

AKILLI YAPILARIN HAVACILIK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİNDEKİ UYGULAMALARI

Yavuz Yaman ^(a), Tarkan Çalışkan ^(b), Volkan Nalbantoğlu ^(c),

Fatma Demet Ülker ^(d), Eswar Prasad ^(e),

- (a) Havacılık ve Uzay Müh. Böl. 06531 ODTÜ- Ankara, yyaman@metu.edu.tr
(b) Havacılık ve Uzay Müh. Böl. 06531 ODTÜ- Ankara, tarkan@ae.metu.edu.tr
(c) Havacılık ve Uzay Müh. Böl. 06531 ODTÜ- Ankara, volkan@ae.metu.edu.tr
(d) Havacılık ve Uzay Müh. Böl. 06531 ODTÜ- Ankara, dulker@ae.metu.edu.tr
(e) Sensor Techonology Ltd. Kanada, eprasad@sensortech.ca

1. ÖZET

Akıllı mühendislik yapıları, piezoelektrik, elektrostriktif, magnetostriktif ve fiber optik gibi malzemelerin pasif yapılara entegre edilmeleriyle elde edilen yapılardır. Akıllı yapılar, pasif yapının istenildiği gibi yönlendirilmesine olanak veren özellikleri ile günümüz mühendislik uygulamalarında geniş bir şekilde kullanılmaktadırlar. Uçak ve helikopter gibi havacılık yapılarındaki titreşime ve gürültüye bağlı olan flutter, tail-buffet ve blade-vortex interaction gibi problemlerin çözümü için akıllı yapıların kullanıldığı çalışmalar sürmektedir. Akıllı yapılar günümüzde havacılık ve uzay mühendisliğinden otomotiv mühendisliğine (aktif süspansiyon tasarımı), makina mühendisliğinden (akıllı motorlar) inşaat mühendisliğine (akıllı malzemelerle asma köprülerin yapısal sağlık denetimi) kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu bildiride ODTÜ. Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde konu ile ilgili sürdürülen çalışmalar sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Yapılar, Piezoelektrik, Sonlu Elemanlar Yöntemi

2. ABSTRACT

Smart structures are constructed by the integration of active materials with passive structures. Those active materials are usually piezoelectric, electrostrictive, magnetostrictive and fiber optic materials. Smart structures are extensively used in recent engineering applications and provide the controlling of the passive structures. The studies involving the use of smart structures in the elimination of flutter, tail-buffet and blade-vortex interaction problems in aerospace structures due to vibration and noise are continuing. Nowadays, the smart structures has a wide range of utilization from aerospace engineering applications to automotive industry (active suspension design), from mechanical engineering applications (smart engines) to civil engineering applications (health monitoring of the suspension bridges). This paper presents the studies conducted on smart structures in METU Aerospace Engineering Department.

Keywords: Smart Structures, Piezoelectricity, Finite Element Method

3. GİRİŞ

Günümüzde akıllı malzemelerin ve yapıların teknolojide çığır açabilecek bir imkan yarattıkları kabul edilmiş ve bu alandaki çalışmalar hızla ilerlemiştir [1]. Özellikle, titreşim kontrolü ile aerodinamik ve hidrodinamik akım kontrolüne yönelik uygulamalarda, titreşim ve gürültünün azaltılması, taşıma yüzeylerinin şekil optimizasyonu ile yapıların dinamik ve aeroelastik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır [2]. Kullanım alanları olarakta uçak kanatları, kontrol yüzeyleri, helikopter rotor elemanları, uçakların hava alıkları ve motor egzost çıkışları gösterilmektedir. Konu önemi itibarıyla, Türkiye'nin geri kalmaması gereken bir alandır. Oluşturulacak alt yapı ve bilgi birikimi ile, akıllı yapılar konusunda, diğer ülkelerin yürütmekte oldukları araştırma konularını ve teknolojilerini yakalamamız mümkün olacaktır.

4. AKILLI YAPILAR

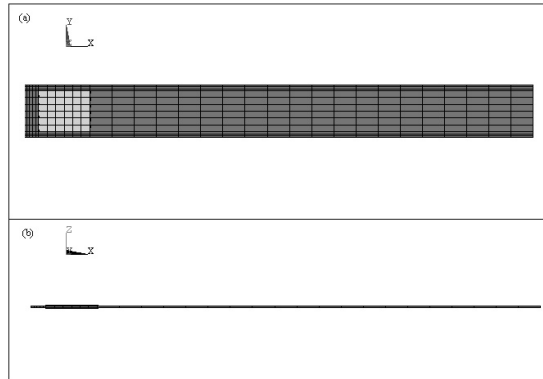
Akıllı yapılar (smart structures), geometrik ve yapısal özelliklerini beklenen görevlerin niteliğine uygun biçimde değiştirebilen yapılar olarak tanımlanmaktadır. Görevin amacı açısından faydalı olan bu değişimler dıştan uygulanan kumandalarla olabileceği gibi, dış uyarılara karşı yapının otomatik olarak gösterdiği tepkiler biçiminde de olabilir. Akıllı yapılar aslında pasif yapı ile birlikte uyarıcılar (actuators), algılayıcılar (sensors), ve yönlendiricilerin (controllers) bir arada bulunduğu entegre sistemlerdir. Uyancılar ve algılayıcılar farklı elemanlar olabileceği gibi aynı eleman da olabilirler. İki farklı amaç için kullanılacak bu tür elemanların tersinir özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Sistemin ismi de aslında bu tersinir elemanlardan gelmektedir. Akıllı malzemeler (smart materials) olarak tanımlanan bu malzemeler herhangi bir elektriksel alan altında mekanik olarak şekil değiştirebildiği gibi (elektromekanik etki), herhangi bir boyutsal değişiklik sonucunda elektrik sinyali üretebilmektedir (mekanoelektrik etki). Bu tür malzemelere en iyi örnek piezoelektrik malzemelerdir. Piezoelektrik etki gösterebilen çok miktarda malzeme olmasına karşın, genelde bu tür malzemeler iki ana grupta toplanabilir. Birinci grup kristal yapı gösteren ve seramik şeklinde olanlardır. Bunlar içinde en yaygın kullanımı olan PZT (lead-zirconium-titanate) adı verilen kurşun-zirkonyum-titanat bileşimidir. İkinci grup ise piezoelektrik etki gösteren polimerlerdir. PVDF (Polyvinylidene fluoride polymer) bu tür malzemelerden biridir. Piezoelektrik etki gösteren bu malzemelerden yapılan algılayıcı ve uyancılar, yapıların ya yüzeylerine yapıştırılmakta ya da yapıya gömülmektedir. Bu elemanlarla akıllı duruma getirilen yapı yönlendiricilerin de yardımıyla kontrol edilebilmekte ve istenmeyen titreşim, gürültü, şekil değiştirme gibi etkiler kolaylıkla ve etkinlikle yok edilebilmektedir.

Algılayıcılar temel olarak yapıdaki değişimlerin belirlenmesinde, uyarıcılar ise yapıda istenen değişikliklerin sağlanmasında etkindirler. Bu değişimler ve gerekli olan değişiklikler hem statik hem de dinamik özelliklerde olabilir. Örneğin yapıda aşırı bir birim değişiklik saptanırsa, buna neden olan yüzey eğimi ya da yer değiştirmenin giderilmesi için uyancılardan yararlanılır. Başka bir örnek olarak algılayıcı(lar) eğer kanattaki kaldırma kuvvetinin değiştiğini belirlerse; uygun kontrol sinyalleri sayesinde, uyarıcı(lar) kanat kaldırma kuvvetini en uygun seviyeye getirmeye çalışır. Görüldüğü gibi farklı amaçlar için etkin ve uygulaması kolay olabilecek algılayıcı ve uyarıcı konfigürasyonunun tasarlanması, üretimi, uygulanması ve denenmesi günümüz araştırmacılarının önündeki en büyük problemlerden biridir.

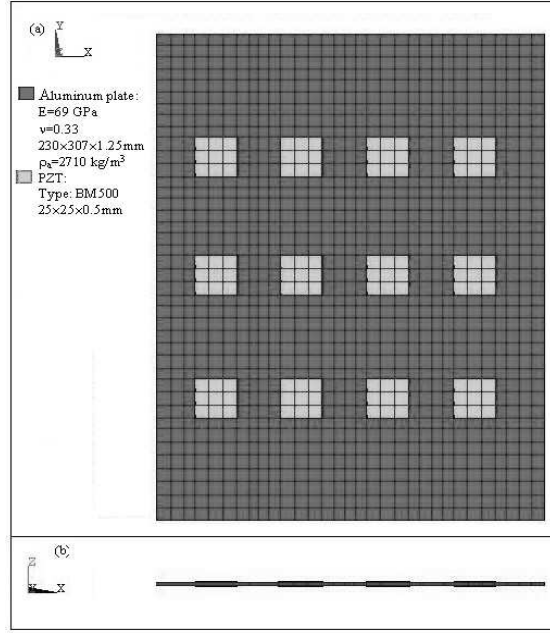
Akıllı malzemelerin kullanılmasıyla akıllı yapıların oluşturulması ilk olarak 1968 de Henry Clauser tarafından ortaya atılmıştır [3]. Hızla gelişen çalışmalarla çeşitli uygulamalar yapılmıştır [4-15].

5. ODTÜ HAVACILIK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜNDE YÜRÜTÜLEN ÇALIŞMALAR

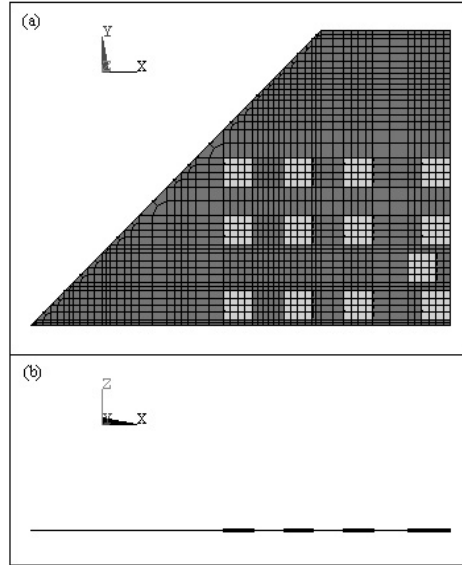
ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde yürütülen çalışmaların amacı, akıllı havacılık yapılarının teorik ve deneysel çalışmalarının yapılabileceği bir laboratuvar oluşturmak ve bu laboratuvarında akıllı yapıların titreşim kontrolü ve yapısal sağlıklarının izlenmesi ile ilgili modelleri geliştirmektir. Yüze yapıştırılan piezoelektrik algılayıcı ve uyancıların etkileri ve etkinlikleri, alüminyum kirişler ve plaklar üzerinde incelenmiştir [16-21]. Şekiller 1-3 sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS paket programı yardımıyla geliştirilen akıllı kiriş, akıllı plak ve akıllı fin modellerini göstermektedir. Teorik incelemesi yapılan bu elemanlarla ilgili deneyler, planlanan laboratuvarın kuruluş sürecinin uzaması nedeniyle, NATO/RTO/AVT/T-121 projesi kapsamında Kanada'da yerleşik Sensortech Ltd. firmasında yapılmıştır. Elde edilen deneysel verilerin işlenmesi ile geliştirilen PID ve H_{∞} kontrol modelleri kullanılarak akıllı yapıların titreşim kontrolü sağlanmıştır. Şekiller 4-6 incelenen akıllı yapıların kontrol uygulanmamış (open loop) ve kontrol uygulanmış (closed loop) frekans cevaplarını göstermektedir. Konu ile ilgili olarak bir DPT projesi tamamlanmış, ikinci bir NATO projesi (NATO/RTO/AVT/T-129) sürmektedir.



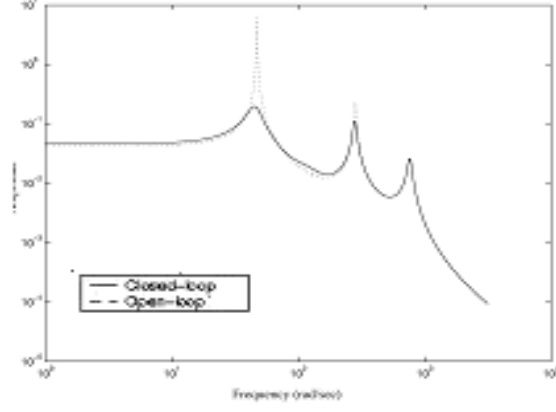
Şekil 1. Akıllı kiriş modeli
1.a. Üst görünüş
1.b. Yan görünüş



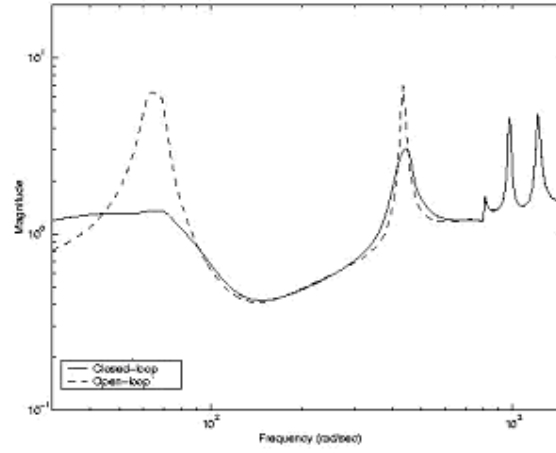
Şekil 2. Akıllı plak modeli
2.a. Üst görünüş
2.b. Yan görünüş



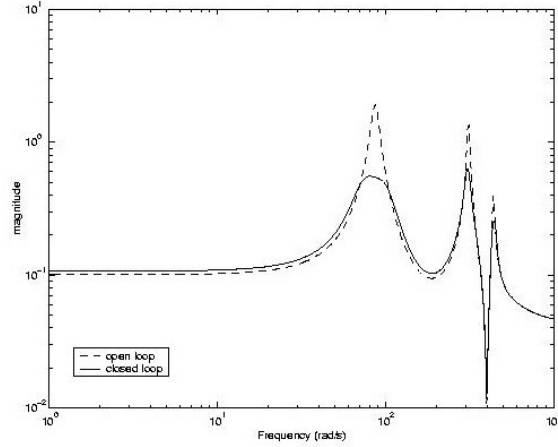
Şekil 3. Akıllı fin modeli
3.a. Üst görünüş
3.b. Yan görünüş



Şekil 4. Akıllı giriş frekans cevabı



Şekil 5. Akıllı plak frekans cevabı



Şekil 6. Akıllı fin frekans cevabı

5. KAYNAKÇA

1. Aerospace 2020 (1997), AGARD Advisory Report 360
2. C. R. Crowe, and J. M. Sater, (1997), "Smart Aircraft Structures", NATO AGARD Conference on "Future Aerospace Technology in the Service of the Alliance"
3. H. R. Clauser, (1968), "Modern Materials Concepts Make Structure Key to Progress", Materials Engineering, Vol. 68 (6), 38-42.
4. E. F. Crawley, J. de Louis, (1989), "Use of Piezoelectric Actuators as Elements of Intelligent Structures", AIAA Journal
5. A. S. Bicos, J. J. Tracy, (1989), "Structural Considerations for Sensor Selection and Placement", SPIE Vol. 1170 Fiber Optic Smart Structures and Skins II.
6. C. K. Lee, (1990), "Theory of Laminated Piezoelectric Plates for the Design of Distributed Sensors/Actuators. Part I: Governing Equations and Reciprocal Relationships", Journal of Acoustic Soc. Am, 87 (3).
7. W. B. Spillman Jr., P. L. Fuhr, (1990), "Impact Detection and Location System for Smart Skins Applications", SPIE Vol. 01, 1370 Fiber Optic Smart Structures and Skins III.
8. C. C. Won, J. L. Sulla, D. W. Sparks Jr. and W. K. Belvin, (1994), "Application of Piezoelectric Devices to Vibration Suppression", Journal of Guidance, Control and Dynamics, Vol. 17, No: 6
9. J. Dosch, L. Donald and Inmann D., (1995), "Modeling and Control for Vibration Suppression_of Flexible Active Structure", Journal of Guidance, Control and Dynamics, Vol.18, No:2

10. Z. Chaudhry, T. Joseph, F. Sun, and C. Rogers, (1995), , "Local-Area Health Monitoring of Aircraft via Piezoelectric Actuator/Sensor Patches", SPIE North America Conference on Smart Structures and Materials, San Diego, CA.
11. Z. Chaudhry , F. Lalande, A. Ganino, C. A. Rogers., and J. Chung.,(1995), "Monitoring Integrity of Composite Patch Structural Repair via Piezoelectric Actuators/Sensors", 36th AIAA/ ASME/ ASCE/ AHS/ ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference and AIAA/ASME Adaptive Structures Forum, Part 4 New Orleans, LA,
12. R. W. Moses, (1997), "Vertical Tail Buffeting Alleviation Using Piezoelectric Actuators", Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies, SPIE, 3044, 3044-07.
13. R. M. Hauch, J. H. Jacobs, K. Ravindra, and C. Dimas, (1995), "Reduction of Vertical Tail Buffet Response Using Active Control", 36th Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, AIAA-95-1080-CP (Part 4).
14. R. C. Derham and N. W. Hagood, (1996), "Rotor Design Using Smart Materials to Actively Twist Blades", American Helicopter Society 52nd Annual Forum.
15. J. N. Kudva, A. J. Lockyer, and K. Appa, (1996), "Adaptive Aircraft Wing" AGARD Lecture Series 205 Smart Structures and Materials: Implications for Military Aircraft of New Generation,10, 1-5
16. T. Çalışkan, V. Nalbantoğlu, Y.Yaman, (2001), "Akıllı Yapılar Yardımıyla Aktif Titreşim Kontrolü", 10. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.
17. T. Çalışkan, Y. Yaman, V. Nalbantoğlu, (2001), "Akıllı Yapıların Sonlu Elemanlar Tekniği Kullanılarak Modellenmesi", 10. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.
18. Y. Yaman, T. Çalışkan, V. Nalbantoğlu, E. Prasad, D. Waechter, (2001), "Active Vibration Control of a Smart Beam", Canada-US CanSmart Workshop on Smart Materials and Structures, Montreal, Kanada.
19. T. Çalışkan, D. Ülker, Y.Yaman, V. Nalbantoğlu ve E.Prasad, (2002), "Sonlu Elemanlar Tekniğiyle Elde Edilen Akıllı Kiriş Modelinin Hassasiyetinin İyileştirilmesi", Kayseri IV. Havacılık Sempozyumu, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.
20. Y. Yaman, T. Çalışkan, V. Nalbantoğlu, F. D. Ülker, E. Prasad, D. Waechter, B. Yan, (2002), "Vibration Control of Smart Plates by Using Piezoelectric Actuators", ESDA2002, 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design And Analysis, İstanbul, Türkiye.
21. Y. Yaman, T. Çalışkan, V. Nalbantoğlu, E. Prasad, D. Waechter, (2002), "Active Vibration Control of a Smart Plate", ICAS2002, Toronto, Kanada.