

AKILLI BİR PLAKANIN SERBEST VE ZORLANMIŞ TİTREŞİMLERİNİN KONTROLÜ

Fatma Demet Ülker¹
dulker@ae.metu.edu.tr

Ömer Faruk Kırçalı¹
fkircali@stm.com.tr

Yavuz Yaman¹
yyaman@metu.edu.tr

Volkan Nalbantoğlu¹
vналbant@mgeo.aselsan.com

Tarkan Çalışkan¹

Eswar Prasad²
eprasad@sensortech.ca

1. Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, 06531, Ankara
2. Sensor Technology Limited, P. O. Box 97 Steward Road, Collingwood, Ontario, Canada L9Y3Z4

ÖZET

Bu çalışmada, akıllı bir plakanın serbest ve zorlanmış titreşimlerinin kontrolü için μ -sentez methodu ile denetçi tasarımı ve tasarlanan denetçinin titreşim sönümlemedeki etkinliği sunulmuştur. Akıllı plaka havacılık yapılarında kullanılan bir fin şeklinde oluşu için çalışmada akıllı fin diye tanımlanmaktadır. Akıllı fin bir ucu tutturulmuş, diğer ucu serbest pasif alüminyum fin ve bunun her iki yüzeyine simetrik olarak yapıştırılmış piezoelektrik yamalar ve uzama ölçerlerden (Strain Gage) oluşmuştur. Denetçi Matlab v6.5 kullanılarak tasarlanmış ve tasarlanan denetçinin gerçek zamandaki performansı deneylerle araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar iki farklı deney düzeneğinde yürütülmüştür. Bunlardan ilki uzama ölçerlerin algılayıcı olarak kullanıldığı, ikincisi ise lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazının algılayıcı olarak kullanıldığı deney düzeneğidir. Bu çalışmada, tasarlanan denetçinin akıllı finin serbest titreşimlerinin ve ilk eğilme modu ile ilk burulma modundan kaynaklanan zorlanmış titreşimlerinin sönümlemesindeki etkinliği teorik ve deneysel çalışmalar ile sunulmuştur. Titreşim kontrolü sonucunda elde edilen verilerden yola çıkarak yapısal bazı özellikleri farklı yeni bir akıllı fin üretilmiştir. Bu çalışmada, yeni üretilen akıllı fin için de elde edilen bazı sonuçlar verilmiştir.

I. GİRİŞ

Akıllı yapılar dışarıdan uygulanan bir tahriği algılayabilen ve buna belirlenen koşulları sağlayacak şekilde aktif denetim mekanizmaları yardımıyla cevap verebilen yapılar olarak tanımlanmaktadır. Bu yapılar, algılayıcı, uyarıcı ve denetçi ünitesinden oluşmuştur. Bu çalışmada uzama ölçer ve lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazı algılayıcı, piezoelektrik yamalar ise uyarıcı olarak kullanılmıştır. Piezoelektrik yamaların kullanımının aktif titreşim sönümlemesindeki etkinliği bilinmektedir. Denetçi tasarım tekniği olarak kullanılan μ -sentez metodunun

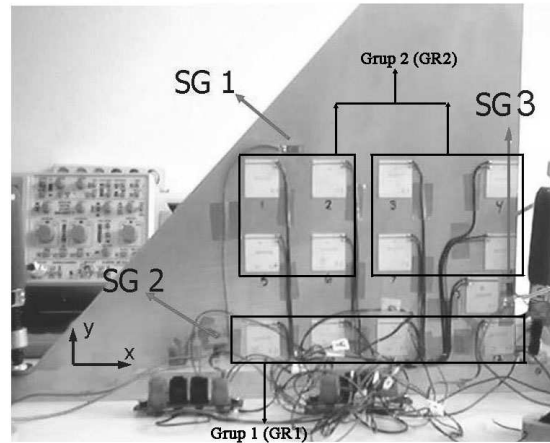
yapıların titreşimlerinin sönümlemesinde etkin olduğu Nalbantoğlu [1] tarafından gösterilmiştir.

Yaman [2-6], Çalışkan[7], akıllı yapıların teorik ve deneysel yöntemler kullanılarak modellenmesi ve denetçi tasarımı ve uygulanması üzerinde çalışmışlardır.

II. AKILLI FİN

Akıllı fin, pasif alüminyum fin üzerine simetrik olarak yapıştırılmış 24 adet Sensortech BM500 tipindeki 25mm x 25mm x 0.5mm ebatlarındaki piezoelektrik yamalardan ve 6 adet simetrik olarak yapıştırılmış yarım köprü konfigürasyonundaki uzama ölçerlerden oluşmuştur. Uzama ölçerler ve lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazı algılayıcı olarak kullanılırken, akıllı finin bir yüzeyindeki piezoelektrik yamalar uyarıcı olarak kullanılmıştır. Analizlerde akıllı fin bir ucu serbest, bir ucu tutturulmuş olarak incelenmiştir.

Şekil 1' de çalışmada kullanılan akıllı fin modeli verilmiştir.



Şekil 1. Akıllı Fin

III. DENETÇİ TASARIMI

Bu bölümde akıllı finin serbest titreşimlerinin ve zorlanmış titreşimlerinin kontrolünü sağlamak için μ -sentez yöntemi kullanılarak tasarlanan denetçi sunulmuştur. Denetçi tasarımında ilk olarak deneysel yoldan sistem modeli elde edilmiştir. Bu sistem modeli, bir yüzeyde bulunan bütün piezoelektrik yamaların frekansı 0.1 Hz ile 90 Hz arasında değişen sinus dalgası ile uyarılması sonucunda oluşan sistemin cevabı ile uygulanan sinyal arasındaki bağıntıdan bulunmuştur. Elde edilen bu sistem modelindeki olası belirsizlikler ve denetçiden beklenen performans kriterleri belirlenmiştir [8]. Denetçi tasarımında hem tek-girdili tek-çıkıtlı sistem modeli hem de tek-girdili çok-çıkıtlı sistem modeli kullanılmıştır. Tek-girdili tek-çıkıtlı sistem modelinin elde edilmesi için piezoelektrik yamaların hepsi aynı sinyal ile uyarılmış ve sistemin cevabı lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazı kullanılarak toplanmıştır. Tek-girdili çok-çıkıtlı sistem modelinde ise yine bütün piezoelektrik yamalar aynı sinyal ile uyarılmış ve sistemin cevabı Şekil 1'de gösterilen uzama ölçer 2 (SG2), uzama ölçer 3 (SG3)'ten eş zamanlı olarak ölçülmüştür.

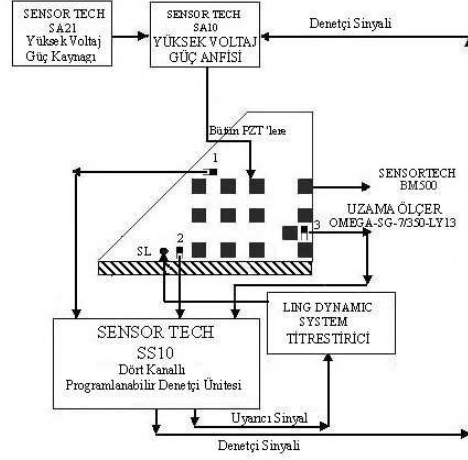
Elde edilen sistem modelindeki belirsizlikler ve denetçinin performans özellikleri göz önünde bulundurularak μ -sentez yöntemi formüle edilmiş ve sonrasında D-K iterasyon yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Tasarlanan denetçilerin μ -analizleri yapılmış ve bu analizler sonucunda denetçilerin belirsizliklere karşı gürbüz (robust) oldukları gösterilmiştir [8].

IV. KAPALI DÖNGÜ DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE DENEY DÜZENEKLERİ

Çalışmalarda iki farklı deney düzeneği kullanılmıştır. Bunlardan ilki uzama ölçerlerin sistem cevabını topladığı deney düzeneği diğeri ise lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazının sistemin cevabını topladığı deney düzeneğidir.

Uzama Ölçerlerin Kullanıldığı Deney Düzeneği

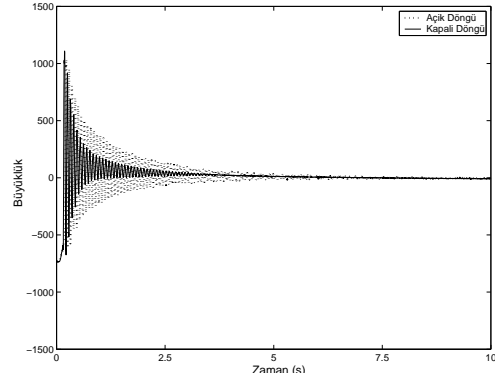
Tasarlanan denetçilerin gerçek zamanda uygulanabilmesi için kullanılan deney düzeneği Şekil 2'de verilmiştir.



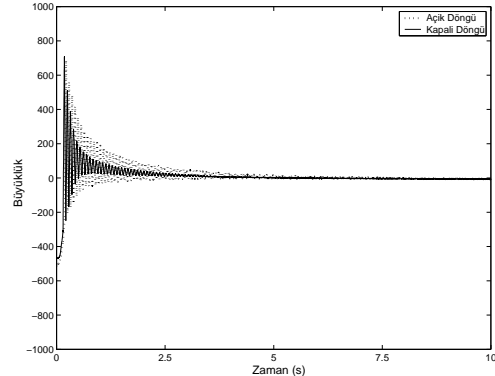
Şekil 2. Uzama Ölçerlerin Kullanıldığı Deney Düzeneği

Akıllı Finin Serbest Titreşimlerinin Kontrolü

Şekil 3'de akıllı finin serbest ucuna verilen 3 cm'lik bir yerdeğiştirme sonucunda akıllı finin deneysel yoldan elde edilmiş açık ve kapalı döngü zaman cevapları verilmiştir.



(a) Uzama Ölçer 2'den Elde Edilen Zaman Cevapları



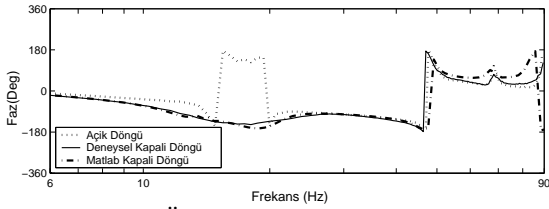
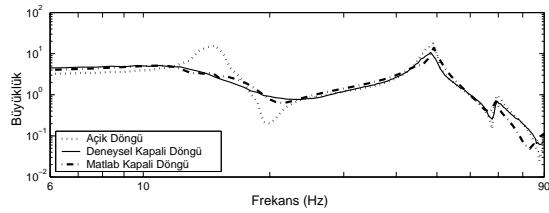
(b) Uzama Ölçer 3'den Elde Edilen Zaman Cevapları

Şekil 3. Uzama Ölçerler Kullanılarak Ölçülen Açık ve Kapalı Döngü Zaman Cevapları

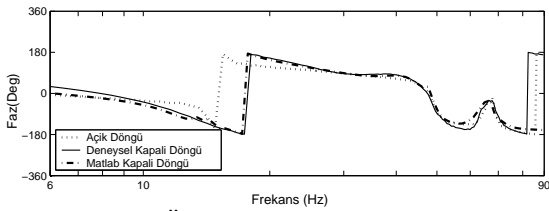
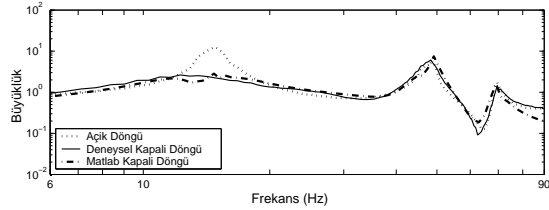
Her iki uzama ölçerden alınan verilerle, akıllı finin serbest titreşimlerinin kapalı döngü sisteminde 1 saniyeden daha az bir sürede sönümlendiği gösterilmiştir.

Akıllı Finin Zorlanmış Titreşimlerinin Kontrolü

Akıllı fin üzerindeki zorlama, Şekil 2’de gösterilen titreştiricinin (SL) akıllı fin üzerine deney süresince frekansı 0.1 Hz ile 90 Hz arasında değişen sinüs sinyalinin uygulaması ile oluşturulmuştur. Sistemin bu zorlama altındaki açık ve kapalı döngü frekans cevapları teorik ve deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen frekans cevapları Şekil 4’te verilmiştir.



(a) Uzama Ölçer 2’den Elde Edilen Frekans Cevapları



(b) Uzama Ölçer 3’den Elde Edilen Frekans Cevapları

Şekil 4. Uzama Ölçerler Kullanılarak Ölçülen Açık ve Kapalı Döngü Frekans Cevapları

Akıllı finin ilk ve ikinci modundan kaynaklanan açık ve kapalı döngü titreşimlerinin yüksekliğinin birbirlerine olan oranı sönümlenme değeri olarak adlandırılmış ve her bir uzama ölçerin ölçümlerinden elde edilen sönümlenme değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

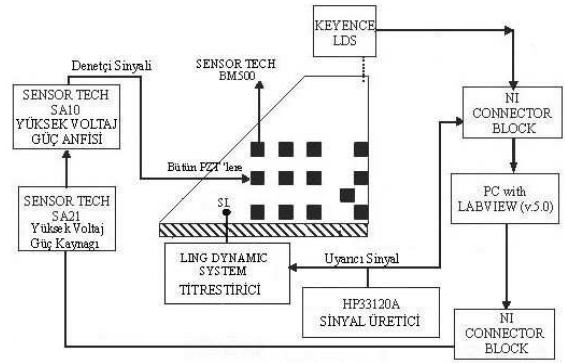
Tablo 1. Akıllı Finin İlk ve İkinci Modundaki Sönümlenme Değerleri (Denetçi Girdisi SG2 ve SG3 Uzama Ölçer Ölçümleridir)

Mod		İlk	İkinci
MATLAB	SG2	4.90	1.27
Simülasyon	SG3	4.47	0.80
Deneysel	SG2	5.86	1.97
	SG3	5.66	1.13

Tablo 1’den anlaşıldığı gibi ilk modda iyi bir sönümlenme elde edilmesine rağmen ikinci moddaki sönümlenme değeri tatmin edici düzeyde değildir.

Lazer Yardımıyla Yerdeğiştirme Ölçüm Cihazının Kullanıldığı Deneysel Düzenek

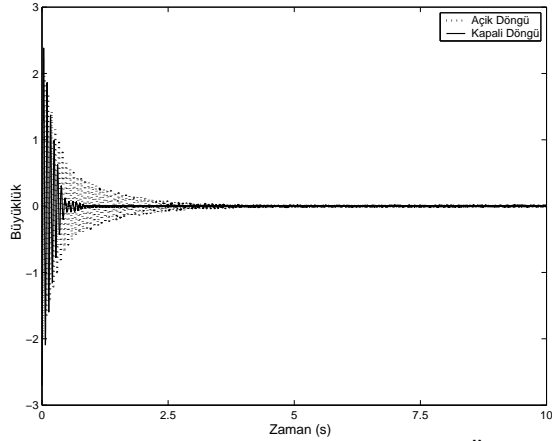
Şekil 5’te lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazının kullanıldığı deneysel düzenek verilmiştir.



Şekil 5. Lazer Yardımıyla Yerdeğiştirme Ölçüm Cihazının Kullanıldığı Deneysel Düzenek

Akıllı Finin Serbest Titreşimlerinin Kontrolü

Akıllı finin serbest ucuna 3cm’lik bir yerdeğiştirme uygulanmış ve akıllı finin açık ve kapalı döngü zaman cevapları lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazı (LDS) kullanılarak toplanmıştır. Elde edilen bu cevaplar Şekil 6’da verilmiştir.

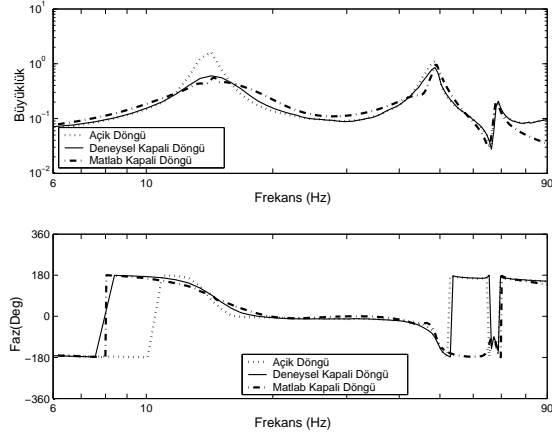


Şekil 6. Lazer Yardımıyla Yerdeğiştirme Ölçüm Cihazıyla Ölçülen Açık ve Kapalı Döngü Zaman Cevapları

Grafikten de görüldüğü üzere akıllı finin serbest titreşimleri denetçi kullanıldığında 1 saniyeden daha kısa bir sürede sönümlenmiştir.

Akıllı Finin Zorlanmış Titreşimlerinin Kontrolü

Akıllı fin titreştirici ile uyarılmış, açık ve kapalı döngü frekans cevapları incelenmiştir. Şekil 7’de elde edilen açık ve kapalı döngü frekans cevapları verilmiştir.



Şekil 7. Lazer Yardımıyla Yerdeğiştirme Ölçüm Cihazıyla Ölçülen Açık ve Kapalı Döngü Frekans Cevapları

Tablo 2’de ilk mod ve ikinci moddaki sönümlenme değerleri sunulmuştur.

Tablo 2. Akıllı Finin İlk ve İkinci Modundaki Sönümlenme Değerleri (Denetçi Girdisi LDS Ölçümüdür)

Mod	İlk	İkinci
MATLAB Simülasyon	2.90	1.16
Deneysel	2.69	1.31

Sonuçlardan da görüldüğü üzere akıllı finin ilk moddan kaynaklanan titreşimleri oldukça iyi bir düzeyde sönümlenmiş olmasına rağmen ikinci modda iyi bir sönümlenme değeri elde edilememiştir.

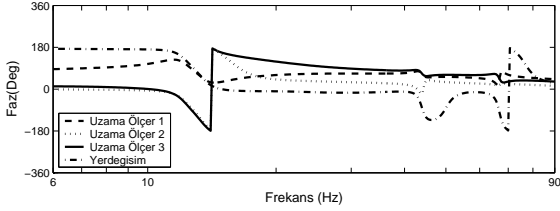
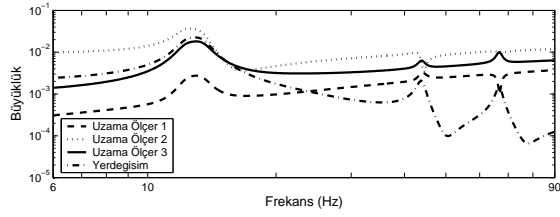
Hem uzama ölçerlerin kullanıldığı deneylerin, hem de lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazının kullanıldığı deneylerin sonucunda ilk modda sönümlenme tatmin edici düzeyde olmasına rağmen ikinci modda denetçi aynı başarıyı yakalayamamıştır. Bunun sebebi ise bir tane kontrol sinyalinin bütün piezoelektrik yamalara uygulanması ile oluşturulan tek girdili sistemler için tasarlanan denetçilerin 2 boyutlu bir sistemin titreşimlerinin sönümlenmesi için yeterli olamamasıdır.

Yukarıda belirtilen olumsuzluğu ortadan kaldırmak için akıllı fin üzerindeki piezoelektrik yamaların iki grup halinde birbirlerinden bağımsız olarak çalıştırılması yani çok girdili bir sistem oluşturulması düşünülmüş ve yeni bir akıllı fin üretilmiştir. Bu yeni akıllı finde piezoelektrik yama gruplarından bir tanesi, (GR1), sistemin eğilmeden kaynaklanan titreşimlerini sönümlerken diğer grup, (GR2), sistemin burulmadan kaynaklanan titreşimlerinin sönümlenmesinde kullanılır. Yeni üretilen akıllı findeki, orijinaline göre, tek yapısal değişiklik piezoelektrik yamaların birbirlerinden bağımsız hareket etmelerini sağlayan, piezoelektrik yama ile alüminyum fin arasına yerleştirilmiş yalıtkan yüzeydir.

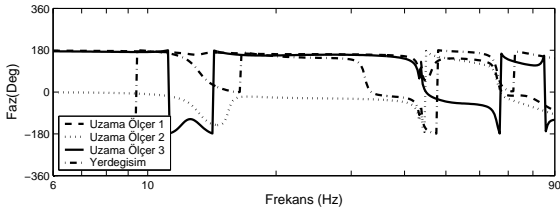
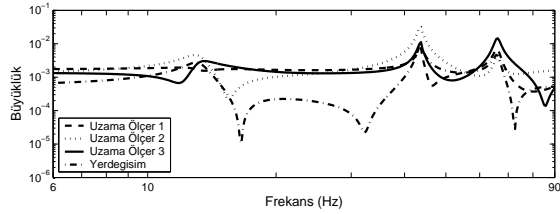
Yeni üretilen akıllı fin için denetçi tasarımına sistem modellerinin elde edilmesi ile başlanmıştır.

V. YENİ AKILLI FİNİN SİSTEM MODELİNİN ELDE EDİLMESİ

Çalışmanın bu kısmında yeni üretilen akıllı finin sistem modeli deneysel veriler kullanılarak elde edilmiştir. Akıllı fin GR1 ve GR2 olarak Şekil 1’de gösterilen piezoelektrik yama gruplarının birer birer kullanılması ile uyarılmıştır. Sistemin cevabı ise yine Şekil 1’de SG1, SG2 ve SG3 olarak gösterilen uzama ölçerler kullanılarak ya da lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazı ile akıllı finin uç kısmından toplanmıştır. Sistemin girdi ve çıktıları arasındaki bağıntı ile çok-girdili çok-çıkıtlı sistem modeli Matlab v6.5 kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 8(a) GR1 piezoelektrik yama grubunun uyarıcı olarak kullanılması sonucunda elde edilen sistem modelini, Şekil 8(b) ise GR2 piezoelektrik yama grubunun uyarıcı olarak kullanılmasından elde edilen sistem modelini vermektedir.



(a) GR1 Piezoelektrik Yama Grubunun Uyarıcı Olarak Kullanıldığı Durum



(b) GR2 Piezoelektrik Yama Grubunun Uyarıcı Olarak Kullanıldığı Durum

Şekil 8. Yeni Üretilen Akıllı Finin Sistem Modeli

Bu sistem modelleri kullanılarak yeni üretilen akıllı finin serbest titreşimlerinin ve ilk iki modundan kaynaklanan zorlanmış titreşimlerinin sönümlenmesi için denetçi tasarlanma aşaması devam etmektedir.

VI. SONUÇLAR

Çalışmanın ilk kısmında akıllı finin serbest ve zorlanmış titreşimlerinin sönümlenmesi için denetçi tasarımı yapılmış ve tasarlanan denetçiler iki farklı deney düzeneği kullanılarak gerçek zamanda denenmişlerdir. Elde edilen deneysel veriler, tasarlanan denetçilerin akıllı finin serbest titreşimlerini sönümlediğini göstermiştir. Akıllı finin zorlanmış titreşimlerinin kontrolünde amaç ilk iki moddan kaynaklanan titreşimlerin sönümlenmesi olarak belirlenmiş olmasına rağmen, kullanılan modelin ve bu modele göre tasarlanan denetçinin ikinci moda yeterince etkin olamadığı gözlenmiştir. Buradan yola çıkarak, piezoelektrik yamaların grup halinde çalıştırıldığında yani bir grup eğilme modundan kaynaklanan titreşimleri sönümlemekten sorumlu olurken, diğer grubun burulma modundan

kaynaklanan titreşimlerin sönümlenmesinden sorumlu olmasının daha etkin olacağına karar verilmiştir. Buna yönelik olarak yapısal bazı özelliklerin farklı olduğu yeni bir akıllı fin üretilmiş ve akıllı finin sistem modelinin elde edilme aşaması tamamlanmıştır. Bu yeni modele yönelik çok-girdili çok-çıkıtlı denetçi tasarım aşaması devam etmektedir.

VII. KAYNAKLAR

- [1] Nalbantoglu, V., Robust Control and System Identification for Flexible Structures, PhD Thesis, University of Minnesota, July 1998.
- [2] Yaman, Y., Çalışkan, T., Nalbantoğlu V., Waechter, D. Prasad, E., Active Vibration Control of a Smart Beam, Proceedings, Canada-US CanSmart Workshop, Smart Materials and Structures, Montreal, Quebec, Canada, Oct. 2001.
- [3] Yaman Y., Çalışkan, T., Nalbantoğlu V., Ülker, F., D., Prasad, E., Waechter, D., Yan, B., Vibration Control of Smart Plates by Using Piezoelectric Actuators, ESDA2002, 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design And Analysis, Istanbul, Turkey, 2002.
- [4] Yaman, Y., Çalışkan, T., Nalbantoğlu, V., Prasad, E., Waechter, D., Active Vibration Control of a Smart Plate, ICAS2002, Toronto, Canada, 2002.
- [5] Yaman, Y., Ülker, F., D., Nalbantoğlu, V., Çalışkan, T., Prasad, E., Waechter, D., Yan, B., Application of H_∞ Active Vibration Control Strategy in Smart Structures, AED2003, 3rd International Conference on Advanced Engineering Design, Prague, Czech Republic, June, 2003.
- [6] Y.Yaman, F. D. Ulker, V. Nalbantoglu, T. Çalışkan, E. Prasad, D. Waechter, B. Yan, Application of m-synthesis Active Vibration Control Technique to a Smart Fin 6th CanSmart Meeting, International Workshop on Smart Materials and Structures Montreal, Canada, 16-17 October, 2003
- [7] Çalışkan, T., Piezoelectric Ceramics and Their Application in Aerospace Structures, Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, September, 2002.
- [8] Ülker, F. D., Active Vibration Control of Smart Structures, MSc Thesis, Middle East Technical University, September, 2003.