



SANDVIÇ KOMPOZİT PLAKA ÜZERİNDE AKTİF TİTREŞİM KONTROLÜ AMACIYLA KULLANILACAK PİEZOELEKTRİK YAMALARIN YERLERİNİN BELİRLENMESİ

Yunus Tansu Aksoy¹ ve Melin Şahin²

^{1,2}Havacılık ve Uzay Mühendisliği – Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

ABSTRACT

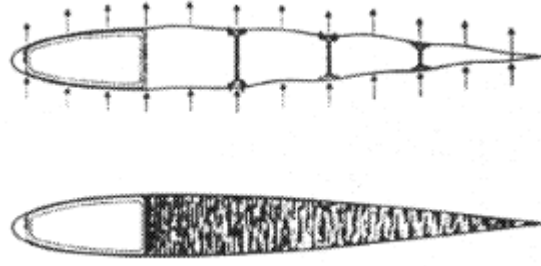
Weight is one of the most important problems in Aerospace Engineering applications. To overcome this problem, sandwich composite materials are designed. Sandwich materials solve this weight problem while having a smoother surface, fatigue resistance and increasing strength. However, thin plate-like structures have vibration problems. The most effective solution to the vibration problems can be said as active vibration control. Active vibration control is a powerful way of vibration suppression as long as the actuators and sensors are located correctly. Improper locations may lead to lose in the control performance; in fact, control can be impossible. In this paper, locations for piezoelectric actuators and sensors are determined using finite element modelling and analyses methods.

ÖZET

Ağırlık, Havacılık ve Uzay Mühendisliği uygulamalarında en önemli sorunlardan biridir. Bu sorunun üstesinden gelmek için sandviç kompozit yapılar tasarlanmaktadır. Sandviç yapılar bu ağırlık problemini çözerken, aynı zamanda daha pürüzsüz bir yüzey, malzeme yorgunluğuna dayanım ve artan bir mukavemet de sağlamaktadır. Ancak, ince plaka tipi yapılar titreşim problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu titreşim problemlerine karşı en etkili çözüm olarak aktif titreşim kontrolü söylenebilir. Eyleyici ve algılayıcılar doğru yerleştirildiği sürece aktif titreşim kontrolü titreşim bastırmada çok güçlü bir yöntemdir. Yanlış konumlar, performans düşüklüğüne ve hatta kontrolün imkansızlaşmasına yol açabilirler. Bu çalışmada, sonlu elemanlar modelleme ve analiz metotları kullanılarak, piezoelektrik eyleyici ve algılayıcıların yerleri belirlenmiştir [1].

GİRİŞ

Sandviç kompozit yapılar, düşük ağırlık sağlaması ve yüksek direngenlik göstermesi gibi faydalarından dolayı havacılık ile ilgili alanlarda çalışanların ilgisini çekmektedir. Pürüzsüz yüzey, malzeme yorgunluğuna dayanım ve artan mukavemet, sandviç yapıların tercih edilmesinde önemli bir oynar. Bu avantajlardan biri örnek olarak Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1 Aerodinamik Yüzey Pürüzsüzlüğü [1]

Sandviç yapılar temel olarak iki yüksek mukavemet sahibi yapının arasına hafif bir malzeme konarak oluşturulur. Bu iki dış yüzey genelde kompozit seçilmekle beraber, ortada bulunan çekirdek yapı köpük, balsa veya bal peteği olabilmektedir. Çekirdek yapılar o kadar hafiftir ki, 16 kg/m^3 'e kadar düşük yoğunluğa sahip olabilirler [2].

Piezoelektrik yapılar, elektrik enerjini mekanik enerjiye, mekanik enerjiyi de elektrik enerjisine çevirebilen yapılardır. Piezoelektrik özelliğin tanımı, uygulanan strese karşılık elektrik üretme olarak verilmiştir [3]. Piezoelektrik malzemelerin bu özellikleri sayesinde, elektrik akımı verilerek bağlı oldukları yapıda mekanik yer değiştirmeler elde edilebilmektedir. Piezoelektrik yapılar, eyleyici ve algılayıcı olarak aktif titreşim kontrolü tasarımlarının çoğunda kullanılırlar. Ancak, aktif titreşim kontrolü sağlayabilmek için oluşturulan yapının kontrol edilebilir olması gerekmektedir. Bunun için piezoelektrik yamalar doğru yerlere konumlandırılmalıdırlar. Bu çalışmada da sonlu elemanlar modeli kullanılarak, ince bir plakanın üzerine ilk üç biçim şeklini kontrol etmek için gereken piezoelektrik yamaların nereye konumlanması gerektiği araştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan piezoelektrik yamaların boyutları $25 \times 25 \text{ mm}$ 'dir.

SONLU ELEMENLAR MODELİ

Bu çalışmada kullanılan plakanın boyutları 195 mm ve 300 mm olarak belirlenmiştir. Kısa olan kenarlardan biri sınır koşulu olarak sabitlenmiş, diğer üç kenarı serbest olarak bırakılmıştır. Sandviç yapı, SGL GE8903-280-37e cam elyaf olan yüzeylerinin kalınlığı 0.25 mm ve çekirdek yapı olan Rohacell 31 IG-F köpüğün kalınlığı da 1 mm olmak üzere toplamda 1.5 mm kalınlığa sahiptir. Yüzeyde bulunan kompozit plakalar “*twill*” örme kullanılarak “*prepreg*” formdan üretilmiştir. Malzemelerin özellikleri üretici firmadan temin edilmiş ve Tablo 1 ve Tablo 2 ile gösterilmiştir. Bu malzeme özellikleri kullanılarak, kompozit sandviç plaka CQUAD4 2-D kabuk elemanlarla MSC Patran [4] yazılımı ile modellenmiştir.

Tablo 1 Cam Elyaf Yüzeyin Malzeme Özellikleri

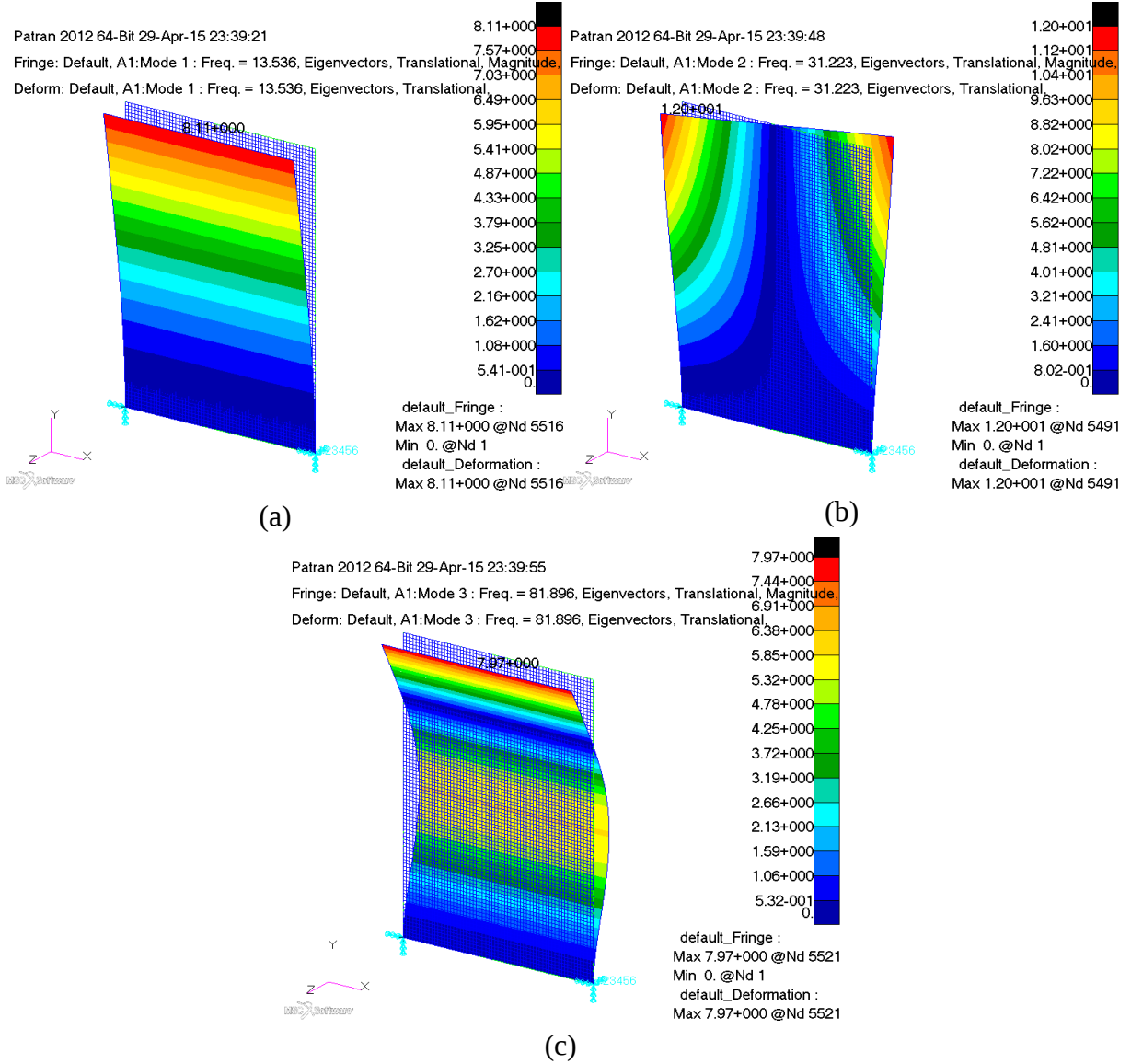
	E_1 [GPa]	E_2 [GPa]	G_{12} [GPa]	ρ [kg/m ³]
GE 8903-280-37 (Yüzey)	25.0	25.0	3.5	2000

Tablo 2 Köpük Çekirdek Yapının Malzeme Özellikleri

	E [MPa]	G [MPa]	ρ [kg/m ³]
Rohacell 31 IG-F (Çekirdek)	36.0	13.0	32

Çözüm ağı bağımsızlığını göstermek için farklı çözüm ağıları denenmiş ve 60 eleman kısa kenar için 90 eleman uzun kenar için uygun bulunmuştur. Sonlu elemanlar modeli 5400

eleman ve 5551 nokta içermektedir. Bu sonlu elemanlar modeli ile bulunan doğal frekanslar ve biçim şekilleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2 Kompozit Sandviç Plakanın İlk Üç Doğal Frekansı ve Biçim Şekilleri: (a) Düzleme Dik İlk Eğilme: [13.54 Hz], (b) İlk Burulma: [31.22 Hz], (c) Düzleme Dik İkinci Eğilme: [81.90 Hz]

PIEZOELEKTRİK EYLEYİCİ VE ALGILAYICILARIN YERLERİNİN BELİRLENMESİ

Piezoelektrik eyleyiciler ve algılayıcılar, en çok modal kuvvetlerin uygulandığı yerlere, en az kontrolcü eforu gerektiren veya en çok enerji dağılan yerlere, yapının en çok yer değiştirme kazandığı yerlere, kontrol edilebilirlik veya gözlemlenebilirlik seviyelerinin en çok olduğu yerlerde konumlandırılabilirler [5]. Piezoelektrik eyleyici ve algılayıcılarının yerleri, ilk üç biçim şekli için en çok eğriliğin olduğu yerler olarak seçilmiştir. Yerlerin belirlenmesi için temel olarak denklem (1) kullanılmıştır [6].

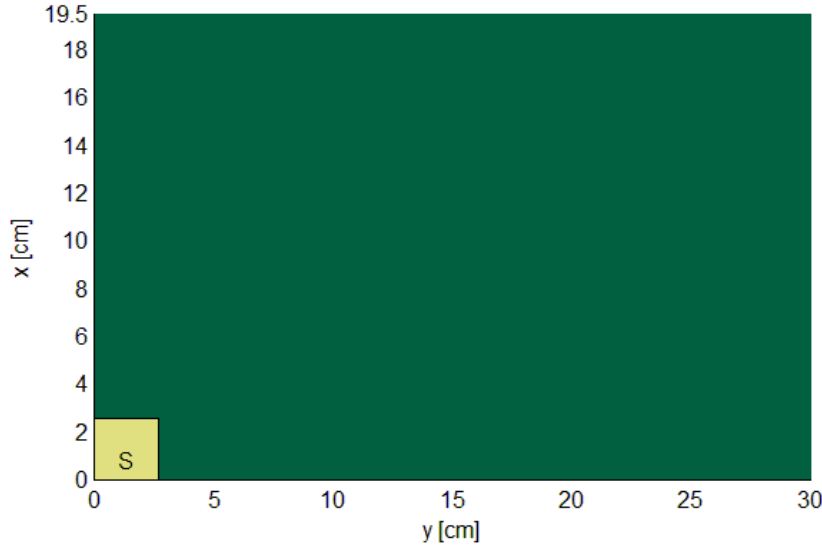
$$\frac{\partial^3 z(x, t)}{\partial x^3} = 0 \quad (1)$$

Önce ilk biçim şekli olan düzleme dik ilk eğilmeye göre, ardından ilk burulma ve düzleme dik ikinci eğilme biçim şekillerine göre piezoelektrik yamaların yapıştırılacağı yerler

belirlenmiştir. Ancak denklem (1)'deki gibi üçüncü türevi sıfıra eşitlemek yerine ikinci türevin en yüksek olduğu konumların bulunması yoluna gidilmiştir. Eğriliğin bulunması için biçim şekilleri normalize edilip, ikinci türevleri alınmış ve buna göre her noktadaki eğriliğin sayısal bir değeri bulunmuştur. Fiziksel sınırlar da göz önüne alınarak, her bir biçim şeklinin kontrolü için gereken yerler tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan yer değiştirme biçim şekillerinin ikinci türevleri merkezi fark yöntemi kullanılarak, denklem (2) ile bulunmuş ve bu denklem y yönündeki analizler için de tekrar edilmiştir.

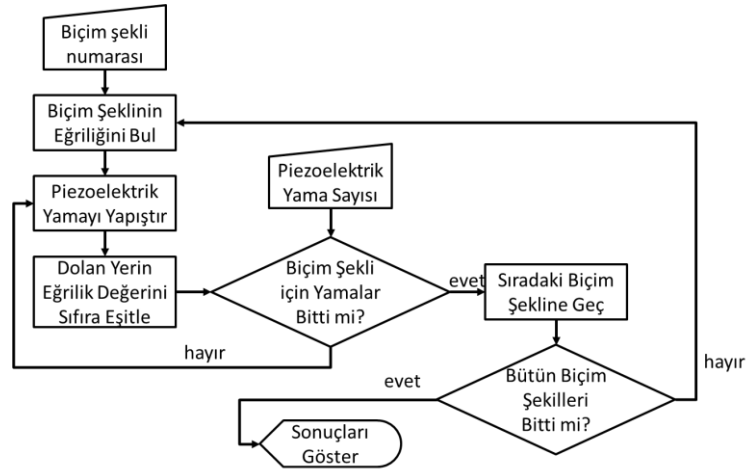
$$z''(x) = \frac{z(x + dx) - 2z(x) + z(x - dx)}{dx^2} \quad (2)$$

Denklem (2)'de x eksenini kısa kenar boyunca, y eksenini uzun kenar boyunca alınmıştır. $z(x)$, biçim şeklini, $z''(x)$ ise x yönündeki ikinci türevi temsil etmektedir. Piezoelektrik yamaların sayısı ve konumları, bu yamalar deneysel ortamda da kullanılacağından formülizasyondan sonra fiziksel koşullar da göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. İlk önce, sadece bir adet algılayıcı kullanılacağından, algılayıcının yeri belirlenmiştir (Şekil 3).

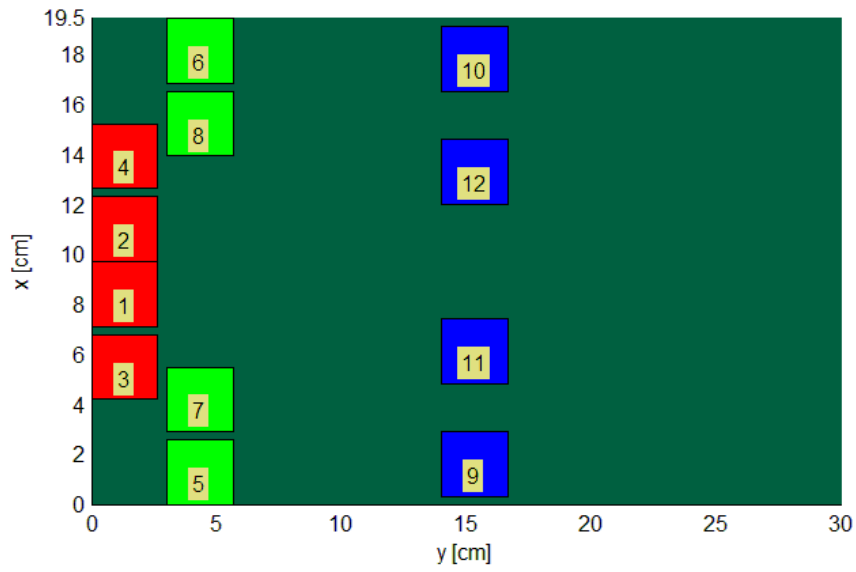


Şekil 3 Piezoelektrik Algılayıcının Konumlandırılması

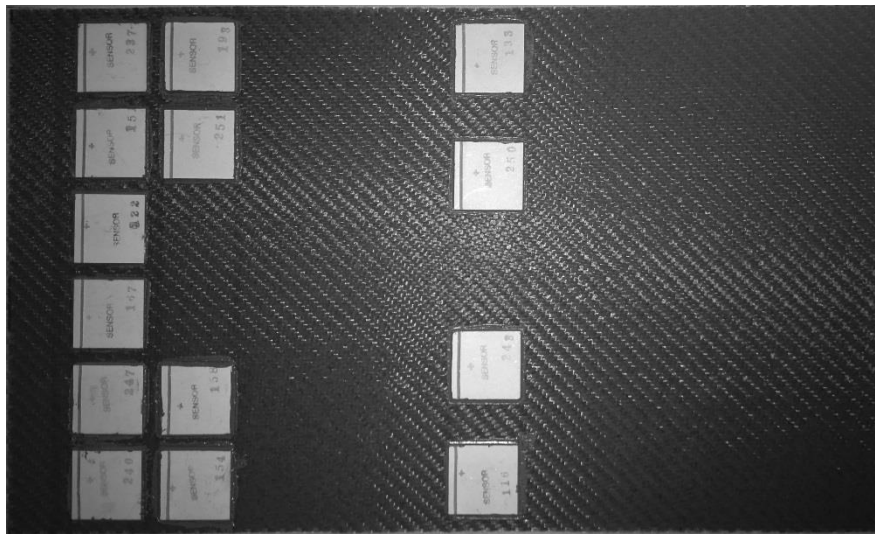
Eyleyicilerin yeri belirlenirken, biçim şekli sırası göz önüne alınmıştır. Konum bulmak için kullanılan bilgisayar programındaki algoritma Şekil 4'te verilmiştir [7]. Önce düzleme dik ilk eğilme için azami eğriliğin olduğu yere 4 adet yama yerleştirilmiştir. Sonraki biçim şekli için azami eğrilik konumu bulunurken diğer yamaların bulunduğu yerler çıkarılarak kalan yerlerdeki en yüksek eğriliğin olduğu yere 4 adet yama daha konumlandırılmıştır. Üçüncü biçim şekli için de aynı prosedür izlenerek yerleştirme işlemi tamamlanmıştır (Şekil 5). Plakanın yamalar yapıştırdıktan sonraki son hali de Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 4 Piezoelektrik Yamaların Yerleşim Algoritması



Şekil 5 Piezoelektrik Eyleyicilerin Konumlandırılması



Şekil 6 Piezoelektrik Yamaların Sandviç Kompozit Plaka Üzerinde Konumlandırılması

SONUÇLAR

Bu çalışmada sonlu elemanlar metotları kullanılarak, aktif titreşim kontrolü için gereken piezoelektrik yamaların konumları belirlenmiştir. İlk üç biçim şeklini kontrol etmek için, sırayla her biçim şekli için konumlandırmalar yapılmıştır. Konumlandırmalar en yüksek eğriliğin olduğu yere yapılmış, Her bir biçim şekli için en yüksek eğriliğin olduğu yerler bir algoritma yardımı ile bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda, deneylerde kullanılmak amacıyla, ilk üç biçim şeklinin aktif titreşim kontrolünü sağlamak amacıyla optimum yerlerine piezoelektrik yamaların yerleştirildiği akıllı sandviç plaka üretilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Bilimsel Araştırma Projesine (BAP-03-13-2014-001) donanım, Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezine (RÜZGEM) yazılım ve SENSOR Technology Ltd. şirketine de piezoelektrik yamaların temini için verdiği desteğe teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

- [1] T. Bitzer, *Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications And Testing*. 1997.
- [2] J. Kindinger, “Lightweight Structural Cores,” *ASM Handb. Met. Vol. 21-Composites*, vol. 3, 2001.
- [3] B. Jaffe, *Piezoelectric Ceramics*. Academic Press, 1971.
- [4] “Patran Complete FEA Modeling Solution,” 2015. [Online]. Available: <http://www.mscsoftware.com/product/patran>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [5] V. Gupta, M. Sharma, and N. Thakur, “Optimization Criteria for Optimal Placement of Piezoelectric Sensors and Actuators on a Smart Structure: A Technical Review,” *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 21, no. 12, pp. 1227–1243, 2010.
- [6] J. Z. J. Zhang, L. H. L. He, E. W. E. Wang, and R. G. R. Gao, “A LQR Controller Design for Active Vibration Control of Flexible Structures,” *2008 IEEE Pacific-Asia Work. Comput. Intell. Ind. Appl.*, vol. 1, pp. 128–133, 2008.
- [7] Y. T. AKSOY, “Active Vibration Control of a Smart Sandwich Plate via Piezoelectric Sensors And Actuators,” Middle East Technical University, 2015.