

## Hava Aracının Üzerinden Titreşim Kaynaklı Enerji Hasatı Çalışmaları

Ahmet Levent AVŞAR<sup>1</sup>  
Meteksan Savunma, Ankara

Melin ŞAHİN<sup>2</sup>  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

### ÖZET

*Günümüzde temiz enerjinin kullanılması ile ilgili çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bu amaçla alternatif kaynaklar araştırılmakta ve kaynakların kullanılması için gerekli olan teknolojiler geliştirilmektedir. Geliştirilen teknolojilerden birisi de piezoelektrik malzeme içeren yapılar kullanarak titreşen yapılar üzerinden enerji hasat edebilmektir. Bilindiği üzere, piezoelektrik malzemeler üzerlerindeki yer değiştirme nedeniyle voltaj üretebilmektedirler. Üretilen bu voltaj uygun bir devreden geçirilerek enerji elde edilebilir. Bu enerjinin miktarı az da olsa kullanım yerine göre çok faydalı olabilmektedir. Özellikle hava araçları üzerinde piezoelektrik malzemeler kullanarak hava aracının kritik bir sisteminin veya parçasının enerji ihtiyacı karşılanabilir. Bu bildiri, hava aracının dik kuyruğu üzerine piezoelektrik malzeme yerleştirilerek enerji hasat edilmesi ile ilgili çalışmaları içermektedir.*

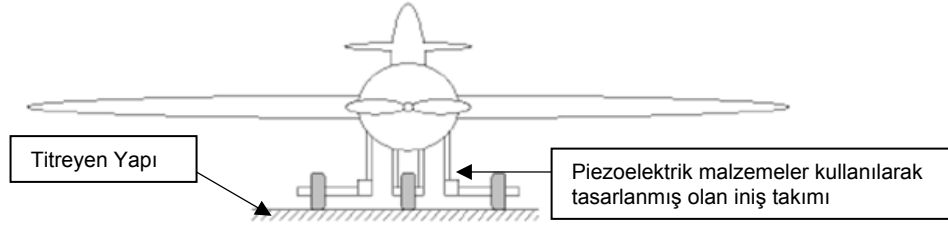
### GİRİŞ

Karbon salınımının arttığı ve enerji ihtiyaçlarının giderek önem kazandığı bu dönemde alternatif enerji kaynakları giderek önem kazanmaktadır. Bu amaçla güneş, rüzgar ve hidrojen gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik teknolojiler geliştirilmektedir. Özellikle havacılık sektöründe de artan talep sebebiyle, hava araçlarının enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik çalışmalar da artmaktadır. Bu çalışmalara yönelik örneklerden birisi de tamamıyla güneş enerjisi ile çalışan bir hava aracı olan "Solar Impulse" dir [1].

Alternatif enerji kaynaklarının dışında da hava araçlarında akıllı yapılar kullanılarak hava aracının verimliliği artırılabilir veya enerji ihtiyacı karşılanabilir. Akıllı yapılara örnek olarak piezoelektrik malzemeler verilebilir. Piezoelektrik malzemeler doğası gereği üzerinde bir yer değiştirme varsa voltaj üretebilmektedir. Ayrıca piezoelektrik malzemeye voltaj verilirse de üzerinde yer değiştirme görülmektedir. Bu özelliğinden dolayı piezoelektrik malzemeler uyarıcı, algılayıcı ve kontrolcü olarak havacılık yapılarında kullanılabilir. Örneğin, hava araçlarında ve kontrol sistemlerinde kullanılan konvensiyonel motorlar yerine piezoelektrik malzemeler kullanılarak yapılan motorlar aracılığı ile enerji verimliliği artırılabilir [2]. Ayrıca piezoseramik gibi akıllı malzemeler hava araçlarının titreşen yapılarına yerleştirilerek de enerji hasat edilebilir. Şekil 1'de görüldüğü üzere bir insansız hava aracının iniş takımları piezoelektrik malzemeler kullanılarak tasarlanabilir [3]. Görev esnasında titreşen bir yapının, örnek olarak binaların havalandırma sistemleri verilebilir, üzerine inerek operasyon için gerekli enerji hasat edilebilir.

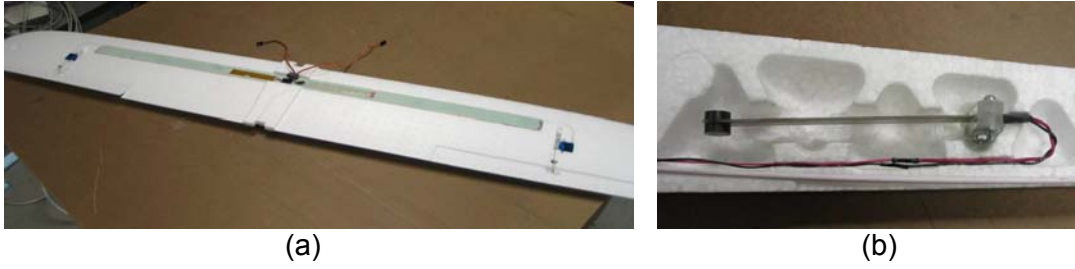
<sup>1</sup> Yüksek Makine Müh., Meteksan Savunma, E-posta: lavsar@meteksan.com

<sup>2</sup> Yrd. Doç. Dr., Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, E-posta: msahin@metu.edu.tr



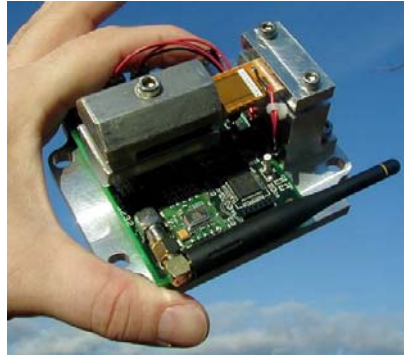
Şekil 1. L Şeklinde Piezoelektrik Malzeme Kullanılarak Tasarlanmış İniş Takımı

Diğer bir örnek (Şekil 2.) ise hava aracının kanatlarına yerleştirilen piezoelektrik malzemeler veya sistemler ile de enerji hasat edilebilir [4]. Şekil 2-a'da hava aracının kanadı üzerine yapıştırılmış piezoelektrik yamadan, Şekil 2-b'de ise aynı hava aracının kanadı içerisine yerleştirilmiş akıllı yapı yardımıyla enerji hasat edilmektedir.



Şekil 2. Piezoelektrik Yamalar (a) Sabit Mesnetli Piezoelektrik Malzeme İçeren Akıllı Yapı (b) [4]

Orta ve büyük ölçek bir hava aracının tüm enerjisi bu yöntemler ile sağlamak şimdilik pek mümkün değildir. Fakat hava aracının alt sistemlerinin enerjisi bu yöntemler ile sağlanabilir. Bu duruma örnek ise hava araçlarında piezokompozit veya piezoseramik malzemeler kullanılarak yapısal sağlık kontrolü sistemlerinin enerji ihtiyacını karşılamaktır [5]. Özellikle kritik bölgelerde kullanılan ve sürekli çalışması beklenen kablosuz yapısal sağlık kontrolü sistemleri (Şekil 3) piezoelektrik enerji hasatı sistemleri ile çalıştırılabilir [6]. Tüm bu uygulamalar ile hava araçlarında hem enerji verimliliği hem de uçuş güvenliğini artırılabilir.

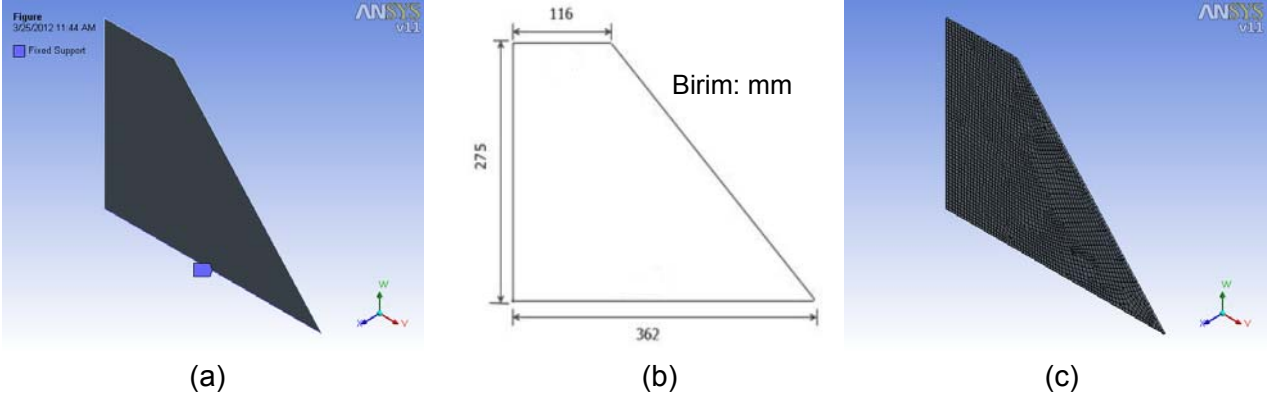


Şekil 3. Kablosuz Yapısal Sağlık Kontrolü Sistemi [6]

Hava aracına yerleştirilecek akıllı yapı, yani piezoelektrik malzeme yardımıyla, oluşan titreşimlerden enerji hasat edilebilir. Hasat edilen enerjinin artırılması için seçilecek piezoelektrik malzemenin özelliklerinin, geometrisinin ve konumunun uygun bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu tür çalışmalarda analitik yöntemler veya sonlu elemanlar analizi kullanılabilir. Bu çalışma, enerji hasatı amacıyla hava aracının alüminyum dik kuyruğu üzerine yerleştirilen piezoelektrik yamalarla (BM500) [7] oluşturulan akıllı yapının sonlu elemanlar analizini içermektedir. Ayrıca bu sonlu elemanlar analizi aracılığıyla, maksimum enerji elde etmek için piezoelektrik malzemelerinin yerleştirileceği uygun konum belirlenecek ve akıllı yapı ile hasat edilecek enerji miktarı da incelenecektir.

## DİK KUYRUĞUN SONLU ELEMANLAR DİNAMİK ANALİZİ

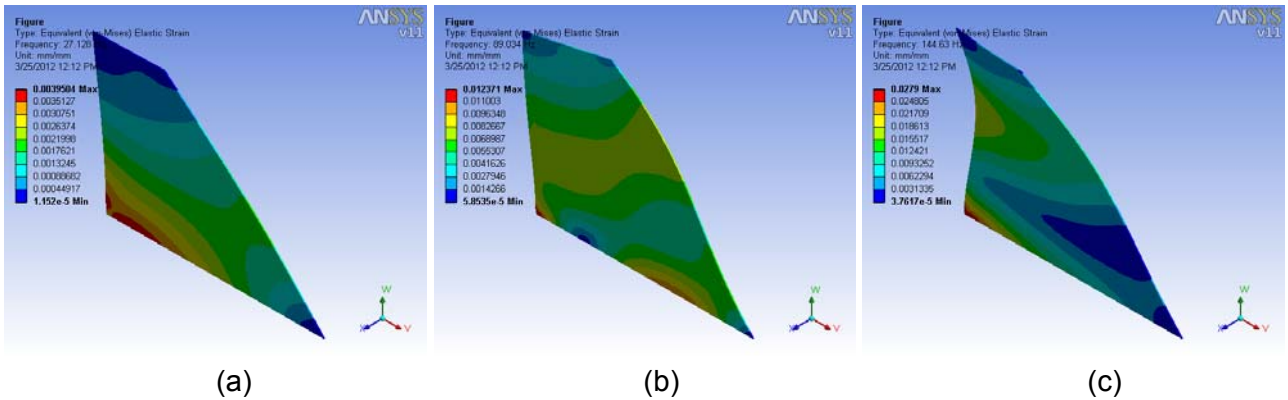
Piezoseramik yamaları dik kuyruk üzerine yerleştirmeden önce, dik kuyruğun dinamik karakteristiğini çıkarmak amacıyla sonlu elemanlar analizi ANSYS Workbench [8] kullanılarak yapılmıştır. Dik kuyruk (kalınlık 2 mm) katı olarak modellenmiş ve SOLID 181 [8] tipi eleman kullanarak ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ yapısında 18000 düğüm ve 2500 eleman bulunmaktadır. Şekil 4'te görülen uzun kenar boyunca sabit mesnet sınır koşulu verilerek yapı üzerinde modal analiz yapılmıştır. Bu analiz sonrası dik kuyruğun ilk üç doğal frekansı (Çizelge 1) bulunmuştur. Ayrıca elde edilen bu ilk üç doğal frekansın yapı üzerinde oluşan gerinim biçim şekilleri de Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Dik Kuyruk (a) Geometri, (b) Boyut\ (c) Sonlu Elemanlar Ağ Yapısı

Çizelge 1. Dik Kuyruğun İlk Üç Doğal Frekansı

Doğal Frekans [Hz]	
$f_1$	27.13
$f_2$	89.03
$f_3$	144.63

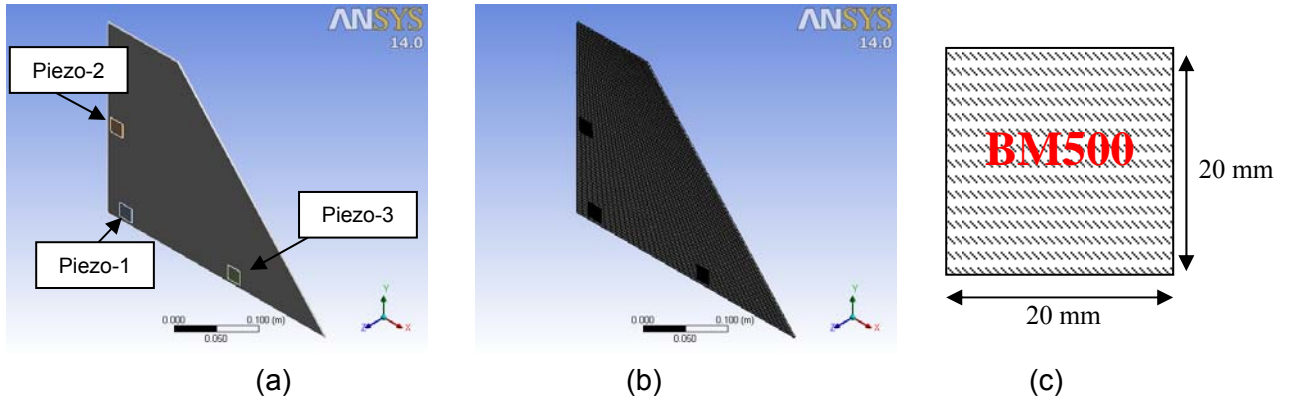


Şekil 5. Dik Kuyruğun İlk Üç Doğal Frekansına Ait Gerinim Biçim Şekilleri  
(a) 1. Eğilme (b) 1. Burulma (c) 2. Eğilme

Dik kuyruğun biçim şekillerinin gerinime göre verilmesinin nedeni bu doğal frekansların uyarılması durumunda oluşabilecek maksimum gerinim yerini görebilmektir. Piezoelektrik malzemeler doğası gereği üzerinde oluşan uzama nedeniyle voltaj üretmektedir ve malzemeye voltaj verilirse yapıda da uzama görülmektedir. Bu sebepten dolayı, piezoelektrik yamalar üzerinde maksimum voltajı oluşturmak için yapı üzerindeki gerinim maksimize edilmelidir. Bu çalışmada dik kuyruğun gerinim biçim şekilleri kullanılarak, yapı üzerinde dinamik olarak oluşan maksimum gerinimin bölgelerine piezoelektrik yamaların uygulanması amaçlanmıştır.

## AKILLI YAPININ SONLU ELEMANLAR DİNAMİK ANALİZİ

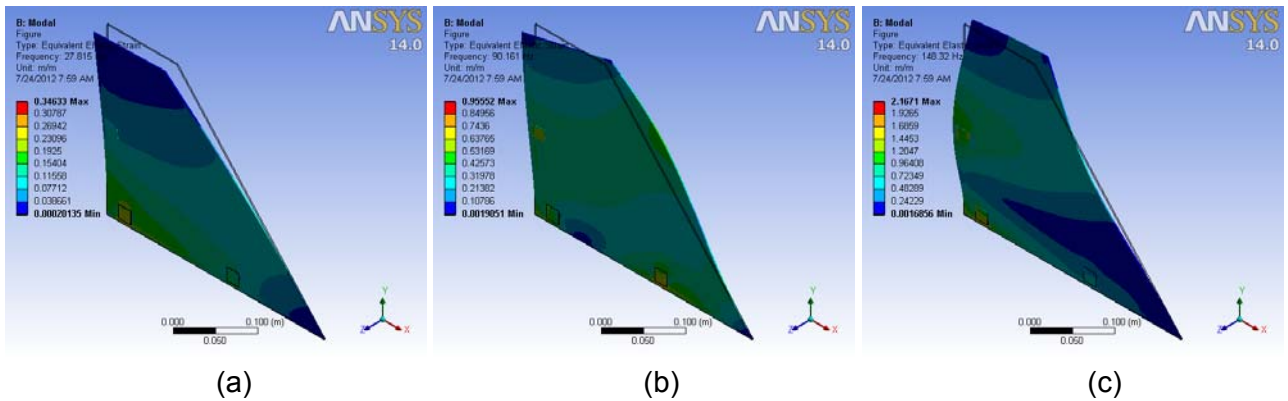
Piezoseramik yamalar, her üç doğal frekans için maksimum gerininin olduğu yerlere yerleştirilmiştir (Şekil 6). Bu uygulamada üç adet BM500 piezoseramik yama (kalınlık 0.5 mm) kullanılmıştır. Piezoseramik yamaların dik kuyruğa uygulanması ile elde edilen akıllı yapının dinamik karakteristiği sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi ANSYS Workbench ve Klasik kullanılarak yapılmıştır ve alüminyum dik kuyruk için SOLID 186 [8] ve piezoseramik malzeme için SOLID 226 [8] eleman tipleri kullanılmıştır, Şekil 6. Ağ yapısında 29500 düğüm ve 4000 eleman bulunmaktadır. Öncelikle, modal analizler akıllı yapının ilk üç doğal frekansının (Çizelge 2) elde edilmesinde kullanılmıştır. Kullanılan piezoseramik yamaların uygulanan yapıya göre küçük boyutta ve hafif olması sebebiyle dik kuyruğun doğal frekanslarında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Akıllı yapının doğal frekanslarına ait gerinim biçim şekilleri Şekil 7'de verilmiştir. Bu gerinim biçim şekillerinden de görüldüğü üzere piezoseramik yamalar üstünde maksimum gerinim oluşmuştur.



Şekil 6. Akıllı Yapı (a) Geometri (b) Sonlu Elemanlar Ağ Yapısı (c) BM500 Piezoelektik Yama Geometrisi

Çizelge 2. Akıllı Yapının İlk Üç Doğal Frekansı

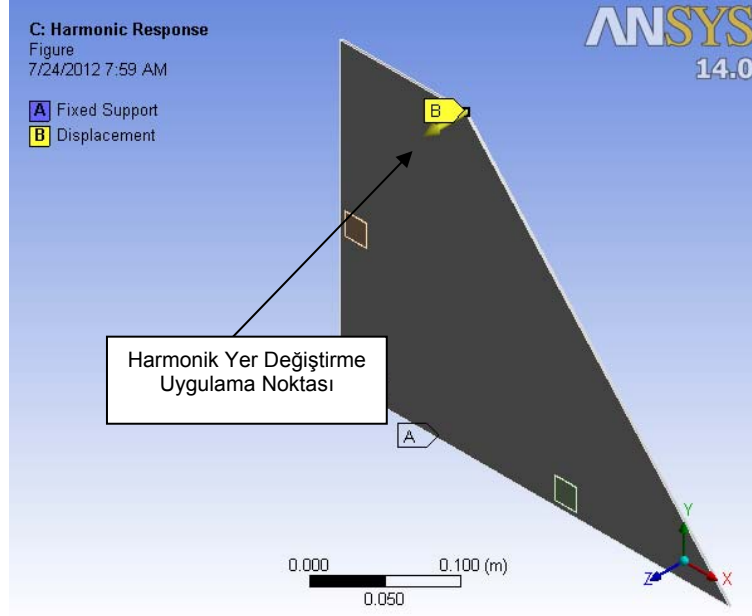
Doğal Frekans [Hz]		Çizelge 1 den Fark [%]
$f_1$	27.39	1
$f_2$	88.67	0.4
$f_3$	144.72	0.1



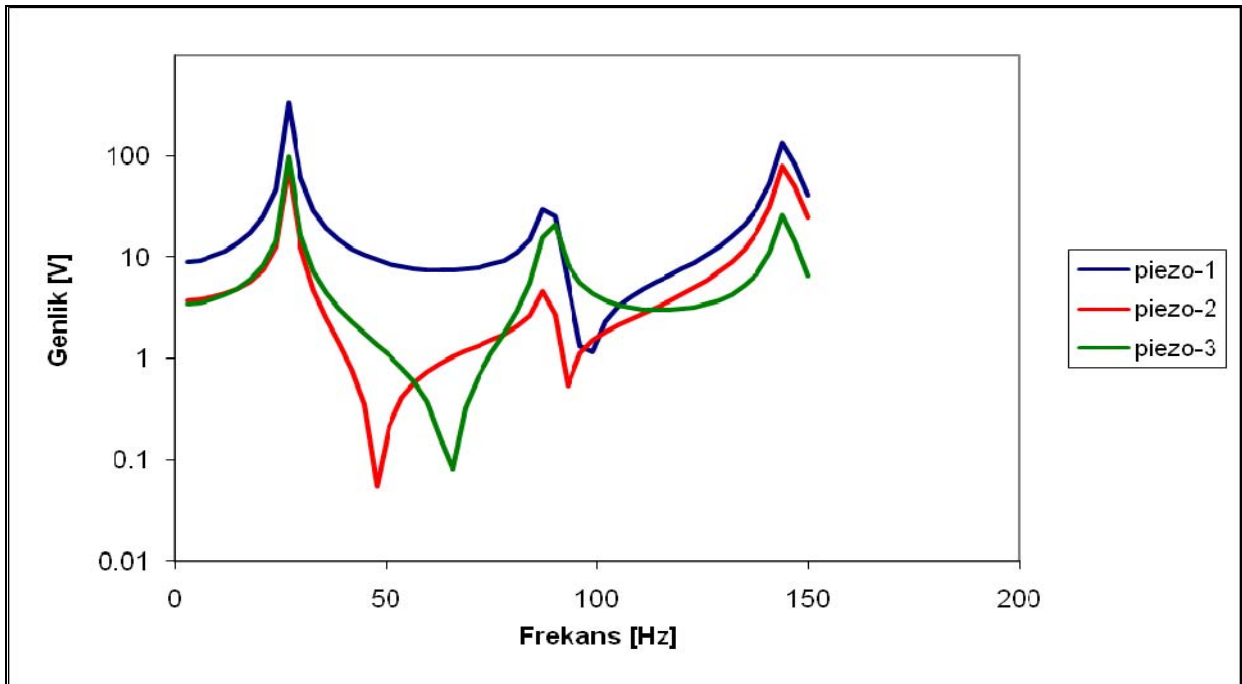
Şekil 7. Akıllı Yapının İlk Üç Doğal Frekansına Ait Gerinim Biçim Şekilleri

(a) 1. Eğilme (b) 1. Burulma (c) 2. Eğilme

Ayrıca bu sonlu elemanlar modeli kullanılarak yer değiştirme altında piezoseramik yamaların voltaj üretim karakteristiğini görebilmek amacıyla harmonik analizler de gerçekleştirilmiştir. Harmonik analizde dik kuyruk Şekil 8'te gösterilen noktadan 1 mm'lik yer değiştirme ile uyarılmış ve 0 - 150 Hz aralığındaki Frekans Cevap Fonksiyonu (FCF) (Şekil 9) elde edilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü üzere tüm frekans aralığında maksimum voltaj 1. konumdaki piezoseramik yamada (yani piezo-1 den) elde edilmiştir. Ayrıca diğer piezoseramik yamalar da tüm frekans aralığında gerinim biçim şekillerine bağlı olarak yeterli miktarda voltaj üretilmektedir.



Şekil 8. Harmonik Yer Değiştirme Uygulama Noktası



Şekil 9. Akıllı Yapı Üzerindeki Piezoseramik Yapıların Frekans Cevap Fonksiyonları

## SONUÇ

Enerji hasadı çalışmaları kapsamında uygun modelleme teknikleri kullanılarak sistemden elde edilecek enerji miktarları belirlenebilir. Bu amaca yönelik olarak hem analitik hem de sonlu elemanlar yöntemleri kullanılabilir. Özellikle karmaşık yapılar için analitik yöntemleri kullanmak zor olsa da sonlu elemanlar yöntemi ile hızlı ve doğru sonuçlara ulaşılabilir. Sonlu elemanlar metodu ile farklı tip malzemeler ve geometriler kolayca ve hassas bir şekilde modellenip doğru sonuçlar elde edilebilir. Böylelikle en iyileme çalışmaları kapsamında uygun malzeme özelliklerine ve geometriye sahip piezoseramik yamalar belirlenebilir. Ayrıca maksimum enerjiyi elde etmek için piezoseramik yamaların konumları da belirlenebilir. Bu çalışmaların ardından, kullanılan yöntemlerden bağımsız olarak doğrulama amacına yönelik deneysel teknikler de kullanılmalıdır.

Bu bildiride hava aracı yapısına yerleştirilen piezoseramik yamaların konumu ve yamalardan elde edilen voltajlar sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Piezoseramik malzemelerden elde edilen bu voltaj farkları uygun bir devreden geçirilerek sisteme enerji sağlayabilir veya sistem ile beraber çalışan bir pil şarj edilebilir. Ayrıca bu enerji, sistem içerisinde bulunan kablosuz yapısal sağlık kontrolü sisteminin enerji ihtiyacını da karşılayabilir.

Bu çalışmanın devamında deneysel yöntemler kullanılarak yapı için oluşturulmuş sonlu elemanlar metot ve analizlerinden bulunan sonuçlar doğrulanacaktır. Deneysel modal analizle birlikte sistemin dinamik modeli de elde edilecek ve rüzgar tüneli testleri ile operasyonel durumlar altında piezoseramik yamalarda oluşan voltajlar ve hasat edilebilecek enerji miktarı da incelenecektir.

## Kaynaklar

- [1] <http://www.solarimpulse.com>, Solar Impulse, (sayfa ziyareti, 06.10.2011)
- [2] C. Thipyopas, A.B. Sun, E. Bernard and J. M. Moschetta, “Application of Electro-Active Materials to a Coaxial Rotor NAV, Proceedings of the International Micro Air Vehicles conference 2011 summer edition, p. 21-29
- [3] A. Erturk, J. M. Renno and D. J. Inman, “Piezoelectric Energy Harvesting from an L-Shaped Beam-Mass Structure, Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems, 2008, 69280I-1 - 69280I-15.
- [4] Piezonews, Issue 2 – Summer 2008
- [5] S.W. Arms, C.P. Townsend, D.L. Churchill, J.H. Galbreath and S.W. Mundell, “Power Management for Energy Harvesting Wireless Sensors”, SPIE Int’l Symposium on Smart Structures & Smart Materials, March 2005
- [6] S. R. Anton, D. J. Inman, “Vibration energy harvesting for unmanned aerial vehicles”, Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems 2008, Proc. of SPIE Vol. 6928, p. 692824-1 - 692824-12
- [7] Sensor Technologies Limited. BM-500 Lead Zirconate Titanate Product Data Sheet, 2002.
- [8] ANSYS Classic and Workbench 14.0 Help