

BİR EKSOZ SİSTEMİNİN DOĞAL FREKANS VE MOD ŞEKİLLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Hasan GEDİKLİ¹, Yakup HEYAL¹, Alemdar BAYRAKTAR², Temel TÜRKER²

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.

ÖZET

Bu çalışmada, kamyonet eksoz sisteminin modal parametreleri araç çalışırken ve durgun halde iken deneysel modal analiz yöntemiyle yapılmıştır. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz yapan ANSYS yazılımı vasıtasıyla aynı sınır koşulları ve malzeme değerleri için modeller oluşturulmuş ve sayısal modal analizler gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür.

ABSTRACT

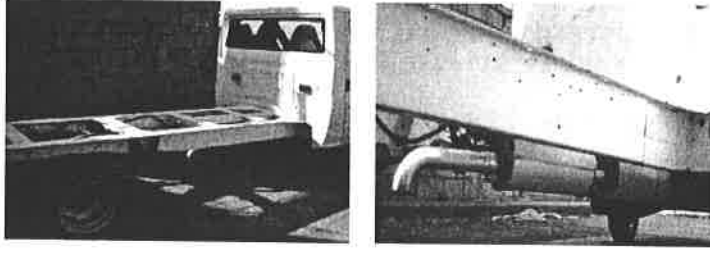
In this study, the modal parameters truck eksoz system and stagnant in the car while trying to experimental modal analysis methods are made. Moreover, using the finite element method analysis software through the ANSYS values for the same boundary conditions and material models and numerical modal analysis has been created. Experimental and numerical analysis results are compared and the results have been observed to come very close to each other.

1. Giriş

Modal analiz, bir makine sisteminin ya da elemanın doğal frekanslarını, mod şekillerini ve sönüm oranlarını tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen analizdir. Modal analiz deneysel ve sayısal olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Sayısal modal analiz, incelenen sistemin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi ve özdeğer denkleminin çözülmesi ile gerçekleştirilmektedir. Deneysel modal analiz ise, incelenen sistem üzerinde titreşim testleri yapılması ve elde edilen verilerden sisteme ait modal parametrelerin elde edilmesi ile gerçekleştirilmektedir [1-4].

Araçlar, motoru çalışırken veya hareket halindeyken her bir parçası veya sistemi bir titreşime maruz kalırlar. Bu parçalardan biri de eksozlardır. Eksozların araç üzerindeki titreşim karakteristiklerinin bilinmesi, titreşimlere karşı alınacak önlemlerin belirlenmesi açısından

önemlidir. Bu çalışmada, deneysel modal analiz yöntemiyle Şekil 1'de gösterilen bir kamyonet eksozunun doğal frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları elde edilmiştir. İncelenen eksozun titreşim karakteristikleri sayısal modal analiz yöntemiyle de elde edilmiştir. Eksoz sistemine ait her iki yöntem kullanılarak elde edilen doğal frekanslar ve mod şekilleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 1. Üzerinde ölçüm yapılan araç ve eksoz sistemi.

Eksoz sistemi modeli dairesel kesitli bir yapı olup, kalınlığı 2mm olan sacdan yapılmıştır. Toplam uzunluğu 1890mm olan eksoz sistemi motor bağlantı noktasında kaynakla sabit olarak bağlanmıştır. Çapı geniş olan iki silindirin iç ve dış yüzeylerinde ise aracın şasesine 'y' eksenine doğrultusunda tutturulan kaynaklı plakalara bağlı sert lastik takoz elemanlarla sabitlenmiştir.

2. Yapılan çalışmalar

2.1. Deneysel Modal Analiz

Kamyonet eksoz sisteminin deneysel modal analiz ölçümleri KTÜ Makine Mühendisliği bölümü motorlar laboratuvarında yapılmıştır. Bu sistemde deneysel ölçümler 3 eksenli ivmeölçerler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her biri x, y, z eksenine sahip 4 adet ivmeölçer kullanılmıştır. İvme ölçerlerden alınan sinyallerin kaydedilmesi için biri 5 diğeri 12 olmak üzere toplam 17 kanallı olan, iki çıkışlı veri toplama ünitesi kullanılmış ve kaydedilen sinyaller data kablosu ile dizüstü bilgisayara aktarılmıştır (Şekil 2). Bu tür analizlerde elde edilmek istenen değerleri vermek üzere hazırlanan paket program Operational Modal Analysis Pro yazılımı kullanılmıştır.



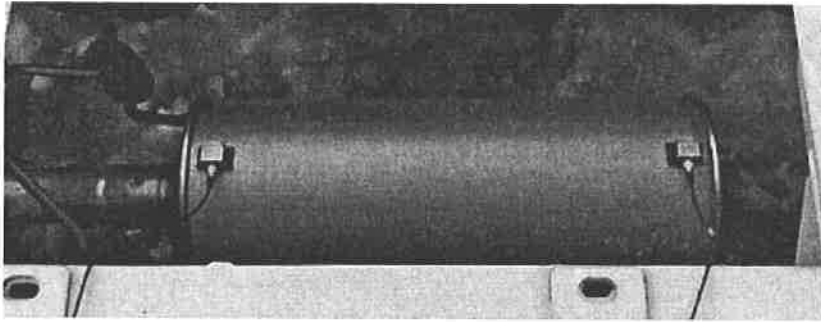
Şekil 2. Bilgisayar bağlantısı ve 17 kanallı veri toplama ünitesi.

Deneysel modal analiz ölçümleri iki aşamada yapılmıştır. Birinci ölçüm araç durağan haldeyken, ikinci ölçüm ise araç çalışırken yapılmıştır. Ölçümler 0-400 Hz frekans aralığında 5 dakikalık kayıtlar alınarak yapılmıştır. İvmeölçerler eksoz sistemi üzerinde 1m mesafelik bir uzunluk üzerine 0, 40cm, 60cm ve 100cm noktalarına konumlandırılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Üç eksenli ivmeölçerlerin 1m uzunluk üzerine yerleşimi.

Aynı eksen takımları aynı yöne gelecek şekilde yerleştirilen ivmeölçerler bağlantı kabloları ile veri toplama ünitesine bağlanmıştır (Şekil 4). Burada 3 eksenli ivmeölçerler kullanıldığı için her bir ivmeölçerden veri toplama ünitesine x, y, z eksenlerini temsil eden üç giriş soketi vardır. Dolayısıyla ölçüm için 12 kanal kullanılarak veri toplama ünitesine veri aktarımı sağlanmıştır.

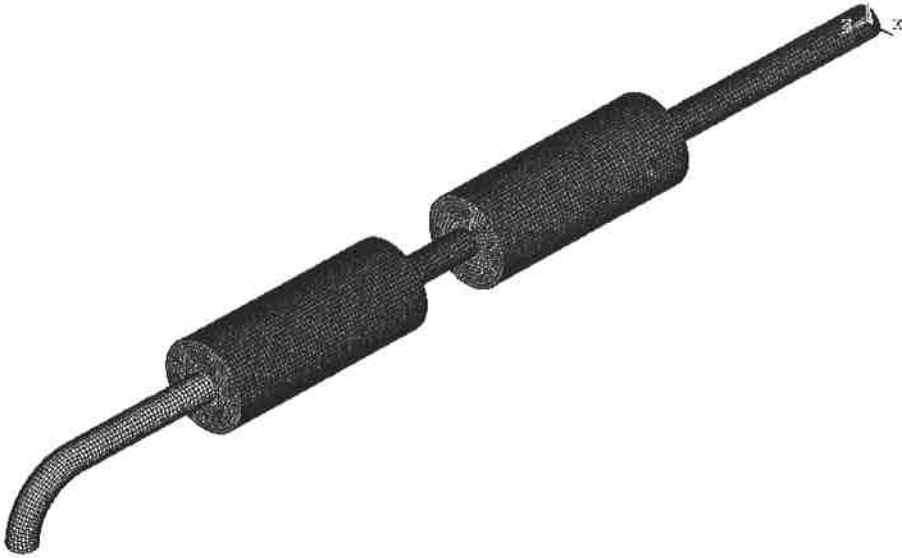


Şekil 4. Eksoz üzerine yerleştirilen ivmeölçerler ve bağlantı kablolarının üstten görünüşü.

2.2. Sayısal Modal Analiz

Eksoz modeli için sayısal analizler ANSYS yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Model geometrisi SolidWorks yazılımında yüzey olarak oluşturulmuş ve ANSYS yazılımının alabileceği bir formata (*.igs) dönüştürülmüştür (export). Burada eksozun içi boş alındı ANSYS yazılımına igs formatında alınan (import) modele doğrusal elastik malzeme modeli uygulanmıştır. Bu malzeme özelliğinde yoğunluk 7800 kg/m^3 , elastiklik modülü 200GPa ve poisson oranı 0.3 seçilmiştir. ANSYS yazılımına alınan geometriye, her bir düğüm noktasında

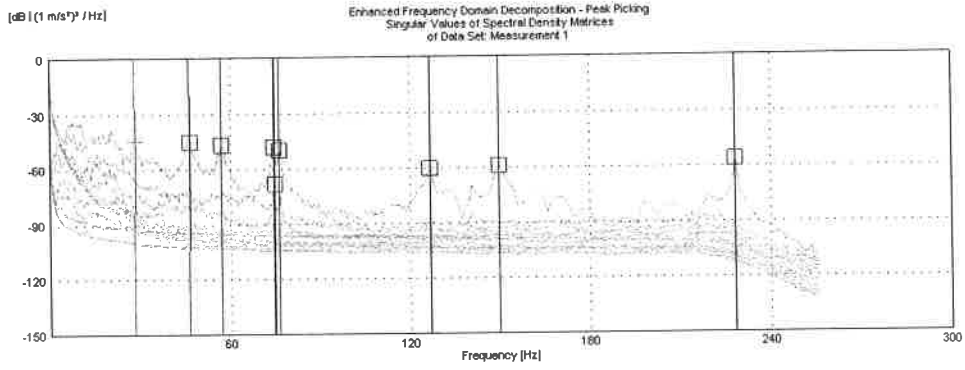
6 serbestlik derecesine sahip olan 8 düğüm noktalı SHELL93 kabuk elemanı kullanılarak ağ örgü atılmıştır. Ağ örgüden kaynaklanabilecek hataları minimuma indirmek için kontrollü ağ örgüye sahip ince ağ örgüsü (12961 adet 2mm kalınlıklı SHELL93 kabuk eleman) kullanılmıştır (Şekil 5). Eksoz, Şekil 4'ten görülebileceği gibi çapı büyük olan silindirlerin yan yüzeylerinde yapılan kaynaklar vasıtasıyla (kaynak çubuğu ile şase bağlantısı arasında sert lastik takoz mevcut) şaseye bağlanmıştır. Eksozun sağ ucu sabit mesnetli ve kaynak bağlantı yüzeyleri (kaynak bölgesindeki noktalar tanımlanarak) y yönünde yer değiştirmeleri sınırlandırılarak ($U_y=0$) modellenmiştir.



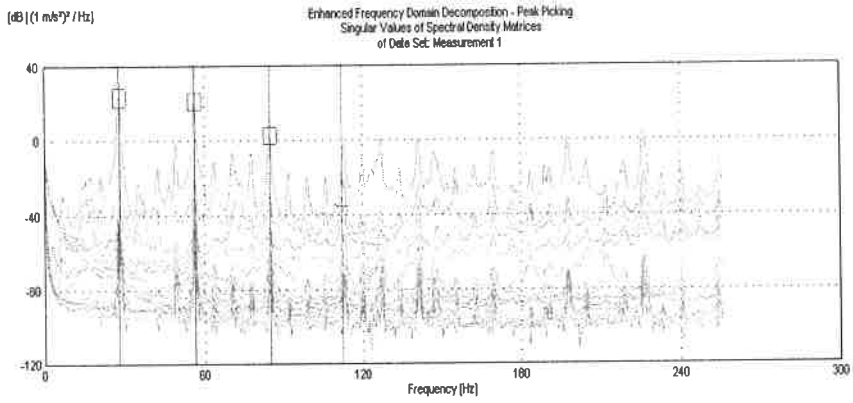
Şekil 5. Eksoz sisteminin sonlu elemanlar modeli.

3. Bulgular

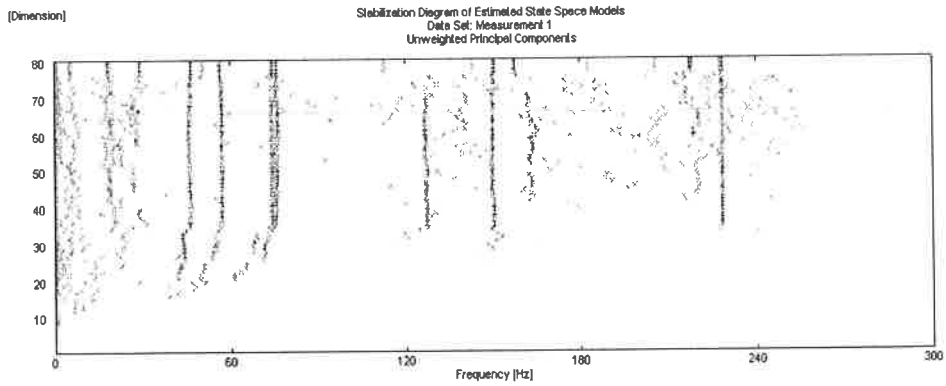
Bu bölümde eksoz model için deneysel modal analiz ölçümlerinden ve sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan sayısal modal analizlerden elde edilen bulgular verilmiştir. Deneysel verilerden sisteme ait; doğal frekanslar, sönüm oranları ve mod şekilleri gibi modal parametreler Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 8'de ise deneysel modal analiz sonucu elde edilen stabilizasyon diyagramı verilmiştir. Tablo 1'de deneysel olarak elde edilen 6 mod değeri için frekanslar verilmiştir.



Şekil 6. Eksoz sistemi modelinin frekans davranış fonksiyonu (motor çalışmamakta).



Şekil 7. Eksoz sistemi modelinin frekans davranış fonksiyonu (motor çalışmakta).



Şekil 8. Deneysel modal analiz sonucu elde edilen stabilizasyon diyagramı.

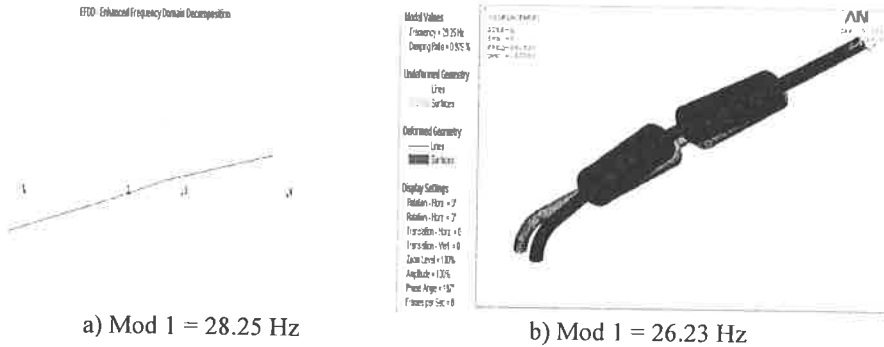
Tablo 1. Deneysel modal analiz sonuçları

Mod No	Doğal Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	28.25	0.979
2	46.33	1.184
3	57.11	1.045
4	74.33	0.3276
5	76.22	0.3765
6	126.90	0.4518

Eksoz sistemi için deneysel çalışmalara ilave olarak sayısal modal analizler yapılmıştır. Analiz sonucunda sisteme ait altı mod ve frekans değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Bunun yanında eksoz için deneysel ve sayısal mod şekilleri Şekil 9-14’te gösterilmektedir.

Tablo 2. Sayısal modal analiz sonuçları

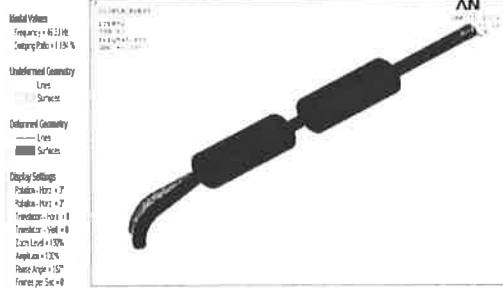
Mod No	Doğal Frekans (Hz)
1	25.23
2	45.82
3	55.72
4	73.25
5	78.76
6	117.29



Şekil 9. a) Deneysel ve b) sayısal modal analiz sonucu doğal frekans ve mod şekilleri.

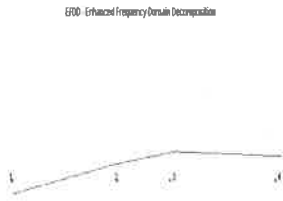


a) Mod 2 = 46.33 Hz

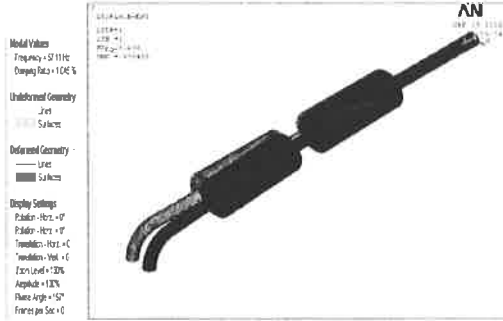


b) Mod 2 = 45.82 Hz

Şekil 10. a) Deneysel ve b) sayısal modal analiz sonucu doğal frekans ve mod şekilleri.

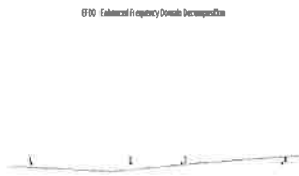


a) Mod 3 = 57.11 Hz

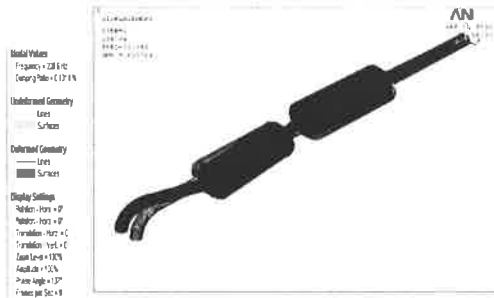


b) Mod 3 = 55.72 Hz

Şekil 11. a) Deneysel ve b) sayısal modal analiz sonucu doğal frekans ve mod şekilleri.

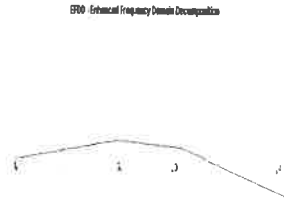


a) Mod 4 = 74.33 Hz

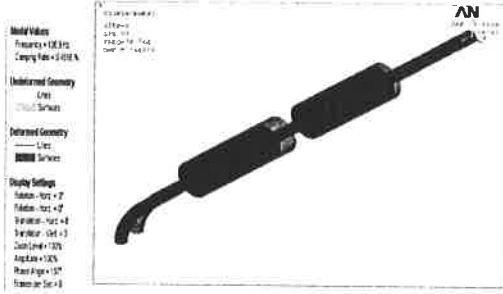


b) Mod 4 = 73.25 Hz

Şekil 12. a) Deneysel ve b) sayısal modal analiz sonucu doğal frekans ve mod şekilleri.

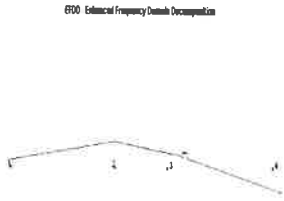


a) Mod 5 = 76.22 Hz

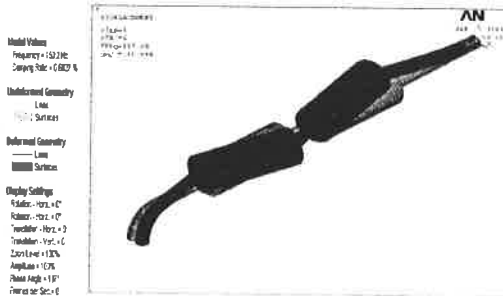


b) Mod 5 = 76.77 Hz

Şekil 13. a) Deneysel ve b) sayısal modal analiz sonucu doğal frekans ve mod şekilleri.



a) Mod 6 = 126.90 Hz



b) Mod 6 = 117.29 Hz

Şekil 14. a) Deneysel ve b) sayısal modal analiz sonucu doğal frekans ve mod şekilleri.

4. İrdeleme ve Sonuçlar

Eksoz için deneysel ve sayısal modal analiz neticesinde elde edilen doğal frekanslar Tablo 3'te ve mod şekilleri ise Şekil 9-14'te verilmiştir. Tablo 3'ten görülebileceği gibi deneysel verilerle sayısal veriler arasındaki frekanslar, birinci ve altıncı mod değerleri hariç birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Aradaki farkların sebepleri; sayısal modellemede eksozun içinin boş alınması, eksozun kaynaklı bölgesi ile şaseye bağlantı noktası arasındaki sert lastiğin modellenmemesi, eksoz kaynak bölgesinin yaklaşık alınması, eksozun sağ bağlantı ucunun sabit mesnet alınması, sayısal hesaplamalarda sönümün hesaba katılmaması ve ölçüm hataları olarak sayılabilir.

Tablo 3. Deneysel ve sayısal modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Mod No	Doğal Frekans (Hz)		Hata (%)
	Deneysel	Sayısal Analiz	
1	28.25	26.23	7.2
2	46.33	45.82	1.1
3	57.11	55.72	2.4
4	74.33	73.25	1.4
5	76.22	76.77	0.7
6	126.90	117.29	7.6

Sonuç olarak deneysel ve sayısal modal analiz sonucunda elde edilen doğal frekanslar birbirine yakın çıkmıştır. Aradaki hatalar modelleme hatası ve ölçüm hatasından kaynaklanmaktadır. Bu modelleme hataları ortadan kaldırılarak sonuçların birbirine daha da yaklaşacağı aşikardır. Ancak yine de sayısal modal analizler doğal frekansların belirlenmesinde ve optimize edilmesinde güçlü bir araç olarak kullanılabilceği anlaşılmaktadır. Böylece eksoz için arzu edilen frekans aralığı, tasarım öncesi yapılacak sayısal çalışmalarla rahatlıkla ayarlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Teleghani , B.K., ve Pappa, R.S., Finite-Element Vibration Analysis and Modal Testing of Graphite Epoxy Tubes and Correlation between the Data, National Aeronautics and Space Administration Langley Research Center, Hampton, Virginia,1996.
- [2] Haapaniemi,H., Luukkanen, P., Nurkkala, P., Rostedt, J. ve Saarenheimo, A., Correlation Analysis from Modal Analysis of a Pipeline, Proceeding of the 21th International Modal Analysis Conference (IMAC), Orlando, Florida, 2003.
- [3] Çolakoğlu, A. ve Köksal, Ö., Savunma Sistemlerinde Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğal Frekans Analizi, Aselsan Dergileri, 55, 2000.
- [4] Türker, T., Çelik Çerçeve Sistemlerin Dinamik Karakteristiklerinin Deneysel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2005.

