

PİEZOELEKTRİK MALZEMELER YARDIMIYLA ENERJİ HASATI

Ahmet Levent AVŞAR ^(a), Melin ŞAHİN ^(b)

^(a) Yüksek Makine Müh., METEKSAN Savunma, lavsar@meteksan.com

^(b) Yrd. Doç., ODTÜ, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, msahin@metu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde alternatif enerji kaynakları önemli bir konu olarak tartışılmaktadır. Bu kapsamda, piezoelektrik malzemeler çalışma prensipleri dolayısıyla alternatif enerji kaynağı olarak düşünülebilirler. Özellikle uygulandıkları yapılar göz önünde bulundurulsa hasat edilen enerji, uygulanan yapının tüm enerji ihtiyacını karşılayabilir. Bu yapılara örnek olarak mini insansız hava araçları ve yapısal sağlık izlenim sensörleri verilebilir. Bu çalışmada sabit mesnetli bir kirişin üzerine yerleştirilmiş olan piezoseramik yamadan, elde edilebilecek enerji miktarı sonlu elemanlar ve deneysel yöntemler ile incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Piezoelektrik malzeme, enerji hasatı, sonlu elemanlar methodu

ABSTRACT

In recent days, alternative energy resources are discussed as an important topic. In this aspect, piezoelectric materials are thought as alternative energy source due to working principle of this materials. If application structure of piezoelectric material is selected very well, energy need can be supplied by this material. Mini unmanned air vehicle and structural health monitoring sensors can be given as an example for this structures. In this study, harvested energy from piezoceramic patch, which is applied to the cantilevered beam, is investigated by both finite element and experimental techniques.

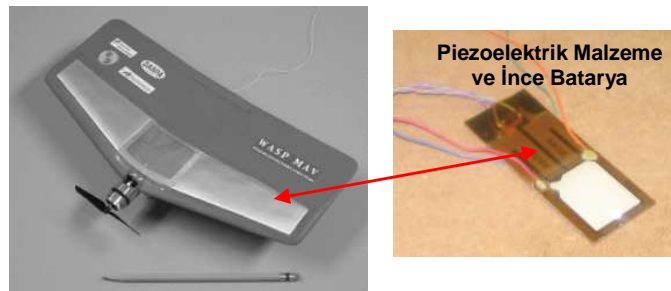
Keywords: Piezoelectric material, energy harvesting, finite element method

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların kullanımı nedeniyle artan karbon salınımı, çevreci tasarımlar ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılmasıyla azaltılmaya çalışılmaktadır. Bu amaçla güneş, rüzgar ve hidrojen gibi alternatif enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması amacıyla gerekli olan çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca hali hazırda çalışan yapılar üzerinden de bir miktar enerji elde edilmesine yönelik yöntemlerde geliştirilmektedir.

Çalışma şekline bağlı olarak yapılar üzerinde farklı karakteristiklerde titreşimler oluşmaktadır. Piezoelektrik malzemelerin çalışma prensibini kullanarak bu titreşimlerden enerji elde etmek mümkündür. Piezoelektrik malzemeler üzerlerinde oluşan yer değiştirmeler sebebiyle voltaj üretmektedirler. Bu voltaj uygun bir çevirici devreden geçirilerek enerji elde edilebilir. Uygun piezoelektrik malzeme/yapı kullanımı, geometri seçimi ve piezoelektrik malzemenin yapı üzerinde uygulanacakları yerinin optimum belirlenmesi ile enerji elde edimi maksimize edilebilir.

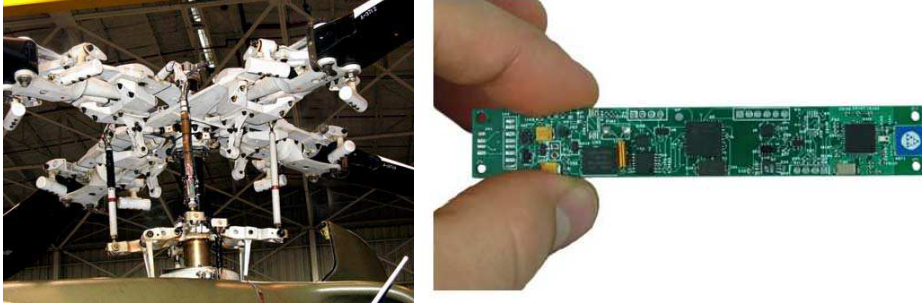
Farklı tipteki ve boyuttaki hava araçlarına artan ilgi dolayısıyla, bu hava araçlarının enerji ihtiyaçları için alternatif tasarımlar ve kaynaklar araştırılmaktadır. Bu konudaki en önemli çalışmalardan birisi de "Clean Sky" adlı projedir [1]. Bu çalışmaya Airbus, Rolls-Royce, EADS ve Thales gibi Avrupa'nın önde gelen firmaları destek vermektedir. Bu kapsamda hava yapılarının aero-dinamik yüzeylerine akıllı yapılar (ör: piezoelektrik malzemeler) kullanarak yakıt tüketiminin azaltılması planlanmaktadır. Şu anki teknoloji ile büyük çaptaki hava araçlarının enerji ihtiyacını karşılamak pek mümkün gözükme de mini boyutlardaki hava araçlarının enerji ihtiyacı bu akıllı yapılar aracılığı ile karşılanabilir. Bu duruma örnek olarak ABD'deki bir proje kapsamında AeroVironment Inc. tarafında tasarlanan "WASP Mini UAV" verilebilir [2]. Bu mini insansız hava aracının kanatlarında bulunan piezoelektrik malzemeler ve ince bataryalar sayesinde gerekli olan enerji sağlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Mini WASP UAV ve Akıllı Yapı [2]

Ayrıca yapısal sağlık kontrolü amacıyla kullanılan sensörlerin enerji ihtiyacı da piezoelektrik malzemeler kullanarak sağlanabilir. Özellikle bu sensörlerin uygulandıkları yerler sebebiyle kablo kullanılmamaktadır ve enerji ihtiyaçları

piller tarafından sağlanmaktadır. Bu pillerin dönemsel olarak kontrol edilip, sistemin düzgün ve devamlı çalışması amacıyla değiştirilmesi gerekmektedir. Eğer bu piller ile birlikte piezoelektrik enerji hasatı sistemleri de kullanılırsa, yapısal sağlık kontrolü için kullanılan sistemin güvenilirliği ve devamlılığı da sağlanmış olur. Bu konuya örnek olarak helikopterin ana rotoruna yerleştirilmiş olan yapısal sağlık kontrolü sisteminin enerjisi piezoelektrik enerji hasatı (Şekil 2) ile karşılanmaktadır [3].



Şekil 2. Yapısal Sağlık Kontrolü Sistemi [3]

Piezoelektrik enerji hasatı sistemleri sadece havacılık yapılarında değil enerji ihtiyacı duyan ve titreşim üreten tüm sivil ve askeri yapılarda kullanılabilir. Örneğin, askeri bir personelin sırt çantası için tasarlanmış bir piezoelektrik enerji hasatı sistemi (Şekil 3) sayesinde operasyon esnasında oluşan titreşimler sayesinde enerji sağlanabilir [4] ve bu enerji telsizin pilini şarj etmek amacıyla kullanılabilir.



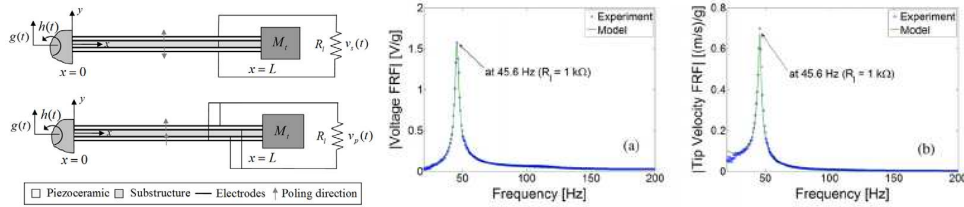
Şekil 3. Sırt Çantası için Tasarlanan Piezoelektrik Enerji Hasatı Sistemi [4]

Bu çalışmada piezoelektrik enerji hasatı sistemi tasarımına ışık tutacak basit akıllı bir yapı incelenecektir. Basit akıllı yapı sabit mesnetli bir kiriş ve piezoseramik malzeme içermektedir. Bu akıllı yapının titreşim altında oluşturduğu enerji karakteristiği hem sonlu elemanlar hem de deneysel yöntemler ile incelenecek ve doğrulanacaktır.

2. TEORİ

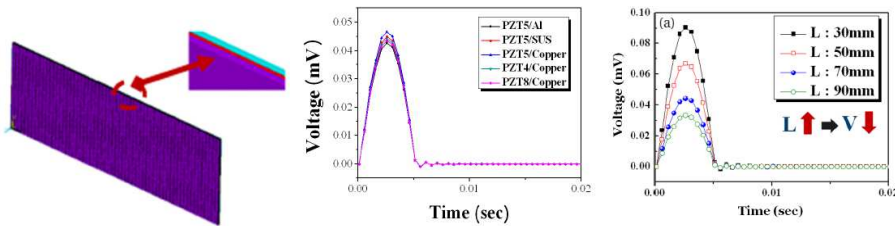
Akıllı yapıların modellenmesinde hem analitik hem de sonlu elemanlar yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Basit yapılar için analitik modelleme mümkün olsa da karışık ve kompleks yapılar için analitik yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu durumda sonlu elemanlar yönteminin kullanılması kaçınılmazdır. Her iki modelleme yöntemiyle elde edilen sonuçlar deneysel çalışmalar ile doğrulanmalıdır.

Williams ve Yates [5] enerji hasatı amacıyla oluşturulan ve elektromanyetik malzeme içeren akıllı yapılar için tek mertebeli basit analitik modeli önermiştir. Ertürk ve İnman [6] ise iki örtülü (bimorph) olarak yağıştırılmış piezoseramik içeren bir akıllı yapı için analitik model oluşturmuştur ve bu analitik model deneysel yöntemler ile doğrulanmıştır.



Şekil 4. Akıllı Yapının Analitik ve Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması [6]

Akıllı yapıların modellenmesi ve enerji hasatı için karakterizasyonu amacıyla sonlu elemanlar yöntemi de kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar bir yaklaşım yöntemi olsa da, karmaşık yapılarda bile doğru malzeme özelliği, geometri ve sınır koşulu tanımlamasıyla gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilir. Akıllı bir yapı için ANSYS ticari sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak oluşturulan bir model ile elde edilmiş sonuçların deneysel yöntemlerle karşılaştırılması Şekil 5'te verilmiştir [7]

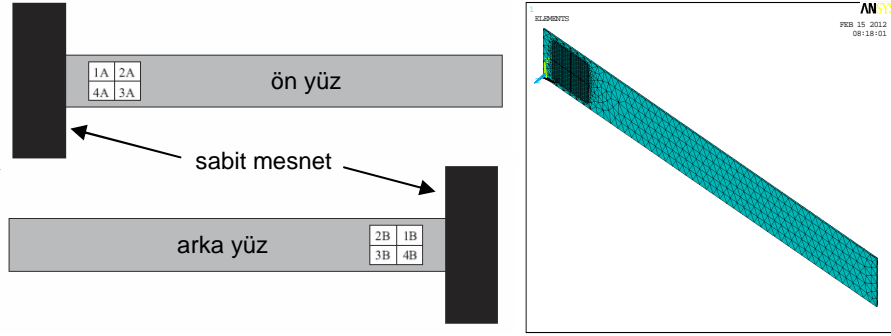


Şekil 5. Akıllı Yapının Sonlu Elamanlar ve Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması [7]

Tüm bu modelleme yöntemleri kullanılarak tasarlanacak akıllı yapıdan elde edilecek enerji miktarı bulunabilir. Ayrıca bu yöntemler ile birlikte yapılacak optimizasyon çalışmaları ile sistemden maksimum enerji elde edilmesi de mümkündür.

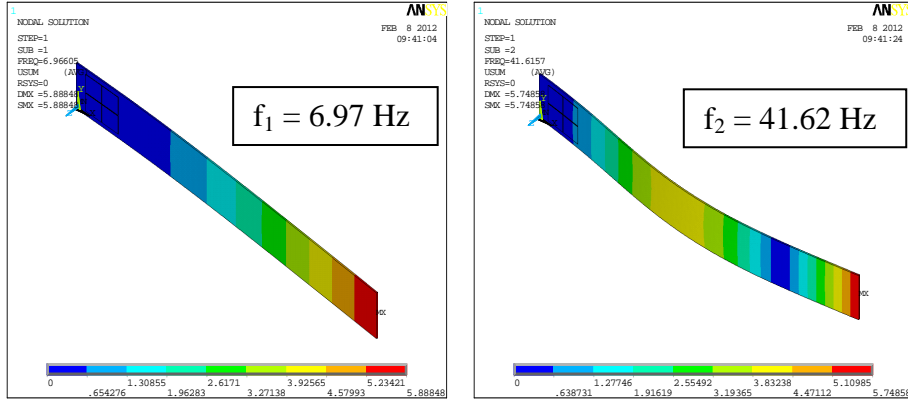
3. AKILLI YAPININ SONLU ELEMANLAR MODELİ VE ANALİZİ

Alüminyum kirişin üzerine iki örtülü (bimorph) şeklinde yerleştirilmiş ve sekiz adet piezoseramik yama (BM500) içeren akıllı bir yapının yapısal modeli ANSYS yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 6). Sabit mesnetli alüminyum kiriş için SOLID 186 [8] ve piezoseramik yama için SOLID 226 [8] eleman tipleri kullanılmıştır. Oluşturulan model 61100 adet düğüm ve 31870 eleman içermektedir, Şekil 6.



Şekil 6. Akıllı Yapının Basit Gösterimi ve Sonlu Elemanlar Modeli

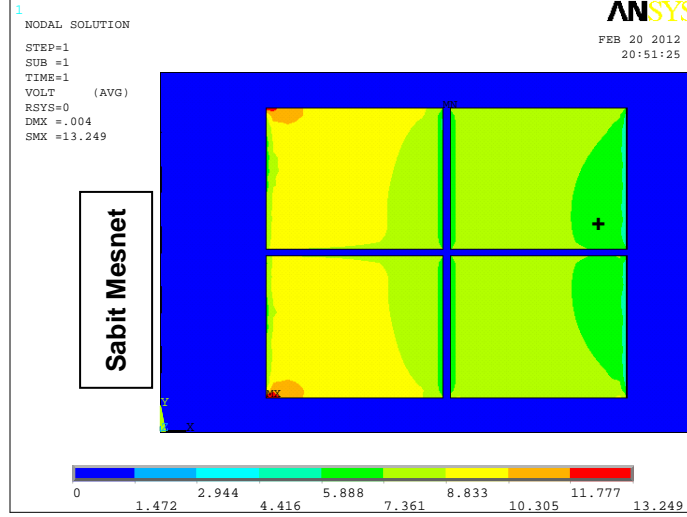
Bu yapısal model kullanarak, sistemin dinamik karakteristiğini çıkarabilmek ve sonlu elemanlar modelini deneysel yöntemler ile doğrulamak amacıyla modal ve statik analizler yapılmıştır. Modal analiz sonucu sistemin ilk iki doğal frekansı sırasıyla 6.97 ve 41.62 Hz olarak elde edilmiştir. Doğal frekanslara ait mod şekilleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Akıllı Yapının İlk İki Doğal Frekansı

Modal analizin dışında ayrıca alüminyum kirişin uç kısmına 0.4 cm yer değiştirme verilerek piezoseramik yamanın ürettiği voltaj değeri de sonlu elemanlar yöntemi ile bulunmuştur (Şekil 8). Böylelikle sistemin yer değiştirme altında ne kadar voltaj üretebileceği de tahmin edilmektedir. Deneysel

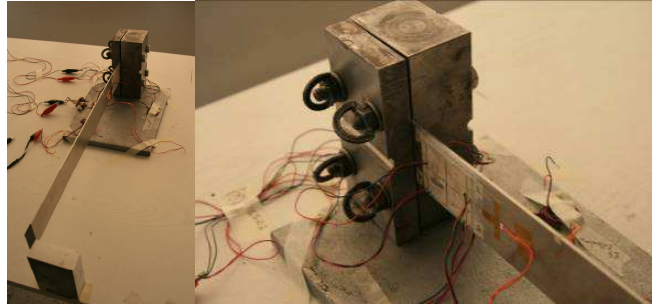
ölçümlerle tutarlı olması amacıyla piezoseramik yama (2A) ya bağlı olan kablo yeri + ile gösterilmiştir. Bu bölgelerde yer değiştirme sonucu oluşan voltaj değeri 6 Volt civarındadır.



Şekil 8. Yer Değiştirme Sonucu Elde Edilen Voltaj Dağılımı

4. AKILLI YAPININ DENEYSEL ANALİZİ

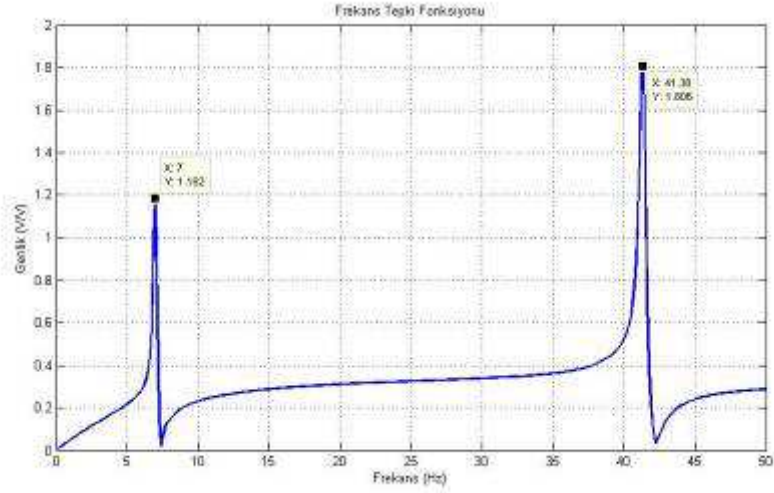
Sonlu elemanlar modeli oluşturulan akıllı yapının doğrulanması amacıyla modal ve statik test yapılmıştır. Akıllı yapı testleri için oluşturulan düzenek Şekil 9'da sunulmuştur.



Şekil 9. Alüminyum Kiriş ve Piezoseramik Yama İçeren Akıllı Yapı

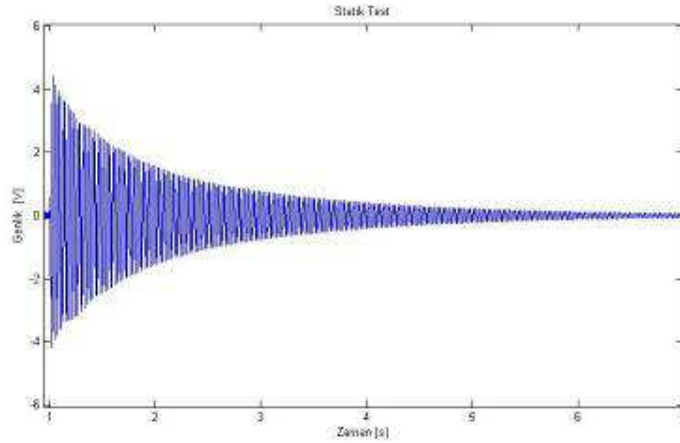
Modal teste 3A ve 3B piezoseramik yamalara voltaj verilerek (uyarıcı olarak kullanılarak) piezoseramik yama 2A'dan (algılayıcı olarak) voltaj değeri alınmıştır. Buna göre elde edilen frekans tepki fonksiyonu Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9'dan da görüldüğü üzere sistemin birinci doğal frekansı 7 Hz ve ikinci doğal frekansı ise 41.38 Hz olarak elde edilmiştir. Sonlu elemanlar

analizi ile elde edilen frekans değerleri deneysel yöntem ile bulunan frekans değerlerine oldukça yakındır.



Şekil 10. Akıllı Yapının Frekans Tepki Fonksiyonu

Ayrıca akıllı yapının ucuna 4 mm yer değiştirme verilerek piezoseramik yama 2A'dan voltaj da elde edilmiştir (Şekil 11). Yapılan test kontrollü bir statik test olmasa da yer değiştirme girdilerinde maksimum 5 Volt civarı çıktı görülmektedir. Elde edilen sonuçla sonlu elemanlar analizi ile elde edilen voltaj değeri uyumludur.



Şekil 11. Statik Test Sonuçları - Serbest Titreşim

5. SONUÇ

Bu çalışmada da alüminyum kirişe piezoseramik malzeme yapıştırılarak elde edilmiş olan akıllı yapıdan enerji hasat etmek için yapılan ön çalışmalar

sunulmuştur. Sonlu elemanlar metodu ile bulunan sonuçlar deneysel yöntemler ile doğrulanmıştır. Ayrıca, sonlu elemanlar metodu ve deneysel yöntemler kullanılarak elde edilecek enerji miktarını arttırmak amacıyla en iyileştirme çalışmaları da bu araştırma kapsamında planlanmaktadır. Kullanılacak piezoelektrik yamanın malzeme özellikleri, geometrileri ve konumları sonlu elemanlar methodu ile yapılacak denemeler sonucu belirlenebilmekte ve sonrasında deneysel yöntemlerle yapılan analizler de doğrulanabilmektedir. Bu çalışmaların da araştırmalara dahil edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu tip yapılardan enerji hasat etmek için uygun dinamik ortamın belirlenmesi gerekmektedir. Titreyen yapıların üzerine yerleştirilen piezoelektrik malzemeler ile sürekli voltaj elde edilebilmekte ve bu voltaj uygun bir devreden geçirilerek kullanılabilir enerji haline dönüştürülebilmektedir. Bu enerji ile piller şarj edilebilir yada yapının enerji ihtiyacı direk karşılanabilir. Bu çalışmanın devamı olarak farklı tip piezoelektrik malzemeler kullanılarak enerji hasatı elde etmek amacıyla akıllı bir yapı geliştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca elde edilen voltajı kullanabilmek amacıyla enerji hasatı devresi de tasarlanacaktır. Sonuç olarak amaçlanan, tasarlanan bu enerji hasatı sisteminin uygun bir hava platformuna entegre edilmesi ve böylece hava platformunun kritik bir elemanının çalışması için kullanılacak enerji hasatının gerçekleştirilmesidir.

KAYNAKÇA

- [1] <http://www.cleansky.eu>, Clean Sky, (sayfa ziyaret, 06.10.2011)
- [2] <http://www.designation-systems.net/dusrm/app4/wasp.html>, Designation System. (sayfa ziyareti, 06.10.2011)
- [3] S.W. Arms, C.P. Townsend, D.L. Churchill, J.H. Galbreath, B. Corneau, R.P. Ketcham, N. Phan, "Energy Harvesting, Wireless, Structural Health Monitoring and Reporting System", 2nd Asia Pacific Workshop on SHM, Melbourne, 2-4 December 2008.
- [4] S. Priya and D. J. Inman, "Energy Harvesting Technologies", Springer, 2009.
- [5] First Draft of Standard on Vibration Energy Harvesting, 4th Annual Energy Harvesting Workshop, 28-29 January 2009
- [6] A. Ertürk and D. Inman, "An experimentally validated bimorph cantilever model for piezoelectric energy harvesting from base excitations", Smart Materials and Structures, 18, (2009), 1-18.
- [7] C. M. Kim, C. Kim, J. Lee, J. Paik, J. Cho, M. Chun, Y. Jeong, and Y. Lee, "Design and Evaluation of a Piezoelectric Energy Harvester Produced with a Finite Element Method", Transactions on Electrical and Electronic Materials, Vol. 11, No. 5, (2010), 206-211.
- [8] ANSYS 13.0 Help Manuel