

AKILLI BİR PLAKANIN TİTREŞİMLERİNİN SÖNÜMLENMESİNDE BAĞIMSIZ ÇALIŞAN PİEZOELEKTRİK YAMALARIN ETKİSİ

Fatma Demet Ülker
Havacılık ve Uzay
Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
dulker@ae.metu.edu.tr

Prof. Dr. Yavuz Yaman
Havacılık ve Uzay
Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
yyaman@metu.edu.tr

Dr. Volkan Nalbantoğlu
Havacılık ve Uzay
Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
volkan@ae.metu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, akıllı bir plakanın serbest ve zorlanmış titreşimlerinin kontrolü için H_{inf} metodu ile tasarlanan denetçinin titreşim sönümlemedeki etkinliği sunulmuştur. Çalışmada akıllı fin diye tanımlanan akıllı plaka bir pasif alüminyum plaka ve bunun her iki yüzeyine simetrik olarak yapıştırılmış piezoelektrik yamalar ve uzama ölçerlerden oluşmuştur. Piezoelektrik yamaların birbirlerinden bağımsız hareket etmeleri için piezoelektrik yama ile alüminyum plaka arasına yalıtkan yüzeyler yerleştirilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde, akıllı finin sistem modeli deneysel veriler kullanılarak elde edilmiştir. Sistem modelinin belirlenmesinde, her iki yüzeydeki piezoelektrik yamalar elektriksel olarak uyarılmış ve sistemin cevabı uzama ölçerler ve lazerli yer değiştirme ölçüm cihazından toplanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde, H_{inf} methodu ile denetçi tasarlanmış ve tasarlanan denetçinin, akıllı finin birinci eğilme titreşim biçimini (first bending mode) sönümlemedeki etkinliği deneysel olarak gösterilmiştir. Yalıtkan yüzeylerin piezoelektrik yamaların bireysel çalışmalarındaki etkinliğini göstermek amacıyla, bu çalışmanın sonuçları, sadece yalıtkan yüzeylerin kullanılmadığı ancak diğer özellikleri aynı olan başka bir akıllı fine ait deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

1. GİRİŞ

Akıllı yapılar dışarıdan uygulanan bir tahriği algılayabilen ve buna aktif denetim mekanizmaları yardımıyla müdahale edebilen yapılar olarak tanımlanmaktadır. Bu yapılar, pasif yapı yüzeyine yaygın olarak yapıştırılan ya da içine gömülen birçok aktif parça ve işlemci ağlarından oluşmaktadır. Bu yapılarda, algılayıcı ve uyarıcıların aktif parçalarını oluşturmaktadırlar. Bu çalışmada uzama ölçerler ve lazer yardımıyla yer değiştirme ölçüm cihazı algılayıcı, pasif alüminyum yapı üzerine yapıştırılan piezoelektrik yamalar ise uyarıcı olarak kullanılmıştır.

Piezoelektrik malzemelerin titreşim düzeylerinin sönümlemedeki etkinliğini gösteren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [1,2]. Denetçi tasarımı tekniği olarak kullanılan H_{inf} metodunun yapıların titreşimlerinin

sönümlemede etkin olduğu Nalbantoğlu [3] tarafından gösterilmiştir.

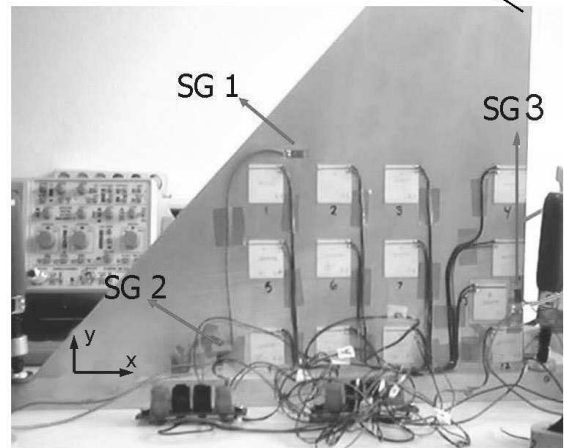
Yaman ve arkadaşları [4-8], Çalışkan [9] akıllı yapıların teorik ve deneysel yöntemler kullanılarak modellenmesi ve denetçi tasarımı ve uygulanması üzerinde çalışmışlardır.

2. AKILLI FİN

Akıllı fin, pasif alüminyum fin üzerine simetrik olarak yapıştırılmış 24 adet Sensortech BM500 tipindeki 25mmx25mmx0.5mm ebatlarındaki piezoelektrik yamalardan ve 6 adet simetrik olarak yapıştırılmış yarım köprü konfigürasyonundaki uzama ölçerlerden oluşmuştur. Piezoelektrik yamaların birbirlerinden bağımsız hareket etmeleri için, piezoelektrik yamalar ile alüminyum fin arasına yalıtkan yüzeyler yerleştirilmiştir. Analizlerde akıllı fin bir ucu serbest, bir ucu tutturulmuş olarak incelenmiştir.

Şekil-1’ de çalışmada kullanılan akıllı fin gösterilmiştir.

Lazer Yardımıyla Yer Değiştirme Ölçüm Cihazının Uygulama Noktası

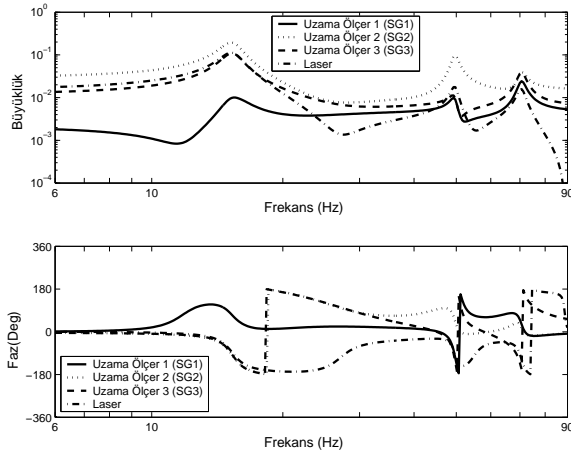


Şekil 1. Akıllı Fin

3. DENETÇİ TASARIMI

Bu bölümde akıllı finin serbest titreşimlerinin ve zorlanmış titreşimlerinin kontrolünü sağlamak için H_{inf} yöntemi kullanılarak tasarlanan denetçi sunulmuştur. Denetçi tasarımı için ilk olarak deneysel yoldan sistem modeli elde edilmiştir. Bu sistem modeli, her iki yüzeyde bulunan bütün piezoelektrik yamaların frekansı 0.1 Hz ile 90 Hz arasında değişen sinüs dalgası ile uyarılması sonucunda oluşan sistemin cevabı ile uygulanan sinyal arasındaki bağıntıdan bulunmuştur. Sistemin cevabı, Şekil-1'de SG1, SG2 ve SG3 olarak gösterilen uzama ölçerler kullanılarak ve lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazı ile akıllı finin uç kısmından toplanmıştır.

Şekil-2'de denetçi tasarımında kullanılan deneysel yollardan elde edilmiş sistem modeli verilmiştir.



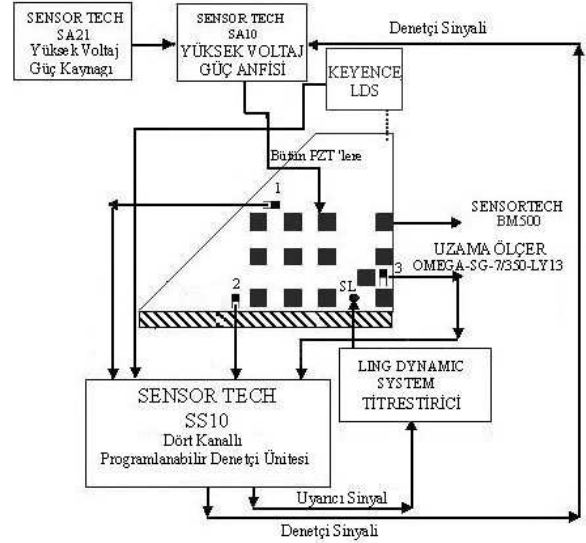
Şekil 2. Denetçi Tasarımında Kullanılan Sistem Modeli

Elde edilen bu sistem modelindeki olası belirsizlikler ve denetçiden beklenen performans kriterleri belirlenmiştir. Sistem modeline bu değerler de eklenerek H_{inf} denetçi tasarımı için gerekli forma getirilmiştir. Matlab v6.5 kullanılarak tasarlanan denetçilerin mu-analizleri yapılmış ve bu analizler sonucunda denetçilerin belirsizliklere karşı gürbüz (robust) oldukları gösterilmiştir.

Denetçi tasarımında tek-girdili çok-çıkıtlı sistem modeli kullanılmıştır. Modellerden ilkinde uzama ölçerlerden (SG2, SG3) ölçülen sistem cevabı denetçi girdisi olarak kullanılırken, diğerinde lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazı ile uzama ölçerden (SG2) ölçülen sistem cevabı denetçi girdisi olarak kullanılmıştır. Her iki durumda da akıllı finin her iki yüzeyinde bulunan piezoelektrik yamalar denetçi sinyalinin uygulanmasında kullanılmıştır.

4. KAPALI DÖNGÜ DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE DENEY DÜZENENEĞİ

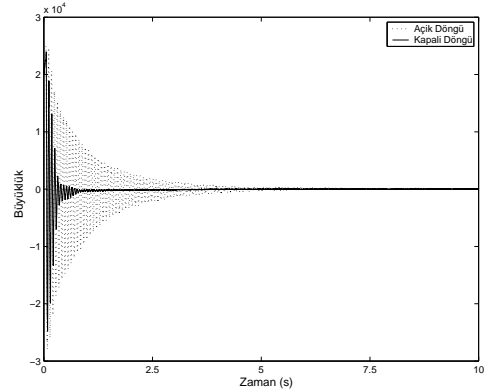
Tasarlanan denetçilerin gerçek zamanda uygulanabilmesi için kullanılan deney düzeneği Şekil-3'te verilmiştir.



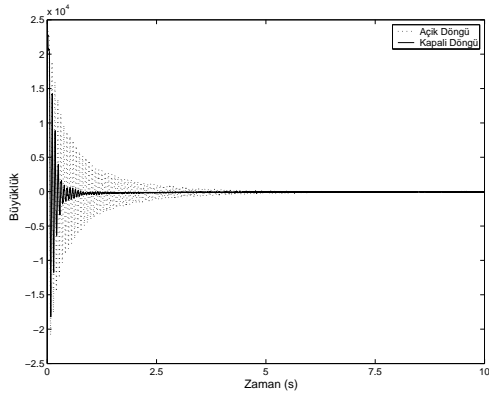
Şekil 3. Deney Düzeneği

4.1 Akıllı Finin Serbest Titreşimlerinin Kontrolü

Şekil-4'te yalıtkan yüzey yapıştırılmış olan akıllı finin serbest ucuna verilen 3 cm'lik bir yerdeğiştirme sonucunda akıllı finin deneysel yoldan elde edilmiş açık ve kapalı döngü zaman cevapları verilmiştir.



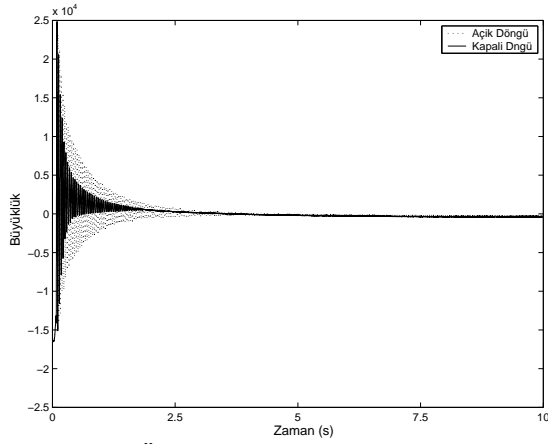
(a) Uzama Ölçer 2'den (SG2) Elde Edilen Zaman Cevapları



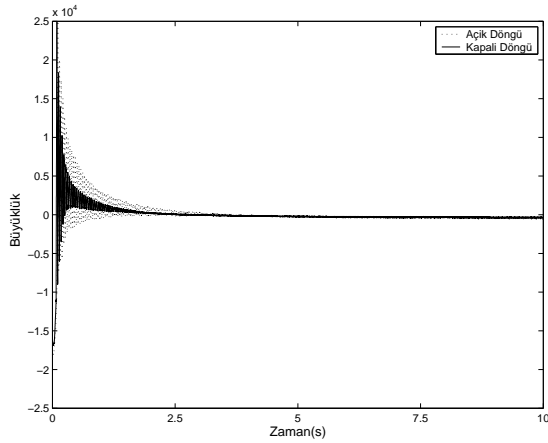
(b) Uzama Ölçer 3'den (SG3) Elde Edilen Zaman Cevapları

Şekil 4. Yalıtkan Yüzeylerin Yapıştırılmış Olduğu Akıllı Finin Uzama Ölçerler Kullanılarak Ölçülen Açık ve Kapalı Döngü Serbest Zaman Cevapları

Yalıtkan yüzey yapılandırılmamış olan akıllı finin için aynı deney tekrar edilmiş ve elde edilen açık ve kapalı döngü zaman cevapları Şekil-5'te verilmiştir.



(a) Uzama Ölçer 2'den (SG2) Elde Edilen Zaman Cevapları



(b) Uzama Ölçer 3'den (SG3) Elde Edilen Zaman Cevapları

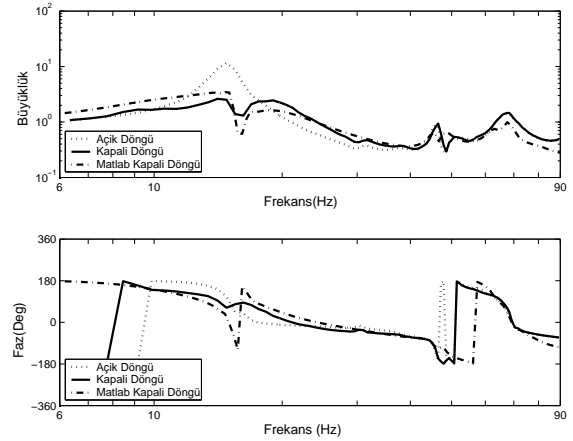
Şekil 5. Yalıtkan Yüzeylerin Yapıştırılmadığı Akıllı Finin Uzama Ölçerler Kullanılarak Ölçülen Açık ve Kapalı Döngü Serbest Zaman Cevapları

Şekil-4'te görüldüğü üzere, her iki uzama ölçerden alınan veriler, akıllı finin serbest titreşimlerinin kapalı döngü sisteminde 1 saniyeden daha az bir sürede sönümlendiğini göstermektedir. Aynı zamanda, her iki yüzeyde bulunan piezoelektrik yamaların denetçi uyarıcısı olarak kullanılmasından ötürü, Şekil-4'te verilen yalıtkan yüzey yapılandırılmış akıllı finin uzama ölçerlerden alınan cevabının, Şekil-5'te verilen yalıtkan yüzey yapılandırılmamış akıllı finin cevabına kıyasla daha düzgün olduğu gözlemlenmiştir.

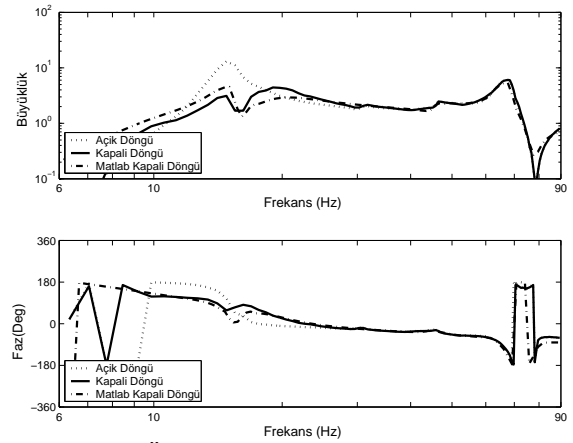
4.2 Akıllı Finin Zorlanmış Titreşimlerinin Kontrolü

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 sinyalini uygulaması ile oluşturulmuştur. Sistemin bu zorlama altındaki açık ve kapalı döngü frekans cevapları teorik ve

deneyisel olarak incelenmiş ve elde edilen frekans cevapları Şekil-6'da verilmiştir.



(a) Uzama Ölçer 2'den (SG2) Elde Edilen Frekans Cevapları



(b) Uzama Ölçer 3'den (SG3) Elde Edilen Frekans Cevapları

Şekil 6. Yalıtkan Yüzeylerin Yapıştırıldığı Akıllı Finin Uzama Ölçerler Kullanılarak Ölçülen Açık ve Kapalı Döngü Zorlanmış Frekans Cevapları

Akıllı finin açık ve kapalı döngü titreşimlerinin genliğinin birbirlerine olan oranı sönümlenme değeri olarak adlandırılmıştır. Akıllı finin ilk moddan kaynaklanan titreşimlerinin sönümlenme değerleri her bir uzama ölçerinin ölçümlerinden elde edilmiş ve yalıtkan yüzey yapılandırılmış ve yapılandırılmamış iki akıllı fin modeli için Tablo-1'de verilmiştir.

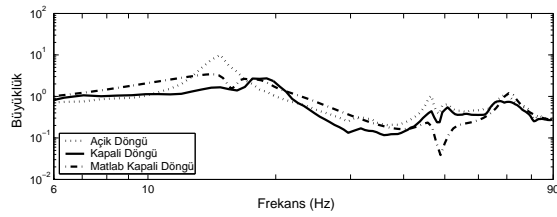
Tablo 1. Yalıtkan Yüzey Yapıştırılmış ve Yapıştırılmamış iki Akıllı Fin Modelinin İlk Modundaki Sönümlenme Değerleri (Denetçi Girdisi SG2 ve SG3 Uzama Ölçer Ölçümleridir)

Mod		İlk
Yalıtkan Yüzey Yapıştırılmış Akıllı Fin Modeli	SG2	4.54
	SG3	4.65
Yalıtkan Yüzey Yapıştırılmamış Akıllı Fin Modeli [10]	SG2	2.76
	SG3	2.72

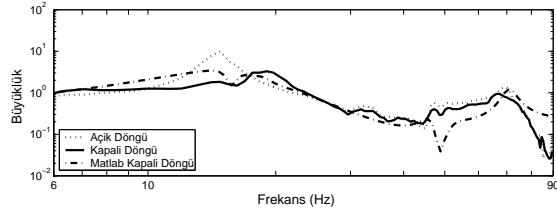
Tablo-1'den de görüldüğü üzere yalıtkan yüzey yapıştırılmış akıllı fin modelinde ilk modda diğer modele kıyasla daha iyi bir sönümlenme değeri elde edilmiştir. Bunun sebebi ise yalıtkan yüzeyler sayesinde her iki yüzeyde bulunan piezoelektrik yamaların titreşim sönümlenmesinde uyarıcı olarak kullanılabilmesidir.

Daha önceki çalışmalarımıza kıyasla sistemde yapılan diğer bir değişiklik ise lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazı ile uzama ölçerlerin aynı anda denetçi girdisi olarak kullanılmasıdır.

Şekil-7'de hem lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazından hem de uzama ölçerden (SG2) ölçülen sistemin cevabının denetçi girdisi olarak birlikte kullanıldığı sistemin zorlanmış titreşimlerinin açık ve kapalı döngü frekans cevapları teorik ve deneysel olarak verilmiştir.



(a) Uzama Ölçer 2'den (SG2) Elde Edilen Frekans Cevapları



(b) Lazer Yardımıyla Yerdeğiştirme Ölçüm Cihazından Elde Edilen Frekans Cevapları

Şekil 7. Yalıtkan Yüzeylerin Yapıştırıldığı Akıllı Finin Uzama Ölçerler ve Lazer Yardımıyla Yerdeğiştirme Ölçüm Cihazı Kullanılarak Ölçülen Açık ve Kapalı Döngü Zorlanmış Frekans Cevapları

Tablo-2'de bu birlikte yapılan durum için ilk modda elde edilen sönümlenme değerleri verilmiştir. Daha önceki çalışmalarımızda hem uzama ölçerden, hem de lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazından alınan değerlerin aynı anda denetçi girdisi olarak

kullanılmasına olanak olmadığı için, yalıtkan yüzey yapıştırılmamış akıllı fin için verilen sönümlenme değerleri tek-girdili tek-çıkıtlı denetçiler ile elde edilmiş sönümlenme değerleridir.

Tablo 2. Yalıtkan Yüzey Yapıştırılmış ve Yapıştırılmamış İki Akıllı Fin Modelinin İlk Modundaki Sönümlenme Değerleri (Denetçi Girdisi SG2 Uzama Ölçer ve Lazer Yardımıyla Yerdeğiştirme Ölçüm Cihazı Ölçümleridir)

Mod	İlk
Yalıtkan Yüzey Yapıştırılmış Akıllı Fin Modeli	5.85
Yalıtkan Yüzey Yapıştırılmamış Akıllı Fin Modeli [10]	5.31
Yalıtkan Yüzey Yapıştırılmış Akıllı Fin Modeli	1.55
Yalıtkan Yüzey Yapıştırılmamış Akıllı Fin Modeli [10]	1.78

Tablo-2'den de görüldüğü üzere yalıtkan yüzey yapıştırılmış olan akıllı fin için elde edilen sönümlenme değerleri yalıtkan yüzey yapıştırılmamış akıllı fin için elde edilene kıyasla daha yüksektir.

5. SONUÇLAR

Çalışmanın ilk kısmında akıllı finin serbest ve zorlanmış titreşimlerinin sönümlenmesi için denetçi tasarımında kullanılacak olan sistem modeli deneysel yollardan elde edilmiştir. Daha sonra H_{inf} metodu ile, elde edilen bu sistem modeli kullanılarak akıllı finin serbest ve ilk moddan kaynaklanan zorlanmış titreşimlerinin sönümlenmesi için denetçi tasarımına gidilmiştir. Denetçi tasarımında, hem uzama ölçerler hem de uzama ölçer ve lazer yardımıyla yerdeğiştirme ölçüm cihazından alınan değerler denetçi girdisi olarak kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında, tasarlanan denetçilerin titreşim sönümlemedeki etkinlikleri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel veriler, tasarlanan denetçilerin akıllı finin serbest titreşimlerini sönümlediğini göstermiştir. Denetçilerin titreşim sönümlemedeki etkinliğinin yanı sıra, yalıtkan yüzey yapıştırılmış olan akıllı fin modelinde her iki yüzeyde bulunan piezoelektrik yamaların denetçi uyarıcısı olarak kullanılmasından ötürü, uzama ölçerlerden alınan yapının cevabının diğer modele kıyasla daha simetrik olduğu gözlemlenmiştir.

Yalıtkan yüzey yapıştırılmış olan akıllı finin zorlanmış titreşimlerinin kontrolünde, tasarlanan denetçilerin akıllı finin ilk moddan kaynaklanan titreşimlerinin sönümlenmesinde diğer modele göre daha etkin olduğu saptanmıştır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Crawley, E. F., Louis, J., "Use of Piezoelectric Actuators as Elements of Intelligent Structures", AIAA Journal, October 1989.
- [2] Prasad, S. E., Wallace, J.B., Petit, B. E., Wang, H., Jen, C. K., Kalaycıoğlu, M. Giray "Development of Composite Structures for Static Shape Control", SPIE, Far East and Pacific Rim Symposium on Smart Materials, Structures and MEMS (Banglor,India)

- [3] Nalbantoglu, V., "Robust Control and System Identification for Flexible Structures", PhD Thesis, University of Minnesota, July 1998.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Yaman, Y., Çalışkan, T., Nalbantoğlu, V., Prasad, E., Waechter, D., "Active Vibration Control of a Smart Plate", ICAS2002, Toronto, Canada, 2002.
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] Çalışkan, T., Piezoelectric Ceramics and Their "Application in Aerospace Structures", Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, September, 2002.
- [10] Ülker, F. D., "Active Vibration Control of Smart Structures", MSc Thesis, Middle East Technical University, September, 2003.