



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Plastik parçalarda bir esneyerek kilitlenen bağlantı modelinin modal analizi

Modal analysis of a snap-fits joint model for plastic parts

Yazar(lar) (Author(s)): Fulya ERDEMİR¹, Murat Tolga OZKAN²

ORCID¹: 0000-0002-1383-6857

ORCID²: 0000-0001-7260-5082

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Erdemir F., Ozkan M. T., “Plastik parçalarda bir esneyerek kilitlenen bağlantı modelinin modal analizi”, Politeknik Dergisi, 22(4): 927-933, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.499235

Plastik Parçalarda Bir Esneyerek Kilitlenen Bağlantı Modelinin Modal Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Fulya ERDEMİR^{1*}, Murat Tolga OZKAN²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi Türkiye

²Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi Türkiye

(Geliş/Received : 19.12.2018 ; Kabul/Accepted : 03.01.2019)

ÖZ

Karmaşık geometriye sahip enjeksiyon kalıplı plastik parça montajında, kimyasal yapıştırıcı ve vidalama yerine esneyerek kilitlenen bağlantılar (snap-fits) tercih edilmektedir. Bu bağlantıların kullanımı ara yüzey ve ilgili eşleşme kuvvetinin doğru hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu çalışma da, kiriş ya da ayaklı diye tarif edilen ayakucunda kitleme detayı bulunan bir bağlantı elemanının Polilaktik Asit (PLA), Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) ve Polietilen Tereftalat Glikol kopolimer (PET-G) malzemeleri kullanılarak elde edilen modeller için Modal analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen veriler kullanılarak harmonik cevap analizi yapılmıştır. Sonuçta elde edilen veriler yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Plastik parçalar, esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları, modal analiz, harmonik cevap analizi, sonlu elemanlar analizi.

Modal Analysis of a Snap-fits Joint Model for Plastic Parts

ABSTRACT

Snap-fits are preferred when mounting injection-molded plastic parts with complex geometries, locking them in place of chemical adhesives and screws. The use of Snap-fits is based on the accurate calculation of the interface and the associated coupling strength. In this study, a Modal Analysis process was carried out for the products obtained by using Polylactic Acid (PLA), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) and Polyethylene Terephthalate Glycol copolymer (PET-G) materials of a connecting element with locking detail on the movable, which is described as beam or movable. Harmonic Analysis was performed using the data obtained from Modal Analysis. The obtained data were interpreted.

Keywords: Plastic parts, snap-fits, modal analysis, harmonic response analysis, finite element analysis (FEA).

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen teknoloji ve malzemelere kazandırılan teknik özelliklerin iyileştirilmesiyle plastik malzemeler birçok sektörün ham maddesi haline gelmiştir. Plastikler malzemelere olan talep artışı ile birlikte diğer malzemelerle olan bağlantısı da önem kazanmıştır. Plastik bağlantı elemanlarından biri olan esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları tasarımları, kolay montaj ve demontaj edilebilir özellikleri, çevre dostu olmaları gibi özelliklerinden dolayı birçok araştırmaya konu olmuştur. Suri ve Luscher, yapısal soyutlama yaklaşımını formüle etmiştir. Esas olarak geçmeli yapının tabanına esneklik eklemek ve yay elemanlarını kullanarak tabanın etkisinin olduğu hipotezini kanıtlamaya çalışmıştır. Test işlemi ardından elde edilen sonuçlardaki doğruluk, taban parçasının sertliğinin modellenmesiyle sağlanmıştır. Böylece snap-fit performansının gerçekçi simülasyonu sağlanarak güvenilirliği artırılmıştır [1]. Ajesh ve arkadaşları ise dizüstü bilgisayarın bir anakartından alınan boyutların referansı ile bir konsol bağlantı parçası tasarlamıştır.

Tasarlanan bağlantı parçasına ABS+PC, POLYSULPHONE, RADEL-r ve PETG malzemesi kullanılarak malzemenin tasarım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tasarlanan model için ANSYS ortamında malzemenin kesme kuvveti ve gerilme mukavemeti doğrulanmıştır [2]. Esneyerek Kilitlenen Bağlantıların kullanımı ara yüzey ve ilgili eşleşme kuvvetinin doğru hesaplanmasına dayanır. Eşleşme kuvveti ara kesişim noktasıyla orantılıdır. Plastik parça boyutsal hataya çok duyarlı olan ara kesişim nokta oranıdır. Yetersiz girişim gevşek montaj ile sonuçlanırken, girişimin aşırı olması montajı engelleyerek ince duvarlı plastik parçalara zarar verebilir. Niteliksiz girişim olasılığı otomobil ve elektronik uygulamadaki yüksek kaliteli Esneyerek Kilitlenen Bağlantı uygulamalarında zarara neden olur. Chen ve Lan, çalışmalarında hassas ara kesim noktasının gereksinimini azaltmak ve montaj sağlamlığını iyileştirmek için sabit kuvvetli bir Esneyerek Kilitlenen Bağlantı tasarımı (belirsiz kesişim noktalarının düzenleyici kuvvet ile bakılan) sunmuştur. En sabit eşleşme kuvvetini üreten bağlantı konfigürasyonlarını bulmak için bir tasarım formülasyonu gerçekleştirmiştir. Resimli simülasyon ve deneyler, sabit kuvvetli geçme uyumunun tipik bağlantı eşleşmelerinden daha az kuvvet

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : erdemirfulya@gmail.com

ile olduğunu göstermiştir. Belirsiz eşleşme kuvveti kesin girişim gerektirmeden minimize edilmiş, var olan Esneyerek Kilitlenen Bağlantı uygulamalarında alternatif sağlamasını düşünmüşlerdir [3]. Kulkarni ve arkadaşları, RADIOSS, HyperCrash ve diğer HyperWorks araçlarını kullanarak üretim ve servis kolaylığı için sıkı tasarım gereksinimlerini karşılayarak, tipik bir plastik esneyerek kilitlenen bağlantı tasarımı için sistematik yaklaşımı göstermiştir. Araştırmadan, yüksek gerilimli konsantrasyon alanlarının, bloğun rampa açısına, kanat kalınlığına ve keskin köşelere duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu gibi problem alanları, sırasıyla Mating (Birleşme) ve Base (Taban) kısımlarında uygun açılarla çentikler vasıtasıyla geliştirilmektedir. Tasarım değişiklikleri imalat ve servis kolaylığı kriterlerine göre yapılmalıdır. İtme koşulunun önce ve ardından çekme koşulunun karşılanması gerekli değildir. Tasarımın hedefleri karşılamak için 4'ten fazla tekrar etmesi durumunda, geçmeli tasarımın hem itme ve çekme için çapraz kontrol edilmesi tavsiye edilir [4].

Esneyerek kilitlenen bağlantılar montaj/demontaj süresi, üretim maliyeti ve parça sayısını azaltması gibi özelliklerinden ötürü geleneksel montaj yöntemlerine göre daha sık tercih edilir. Tipik bir esneyerek kilitlenen bağlantı simülasyonu iki kritik adım içerir; temas algılama ve doğrusal olmayan deformasyon analizi. Biri iki aşamayı simüle etmek için standart 3D Sonlu Eleman Analizi (FEA) ve 3D kontakt detektörlere dayanır. Ancak, esneyerek kilitlenen bağlantılar kırılgandır, büyük deformasyon analizleri için ışın analizleri verimlidir, fakat temas tespiti zorluklar doğurabilir. Ayrıca karmaşık snap parçalarının 1D formülasyonu için enine kesit özelliklerinin çıkarılması kolay değildir. Jorabchi ve Suresh, "Her iki dünyanın en iyisi" dedikleri doğrusal olmayan boyut küçültme yöntemi sunmuştur. Temas tespiti için 3D bir model kullanılmıştır. Önerilen yöntemde deformasyon analizini hızlandırmak için cebirsel bir işlem aracılığıyla üç boyutlu modelin bir boyutlu ışın modeli oluşturulmuştur. Optimizasyon çalışmaları ve nümerik deneylerle doğrularak üç boyutlu simülasyonun genelliğini ve bir boyutlu hesaplamaların verimliliğini sunmuştur [5]. Son on yılda yapılan çalışmalar da akıllı materyal kullanılarak aktif demontaj incelenmiş, maliyet, malzeme özellikleri ve sınırlı tedarik nedeniyle geniş çapta uygulanmadığı görülmüştür. He ve arkadaşları, Şekil Bellek Polimeri (SMP) ile harekete geçirilen içi boş geçmeli bir tasarım yapmış ve gelecekteki bazı uygulamalar için kurallar belirlemiştir. Tasarım parametreleri ile iki ana birleşim arasındaki korelasyon, ana tasarımın hedefleri, maksimum sapma ve eşleşme gücü, FEA yazılımı kullanılarak analiz etmiştir. Bu tasarımın olası alternatiflerden biri olduğu, böylece akıllı malzeme kullanımının azalacağı ve malzemenin mekanik özelliklerinin artırılacağı düşünülmektedir [6]. Geçmeli bağlantı parçaları mevcut olan en ucuz ve hızlı bağlantılardan biridir. Ancak, eklemlerin geometrik karmaşıklığı ve sınırlamaları nedeniyle enjeksiyon kalıplama, neredeyse büyük ölçekli imal edilmiş

ürünlerde kullanılmaktadır. Eklemeli imalat ise neredeyse sınırsız imalat karmaşıklığı ile küçük ve orta ölçekli son kullanıcı ürünlerini sunmaktadır. Klahn ve arkadaşları, eklemeli imalat sürecindeki mevcut tasarım klavuzlarında ilkeler değişmeden kalırken, ürün ve kullanıcı entegrasyonunu geliştirmek için eklemeli imalatın avantajları getirilerek ergiyik biriktirme yöntemi ve seçici lazer sinterleme yöntemi ile esneyerek kilitlenen bağlantı parça bulunduran bir kapak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sonuçta üretimdeki kalıp maliyetinden dolayı eklemeli imalat yönteminin daha avantajlı olduğu gösterilmiş ve yeni tasarımcılara esneyerek kilitlenen bağlantı tasarımında yeni fonksiyonlar ekleyebilme işleminin yolu açılmıştır [7].

Modal analiz veya mod-süperpozisyon yöntemi, yer değiştirme modellerini karakterize etmek için serbest titreşim modu şekillerini değerlendiren ve üst üste bindiren doğrusal bir dinamik yanıt prosedürüdür. Mod şekilleri, bir yapının doğal olarak yer değiştireceği konfigürasyonları tanımlar. Çalışma şartlarında modal analiz herhangi bir kuvvete gerek kalmadan modal parametreleri bulmak için cevap (ivme) parametre verileri kullanılarak gerçekleştirilen bir işlemdir. İşlemin bu şekilde olması test düzeneği kurulumunda zaman kısaltmaktadır. Kuyumcuoğlu tez çalışmasında, çalışma şartlarındaki modal analiz için Frekans Alanında Ayrıklaştırma (FAA) yöntemini kullanarak bir sistemin çalışma şartları altındaki titreşimlerini kullanarak sisteme ait modal parametreleri belirleme çalışmıştır. Frekans Alanında Ayrıklaştırma yönteminin uygulanabilirliği sayısal analizler ve ardından da deneysel çalışmalar ile sınanmıştır. Sayısal analizlerden ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, çalışma ortamında modal analiz yönteminin kabul ettiği varsayımların geçerli olduğu ortamların yaratılması durumunda uygulanabilir olduğunu göstermiştir [8]. Reddy ve arkadaşları, CATIA ortamında çizilen bir yaprak yay modelinin ANSYS 18.0 kullanılarak statik ve dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. Analitik yöntemi, aracın maksimum yük yükünü ve yaprak yayının doğal frekanslarını uyarma frekansı ile karşılaştırmak için kullanmış, statik analiz yapılarak ANSYS sonuçları ile doğrulamıştır. Tasarlanan modelin doğal frekansını ve mod şekillerini belirlemek için Modal Analiz yapılmıştır. Bu doğal frekanslar, aracın farklı hızlarındaki uyarım frekanslarıyla, yol düzensizliğinin çeşitli genişlikleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçta bu uyarım frekansları analitik sonuçlarla doğrulanmıştır [9]. Hügül, çalışmasında hareketli tekil yüke maruz kalan kiriş ve kafes yapıların dinamik cevaplarını incelemiştir. Nümerik analiz olarak Newmark Metodu ve FEA kullanarak kafes tipi yapılarda kiriş ve kolonların birleşme noktalarına bağlanan yayların esnekliğinin dinamik harekete etkilerini ve yükün hareket hızının dinamik büyütme faktörüne etkisini incelemiştir. Dinamik analizleri MATLAB kodları kullanarak gerçekleştirmiş ve ANSYS sonuçları ile kıyaslayarak uyumluluğunu göstermiştir [10]. Yu ve arkadaşları, yağmurlu alanlarda kullanılan bir hendek

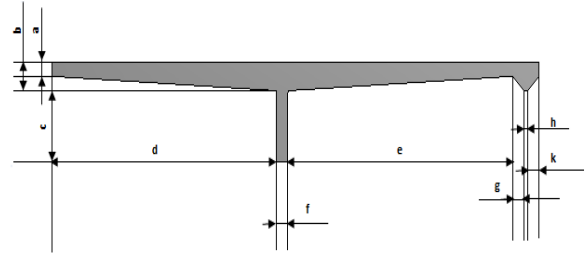
açma cihazını modellemiştir. Çalışma sırasında titreşim frekansı 8-9 Hz olarak ölçülen cihazın ANSYS ortamında modal analizi gerçekleştirerek doğal frekans ve harmonik cevabını elde etmiştir. Analiz sonrasında makinenin titreşim koşulları altındayken çok küçük miktarda gerilme ve deformasyona uğradığının fakat bu durumun makinenin güç ve stabilitesini etkilemeyeceği sonucuna varılmıştır [11]. Özgener, çalışmada taşıt üzerindeki titreşimlerin olumsuz etkilerini araştırmak adına kamyon titreşim davranışları ve şasiye olan etkilerini incelemiştir. Bir kamyon kabini tasarlamış ve tasarlanan modelin kritik özelliklerini belirlemiştir. ANSYS 5.7 yazılımını kullanarak analiz işlemi gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışma sonucunda iyileştirilmeler için gerekli konstrüktif çalışma önerilerinde bulunmuştur [12]. Shamshiri ve Ismail, çalışmalarında çiftlik traktörlerinde kullanılan iki dereceli bir serbest süspansiyon sisteminin modellenmesi ve analiz edilmesi için sayısal bir araç sunmuştur. Karşılık gelen denklem sistemlerini çözmek için problemi formüle etmek ve traktör arka aks süspansiyonunun doğal frekanslarını ve modlarını elde etmek için ise dinamik modal genişleme metodu ve matris transformasyon tekniğini kullanmıştır. Galerkin metodu kullanarak Modal Analiz işlemi gerçekleştirmiştir. Son olarak da sistemin kararlılığının beklendiği sönümlenen durum için, sayısal sonuçları Lyapunov kararlılık teoremi ile doğrulamıştır [13]. Işık, talaşlı imalatta kullanılan kesici takımların dinamik ve statik analizlerini sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirmiştir. WC kesici takım (DNMG 150608) ve soğuk iş takım çeliği AISI O1 (60 HRC) ile yapılan deneylerde ölçülen kesme kuvvetlerini harmonik analizde giriş zorlama değerleri olarak modele uygulamıştır. Modal analiz işlemi gerçekleştirerek takımın doğal frekansını ve mod şekillerini belirlemiştir. Gerçekleştirilen harmonik analiz sonucu kesici takımın en fazla hangi noktalardan zorlandığı ve kırılma anında gerilme ve yer değiştirme değerlerine hangi noktalarda ulaştığı belirlenmiştir [14].

Araştırmalar sonucunda, esneyerek kilitleme bağlantılar için yapılan modal analize raslanmamıştır. Bu bağlantılar, otomotiv sektörü gibi birçok titreşimli ortamlarda kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışma da, esneyerek kilitlenen bağlantılardan kiriş ya da ayaklı diye tarif edilen ayakucunda kilitleme detayı bulunan bir bağlantı modelinin titreşimli koşullardaki tepkileri incelenmiştir. Yapılan analiz PLA, ABS ve PET-G olmak üzere 3 çeşit malzeme kullanılarak oluşturulan bağlantı modeli için gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışma kapsamında, kiriş ya da ayaklı diye tarif edilen ayak ucunda kilitleme detayı bulunan bir bağlantı modelinin boyutları parametrik olarak değiştirilerek katı model haline getirilmiştir. Parametrik değerler ise belli

bir orana sahip olacak şekilde seçilmiştir. Çizilen modele ait parametrik boyutlar Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Profile ait ölçülendirme bilgilerinin belirlenmesi (Identifying the dimensioning information of the profile)

Şekil 1’de gösterilen parametler sırasıyla a=tırnak kalınlığı, b=tırnak bağlantı kalınlığı, c=bağlantı yüksekliği, d=bağlantı yerine uzaklık, e= bağlantı arkası boy, f=bağlantı kalınlığı, g=iç tırnak boyu, h=kuvvet uygulama alan genişliği, k= dış tırnak boyu parametrelerini göstermektedir.

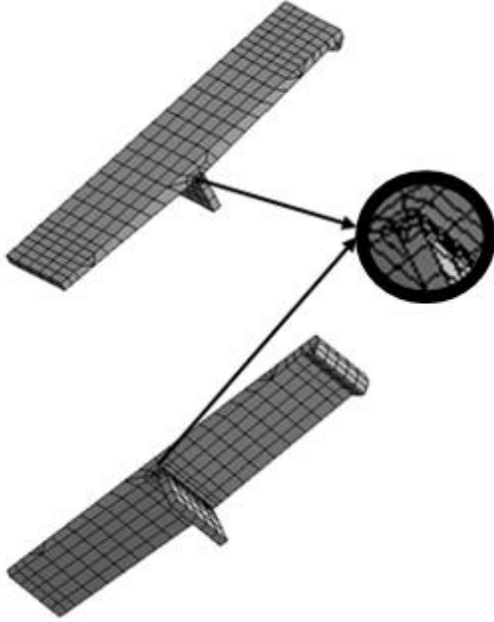


Şekil 2. Katı modelin oluşturulması (izometrik görünüş) (Formation of solid model (isometric view))

Çizelge 1. Malzeme özellik çizelgesi (Material property chart)

	Yoğunluk (kg/m ³)	Young Modülü (GPa)	Gerilme Direnci (MPa)	Uzama (%)	Poisson Oranı
P L A	1,24e3- 1,27e3	3,3-3,6	47-70	2,5-6	0,38-0,4
A B S	1,02e3- 1,08e3	2-2,9	30-50	20-100	0,394- 0,422
P E T- G	1,26e3- 1,28e3	2,01-2,11	60-66	102- 118	0,395- 0,411

Katı modelin tanımlanan parametrelerine bağlı olarak tüm varyasyonları Şekil 2’de görüldüğü gibi ANSYS Design Modeller programında hazırlanmıştır. Çizelge 1’de ise özellikleri verilen malzemeler parametrik olarak atanmıştır. Oluşturulan modelin analiz işleminden önce Şekil 3’de gösterildiği gibi mesh optimizasyonu işlemi gerçekleştirilmiştir.

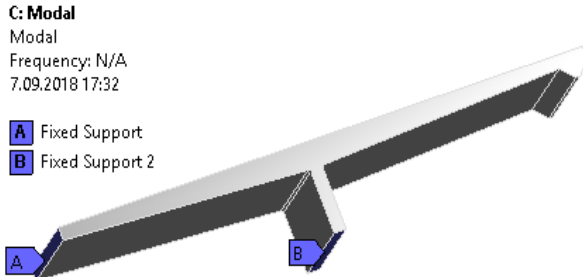


Şekil 3. Mesh optimizasyonu (Mesh Optimization)

3. MODAL ANALİZ (MODAL ANALYSIS)

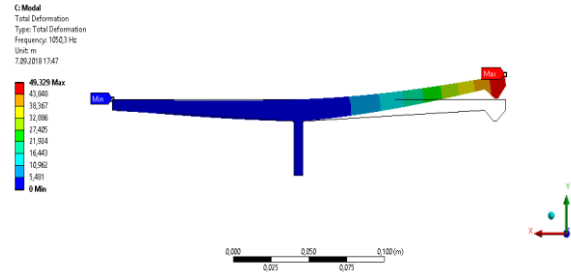
Yapının olası titreşim durumlarında hangi şekillerde titreşeceğini fikrini verecek olan mod durumlarının tespit edilmesi ve yapının doğal frekans değerinin belirlenmesini sağlayan dinamik analiz ilk aşamasıdır. Malzeme özelliklerine bağlı olarak elde edilen modal parametreler değişmektedir.

Mesh optimizasyonu gerçekleştirilen esneyerek kilitlenen bağlantının sınır koşulları Şekil 4’de gösterildiği gibi verilmiştir.

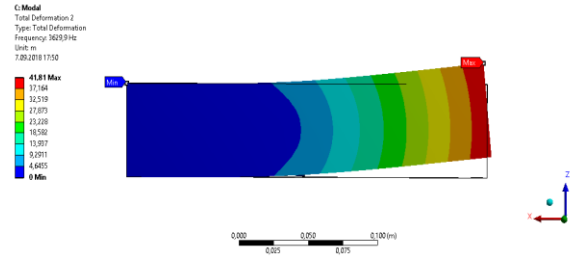


Şekil 4. Modele ait modal analiz sınır koşullarının gösterimi (Boundary conditions of the model representation of the modal analysis)

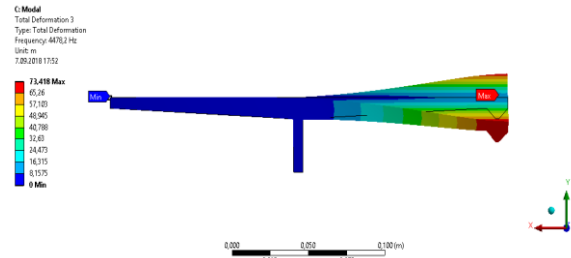
Sınır koşulları belirlenen modelin modal analizi ANSYS ortamında gerçekleştirilmiştir. Mod olarak 10 mod seçilmiştir. Örnek olarak PLA malzemesi atanmasıyla elde edilen deformasyon görüntüleri Şekil 5-14 arasında gösterilmektedir.



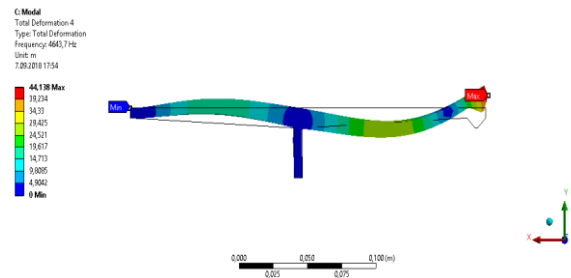
Şekil 5. Mod 1 için deformasyon gösterimi (Deformation representation for Mode 1)



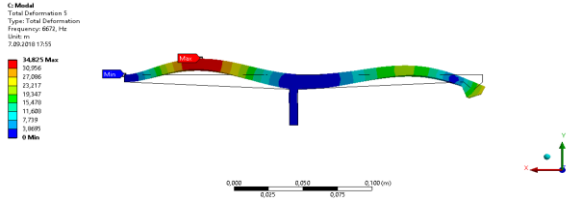
Şekil 6. Mod 2 için deformasyon gösterimi (Deformation representation for Mode 2)



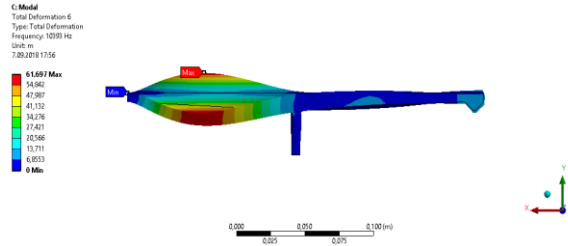
Şekil 7. Mod 3 için deformasyon gösterimi (Deformation representation for Mode 3)



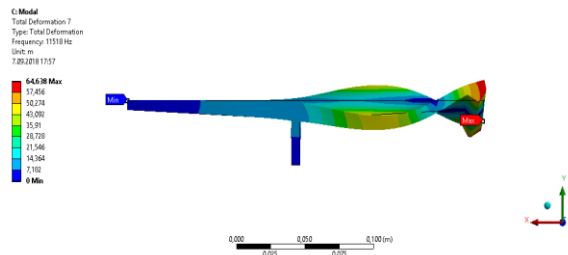
Şekil 8. Mod 4 için deformasyon gösterimi (Deformation representation for Mode 4)



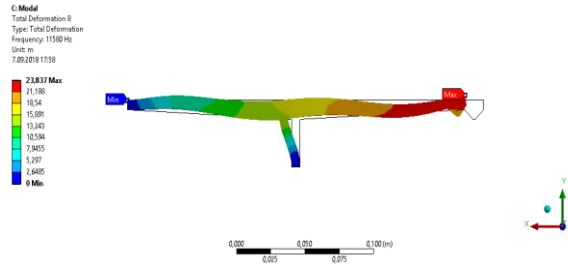
Şekil 9. Mod 5 için deformasyon gösterimi (Deformation representation for Mode 5)



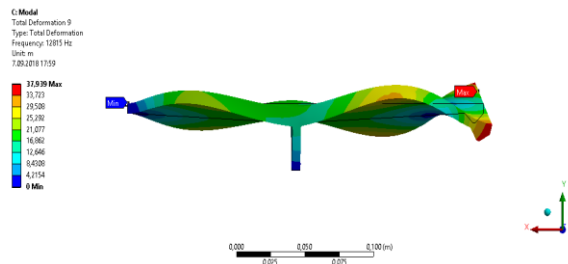
Şekil 10. Mod 6 için deformasyon gösterimi (Deformation representation for Mode 6)



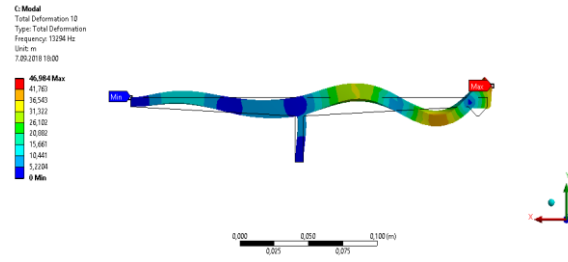
Şekil 11. Mod 7 için deformasyon gösterimi (Deformation representation for Mode 7)



Şekil 12. Mod 8 için deformasyon gösterimi (Deformation representation for Mode 8)



Şekil 13. Mod 9 için deformasyon gösterimi (Deformation representation for Mode 9)



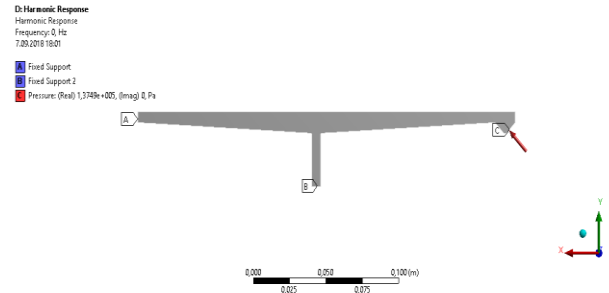
Şekil 14. Mod 10 için deformasyon gösterimi (Deformation representation for Mode 10)

4. HARMONİK CEVAP ANALİZİ (HARMONIC RESPONSE ANALYSIS)

Harmonik cevap analizi belirli bir noktadan ve belirli bir frekansta yapıyı zorlayarak model üzerindeki bu noktaların uygulanan kuvvetlere karşı tepkilerini belirlemektedir.

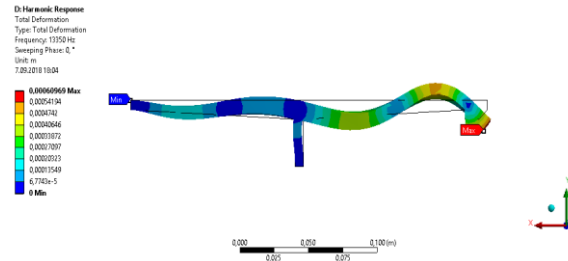
Modal analiz sonuçları harmonik analiz için gereken çeşitli faktörleri ve nedenleri belirlemek için kullanılır. Bu sebeple modal analiz harmonik analizden önce yapılır.

Modal analiz ile frekans değerleri belirlendikten sonra Şekil 15’de gösterilen sınır koşulları eklenerek harmonik analiz yapılmıştır.



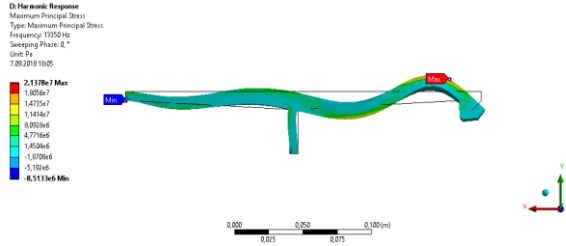
Şekil 15. Modele ait harmonik cevap analiz sınır koşullarının gösterimi (Representation of the harmonic response analysis boundary conditions of Model)

Uygulanan kuvvet kaşısında oluşan toplam deformasyon Şekil 16’da gösterilmektedir.



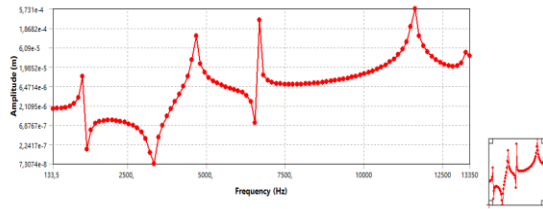
Şekil 16. Modele ait harmonik cevap analizinde oluşan toplam deformasyon gösterimi (Total deformation in harmonic response analysis of the model)

Analiz sonucu elde edilen maksimum asal gerilme 13350 Hz için 2,1378e7 Pa olarak elde edilmiştir. Elde edilen analiz sonucu Şekil 17’de gösterilmektedir.

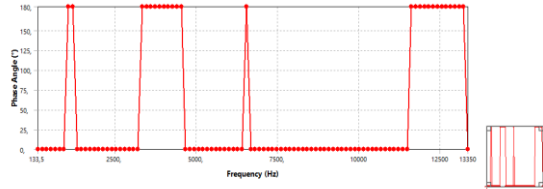


Şekil 17. Modele ait harmonik cevap analizinde oluşan maksimum asal gerilme sonucu (Maximum principal stress result in harmonic response analysis)

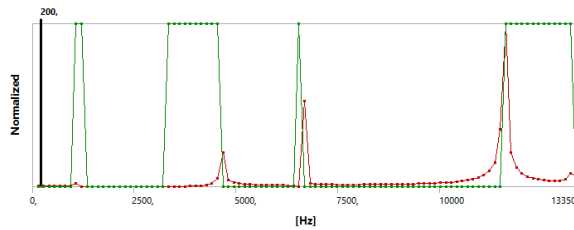
PLA malzemesi seçilerek elde edilen analiz sonuçlarına göre oluşan doğal frekans- genlik grafiği Şekil 18’de, faz açısı – frekans grafiği Şekil 19’da ve normalize-frekans grafiği Şekil 20’de verilmiştir. Esneyerek kilitleme bağlantı elemanı için yukarı da gösterilen analiz sonuçları parametre malzemesi olarak ABS ve PET-G seçilerek tek tek elde edilmiştir.



Şekil 18. Modele ait genlik-frekans grafiği (Amplitude-frequency graph of the model)



Şekil 19. Modele ait faz açısı-frekans grafiği (Phase angle-frequency graph of the model)



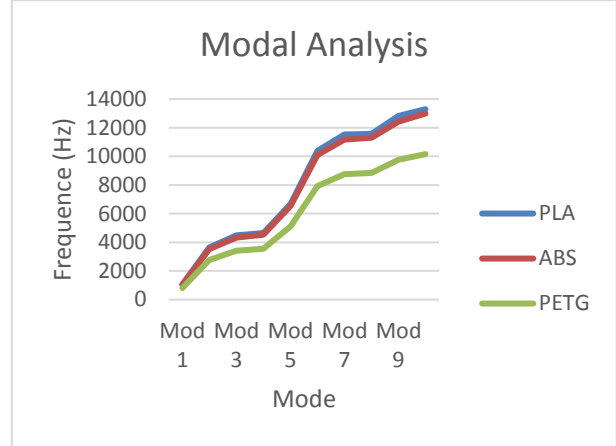
Şekil 20. Modele ait normalize-frekans grafiği (Model normalized-frequency graph)

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

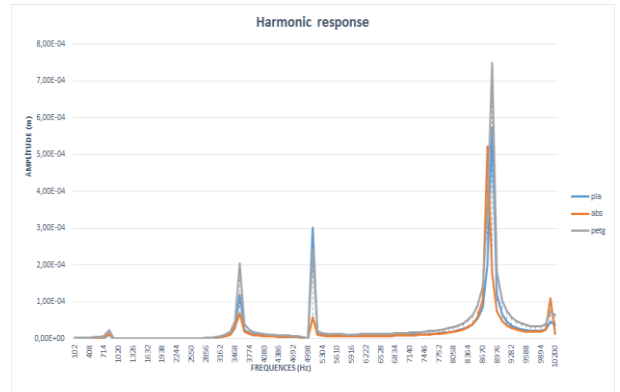
Bu çalışmada, kiriş ya da ayaklı diye tarif edilen ayakucunda kilitleme detayı bulunan bir bağlantı elemanının boyutları parametrik olarak değiştirilerek katı model haline getirilmiştir. Elde edilen modelin ANSYS ortamında modal analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen verilerin kullanılmasıyla harmonik cevap analizi gerçekleştirilmiştir. PLA, ABS

ve PET-G olmak üzere üç ayrı malzeme için işlem parametreleri tekrarlanmıştır.

Modal analiz sonucu elde edilen frekans ve mod değerlerinin üç ayrı malzeme için elde edilen grafik Şekil 21’de gösterilmiştir. Şekil 21’de görüldüğü gibi PLA ve ABS malzemeleri için birbirine çok yakın frekans değerleri elde edilirken PET-G için elde edilen frekans değerleri daha düşük olmuştur.



Şekil 21. Modal analiz sonucu PLA, ABS ve PET-G için elde edilen frekans-mod grafikleri (Modal analysis results obtained from PLA, ABS and PETG for frequency-mode graphs)



Şekil 22. Modal analiz sonucu PLA, ABS ve PET-G için elde edilen frekans-genlik grafikleri (Modal analysis result obtained for PLA, ABS and PETG frequency-amplitude graphics)

Çizelge 2. Malzemelere göre genlik-frekans değerleri (Amplitude-frequency values according to materials)

		PLA	ABS	PET-G
Genlik (m)	Min	1,78E-06	1,75E-06	3,02E-06
	Max	3,81E-05	1,31E-05	6,34E-05
Frekans (Hz)	Min	133,5	131	102
	Max	13350	13100	10200

Modal analiz ile elde edilen frekans değerleri kullanılarak harmonik cevap analizi yapılan bağlantı elemanının PLA, ABS ve PET-G için elde edilen harmonik analiz sonuçlarına ait grafik Şekil 22’de gösterilmektedir. Çizelge 2’de maksimum ve minimum değerler ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu sonuçlara göre, keskin tepe noktalarının olduğu frekans değerleri rezonans durumunun olduğunu göstermektedir. ABS malzemesi bu frekans değerlerinde daha düşük ve geniş olması ile diğer iki malzemeye göre yüksek sönümleme özelliği göstermektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, bir esneyerek kilitlenen bağlantı modelinin farklı frekans ve mod değerlerindeki modal ve harmonik cevap analizleri gerçekleştirilmiştir. Esneyerek kilitlenen bağlantılarda birbirini tutan makine ara parçalarının, özellikle malzeme olarak plastik ve türevlerinden imal edilmiş olması, bağlantının kararlılığını etkilemektedir. Çalışan tüm makine elemanlarında bir titreşim söz konusudur. Çalışma şartlarında oluşan titreşimin, bağlantının sağlamlığını veya kendi kendine çözülebilmeye özelliklerini ortaya çıkartılması amaçlanmıştır. Bu amaçla piyasada en fazla kullanılan 3 farklı malzeme (PLA, ABS ve PET-G) türü için kiriş tipi bir esneyerek kilitlenen bağlantı modelinin Modal ve Harmonik cevap analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece malzeme tipine bağlı olarak, aynı boyut ve şekilde üretilecek tırnaklı bağlantıların güvenilirliği belirlenmiştir. Tasarımı yapılan bağlantı elemanı için belirlenen çalışma şartlarında üç noktada rezonans durumuna geçtiği görülmüştür. Yani bu frekans aralıklarında bağlantı çözülme eğiliminde olmaktadır. Aynı parça için kullanılan malzemeler arasında ABS malzemesinin bu rezonans durumunda en yüksek sönümleme yaptığı gözlemlenmiştir. Güvenirlilik açısından ABS malzeme seçilerek yapılan tasarım daha avantajlı olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Suri G., and Luscher A., F., “Structural Abstraction in Snap-fit Analysis”, *Journal of Mechanical Design*, 122, 395-402, (2000).
- [2] Ajesh P., Bhadalkar A., Warghane R., Deokar S., “Design and Analysis of Snap Fit Joint with Design Calculator”, *International Conference on Ideas, Impact and Innovation in Mechanical Engineering (ICIIME 2017)*, 5, 644-649, (2017).
- [3] Yi-Ho Chen and Chao-Chieh Lan, “Design of a constant-force snap-fit mechanism for minimal mating uncertainty”, *Mechanism and Machine Theory*, 55, 34–50, (2012).
- [4] Kulkarni V., Musale G., and Vallurupalli S., “Effective Snap-Fit Design Using RADIOSS”, *Tata Technologies, Simulation Driven Innovation*, 1-7, (2011).
- [5] Jorabchi K., and Suresh K., “Nonlinear Algebraic Reduction for Snap-Fit Simulation”, *Journal of Mechanical Design*, 131, 061004-1- 061004-8, (2009).
- [6] Bang He, Hua Li , and Kai Jin “Shape memory polymer actuated hollow snap-fit design analysis”, *Materials and Design*, 47, 539–550, (2013).
- [7] Klahn C., Singer D., and Meboldt M., “Design Guidelines for Additive Manufactured Snap-Fit Joints”, *Procedia CIRP*, 50, 264 – 269, (2016).
- [8] Kuyumcuoğlu A., “Çalışma Şartlarında Modal Analiz” *Yüksek Lisans*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).
- [9] SubbaReddy J., Bhavani M., Kartheek G., and Venkata Somi Reddy J., “Influence Of Parameters On Safe Design Of Leaf Spring For Static And Dynamic Loading Using Finite Element Analysis”, *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 5, 505-519, (2018).
- [10] Hügül S., “Vibration Analysis Of Systems Subjected To Moving Loads By Using The Finite Element Method”, *Yüksek Lisans*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).
- [11] Yu Y., Zhang S., He Li, Wang X., and Tang Y., “ Modal and Harmonic Response Analysis of Key Components of Ditch device Based on ANSYS”, *Procedia Engineering*, 174, 956 – 964, (2017).
- [12] Özgener L., “Bir Kamyon Kabininde Yol Düzgünsüzlükleri Sonucu Oluşan Titreşiminin Bilgisayar Yardımıyla Modellenmesi Analizinin Yapılması Ve Konstrüktif Önlemlerinin Alınması”, *Yüksek Lisans*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2002).
- [13] Shamshiri R., and Wan Ishak Wan Ismail, “ Implementation of Galerkin’s Method and Modal Analysis for Unforced Vibration Response of a Tractor Suspension Model ”, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(1): 49-55, (2014).
- [14] Işık Y., “Talaşlı İmalatta Kesici Takımların Kırılma Öncesi Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(1): 103-110, (2004).