elde edilen doğal frekanslar rezonansın oluşabileceği titreşim modlarını göstermektedir. Titreşim modları frekanslardaki salınımı göstermektedir. Rotorun modal analiz yöntemi elde edilmiş titreşim modları Şekil 4’de gösterilmiştir.

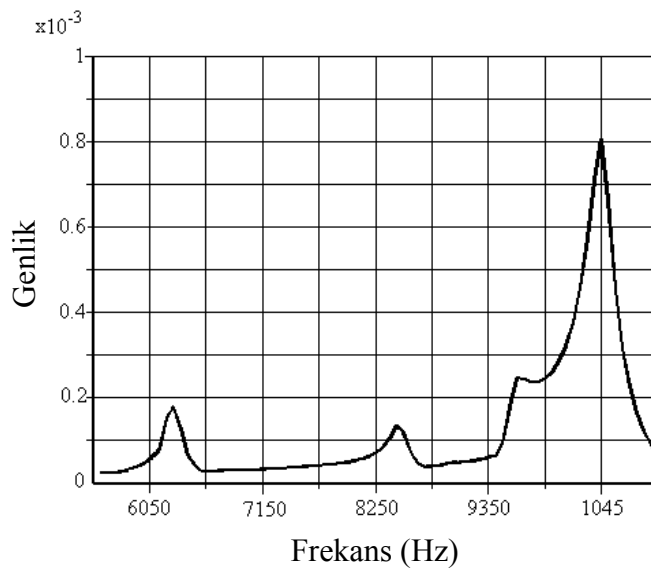
Analizlerde altı farklı titreşim modu elde edilmiştir. Rotorun I. modu dönme şeklinde oluşmuştur. II. mod şekli her iki yönde burulma şeklinde meydana gelmektedir. Diğer modlarda ise hem burulma şeklinde hem de x ve y düzleminde salınım yapmaktadır. Burada, aynı titreşim moduna sahip olmasına rağmen yönleri birbirinden farklıdır. Rotorun çalışma şartları düşünüldüğünde I. mod daha tehlikeli olmaktadır. Rotorun bu frekanstan daha düşük çalışma frekansının da çalıştırılması gerekmektedir.



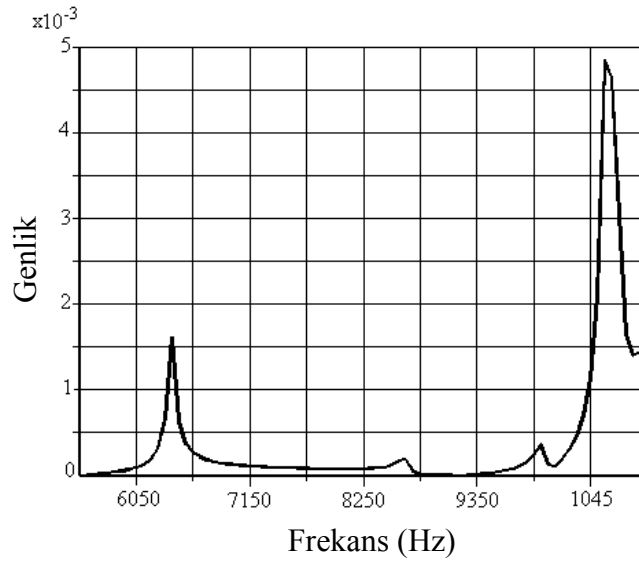
Şekil 4. Rotorun titreşim modaları.

4.2. Harmonik Analiz

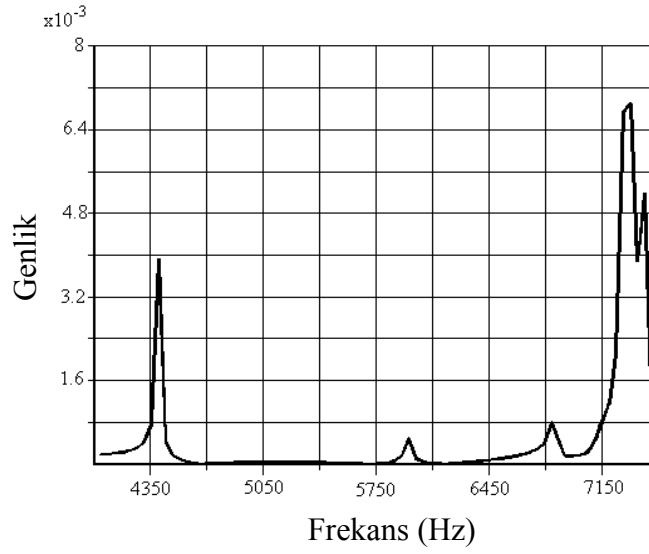
Paletler üzerine gelen basınç kuvvetleri dikkate alarak rotorun sönümlü harmonik analizi incelenmiştir. Analizde, her malzeme için frekans cevap sinyalleri elde edilmiş ve titreşim modlarındaki genlikler tespit edilmiştir. Sinyallerin bulunmasında malzeme özelliklerine bağlı olarak sönüm oranları dikkate alınmıştır. Sönümlü harmonik analiz ile çelik, dökme demir, pirinç ve bakır malzemeleri için tespit edilen titreşim sinyalleri şekil 5, 6, 7 ve 8’de gösterilmiştir. Bütün malzemeler için IV. moddan sonra genlik daha çok artmaktadır. Pirinç ve çelik malzemelerin I. titreşim durumundaki genlikleri yüksek çıkmıştır. Sinyallerde en düşük genlik sönümlenme oranının en yüksek olduğu dökme demir için elde edilmiştir. Analizde kullanılan bütün malzemelerin II. ve III. frekans değerlerindeki genlikler düşük çıkmıştır.



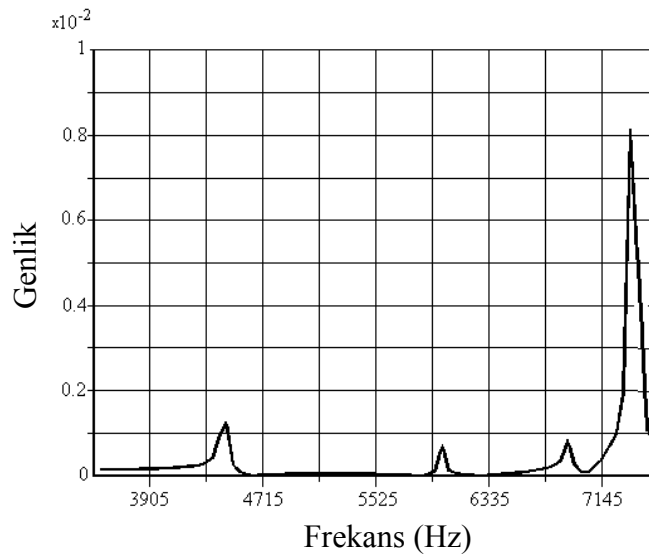
Şekil 5. Dökme demir için frekans cevap sinyali



şekil 6. Çelik malzemesi için frekans cevap sinyali



şekil 7. Pirinç malzemesi için frekans cevap sinyali



şekil 8. Bakır malzemesi için frekans cevap sinyali

5. Sonuç

Bu çalışmada, kompresör rotorun modal ve harmonik analizleri incelenmiştir. Rotorun modal analizinde doğal frekans ve mod şekilleri tespit edilmiştir. Analizlerde, dört farklı rotor malzemesi kullanılmıştır. En düşük frekans değerleri pirinç ve bakır malzemelerde elde edilmiştir. Çeliğin doğal frekansları diğer malzemelere göre yüksek çıkmıştır. Diğer taraftan, dökme demirin frekans değerleri çeliğin doğal frekans değerlerine yakındır. Bütün malzemelerde IV. V. ve VI. frekans değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. Bu frekans değerleri birbirine yakın olmasına rağmen titreşim modları farklıdır. Rotorun I. modunda dönme, II. modu ise burulma şeklinde gerçekleşmiştir.

Sönümlü harmonik analizde ise, basınç ve dönme etkisinde rotorun titreşim davranışı incelenmiştir. Her malzeme için frekans cevap sinyalleri elde edilmiştir. En düşük genlik değeri dökme demir için bulunmuştur. I. frekans değerlerinde genlikler yüksek çıkmasına rağmen, II. ve III. frekans değerlerinde düşmüştür. IV. ve V. frekans değerlerinde tekrar yüksek genlikler elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, rotor malzemesi olarak dökme demir ve çelik tercih edilebilir.

Kaynaklar

1. Arwin, A.C. & Bakis, C. E. 2006. Optimal design of pres-fitted filament wound composite flywheel rotors. *Composite Structures* vol 72: 47-57.
2. Edwards K.L. & Davenport C. 2006. Materials for rotationally dynamic components: rationale for higher performance rotor-blade design. *Materials and Design* vol 27: 31-35.
3. Aslantaş K. & Talaş Ş. & Taşgetiren S. 2004. Fracture of a compressor rotor made from grey cast iron. *Engineering Failure Analysis* vol 11: 369-373.
4. Özgür, R. 2005. Paletli Kompresör Rotorunun Sonlu Elemanlar Metodu İle Gerilme Analizi. A.Kocatepe Üni. Fen Bil. Enstitüsü.
5. Das G. & Ray A.K. & Ghosh S. & Das S.K. & Bhattacharya D.K. 2003. Fatigue failure of a boiler feed pump rotor shaft. *Engineering Failure Analysis* vol 10: 725-732.
6. Lee Y.Z. & Oh S. 2003. Friction and wear of the rotary compressor vane-roller for several sliding conditions. *Wear*. Vol 255: 1168-1173.
7. Darpe A.K. & Chawla, A. & Gupta K. 2002. Analysis of the response of a cracked jeffcott rotor to axial excitation. *J. of Sound and Vibration*. vol 249(3): 429-445.
8. Jing J.P. & Sun Y. & Xia S.B. & Feng G.T. 2001. A continuum damage mechanics model on low cycle fatigue life assessment of steam turbine rotor. *I. J. of Pressure Vessels and Piping*. vol 78:59-64.
9. Dimentberg, M.F. 2005. Vibration of a rotating shaft with randomly varying internal damping. *J. of Sound and Vibration* vol 285: 759-765.
10. Mba, D. & Hall L.D. 2002. The transmission of acoustic emission across large-scale turbine rotors. *NDT&E International* vol 35: 529-539.
11. Lim S. & Park S.M. & Kim K. 2005. AI vibration control of high-speed rotor systems using electrorheological fluid. *J. of Sound and Vibration* vol 284: 685-703.
12. Dimarogonas, A., 1995. Vibration for Engineers. *Prentice Hall* New Jersey.