T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TELESKOPİK KORUYUCU SİSTEMLERİN ANSYS TABANLI DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK VE MODAL ANALİZLERİ

Hazırlayan
Sinan ÖZÇİFTÇİ

Danışman
Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

Yüksek Lisans Tezi

Aralık 2024
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TELESKOPİK KORUYUCU SİSTEMLERİN ANSYS TABANLI DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK VE MODAL ANALİZLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Sinan ÖZÇİFTÇİ

Danışman
Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

Aralık 2024
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Sinan ÖZÇİFTÇİ

"Teleskopik Koruyucu Sistemlerin ANSYS Tabanlı Doğrusal Olmayan Dinamik ve Modal Analizleri" adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Sinan ÖZÇİFTÇİ	Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

Mekatronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

TEŞEKKÜR

Bu tezin tamamlanmasında emeği geçen, bana destek olan, yol gösteren ve cesaretlendiren herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Öncelikle, hayatımda her zaman en büyük dayanağım olan sevgili anneme teşekkürlerimi sunmak isterim. Annemin bana olan inancı ve bana verdiği güç sayesinde hayatım boyunca hep ileri gittim, hiç geriye bakmadım ve birçok zorlukların üstesinden gelmeyi başardım. İyi ki var, her şey için ona teşekkür ederim.

Tezin oluşumunda akademik desteğiyle katkı sağlayan değerli hocalarıma da teşekkürlerimi sunuyorum. Öncelikle danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA' ya her türlü yardım ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Hocamın bu süreç boyunca bana gösterdiği ilgi ve değerli önerileri sayesinde doğru yolda ilerledim. Sabırlı tutumu, her zaman motive edici ve yol gösterici oluşu sayesinde bu tezin tamamlanmasında büyük katkıları olmuştur. Ayrıca, Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanımız Prof. Dr. Şahin YILDIRIM' a ve arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÇALIKUŞU' na tüm yardımlarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bu tezin gerçekleşmesinde emeği geçen ve bana katkı sağlayan herkese teşekkür ederim. Sayelerinde bu süreç, yalnızca bir akademik çalışmanın ötesinde, benim için büyük bir deneyim oldu.

Sinan ÖZÇİFTÇİ

Aralık 2024, KAYSERİ

TELESKOPİK KORUYUCU SİSTEMLERİN ANSYS TABANLI DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK VE MODAL ANALİZLERİ

Sinan ÖZÇİFTÇİ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2024
Danışman: Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

ÖZET

Teleskopik koruyucu sistemler, bilgisayarlı sayısal kontrol (Computer Numerical Control, CNC) freze makinelerinin raylarını dış etkenlerden korumak için kullanılan çok bölümlü yapılardır. Sistemin iç içe geçmiş ve birbirleri arasında sürtünerek hareket eden bu çok bölümlü yapısından dolayı, sistem üzerinde bölgesel deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Deformasyonların önlenebilmesi için, tasarım sürecinden önce doğrusal olmayan dinamik analizler ve modal analizler yapılmalı ve elde edilen sonuçlara göre en uygun tasarım modeli belirlenmelidir. Bu çalışmada, 304 (1/16) sert paslanmaz çelik ve 316 (L) tavlanmış paslanmaz çelik malzemeleri için doğrusal olmayan dinamik analizler ve modal analizler, ANSYS Workbench 2020 R2 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 4 bölümden oluşan bir teleskopik koruyucu sistem üzerinde yapılan doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda, (y,z) eksenleri için deformasyonlar ve von Mises gerilme değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, ilk 6 Mod için yapılan modal analizler sonucunda elde edilen rezonans frekans değerleri ayrıntılı olarak sunulmuştur. Daha adil sonuçlar sunabilmek için modal analizler ilk 20 Mod için de gerçekleştirilmiş ve ilgili rezonans frekans değerleri elde edilmiştir. Yönlü deformasyon, von Mises gerilme ve modal analiz sonuçları değerlendirildiğinde, 304 (1/16) malzemesinin 316 (L) malzemesine göre daha güçlü olduğu ve çok bölümlü teleskopik koruyucu sistemlerin tasarımında etkin bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Teleskopik koruyucu sistemler, Dinamik analiz, Modal analiz, Mesh yakınsama analizi

ANSYS BASED NONLINEAR DYNAMIC AND MODAL ANALYSIS OF TELESCOPIC COVER SYSTEMS

Sinan ÖZÇİFTÇİ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, December 2024
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

ABSTRACT

Telescopic cover systems are multi-section structures designed to protect the guide rails of computer numerical control (CNC) milling machines from external disruptive factors. Due to their multi-section structure at which nested sections move by rubbing against to each other, regional deformations may occur on the entire system. In order to prevent the deformations, nonlinear dynamic analyzes and modal analyzes should be carried out before the design process and the most appropriate design model should be determined according to the results obtained. In this study, nonlinear dynamic analyzes and modal analyzes for the 304 (1/16) hard stainless steel and 316 (L) annealed stainless steel materials were carried out by using ANSYS Workbench 2020 R2 software. As a result of the nonlinear dynamic analyzes carried out on a telescopic cover system consisting of four sections, directional deformations and von Mises stress values for the (y,z) axes were obtained. Furthermore, the resonance frequency values obtained as a result of the modal analysis for the first 6 modes were presented in detail. In order to provide a more fair analysis results, modal analyzes were also carried out for the first 20 modes and the relevant resonance frequency values obtained were presented. When the directional deformation, von Mises stress and modal analysis results were evaluated, it can be concluded that 304 (1/16) is a more strength material than 316 (L) and it can effectively be used in the design of multi-section telescopic cover systems.

Keywords: Telescopic cover systems, Dynamic analysis, Modal analysis, Mesh convergence analysis

İÇİNDEKİLER

TELESKOPİK KORUYUCU SİSTEMLERİN ANSYS TABANLI DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK VE MODAL ANALİZLERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK iii
KABUL VE ONAY iv
ÖNSÖZ v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR x
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1.Teleskopik Koruyucu Sistemler 3
1.2.Teleskopik Sistemlerin Analizine Yönelik Literatür Çalışması …….. 3

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.Materyal ……. 6

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1.304 (1/16) için Simülasyon Sonuçları..... 13
3.2.316 (L) için Simülasyon Sonuçları..... 18

4. BÖLÜM
TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Tartışma ……...24
4.2.Sonuç ve Öneriler ……25
KAYNAKÇA……..27
ÖZGEÇMİŞ 32

KISALTMALAR

mm: Milimetre

304 (1/16): 304 1/16 Sert Paslanmaz Çelik Malzemesi

316 (L): 316 L Tavlanmış Paslanmaz Çelik Malzemesi

ASTM: American Society For Testing Materials

GPa: Gigapascal

MPa: Megapascal

CNC: Computer Numerical Control

s: Saniye

Hz: Hertz

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Analizlerde kullanılan sac malzemelerinin teknik özellikleri. 9
Tablo 2. İlk 20 mod için elde edilen rezonans frekans değerleri (Hertz)..... 28

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Bu çalışmada analiz edilen sistemin üst ve alt görünümleri 7
Şekil 2. Sınır koşulları 10
Şekil 3. Mod 1 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri..... 12
Şekil 4. Mod 2 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri..... 13
Şekil 5. Mod 3 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri..... 14
Şekil 6. Mod 4 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri..... 15
Şekil 7. Mod 5 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri..... 16
Şekil 8. Mod 6 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri..... 17
Şekil 9. 304 (1/16) malzemesi için deformasyon sonuçları. 20
Şekil 10. 304 (1/16) malzemesi için von Mises gerilme sonuçları. 21
Şekil 11. 304 (1/16) malzemesi için modal analiz sonuçları. 22
Şekil 12. 316 (L) malzemesi için deformasyon sonuçları. 25
Şekil 13. 316 (L) malzemesi için von Mises gerilme sonuçları. 26
Şekil 14. 316 (L) malzemesi için modal analiz sonuçları..... 27
Şekil 15. İlk 20 mod için 304 (1/16) ve 316 (L) malzemelerinin mod değeri ile rezonans frekansı ilişkisi..... 29

GİRİŞ

Teleskopik koruyucu sistemler, endüstriyel uygulamalarda CNC makinelerin kızaklarını soğutma sıvısı, yağ ve talaş gibi harici etkenlerden korumak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemler çoğunlukla işlem görmüş sac metallerden oluşan ve *Bölüm* (*Section*) adı verilen montaj topluluklarının birbirlerine iç içe geçirilmesi ile tasarlanmaktadır. Bu bölümler, CNC makinenin tablasının hareketine bağlı olarak birbirleri arasında belirli bir çalışma boşluğu içerisinde sürtünerek kapanıp açılmaktadır. Sistemin çalışması esnasında harici malzemeler bu bölümlerin arasına girmekte ve sacları deformasyona zorlamaktadır. Bu durumun, sonlu elemanlar analizi ile simüle edilerek çalışma koşullarına uygun malzemelerin doğru bir şekilde belirlenmesi, sistemin uzun süreli kullanılabilirliği açısından oldukça önemlidir. Gerçek-zamanlı sistemlerin tasarım süreçlerinde doğrusal olmayan dinamik analizlerin ve modal analizlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan en etkin yazılımlardan birisi ANSYS Workbench yazılımıdır. Farklı mühendislik alanlarını kapsayan problemleri çözmek için tasarlanmış olan bu yazılım, yapısal analiz, dinamik analiz, modal analiz, termal analiz, akışkan analizi ve elektromanyetik analiz gibi çok geniş bir analiz yelpazesine sahiptir. Bu çok disiplinli yaklaşım, gerçek zamanlı tasarımlar öncesinde mühendislere birçok alanda problemleri simüle ederek tasarım performanslarını farklı açılardan değerlendirebilme imkânı sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde, teleskopik sistemler hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra, bu sistemlerin nümerik ve sonlu elemanlar analizlerini içeren literatür çalışmaları detaylı bir şekilde sunulmuştur.

İkinci bölümde, sonlu elemanlar analizlerinin yürütüldüğü ANSYS Workbench yazılımı hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra, HAAS VF-4 CNC freze makinesinin teleskopik koruyucu sistem geometrisi üzerinden sistemin üst ve alt görünümlerini içerecek ve sistemin elemanlarını tanıtacak teknik resimlere yer verilmiştir. Ardından,

sürtünme testleri ile ilgili literatür çalışmaları incelenmiş ve analizler için yürütülecek sac metal malzemeler 304 1/16 sert paslanmaz çelik malzemesi ve 316L tavlanmış paslanmaz çelik malzemesi olarak belirlenmiştir. Daha sonra, sonlu elemanlar analizi sonuçlarının doğruluğunu artırması açısından mesh yakınsama analizleri yürütülmüştür. Yürütülen bu analizler doğrultusunda sistem geometrisi için 3 mm mesh boyutunun alınmasının uygun olduğu belirlenmiş ve analizler ilgili mesh boyutu için gerçekleştirilmiştir. Son olarak, gerçek zamanlı çalışma koşullarını simüle edebilecek şekilde doğrusal olmayan dinamik analizler ve modal analizler iki farklı sac metal malzemesi için ayrı ayrı yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, sırasıyla, 304 (1/16) ve 316 (L) malzemeleri için yapılan doğrusal olmayan dinamik analizlerin ve modal analizlerin sonuçlarına yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, iki malzeme arasında detaylı performans mukayeseleri gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü bölüm tartışma kısmında, iki ayrı malzeme için elde edilen analiz sonuçları detaylı bir şekilde değerlendirilmiş ve sonrasında, sonuç ve öneriler kısmında bu sistemler için 304 (1/16) malzemesinin, 316 (L) malzemesine göre daha elverişli olduğu sonucu ortaya koyulmuştur.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Teleskopik Koruyucu Sistemler

Teleskopik koruyucu sistemler, özellikle endüstriyel ve otomasyon sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Teleskopik koruyucu sistemlerin tasarımında tercih edilen malzeme türü, ilgili sistemin dayanıklılığı ve yapısal performansı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bu nedenle, en uygun malzemeyi belirlemek amacıyla tasarım süreci öncesinde doğrusal olmayan dinamik analizler ve modal analizlerin yapılması oldukça önemlidir. Analizler sonucunda, ilgili sistemin farklı çalışma koşullarındaki performansları ve dinamik özellikleri yüksek doğrulukla elde edilebilmektedir.

1.2. Teleskopik Sistemlerin Analizine Yönelik Literatür Çalışması

Literatürde teleskopik mekanizmalı sistemlerle ilgili yapılan çalışmalar dört ana grupta sınıflandırılabilir: yapısal teleskopik sistem analizi, hidrolik teleskopik sistem analizi, teleskopik kol analizi ve teleskopik koruyucu sistem analizi. Bu çalışmada, teleskopik koruyucu sistem tasarımı için detaylı analizler yapılmış ve sonuçlar literatüre sunulmuştur.

Yapısal teleskopik sistem analizleriyle ilgili çalışmalarda; Pantano ve arkadaşları, 0–250 kW kapasitesine sahip rüzgâr türbinleri için tasarlanan teleskopik kule kaldırma sisteminin tasarım ve üretim kriterlerini incelemiş ve farklı rüzgâr hızları için sonlu elemanlar analizi gerçekleştirmişlerdir [1]. Sui ve arkadaşları, köprülerin bağlantı yapısında kullanılmak üzere tasarlanan aksiyel hareketli teleskopik mekanizmalar için doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir [2]. Lee ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen [3] numaralı çalışmada ise çift yönlü hareket kabiliyetine

sahip yeni bir teleskopik mekanizma önerilmiş ve önerilen mekanizmanın mekanik tasarım ve üretimiyle ilgili analizler yapılmıştır.

Hidrolik teleskopik sistem analizi içeren çalışmalar incelendiğinde; Zhang ve arkadaşları [4], çift etkili bir teleskopik hidrolik silindirin tasarımı için matematiksel tabanlı bir tasarım kısıtlaması önermiş ve ilgili sistemin farklı yükler altındaki etkinliğini analiz etmişlerdir. Uzny ve Kutrowski [5], teleskopik hidrolik silindirin kararlılığına etki eden montaj rijitliğini göstermek için sayısal analizler gerçekleştirmişlerdir. Uzny ve arkadaşları tarafından sunulan benzer bir çalışmada [6] ise çok kademeli bir hidrolik teleskopik silindirin rijitlik özelliklerini belirlemek amacıyla sayısal analizler gerçekleştirilmiştir.

Teleskopik kol analizi içeren çalışmalarda; Lv ve arkadaşları [7], bir kaya delme jumbo tasarımı için hem sonlu elemanlar analizi hem de kendine dikkat mekanizması (self-attention) kullanan bir yapay sinir ağı (Artificial Neural Network, ANN) yapısını içeren hibrit bir model geliştirmişlerdir. Zhang ve arkadaşları [8], zincirli teleskopik robotlar için yeni bir tasarım metodolojisi geliştirmiş ve ardından iyileştirilmiş sistemin statik ve dinamik özelliklerini detaylı bir şekilde incelemişlerdir. [9] numaralı çalışmada, Xu ve arkadaşları, genel arazi vinçlerinin ana bileşeni olan teleskopik kollarda meydana gelen harici yükleri azaltmak amacıyla detaylı sayısal analizler gerçekleştirmişlerdir. Ji ve arkadaşları tarafından sunulan bir başka çalışmada [10] ise teleskopik kol yapılarında taşıma kapasitesini artırmak ve ağırlığı azaltmak amacıyla güç, rijitlik ve yerel kararlılığı artıran bir işbirlikçi optimizasyon yaklaşımı önerilmiştir. Diğer bir çalışmada, Trąbka tarafından teleskopik vinçlerin döner hareket sürücü sisteminde meydana gelen boşlukların dinamik yükler üzerindeki etkisini gösteren bir model oluşturmak amacıyla sayısal analizler yapılmıştır [11]. [12,13] numaralı çalışmalarda, Marjamäki ve Mäkinen, hem tek boyutlu hem de üç boyutlu esnek teleskopik kol yapılarını modellemek için doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemine dayalı yeni yaklaşımlar önermişlerdir.

Son olarak, literatürde teleskopik koruyucu sistem analizi içeren yalnızca birkaç çalışma bulunmaktadır. Ferkl ve arkadaşları [14], teleskopik koruyucu sistemin dinamik performansını etkileyen sürtünme kuvvetlerinin modellemesini incelemiş ve sürtünme kuvveti model parametrelerinin nasıl tahmin edilebileceğini göstermişlerdir. Diğer bir

çalışmada ise Kolar ve arkadaşları [15], teleskopik koruyucu bölümleri ve sıyırıcılar üzerindeki pasif kuvvetleri incelemiş ve bu pasif kuvvetlerin sistemin anlık konumuna göre değiştiğini ispatlamışlardır.

Bu çalışmanın literatüre katkıları şu şekilde özetlenebilir:

- Literatürde, teleskopik koruyucu sistemlerin bir bütün olarak analizini kapsayacak şekilde doğrusal olmayan dinamik analizlerin yapılmadığı, yalnızca bölgesel analizlerin gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmada, tüm sistemi kapsayacak şekilde sac malzemeler, sıyırıcılar ve pirinç kılavuzlar üzerinde doğrusal olmayan dinamik analizler ve modal analizler ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

- Gerçek zamanlı endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan 304 (1/16) ve 316 (L) malzemeleri için analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır.

- Tasarım süreci, analiz sonuçlarının doğruluğunu artırmak amacıyla mesh yakınsama analizi ile desteklenmiştir.

2. BÖLÜM

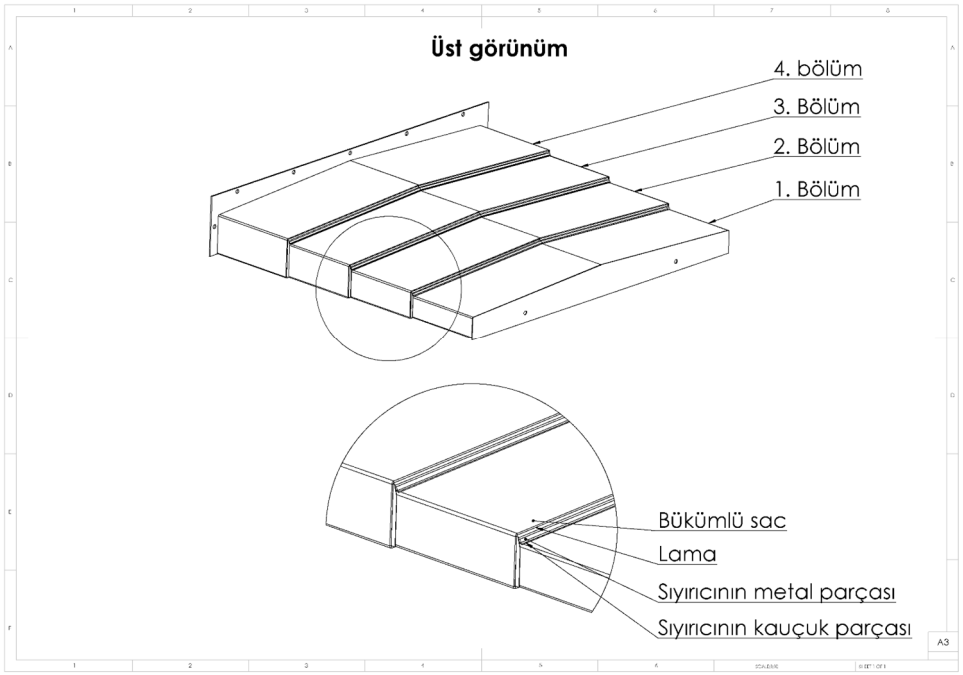
YÖNTEM VE MATERYAL

Bu bölümde, çalışmada kullanılan yazılımlar ve analiz aşamaları detaylı bir şekilde incelenecektir.

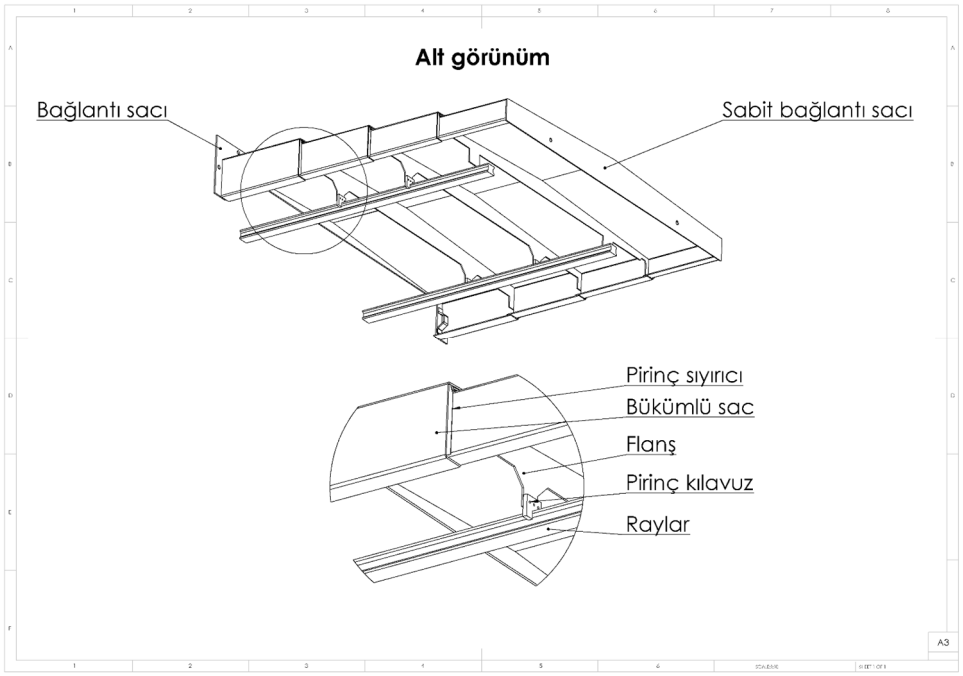
2. Materyal

Teleskopik koruyucu sistemler iç içe geçmiş bölümlerden meydana gelen ve birbirleri arasında sürtünerek hareket eden mekanik sistemlerdir. Bu tez çalışmasında analiz edilen teleskopik koruyucu sistemin üst ve alt görünümlerini içeren teknik çizimler Şekil 1 ile gösterilmiştir. Şekil 1(a)'dan görüldüğü gibi tüm sistem iç içe geçmiş 4 farklı bölümden oluşmaktadır ve her bölümde bağlantı elemanları bulunmaktadır. Lama kalınlığı 5.5 mm olarak seçilmiştir ve bükümlü sac ile kaynak bağlantılı olarak tasarlanmaktadır. Teleskopik koruyucu sistemler, ayrıca, sac yüzeyinde bulunan talaş, yağ ve soğutma sıvısı gibi dış etkenleri uzaklaştırmak için metal ve kauçuk malzeme bileşenlerine sahip sıyırıcı elemanları da içermektedir. Şekil 1(b) ile verilmiş olan sistem alt görünümünde birbirlerine kaynak ile bağlı bükümlü sac ve bağlama flanşının kalınlığı 2 mm, pirinç sıyırıcı elemanlarının kalınlığı 0.4 mm ve son olarak pirinç kılavuzların kalınlığı 5 mm olarak seçilmiştir.

Teleskopik koruyucu sistemlerin deformasyonlara yol açan harici etkilere karşı daha dayanıklı olarak tasarlanabilmesi içinin tasarım sürecinde doğrusal olmayan dinamik analizlerin ve modal analizlerin detaylı bir şekilde gerçekleştirilmesi ve elde edilen sonuçlara göre en uygun tasarım metriklerinin belirlenmesi gerekmektedir.



(a) Üst görünüm



(b) Alt görünüm

Şekil 1. Bu çalışmada analiz edilen sistemin üst ve alt görünümleri

Literatür detaylı olarak incelendiğinde, 304 ve 316 metal malzemeleri ve bunların 304, 304L, 316L ve 316LN gibi türlerinin gerçek zamanlı endüstriyel ve robotik uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir [16-21]. Literatüre ve gerçek zamanlı endüstriyel uygulamalara uygun olarak, bu tez çalışmasında 304 (1/16) ve 316 (L) malzemeleri çalışma malzemesi olarak tercih edilmiştir.

304 (1/16) ve 316 (L) malzemeleri için yapılan analizlerde, ilk olarak, önceden belirlenmiş sınır koşulları altında sistemde oluşabilecek fiziksel deformasyonları ve stres değerlerini öngörmek için doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, sistem geometrisine bağlı olarak ortaya çıkan rezonans frekans değerleri modal analiz ile hesaplanmıştır. 304 (1/16) ve 316 (L) malzemelerinin teknik özellikleri, sırasıyla, ASTM A666/A666M ve ASTM A240/A240M uluslararası standartlarına göre Tablo 1'de verilmiştir.

Sınır koşulları, sistem üzerinde yapılacak analizlerin hangi koşullarda yürütüleceğinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında incelenen sistem için sınır koşulları; *i.)* CNC freze tezgahın maksimum çalışma hızında, *ii.)* teleskopik koruyucu sistemi açık konumdan kapalı konuma geçecek şekilde, *iii.)* konum değişikliğine bağlı olarak harici malzemeler üst sıyırıcılar ile üst sac yüzeyleri arasına girecek şekilde, ve *iv.)* harici malzemelerden kaynaklı sistemin bölümleri deformasyona uğrayacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 2 (a-b)'de gösterilen sınır koşulları, gerçek zamanlı sistemlerde karşılaşılan bu durumu simüle etmek için belirlenmiştir.

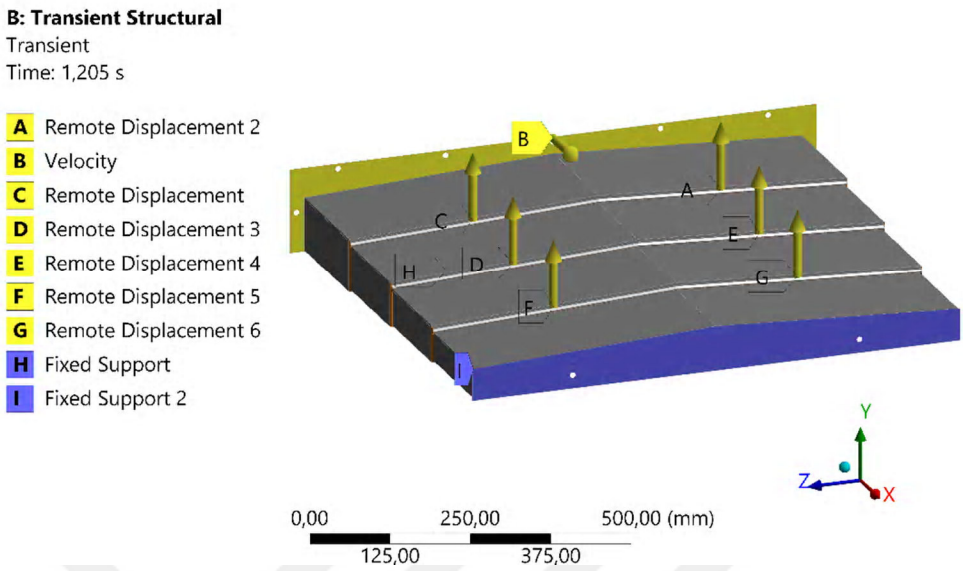
İlk bölüm, ön sac yüzeyinden sabitlenmiştir ve Şekil 2 (a)'da **I** ile gösterilmiştir. Benzer şekilde, Şekil 2 (b)'de, **H** sınır koşulu rayların alt yüzeylerinden sabitlendiğini göstermektedir. Dördüncü bölümün bağlantı sac yüzeyinde, Şekil 2 (a)'da gösterildiği gibi **B** hız sınır koşulu tanımlanmıştır. **B** koşulu, 1.205 saniye süresince ve 510 mm boyunca uygulanmış ve hız değeri CNC tezgahın eksen hızının maksimum değerine karşılık gelen 423.3 mm/s olarak belirlenmiştir. Ayrıca, HAAS VF-4 CNC freze tezgahının klavuzunda, tezgah hızının 0 mm/s' den maksimum hıza ulaşması veya tekrar 0 mm/s' ye dönmesi için gereken süre 0.075 saniye olarak tanımlanmıştır. Buna göre, simülasyonlarda **B**, ilk 0.075 saniyede 423.3 mm/s değerine ulaşacak, ardından son 0.075 saniyeye kadar sabit bir karakteristik gösterecek ve son 0.075 saniyede 0 değerine dönecek şekilde tanımlanmıştır. Ayrıca, (**A**, **C**-**G**) sınır koşulları, harici etkenler

nedeniyle sıyırıcı alt yüzeylerinde oluşabilecek yer değiştirmelerini ifade etmektedir ve değerleri 1 mm olarak tanımlanmıştır.

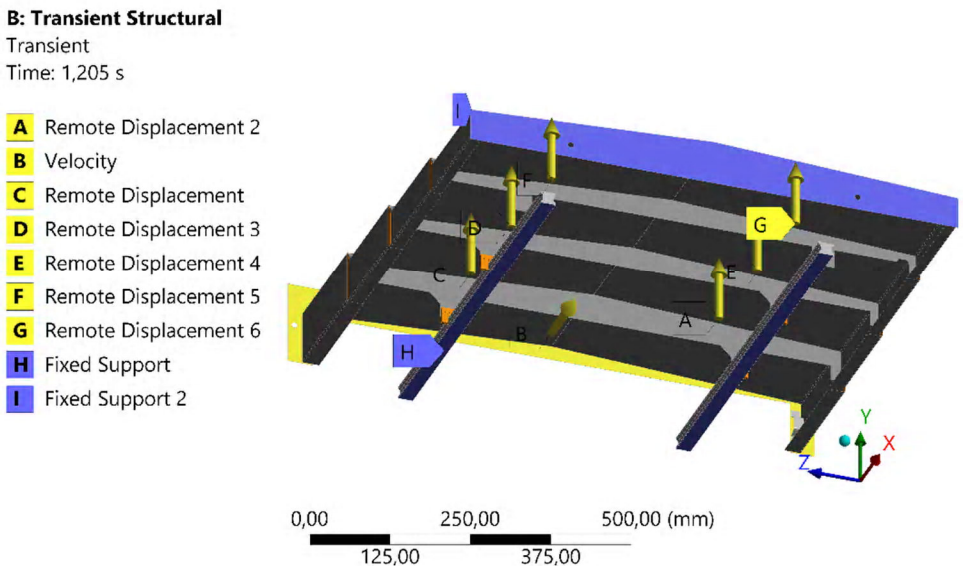
Tablo 1. Analizlerde kullanılan sac malzemelerinin teknik parametreleri.

Materyal - Standart	**Özellik**	**Değer**
304 (1/16) Sert Paslanmaz Çelik ASTM A666/A666M	Yoğunluk	7.9 g/cm^3
	Poisson oranı	0.28
	Young modulü	193 GPa
	Kesme modulü	77 GPa
	Akma dayanımı	310 MPa
	Kopma dayanımı	550 MPa
316 (L) Tavlanmış Paslanmaz Çelik ASTM A240/A240M	Yoğunluk	8.0 g/cm^3
	Poisson oranı	0.27
	Young modulü	193 GPa
	Kesme modulü	78 GPa
	Akma dayanımı	170 MPa
	Kopma dayanımı	485 MPa

Teleskopik koruyucu sistemin yapısı ayrıca bağlantılar açısından da incelenmelidir. Her bölüm arasında yaklaşık 0.5 mm' lik çalışma boşluğu mevcuttur ve bölümlerin birbirleri arasındaki bağlantısı boşluklu öteleme eklemi şeklindedir. Literatürde, boşluklu öteleme eklemi tipi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır [22-25]. Son olarak, ANSYS yazılımında birbirine doğrudan bağlantılı elemanlar yapışmalı temas olarak tanımlanmış ve aralarında yüzey sürtünmesi olan elemanlar için ise sürtünmeli temas olarak tanımlama yapılmıştır.



(a) Üst görünüm



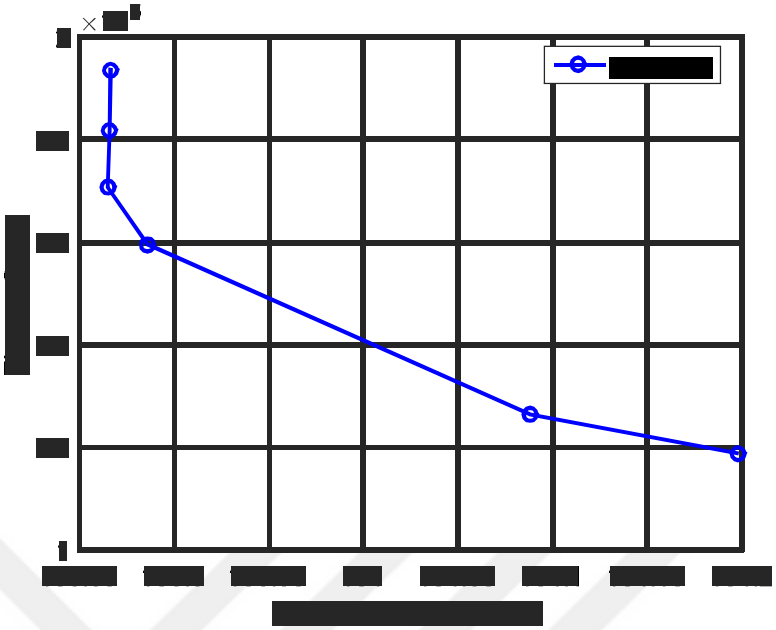
(b) Alt görünüm

Şekil 2. Sınır koşulları

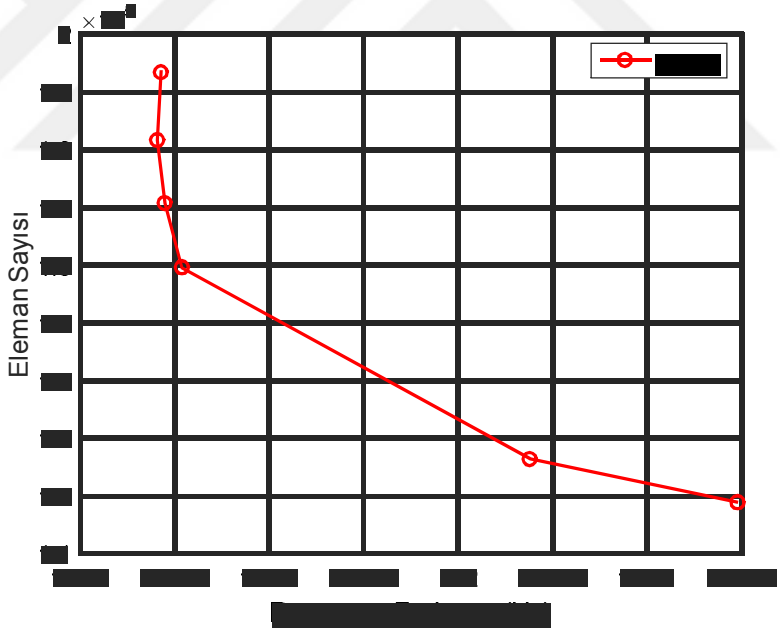
Bir sisteme sonlu elemanlar analizi uygulanırken, sistem geometrisi üzerinde mesh işlemi yapılarak sistem sonlu elemanlara ve bu elemanların birbirlerine bağlandıkları düğümlerden oluşan yeni bir geometriye dönüştürülür. Mesh işlemi için seçilen mesh boyutu, sistemin kaç elemana ve düğümlere bölüneceğinin bir parametresi olarak ortaya

çıkmaktadır. Farklı mesh boyutları veya mesh eleman sayıları için yapılan analiz sonuçları da farklılık göstermektedir. Büyük mesh boyutları ve buna karşın düşük mesh eleman sayılı içeren geometriler üzerine yapılan analizler hızlı çözüme ulaşabilmektedir. Ancak, elde edilen sonuçların doğruluğu nispeten düşük olmaktadır. Çok küçük mesh boyutu ve çok fazla mesh eleman sayıları için yapılan analizlerde ise analizler çok uzun sürmektedir ve bu durum zaman verimliliği açısından kabul edilebilir değildir. Bu durumda, yüksek doğrulukta analiz sonuçları elde edebilmek için sonlu elemanlar analiz sonuçları üzerinden mesh yakınsama analizlerinin yürütülmesi gerekmektedir [26-35]. Böylelikle sistemin en optimum mesh boyutu ve buna karşılık gelen mesh eleman sayısı değerleri bulunabilecek ve daha sonraki analizler için de bu değerler kullanılabilecektir.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen sistemde, 304 (1/16) ve 316 (L) malzemeleri ve farklı mesh boyutları (2.5 mm, 2.75 mm, 3 mm, 4 mm, 5.5 mm ve 7 mm) için modal analiz sonuçları değerlendirilerek mesh yakınsama analizleri gerçekleştirilmiş ve her bir modda benzer mesh boyutu için mesh yakınsamasının sağlandığı görülmüştür. Örneğin, Mod 1- Mod 6 için elde edilen mesh yakınsama sonuçları Şekil 3-8'de gösterilmiştir. Her iki malzeme için de, Şekil 3-8 'den, eleman sayısı değeri yaklaşık olarak 170724 değerine ulaştıktan sonra rezonans frekans değerlerinde çok küçük değişiklikler olduğu gözlemlenmektedir. Buna göre, 170724 optimal mesh eleman sayısına karşın optimal mesh boyutu değeri 3 mm'ye karşılık gelmektedir. Son olarak, mesh işlemi sonucunda optimal mesh'in 435582 adet düğüm içereceği de ek olarak belirtilmektedir.

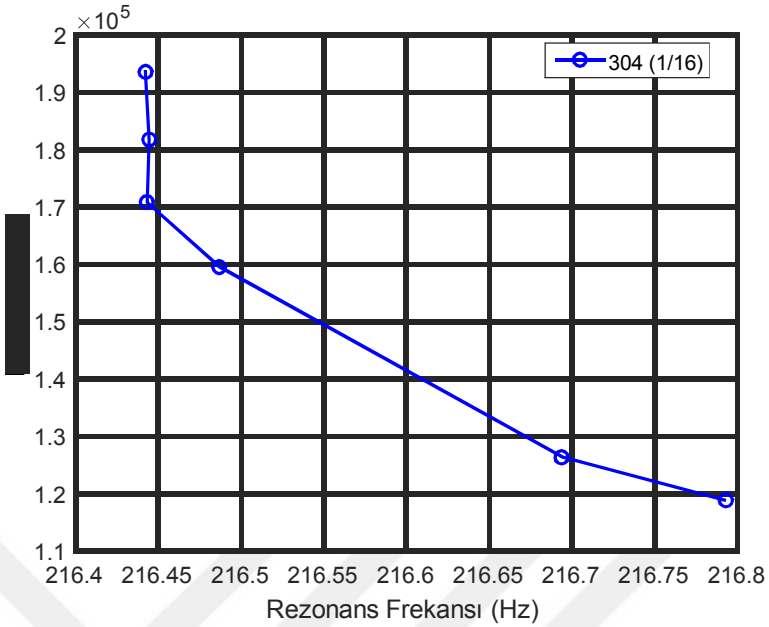


(a) 304 (1/16) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

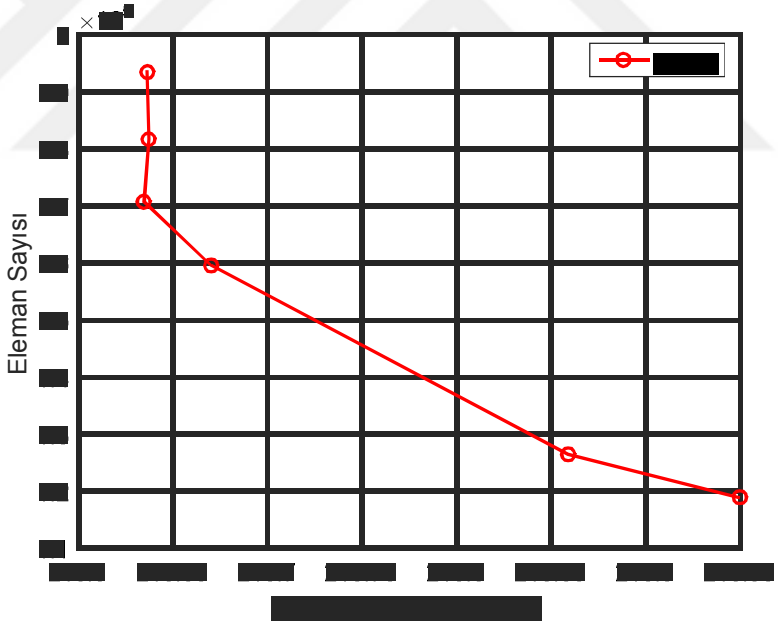


(b) 316 (L) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

Şekil 3. Mod 1 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri

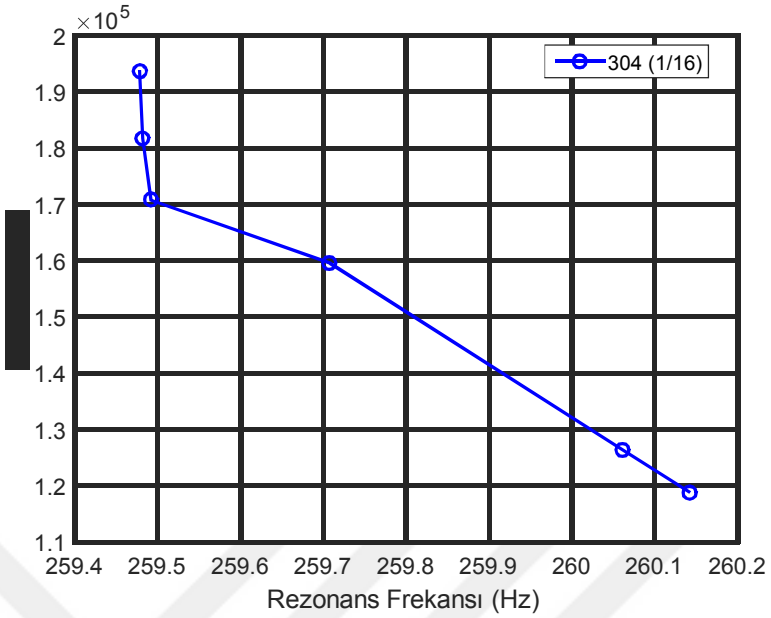


(a) 304 (1/16) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

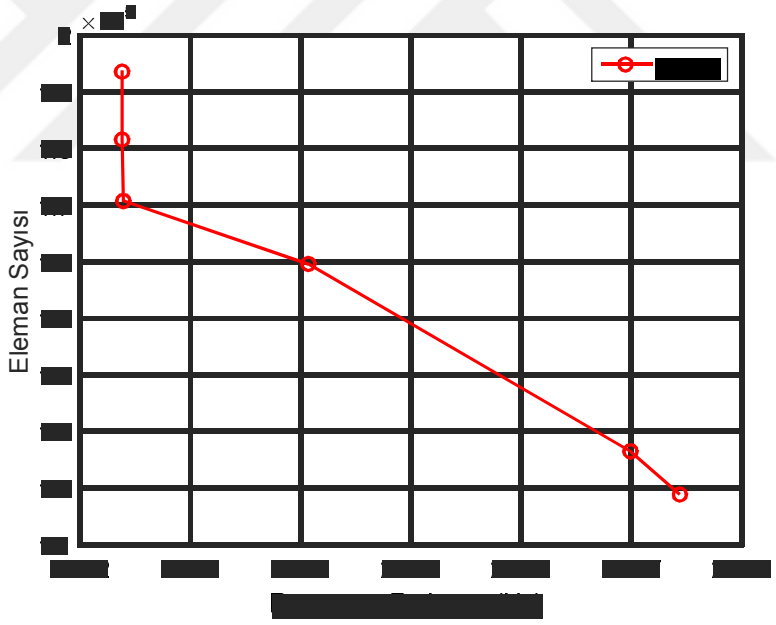


(b) 316 (L) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

Şekil 4. Mod 2 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri

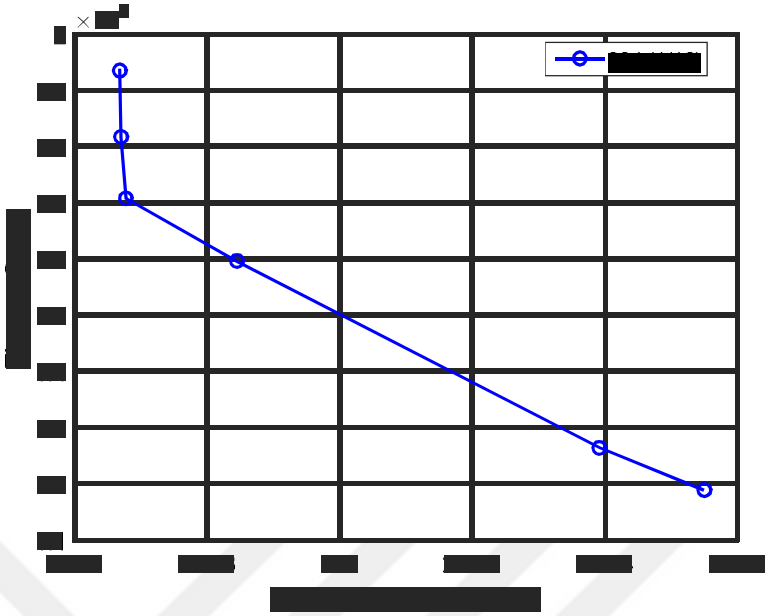


(a) 304 (1/16) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

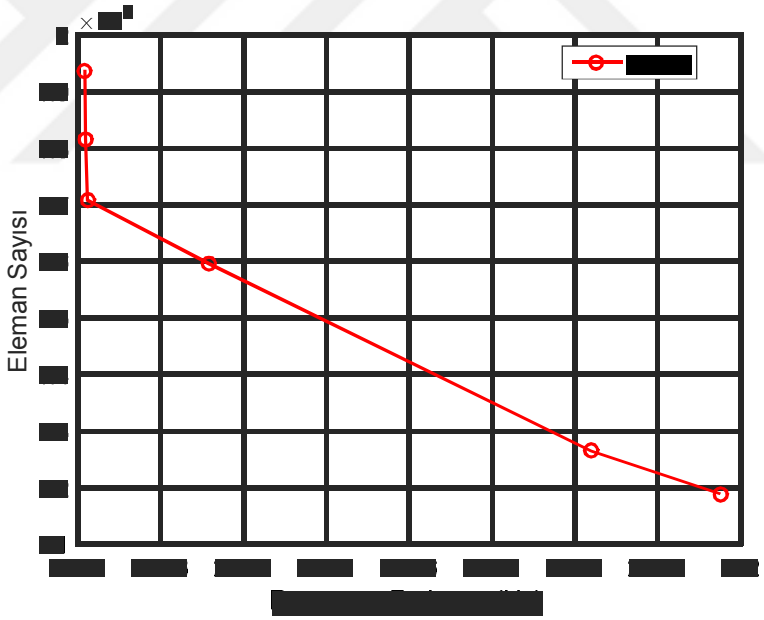


(b) 316 (L) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

Şekil 5. Mod 3 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri

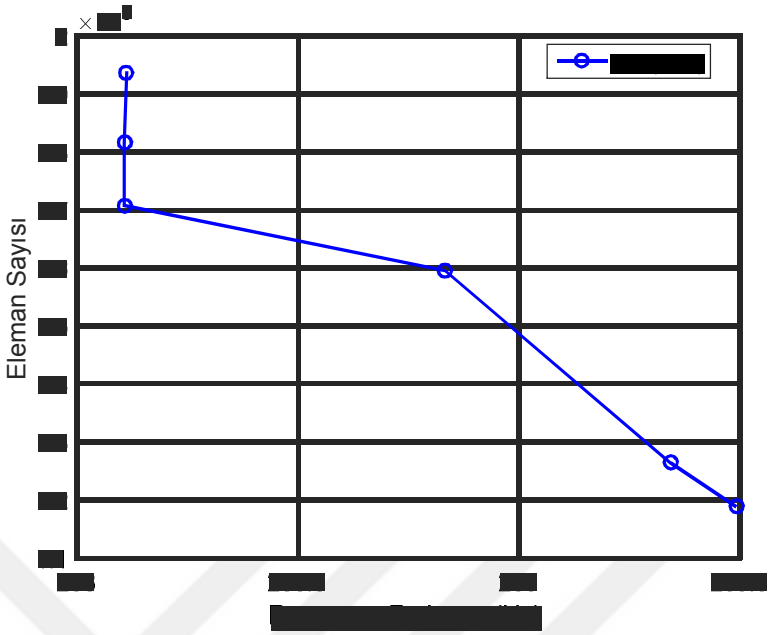


(a) 304 (1/16) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

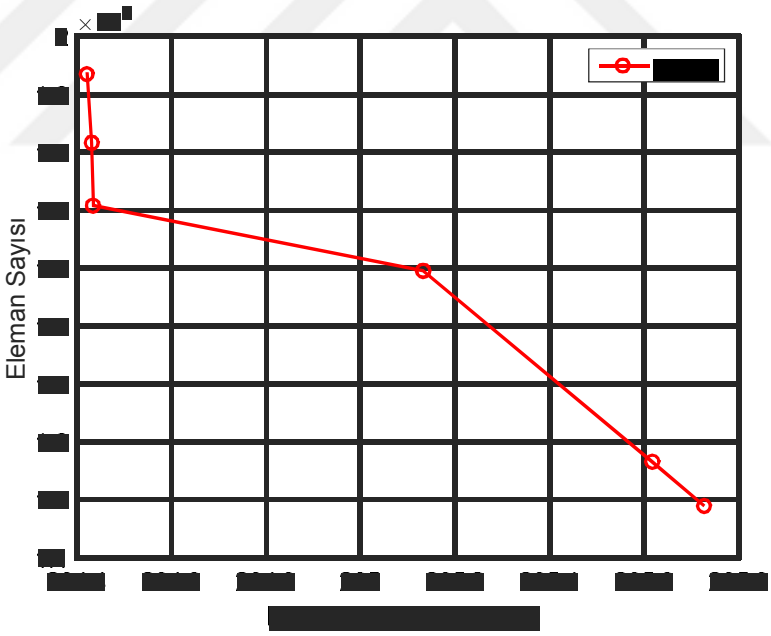


(b) 316 (L) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

Şekil 6. Mod 4 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri

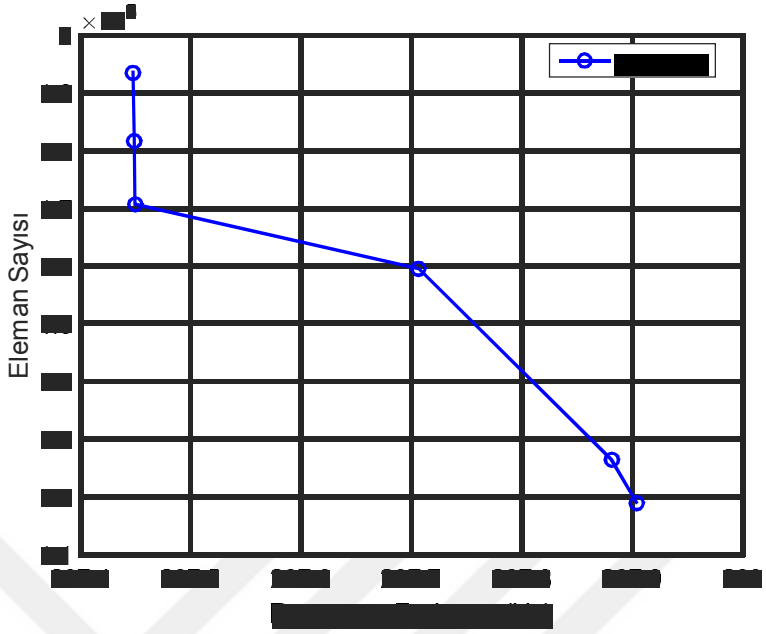


(a) 304 (1/16) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

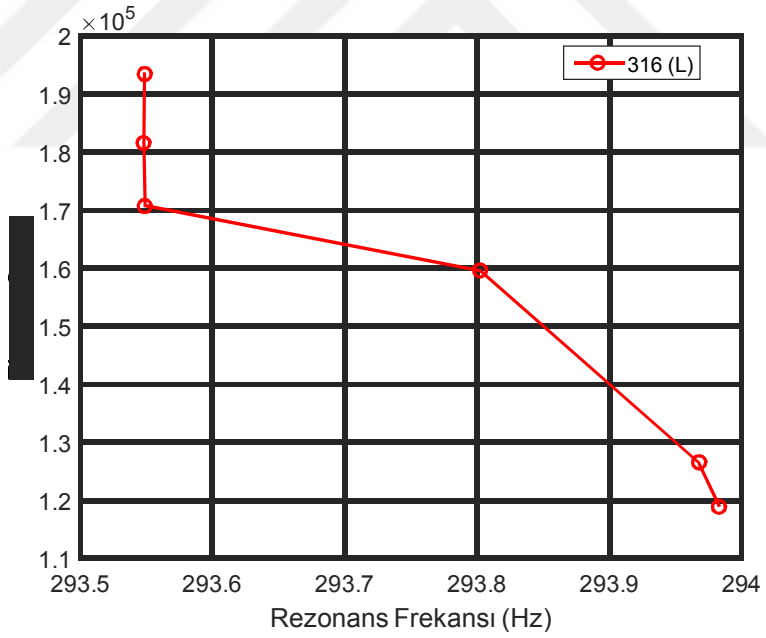


(b) 316 (L) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

Şekil 7. Mod 5 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri



(a) 304 (1/16) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği



(b) 316 (L) malzemesi için rezonans frekansına karşın eleman sayısı değişim grafiği

Şekil 8. Mod 6 için elde edilen mesh yakınsama grafikleri

3. BÖLÜM

BULGULAR

Önceden belirlenmiş sınır koşulları altında yapılan doğrusal olmayan dinamik analizlerde, her bir bölümde meydana gelen yönlü deformasyonlar ve von Mises gerilme değerleri hesaplanmıştır. Deformasyonlar (y,z) eksenleri için ayrı ayrı hesaplanmış olsa da tüm çalışma koşullarında z-ekseni için elde edilen deformasyon sonuçlarının sistemin bütünü için oluşan deformasyon sonuçlarına çok benzer olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, z-ekseni için, 304 (1/16) ve 316 (L) malzemelerinde her bir deformasyon sonucunu ayrı ayrı vermek yerine, yalnızca tüm sistem için elde edilen deformasyon sonucu verilmiştir. Ayrıca, daha detaylı ve adil sonuçlar sunmak amacıyla daha önce de belirtildiği gibi ilk 20 Mod için modal analizler gerçekleştirilmiştir (Mod 1- Mod 20).

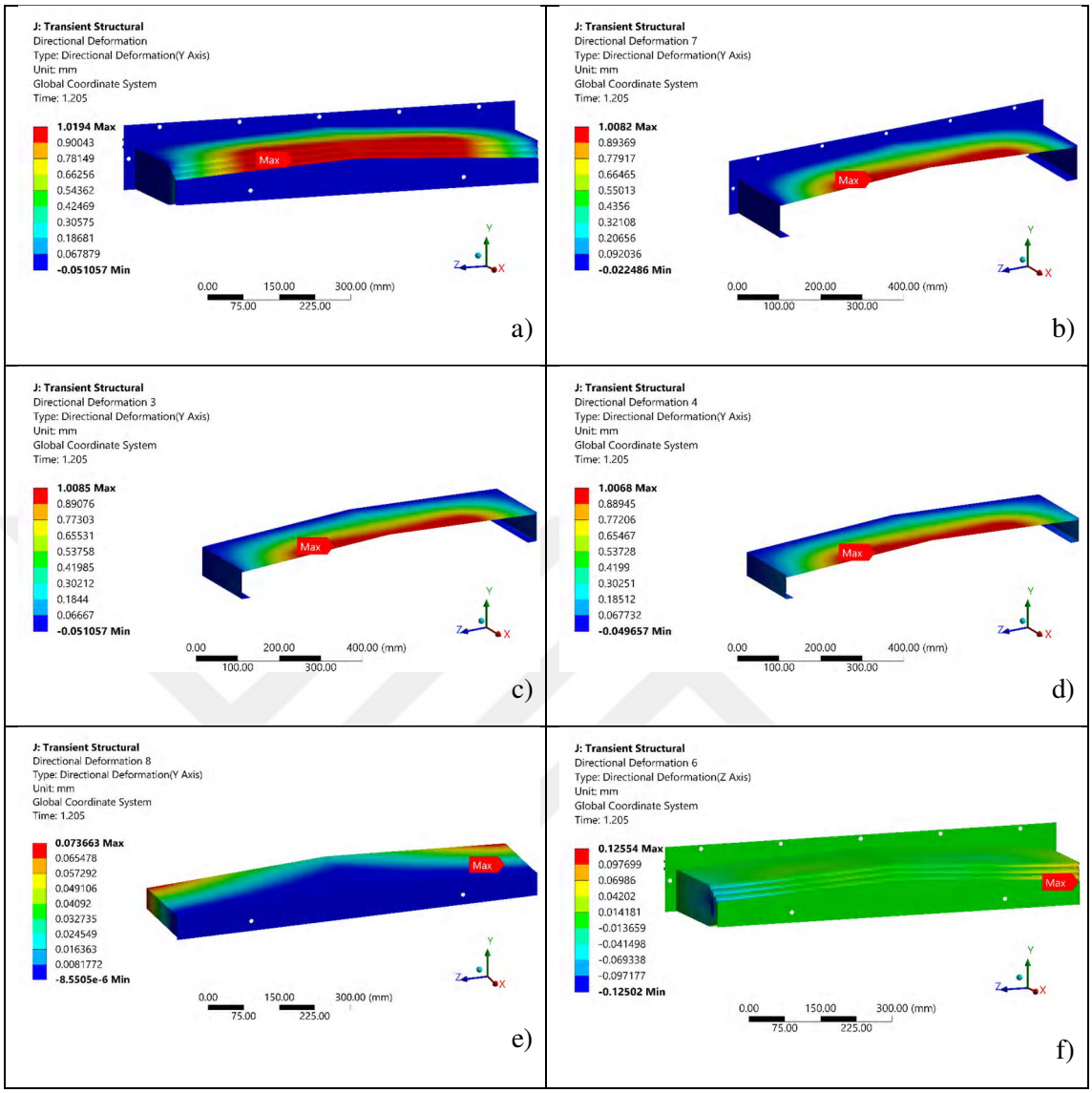
3.1. 304 (1/16) için Simülasyon Sonuçları

304 (1/16) malzemesi için y-ekseni deformasyon sonuçları Şekil 9 (a-e) ile gösterilmiştir. Şekil 9 (a)'dan, y-ekseni yönlü maksimum deformasyon değerinin üçüncü bölümdeki sıyırıcıların kauçuk kısmında 1.0194 mm olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 9 (b-d) incelendiğinde, dördüncü, üçüncü ve ikinci bölümlerdeki y-ekseni yönlü maksimum deformasyon değerlerinin, sırasıyla, [1.0082 mm, 1.0085 mm, 1.0068 mm] olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu sonuçlardan, söz konusu üç bölümdeki deformasyon değerlerinin birbirine çok yakın olduğu da görülebilmektedir. Ön yüzeyden sabitlenen birinci bölümde y-ekseni yönünde oluşan deformasyon sonuçları Şekil 9 (e)'de verilmiştir. İlgili maksimum deformasyon değeri 0.073663 mm olarak elde edilmiştir ve deformasyonların özellikle birinci bölümün sabit yapısı nedeniyle sac malzemenin üst ve alt bükümlerinin uç taraflarında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Son olarak, Şekil 9 (f) tüm sistem için z-ekseni yönünde ortaya çıkan deformasyon

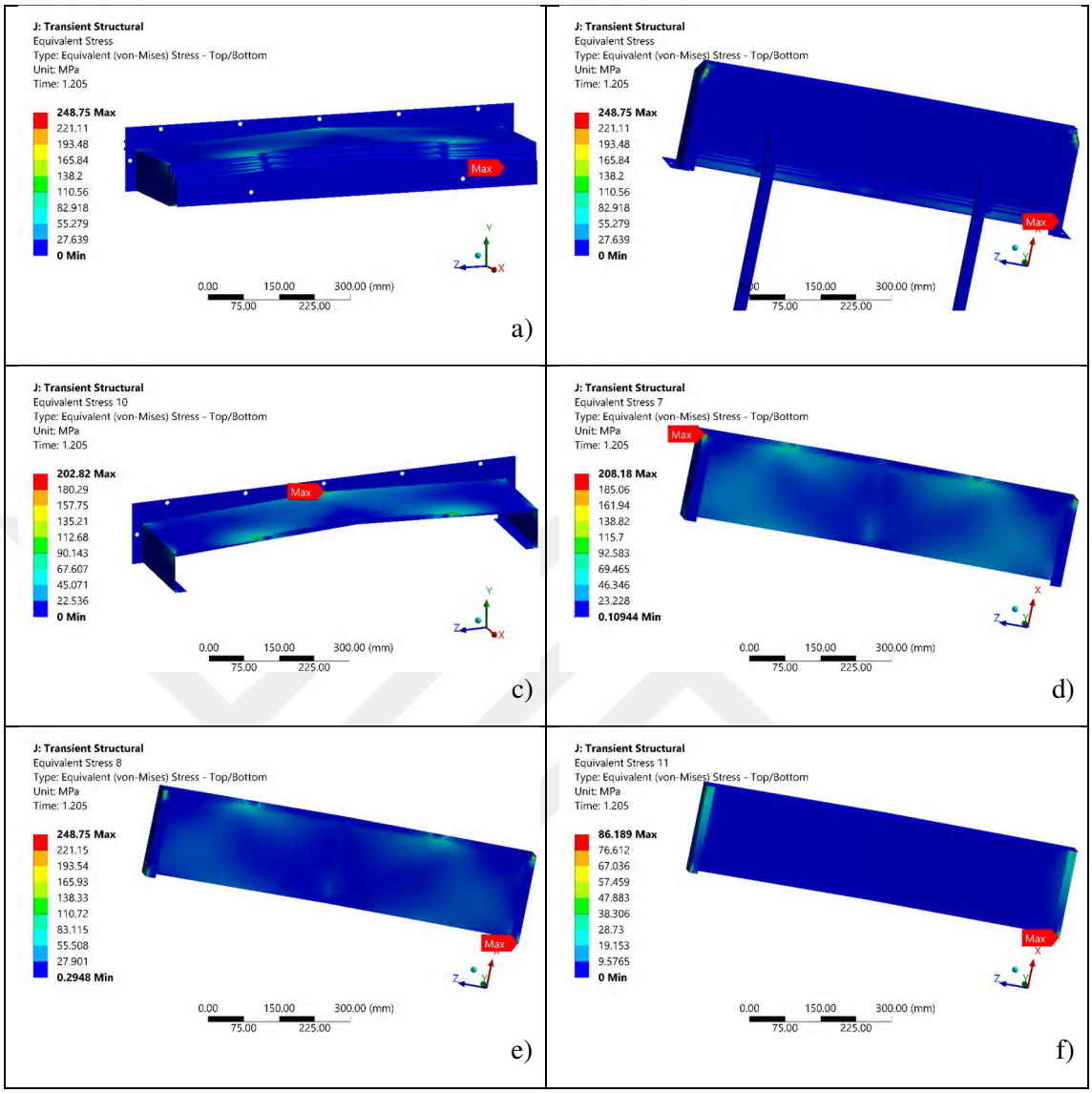
sonuçlarını göstermektedir. Maksimum deformasyonların üçüncü bölüme bağlı olan pirinç sıyırıcıların yan yüzeylerinde [0.12554 mm, - 0.12502 mm] olarak meydana geldiği görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, z-ekseni yönlü deformasyonların, bükümlü sacların sağ ve sol yüzeylerinde ve yan pirinç sıyırıcılar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. (y, z) ekseni yönlü deformasyon sonuçları genel anlamda incelendiğinde ise pirinç kılavuzlar ve raylar üzerinde yüksek değerlerde deformasyonların ortaya çıkmadığı söylenebilmektedir.

304 (1/16) malzemesi için elde edilen von Mises gerilme sonuçları aşağıda Şekil 10 ile verilmiştir. Şekil 10 (a,b)'den, sistem üzerinde tespit edilen gerilmelerin özellikle sıyırıcıların alt yüzeylerinde, bükümlü sacların temas noktalarında ve dördüncü bölüm üzerinde bağlantı noktalarında yoğunlaştığı görülmektedir. Şekil 10 (c) incelendiğinde ise maksimum von Mises gerilmesinin dördüncü bölümün bağlantı noktalarında meydana geldiği ve bu gerilme değerinin 202.82 MPa olarak üretildiği görülmektedir. Şekil 10 (d)'den, üçüncü bölüm üzerinde meydana gelen gerilmelerin bükümlü sacın alt taraflarında meydana geldiği ve maksimum gerilme değerinin 208.18 MPa olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Şekil 10 (e) incelendiğinde ikinci bölümde meydana gelen maksimum gerilme değerinin 248.75 MPa olduğu ve gerilmelerin sac malzemenin ön ve arka alt bükümlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durumun ise sistemin hareketi esnasında ikinci bölümün alt bükümlerinin, hem üçüncü bölüm hem de sabit birinci bölüm tarafından zorlanmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. Şekil 10 (f)'den ise birinci bölümde meydana gelen gerilmelerin bükümlü sacın hem alt bükümlerinde hem de bağlantı noktalarında yoğunlaştığı ve maksimum von Mises gerilme değerinin 86.189 MPa olarak elde edildiği söylenebilir.

304 (1/16) malzemesinin von Mises gerilme sonuçları, ASTM A666/A666M uluslararası standartları kapsamında değerlendirildiğinde, analizlerin hiç birisinde 310 MPa'lık akma dayanımı değerinin aşılmadığı ve buna bağlı olarak sistemde plastik deformasyonların meydana gelmediği ifade edilebilmektedir.



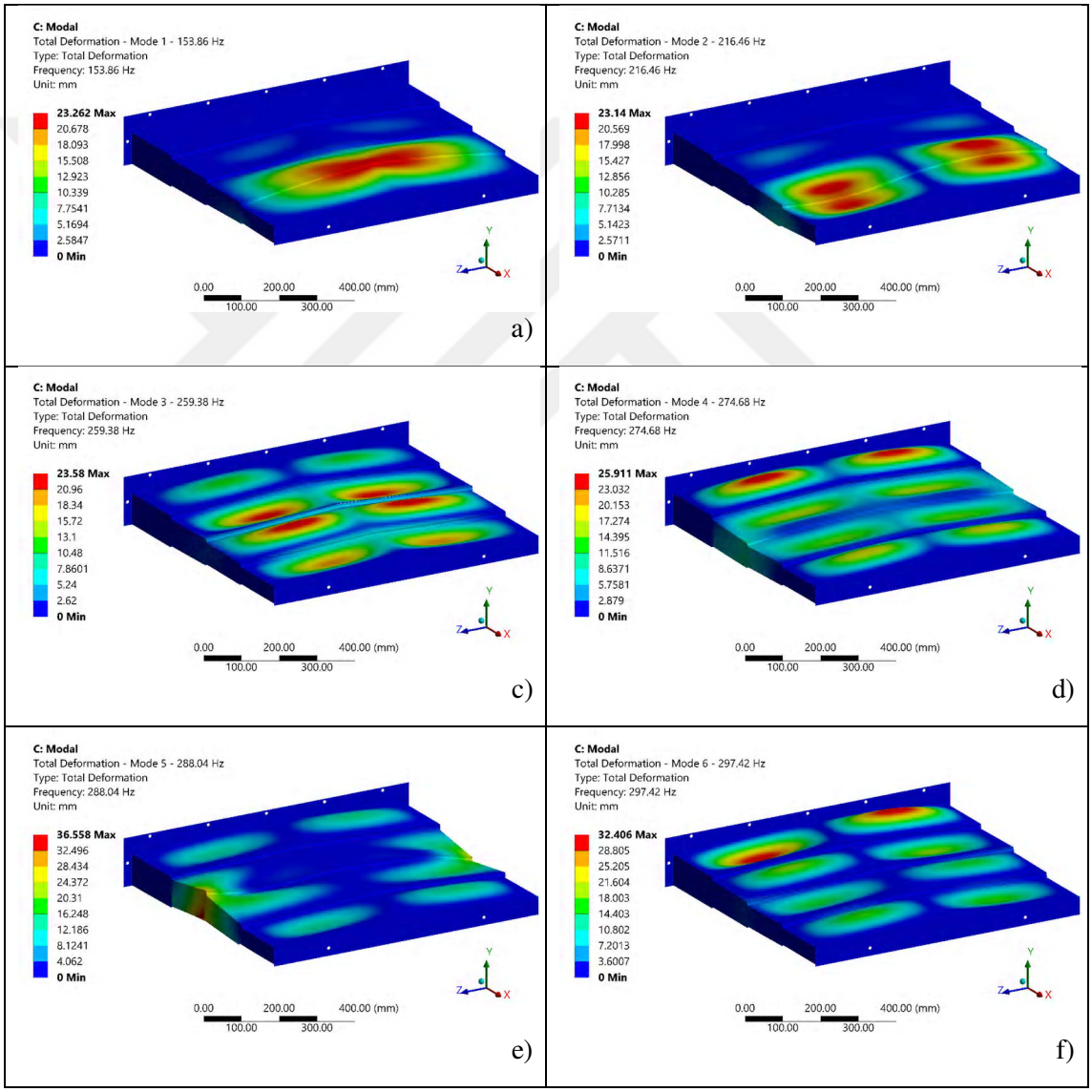
Şekil 9. 304 (1/16) malzemesi için deformasyon sonuçları. (a) Tüm sistem için y-ekseni yönlü deformasyonlar, (b) Dördüncü bölüm için y-ekseni yönlü deformasyonlar, (c) Üçüncü bölüm için y-ekseni yönlü deformasyonlar, (d) İkinci bölüm için y-ekseni yönlü deformasyonlar, (e) Birinci bölüm için y-ekseni yönlü deformasyonlar, (f) Tüm sistem için z-ekseni yönlü deformasyonlar



Şekil 10. 304 (1/16) malzemesi için von Mises gerilme sonuçları. (a) Tüm sistemin von Mises gerilme sonuçları - üst görünüm. (b) Tüm sistemin von Mises gerilme sonuçları - alt görünüm, (c) Dördüncü bölüm için von Mises gerilme sonuçları, (d) Üçüncü bölüm için von Mises gerilme sonuçları, (e) İkinci bölüm için von Mises gerilme sonuçları, (f) Birinci bölüm için von Mises gerilme sonuçları

304 (1/16) malzemesi ilk altı mod (Mod 1-Mod 6) için modal analiz sonuçları Şekil 11 (a-f) ile gösterilmiştir. Şekil 11 (a,b)'de verilen sonuçlar incelendiğinde, Mod 1 ve Mod 2 için deformasyonların z-ekseninde birinci ve ikinci bölümler üzerinde yoğunlaştığı ifade edilebilir. Mod 1 ve Mod 2 için rezonans frekans değerleri, sırasıyla, [153.86 Hz, 216.46 Hz] olarak elde edilmiştir. Mod 3, 4 ve 6 için elde edilen sonuçlardan,

deformasyonların tüm bölümlere yayıldığı gözlemlenmiş ve rezonans frekans değerlerinin, sırasıyla, [259.38 Hz, 274.68 Hz, 297.42 Hz] olarak ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Son olarak, Şekil 11 (e)'de gösterilen Mod 5 için rezonans frekans değerinin 288.04 Hz olarak elde edildiği görülmektedir ve diğer modlardan farklı olarak, deformasyonların ikinci ve üçüncü bölümlerin büküm yerlerinin uç taraflarında yoğunlaştığı gözlemlenmektedir.



Şekil 11. 304 (1/16) malzemesi için modal analiz sonuçları. (a) Mod 1, (b) Mod 2, (c) Mod 3, (d) Mod 4, (e) Mod 5, (f) Mod 6

3.2. 316 (L) için Simülasyon Sonuçları

316 (L) malzemesi için y-ekseni yönünde elde edilen deformasyon sonuçları Şekil 12 (a-e)'de verilmiştir. Şekil 12 (a) incelendiğinde, tüm sistemin deformasyon karakteristiğini temsil eden verilere göre, y-ekseni yönlü maksimum deformasyon değeri üçüncü bölümdeki sıyırıcıların kauçuk kısmında 1.0394 mm olarak elde edilmiştir. Şekil 12 (b-d) incelendiğinde ise dördüncü, üçüncü ve ikinci bölümlerdeki y-ekseni yönlü maksimum deformasyon değerlerinin, sırasıyla, [1.0284 mm, 1.0283 mm, 1.0267 mm] olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, söz konusu üç bölümdeki deformasyon değerlerinin tüm çalışma koşullarında birbirine çok yakın olacağı ifade edilebilir. Şekil 12 (e), ön yüzeyden sabitlenen birinci bölüm için y-ekseni yönlü deformasyon sonuçlarını göstermektedir. Maksimum deformasyon değeri 0.072756 mm olarak ölçülmüştür ve deformasyonların özellikle birinci bölümün sabit yapısı nedeniyle sac malzemenin alt ve üst bükümlerinin uç taraflarında yoğunlaştığı görülmektedir. Şekil 12 (f)'de ise, tüm sistem için z-ekseni yönünde elde edilen deformasyon sonuçları verilmiştir. Maksimum deformasyonların üçüncü bölüme bağlı pirinç sıyırıcıların yan yüzeylerinde ve [0.12849 mm, -0.12911 mm] olarak meydana geldiği görülmektedir. Yukarıda belirtilen sonuçlar değerlendirildiğinde, z-ekseni yönlü deformasyonların bükümlü sacın sağ ve sol yüzeylerinde ve yan pirinç sıyırıcılarında yoğunlaştığı ifade edilebilir. (y,z) eksenleri yönlü deformasyon sonuçları genel olarak incelendiğinde ise özellikle pirinç kılavuzlar ve raylar üzerinde yüksek değerlerde deformasyonların meydana gelmediği gözlemlenmiştir.

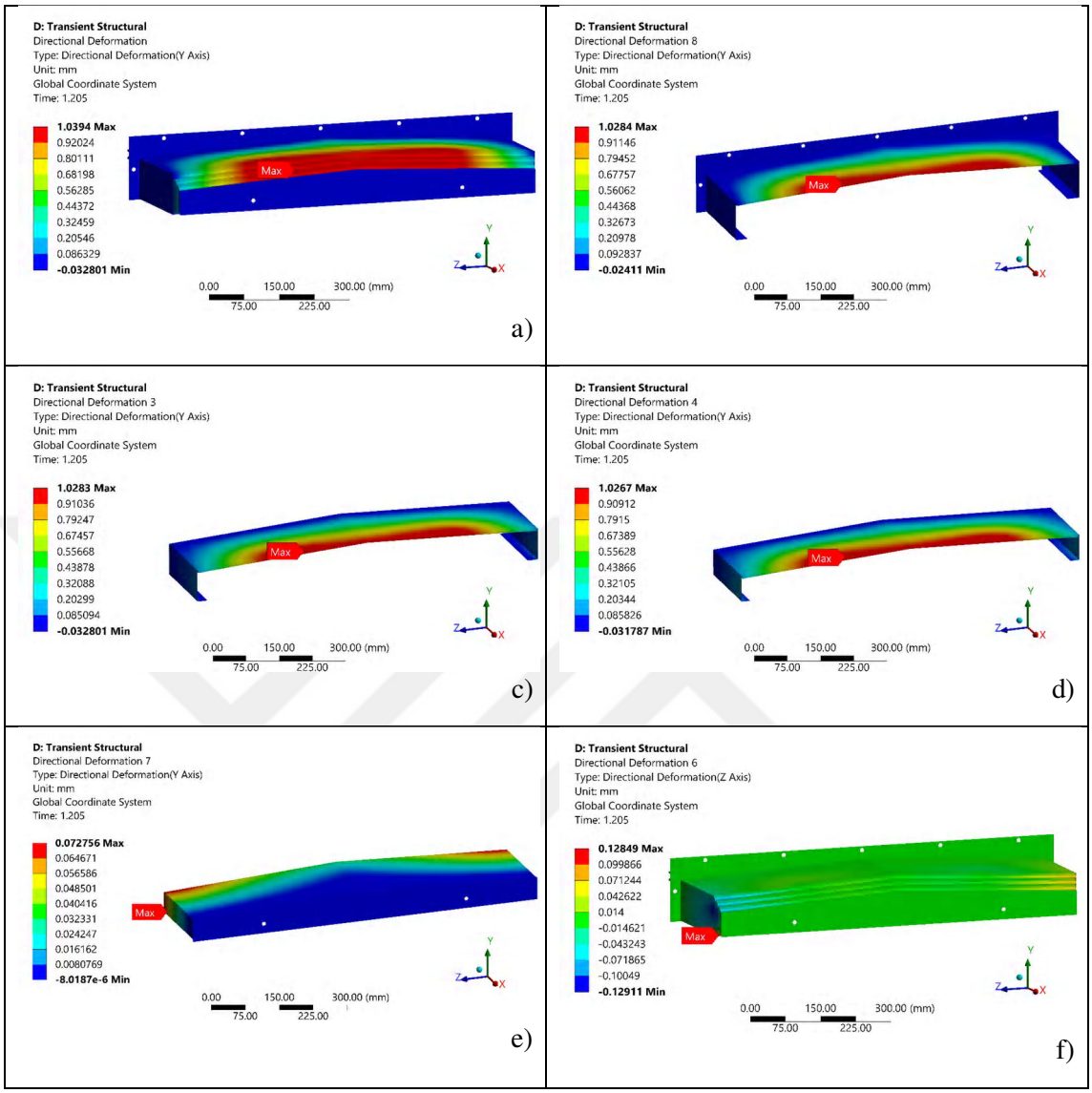
316 (L) malzemesi için elde edilen von Mises gerilme analizi sonuçları Şekil 13 (a-e) ile gösterilmiştir. Şekil 13 (a,b) incelendiğinde, sistemde meydana gelen gerilmelerin özellikle sıyırıcıların alt yüzeylerinde, bükümlü sacların birbirleriyle temas ettikleri bölgelerde ve bağlantı sacları üzerindeki bağlantı noktalarında yoğunlaştığı görülmektedir. Şekil 13 (c)'den, dördüncü bölüm için maksimum von Mises gerilmesinin ilgili bölümün bağlantı noktalarında 186.58 MPa olarak meydana geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 13 (d) incelendiğinde ise üçüncü bölüm üzerinde sacın bükümlerinde maksimum gerilmelerin meydana geldiği ve maksimum von Mises gerilme değerinin 193.91 MPa olarak ortaya çıktığı belirlenmiştir. Şekil 13 (e)'den, ikinci bölümdeki maksimum gerilme değerinin 198.4 MPa olduğu ve gerilmelerin sac malzemesinin alt bükümlerinin hem ön hem de arka taraflarında yoğunlaştığı

söylenebilmektedir. Birinci bölümde meydana gelen gerilmelerin ise hem alt bükümlerde hem de bağlantı noktalarında yoğunlaştığı ve maksimum von Mises gerilmesinin 91.078 MPa olarak ölçüldüğü Şekil 13 (f)'den görülmektedir.

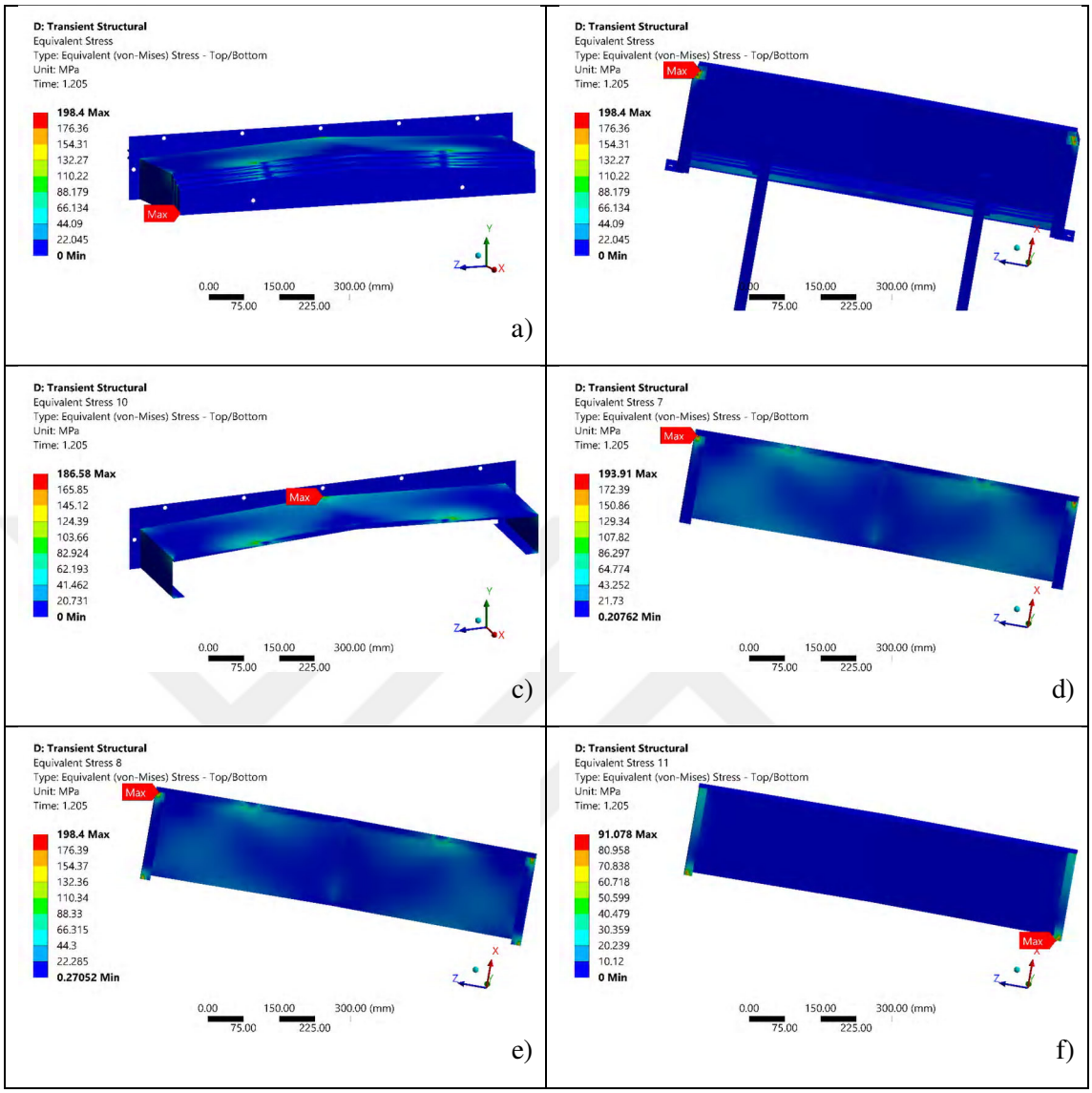
316 (L) malzemesinin von Mises gerilme sonuçları, ASTM A240/A240M uluslararası standartları kapsamında değerlendirilecek olursa, yapılan analizlerde 170 MPa değerindeki akma dayanımının aşıldığı ve buna bağlı olarak sistemde plastik deformasyonların meydana geldiği ifade edilebilir.

Şekil 14 (a-f)'de, 316 (L) malzemesi ilk altı mod (Mod 1-Mod 6) için modal analiz sonuçları gösterilmiştir. Şekil 14 (a,b)'den, Mod 1 ve Mod 2 için deformasyonların z-ekseni yönünde birinci ve ikinci bölümler üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Mod 1 ve Mod 2 için rezonans frekans değerleri sırasıyla [151.84 Hz, 213.63 Hz] olarak elde edilmiştir. Mod 3, 4 ve 6 için elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise deformasyonların tüm bölümlere yayıldığı ve rezonans frekans değerlerinin, sırasıyla, [256.04 Hz, 271.13 Hz, 293.52 Hz] olduğu gözlemlenmiştir. Bu üç mod için daha ayrıntılı ifade etmek gerekirse, maksimum deformasyonların özellikle ikinci ve üçüncü bölümlerde meydana geldiği görülmüştür. Şekil 14 (e)'den ise Mod 5 için elde edilen rezonans frekans değerinin 284.36 Hz olduğu ve diğer modlardan farklı olarak deformasyonların ikinci ve üçüncü bölümlerin bükümlü tarafların uçlarında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.

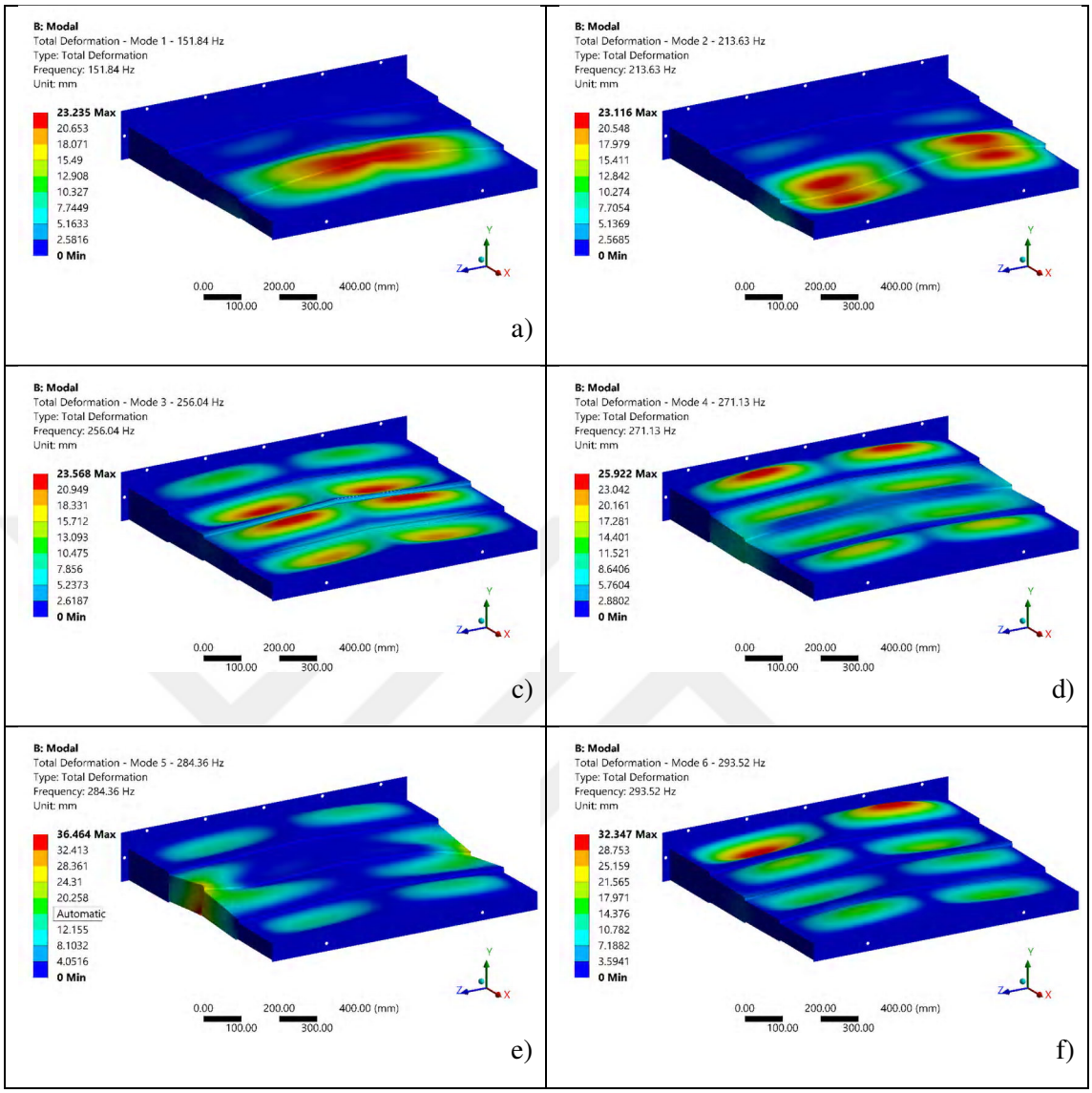
Bu tez çalışmasında, öncelikle ilk 6 mod için modal analizler detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve elde edilen rezonans frekans değerleri sunulmuştur. Sistemin dinamik karakteristiğini daha ayrıntılı olarak ortaya çıkarabilmek amacıyla, ek olarak, ilk 20 mod için de modal analiz sonuçları elde edilmiştir. 304 (1/16) ve 316 (L) malzemeleri ve ilk 20 mod için elde edilmiş olan rezonans frekans değerleri Tablo 2'de birleştirilerek gösterilmiştir.



Şekil 12. 316 (L) malzemesi için deformasyon sonuçları. (a) Tüm sistem için y-ekseni yönlü deformasyonlar, (b) Dördüncü bölüm için y-ekseni yönlü deformasyonlar, (c) Üçüncü bölüm için y-ekseni yönlü deformasyonlar, (d) İkinci bölüm için y-ekseni yönlü deformasyonlar, (e) Birinci bölüm için y-ekseni yönlü deformasyonlar, (f) Tüm sistem için z-ekseni yönlü deformasyonlar



Şekil 13. 316 (L) malzemesi için von Mises gerilme sonuçları. (a) Tüm sistemin von Mises gerilme sonuçları - üst görünüm. (b) Tüm sistemin von Mises gerilme sonuçları - alt görünüm, (c) Dördüncü bölüm için von Mises gerilme sonuçları, (d) Üçüncü bölüm için von Mises gerilme sonuçları, (e) İkinci bölüm için von Mises gerilme sonuçları, (f) Birinci bölüm için von Mises gerilme sonuçları



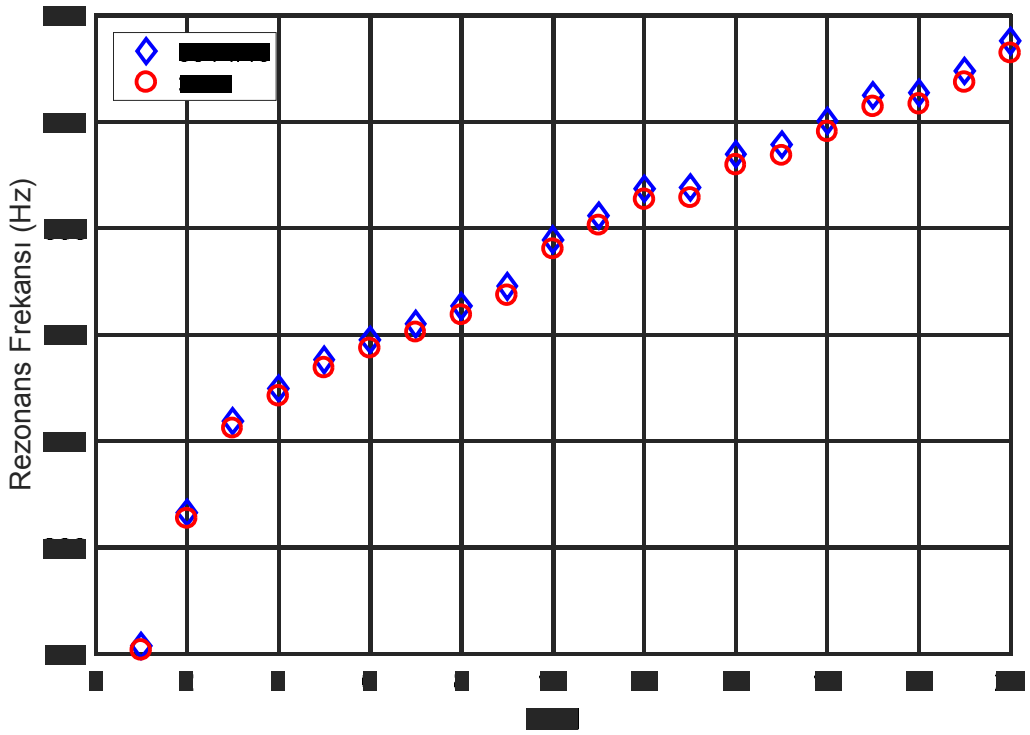
Şekil 14. 316 (L) malzemesi için modal analiz sonuçları. (a) Mod 1, (b) Mod 2, (c) Mod 3, (d) Mod 4, (e) Mod 5, (f) Mod 6

Tablo 2. İlk 20 mod için elde edilen rezonans frekans değerleri (Hertz)

	304 (1/16)	**316 (L)**		**304 (1/16)**	**316 (L)**
Mod 1	153.86	151.84	**Mod 11**	355.90	351.31
Mod 2	216.46	213.63	**Mod 12**	368.29	363.42
Mod 3	259.38	256.04	**Mod 13**	369.12	364.22
Mod 4	274.68	271.13	**Mod 14**	384.57	379.62
Mod 5	288.04	284.36	**Mod 15**	389.10	384.06
Mod 6	297.42	293.52	**Mod 16**	400.38	395.21
Mod 7	304.86	301.09	**Mod 17**	412.30	406.98
Mod 8	313.28	309.20	**Mod 18**	413.50	408.21
Mod 9	322.61	318.43	**Mod 19**	423.79	418.37
Mod 10	344.51	340.11	**Mod 20**	437.70	432.10

304 (1/16) ve 316 (L) malzemeleri için Mod-Rezonans Frekansı ilişkisi, Şekil 15'de karşılaştırılmıştır. Farklı modlar için elde edilen rezonans frekansı değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu gözükmektedir.

Tablo 2 ve Şekil 15 birlikte değerlendirildiğinde, 304 (1/16) malzemesi için elde edilen rezonans frekansı değerlerinin 316 (L) malzemesine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, 304 (1/16) malzemesinin tüm çalışma koşullarında 316 (L) malzemesinden daha yüksek bir mukavemete sahip olacağı sonucunu ortaya koymaktadır.



Şekil 15. İlk 20 mod için 304 (1/16) ve 316 (L) malzemelerinin mod değeri ile rezonans frekansı ilişkisi

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Tartışma

Son yıllarda, gerçek zamanlı mekanik sistemlerin deformasyon, gerilme, doğrusal olmayan dinamik analizlerinin ve modal analizlerinin bilgisayar destekli yaklaşımlar ile gerçekleştirilmesi önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Gerçek zamanlı sistemlerin farklı çalışma koşulları altındaki beklenen davranışları, ANSYS yazılımı kullanılarak tasarım sürecinden önce yüksek doğrulukla modellenebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, öncelikle gerçek zamanlı sistem üzerinde çalışan teleskopik koruyucu sistem geometrisi ANSYS yazılımı ile modellenmiştir. Ardından, çalışma koşullarını simüle etmek amacıyla sınır koşulları belirlenmiş ve sistem üzerinde doğrusal olmayan dinamik analizler ve modal analizler gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda, gerçek zamanlı endüstriyel ve robotik sistemlerde yaygın olarak kullanılan 304 (1/16) ve 316 (L) malzemeleri tercih edilmiştir.

Deformasyon sonuçları detaylı bir şekilde değerlendirildiğinde, 304 (1/16) malzemesinin dayanımının 316 (L) malzemesinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, her iki malzeme için de deformasyonların benzer bölgelerde meydana geldiği gözlemlenmiştir.

von Mises gerilme sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerlerinin her iki malzeme için de benzer bölgelerde meydana geldiği ifade edilebilir. Öte yandan, 304 (1/16) malzemesi için yapılan analizlerde, 310 MPa' lık akma gerilmesi değeri hiçbir analizde aşılmamış yani bu malzeme için sistemde plastik deformasyon meydana gelmemiştir. Ancak, 316 (L) malzemesi için yapılan analizlerde 170 MPa' lık akma gerilmesi değeri aşılmış yani sistemde plastik deformasyonlar meydana gelmiştir.

Son olarak, ilk 20 Mod için yapılan modal analiz sonuçları karşılaştırıldığında, 304 (1/16) malzemesinin, tüm modlarda daha yüksek rezonans frekansı değerlerine sahip olması nedeniyle tüm çalışma koşullarında 316 (L) malzemesine göre yüksek frekanslı yüklere daha dayanıklı olacağı ifade edilebilir.

4.2.Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, dört bölümden oluşan bir teleskopik koruyucu sistem üzerinde (y, z) eksenleri için ANSYS tabanlı deformasyon analizleri, von Mises gerilme analizleri ve modal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, 304 (1/16) malzemesinin 316 (L) malzemesine göre deformasyonlara karşı daha dayanıklı bir yapı sağladığı ve sistemin çalışma koşulları için daha elverişli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, malzeme seçiminden bağımsız olarak haraketli sistemin bölümleri için alt bölümlere doğru gidildikçe stres değerindeki artış dikkat çekmektedir. Bu durumu önlemek adına malzeme kalınlığının artırılması veya çalışma boşlukları için farklı değerler belirlenmesi gibi farklı tasarım yaklaşımları belirlenerek bu bölgelerdeki stresin azaltılması sağlanabilir. Benzer şekilde, 304 (1/16) malzemesi için tüm modlarda üretilen rezonans frekansı değerlerinin daha yüksek olması, bu malzemenin harici bozulma faktörlerine karşı daha güçlü bir yapı sunduğunu ve sistem rijitliğinin arttığını göstermektedir. Ayrıca, malzeme seçiminden bağımsız olarak aynı modlar için üretilen mod şekillerinde sistem üzerinde benzer deformasyonların ortaya çıktığı da görülmektedir. Sonuç olarak, 304 (1/16) malzemesinin gerçek zamanlı teleskopik koruyucu sistemlerin tasarımında başarılı bir şekilde kullanılabileceği ve 316 (L) malzemesine kıyasla daha iyi performans sergileyeceği ifade edilebilir.

Gelecekteki çalışmalarda, paslanmaz çelik dışında farklı metal malzemelerin veya kompozit malzemelerin kullanımı ile sistemin dinamik davranışları daha farklı bir perspektifle incelenebilir. Ayrıca, sistem üzerine uygulanan 1 mm yer değiştirme değerinden daha küçük ve daha yüksek değerler için dinamik analizler yapılarak sistemin performansı test edilebilir. Modal analiz üzerinden ise sistemin hem açık hem kapalı durumları ayrı ayrı analiz edilebilir. Son olarak, modal analiz tabanlı harmonik cevap analizleri (harmonic response analysis) gerçekleştirilerek sistemin dinamik davranışı daha detaylı bir şekilde incelenebilir.

KAYNAKÇA

1. Pantano, A., Tucciarelli, T., Montinaro, N., Mancino, A., 2020. Design of a telescopic tower for wind energy production with reduced environmental impact**. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 7**: 119–130
2. Sui, W., Zhu, Z., Cao, G., Chen, G., 2016. Nonlinear dynamic analysis of telescopic mechanism for truss structure bridge inspection vehicle under pedestrian excitation**. Latin American Journal of Solids and Structures, 13** (6): 1107–1125.
3. Lee, D., Chang, D., Shin, Y. I., Son, D., Kim, T. W., Lee, K. Y., Kim, J., 2011. Design and application of a wire-driven bidirectional telescopic mechanism for workspace expansion with a focus on shipbuilding tasks. **Advanced Robotics, 25** (6-7): 699–715.
4. Zhang, Xl., Zhang, Jh., Cheng, M., Zheng, S., Xu, B., Fang, Y., 2022. A design constraint for a double-acting telescopic hydraulic cylinder in a hydraulic erecting system, **Journal of Zhejiang University-SCIENCE A, 23**: 1–13.
5. Uzny, S., Kutrowski, Ł., 2019. Strength analysis of a telescopic hydraulic cylinder elastically mounted on both ends. **Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, 18**: 89-96.
6. Uzny, S., Kutrowski, Ł., 2017. The effect of torsional rigidity between elements on free vibrations of a telescopic hydraulic cylinder subjected to Euler's load. **Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, 16**: 117-122 https://doi.org/10.17512/jamcm.2017.3.11
7. Lv, Y., Lin, L., Guo, H., Tong, C., Liu, Y., Zhang, S., Suo, S., 2024. An adaptive hybrid surrogate model for FEA of telescopic boom of rock drilling jumbo. **Engineering Applications of Artificial Intelligence, 130**: 107710.
8. Zhang, L., Ye, T., Zhang, F., Li, J., 2023. Design and Dynamic Modelling of Chain Telescopic Robot. **Mechanism and Machine Theory, 181:** 105204.
9. Xu, J., Zhuo, Y., Qi, Z., Wang, G., Zhao, T., and Wang, T., 2022. Instability load analysis of a telescopic boom for an all-terrain crane. **Mechanical Sciences, 13**: 991–1009.

10. Ji, A., Chen, C., Peng, L., 2017. Collaborative optimization of NURBS curve cross-section in a telescopic boom, **Journal of Mechanical Science and Technology, 31:** 3861–3873.
11. Trąbka, A., 2015. The influence of clearances in a drive system on dynamics and kinematics of a telescopic crane. **Acta Mechanica et Automatica, 9** (1): 9-13.
12. Marjamäki, H., Mäkinen, J., 2006. Modelling a telescopic boom – the 3D case: Part II. **Computers & Structures, 84** (29–30): 2001-2015.
13. Marjamäki, H., Mäkinen, J., 2003. Modelling telescopic boom—The plane case: part I. **Computers & Structures, 81** (16): 1597-1609.
14. Ferkl, J., Novotny, L., Fiala, S., Kolar, P., Pytir, M., 2021. Frictional force modeling of a machine tool feed drive telescopic cover**. MM Science Journal, 5112**–5119.
15. Kolar, P., Hudec, J., Sulitka, M., 2010. Modeling of passive forces of machine tool covers. **Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing, 4** (5): 892-901.
16. Huang, N., Tian, Y., Yang, R., Ma, H., Chen, X., Suo, X., Li, H., 2024. Preparation and cavitation erosion resistance of nanocrystalline surface layer on 304 stainless steels. **Surface and Coatings Technology, 481**: 130615.
17. Sun, J., Yuan, Z., Tang, M., Zheng, P., He, Y., Wang, Y., 2023. Study on the surface microtexture microscopic friction and wear characteristics of 304 stainless steel. **Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, 32** (1): 15012.
18. Rathore, S., Agrawal, A. K., Singh, A., 2023. Use of repeated indenter sliding coupled with finite element computations to investigate the tribological response of nano-twinned 316L stainless steel. **Materialia, 32**: 101959.
19. Mishra, B. B., Nautiyal, H., 2022. Frictional and wear behavior of Cr3C2-NiCr coating on AISI-304 stainless steel. **Advances in Materials and Processing Technologies, 8** (4): 4007–4017.
20. Han, Y., Lv, Q., Song, Y., Bi, J., Zhang, Q., 2022. Tribological characterization of cortical bone against 316 stainless steel during dry sliding. **Surface Topography: Metrology and Properties, 10** (3): 35011.

21. Yin, MG., Cai, ZB., Yu, YQ., Zhu, MH., 2020. Impact-sliding wear behaviors of 304SS influenced by different impact kinetic energy and sliding velocity. **Tribology International, 143**: 106057.
22. Liu, S., Cui, Y., Fu, Y., Li, B., Lv, B., Qian, Y., 2022. Modeling of lubricated translational joints in rigid-partially flexible multibody systems and its application in two-stroke marine diesel engines. **Tribology International, 165**: 107244
23. Xiao, S., Xiao, Q., Song, M., Zhang, Z., 2021. Dynamic analysis for a reciprocating compressor system with clearance fault. **Applied Sciences, 11** (23): 11295.
24. Xiao, S., Liu, S., Song, M., Ang, M., Zhang, H., 2020. Coupling rub-impact dynamics of double translational joints with subsidence for time-varying load in a planar mechanical system. **Multibody System Dynamics, 48**: 451–486.
25. Zhang, J., Wang, Q., 2016. Modeling and simulation of a frictional translational joint with a flexible slider and clearance. **Multibody System Dynamics, 38**: 367–389.
26. Arunachalam, S., Muthuram, N., Kanchan, B.K., Senthilkumar, M., 2024. Enhancing performance of an 8-speed Lathe machine gearbox assembly: a study on static structural analysis and modal analysis. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 18:** 2491-2502.
27. Naufal, A. M., Prabowo, A. R., Muttaqie, T., Hidayat, A., Purwono, J., Adiputra, R., Akbar, H.I., Smaradhana, D. F., 2024. Characterization of sandwich materials – Nomex-Aramid carbon fiber performances under mechanical loadings: Nonlinear FE and converge. R**eviews on Advanced Materials Science, 63** (1): 20230177.
28. Li, D., Lu, D., Zhu, Y., Liu, Y., Zhang, C., Duan, D., 2023. Study on fluid-structure interaction characteristics for coaxial cylindrical shells with liquid in the annular gap. **Annals of Nuclear Energy, 182:** 109622.
29. Sanjaya, Y., Prabowo, A. R., Imaduddin, F., Nordin, N. A. B., 2021. Design and analysis of mesh size subjected to wheel rim convergence using finite element method. **Procedia Structural Integrity, 33:** 51-58.
30. Kalyani, U. H., Wylie, M., 2020. Modal finite element analysis of PCBs and the role of material anisotropy. V**ibroengineering PROCEDIA, 32** (4): 75-80.

31. Ghavidel, A., Rashki, M., Arab, H. G., Moghaddam, M. A., 2020. Reliability mesh convergence analysis by introducing expanded control variates. **Frontiers of Structural and Civil Engineering, 14**: 1012-1023.
32. Zhao, C., Yu, N., Peng, T., Lippolis, V., Corona, A., Mo, Y.L., 2020. Study on the dynamic behavior of isolated AP1000 NIB under mainshock-aftershock sequences. **Progress in Nuclear Energy, 119:** 103144.
33. Romanyk, D. L., Vafaeian, B., Addison, O., Adeeb, S., 2020. The use of finite element analysis in dentistry and orthodontics: Critical points for model development and interpreting results. **Seminars in Orthodontics, 26** (3): 162-173.
34. Tonatto, M. L.P., Tita, V., Araujo, R. T., M. Forte, M.C., Amico, S. C., 2017. Parametric analysis of an offloading hose under internal pressure via computational modeling. **Marine Structures, 51**: 174-187.
35. Gómez-Goñi, J., Garrido-Mendoza, C. A., Cercós, J. L., González, L., 2013. Two phase analysis of sloshing in a rectangular container with Volume of Fluid (VOF) methods. **Ocean Engineering, 73** (15): 208-212.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Sinan ÖZÇİFTÇİ

Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği	2015
Lise	Manavgat Kemer Fatma Turgut Şen Anadolu Lisesi, Manavgat	2010

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2024-	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü	Arş. Gör.
2019-2021	Kozanlı Mühendislik	Mekanik Tasarımcı
2018-2019	Dener Makina	Servis Mühendisi
2017-2018	Türk Hava Kuvvetleri/Hava Astsubay MYO	Yedek Subay / Öğr. Gör.

YABANCI DİL

İngilizce