



Murat Yılmaz
Murat Uysal

Teksan Generator, muratyilmaz@teksan.com, Istanbul-Turkey
Teksan Generator, muratuysal@teksan.com, Istanbul-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2021.16.2.2A0186	
ORCID ID	0000-0002-9224-3792	0000-0001-8995-3964
Corresponding Author	Murat Yılmaz	

TRAPEZ SAACLARIN TİTREŞİM DAVRANIŞLARININ SONLU ELEMANLAR VE DENEYSEL MODAL ANALİZLERİYLE İNCELENMESİ

Öz

Günümüzde çoğunlukla prefabrik yapılarda, çatılarda, konteynerlerde, baraka ve depo gibi yapıların imalatında kullanılan trapez saclar farklı ölçü ve kalınlıklar ile yapısal dayanım ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. İçerisine jeneratör gibi çalışan bir makine yerleştirildiğinde ise dinamik etkiler ortaya çıkmakta ve standart trapez profillerinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Titreşim ve akustik özelliklerinin de ön plana çıktığı bu tip yapılarda dinamik açıdan da gereksinimlerin karşılanması gerekmektedir. Bu çalışmada, istenen dinamik davranışın elde edilebilmesi için farklı trapez sac kesit geometrileri ve kalınlıkları ile karşılaştırmalı çalışmalar yapılmıştır. Bu trapez geometrilerinin istenen kriterlere uygunluğu, bilgisayar ortamında sonlu elemanlar analizleri yapılarak; doğrulama çalışması ise üretilen numune üzerinden deneysel modal analiz testi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada farklı trapez sac geometrileri için sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizlerini desteklemek amacıyla deneysel modal analiz yapılarak sonuçların örtüştürülmesi amacıyla gerekli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Modal Analiz, Trapez Sac Titreşimleri, Rijitlik, Sonlu Elemanlar Analizi, Katı Model

INVESTIGATION OF VIBRATION BEHAVIOR OF TRAPEZOIDAL SHEETS WITH FINITE ELEMENT AND EXPERIMENTAL MODAL ANALYSIS

ABSTRACT

Nowadays, trapezoidal sheets, which are mostly used in the manufacture of prefabricated buildings, roofs, containers, sheds and warehouses, may meet structural strength requirements with difference in sizes and thicknesses. When a machine such as a genset is placed inside a container, dynamic loads arise and the standard trapezoidal profiles become insufficient. The dynamic behavior of the structure should also be examined in such products wherefore low vibration and noise values are desired in marketplace. In this study, comparative studies have been carried out with different trapezoidal sheet sections in order to obtain the desired dynamic behavior. Finite element analyzes have been done for different trapezoidal section geometries and the verification study was carried out by performing an experimental modal analysis on a sample in order to match up with the numerical results.

Keywords: Experimental Modal Testing, Vibration of Trapezoidal Sheets, Rigidity, Finite Element Analysis, Solid Model

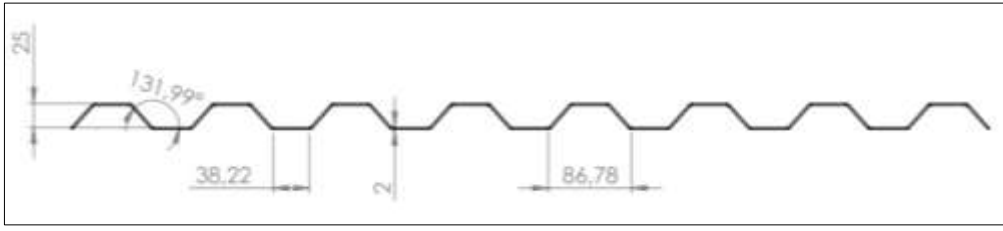
How to Cite:

Yılmaz, M. ve Uysal, M., (2021). Trapez Sacların Titreşim Davranışlarının Sonlu Elemanlar ve Deneysel Modal Analizleriyle İncelenmesi. Technological Applied Sciences, 16(2):7-19. DOI:10.12739/NWSA.2021.16.2.2A0186.

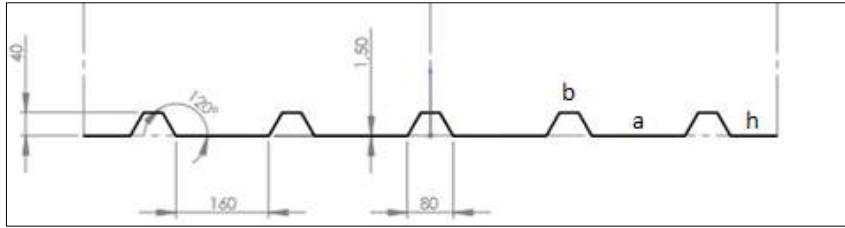
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Literatürde çeşitli geometrik yapıların sonlu elemanlar modal analizleri ve deneysel modal analizlerinin gerçekleştirilmesi ile ilgili yayınlar bulunmaktadır. Bu yayınlarda sonlu elemanlar analiz sonuçları yakınsama yöntemi ile mesh kontrolü yapılarak nümerik olarak doğrulanmaktadır. Deneysel modal analizlerde ise geometriye bağlı olarak nod yerleri ve sayısı belirlenmekte ve belirli sayıda ölçümün ortalaması ile mod şekilleri oluşturulmaktadır. Bir çalışmada düz sac, dairesel profil, kare profil ve trapez profilli sacların mukavemet açısından incelenmesi yapılmıştır. Titreşim davranışı için de önemli bir parametre olan elastisite modülünün kesit geometrisine bağlı değişiminin incelendiği makalede en yüksek rijitliğin trapez kesitli saclarda elde edildiği ifade edilmiştir [1].

En rijit sac kesit geometrisi olan trapez tipi sac geometrisinde a, b ve h ölçüleri rijitlik üzerinde önemli etkiye sahiptir (Şekil 1 ve 2). Sac kesitinin elastisite modülü bu ölçülere ve aralarındaki orana bağlı olarak değişim göstermektedir. H ölçüsünün artışı ile sürekli olarak artış gösteren elastisite modülü, belirli bir h değeri için en yüksek değerine a ile b arasındaki oranın 2 olması durumunda ulaşmaktadır. Bu oranın daha fazla artması sonuca önemli bir katkı sağlamamaktadır [1].



Şekil 1. Birinci trapez sac kesiti
(Figure 1. Section of first trapezoid)



Şekil 2. İkinci trapez sac kesiti
(Figure 2. Section of second trapezoid)

Bir başka çalışmada ise düz ve delikli bir plakanın farklı ölçü ve malzemeler için sonlu elemanlar analizleri yapılmış, kalınlık ile uzunluk arasındaki oranın ve seçilen malzemelerin sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gerilme yığılmasının delik etrafında olduğu ve plaka kalınlığı ile delik çapı arasındaki oran arttıkça gerilmelerin düştüğü ifade edilmiştir [2].

Trapez geometrisinin enine ve boyuna çekme mukavemetinin incelendiği bir çalışmada ise kesit geometrisinin ölçüleri ile mukavemet arasındaki ilişki hem analitik olarak hem de sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Trapez geometrisinin mukavemet özelliklerinin kesit geometrisi ile değiştiği ve ciddi ölçüde eş yönsüz olduğu gösterilmiştir [3].

Bir çalışmada sacların birleşme tipine göre mukavemeti incelenmiştir. Kaynak tipine göre mukavemet özelliklerinin incelendiği çalışmada sürekli kaynak, tek taraflı kaynak ve nokta kaynağın



karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve çalışmada sürekli kaynağın en yüksek mukavemete sahip olduğu ifade edilmiştir [4].

Plaka tipi saclar ya da düz kesitli geometrilerde elastisite modülü arttıkça doğal frekanslar da yüksek frekanslara doğru kaymaktadır; bu da, modal davranış açısından daha iyi bir geometri anlamına gelmektedir [5]. Plaka tipi sacların doğal frekansları üzerinde etkili olan diğer temel faktörler ise plaka ölçüleri ile plaka üzerine yüklenen kuvvetlerdir [6].

Plaka titreşimleri ile ilgili yapılan bir çalışmada kare sac ve merkezinde kare, dairesel ve oval boşluk bulunan saclar için enerji formülleri ve sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmiştir. Boşluklu kare sac plakanın enerji denklemleri ile çözümden elde edilen doğal frekans değerleri sonlu elemanlar analizi ile elde edilen değerlere çok yakın iken boşluklu sac parçalarda enerji denklemleri ile elde edilen sonuçların hata oranının %7.26'ya kadar çıktığı belirtilmektedir [7].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu makalede ise trapez kesitli sac geometrisinin farklı kalınlık ve farklı kesit şekilleri için sonlu elemanlar analizleri yapılmış, numune üzerinden gerçekleştirilen deneysel modal analizler ile sonuçlar doğrulanmıştır. Ayrıca çalışmada konteynerlerde kullanılan trapez sac geometrilerinin titreşim davranışları incelenmiştir. Daha düşük titreşim için gerekli olan kesit geometrisinin belirlenmesinde izlenmesi gereken yol ile ilgili nümerik analizler ve deneysel modal analizler ile desteklenmiş bir araştırma yapılmıştır. Kesit geometrisindeki temel parametrelerin titreşim davranışı üzerindeki etkisi ve minimum titreşim için alınması gereken önlemler ve sonuçlar detaylı bir biçimde incelenmiştir.

Konteynerler genelde yük taşımak amacıyla kullanıldığından literatürde trapez sacların ve standart konteyner konstrüksiyonunun mukavemeti ile ilgili nümerik ve deneysel çalışmalara rastlanmaktadır. Bunun yanı sıra standartlarda verilen ölçü sınırları ve sertifika testleri ile konteyner dayanımı güvence altına alınmaktadır. İçerisine jeneratör gibi çalışan makine yerleştirilen konteynerlerin ise deniz veya kara yolu ile taşınması esnasındaki dayanımının yanı sıra kurulacağı alanda oluşturacağı titreşim gürültüsü de önem taşımaktadır. Bu tip titreşimler hem zemin üzerinden etrafa yayılarak hem de doğrudan trapez saclar üzerinden düşük frekanslı ve rahatsız edici bir gürültüye dönüşerek oldukça önemli bir problem haline gelmektedir.

Literatürde titreşim azaltmaya yönelik temel önlemler üzerinde yapılan nümerik ve analitik çalışmalar bulunmaktadır. Bir çalışmada, trapez geometrisi üzerine bağlanan kütle ve sönüm elemanları ile titreşim azaltmaya yönelik ANSYS ile sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Sönüm elemanlarının ve kütlelerin artırılmasının doğal frekanslar değerlerini yükselttiği ifade edilmiştir [8]. Bir başka çalışmada ise trapez kesitinin et kalınlığı ile doğal frekanslar arasındaki ilişki ANSYS ile incelenmiştir, et kalınlığının artırılması ile doğal frekans değerlerinin yükseldiği gösterilmiştir [9]. Bu yöntemler en genel titreşim azaltma yöntemleri olup, ağırlık ve maliyet artışına neden olmanın yanı sıra imalat süresinin uzamasına neden olabildiğinden her zaman uygulanması mümkün olmamaktadır. Bu çalışma ise trapez titreşimlerinin azaltılmasına farklı bir bakış açısı getirmektedir. Bu nedenle, trapez sacların alt frekans değerlerindeki titreşimlerinin önlenmesine yönelik literatürde bulunan ihtiyacı karşılayarak yararlı olacağı düşünülmektedir.

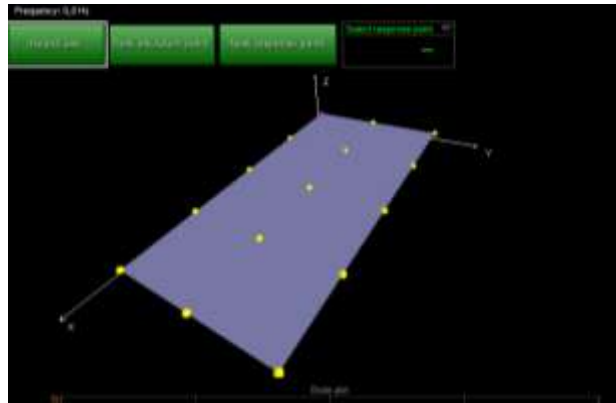
3. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

İki farklı trapez sac kesit geometrisi için (birinci trapez sac kesiti, ikinci trapez sac kesiti) hem sonlu elemanlar analizleri hem de sonlu elemanlar analizi sonuçlarını doğrulamak amacıyla deneysel modal analiz testi yapılmıştır. Yeni konteynerlerde kullanılacak trapez yapısından 2500mmx960mm ebatlarında hazırlanan numune ile deneysel modal analiz yapılmıştır. İvmeölçerin, deney numunesi üzerinde belirlenen 15 adet noktadan çekiç testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar DSA yazılımı tarafından birleştirilerek mod şekilleri oluşturulmuştur. Bu mod şekilleri ANSYS modelinden elde edilen nümerik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Test numunesi ve nümerik analiz için katı modeller
(Figure 3. Test sample and solid models for numerical analysis)

Deneysel modal analiz test kurulumu için Dewesoft yazılımının DSA modülü kullanılmıştır. Trapez sac üzerinde eşit aralıklarla 15 adet nokta işaretlenmiştir. Dewesoft yazılımındaki deneysel modal analiz geometrisi ise 15 adet noktadan geçen yüzey şeklinde tanımlanmıştır. Bu noktalar düzleme dik yönde hareket edebilen noktalar olup tek eksenli ivmeölçerden veri alacak şekilde oluşturulmuştur. Sacın tam merkezinde yer alan nokta hem ivmeölçer noktası hem de çekiç ile uyarma noktası olarak tanımlanmış olup bu noktadan IH-05 tipi modal çekiç ile uyarı verilmiştir. Her bir nokta için 3 adet olmak üzere toplam 45 kez uyarı verilmiştir. Plaka tipi bir yapının deneysel mod şekillerini oluşturabilmek yüzeyde eşit aralıklarla 15 adet nokta işaretlenmiştir. 15 farklı ivmeölçer pozisyonundan alınan 3'er adet ölçümün ortalaması ile mod şekilleri oluşturulmuştur [10]. ANSYS ile yapılacak karşılaştırma için istenen modları görebilmek amacıyla uzun kenarda 5 serbestlik derecesi, kısa kenarda ise 3 serbestlik derecesi tanımlanmıştır [1].

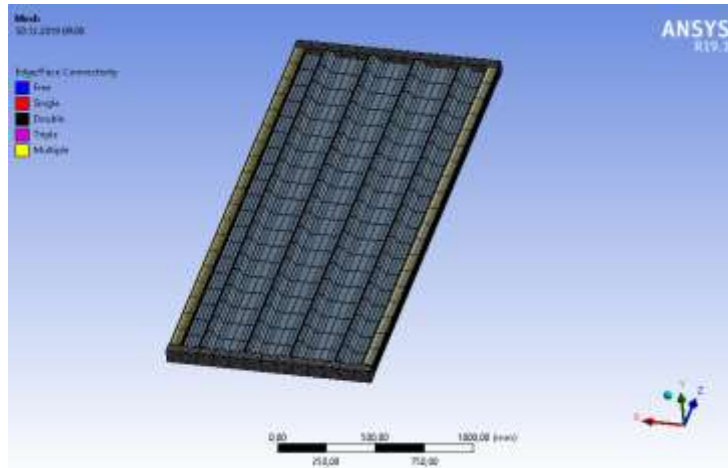


Şekil 4. Modal analiz kurulumu
(Figure 4. Setup for modal analysis)

Gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinde ANSYS Mechanical'ın Modal Analiz modülü kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizlerinin tamamında 3 boyutlu katı modeller kullanılmıştır. Deneysel modal analizde sac herhangi bir noktasından sabitlenmeden serbest-serbest koşulda test edildiğinden sonlu elemanlar analiz modelinde de aynı koşulu oluşturmak amacıyla sınır koşulu serbest-serbest olarak tanımlanmıştır.

İyi bir yakınsama sağlamak ve mesh kaynaklı analiz hatalarını minimumda tutmak amacıyla ara nodlu Quadratic elemanlar kullanılmış ve mesh boyu numune boyunun 1/10'undan fazla olmayacak şekilde tanımlanmıştır [11].

Sac şeklindeki yapıların en, boy ve kalınlığı bağlı olarak doğal frekansları değişmektedir. Aynı özelliklerdeki daha uzun veya daha geniş bir sac plakanın doğal frekanslarının daha düşük değerlerde olduğu bilinmektedir [12]. Trapez geometrisi de (Şekil 1) daha geniş ölçülerde daha elastik davranış gösterecektir. Bu nedenle konteynerlerde yer alacak en büyük ölçülere göre nümerik analizler yapılmış ve 1,5 mm ve 2 mm kalınlığındaki ikinci trapez geometrisi (Şekil 2) ile birinci trapez modelinin karşılaştırması yapılmıştır.



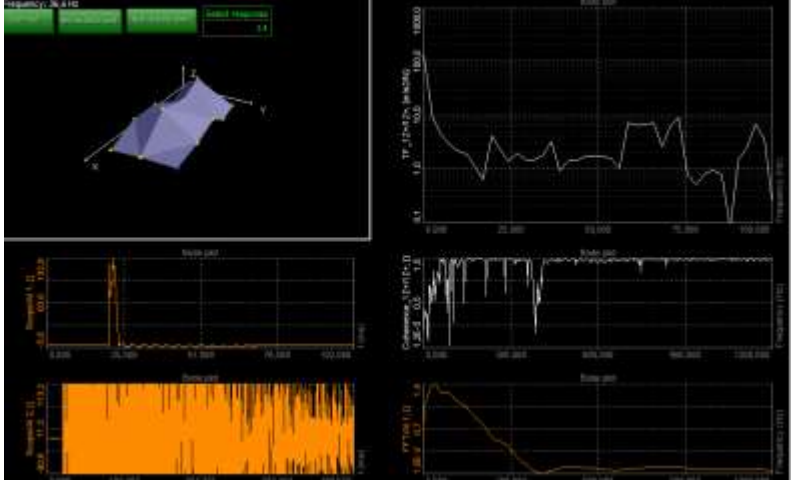
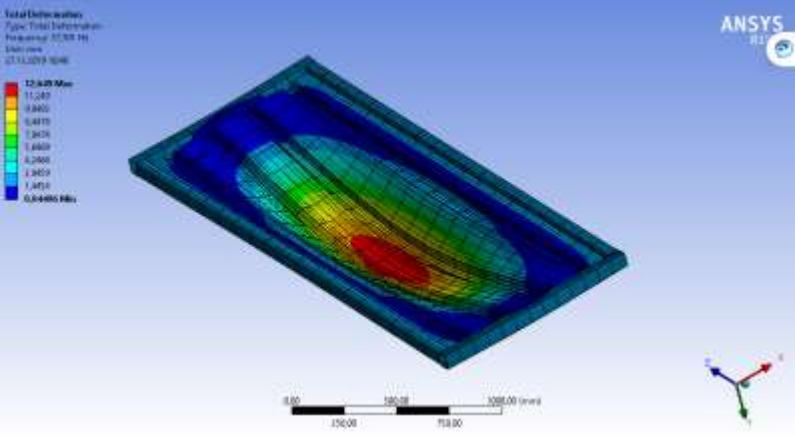
HRP 4237 kalite malzeme için tanımlanan mekanik değerler:
Elastisite Modülü: 200 GPa, Yoğunluk: 7850 kg/m³

Şekil 5. Ansys static structural modeli
(Figure 5. Ansys static structural model)

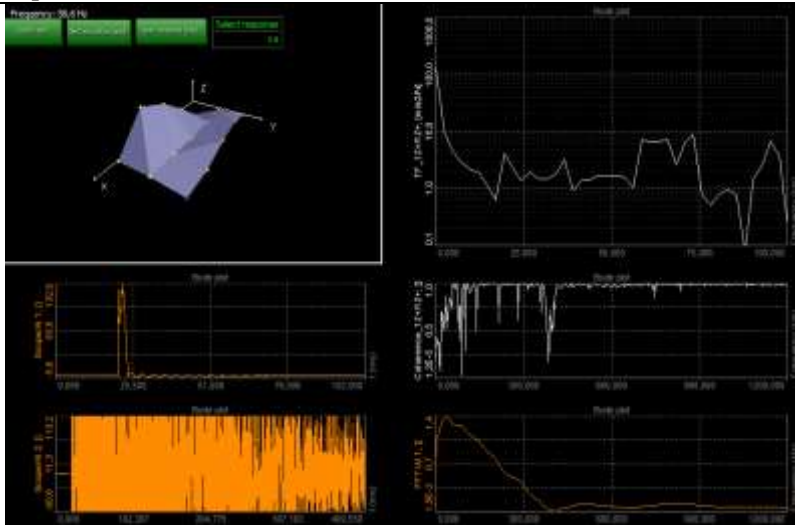
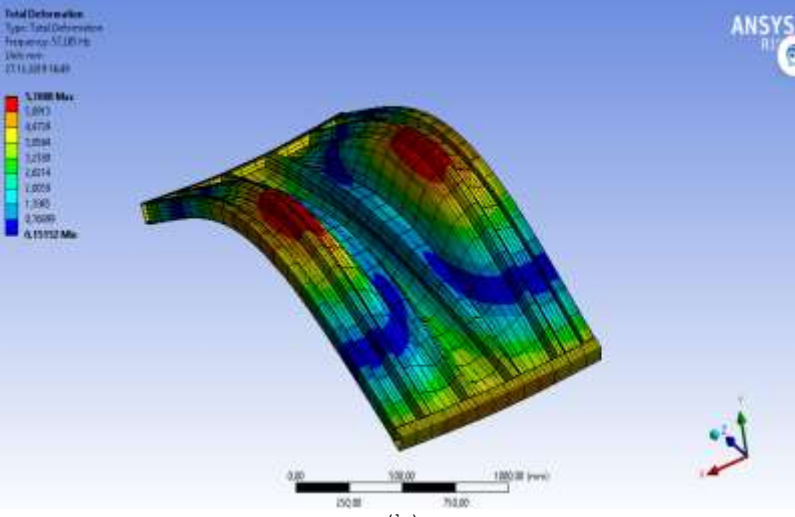
4. TEST VE ANALİZ SONUÇLARI (TEST AND ANALYSIS RESULTS)

Nümerik modal analizin ilk 6 modu serbest-serbest koşulundan dolayı rijit hareketlere aittir; sonuçların doğrulaması sonraki dört mod şekli ile karşılaştırma yapılarak gerçekleştirilmiştir. İlk dört mod ve bu modlara ait frekanslar için yapılan deneysel modal analiz sonuçları ile nümerik modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre test ile analiz arasındaki fark en fazla %5 olarak gerçekleşmiştir.

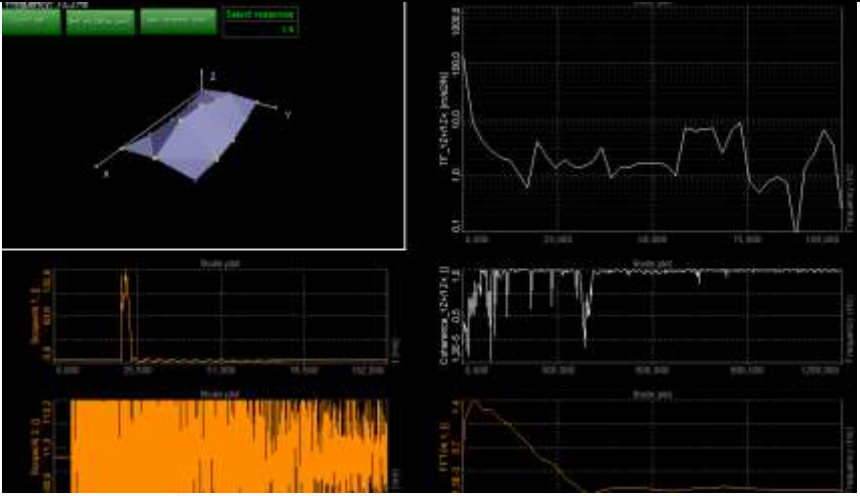
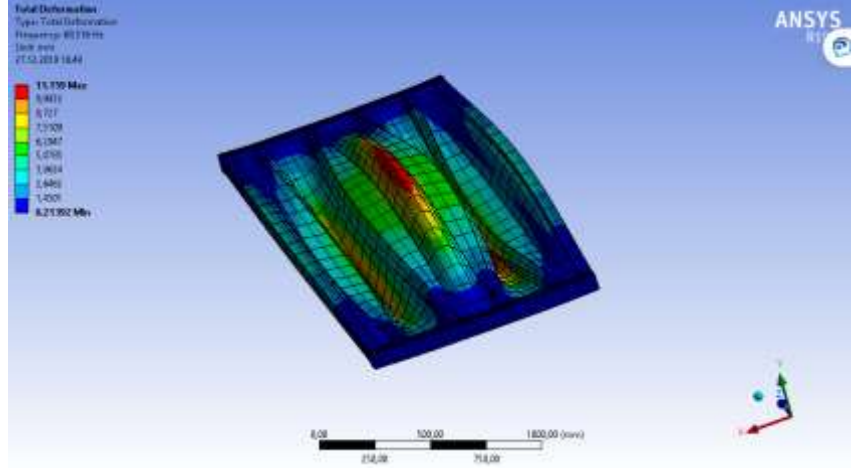
Tablo 1. Birinci mod
(Table 1. Fundamental mode)

Deneyel Modal Analiz Sonucu	
36.6Hz	 <p>(a)</p>
Nümerik Modal Analiz Sonucu	
37.81Hz	 <p>(b)</p>
Deneyel (a) ve nümerik (b) modal analiz sonuçlarına göre parçanın kenarları çok az hareket ederken orta kısmı birinci dereceden büyük genliklerde salınım yapmaktadır. Deneyel ve nümerik analizden elde edilen mod şekiller karşılaştırıldığında çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir.	

Tablo 2. İkinci mod
(Table 2. Second mode)

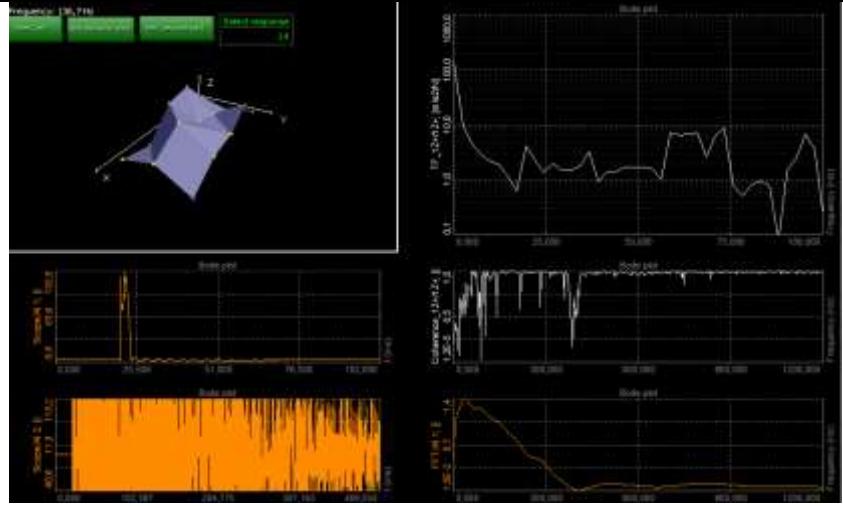
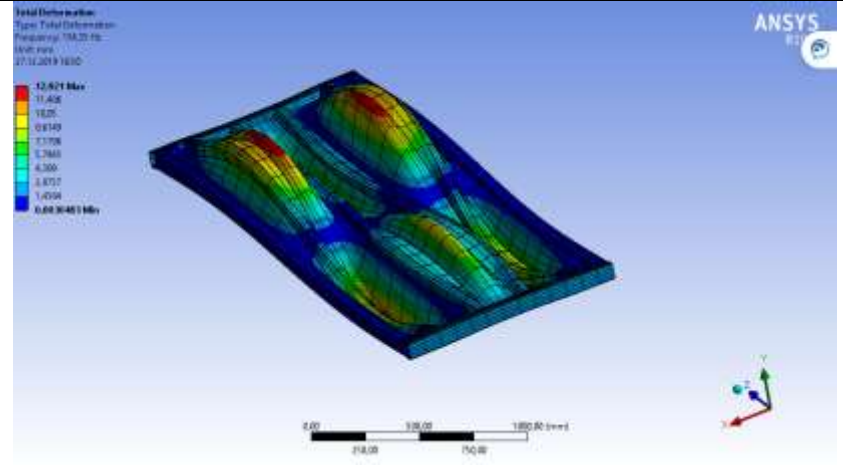
58.6Hz	<p>Deneysel Modal Analiz Sonucu</p>  <p>(a)</p>
57.2Hz	<p>Nümerik Modal Analiz Sonucu</p>  <p>(b)</p>
<p>Deneysel (a) ve nümerik (b) modal analiz sonuçlarına göre parçanın orta kısmı çok az hareket ederken kenarlar boyunca birinci dereceden büyük genliklerde salınım yapmaktadır. Deneysel ve nümerik analizden elde edilen mod şekiller karşılaştırıldığında çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir.</p>	

Tablo 2. Üçüncü mod
(Table 3. Third mode)

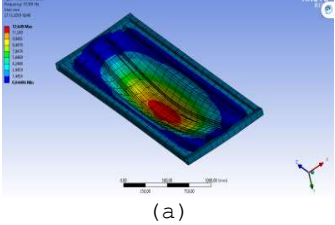
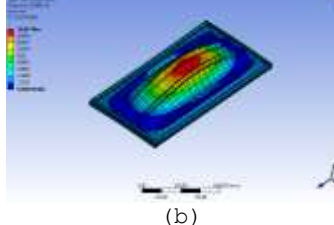
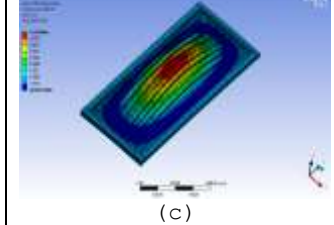
Deneysel Modal Analiz Sonucu	
73.2Hz	 <p>(a)</p>
Nümerik Modal Analiz Sonucu	
69.5Hz	 <p>(b)</p>

Deneyisel (a) ve nümerik (b) modal analiz sonuçlarına göre parçanın orta kısmı ve kenarlar boyuna birinci dereceden büyük genliklerde salınım yapmaktadır. Deneyisel ve nümerik analizden elde edilen mod şekiller karşılaştırıldığında çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

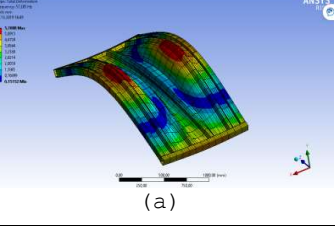
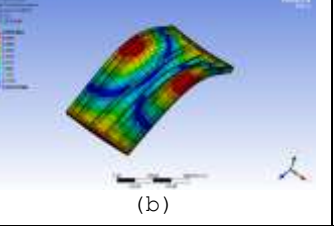
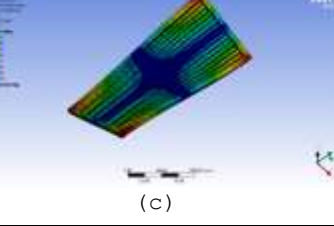
Tablo 3. Dördüncü mod
(Table 4. Fourth mode)

136.7Hz	<p>Deneysel Modal Analiz Sonucu</p>  <p>(a)</p>
134.4Hz	<p>Nümerik Modal Analiz Sonucu</p>  <p>(b)</p>
<p>Deneysel (a) ve nümerik (b) modal analiz sonuçlarına göre parçanın orta kısmı ve kenarlar boyunca ikinci dereceden büyük genliklerde salınım yapmaktadır. Orta kısmın hareketi ile kenarların hareketi arasında 180° faz farkı bulunmaktadır. Deneysel ve nümerik analizden elde edilen mod şekiller karşılaştırıldığında çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir.</p>	

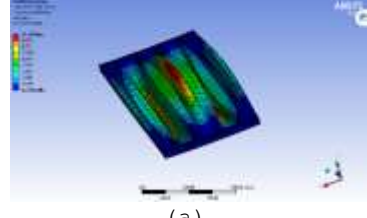
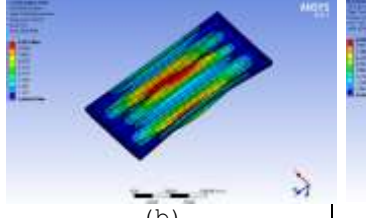
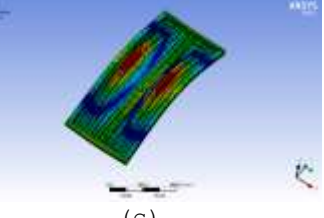
Tablo 4. Birinci modun karşılaştırılması
(Table 5. Comparison of first mode)

		
(a)	(b)	(c)
Yeni geliştirilen trapezin 1.5mm kalınlıkta olanının 37.381Hz frekansındaki mod şekli	Yeni geliştirilen trapezin 2mm kalınlıkta olanının 38.085Hz frekansındaki mod şekli	Mevcut trapezin 27.491Hz frekansındaki mod şekli
Mevcut trapezin 27.491Hz frekansındaki mod şekli (c) ile yeni geliştirilen 1.5 mm kalınlıktaki trapezin 37.381 Hz (a) frekansındaki mod şekli aynıdır. Yeni geliştirilen 2 mm kalınlıktaki trapezin (b) doğal frekansının 1.5 mm kalınlıkta olana çok yakın olması kalınlığın bu frekansta önemi olmadığını göstermektedir. Bu da yeni geliştirilen trapezin alt frekanslarda titreşim açısından bir rijitlik sağladığını göstermektedir.		

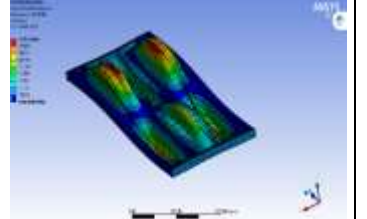
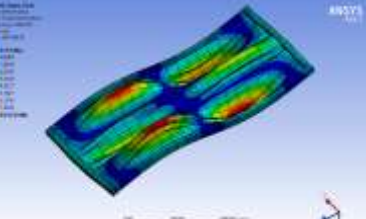
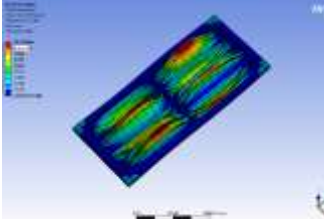
Tablo 5. İkinci modun karşılaştırılması
(Table 6. Comparison of second mode)

		
(a)	(b)	(c)
Yeni geliştirilen trapezin 1.5mm kalınlıkta olanının 57.205Hz frekansındaki mod şekli	Yeni geliştirilen trapezin 2mm kalınlıkta olanının 57.308Hz frekansındaki mod şekli	Mevcut trapezin 38.203Hz frekansındaki mod şekli
Mevcut trapezin (c) ikinci modu 38.203Hz frekansında iken yeni geliştirilen trapezinki (a) 57.205Hz frekansındadır. Bu da yeni geliştirilen trapezin ikinci modunun daha yüksek bir frekansta ve uyarılması daha zor bir mod şeklinde sahip olduğunu göstermektedir. Yeni geliştirilen 2mm kalınlıktaki trapezin (b) doğal frekansının 1.5mm kalınlıkta olana çok yakın olması ise kalınlığın bu frekansta önemi olmadığını göstermektedir.		

Tablo 6. Üçüncü modun karşılaştırılması
(Table 7. Comparison of third mode)

		
(a)	(b)	(c)
Yeni geliştirilen trapezin 1.5mm kalınlıkta olanının 69.516Hz frekansındaki mod şekli	Yeni geliştirilen trapezin 2mm kalınlıkta olanının 79.3Hz frekansındaki mod şekli	Mevcut trapezin 53.434Hz frekansındaki mod şekli
Mevcut trapezin (c) 53.434Hz frekansındaki mod şekli ile yeni geliştirilen trapezin 69.516 (a) Hz frekansındaki mod şekli aynıdır. Bu da yeni geliştirilen trapezin alt frekanslarda titreşim açısından bir rijitlik sağladığını göstermektedir; aynı mod şekli daha yüksek frekanslara taşınmıştır. Yeni geliştirilen 2 mm kalınlıktaki trapezin (b) doğal frekansının 1.5 mm kalınlıkta olandan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu frekanstan itibaren kalınlığın da önem kazanmaya başladığı anlaşılmaktadır.		

Tablo 7. Dördüncü modun karşılaştırılması
(Table 8. Comparison of fourth mode)

		
(a)	(b)	(c)
Yeni geliştirilen trapezin 1.5mm kalınlıkta olanının 134.35Hz frekansındaki mod şekli	Yeni geliştirilen trapezin 2mm kalınlıkta olanı 142.9Hz frekansındaki mod şekli	Mevcut trapezin 133.3Hz frekansındaki mod şekli
Mevcut trapezin (c) 133.3Hz frekansındaki mod şekli ile yeni geliştirilen trapezin 134.35Hz frekansındaki mod şekli aynıdır. Bu da yeni geliştirilen trapezin üst modlara çıkılınca titreşim açısından standart trapez ile benzerlik göstermektedir. Yeni geliştirilen 2 mm kalınlıktaki trapezin (b) doğal frekansının 1.5mm kalınlıkta olandan daha yüksek olması ise yüksek frekanslarda kalınlığın, trapez kesit geometrisinden daha önemli olduğunu göstermektedir.		

Trapez geometrileri arasındaki doğal frekanslarının ilk üçü arasındaki fark fazla iken sonrasında bu farkın kapanmakta olduğu görülmektedir. Bu da alt frekanslardaki motor ve alternatörün dönüş devirlerinde meydana gelen titreşim, rezonans ve gürültü problemlerini önlemek için yeterli olmaktadır.

5. SONUÇ (RESULT)

DeneySEL ve nümerik modelin karşılaştırması ile nümerik model doğrulaması yapılmıştır. Nümerik model doğrulaması yapıldıktan sonra titreşim açısından daha rijit trapez modeli geliştirilmiştir. İçerisinde jeneratör gibi çalışan makine bulunan konteynerlerde problem olarak karşımıza çıkan sac titreşimlerini azaltmak toplam konteyner ağırlığının da artmasına neden olmaktadır. Kimi zaman



titreşim veya gürültü problemini çözmek için 1.5 veya 2 kat kalın sac kullanılması gerekmektedir; bu da 2 kata kadar daha fazla ağırlık ve yüksek maliyet oluşturmaktadır. Bu çalışmada, titreşim ve gürültü açısından daha iyi; maliyet ve ağırlık açısından daha avantajlı bir çözüm için farklı bir trapez sac kesit geometrisinin kullanılması önerilmektedir. Elde edilen analiz ve test sonuçları bu trapez geometrisinin, içerisinde jeneratör gibi çalışan makine bulunan konteynerlerde düşük frekanslarda meydana gelen ve yayılan gürültüleri önlemek için üstünlük oluşturduğunu göstermektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)

Yazarlar bu çalışma için herhangi bir mali destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Çapacı, Z. ve Çavdar, K., (2008). Düz ve eşyönsüz plakaların eğilme rijitliklerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi. Bursa: Lublin: Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13(2).
- [2] Pawar, P., Ballav, R., and Kumar, A., (2016). Finite element method analysis of rectangular plate with circular hole using ansys. Jamshedpur: Int. J. Chem. Sci., 14(4).
- [3] Ghabezi, P. and Golzar, M., (2013). Mechanical analysis of trapezoidal corrugated composite skins: applied composite materials. 20(4).
- [4] Miroslav, P. and Lengravsy, P., (2018). Analysis of stress and deformation fields of shape complex beams: MATEC Web of Conferences, 157, 02037.
- [5] Guan, C., Zhang, H., Wang, X., Miao, H., Zhou, L., and Liu, F., (2017). Experimental and theoretical modal analysis of full-sized wood. Composite Panels Supported on Four Nodes. Basel: Materials, 10, 683.
- [6] Ikechukwu, O., Aniekan, I., Pau, S., and Ikpe, E., (2016). Experimental modal analysis of a flat plate subjected to vibration. Stamford: American Journal of Engineering Research (AJER), 5(6):30-37.
- [7] Cho, D.S., Vladimir, N., Choi, T.M. Approximate natural vibration analysis of rectangular plates with openings using assumed mode method (2013). International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 5(3):478-491.
- [8] Jund, K. ve Kim, W.Y., (2014). Vibration analysis of trapezoidal corrugated plates with stiffeners and lumped masses: Kore: KSNVE, 24(5):414-420
- [9] Torabi, K. ve Afshari, H., (2016). Vibration analysis of a cantilevered trapezoidal moderately thick plate with variable thickness: İran: Engineering Solid Mechanics (2017), 71-92.
- [10] Avitabile, P., (2001). Experimental modal analysis. Massachusetts: Sound and Vibration.
- [11] Niyonyungu, F. and Karangwa, J., (2019). Convergence analysis of finite element approach to classical approach for analysis of



plates in bending. Lublin: *Advances in Science and Technology Research Journal*, 13(4).

- [12] Senjanovic, I., Tomic, M., Vladimir, N., Cho, D.S. Analytical solution for free vibrations of a moderately thick rectangular plate (2013). *Mathematical Problems in Engineering*, 207460.