

POLİMER-AL KOMPOZİT SÖNÜMLEYİCİ TASARIMI

Fatih Cansabuncu¹, İhsan Küçükrendeci², Feridun Karakoç²

¹ Otocan Yedek Parça Sanayi-BURSA
otocan@otocan.com

² Dumlupınar Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü KÜTAHYA
ihsankrendeci@dumlupinar.edu.tr
fkarakoc@dumlupinar.edu.tr

Özet

Bu çalışmada günümüzde kullanılan polimer-çelik titreşim sönümleyici malzemeler gibi sönümlene yapabilen, sistemin konforunu artıracak ve proses olarak her türlü sistemde rahatlıkla uygulanabilir ve kullanılabilir alternatif bir polimer-Al sönümleyicinin tasarımı yapılmış, sönümleyicinin kullanılabilirliği sayısal olarak gösterilmiştir.

Anahtar Terimler: mekanik titreşimler, titreşim sönümleyiciler

Abstract

In this study, Polymeric-Al damping is presented as an alternative design for the damping process and the usability of this discussed numerically. From these calculations, the system is effective as the polymeric-steel vibration damping that is used commonly.

Key Words: mechanical vibrations, vibration damping

1. GİRİŞ

Makinalar çalışırken dengesiz kuvvetlerden dolayı titreşime sebep olurlar. Oluşan bu titreşimleri makinelerin yerleştirildiği zemine iletilmesini minimum seviyeye indirmek amacıyla izolasyonu sağlayacak sistemlere ihtiyaç vardır. Titreşimin azaltıldığı ve minimum seviyeye indirildiği sistemlerde konfor artacak, gürültü azalacak ve sistemlerin hassasiyetliliği artacaktır.

Titreşen tüm sistemlerde tahrik frekansı sistemin doğal frekansına yaklaştıkça sistemin yer değiştirme genliği büyük değerlere ulaşır ve tahrik frekansı ile sistemin doğal frekansının eşitliği halinde bu değer sonsuz olur. Bu olaya "rezonans" denir [1]. Bu durumda çalışan elemanlarda yorulma olayı meydana gelir. Rezonans değerleri civarındaki titreşimler tehlikelidir ve bu civarda çalışmaktan kaçınılmalıdır. Bu yüzden sistemin rezonans durumundan korunması için doğal frekansın önceden tahmini önemlidir.

Titreşimi engellemek ve titreşim yalıtımını sağlamak amacıyla metal yaylar, elastomerler, esnek yastık ve takozlar gibi sönümleyici malzemeler kullanılmaktadır [2].

Günümüzde titreşim sönümleyicilerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalar oldukça yoğun şekilde devam etmektedir. Yapılan çalışmaların bazıları;

Vuure, Verpoest ve Ko alternatif olarak üretilmiş bir sandviç panel sönüm elamanı üzerinde çalışmıştır. Çalışmada sandviç kompozit panelde kauçuk kullanılmıştır. Üretilen sandviç yapının sönüm için daha etkili olduğu gösterilmiştir. Çok katmanlı bu yapı analizinde şekil değiştirme enerji metodu ve hesaplamalarda sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır [3]. Yim, Cho, Seo ve Jang 0^0 ile dizilmiş viskoelastik katman ile oluşturulmuş sandviç bir kirişte sönüm davranışını çalışmıştır. Kiriş boyutları ve yapısal sönümün sönüm üzerine etkisi teorik olarak çalışılmıştır [4]. Kaya, Tekelioğlu ve Fındık sonlu elemanlar metodu kullanarak yapıştırma ile oluşturulan plak yapıda yapıştırma yerlerinde dinamik kuvvetlerin etkisini nümerik olarak incelemiştir. İnce plak kabulüne göre plak yapıda rezonans genliklerinde sönüm etkisini çalışmıştır [5]. Kumar, Data ve Prabhakara eğri biçimli tabakalı kompozit panellerin düzensiz dinamik etkiler altında davranışını analitik olarak çalışmıştır. İncelemede yapısal sönüm etkisi göz önüne alınmıştır [6].

2. TİTREŞİM YALITIMINDA KULLANILAN MALZEMELER

Titreşim yalıtımında kullanılan malzemeler üç'e ayrılır. Metal yaylar, elastomerler, esnek yastık ve takozlar [7].

Metal yayların kullanımı çok yaygındır. Çok hafif ve hassas makine'lerin yalıtımından çok ağır ve endüstriyel makine'lerin yalıtımına kadar bir çok yerde kullanılır.

Titreşim yalıtımında, genel olarak aşağıda verilen türdeki metal yaylar kullanılır [2].

- Helezon çekme yayı
- Helezon bası yayı
- Konik bası yayı
- Çok katlı yaprak yay

Doğal kauçuk ve yapay kauçuk olmak üzere elastomerler kendi içinde iki'ye ayrılır [7].

Doğal kauçuğun kullanım özellikleri şöyledir:

- En uygun ve en ekonomik yalıtım malzemelerinden biridir.
- Güneş ışığı, ozon ve oksijen yüzey çatlaklığı oluşturur.
- -50 °C ila 100 °C arasında kullanılır. -20 °C 'nin altındaki sıcaklıklarda doğal kauçuk kristalize olmaya başlar ve -60 °C 'ta cam gibi sertleşir.
- Makine yağı, doğal kauçuk tarafından emilir ve kauçuğun direncini düşürür [2].

Yapay kauçuğun kullanım özellikleri şöyledir. En yaygın olan kullanımı "Neopren" dir.

- Yağ,ozon, güneş ışığı, sıcaklık gibi çevre koşullarından doğal kauçuğa göre daha az etkilenir.
- Çok düşük ve yüksek sıcaklıklarda (-70 °C;200°C) kullanılır.
- Sönümlenme özellikleri metal yaylara göre 10 kat fazladır. Rezonans geçişleri hızlı olmayan makinaların yalıtımında, metal yaylara tercih edilir.
- Kütleli küçük, çalışma frekansı yüksek olan makine elektrik motorlarının yalıtımında yaygın olarak kullanılır.
- Basma, çekme, kesmede çalışabilirler [2].

Mantar, keçe, cam elyafı türü malzemeler vardır. Genellikle tabaka şeklinde bulunurlar ve istenilen boyutlarda kesilerek geniş destek olarak kullanılırlar [7].

Çizelge 1. Titreşim Yalıtımında Kullanılan Bazı Malzemelerin Sönüm Oranları [7]

Malzeme	Sönüm Oranı
Çelik Yay	0,005
Doğal Kauçuk	0,05
Neopren	0,05
Keçe ve mantar	0,06
Sürtünme Sönümlü Yay	0,33

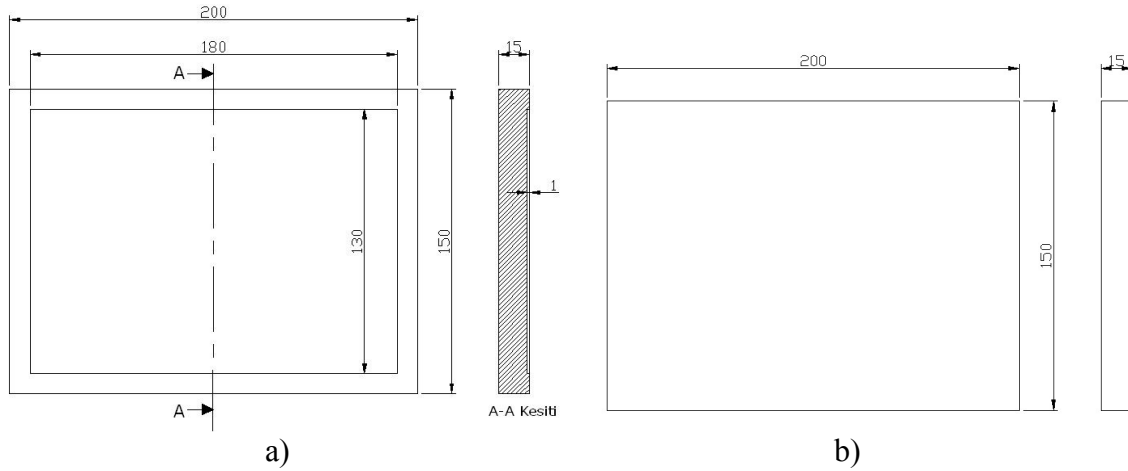
3. POLİMER-AI KOMPOZİT SÖNÜMLEYİCİLER

3.1 Polimer–Al Kompozit Sönümleyici Test Plaka Yapısı

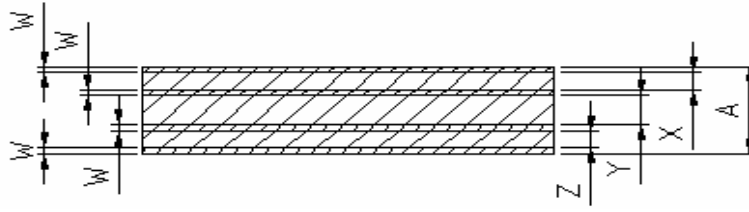
Günümüzde endüstride uygulamalarında kullanılan bir çok polimer-çelik kompozit sönümleyici malzemeler mevcut, bu malzemeler titreşim sönümleyiciler olarak kullanılmaktadır. Kullanım faktörleri boyutlarına ve şekil yapısına bağlı olarak otomotiv sektörü, bilgisayar ve elektronik, beyaz eşya v.b sanayisinde kullanılmaktadır.

Çalışmada tasarlanan kompozit malzeme polimer-Al katmanlı kompozit plak olarak düşünülmüştür. Endüstri uygulamalarında kullanılan kompozit yapılar üç katmanlı olarak imalatı yapılırken, çalışmada yedi katmanlı kompozit yapı olarak tasarlanmıştır. Sönümleyicinin yedi katmanlı olarak düşünülmesinin sebebi titreşim sönümlemesinde daha etkili olabileceğinin düşünülmesidir. Endüstride kullanılan orijinal numunelere eşdeğer kalınlıkta tasarlanmaktadır.

Endüstriyel uygulama malzemesiyle karşılaştırılan numune malzemenin bir diğer farklı noktası çelik tabaka yerine Al tabakanın kullanılmasıdır. Malzemelerin imalatı yapılırken proses aşamalarında farklılıklar mevcuttur. Endüstride kullanılan parçalar enjeksiyon ve transfer kalıplama yöntemi ile elde edilirken kompozit test plakası, pişirilen kauçuk malzemeler mekanik yöntemlerle Sika 255 FC yapıştırıcı ile yapıştırılarak elde edilmektedir bu yapıştırma işlemi 15-20 dakikada gerçekleştirilmektedir. Yapıştırma kuvvet altında yapılmaktadır. Kompozit plaka yapımında kullanılan 1 mm kalınlığındaki kauçuk tabakanın basıldığı alt ve üst kalıp şekilleri Şekil 1’ de görülmektedir. Şekil 2’ de ise sönümleyici olarak polimer-al kompozit plağın model yapısı görülmektedir.



Şekil 1. a) 1 mm'lik Kauçuk Alt Kalıbı, b) Kauçuk Üst Kalıbı



A:Toplam Kalınlık , X:Kauçuk, Y:Kauçuk, Z:Kauçuk, W:Alüminyum, Ara yüzeylerde yapıştırıcı kullanılmaktadır.

Şekil 2. Polimer – Al Kompozit Sönümleyici Test Plaka Yapısı

4. ÇALIŞMA

Tasarlanan kompozit malzeme polimer-Al kompozit yapısı olarak düşünülmüştür. Piyasada kullanılan kompozit yapılar üç katmanlı olarak imalatı yapılırken, çalışmada yedi katmanlı kompozit yapı olarak tasarlanmıştır. Çalışmanın yedi katmanlı olarak düşünülmesinin sebebi titreşim sönümlemesinde daha etkili olabileceğinin düşünülmesidir. Pratik uygulamalarda kullanılan orijinal numunelere eşdeğer kalınlıkta tasarlanmaktadır.

Çalışmada $h_n \times 60 \times 60$ polimer-Al kompozit test numuneleri ve orijinal numuneleri temsil eden $h_n \times 60 \times 60$ polimer-çelik test numuneleri $F=1000$ N harmonik yük, 0-300 Hz frekans aralığında, 40 modda ANSYS WORKBENCH 8.1 programında titreşim analizleri yapılmıştır. Test plakasından elde edilen sonuçlarla orijinal plakadan elde edilen test sonuçları karşılaştırılarak belirlenen test değerlerinde incelenen sistemlerin dinamik analizleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan sönümleyici modellerin malzemelerinin mekanik özellikleri Çizelge 2’ de görülmektedir.

Çizelge 2. Sönümleyici Malzemesi Mekanik Özellikleri [8]

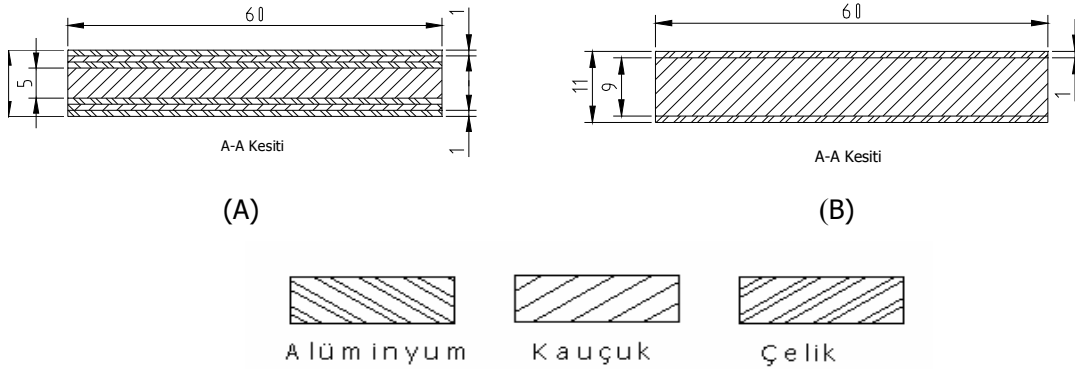
ÇELİK ÖZELLİKLERİ (St37)	
İSİM	DEĞER
Elastiklik Modülü	200 Gpa
Poisson Oranı	0,3
Kütle Yoğunluğu	$7,85 \times 10^{-6}$ kg/mm ³
Gerilme Altındaki Eğilmeye Dayanım	250 Mpa
Gerilme Altındaki Eğilmeye Dayanım (Max)	460 Mpa
Basınç Altındaki Eğilmeye Dayanım	250 Mpa
KAUÇUK ÖZELLİKLERİ	
İSİM	DEĞER
Elastiklik Modülü	8.963 Mpa
Poisson Oranı	0,41
Kütle Yoğunluğu	4.1×10^{-6} kg/mm ³
Gerilme Altındaki Eğilmeye Dayanım	11,1 Mpa
Basınç Altında Eğilmeye Dayanım	11,1 Mpa
ALÜMİNYUM ÖZELLİKLERİ (AlMgSi0.5)	
İSİM	DEĞER
Elastiklik Modülü	71 Gpa
Poisson Oranı	0,33
Kütle Yoğunluğu	$2,77 \times 10^{-6}$ kg/mm ³

4.1 Test Sonuçları

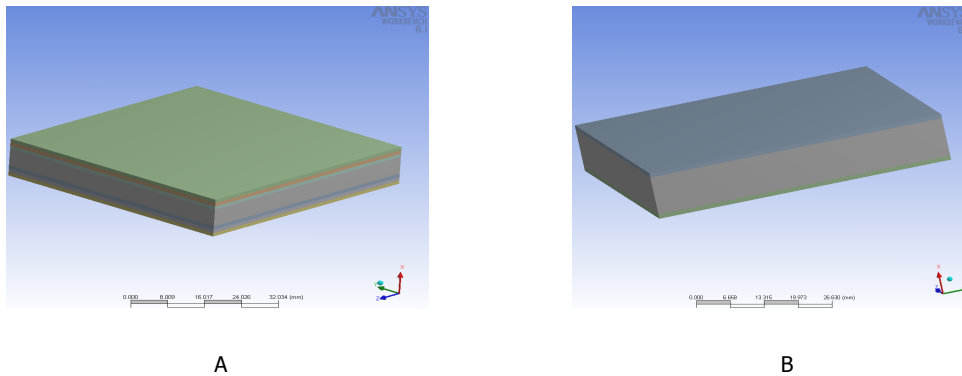
Pratik uygulamalarda kullanılan gerçek model sönümleyici ile bu çalışma için tasarlanmış olan alternatif Polimer –Al kompozit sönümleyici model sayısal test değerleri aşağıda Çizelge 3’ de verilmiştir. Şekil 3’de ise test yapılarının modelleri görülmektedir. Şekil 4’ de sayısal analizler için Model 1(A) -Test Modeli Geometrisi ve Model 1(B) -Gerçek Model Geometrisi görülmektedir.

Çizelge 3. Model 1A –Test Modeli ve Model B -Gerçek Model Sayısal Test Değerleri [8]

HARMONİK ÇÖZÜMLEME TEST DEĞERLERİ						
Kuvvet(F)	Maksimum Frekans	Minimum Frekans	Çözüm Aralığı	Nem Oranı		
1000 N	300 Hz	0 Hz	40	0,02		
GERÇEK MODEL TEKNİK ÖZELLİKLERİ						
İsim	Malzeme	Kesim Ölçüleri (mm)	Kütle (kg)	Hacim (mm ³)	Düğüm	Eleman
Parça 1	Kauçuk	9x60x60	0,13	32,400	1265	200
Parça 2	Çelik	1x60x60	0,03	3,600	803	100
Parça 3	Çelik	1x60x60	0,03	3,600	803	100
TEST MODELİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ						
İsim	Malzeme	Kesim Ölçüleri (mm)	Kütle (kg)	Hacim (mm ³)	Düğüm	Eleman
Parça 1	Kauçuk	5x60x60	0,07	18,000	803	100
Parça 2	Al	1x60x60	9,97x10 ⁻³	3,600	803	100
Parça 3	Al	1x60x60	9,97x10 ⁻³	3,600	803	100
Parça 4	Kauçuk	1x60x60	0,01	3,600	803	100
Parça 5	Al	1x60x60	9,97x10 ⁻³	3,600	803	100
Parça 6	Al	1x60x60	9,97x10 ⁻³	3,600	803	100
Parça 7	Kauçuk	1x60x60	0,01	3,600	803	100

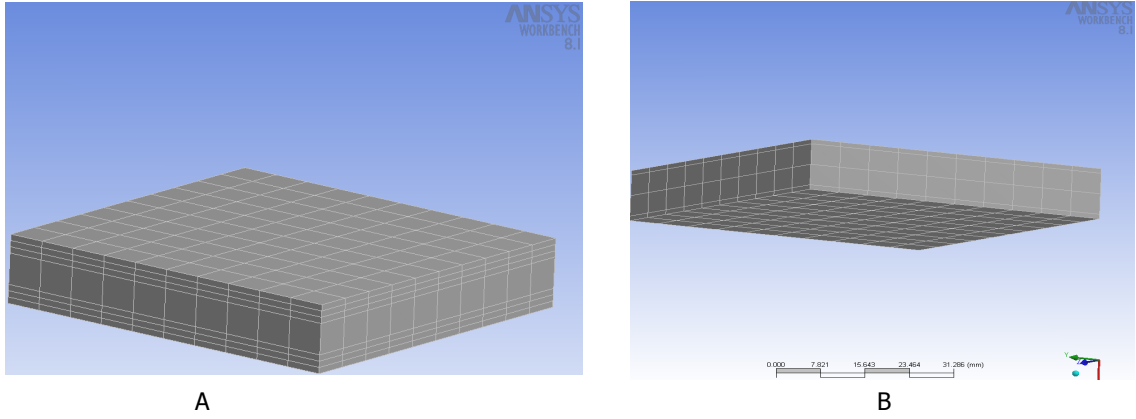


Şekil 3. Model (A) Test Modeli, Model (B) Gerçek Model



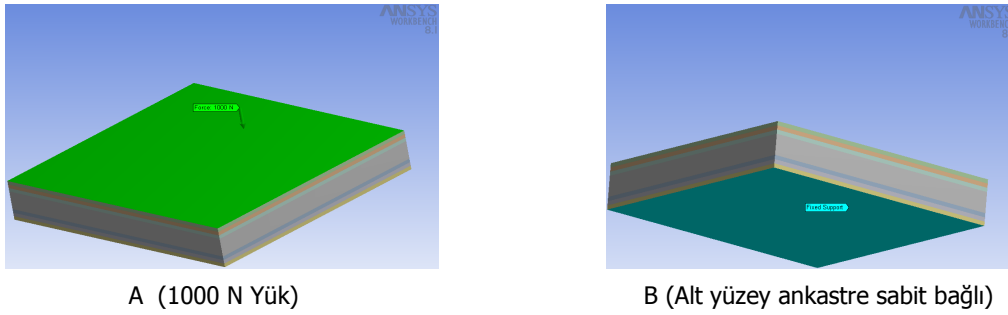
Şekil 4. Model (A) -Test Modeli Geometri, Model (B) -Gerçek Model Geometri [8]

Model 1(A) uygulanan ağ yapısı hegzahedral ağ yapısıdır. Test plakasına uygulanan ağ yapısı 6 mm boyutlarında, çözümlenmesi 5621 düğüm ve 700 eleman olarak gerçekleştirilmektedir(Şekil 5/A). Model 1(B) uygulanan ağ yapısı hegzahedral ağ yapısıdır. Test plakasına uygulanan ağ yapısı 6 mm boyutlarında, çözümlenmesi 2821 düğüm ve 400 eleman olarak gerçekleştirilmektedir(Şekil 5/B).

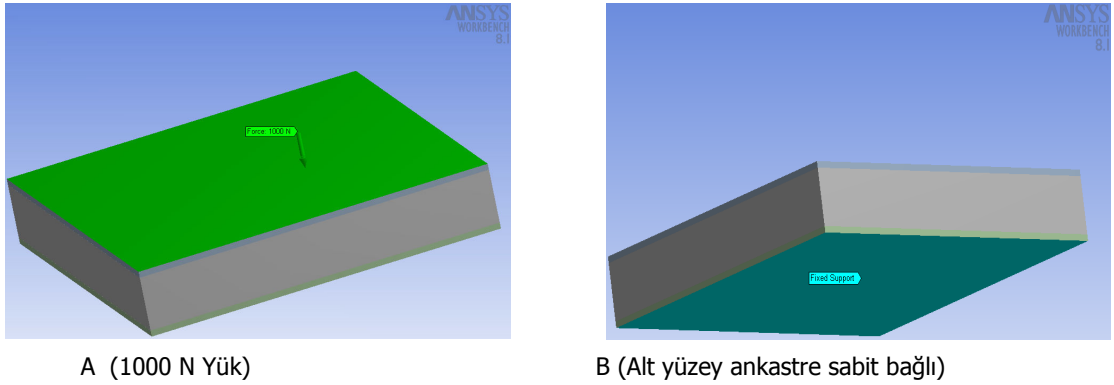


Şekil 5. Model(A) Test Modeli Ağ Yapısı, Model (B) -Gerçek Modeli Ağ Yapısı [8]

Şekil 6' da test modeli çevre şartları ve şekil 7' de gerçek model çevre şartları sayısal analiz için görülmektedir.

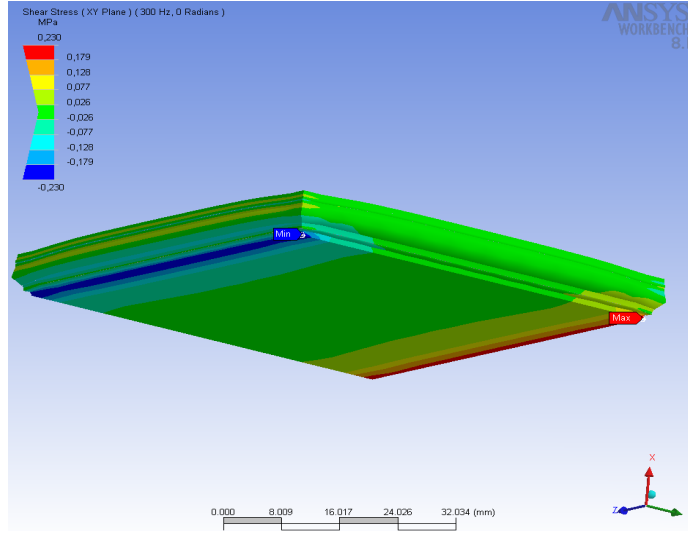


Şekil 6. Model (A) -Test Modeli Çevre Şartları, (A) Kuvvetin ifadesi, (B) Sabit yüzeyin ifadesi [8]



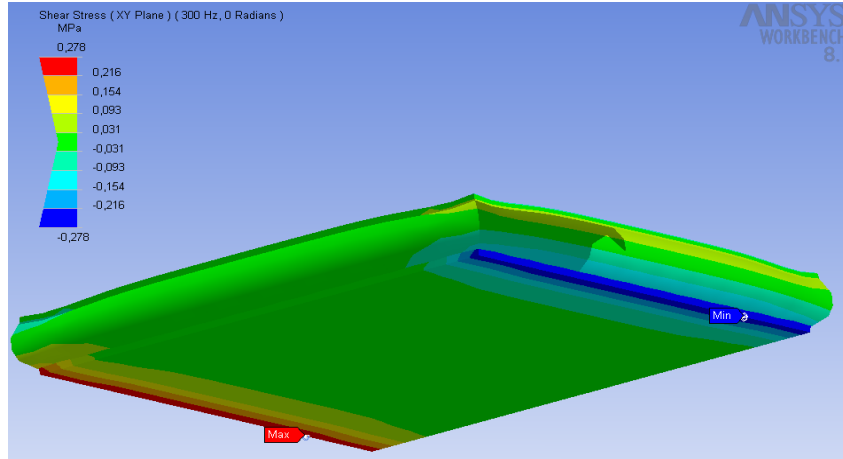
Şekil 7. Model (B) -Test Modeli Çevre Şartları, (A) Kuvvetin ifadesi, (B) Sabit yüzeyin ifadesi [8]

Şekil 8' deki grafik kayma gerilmesi bir diğer ifadeyle test modelinin uğradığı maksimum ve minimum gerilmeyi grafiksel model olarak ifade etmektedir. Grafikte kırmızı renkler maksimum gerilmeyi ifade ederken mavi renkler minimum renkleri ifade etmektedir. Şekil üzerinde de maksimum ve minimum gerilmenin olduğu noktalar ifade edilmektedir. Maksimum kayma gerilmesinin gerçekleştiği yüzey malzemenin en alt tabakasında sağ tarafta alüminyum yüzeyde gerçekleşirken, kayma gerilmesinin gerçekleştiği minimum gerilmenin olduğu nokta malzemenin sol alt köşesinde alüminyum yüzeye yakın yerde gerçekleşmektedir.



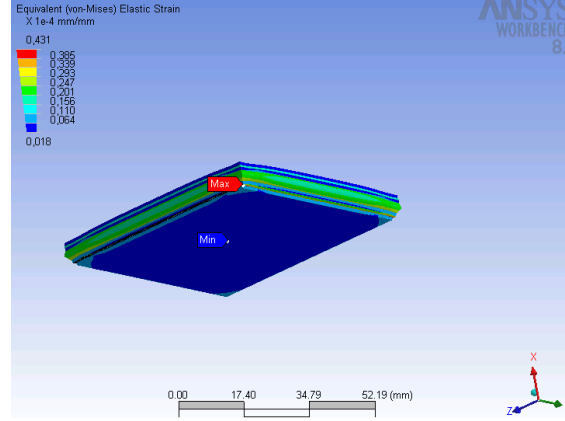
Şekil 8. Model 1(A) -Test Modeli Kayma Gerilmesi Hali [8]

Şekil 9' deki grafik kayma gerilmesi bir diğer ifadeyle modelin uğradığı maksimum ve minimum gerilmeyi grafiksel model olarak ifade etmektedir. Grafikte kırmızı renkler maksimum gerilmeyi ifade ederken mavi renkler minimum renkleri ifade etmektedir. Şekil üzerinde de maksimum ve minimum gerilmenin olduğu noktalar ifade edilmektedir. Maksimum kayma gerilmesinin gerçekleştiği yüzey malzemenin en alt tabakasında sol tarafta alüminyum yüzeyde gerçekleşirken kayma gerilmesinin gerçekleştiği minimum gerilmenin olduğu nokta malzemenin sağ alt köşesinde alüminyum yüzeye yakın yerde gerçekleşmektedir.



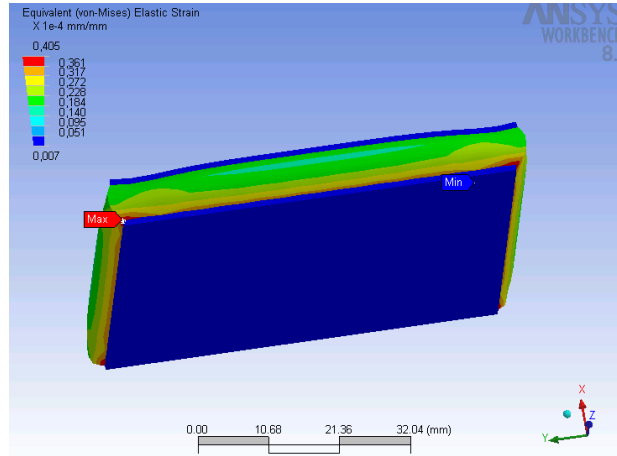
Şekil 9. Model (B) -Gerçek Modeli Kayma Gerilmesi Hali [8]

Şekil 10' deki grafik elastik deformasyonu bir diğer ifade ile test model (Model A)'nın uğradığı maksimum ve minimum deformasyonları grafiksel model olarak ifade etmektedir. Grafikte kırmızı renkler 1000 N yük altında malzemenin uğradığı akma sınırından sonraki maksimum deformasyonu yani plastik şekil değiştirmeyi ifade ederken, mavi renkler 1000 N yük altında malzemenin plastik şekil değiştirmeye uğramadığını ve elastik şekil değiştirmenin varlığını ifade etmektedir. Yükün kaldırıldığı kabul edilirse malzemenin tekrar eski haline geleceği kabul edilebilir. Şekil üzerinde de maksimum ve minimum deformasyonun olduğu noktaları ifade etmektedir. Elastik deformasyonda maksimum deformasyon malzemenin sol alt köşesinde alüminyum tabakada meydana gelirken, minimum gerilme malzemenin sol üst köşesinde alüminyum-kaçuk tabakada meydana gelmektedir.



Şekil 10. Model 1(A) -Test Modeli Elastik Deformasyon Hali [8]

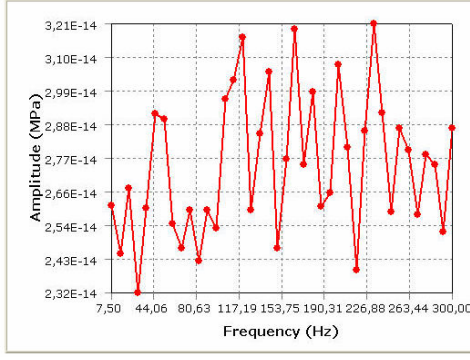
Şekil 11' deki grafik elastik deformasyonu bir diğer ifadeyle gerçek model (model) uğradığı maksimum ve minimum deformasyonları grafiksel model olarak ifade etmektedir. Grafikte kırmızı renkler 1000 N yük altında malzemenin uğradığı akma sınırından sonraki maksimum deformasyonu yani plastik şekil değiştirmeyi ifade ederken, mavi renkler 1000 N yük altında malzemenin plastik şekil değiştirmeye uğramadığını ve elastik şekil değiştirmenin varlığını ifade etmektedir. Yükün kaldırıldığı kabul edilirse malzemenin tekrar eski haline geleceği kabul edilebilir. Şekil 11 üzerinde de maksimum ve minimum deformasyonun olduğu noktaları ifade etmektedir. Elastik deformasyonda maksimum deformasyon malzemenin sağ alt köşesinde alüminyum tabakada meydana gelirken, minimum gerilme malzemenin sağ üst köşesinde kauçuk tabakada meydana gelmektedir.



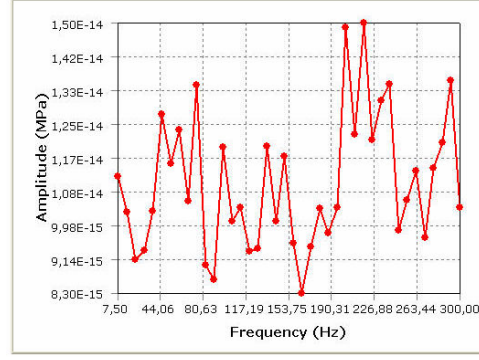
Şekil 11 Model 1(B) -Gerçek Modeli Elastik Deformasyon Hali [8]

Şekil 10 ve şekil 11 birlikte mukayese edildiğinde model (A) test modelinin model (B) gerçek modele göre üzerinde daha fazla gerilme oluşmaktadır. Yani daha esnek bir yapı söz konusudur. Buna karşılık direkt deformasyon halinde test modeli model (A), gerçek model model 1(B)'ye göre daha az deformasyona uğradığı görülmektedir. Bunun nedeni ise test modeli model (A) alüminyum katman ile desteklenmektedir.

Şekil 12/A' da ki grafikte test modeli (Model A)'nın gerilme genliği-frekans grafiği görülmektedir. Grafik üzerinde rezonans frekanslarında oluşan gerilme genlikleri görülmektedir. Şekil 12/B' deki grafikte gerçek model (model 1-A)'nın gerilme genliği-frekans grafiği görülmektedir.



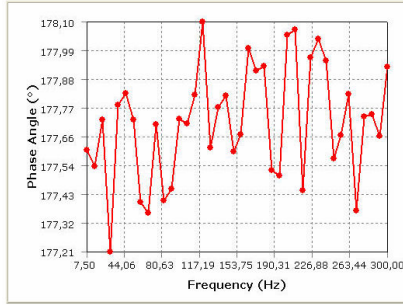
A



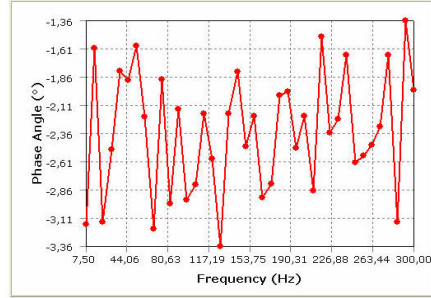
B

Şekil 12. Model (A) Test Modeli Genlik-Frekans Grafiği, Model (B) Gerçek Modeli Genlik-Frekans Grafiği [8]

Şekil 13/A' da test modeli model (A)'nın faz açısı frekans grafiği görülmektedir. Faz açısı değerlerinin 180° civarında olması tasarlanan sönümleyici modelin kritik değerin 90° 'nin uzağında güvenli bir bölgede yani rezonans bölgesinden uzakta çalıştığı görülmektedir. Malzemenin kritik altı bir sönümlenme yani rezonans değerinin aşağısında bir sönüm değeri ile göstermektedir.



A



B

Şekil 13. Model (A) Test Modeli Faz açısı-Frekans Grafiği, Model (B) Gerçek Modeli Faz açısı - Frekans Grafiği [11]

5. SONUÇLAR

Kompozit plağa yayılı biçimde harmonik yükün etkidiği kabul edilerek, zorlanmış titreşimin ve bu esnada meydana gelen gerilmelerin analizi yapılmıştır. Çözümde sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS Workbench 8.1 analiz programı kullanılmıştır. Hazırlanan örnek pratikte kullanılan örneklerle karşılaştırılmıştır.

Yük altında gerçek plakanın üzerinde biriktirmiş olduğu gerilme değerinin daha büyük olduğu, yük kaldırdığında malzemenin hala üzerinde biriktirmiş olduğu gerilme değerinin az da olsa kalmaktadır. Bu gerilme değerinin plaka üzerinde olmasının sebebi Al malzemedeki deformasyonun daha fazla olması ve kauçuk üzerindeki gerilmenin boşalmamasıdır. Malzemenin elastik deformasyon oranı incelendiğinde test plakasındaki malzemenin ezilme değeri, orijinal plakaya göre daha büyüktür. Sonuç olarak sonuçların her iki modelde de birbirine yakın olduğu

görülmektedir. Bunun sonucu olarak ve test plakası orijinal model gibi aynı çalışma koşullarında kullanılabilir. Sönüm açısından bakıldığında test modelinin faz açısı değerlerinin 180° civarındadır. Bu durumda tasarlanan sönümleyici modelin kritik değerin 90° ' nin uzağında güvenli bir bölgede yani rezonans bölgesinden uzakta çalıştığı söylenebilir. Malzemenin kritik altı bir sönümlenme yani rezonans değerinin aşağısında bir sönüm değeri çalışabileceği görülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] PASİN, F., "Mekanik Titreşimler", Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [2] AKKURT, M., "Makine Elamanları I", Birsen Yayınevi, İstanbul, 1990.
- [3] VUURE, A.W.V., VERPOEST, I., and KO, F.K., "Sandwich-fabric panels as spacers in a constrained layer structure damping application", *Composites B*, Vol 32, 11-19, 2001
- [4] YIM, J.H., CHO, S.Y., SEO, Y.J. and JANG, B.Z., "A study on material damping of 0° laminated composite sandwich cantilever beams with a viscoelastic layer", *Composite Structures*, Vol.60, 367-374, 2003.
- [5] KAYA, A., TEKELİOĞLU, M.S. and FINDIK, F., 2004, "Effects of various parameters on dynamic characteristics in adhesively bonded joints", *Materials Letters*, Vol 58, 3451-3456, 2004.
- [6] KUMAR, L.R., DATTA, P.K., and PRABHAKARA, D.L., "Dynamic instability characteristics of laminated composite doubly curved panels subjected to partially distributed follower edge loading", *International Journal of Solids and Structures*, Vol 42., 2243-2264, 2005.
- [7] ÖZGÜVEN, N., "Endüstriyel Gürültü Kontrolü, Makine Mühendisleri Odası", Yayın no:118, 1987.
- [8] Ansys workbench 8.1 Analiz Programı