

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ VE MEKANİK TASARIMDA
ALÜMİNYUM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Rıza GÜVEN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

KASIM 2023

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ VE MEKANİK TASARIMDA
ALÜMİNYUM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Rıza GÜVEN
(191222002)
0009-0006-9747-8845

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU

KASIM 2023

ONAY

Enstitümüz, Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı 191222002 numaralı öğrencisi Ali Rıza GÜVEN'in "Alüminyumun Özellikleri ve Mekanik Tasarımda Alüminyum" adlı tez çalışması 13/02/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aşığıdaki jüri tarafından *Oy Birliđi* ile Yüksek Lisans tezi olarak *Kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

- 1) Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi. Bülent İMAMOĞLU
- 2) Jüri Üyesi : Dr. Nazenin İPEK
- 3) Jüri Üyesi : Dr. Burcu ERTUĞ

Tez Savunma Tarihi: 13/02/2023

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunmuş olduğum, “Alüminyumun Özellikleri ve Mekanik Tasarımda Alüminyum” adlı tezin, proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, yararlandığım eserlerin Kaynakça’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. 16/01/2023



ÖNSÖZ

Bu araştırmanın her aşamasında birçok kişinin katkısı bulunmaktadır. Yüksek Lisans eğitimim sürecinde, yaptığım araştırmanın fikir olarak ortaya çıkmasından gerçekleşmesine kadar her aşamasında büyük bir öz eriyle bu yolda bana ışık tutan, bana hep inanan e beni her zaman destekleyen değerli tez danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Bülent İMAMOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Bu akademik tez çalışmasını bilim dünyasına ve bilim ışığında araştırma yapan akademisyen ve değerli gençlere armağan ediyorum. Üzerimde emeği ve bilgisi olan bütün akademisyen ve hocalarıma şükranlarımı sunuyorum. Ve özellikle Tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi sonsuz destek ve sevgiyle yanımda olan Ailem'e sonsuz teşekkür ederim.

ŞUBAT 2023

Ali Rıza Güven

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Konusu	1
1.2 Tezin Amacı ve Önemi.....	1
1.3 Alan, Veri Kaynakları, Yer- Süre ve Destek.....	1
1.4 Yöntem ve Teknikler.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1 Alüminyumun Tanımı ve Özellikleri	2
2.2 Alüminyumun Başlıca Kullanım Yerleri.....	3
2.2.1 Güç hatları	3
2.2.2 Yüksek binalar	4
2.2.3 Pencere çerçeveleri	4
2.2.4 Tüketici elektroniği.....	4
2.2.5 Ev ve endüstriyel cihazlar.....	5
2.2.6 Uçak parçaları/bileşenleri	5
2.2.7 Uzay aracı bileşenleri.....	7
2.2.8 Gemiler	7
2.2.9 Trenler.....	8
2.2.10 Kişisel araçlar	8
2.3 Alüminyum Parçaların Tasarımında Dikkat Edilen Noktalar	8
2.3.1 Çekme payı	9
2.3.2 İşleme payı.....	9
2.3.3 Kalıptan sökme	9
2.3.4 Konik hale getirme	9
2.4 Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	9
2.5 Malzemelerin İmalat Özellikleri	24
2.5.1 Dökülebilirlik.....	24
2.5.2 İşlenebilirlik.....	25
2.6 Mekanik Özelliklerin Modellenmesi İçin Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	27
3. MATERYAL VE METOT	29
3.1 ANSYS Yazılımı ve Genel Bilgiler	29
3.2 Tasarım ve Analiz Aşamaları	29
4. BULGULAR	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64

KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ.....	67



KISALTMALAR

Cc	: Metalin Korunan Bölgelerinin Sığıası
CCD	: Central Composite Design-Merkezi Kompozit Tasarım
Cf	: Metalin Korunmayan Bölgelerinin Sığıası
COD	: Crystallography Open Database
GMAW	: Gas Metal Arc Welding
GTAW	: Gas tungsten Arc Welding
HY	: High Yield
MAG	: Metal Active Gas
MIG	: Metal Inert Gas
SMAW	: Shielded Metal Arc Welding
STJ	: Structural transition Joint
XRD	: X Işınımı Kırınım Ölçer
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Havacılık Alüminyum Alaşımlarının Tipik Mekanik Özellikleri	7
--	---



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Alüminyumun Ashby Çizelgesi Üzerindeki Yeri	3
Şekil 2.2: Gevrek ve Gevrek Olmayan Malzemeler İçin Stres-Gerilme Grafiği.....	11
Şekil 2.3: Deformasyon	19
Şekil 2.4: Elastik ve Plastik Deformasyon	20
Şekil 2.5: Akma Dayanımı ve Young Modülü	20
Şekil 2.6: Numune Kalınlığının Kırılma Tokluğu Üzerindeki Etkisi.....	21
Şekil 3.1: Numune Çelik Parçasının Çizimi	35
Şekil 3.2: Numune Çelik Parçasının Açılımı.....	36
Şekil 3.3: Çelik Parçası.....	38
Şekil 3.4: Çelik Parçasının Gerilme Analizi.....	39
Şekil 3.5: Çelik Parçasının Yer Değiştirme Analizi	39
Şekil 3.6: Çelik Parçasının Kalınlık ve Gerilim İlişkisi	41
Şekil 3.7: Çelik Parçasının Kalınlık ve Yer Değiştirme İlişkisi	41
Şekil 3.8: Üssel Eğrisi (Farklı kalınlıktaki plakalardaki Gerilme)	42
Şekil 3.9: Plakada Farklı Kalınlıklar Sonucu Gerilim ve Yer değiştirme	42
Şekil 3.10: Gerilme Bağlı Olarak En-Boy Açılma Grafiği.....	43
Şekil 3.11: Farklı Kalınlıktaki Çeliklerin Gerilmeleri.....	44
Şekil 3.12: Aynı Kalınlığa, Farklı Açıklığa Sahip Çelik Numune Parçaları	46
Şekil 3.13: Aynı Boyutlarda, Farklı Açıklıklardaki Çelik Numune Parçaları.....	47
Şekil 3.14: Numune Çelik Parçasının ve Makas Presin Çizimi	47
Şekil 3.15: Levha Açıklığı ve En-Boyun Gerilme Üzerindeki Etkisi	48
Şekil 3.16: Çelik Parçasında Olan Açıklıkların Gerilimle İle Olan İlişkisi.....	48
Şekil 3.17: Çelik Parçasında Olan Açıklıkların Yer değiştirme İle Olan İlişkisi	48
Şekil 3.18: Çelik Malzemesinin Statik Analizi.....	49
Şekil 3.19: Çelik Parçasının Temas Yüzeyinin Belirlenerek Ayarlanması	49
Şekil 3.20: Pres Mekanizmasının Temas Yüzeyinin Ayarlanması.....	49
Şekil 3.21: Çelik Malzemesi İçin Yer Değiştirme Detayları.....	50
Şekil 3.22: Çelik Levha Bükmenin Statik Yapısal Sonlu Elemanlar Analizi	50

Şekil 3.23: Çelik Malzemesinin Gerilme Değerleri	50
Şekil 3.24: Statik Analizi Yapılan Çelik Parçasının Ağ yapısı	51
Şekil 3.25: Alüminyum Levha Bükmenin Statik Yapısal Sonlu Elemanlar Analizi .	51
Şekil 3.26: Alüminyum Levha Bükmenin Statik Yapısal Sonlu Elemanlar Analizi .	51
Şekil 3.27: Alüminyum Levha Bükme Sonlu Elemanlar Analizi.....	52
Şekil 3.28: Alüminyum Alaşım Malzemesi Eklenmesi.....	52
Şekil 3.29: Alüminyum Alaşım Malzemesini Kopyalama Yapma	53
Şekil 3.30: Alüminyum Alaşımına Atanan Değerler.....	53
Şekil 3.31: Malzemelerin Atanması	54
Şekil 3.32: Kalıp ve Boşluk Arasındaki Temasın İlgili Parametrelerin Belirlenerek Ayarlanması	54
Şekil 3.33: Bükmenin Son Aşamalarında Boşluğa Dokunacak Tüm Mavi Yüzlerin Kalıba Eklenmesi	55
Şekil 3.34: Ayrıntıların Ağ (Mesh) Ögesine Atanması	55
Şekil 3.35: Komutun Tekrarlanması ve Boyutlandırmanın Boşluğa Atanması	56
Şekil 3.36: Boyutlandırma Komutunun Tekrarlanması ve Bükme İşlemi Sırasında Boşluğa Dokunacak Olan Kalıptan Mavi Yüzlerin Seçilmesi/ Belirlenmesi	56
Şekil 3.37: Boşluğun Seçilmesi ve Yöntemin Atanması.....	57
Şekil 3.38: Kalıp Parametrelerinin Belirlenmesi	57
Şekil 3.39: Boşluğun Yanal Yüzleri İçin Kısıtların Belirlenmesi	58
Şekil 3.40: Kalıp İçin Yer Değiştirmenin Oluşturulması	58
Şekil 3.41: Çözüme Eklenen Öğeler.....	59
Şekil 3.42: Temas Aracı Seçilmesi.....	59
Şekil 3.43: Kuvvet Tepkilerinin Seçilmesi.....	59
Şekil 3.44: Toplam Deformasyon Grafiği	60
Şekil 3.45: Plastik Gerilme Grafiği	60
Şekil 3.46: Temas Durum Grafiği	60
Şekil 4.1: Toplam Deformasyon Grafiği	61
Şekil 4.2: Eşdeğer Plastik Gerilme Grafiği.....	62
Şekil 4.3: Temas Durum Grafiği	62
Şekil 4.4: Montajın Tamamında Eşdeğer Gerilim Grafiği	62
Şekil 4.5: Kuvvet Tepki Grafiği	63
Şekil 4.6: Dikey Y Ekseninde Yönlü Deformasyon Grafiği	63
Şekil 4.7: Boşlukta Eşdeğer Gerilme Grafiği	63

ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ VE MEKANİK TASARIMDA ALÜMİNYUM

ÖZET

Alüminyumun özellikleri açıklandıktan sonra mekanik tasarımda alüminyum ve çelik hakkında bilgiler yer almıştır. Tezin ana konusu alüminyum olmasına karşın tasarımlarda karşılaştırma olarak çelik parçası kullanılmıştır. Bunun yanı sıra ANSYS yazılımı ile alüminyum parçası ile birlikte çelik numune parçası içinde mekanik analiz yapılmış olup sonuçlara yer verilmiştir. Bu tezin amacı imalat sanayinde alüminyumun kullanım yerlerinin yanı sıra alüminyum ile birlikte çelik parçasının tasarımında dikkat edilen noktaların ortaya konulmasıdır. Tasarım sırasında ve tasarım parçasının nasıl yapıldığı parçanın çiziminde ve tasarımda hangi ölçü ve detayların referans alındığı parçalardaki değişiklikte hangi sonuçlara varılacağı detaylı olarak anlatılmıştır. ANSYS yazılımı kullanılarak belirlenen alüminyum ve çelik parçası için mekanik analizler yapılmış olup bu mekanik analizlerin sonuçlarına yer verilmiştir. Mekanik özelliklerin modellenmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Mekanik analizler yapılırken alüminyum parçasının karşılaştırabileceğimiz farklı bir malzeme olan çelik parçası ile karşılaştırma işlemi yapılmıştır. Buradaki alüminyum ve çelik parçasının çizim ve tasarımları aynıdır. Deneysel sonuçlar ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda söz konusu tez çalışması alüminyumun imalat sanayindeki yerinin yanı sıra alüminyum parçası ile birlikte çelik parçasının hem kuramsal hem de uygulamalı olarak ortaya konulmuştur. Bu tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular aşağıda verildiği gibi listelenmiştir.

- Toplam deformasyon grafiği
- Temas durum grafiği (temas eden her iki yüzey için)
- Montajın tamamında eşdeğer gerilim grafiği
- Kuvvet tepki grafiği
- Dikey Y ekseninde yönlü deformasyon grafiği.
- Boşlukta eşdeğer gerilme grafiği

Anahtar kelimeler: *Alüminyum, ANSYS, Mekanik analiz, Mekanik özellikler.*

PROPERTIES OF ALUMINUM AND ALUMINUM IN MECHANICAL DESIGN

ABSTRACT

After the properties of aluminum were explained, information about aluminum and steel was included in the mechanical design. Although the main subject of the thesis is aluminum, steel is used as a comparison in the designs. In addition, mechanical analysis was performed in the aluminum part and the steel sample part with ANSYS software and the results were included. The aim of this thesis is to reveal the places of use of aluminum in the manufacturing industry as well as the points of consideration in the design of the steel part together with aluminum. It is explained in detail what results will be reached during the design and how the design part is made, in the drawing of the part and what dimensions and details are referenced in the design, and what results will be reached in the change in the parts. Mechanical analyzes were made for the aluminum and steel parts determined using ANSYS software, and the results of these mechanical analyzes were included. Finite element method was used to model mechanical properties. While performing the mechanical analysis, the aluminum part was compared with the steel part, which is a different material that we can compare. The drawings and designs of the aluminum and steel part here are the same. Experimental results and simulation results were compared. In this context, the thesis study in question has put forward both theoretically and practically the place of aluminum in the manufacturing industry, as well as the aluminum part and the steel part. The findings obtained within the scope of this thesis study are listed as given below.

- Total deformation graph
- Equivalent plastic stress graph
- Contact status graph (for both surfaces in contact)
- Equivalent voltage graph throughout the assembly
- Force response graph
- Directional deformation graph on the vertical Y-axis.
- Graph of equivalent stress in cavity

Keywords: *Aluminum, ANSYS, Mechanical analysis, Mechanical properties.*

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Konusu

Alüminyumun özellikleri açıklandıktan sonra mekanik tasarımda alüminyum hakkında bilgiler yer alacaktır. Bunun yanı sıra ANSYS yazılımı ile alüminyum parça için mekanik analiz yapılacak ve sonuçlara yer verilecektir.

1.2 Tezin Amacı ve Önemi

Bu tezin amacı imalat sanayinde alüminyumun kullanım yerlerinin ve alüminyum parça tasarımında dikkat edilen noktaların ortaya konulmasıdır. ANSYS yazılımı kullanılarak belirlenen alüminyum parça için mekanik analiz yapılacaktır. Mekanik özelliklerin modellenmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılacaktır. Bu bağlamda söz konusu tez çalışması alüminyumun imalat sanayindeki yerini hem kuramsal hem de uygulamalı olarak ortaya koyacaktır.

1.3 Alan, Veri Kaynakları, Yer- Süre ve Destek

Bu yüksek lisans tezi için herhangi bir yerden destek alınmamaktadır. Tez çalışması kapsamında ANSYS yazılımı kullanılacaktır. Tezin tahmini bitiş tarihi 19 Ocak 2023 olarak öngörülmektedir.

1.4 Yöntem ve Teknikler

Öncelikle alüminyumun tanımı ve özellikleri, imalat sanayinde kullanım yerleri ve alüminyumun tasarımında dikkat edilen noktalara yer verildikten sonra belirlenen alüminyum parçası için mekanik analizler yapılacaktır. Bu tez kapsamındaki mekanik analizler ANSYS yazılımı ile gerçekleştirilecektir. ANSYS yazılımı kullanılarak belirlenen alüminyum parça için mekanik analiz yapılacaktır. Mekanik özelliklerin modellenmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

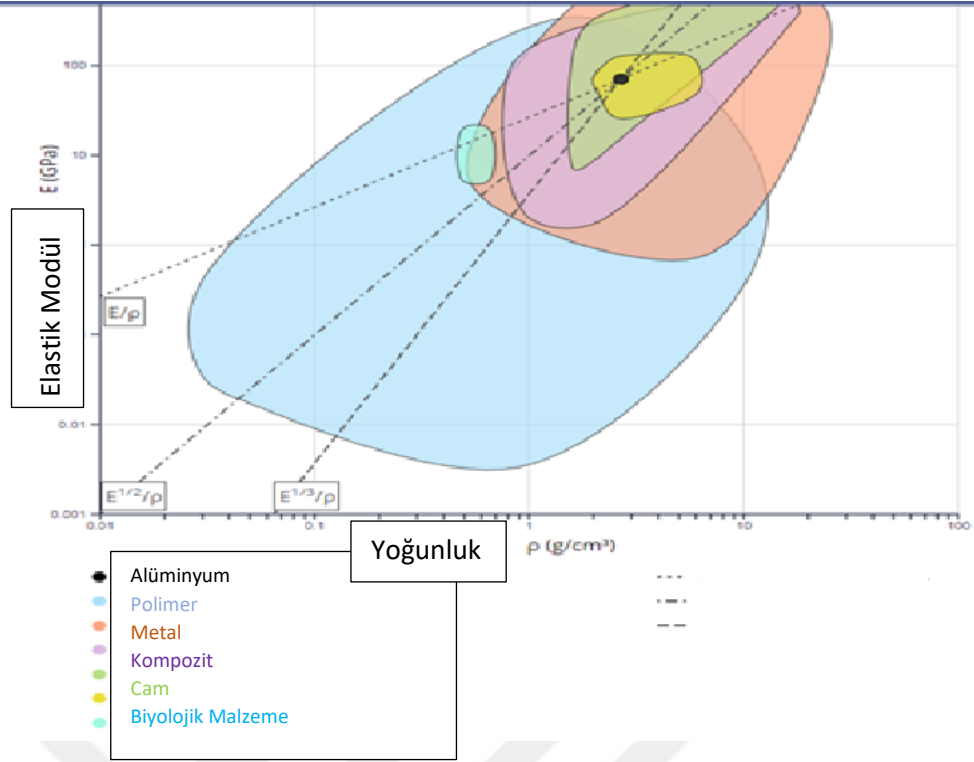
2.1 Alüminyumun Tanımı ve Özellikleri

Alüminyum, periyodik tablodaki 13. element ve geçiş sonrası bir metaldir. Oksijen ve silikondan sonra Dünya'da en bol bulunan mineraldir, bu da onu gezegende doğal olarak bulunan en bol metal ve dünya çapında sadece demirden sonra en çok kullanılan ikinci metal yapar. Alüminyum içeriği %99 kadar yüksek olsa bile büyük ölçüde alaşım olarak kullanılır.

Dünyadaki hemen hemen her endüstri bir noktada alüminyum içeren bir ürün kullanmıştır. Bu, büyük ölçüde arzu edilen fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Alüminyumun Ashby çizelgesi üzerindeki yeri Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Alüminyumun fiziksel özellikleri ise aşağıda yer almaktadır:

- Yoğunluk: 20 °C'de 2,7 g/cm³
- Brinell Sertliği: 20 °C'de 245 [-]
- Çekme mukavemeti: 20 °C'de 90 MPa
- Erime noktası: 660 °C
- Özgül ısı kapasitesi: 20 °C'de 900 J/(kg·K)
- Elektrik direnci: 20 °C'de 2,6E-8 Ω·m

Alüminyum, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik, atmosferik korozyon direnci, işlenebilirlik ve şekillendirilebilirlik gibi özellikleri sayesinde modern dünyanın en yaygın metallerinden biridir. Bu özellikler, onu havacılık ve inşaat endüstrileri, yüksek teknolojlili elektronikler, yüksek voltajlı enerji hatları ve daha fazlası gibi çeşitli uygulamalarda ideal bir seçim haline getirir. Bu özellikler, yüksek geri dönüştürülebilirliği ile birlikte yaşam döngüsü yönetiminin iyileştirilmesine ve uygulamasının genel ekonomik ve çevresel etkisinin azaltılmasına yardımcı olur.



Şekil 2.1: Alüminyumun Ashby Çizelgesi Üzerindeki Yeri

Kaynak: Url-1

2.2 Alüminyumun Başlıca Kullanım Yerleri

Bu bölümde alüminyumun sanayideki başlıca 10 kullanım alanına yer verilmiştir (Url-2). Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Güç hatları
- Yüksek binalar
- Pencere çerçeveleri
- Tüketici elektroniği
- Ev ve endüstriyel cihazlar
- Uçak bileşenleri
- Uzay aracı bileşenleri
- Gemiler
- Trenler
- Kişisel araçlar

2.2.1 Güç hatları

Alüminyum, elektrik uygulamalarında kullanılan en yaygın malzemelerden biri olan

bakırdan daha iyi bir iletkenlik / ağırlık oranı sağladığı için havai enerji nakil hatları ve yerel güç dağıtım hatları dahil elektrik şebekelerinin kablolanması için idealdir. Alüminyum, bakırın iletkenliğinin ancak yarısından fazlasına sahiptir. Ancak ağırlığın yalnızca yüzde 30'u ile, benzer elektrik direncine sahip çıplak bir alüminyum tel sadece yarısı kadar ağırlığa sahiptir. Alüminyum ayrıca bakırdan daha ucuzdur, bu da onu mali bakımdan daha cazip kılmaktadır.

2.2.2 Yüksek binalar

Yüksek dövülebilirliği, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve çok yönlülüğü ile alüminyum, yüksek binaların ve gökdelenlerin kalbinde değerli bir malzemedir. Ayrıca dayanıklılığı, tasarım esnekliği ve hem ön uç hem de arka uça enerji tasarrufuna katkıları nedeniyle ideal bir malzemedir. Ayrıca, çelik kullanılırsa gökdelenlerin ağırlığı çok daha fazla olacaktır, bu da bina temellerinin daha derin olmasını ve inşaat maliyetlerinin artmasına yol açmaktadır.

2.2.3 Pencere çerçeveleri

Alüminyum çerçeveler genellikle evler ve ofisler için oldukça dayanıklı, uygun maliyetli bir seçenektir. Ayrıca hafiftirler ve darbeye dayanıklı hale getirilebilirler, bu da şiddetli rüzgarların ve güçlü fırtınaların yaşandığı yerlerde faydalıdır. Pencere çerçeveleri için alüminyum kullanmak genellikle daha az bakım gerektirir ve ahşaptan daha ucuzdur ve ayrıca çizmeye, çatlamaya ve bozulmaya karşı daha dayanıklıdır. Bununla birlikte, alüminyum çerçeve kullanmanın en büyük dezavantajlarından biri, ahşap kadar enerji tasarruflu olmamaları ve aynı seviyede yalıtım sunmamalarıdır.

2.2.4 Tüketici elektroniği

Akıllı telefonlar, tabletler, dizüstü bilgisayarlar, düz ekran TV'ler, bilgisayar monitörleri ve diğer elektronik cihazlar, üretimlerinde giderek daha fazla alüminyum kullanılmaktadır. Alüminyum, estetik ve pratikliği, sofistike ancak güvenilir görünme yeteneği ile birleştirir. Bunlar elektronik endüstrisi için temel özelliklerdir. Elektronik üreticileri son zamanlarda çelik ve plastiğin yerini almak için alüminyum kullanılmaktadır. Öncelikle CPU ve grafik işlemcilerini soğutmak için kullanılmıştır ve mükemmel ısı iletkenliği onu ideal bir seçim haline getirmiştir. Daha yeni elektronik modelleri, alüminyum gövdelere ve kasa bileşenlerine sahiptir. Alüminyum, plastikten daha güçlü ve daha güvenilir, ancak çelikten daha hafiftir; bu,

doğuştan gelen ısıyı emme ve dağıtma yeteneği ile birleştiginde, pazar lideri üreticiler arasında alüminyum kullanımının artmasına neden olmuştur.

2.2.5 Ev ve endüstriyel cihazlar

Alüminyum, buzdolapları ve klimalar için hassas borularda kullanılır - ancak bu malzemenin bu tür cihazlarda sunduğu tek şey bu değildir. Birçok tüketici yıkayıcı, kurutucu, bulaşık makinesi ve diğer cihazlar da tasarımlarında alüminyum çerçeveler kullanır. Soğutma ve dondurma cihazları, soğutma işlemini kolaylaştıran ve yüksek verimli soğutma yaratan özelliklere sahip alüminyumun özellikle iyi pratik uygulamalarıdır. Modern buzdolapları, alüminyumun sağladığı avantajlar olmadan çok daha farklı olacaktı.

2.2.6 Uçak parçaları/bileşenleri

Alüminyumun özellikle havacılık endüstrisinde bu kadar kullanışlı olmasını sağlayan üç mükemmel özelliği vardır: yüksek mukavemet/ağırlık oranı, mükemmel süneklik ve korozyona karşı yüksek direnç. Aslında, Wright kardeşler ilk ahşap çerçevesi çift kanatlı uçakları için motor karterini yapmak için alüminyum kullandıklarından beri, insanların ilk etapta uçabilmelerinin nedeni alüminyumdur. Alüminyumun ağırlığının yalnızca küçük bir kısmıyla mukavemet açısından çelikle karşılaştırılabilir olduğu göz önüne alındığında, alüminyumun uçak yapımında kullanılması, uçaklara kargo ve yolcular için daha fazla ağırlık kapasitesinin yanı sıra daha fazla yakıt verimliliği sağlar. Alüminyumun korozyona karşı yüksek direnci, hava yolculuğunun en temel gereksinimlerinden biri olan uçağın ve yolcularının güvenliğinin sağlanmasına da yardımcı olur (Url-3).

1. Havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımları

AA 2014

Havacılık ve uzay mühendisliğindeki popülaritesi açısından 2024'ten sonra ikinci olan AA2014, güçlü ve dayanıklı bir metaldir ve ark ve direnç kaynağı için uygundur. Bununla birlikte, zayıf korozyon direncine sahiptir ve bu nedenle, genellikle uçağın dış yapısından ziyade uçağın iç yapısında veya çerçevesinde bulunur.

AA 2024

Alüminyum alaşımı 2024, muhtemelen uçaklar için en yaygın kullanılan alaşımdır.

Küçük miktarlarda soğuk deformasyona izin veren deneylerden sonra geliştirilmiştir ve bir doğal yaşlanma periyodu, artan bir akma mukavemetine yol açmıştır. 2024, mükemmel yorulma direncine sahip yüksek kaliteli bir alaşımdır. Yaklaşık 470 MPa'lık yüksek çekme mukavemeti nedeniyle öncelikle gövde ve kanatlar gibi sac formlarda kullanılır.

AA 5052

Isıl işlem görmeyen alaşım sınıflarından 5052, en yüksek mukavemeti sağlar ve oldukça sünektir, bu nedenle motor bileşenleri ve bağlantı parçaları dahil olmak üzere çeşitli şekillerde oluşturulabilir. Ayrıca korozyona karşı oldukça dayanıklıdır.

AA 6061

Bu alaşım hafif uçaklarda, özellikle hobi amaçlı geliştirilen uçaklarda çok yaygındır. Kolayca kaynaklanabilir ve manipüle edilebilir, çok hafif ve oldukça güçlüdür, bu da onu gövde ve kanatlar için ideal kılar.

AA 7050

Bu alaşım yüksek korozyon direncine sahiptir ve geniş kesitlerde mukavemetini korur. Bu, diğer alaşımlara göre kırılmalara karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Özellikle askeri uçaklarda kanat kaplamalarında ve gövdede yaygın olarak kullanılır.

AA 7068

7068, bugün mevcut olan en güçlü alaşımdır. Düşük kütlesi ile birleştiğinde, zorlu koşullara ve saldırılara dayanması gereken askeri uçaklar için mükemmeldir.

AA 7075

Yüksek Çinko seviyeleri nedeniyle çeliğe benzer mukavemet özelliklerine sahip 7075, mükemmel yorulma direncine sahiptir. Kolayca işlenebilir, bu da 1940 ve 1945 yılları arasında Japon İmparatorluk Donanması tarafından uçaklarında kullanılan Mitsubishi A6M Zero avcı uçağı da dahil olmak üzere II. Dünya Savaşı'ndaki savaş uçakları için popüler bir seçim olduğu anlamına geliyordu. Halen bugüne kadar askeri uçaklarda sıklıkla kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bazı havacılık alüminyum alaşımlarının tipik mekanik özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Havacılık Alüminyum Alaşımlarının Tipik Mekanik Özellikleri

Alaşım	Tav	Yoğunluk (g/cm ³)	Elastiklik Modülü (GPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Gerilme Direnci (MPa)	Kırılma Tokluğu
2014	T6	2.80	72.4	415	485	26.4
2219	T62	2.84	73.8	290	415	36.3
2024	T4	2.77	72.4	325	470	22.0
7050	T74	2.83	70.3	450	510	38.5
7075	T6	2.80	71.0	505	570	28.6

2. Havacılıkta alüminyum alaşımlarının geleceği

Alüminyum talebinin önümüzdeki on yılda iki katına çıkacağı tahmin ediliyor. 2025 yılına kadar, 80 milyon tonluk küresel bir talep olacak. Bu nedenle, havacılık endüstrisi, yüksek taleplerini karşılamak için giderek artan bir şekilde geri dönüştürülmüş alaşımlara bakıyor. Ayrıca kullanılan malzemelerde ve uçağın tasarım yapısında yenilik için bir baskı söz konusudur. Örneğin, havacılık endüstrisi için uçakların ağırlığını azaltmak ve dolayısıyla uçağın performansını artırmak için alüminyum-lityum alaşımları geliştirilmiştir. Al-Lityum alaşımları, düşük yoğunlukları, yüksek spesifik modülleri ve mükemmel yorulma ve kriyojenik tokluk özellikleri nedeniyle gelişmiş malzemelerdir.

2.2.7 Uzay aracı bileşenleri

Uzay aracı ve roket teknolojisinin ilerlemesi, doğrudan alüminyum alaşımlarının ilerlemesine bağlıdır. İlk prototip motorlardan NASA'nın alüminyum-lityum alaşımı kullanmasına kadar bu malzeme, başlangıcından bu yana uzay programının bir parçası olmuştur. Uçaklara benzer şekilde, alüminyumun mukavemet-ağırlık oranı, korozyona karşı direnci ve sünekliği, arıza için sıfır yer ile güçlü ve hafif olması gereken bir şey için ideal özelliklerdir. Uzay aracı pencereleri de malzeme biliminin özellikle harika bir uygulamasıdır: Onları yapmanın bir yolu, aslında kurşun geçirmez hale getirmek için kullandığımız şeffaf bir seramik olan alüminyum oksinitrürdür. Ancak daha da etkileyici olan şey, uzay gemilerinde kullanılan alüminyum-niyobyum alaşımlarının Falcon 9'un motorunun içinde yoğunlaşan ısıya dayanıklı olmasıdır (Url-3).

2.2.8 Gemiler

Hafif ve güçlü malzemeler, özellikle tekneyi kargo ile dolduran gemiler için idealdir. Alüminyumun hafif özellikleri, gövdedeki çatlaklara ve yarıklara dayanmak için gerekli olan güçten ödün vermeden daha fazla yüzey ve daha az kütle sağlar. Bu sayede

mal, insan veya yakıt şeklinde daha fazla ağırlık yüklenmesine izin verir. Tankerlere ve büyük gemilere ek olarak, yatların, sürat teknelerinin ve su altı gemilerinin yapımında alüminyum kullanılır. Çoğu spor teknesi ayrıca, omurgadan direğe kadar alüminyumdan yapılmıştır, bu da onlara yarışlarda hız avantajı sağlar (Url-3).

2.2.9 Trenler

Trenler, yüzyıllardır olduğu gibi, demir ve çeliği kullanarak çok iyi işlev görebilir. Çelik yerine alüminyum bileşenlerin kullanılmasının avantajları olabilir: alüminyumun oluşturulması daha kolaydır ve verimliliği artırır. Demiryolları bir zamanlar esas olarak demirden yapılırken, modern trenlerin birçok unsuru alüminyumdan yapılmıştır. Aslında, alüminyumun güç-ağırlık oranı, tren hızlarını 350 km/saniye üzerine çıkaran ana faktörlerden biridir. Bu yüksek hızlı vagonlarda kullanılan alüminyum alaşımları, daha düşük yoğunluğa, ancak çelikle karşılaştırılabilir bir mukavemete ve ayrıca bakıma yardımcı olan mükemmel korozyon direncine sahiptir. Ayrıca, alüminyum alaşımlı kablolar, demiryolu iletimlerinde ve kurulumlarında geleneksel bakır kabloların yerine giderek daha fazla kullanılmaktadır (Url-3).

2.2.10 Kişisel araçlar

Alüminyum, performansı artırmanın, yakıt ekonomisini artırmanın yanı sıra güvenliği ve dayanıklılığı artırırken emisyonları azaltmaktadır. İster ortalama bir Ford sedan gibi kişisel araçlar, ister Mercedes Benz gibi lüks bir araba modeli olsun, alüminyum, gücü ve çevresel avantajları nedeniyle otomobil üreticileri için giderek daha fazla “tercih edilen malzeme” haline geliyor. Araçlar, güç veya dayanıklılıktan bir şey kaybetmeden daha hafif ve daha çevik olabilir. Bu, otomobillerde daha kolay geri dönüştürülebildiğinden ve araçlarda alüminyum kullanımına bir sürdürülebilirlik düzeyi eklediğinden avantajlıdır (Url-3).

2.3 Alüminyum Parçaların Tasarımında Dikkat Edilen Noktalar

Alüminyum parçaların üretiminde kullanılan sıvı metalin döküleceği kalıp boşluğunu sağlayan parçalara model denilir. Her parça için model kullanılması gerekmektedir. Model yapımında dikkat edilen noktalar aşağıda yer almaktadır (Url-4).

- Çekme payı
- İşleme payı
- Kalıptan sökme
- Konik hale getirme

2.3.1 Çekme payı

Söz konusu modeller döküm metalden bir miktar daha büyük olmaktadır. Bunun nedeni ise dökülmüş metalin katılaşma sırasında çekmesidir. Bu sırada parça boyu küçülür. Dolayısıyla çekme payı kadar büyük modeller yapılması gereklidir (Url-5).

2.3.2 İşleme payı

Çizimlerde boyutlar işlenmiş parçalar için gösterilir. Kuma dökülen bu parçalar genellikle talaşın kaldırılması suretiyle işlenmektedir. Dolayısıyla söz konusu modeller işleme payı kadar büyük üretilmektedir. Eğer çekme payı fazlaysa işçilik yüksek olacaktır. Şayet çekme payı az ise işlem için cidar yeterli olmayacaktır. Bundan dolayı uygun işleme payı seçilmiş olmalıdır (Url-5).

2.3.3 Kalıptan sökme

Modeller ilgili kalıbı bozmaksızın kalıp içerisinden çıkarılmalıdır. Bütün halde üretilen modellerde bu zordur. Dolayısıyla iki veya daha fazla sayıda parçaya sahip modeller yapılarak kalıptan sökme işlemi daha kolay bir hale getirilmektedir (Url-5).

2.3.4 Konik hale getirme

Eğer modelin kenarları dik ise söz konusu modeller kalıptan sökülürken temas yüzeyi artmaktadır. Bundan dolayı da kalıp yüzeyi bozulmaktadır. Dolayısıyla temas yüzeyinin azaltılması hedeflenir. Bunu sağlamak için modeller sıyrıma doğrultusu üzerinde 1-2 derece eğimli yapırlar ve konik hale getirilirler (Url-5).

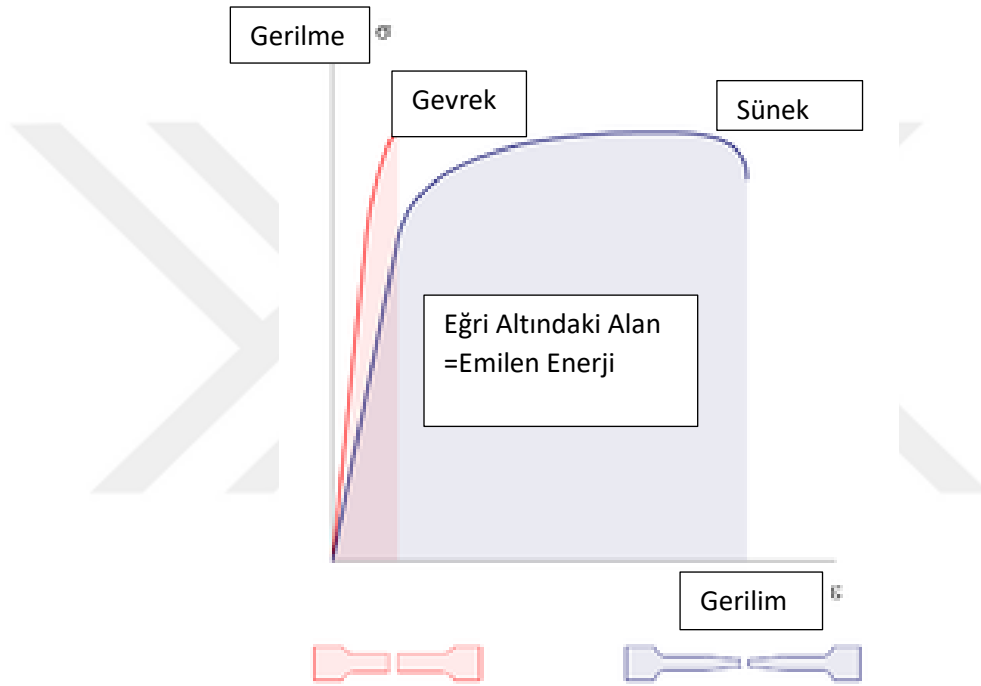
2.4 Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Malzemelerin mekanik özellikleri aşağıda listelenmiştir. Bunun ardından her bir özellik alt başlıklarda açıklanmıştır. Bu özelliklerin imalat amacına göre değiştirilmesi için kullanılan yöntemler bir sonraki bölümde yer almaktadır (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

- Gevreklik
- Yığın Modülü
- Geri getirme katsayısı
- Basınç dayanımı
- Esneme dayanımı
- Süneklik
- Dayanıklılık
- Elastiklik
- Yorulma sınırı
- Esneklik
- Esneklik modülü
- Esneklik dayanımı
- Kırılma tokluğu
- Sürtünme katsayısı
- Sertlik
- Dövülebilirlik
- Kütle yayılımı
- Plastiklik
- Poisson oranı
- Resilyans
- Kesme modülü
- Kesme mukavemeti
- Kayma
- Özgül katsayı
- Özgül mukavemet
- Özgül ağırlık
- Bükülmezlik
- Yüzey pürüzlülüğü
- Çekme mukavemeti
- Tokluk
- Viskozite
- Akma dayanımı

- Young modülü
- Deformasyon

Gevreklilik: Bir malzeme, gerilime maruz kaldığında çok az elastik deformasyonla ve önemli plastik deformasyon olmadan kırılıyorsa kırılmandır. Gevrek malzemeler, yüksek mukavemetli olanlar bile, kırılmadan önce nispeten az enerji emer. Kırılmaya genellikle keskin bir ses eşlik eder. Malzemeler daha kırılğan veya daha az kırılğan olacak şekilde değiştirilebilir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011). Şekil 2.2’de gevrek ve gevrek olmayan malzeme türleri stres-gerilme grafiği üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Gevrek ve Gevrek Olmayan Malzemeler İçin Stres-Gerilme Grafiği

Yığın modülü: Maddenin sıkıştırmaya ne kadar dirençli olduğunun bir ölçüsüdür. Sonsuz küçük basınç artışının, sonuçta oluşan göreceli hacim azalmasına oranı olarak tanımlanır. Aşağıda verilen denklem ile ifade edilir.

$$K = -V \frac{dP}{dV} \quad (2.1)$$

Geri getirme katsayısı: İki nesnenin çarpıştıktan sonraki son göreceli hızının ilk bağlı hızına oranıdır. Normalde 0'dan 1'e kadar değişir, burada 1 mükemmel esnek bir çarpışma olur. Mükemmel esnek olmayan bir çarpışmanın katsayısı 0'dır, ancak 0 değeri tamamen esnek olmak zorunda değildir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Basınç dayanımı: Basınç mukavemeti veya sıkıştırma mukavemeti, bir malzemenin

veya yapının boyutu küçültme eğilimindeki yüklere dayanma kapasitesidir (uzama eğilimi gösteren yüklere dayanan çekme mukavemetinin aksine). Başka bir deyişle, basınç dayanımı sıkıştırmaya (birlikte itilmeye) direnirken, çekme dayanımı gerilime (ayrı çekilmeye) direnir. Malzemelerin mukavemeti çalışmasında, çekme mukavemeti, basınç mukavemeti ve kesme mukavemeti bağımsız olarak analiz edilebilir. Bazı malzemeler, basınç dayanımı limitlerinde kırılır; diğerleri geri döndürülemez şekilde deforme olur, bu nedenle belirli bir deformasyon miktarı sıkıştırma yükü için sınır olarak kabul edilebilir. Basınç dayanımı, yapıların tasarımı için önemli bir değerdir. Basınç dayanımı genellikle evrensel bir test makinesinde ölçülür. Basınç dayanımı ölçümleri, spesifik test yöntemi ve ölçüm koşullarından etkilenir. Basınç dayanımları genellikle belirli bir teknik standartla ilişkili olarak rapor edilir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Bir malzeme numunesi uzayacak şekilde yüklendiğinde, gerilmekte olduğu söylenir. Öte yandan, malzeme sıkışır ve kısalırsa, sıkışmakta olduğu söylenir. Atom düzeyinde, moleküller veya atomlar gerilim altındayken birbirinden ayrılmaya zorlanırken, sıkıştırmada birlikte zorlanırlar. Katılardaki atomlar her zaman bir denge konumu ve diğer atomlar arasındaki mesafeyi bulmaya çalıştıklarından, tüm malzeme boyunca hem gerilime hem de sıkıştırmaya karşı çıkan kuvvetler ortaya çıkar. Atom düzeyinde hüküm süren fenomenler bu nedenle benzerdir. "Gerilme", uygulanan stres altında uzunluktaki nispi değişikliktir; pozitif gerilim, onu uzatma eğiliminde olan gerilim yükü altındaki bir nesneyi karakterize eder ve bir nesneyi kısaltan bir sıkıştırma gerilimi, negatif gerilim verir. Gerilim, küçük yanal sapmaları tekrar hizaya çekme eğilimindeyken, sıkıştırma bu tür sapmaları burkulmaya doğru artırma eğilimindedir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Basınç dayanımı malzemeler, bileşenler ve yapılar üzerinde ölçülür. Tanım olarak, bir malzemenin nihai basınç mukavemeti, malzeme tamamen kırıldığında ulaşılan tek eksenli basınç gerilmesinin değeridir. Basınç dayanımı, genellikle bir basınç testi vasıtasıyla deneysel olarak elde edilir. Bu deney için kullanılan aparat, bir çekme testinde kullanılanla aynıdır. Ancak tek eksenli çekme yükü yerine tek eksenli basma yükü uygulanır (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Esneme dayanımı: Malzeme biliminde, sürünme (bazen soğuk akış olarak adlandırılır), katı bir malzemenin kalıcı mekanik streslerin etkisi altında yavaş hareket etme veya kalıcı olarak deforme olma eğilimidir. Malzemenin akma dayanımının hala

altında olan yüksek stres seviyelerine uzun süreli maruz kalmanın bir sonucu olarak ortaya çıkabilir. Sünme, uzun süre ısıya maruz kalan malzemelerde daha şiddetlidir ve genellikle erime noktalarına yaklaştıkça artar. Deformasyon hızı, malzemenin özelliklerinin, maruz kalma süresinin, maruz kalma sıcaklığının ve uygulanan yapısal yükün bir fonksiyonudur. Uygulanan stresin büyüklüğüne ve süresine bağlı olarak, deformasyon o kadar büyük olabilir ki, bir bileşen artık işlevini yerine getiremez-örneğin bir türbin kanadının sürünmesi, kanadın mahfazaya temas etmesine neden olabilir ve bu da motorun arızalanmasına neden olabilir. bıçak ağzı. Sürünme, yüksek gerilimler veya yüksek sıcaklıklar altında çalışan bileşenleri değerlendirirken genellikle mühendisler ve metalürji uzmanları için endişe kaynağıdır. Sürünme, bir arıza modu oluşturabilen veya oluşturamayan bir deformasyon mekanizmasıdır. Örneğin, betonda orta düzeyde sünme, aksi takdirde çatlamaya yol açabilecek çekme gerilimlerini hafiflettiği için bazen memnuniyetle karşılanır. Gevrek kırılmadan farklı olarak, sünme deformasyonu, stres uygulanması üzerine aniden meydana gelmez. Bunun yerine, uzun süreli stresin bir sonucu olarak gerilim birikir. Bu nedenle, "zamana bağlı" bir deformasyondur (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Elastiklik: Fizik ve malzeme biliminde esneklik, bir cismin çarpık bir etkiye direnme ve bu etki veya kuvvet kaldırıldığında orijinal boyutuna ve şekline geri dönme yeteneğidir. Katı nesnelere, üzerlerine yeterli yükler uygulandığında deforme olurlar; malzeme elastik ise, nesne çıkarıldıktan sonra ilk şekline ve boyutuna geri dönecektir. Nesnenin bunu yapamadığı ve bunun yerine deforme olmuş durumda kaldığı plastisitenin aksine bir durumdur. Elastik davranışın fiziksel nedenleri farklı malzemeler için oldukça farklı olabilir. Metallerde, kuvvetler uygulandığında atomik kafes boyut ve şekil değiştirir (sisteme enerji eklenir). Kuvvetler kaldırıldığında, kafes orijinal düşük enerji durumuna geri döner. Kauçuklar ve diğer polimerler için esneklik, kuvvetler uygulandığında polimer zincirlerinin gerilmesinden kaynaklanır.

Hooke yasası, elastik nesnelere deforme etmek için gereken kuvvetin, bu mesafe ne kadar büyük olursa olsun, deformasyon mesafesiyle doğru orantılı olması gerektiğini belirtir. Bu, belirli bir nesnenin ne kadar güçlü bir şekilde deforme olursa olsun orijinal şekline geri döneceği mükemmel esneklik olarak bilinir. Bu sadece ideal bir kavramdır; pratikte elastikiyete sahip olan çoğu malzeme, yalnızca çok küçük deformasyonlara kadar tamamen elastik kalır, ardından plastik (kalıcı) deformasyon meydana gelir. Mühendislikte, bir malzemenin esnekliği, bir birim gerilim elde etmek

için gereken gerilim miktarını ölçen Young modülü, yığın modülü veya kesme modülü gibi elastik modül ile ölçülür; daha yüksek bir modül, malzemenin deforme edilmesinin daha zor olduğunu gösterir. Bu modülün SI birimi pascal'dır (Pa). Malzemenin elastik sınırı veya akma dayanımı, plastik deformasyonun başlangıcından önce ortaya çıkabilecek maksimum streştir. SI birimi aynı zamanda pascaldır (Pa) (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Elastik bir malzeme bir dış kuvvet nedeniyle deforme olduğunda, deformasyona karşı iç dirençle karşılaşır ve dış kuvvet artık uygulanmıyorsa onu orijinal durumuna geri döndürür. Young modülü, kesme modülü ve yığın modülü gibi çeşitli elastik modüller vardır ve bunların tümü, uygulanan bir yük altında deformasyona karşı direnç olarak bir malzemenin doğal elastik özelliklerinin ölçüleridir. Çeşitli modüller, farklı deformasyon türleri için geçerlidir. Örneğin, Young modülü bir cismin uzaması/sıkışması için geçerliyken, kayma modülü onun kayması için geçerlidir. Young modülü ve kesme modülü yalnızca katılar içindir, oysa yığın modülü katılar, sıvılar ve gazlar içindir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Malzemelerin esnekliği, gerilim (birim alan başına ortalama onarıcı iç kuvvet) ve gerinim (göreceli deformasyon) arasındaki ilişkiyi gösteren bir gerilim-gerinim eğrisi ile tanımlanır. Eğri genellikle doğrusal değildir, ancak (bir Taylor serisi kullanılarak) yeterince küçük deformasyonlar için (daha yüksek dereceli terimlerin ihmal edilebilir olduğu) doğrusal olarak yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Malzeme izotropik ise, doğrusallaştırılmış gerilim-gerinim ilişkisi, çoğu metal veya kristal malzeme için elastik limite kadar geçerli olduğu varsayılan Hooke yasası olarak adlandırılırken, kauçuk malzemelerin büyük deformasyonlarını modellemek için genellikle doğrusal olmayan elastikiyet gereklidir.

Daha da yüksek gerilimler için, malzemeler plastik davranış sergiler, yani geri döndürülemez şekilde deforme olur ve gerilim artık uygulanmadığında orijinal şekillerine geri dönmezler. Elastomerler gibi kauçuk benzeri malzemeler için, stres gerinim eğrisinin eğimi stresle artar, yani kauçukların gerilmesi giderek daha zor hale gelirken, çoğu metal için gradyan çok yüksek gerilmelerde azalır, yani giderek daha kolay hale gelirler. Elastikiyet sadece katılar tarafından sergilenmez; Viskoelastik akışkanlar gibi Newtonyen olmayan akışkanlar da Deborah sayısı ile nicelenen belirli koşullarda esneklik sergileyecektir.

Küçük, hızla uygulanan ve uzaklaştırılan bir zorlanmaya tepki olarak, bu sıvılar deforme olabilir ve daha sonra orijinal şekillerine geri dönebilir. Daha büyük zorlamalar veya daha uzun süre uygulanan zorlamalar altında, bu sıvılar viskoz bir sıvı gibi akmaya başlayabilir. Bir malzemenin esnekliği bir gerilim gerinim ilişkisi cinsinden tanımlandığından, gerilim ve gerinim terimlerinin belirsizlik olmadan tanımlanması esastır. Tipik olarak, iki tür ilişki düşünülür. İlk tip, sadece küçük şekil değiştirmeler için elastik olan malzemelerle ilgilidir. İkincisi, küçük suşlarla sınırlı olmayan malzemelerle ilgilidir. Açıktır ki, ikinci tür ilişki, birinci türü özel bir durum olarak içermesi gerektiği anlamında daha geneldir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Küçük gerinimler için kullanılan gerilim ölçüsü Cauchy gerilimi iken, kullanılan gerinim ölçüsü sonsuz küçük gerinim tensörüdür; ortaya çıkan (tahmin edilen) malzeme davranışı, (izotropik ortam için) genelleştirilmiş Hooke yasası olarak adlandırılan doğrusal elastikiyet olarak adlandırılır. Cauchy elastik malzemeler ve hipoeplastik malzemeler, Hooke yasasını genişleterek büyük dönüşler, büyük bozulmalar ve içsel veya indüklenmiş anizotropi olasılığına izin veren modellerdir. Daha genel durumlar için, bir dizi gerilim ölçüsünden herhangi biri kullanılabilir ve genellikle, elastik gerilim-gerinim ilişkisinin, seçilen gerilime eşleniği olan sonlu bir gerinim ölçüsü cinsinden ifade edilmesi istenir (ancak zorunlu değildir). ölçü, yani gerilim ölçüsünün iç çarpımının gerinim ölçüsü hızıyla zaman integrali, elastik sınırın altında kalan herhangi bir adyabatik süreç için iç enerjideki değişime eşit olmalıdır (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Lineer elastisite aşağıda verilen eşitlikle ifade edilmektedir.

$$F = k \times X \quad (2.2)$$

Bu ilişki Hooke yasası olarak bilinir. Bu yasa, çekme kuvveti F ile karşılık gelen uzama yer değiştirmesi x arasındaki bir ilişki olarak ifade edilebilir. Burada x yer değiştirme ve k, hız veya yay sabiti olarak bilinen bir sabittir.

Cauchy elastik malzemeler ise şöyle ifade edilir.

$$\sigma = \mathcal{G}(F) \quad (2.3)$$

Cauchy geriliminin sadece bir gerinim tensörünün bir fonksiyonu olduğunu söylemek genellikle yanlıştır, çünkü böyle bir model, yatay olarak uygulanan aynı uzamaya kıyasla dikey uzamaya maruz kalan bir anizotropik ortam için doğru sonuçlar üretmek

için gerekli malzeme dönüşü hakkında önemli bilgilerden yoksundur ve daha sonra 90 derecelik bir dönüş tabii tutulur; bu deformasyonların her ikisi de aynı uzaysal gerinim tensörlerine sahiptir, ancak Cauchy gerilim tensörünün farklı değerlerini üretmelidir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Cauchy-elastik malzemedeki gerilme sadece deformasyon durumuna bağlı olsa da, gerilmelerin yaptığı iş deformasyon yoluna bağlı olabilir. Bu nedenle, Cauchy elastikiyeti, konservatif olmayan "hiperelastik olmayan" modelleri (deformasyon çalışmasının yola bağımlı olduğu) ve muhafazakar "hiperelastik malzeme" modellerini (bunun için stresin bir skaler "elastik potansiyel" fonksiyonundan türetilbildiği) içerir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Hipoelastik malzemeler ise aşağıdaki iki kriteri karşılayan bir kurucu denklem kullanılarak modellenen bir malzeme olarak titizlikle tanımlanabilir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

1. Cauchy stresi zamana bağlı olarak değişir. Ancak bu geçmiş konfigürasyonların geçildiği zaman hızında değildir. Özel bir durum olarak, bu kriter, mevcut gerilmenin geçmiş konfigürasyonların geçmişinden ziyade sadece mevcut konfigürasyona bağlı olduğu bir Cauchy elastik malzemesini içerir.
2. G tensörü vardır. G tensörü ise şöyle ifade edilir.

$$\sigma = G(\sigma, L) \quad (2.4)$$

Hiperelastik malzemeler (Yeşil elastik malzemeler olarak da adlandırılır), bir gerinim enerjisi yoğunluk fonksiyonundan (W) türetilen modellerdir. Bir model, ancak Cauchy gerilme tensörünü deformasyon gradyanının bir fonksiyonu olarak formun bir ilişkisi aracılığıyla ifade etmek mümkünse hiperelastiktir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

$$\sigma = \frac{1}{J} \frac{\partial W}{\partial F} F^T \quad (2.5)$$

Lineer elastikiyet, kirişler, plakalar ve kabuklar ve sandviç kompozitler gibi yapıların tasarım ve analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teori aynı zamanda kırılma mekaniğinin çoğunun temelidir. Hiperelastisite öncelikle contalar gibi elastomer bazlı nesnelerin ve yumuşak dokular ve hücre zarları gibi biyolojik materyallerin tepkisini belirlemek için kullanılır (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Dayanıklılık: Dayanıklılık, fiziksel bir ürünün, tasarım ömrü boyunca normal çalışmanın zorluklarıyla karşı karşıya kaldığında aşırı bakım veya onarım gerektirmeden işlevsel kalabilme yeteneğidir. Kullanım ömrü, kullanım saatleri ve çalışma döngülerinin sayısı dahil olmak üzere kullanımda çeşitli dayanıklılık ölçütleri vardır. Dayanıklılık, aşağıdakiler de dahil olmak üzere tasarlanmış ürünlerin çeşitli belirli fiziksel özelliklerini kapsayabilir:

- Yaşlanma (polimerlerin)
- Toz direnci
- Yorgunluğa karşı direnç
- Yangına dayanıklılık
- Radyasyon sertleşmesi
- Isıl direnç
- Çürümeye karşı koruma
- Paslanmaya karşı koruma
- Tokluk
- Su yalıtımı

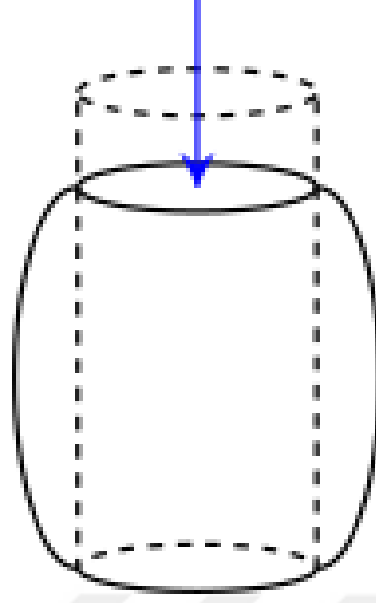
Süneklik: Gerilme altında çatlayan, kırılan veya parçalanmış malzemeler, çekiçleme, haddeleme, çekme veya ekstrüzyon gibi metal şekillendirme işlemleri kullanılarak manipüle edilemediğinden, süneklik özellikle metal işlemede önemlidir. Dövülebilir malzemeler, damgalama veya presleme kullanılarak soğuk şekillendirilebilirken, kırılabilir malzemeler dövülebilir veya ısıyla şekillendirilebilir. Ağırlıklı olarak metallerde bulunan metalik bağlar nedeniyle yüksek derecede süneklik oluşur; bu, metallerin genel olarak sünek olduğu yönündeki yaygın algıya yol açar. Metalik bağlarda değerlik kabuğu elektronları yer değiştirir ve birçok atom arasında paylaşılır. Delokalize elektronlar, diğer malzemelerin parçalanmasına neden olacak güçlü itici kuvvetlere maruz kalmadan metal atomlarının birbirlerinin yanından kaymasına izin verir. Çeliğin sünekliği, alaşım bileşenlerine bağlı olarak değişir. Karbon seviyelerinin artırılması sünekliği azaltır. Play-Doh gibi birçok plastik ve amorf katı da dövülebilir. En sünek metal platin ve en dövülebilir metal altındır. Yüksek derecede gerildiğinde, bu tür metaller, belirgin bir sertleşme olmaksızın dislokasyonların ve kristal ikizlerin oluşumu, yeniden yönlendirilmesi ve göçü yoluyla bozulur (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Yüzde uzama aşağıda verilen eşitlikle gösterilir.

$$\frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad (2.6)$$

Deformasyon: Mühendislikte deformasyon, bir nesnenin boyutundaki veya şeklindeki değişikliği ifade eder. Yer değiştirmeler, nesne üzerindeki bir noktanın konumundaki mutlak değişikliktir. Sapma, bir nesne üzerindeki dış yer değiştirmelerdeki göreceli değişikliktir. Gerinim, sonsuz derecede küçük bir malzeme küpünün şeklindeki göreceli iç değişikliktir ve küpün uzunluğunda veya bozulma açısında boyutsuz bir değişiklik olarak ifade edilebilir. Gerinimler, bir gerilim-gerinim eğrisi ile gerilim olarak bilinen küp üzerine etkiyen kuvvetlerle ilgilidir. Gerilim ve gerinim arasındaki ilişki genellikle doğrusaldır ve akma noktasına ve deformasyon elastik olana kadar tersinirdir. Bir malzeme için doğrusal ilişki, Young modülü olarak bilinir. Akma noktasının üzerinde, boşaltmadan sonra bir dereceye kadar kalıcı bozulma kalır ve plastik deformasyon olarak adlandırılır. Katı bir nesne boyunca gerilme ve gerinmenin belirlenmesi, malzemelerin mukavemet alanı tarafından ve bir yapı için yapısal analiz ile verilir. Mühendislik gerilimi ve mühendislik gerinimi, boyutta önemli bir değişiklik olmaması koşuluyla, bir nesnenin dış kuvvetlerinden ve deformasyonlarından belirlenebilen iç duruma yaklaşık değerlerdir. Boyutta önemli bir değişiklik olduğunda, gerçek stres ve gerçek gerinim, nesnenin anlık boyutundan türetilir.

Şekil 2.3'te, sıkıştırma yüklemesinin (okla gösterilen) silindirde deformasyona neden olduğu ve böylece orijinal şeklin (kesik çizgiler) şişkin kenarlı bir şekle dönüştüğü (deforme olduğu) görülebilir. Kenarlar şişer, çünkü malzeme çatlamayacak veya başka bir şekilde bozulmayacak kadar güçlü olmasına rağmen, yükü değişmeden destekleyecek kadar güçlü değildir. Sonuç olarak, malzeme yanal olarak zorlanır. İç kuvvetler (bu durumda deformasyona dik açılarda) uygulanan yüke direnir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

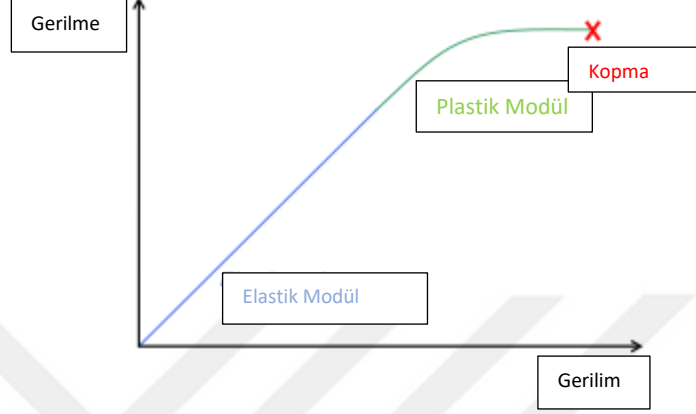


Şekil 2.3: Deformasyon

Elastik deformasyon mühendislik gerinmesi durumunda geçici veya elastik deformasyon çalışması, çok küçük deformasyonlara maruz kalan beton ve çelik gibi mekanik ve yapı mühendisliğinde kullanılan malzemelere uygulanır. Mühendislik gerinimi, küçük gerinim teorisi, küçük deformasyon teorisi, küçük yer değiştirme teorisi veya gerinimlerin ve dönmelerin her ikisinin de küçük olduğu küçük yer değiştirme-gradyan teorisi olarak da adlandırılan sonsuz küçük gerinim teorisi ile modellenir. Normal metaller, seramikler ve çoğu kristal, doğrusal elastikiyet ve daha küçük bir elastik aralık gösterir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

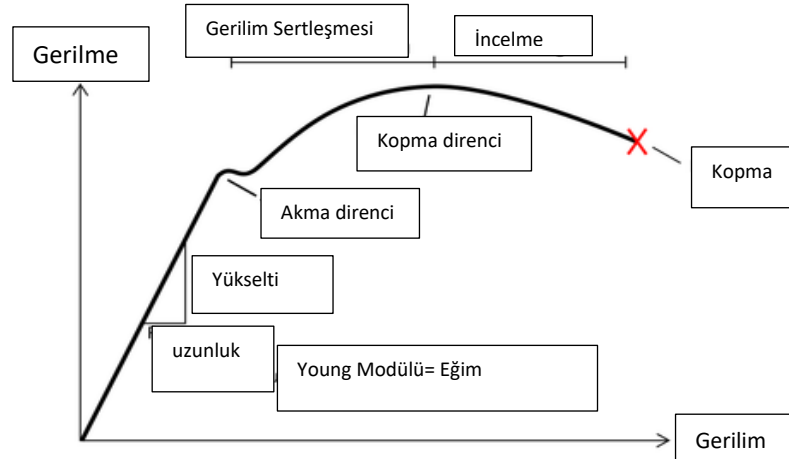
Plastik deformasyon sadece uygulanan kuvvetin kaldırılmasıyla çözülmez. Bununla birlikte, plastik deformasyon aralığındaki bir nesne, önce uygulanan kuvvetin kaldırılmasıyla geri alınan elastik deformasyona uğrayacaktır, böylece nesne kısmen orijinal şekline geri dönecektir. Yumuşak termoplastikler, bakır, gümüş ve altın gibi sünek metaller gibi oldukça geniş bir plastik deformasyon aralığına sahiptir. Çelik de yapar ama dökme demir yapmaz. Sert termoset plastikler, kauçuk, kristaller ve seramikler minimum plastik deformasyon aralıklarına sahiptir. Geniş bir plastik deformasyon aralığına sahip bir malzeme örneği, orijinal uzunluğunun düzinelerce katına kadar uzatılabilen sakızdır (Pelleg, 2013; Rattan, 2011). Çekme gerilimi altında, plastik deformasyon, bir gerinim sertleşme bölgesi ve bir boyun verme bölgesi ve son olarak kırılma (ayrıca kopma olarak da adlandırılır) ile karakterize edilir. Gerinim sertleşmesi sırasında malzeme atomik dislokasyonların hareketi ile güçlenir. Boyun

verme aşaması, numunenin kesit alanında bir azalma ile gösterilir. Boyunlama, nihai güce ulaşıldıktan sonra başlar. Boyunlama sırasında, malzeme artık maksimum strese dayanamaz ve numunedeki gerinim hızla artar. Plastik deformasyon malzemenin kırılması ile sona erer. Deformasyonun farklı aşamalarını ifade eden stres-gerilme grafiği Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Elastik ve Plastik Deformasyon

Bu grafiğin eğimi Young Modülünü verir. Elastik bölgenin uç noktası akma dayanımını, grafiğin ucu kırılmayı, arada kalan plastik bölge ise malzemenin dayanımını ifade eder. Bu grafiğin altında kalan ise rezilyanstır. Bu bağlamda akma dayanımı, rezilyans ve Young Modülü gibi kavramlar da bu bağlamda Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Akma Dayanımı ve Young Modülü

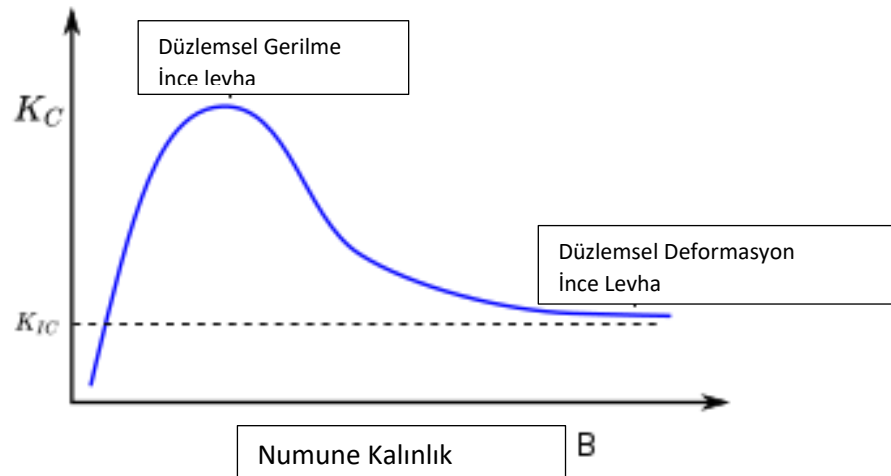
Rezilyans: Malzeme biliminde, esneklik, bir malzemenin elastik olarak deforme olduğunda enerjiyi emme ve bu enerjiyi boşaltma sırasında serbest bırakma yeteneğidir. İspat esnekliği, kalıcı bir bozulma yaratmadan elastik sınıra kadar

emilebilen maksimum enerji olarak tanımlanır. Esneklik modülü, kalıcı bir bozulma yaratmadan birim hacim başına emilebilen maksimum enerji olarak tanımlanır. Gerilim-gerinim eğrisini sıfırdan elastik sınıra entegre ederek hesaplanabilir.

$$U_r = \frac{\sigma_y^2}{2E} = \frac{\sigma_y \varepsilon_y}{2} \quad (2.7)$$

Yorulma sınırı: Yorulma sınırı veya dayanıklılık sınırı, altında bir malzemeye yorulma hatasına neden olmadan sonsuz sayıda yükleme döngüsünün uygulanabileceği stres seviyesidir. Demir alaşımları ve titanyum alaşımları gibi bazı metallerin belirgin bir sınırı vardır, oysa alüminyum ve bakır gibi diğerleri yoktur ve sonunda küçük gerilim genliklerinden bile başarısız olacaktır. Malzemelerin belirgin bir limitinin olmadığı durumlarda, yorulma mukavemeti veya dayanıklılık mukavemeti terimi kullanılır ve bir malzemenin yorulma hatası olmaksızın belirli sayıda çevrim için dayanabileceği tamamen tersine çevrilmiş eğilme gerilmesinin maksimum değeri olarak tanımlanır (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Kırılma tokluğu: Malzeme biliminde, kırılma tokluğu, çatlağın yayılmasının aniden hızlı ve sınırsız hale geldiği keskin bir çatlağın kritik stres yoğunluğu faktörüdür. Bir bileşenin kalınlığı, düzlem gerilme koşullarına sahip ince bileşenler ve düzlem gerinim koşullarına sahip kalın bileşenlere sahip bir çatlağın ucundaki kısıtlama koşullarını etkiler. Düzlem gerinim koşulları, bir malzeme özelliği olan en düşük kırılma tokluğu değerini verir. Numune kalınlığının kırılma tokluğu üzerindeki etkisi ise Şekil 2.6'da yer alan grafikte gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Numune Kalınlığının Kırılma Tokluğu Üzerindeki Etkisi

Sertlik: Malzeme biliminde sertlik (zıtlık: yumuşaklık), mekanik girinti veya aşınmanın neden olduğu lokalize plastik deformasyona karşı direncin bir ölçüsüdür. Genel olarak, farklı malzemeler sertliklerine göre farklılık gösterir; örneğin titanyum ve berilyum gibi sert metaller, sodyum ve metalik kalay gibi yumuşak metallere veya ahşap ve genel plastiklerden daha serttir. Makroskopik sertlik genellikle güçlü moleküller arası bağlarla karakterize edilir, ancak katı malzemelerin kuvvet altındaki davranışı karmaşıktır; bu nedenle sertlik, çizik sertliği, girinti sertliği ve geri tepme sertliği gibi farklı şekillerde ölçülebilir. Sertlik, süneklik, elastik sertlik, plastisite, gerinim, mukavemet, tokluk, viskoelastisite ve viskoziteye bağlıdır. Sert maddenin yaygın örnekleri seramik, beton, bazı metaller ve yumuşak maddeyle karşılaştırılabilecek süper sert malzemelerdir (Pelleg, 2013; Rattan, 2011).

Dövülebilirlik: Benzer bir mekanik özellik olan dövülebilirlik, bir malzemenin basınç stresi altında bozulma olmadan plastik olarak deforme olma yeteneği ile karakterize edilir. Tarihsel olarak, çekiçleme veya haddeleme ile şekillendirmeye uygun olan malzemeler dövülebilir olarak kabul edildi. Kurşun, nispeten dövülebilir ancak sünek olmayan bir malzeme örneğidir. Bu alt bölümde son olarak bölümün başında verilen tüm kavramlar kısaca bir ya da birkaç cümleyle açıklanmış ve bölüm özetlenmiştir.

- **Gevreklik:** Bir malzemenin stres altında önemli bir deformasyon olmaksızın kırılma veya parçalanma yeteneği; plastisitenin tersi.
- **Yığın Modülü:** Basıncın hacimsel sıkıştırmaya oranı (GPa) veya sonsuz küçük basınç artışının hacmin göreceli olarak azalmasına oranı.
- **Geri getirme katsayısı:** Çarpıştıktan sonra iki nesne arasındaki nihai göreceli hızın ilk hıza oranı. Aralık: 0-1, 1 mükemmel elastik çarpışma için geçerlidir.
- **Basınç dayanımı:** Bir malzemenin basınç yenilmesinden önce dayanabileceği maksimum gerilim (MPa).
- **Esneme dayanımı:** Bir nesnenin zamana göre yavaş ve kademeli deformasyonu. Bir malzemedeki akma noktasını aşarsa, yük uygulanmasının malzemedeki neden olduğu gerilme, yükün kaldırılmasıyla tamamen ortadan kalkmaz. Malzemedeki meydana gelen plastik deformasyona sünmeye denir. Yüksek sıcaklıklarda, sünmeye nedeniyle oluşan gerilme oldukça belirgindir.
- **Süneklik:** Bir malzemenin çekme yükü (% uzama) altında deforme olma yeteneği.
- **Dayanıklılık:** Aşınmaya, basınca veya hasara dayanma yeteneğidir.

- Elastiklik: Bir cismin, bozucu bir etkiye veya strese direnme ve stres kaldırıldığında orijinal boyutuna ve şekline dönme yeteneği.
- Yorulma sınırı: Bir malzemenin tekrarlanan yükleme altında dayanabileceği maksimum stres (MPa).
- Esneklik: Uygulanan bir kuvvete tepki olarak bir nesnenin bükülme veya deforme olma yeteneği; esneklik. Sertliğin tamamlayıcısıdır.
- Esneklik modülü
- Esneklik dayanımı: Bir malzemenin kırılmadan önce dayanabileceği maksimum eğilme gerilimi (MPa).
- Kırılma tokluğu: Çatlak içeren bir malzemenin kırılmaya direnme yeteneği (J/m^2).
- Sürtünme katsayısı: Malzeme çifti arasındaki temas eden yüzeylerin göreceli hareketine direnen kuvvete dönüşen yüzeye dik kuvvet miktarı.
- Sertlik: Yüzeydeki girintilere ve çizilmelere karşı dayanıklılık (örn. Brinell sertlik değeri).
- Dövülebilirlik: Malzemenin, sıcak veya soğuk işleme yöntemleriyle çatlama olmadan ağır basınç kuvvetleri uygulamaları altında ince levhalar halinde düzleştirilebilmesi. Bir malzemenin bu özelliği, yırtılmadan her yöne genişlemesine izin verir.
- Kütle yayılımı: Bir maddenin diğerinden yayılma yeteneği.
- Plastiklik: Bir malzemenin kırılmadan veya kopmadan geri dönüşü olmayan veya kalıcı deformasyonlara uğrama yeteneği; kırılmanın zıttı.
- Poisson oranı: Yanal gerilmenin aksenal gerilmeye oranı (birim yok).
- Resilyans: Bir malzemenin elastik olarak deforme olduğunda enerjiyi emme yeteneği (MPa); güç ve elastikiyet kombinasyonudur.
- Kesme modülü: Kesme geriliminin kesme deformasyonuna oranıdır.
- Kesme mukavemeti: Bir malzemenin dayanabileceği maksimum kesme gerilimidir.
- Kayma: Malzeme içindeki dislokasyon hareketinden dolayı malzemenin parçacıklarının plastik deformasyona uğrama eğilimi. Kristallerde yaygındır.
- Özgül katsayı: Birim hacim başına modül (MPa/m^3)
- Özgül mukavemet: Birim yoğunluk başına mukavemet (Nm/kg).
- Özgül ağırlık: Birim hacim başına ağırlık (N/m^3).

- Bükülmezlik: Uygulanan bir kuvvete tepki olarak bir nesnenin deformasyona direnme yeteneği; sertlik, esnekliği tamamlayıcıdır.
- Yüzey pürüzlülüğü: Gerçek bir yüzeyin normal vektörünün ideal biçiminden sapmalarıdır.
- Çekme mukavemeti: Bir malzemenin kırılmadan önce dayanabileceği maksimum çekme gerilimidir (MPa).
- Tokluk: Bir malzemenin enerjii emme (veya darbeye dayanma) ve kırılmadan (veya kopmadan) plastik olarak deforme olma yeteneği; bir malzemenin gerildiğinde kırılmaya karşı direnci; mukavemet ve plastisite kombinasyonudur.
- Viskozite: Bir akışkanın çekme veya kesme gerilimi ile kademeli deformasyona karşı direnci; kalınlıktır.
- Akma dayanımı: Bir malzemenin plastik olarak akmaya başladığı gerilimdir (MPa).
- Young modülü: Lineer gerilimin lineer deformasyona oranıdır.
- Deformasyon: Malzemenin boyutundaki veya şeklindeki değişikliği ifade eder.

2.5 Malzemelerin İmalat Özellikleri

2.5.1 Dökülebilirlik

Dökülebilirlik, kaliteli bir döküm oluşturma kolaylığıdır. Çok dökülebilir bir parça tasarımı kolayca geliştirilir, minimum takım maliyeti gerektirir ve minimum enerji gerektirir. Parça tasarımı ve geometri, en önemli nitelikler olan hacim, yüzey alanı ve unsur sayısı ile dökülebilirliği doğrudan etkiler. Tasarımın alttan kesmeleri veya iç boşlukları varsa, takım karmaşıklığından dolayı dökülebilirliği azaltır. Bir tasarımdaki uzun ince bölümlerin doldurulması zordur. Et kalınlığındaki ani değişiklikler, dolgu sırasında türbülansa neden olduğu için dökülebilirliği azaltır. Bunu önlemek için dolgu eklenmelidir (Ravi, 2006).

Soğuk kapanmalara veya yanlış çalıştırmalara neden olabileceğinden, akış yolundaki halkalardan kaçınılmalıdır. İzole sıcak noktalara neden olan bir tasarım, dökülebilirliği azaltır. İdeal bir tasarım, en ince bölümden en kalına doğru aşamalı yönlü katılaşmaya sahip olacaktır (Ravi, 2006).

Kalıbın ayırma çizgisinin konumu, aynı zamanda, düzlemsel olmayan bir ayırma çizgisi de takım karmaşıklığını arttırdığından, dökülebilirliği etkiler. Bir tasarım

yüksek derecede doğruluk, ince yüzey kalitesi veya hatasız yüzey gerektiriyorsa, parçanın dökülebilirliğini azaltır. Ancak, karmaşık dış hatlara sahip yüzeyler, kalınlık değişimleri ve iç özellikler gerektiren parça tasarımları için döküm işlemi çok ekonomik olabilir (Ravi, 2006).

Dökülebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri, dökme sıcaklıklarını, akışkanlıklarını, katılaşma büzülmesini ve cüruf/cüruf oluşum eğilimlerini içerir. Bir tasarımın dökülebilirliği, aşağıdaki üç denklemlerle kısmen nicel olarak belirlenebilir. Daha iyi dökülebilirlik daha büyük bir sayı ile gösterilir.

$$\frac{V_c}{V_b} \quad (2.8)$$

$$\frac{6(V_c)^{2/3}}{A_c} \quad (2.9)$$

$$\frac{1}{(1 + n_f)^{0.5}} \quad (2.10)$$

Burada V_c döküm hacmidir, V_b ise dökümün yapılabileceği en küçük kutu boyutudur. A_c ise döküm yapılan yüzey alanıdır. Burada n_f , özelliklerin sayısıdır (delikler, cepler, yuvalar, yükseklikler, nervürler vb.).

2.5.2 İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, malzemenin düşük maliyetle tatmin edici bir yüzeye çıkarılmasına izin veren bir metalin kesilebilme (işlenebilme) kolaylığıdır. İyi işlenebilirliğe sahip malzemeler (serbest işleme malzemeleri) kesmek için çok az güç gerektirir, hızlı bir şekilde kesilebilir, kolayca iyi bir yüzey elde edilebilir ve takımlarda önemli aşınmaya neden olmaz. Tipik olarak bir malzemenin performansını artıran faktörler, genellikle işlenebilirliğini düşürür ve önemli bir mühendislik zorluğu sunar. İşleme sürecinde yer alan çok sayıda değişken nedeniyle işlenebilirliği tahmin etmek zor olabilir. İki faktör grubu, iş malzemelerinin durumu ve iş malzemelerinin fiziksel özellikleridir. İş malzemesinin durumu en az sekiz faktör içerir: mikro yapı, tane boyutu, ısıl işlem, kimyasal bileşim, imalat, sertlik, akma mukavemeti ve çekme mukavemeti. Fiziksel özellikler, elastisite modülü, termal iletkenlik, termal genleşme ve sertleşme gibi bireysel malzeme gruplarının özellikleridir. Diğer önemli faktörler, çalışma koşulları,

kesici takım malzemesi ve geometrisi ve gerçekleştirilen belirli işleme sürecinin parametreleridir (Schneider, 2009; Jain, Textbook Engineering Physics Book).

1. Çeliklerin işlenebilirliği

Çelikler, mühendislikte en önemli ve yaygın olarak kullanılan malzemeler arasındadır. Serbest işleme çelikleri, işleme süreci tarafından üretilen talaşların boyutunu azaltan kükürt ve kurşun gibi elementleri içeren alaşımlardır. Serbest işleme çelikleri, standart çeliklerden daha pahalıdır, ancak maliyetleri, üretim maliyetlerindeki tasarruflarla dengelenir (Schneider, 2009; Jain, Textbook Engineering Physics Book).

2. İşlenebilirliğin ölçülmesi

İşlenebilirliği etkileyen birçok faktör vardır, ancak bunu ölçmek için yaygın olarak kabul edilen bir yol yoktur. Bunun yerine, işlenebilirlik genellikle duruma göre değerlendirilir ve testler belirli bir üretim sürecinin ihtiyaçlarına göre uyarlanır. Karşılaştırma için ortak metrikler arasında takım ömrü, yüzey kalitesi, kesme sıcaklığı, takım kuvvetleri ve güç tüketimi bulunur (Schneider, 2009).

3. Takım ömrü yöntemi

İşlenebilirlik, bir takımın ne kadar süre dayandığının ölçüsüne dayanabilir. Bu, benzer özelliklere ve güç tüketimine sahip ancak bir tanesi daha aşındırıcı olan ve dolayısıyla takım ömrünü kısaltan malzemeleri karşılaştırırken faydalı olabilir. Bu yaklaşımın en büyük dezavantajı, takım ömrünün sadece işlendiği malzemedan daha fazlasına bağlı olmasıdır. Diğer faktörler arasında kesici takım malzemesi, kesici takım geometrisi, makine durumu, kesici takım bağlama, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği bulunur. Ayrıca, bir takım tipinin işlenebilirliği başka bir takım tipi ile karşılaştırılmaz (yani, HSS takımından bir karbür takıma) (Schneider, 2009).

$$\text{İşlenebilirlik endeksi} = \frac{20 \text{ dakikalık takım ömrü için malzemenin kesme hızı}}{20 \text{ dakikalık takım ömrü için otomat çeliğinin kesme hızı}} \times 100 \quad (2.11)$$

4. Takım kuvvetleri ve güç tüketimi yöntemi

Bir aletin bir malzemeyi kesmesi için gereken kuvvetler, tüketilen güçle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, takım kuvvetleri genellikle belirli enerji birimlerinde verilir. Bu, daha yüksek spesifik enerjilerin daha düşük işlenebilirliğe eşit olduğu bir derecelendirme yöntemine yol açar. Bu yöntemin avantajı, dış faktörlerin derecelendirme üzerinde çok az etkisi olmasıdır.

5. Yüzey bitirme yöntemi

Yüzey kalitesi bazen bir malzemenin işlenebilirliğini ölçmek için kullanılır. Yumuşak, sünek malzemeler yığılmış bir kenar oluşturma eğilimindedir. Yüksek gerinim sertleştirme kabiliyetine sahip paslanmaz çelik ve diğer malzemeler de yığılmış bir kenar oluşturmak ister. Alüminyum alaşımları, soğuk işlenmiş çelikler ve serbest işleme çeliklerinin yanı sıra yüksek kesme bölgesi olan malzemeler, yığılmış kenarlar oluşturma eğiliminde değildir, bu nedenle bu malzemeler daha işlenebilir olarak sıralanır. Bu yöntemin avantajı, uygun ekipmanla kolayca ölçülebilmesidir. Bu kriterin dezavantajı, genellikle alakasız olmasıdır. Örneğin kaba bir kesim yaparken yüzey kalitesi önemli değildir. Ayrıca, son kesimler genellikle doğal olarak iyi bir yüzey kalitesi sağlayan belirli bir doğruluk gerektirir. Bu derecelendirme yöntemi de her zaman diğer yöntemlerle aynı fikirde değildir. Örneğin titanyum alaşımları, yüzey bitirme yöntemine göre iyi, takım ömrü yöntemine göre düşük ve güç tüketimi yöntemine göre orta derecedir (Schneider, 2009).

6. İşlenebilirlik derecesi

Bir malzemenin işlenebilirlik derecesi, çeşitli malzemelerin işlenebilirliğini ölçmeye çalışır. Yüzde veya normalleştirilmiş bir değer olarak ifade edilir. Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI), dakikada 180 yüzey ayağında (sfpm) tornalama testleri yaparak çok çeşitli malzemeler için işlenebilirlik derecelerini belirledi. Daha sonra 160 Brinell B1112 çeliğine keyfi olarak %100 işlenebilirlik derecesi atadı. İşlenebilirlik derecesi, her malzeme için normal kesme hızı, yüzey kalitesi ve takım ömrünün ağırlıklı ortalamaları ölçülerek belirlenir. İşlenebilirlik derecesi %100'den düşük olan bir malzemenin işlenmesinin B1112'ye göre daha zor olacağını ve %100'ün üzerinde bir değere sahip malzemenin daha kolay işleneceğini unutulmamalıdır (Schneider, 2009).

$$\text{İşlenebilirlik Derecesi} = \frac{\text{İş parçasının 60 dakika takım ömrü vererek işleme hızı}}{\text{Standart metalin işleme hızı}} \quad (2.12)$$

Alüminyum, çelikten çok daha yumuşak bir metaldir ve işlenebilirliğini geliştirme teknikleri genellikle onu daha kırılğan hale getirmeye dayanır. Alaşımlar 2007, 2011 ve 6020 çok iyi işlenebilirliğe sahiptir (Schneider, 2009).

2.6 Mekanik Özelliklerin Modellenmesi İçin Sonlu Elemanlar Yöntemi

Mühendislik düşüncesinin ve ürün teknolojisinin gelişiminin çağdaş aşamasında,

malzeme mühendisliği, yeni eritme, döküm, şekillendirme ve döküm ısı işlem yöntemlerini tanıtan yeni eleman tasarlama ve üretme olanakları dönemine girmiştir. Bu bağlamda birçok endüstri dalında imalat sanayinde daha geniş ve daha geniş uygulama bulma girişimleri vardır. Bu nedenle mühendisliğin geliştirilmesi, tasarımların optimize edilmesini, boyutların, ağırlığın azaltılmasını ve cihazların ömrünü uzatmanın yanı sıra güvenilirliklerini artırmayı amaçlar. Çağdaş malzemeler, uzun ve güvenilir kullanım sağlamak için teknolojik özelliklerin yanı sıra yüksek mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmalıdır (Dobrzanski ve ark., 2009).

Çağdaş malzemelerle ilgili yukarıda belirtilen gereksinimler ve beklentiler, alüminyum alaşımları da dahil olmak üzere günümüzde kullanılan demir dışı metal alaşımları tarafından karşılanmaktadır. Metal malzemelerin yüksek sıcaklıklardaki gevşeme özelliklerinin bilinmesi, dökümlerin üretim ve şekillendirme işlemleri sırasında kusur oluşturmaya karşı duyarlılığının doğrulanması için gereklidir. En yüksek gerilim değerlerinin olduğu malzemelerin sıcaklık limitleri, yüksek sıcaklıklarda çekme testleri ile tespit edilebilir (Dobrzanski ve ark., 2009).

Sonlu elemanlar yöntemi şu anda mekanik, biyomekanik, mekatronik, malzeme mühendisliği ve termodinamik gibi bilim dallarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Her türlü simülasyon, tasarım sürecini kısaltır ve tüm model üzerindeki belirli faktörleri araştırma imkanı verir. Bunu gerçek koşullarda elde etmek genellikle imkansızdır veya ekonomik olarak gerçekleştirilmez. Sonlu elemanlar yöntemi, çeşitli parametreler arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılmasını ve optimum çözümün seçilmesini mümkün kılar (Dobrzanski ve ark., 2009).

Bu yöntemin uygulanması, çağdaş endüstrinin birçok alanını içermekle birlikte, modern teknolojiler bilgisayar kullanılarak desteklenmektedir. MES sistemi, CAD/CAM/CAE grubuna ait, tasarım araçları döngüsünün oluşturulmasından üretim süreçlerinin gerçekleştirilmesine kadar olan karmaşık desteğini içeren programlardan biri olarak ele alınabilir (Dobrzanski ve ark., 2009).

Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik görevlerini çözmek için mükemmel bir araçtır ve laboratuvar araştırmalarından daha ucuz olan simülasyonu yapmak, problem çözme süresini önemli ölçüde azaltır ve güvenilir sonuçlar verir (Dobrzanski ve ark., 2009).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 ANSYS Yazılımı ve Genel Bilgiler

ANSYS, çok çeşitli mekanik problemleri sayısal olarak çözmek için genel amaçlı, sonlu eleman modelleme paketidir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizler ANSYS Workbench v15 ve üzeri sürümlerde kullanılabilir. Bu bağlamda alüminyum levha bükümünün statik yapısal özellikleri analiz edilmiştir. Aşağıda yer alan çalışmalar yapılmıştır.

- Plastisiteyi destekleyen doğrusal olmayan malzemelerle çalışmak
- Daha hızlı çözme süresi için basitleştirilmiş bir şekilde ağ (mesh) oluşturmak
- Büyük deformasyonlarla çalışmak
- Geçici davranış için uygun analiz ayarlarını tanımlamak
- Stres, gerilme, deformasyon vb. için uygun çıktıyı tanımlamak
- Sonuçları ilgili ihtiyaçlara göre kolayca özelleştirmek

Bu tez çalışmasında abkant pres (makas pres) ile alüminyum levha bükme işlemine benzetilerek modellenmiştir ve statik yapısal özellikler analiz edilmiştir.

3.2 Tasarım ve Analiz Aşamaları

Mühendislik uygulamaları sıklıkla statik yapısal sonlu elemanlar analizine dayanmaktadır. Bu analiz, bir yapıyı belirli bir yük altında nasıl davranacağını tahmin etmek için kullanılır. Çelik levha bükme, birçok yapısal uygulamada yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Bu makalede, çelik levha bükmenin statik yapısal sonlu elemanlar analizi ile nasıl yapılabileceği tartışılacaktır. Çelik Levha Bükme Çelik levha bükme, bir çelik levhayı belirli bir eksen etrafında bükme işlemidir. Bu işlem, birçok yapısal uygulamada kullanılır. Örneğin, çelik levha bükme işlemi, otomotiv endüstrisinde araç gövdesinin şekillendirilmesinde, inşaat endüstrisinde çelik çerçevelerin oluşturulmasında ve daha birçok alanda kullanılır. Statik Yapısal Sonlu Elemanlar Analizi Statik yapısal sonlu elemanlar analizi, bir yapıyı belirli bir yük altında nasıl davranacağını tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz

yöntemi, bir yapıyı birçok küçük elemana böler ve her elemanı matematiksel olarak modeller. Her elemanın davranışı hesaplanarak, tüm yapıyı hesaplamak mümkün hale gelir. Çelik Levha Bükme Analizi Çelik levha bükme analizi, çelik levhanın bükülmesini modelleyen bir analizdir. Bu analiz yöntemi, çelik levhanın şeklini, boyutunu ve malzeme özelliklerini kullanarak yapılır. Çelik levha bükme analizi, aşağıdaki adımları içerir: 1. Geometrik modelleme: Çelik levhanın şekli, boyutu ve bükme eksenleri modellenir. 2. Malzeme özellikleri: Çelik levhanın malzeme özellikleri, elastisite modülü, Poisson oranı ve akma dayanımı gibi faktörler dikkate alınarak belirlenir. 3. Yükler: Çelik levhanın bükülmesi için uygulanan yükler belirlenir. 4. Eleman sayısı: Çelik levha, daha küçük elemanlara bölünür. Bu elemanlar, çelik levhanın şekline ve boyutuna göre belirlenir. 5. Sınır koşulları: Çelik levha, belirli sınır koşulları altında modellemelidir. Sınır koşulları, çelik levhanın bükme eksenindeki sınır koşulları ve destek koşulları gibi faktörleri içerir. 6. Bu analiz, çelik levhanın deformasyonu, gerilme dağılımı ve bükme momenti gibi faktörleri içerir. 7. Sonuçlar Çelik levha bükme analizinden elde edilen sonuçlar, çelik levhanın davranışını tahmin etmek için kullanılır. Bu sonuçlar, tasarımcılara, çelik levha boyutunu, şeklini ve malzeme özelliklerini belirleme konusunda yardımcı olur. Ayrıca, analiz sonuçları, çelik levha bükme işleminin güvenli ve uygun şekilde gerçekleştirilmesini sağlar. 8. Sonuç Bu makalede, çelik levha bükmenin statik yapısal sonlu elemanlar analizi ile nasıl yapılabileceği tartışıldı. Çelik levha bükme analizi, çelik levhanın davranışını tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz yöntemi, bir yapıyı birçok küçük elemana böl er ve her elemanı matematiksel olarak modeller. Çelik levha bükme analizi, çelik levha boyutunu, şeklini ve malzeme özelliklerini belirlemek için kullanılır. Ayrıca, analiz sonuçları, çelik levha bükme işleminin güvenli ve uygun şekilde gerçekleştirilmesini sağlar.

Bu analiz yöntemi, çelik levha bükme işleminin tasarımında ve optimizasyonunda önemli bir araçtır. Çelik levha bükme analizinde kullanılan sonlu elemanlar yöntemi, kompleks yapıların analizinde de kullanılan bir yöntemdir. Bu nedenle, çelik levha bükme analizi, mühendislerin çeşitli uygulamalarda kullanabilecekleri önemli bir araçtır. Bununla birlikte, çelik levha bükme analizi, doğru sonuçlar elde etmek için doğru girdilerin kullanılmasını gerektirir. Geometrik modelleme, malzeme özellikleri, yükler, eleman sayısı ve sınır koşulları gibi faktörlerin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, analiz sonuçları doğru olmayabilir ve yanıltıcı olabilir.

Sonuç olarak, çelik levha bükme analizi, çelik levha bükme işleminin tasarımında ve optimizasyonunda kullanılan önemli bir araçtır. Bu analiz yöntemi, doğru girdilerin kullanılmasıyla doğru sonuçlar elde etmek için gereklidir.

Bu analiz yönteminin uygulanması, çelik levha bükme işleminin güvenli ve uygun şekilde gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. Sonlu elemanlar yöntemi, yapılarda çeşitli yüklemeler altında gerçekleşen deformasyon ve gerilme durumlarını analiz etmek için kullanılan bir matematiksel yöntemdir. Bu yöntem, bir yapıyı küçük elemanlara böler ve her elemanın deformasyonunu ve gerilmesini modeller. Bu elemanlar, birbirleriyle temas eder ve bir yapıyı oluştururlar.

Çelik levha bükme analizinde, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, çelik levhanın deformasyonu, gerilme dağılımı ve bükme momenti gibi faktörler hesaplanır. Bu faktörler, çelik levhanın davranışını ve dayanıklılığını etkileyen önemli faktörlerdir. Çelik levha bükme analizi, çelik levhanın boyutunu, şeklini ve malzeme özelliklerini belirleme konusunda tasarımcılara yardımcı olur. Çelik levha bükme analizi için kullanılan sonlu elemanlar modeli, birçok elemanın bir araya gelmesiyle oluşan bir modeldir. Bu elemanlar, çelik levhanın geometrisini ve malzeme özelliklerini göz önünde bulundurularak seçilir. Analiz sırasında, elemanlar arasındaki temas noktaları ve sınır koşulları dikkate alınır. Çelik levha bükme analizi, mühendislerin çelik levha boyutlarını, şekillerini ve malzeme özelliklerini belirleme konusunda yardımcı olur. Ayrıca, çelik levha bükme analizi, çelik levhanın bükme işleminin güvenli ve uygun şekilde gerçekleştirilmesini sağlar.

Sonuç olarak, çelik levha bükmenin statik yapısal sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işleminin tasarımında ve optimizasyonunda kullanılan önemli bir araçtır. Bu analiz yöntemi, doğru girdilerin kullanılmasıyla doğru sonuçlar elde etmek için gereklidir. Bu analiz yönteminin uygulanması, çelik levha bükme işleminin güvenli ve uygun şekilde gerçekleştirilmesini sağlar.

Çelik levha bükme analizinde, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, çelik levhanın deformasyonu, gerilme dağılımı ve bükme momenti gibi faktörler hesaplanır. Bu faktörler, çelik levhanın davranışını ve dayanıklılığını etkileyen önemli faktörlerdir. Bu analiz, çelik levha boyutlarının belirlenmesi ve tasarımı için gerekli olan verileri sağlar. Çelik levha bükme analizi için gerekli olan ilk adım, çelik levhanın geometrisinin tanımlanmasıdır. Bu, genellikle CAD (bilgisayar destekli tasarım)

yazılımı kullanılarak yapılır. Çelik levhanın genişliği, uzunluğu, kalınlığı ve bükülme yarıçapı gibi parametreler belirlenir. CAD modeli, sonlu elemanlar analizinde kullanılacak şekilde dönüştürülür. Sonraki adım, malzeme özelliklerinin tanımlanmasıdır. Çelik levha bükme analizinde, çelik levhanın malzeme özellikleri, genellikle gerçek özelliklerden daha basit modeller kullanılarak tanımlanır. Bunlar, Young'un modülü, Poisson oranı, yoğunluk ve plastik davranış sınırı gibi özelliklerdir. Bu parametreler, sonlu elemanlar analizinde kullanılacak şekilde belirlenir. Yüklerin tanımlanması, çelik levha bükme analizi için bir diğer önemli faktördür. Bu, çelik levhanın üzerine uygulanan kuvvetlerin tanımlanmasını içerir. Yükler, çelik levhanın bükülmesine neden olan kuvvetlerdir. Bükme yarıçapı, bükme açısı ve merkezi moment gibi faktörler, yüklerin tanımlanmasında kullanılır. Sonlu elemanlar analizi, çelik levhanın bükülmesine neden olan bükme momentinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Bükme momenti, çelik levhanın deformasyonunu ve gerilme dağılımını etkiler. Bu faktörler, çelik levhanın dayanıklılığı ve davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bükme momenti, sonlu elemanlar analizi kullanılarak hesaplanır. Sonuç olarak, çelik levha bükmenin statik yapısal sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işleminin tasarımında ve optimizasyonunda kullanılan önemli bir araçtır. Bu analiz yöntemi, doğru girdilerin kullanılmasıyla doğru sonuçlar elde etmek için gereklidir. Ayrıca, bu analiz yöntemi, farklı çelik levha geometrileri ve malzeme özellikleri için kullanılabilir, bu da tasarım esnekliği sağlar. Sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme analizinde kullanılan birçok farklı teknikten biridir. Bu teknik, çelik levha bükme işleminin birçok yönünü analiz etmek için kullanılır. Örneğin, çelik levhanın bükülmesi sırasında gerilme ve deformasyon gibi faktörlerin nasıl dağıldığı belirlenebilir. Bu bilgi, çelik levhanın bükme sırasında nasıl davrandığını anlamak için önemlidir. Sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme analizinde kullanılan diğer tekniklerle de birlikte kullanılabilir. Bu, daha doğru sonuçlar elde etmek için yapılabilir. Örneğin, sonlu elemanlar analizi, çelik levhanın gerilme ve deformasyonunu belirleyebilirken, deneysel testler de gerçek dünya koşullarına daha yakın sonuçlar sağlayabilir. Sonuç olarak, çelik levha bükmenin statik yapısal sonlu elemanlar analizi, çelik levhanın tasarımında ve optimizasyonunda önemli bir rol oynar. Bu analiz yöntemi, çelik levhanın dayanıklılığını ve davranışını etkileyen faktörlerin belirlenmesinde kullanılır. Doğru girdilerin kullanılması ve analiz sonuçlarının dikkatli bir şekilde yorumlanmasıyla, bu analiz yöntemi, güvenli ve uygun şekilde tasarlanmış çelik levha bükme işlemlerine yol açabilir. Çelik levha

bükme analizi için sonlu elemanlar analizi kullanmanın avantajlarından biri, çelik levhanın farklı geometrileri ve malzeme özellikleri için uygulanabilmesidir. Bu, farklı tasarım senaryoları ve uygulamalar için çok önemlidir.

Örneğin, çelik levhanın boyutları ve kalınlığı, yüklerin türü ve yoğunluğu gibi faktörler, sonlu elemanlar analizi için gerekli olan girdileri belirlemeye yardımcı olabilir. Sonlu elemanlar analizi ayrıca, çelik levhanın bükme işlemi sırasında karşılaşılabileceği çeşitli yüklerin etkisini de hesaba katar. Bu yükler, çelik levhanın bükülmesine neden olabilir ve bu nedenle levhanın gerilme ve deformasyonunu etkiler. Sonlu elemanlar analizi, bu yüklerin etkisini belirleyebilir ve bu da çelik levhanın dayanıklılığına ve performansına yönelik tasarım kararlarının alınmasına yardımcı olabilir. Sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işleminin optimizasyonuna da yardımcı olabilir. Bu analiz yöntemi, farklı malzeme özellikleri, boyutlar ve yükler için farklı senaryoların test edilmesine olanak tanır. Bu, en uygun tasarımı belirlemek için önemlidir. Sonlu elemanlar analizi, farklı tasarım senaryolarının karşılaştırılmasına ve en uygun olanın seçilmesine yardımcı olur. Sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işlemi için doğru sonuçlar elde etmek için doğru girdilerin kullanılması gerektiğinden, hassas bir analiz yöntemidir. Bu, çelik levha bükme işlemi için tasarım kararları alınırken dikkate alınması gereken bir faktördür. Analiz sonuçlarının dikkatli bir şekilde yorumlanması ve doğru bir şekilde kullanılması da önemlidir. Yanlış yorumlanan sonuçlar, tasarım kararlarında hatalara neden olabilir ve bu da çelik levha bükme işleminin güvenliği ve performansı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Sonuç olarak, çelik levha bükme analizi için sonlu elemanlar analizi, çelik levha tasarımında ve optimizasyonunda önemli bir rol oynar. Bu analiz yöntemi, çelik levhanın dayanıklılığı ve performansı için kritik olan faktörleri belirler ve doğru tasarım kararları alınmasına yardımcı olur. Ayrıca, sonlu elemanlar analizi, tasarım sürecinde çeşitli senaryoların test edilmesine olanak tanır ve en uygun tasarımın belirlenmesine yardımcı olur. Bu nedenle, sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işleminin tasarım ve optimizasyonunda kullanılan güçlü bir araçtır. Sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işlemi için bazı zorluklar da içerir. Örneğin, çelik levhanın gerilme ve deformasyonu, sonlu elemanlar analizi için kullanılan matematiksel modelleme teknikleriyle doğru bir şekilde yakalanmalıdır. Ayrıca, sonlu elemanlar analizi için kullanılan girdilerin doğru bir şekilde belirlenmesi de önemlidir. Bu nedenle, doğru girdilerin belirlenmesi için doğru ölçümler yapılması

ve matematiksel modellerin doğruluğu test edilmelidir. Sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işlemi için tasarım kararları almak için yalnızca bir araçtır. Analiz sonuçları, diğer faktörlerle birlikte değerlendirilmelidir.

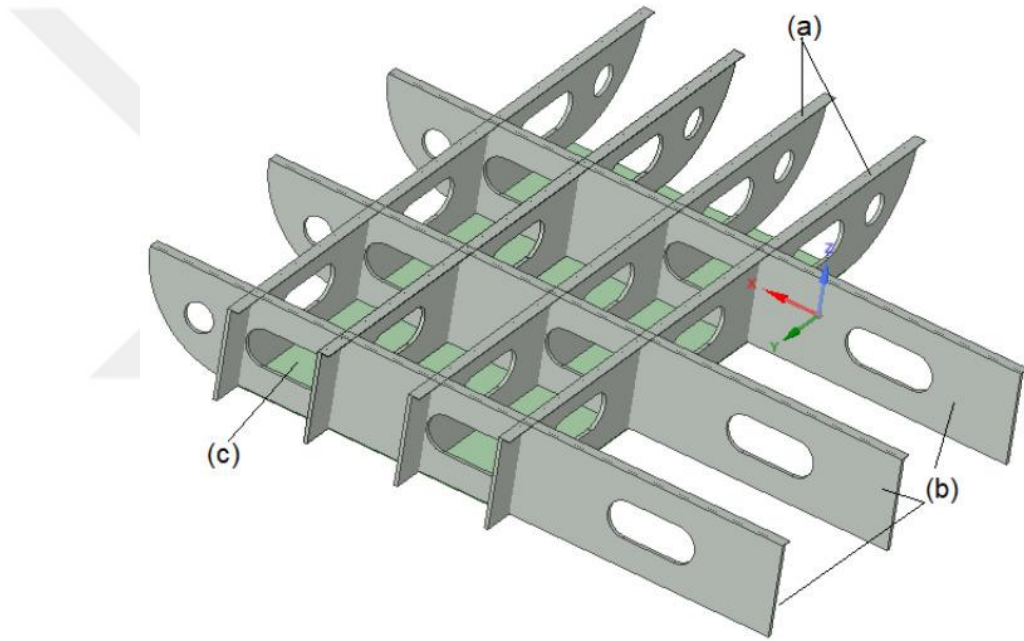
Örneğin, çelik levhanın kullanılacağı ortamın koşulları, tasarım kararları üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işleminin tasarımı ve optimizasyonu için güçlü bir araçtır. Bu analiz yöntemi, çelik levhanın dayanıklılığı ve performansı için kritik olan faktörleri belirler ve doğru tasarım kararları alınmasına yardımcı olur. Ancak, doğru girdilerin kullanılması, analiz sonuçlarının doğru bir şekilde yorumlanması ve diğer faktörlerin dikkate alınması da önemlidir. Bu şekilde, çelik levha bükme işlemi için güvenli ve verimli bir tasarım elde edilebilir. Sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işleminin tasarım ve optimizasyonunda kullanılan birçok farklı yöntem ve teknikle uygulanabilir. Bunlar arasında en yaygın olanları, elastik analiz, elastoplastik analiz ve plastik analizdir. Elastik analiz, çelik levhanın bükülmesi sırasında gerilme ve deformasyonların yalnızca elastik bölgede olduğu varsayımına dayanır. Bu yöntem, daha basit tasarımlar için kullanılabilir, ancak gerçek dünya uygulamalarında yeterli olmayabilir. Elastoplastik analiz, çelik levhanın bükülmesi sırasında elastik ve plastik bölgenin birleştiği bir noktanın var olduğu varsayımına dayanır. Bu yöntem, elastik analizden daha doğru sonuçlar üretir, ancak daha karmaşık hesaplamalar gerektirir. Plastik analiz ise, çelik levhanın bükülmesi sırasında plastik deformasyonların daha yaygın olduğu varsayımına dayanır. Bu yöntem, elastik ve elastoplastik analizden daha doğru sonuçlar üretir, ancak daha fazla hesaplama gücü ve hesaplama süresi gerektirir. Sonlu elemanlar analizi için çelik levhanın matematiksel modellemesi, levhanın fiziksel özellikleri, bükülme şekli ve diğer faktörlere göre belirlenir. Analiz için kullanılan yazılımlar, levhanın geometrisine, malzeme özelliklerine, yüklerin yerleşimine ve diğer faktörlere göre farklı seçenekler sunar. Sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işleminin güvenli ve verimli bir şekilde tasarlanması için güçlü bir araçtır. Doğru matematiksel modellerin kullanımı ve doğru girdilerin belirlenmesi ile, analiz sonuçları tasarım kararları için önemli bir kaynak olabilir. Ancak, analiz sonuçları her zaman gerçek dünya uygulamaları için yeterli olmayabilir. Bu nedenle, analiz sonuçları diğer faktörlerle birlikte değerlendirilmelidir. Sonuç olarak, sonlu elemanlar analizi, çelik levha bükme işleminin tasarım ve optimizasyonunda kullanılan güçlü bir araçtır. Bu yöntem, çelik levhanın gerilme ve deformasyonunu doğru bir şekilde

belirleyerek, güvenli ve verimli bir tasarım elde edilmesine yardımcı olur. Ancak, doğru girdilerin kullanılması ve diğer faktörlerin dikkate alınması da önemlidir.

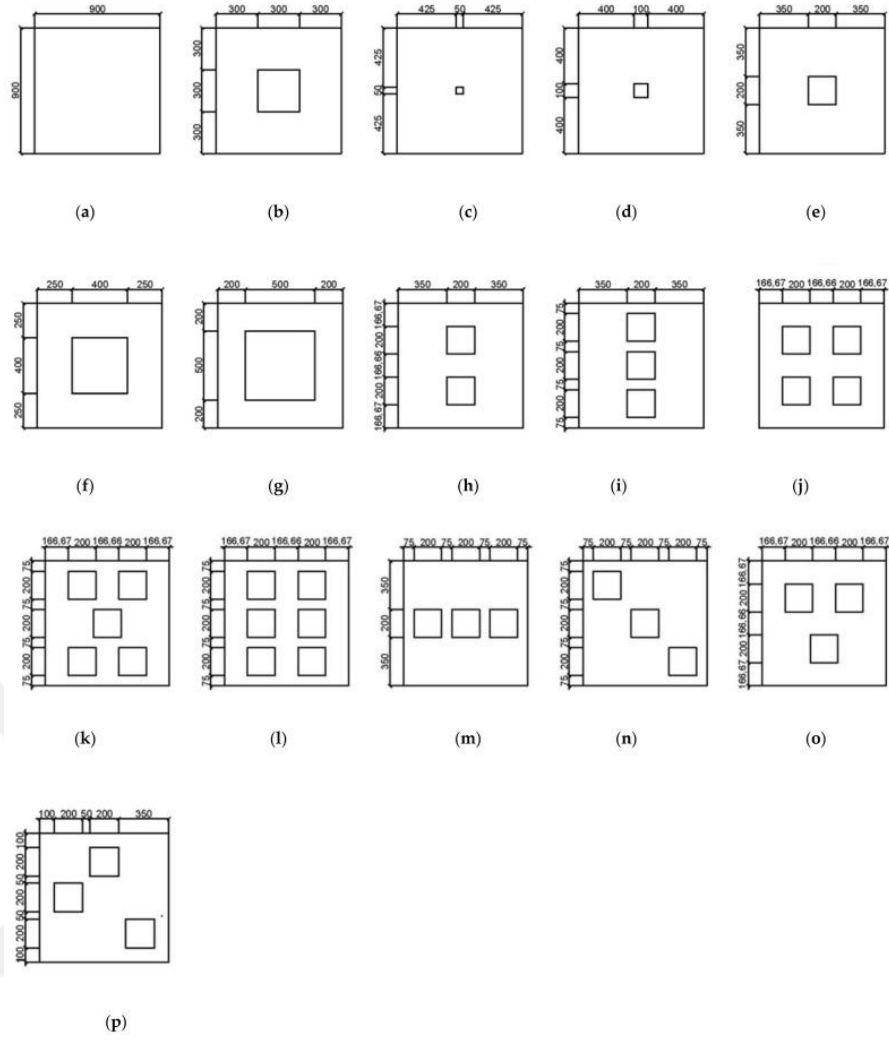
$$w_0(x,y) = \frac{16q_0\pi^6 D}{\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sin m\pi x \sin n\pi y b m n (m^2 a^2 + n^2 b^2)^2} \quad (3.1)$$

$$q(x,y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{16q_0\pi^2 \sin m\pi x \sin n\pi y}{m n (m^2 a^2 + n^2 b^2)^2} \quad (3.2)$$

$$\sigma_{max} = \sigma_b = \beta q b^2 t^2 \quad (3.3)$$



Şekil 3.1: Numune Çelik Parçasının Çizimi



Şekil 3.2: Numune Çelik Parçasının Açılımı

Numune numarası. Açılış şekli Açılış ölçüleri Plaka kalınlığı, Açılış numarası

S-1 - - 20.0 -

S-2 Dikdörtgen 300×300 18.0 1

S-3 Dikdörtgen 300×300 20.0 1

S-4 Dikdörtgen 300×300 22.0 1

S-5 Dikdörtgen 300×300 24.0 1

S-6 Dikdörtgen 300×300 26.0 1

S-7 Dikdörtgen 50×50 20.0 1

S-8 Dikdörtgen 100×100 20.0 1

S-9 Dikdörtgen 200×200 20.0 1

S-10 Dikdörtgen 400 × 400 20.0 1

S-11 Dikdörtgen 500 × 500 20.0 1

S-12 Dikdörtgen 200 × 200 20.0 2

S-13 Dikdörtgen 200 × 200 20.0 3

S-14 Dikdörtgen 200 × 200 20.0 4

S-15 Dikdörtgen 200 × 200 20.0 5

S-16 Dikdörtgen 200 × 200 20.0 6

S-17 Dikdörtgen 200 × 200 20.0 3

S-18 Dikdörtgen 200 × 200 20.0 3

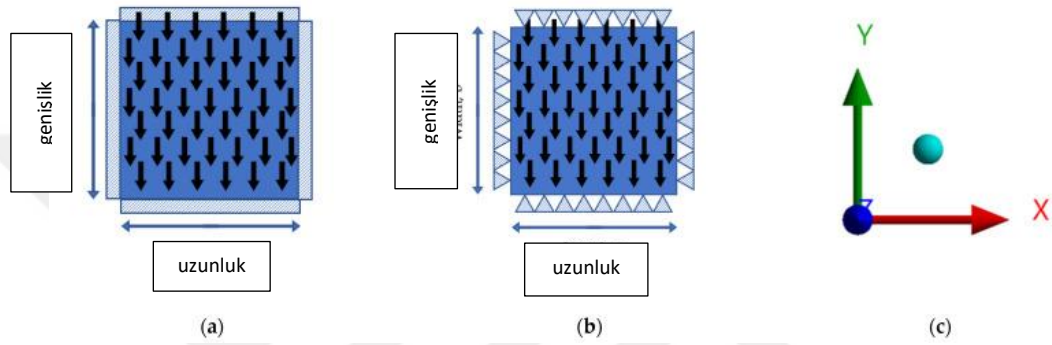
S-19 Dikdörtgen 200 × 200 20.0 3

S-20 Dikdörtgen 200 × 200 20.0 3

Dikdörtgen delikli çelik levha numuneleri, sabit bir plaka boyutuna (900 mm x 900 mm) sahiptir ve malzeme özellikleri yapısal çelik olarak belirlenmiştir. Çelik levha numuneleri, olası etkileri olan tasarım parametrelerine göre gruplandırılmıştır. S-2, S-3, S-4, S-5 ve S-6 numunelerinin plaka kalınlıkları sırasıyla 18 mm, 20 mm, 22 mm, 24 mm ve 26 mm olarak belirlenmiştir ve dikdörtgen açıklıklı çelik levhaların mukavemeti üzerinde plaka kalınlığının etkisini araştırmak için kullanılmıştır. Ayrıca, S-3, S-7, S-8, S-9, S-10 ve S-11 numuneleri farklı açıklık en-boy oranları kullanılarak modellenmiştir ve açıklık oranının mukavemete etkisini ölçmek için kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, S-9, S-12, S-13, S-14, S-15 ve S-16 numunelerinin sonuçları, açıklık sayısının mukavemet üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılmıştır. Öte yandan, S-13, S-17, S-18, S-19 ve S-20 numunelerinin sonuçları, açıklık konumunun levha performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için karşılaştırılmıştır. Son olarak, S-3 plaka numuneleri farklı sınır koşulları ile test edilmiştir ve dikdörtgen delikli çelik levhaların mukavemeti üzerinde sınır koşullarının etkisini belirlemek için kullanılmıştır. ANSYS yazılımında, plaka numuneleri genellikle Shell181 veya Shell281 türü kabuk elemanları olarak modellenir.

Bu tür kabuklar dikdörtgen plakaların modellenmesi için uygun olduğundan, bu projede benzer kabuk türü simülasyon için seçilmiştir. Plakanın kabukları daha küçük ve basit kabuk elemanlarına bölünmüş ve küçük ölçekli kabuk elemanlarına sahip kabuk

elemanları, modelin çözüm doğruluğu için daha iyidir. Ancak, bu hesaplama süresi ve ilgili maliyetleri arttırır. Bu nedenle, doğru bir örgü boyutu seçilmeli ve makul hesaplama süresi ve maliyetle doğru sonuçlar sağlanmalıdır. Plaka numuneleri yapısal çelik olarak modellenmiş olup, Young modülü 200 GPa ve Poisson oranı 0.3 olarak belirlenmiştir. Grup V'deki plaka numuneleri hariç, tüm numuneler basitçe desteklenmiştir ve plaka numunesinin z eksenindeki yönde etki eden 0.1 MPa'lık bir düzgün basınçla gösterildiği gibi. Sonuçlar ve tartışmalar aşağıdaki bölümde sunulmaktadır.

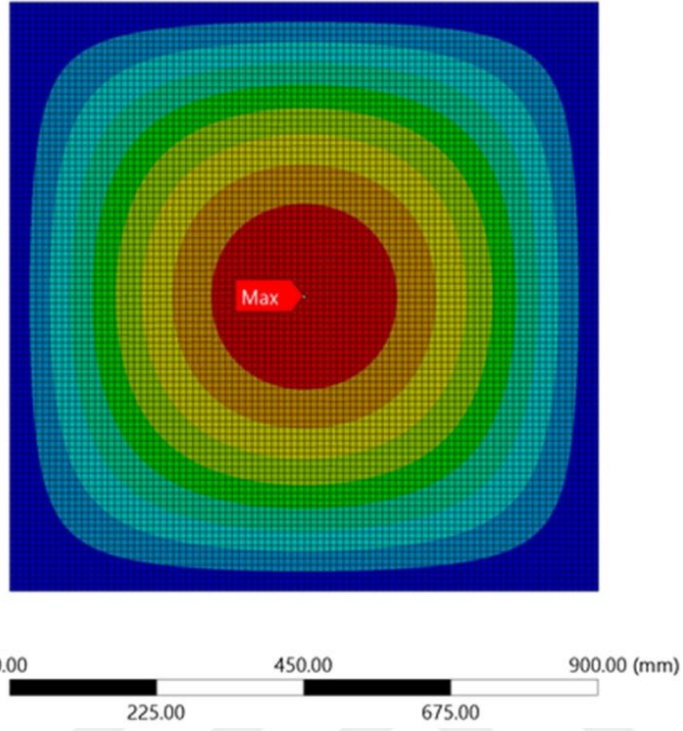


Şekil 3.3: Çelik Parçası

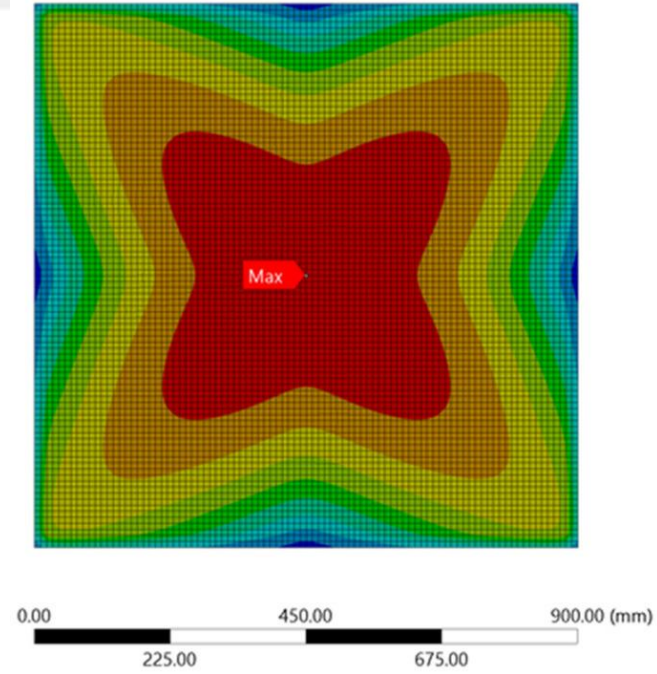
S-1 plaka numunesi, deliksiz çelik plaka olarak modellendi ve SHELL181 programı altında bir statik yapısal simülasyona tabi tutuldu. Basitçe desteklenen S-1 plakaya 0.1 MPa basınç yükü uygulandı ve bu, maksimum gerilmeyi 60.92 MPa'ye çıkardı. Deliksiz dikdörtgen panellerin gerilimini hesaplamak için benimsenen iki analitik yöntemden, Navier çözümünün gerilim denklemi 57 MPa'da gerilimi hesapladı, Roark Formülleri'nin gerilim denkleminde ise maksimum gerilim değeri 58.2 MPa olarak belirlendi, Şekil 4'te gösterildi. Bu, ANSYS simülasyon sonuçlarının, iki analitik yöntemden elde edilen sonuçlardan %7 daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu, ANSYS FEA, Navier çözümü ve Roark Formülleri'nden elde edilen sonuçların iyi bir uyum içinde olduğunu göstermektedir. "Ayrıca, ANSYS simülasyon sonuçlarının gerilim ve yer değiştirme gözlemleri, 0.1 MPa uygulanan yükün neden olduğu maksimum gerilim ve yer değiştirmenin her ikisinin de plakanın merkezinde gözlendiğini göstermektedir, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterildiği gibi.

Ayrıca, deliksiz çelik plaka numuneleri tarafından taşınan maksimum gerilim ve yer değiştirme, çelik plakaların gerilmeli yüzeyinde meydana geldi. Bu plaka kontur bilgisi, tasarımcılar tarafından farklı yapılandırmalar ve tasarım parametreleri altında değişen dikdörtgen delikli çelik levhaların karşılaştırması sırasında uygun sonuçlar

çıkarmaya yardımcı olacak olan çelik plaka numunelerinin gerilimini ve ilgili yer değiştirme konsantrasyonunu incelemek için kullanılabilir [2].



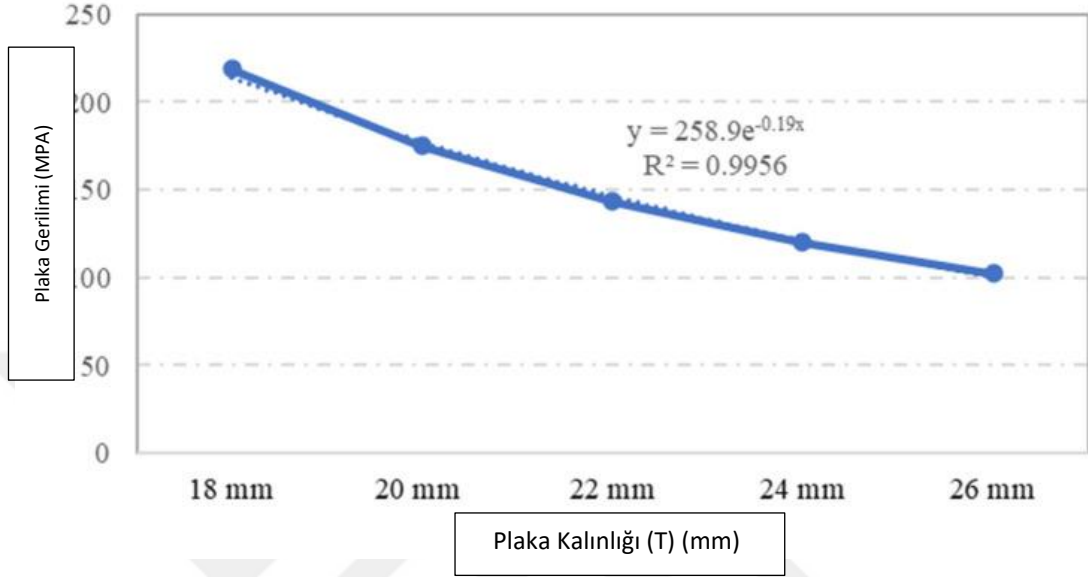
şekil 3.4: Çelik Parçasının Gerilme Analizi



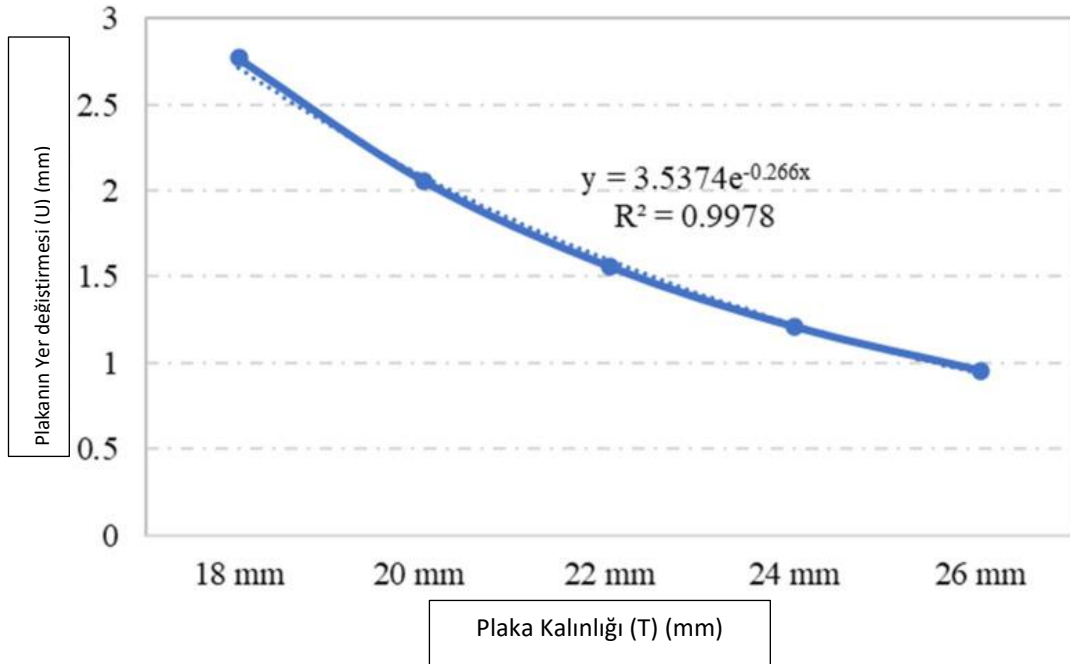
şekil 3.5: Çelik Parçasının Yer Değiştirme Analizi

ANSYS FEA simülasyonundan elde edilen deliksiz çelik plakaların gerilme ve yer değiştirme sonuçlarının karşılaştırılması ve doğrulanması ile, analitik yöntemlerin FEA simülasyonu ile tatmin edici bir uyum gösterdiği gözlemlenebilir. Bu, aşağıdaki bölümlerde tartışıldığı gibi dikdörtgen delikli çelik plakaların gerilme ve yer değiştirme değerlerini doğru bir şekilde belirlemek için ANSYS FEA'nın kullanılabileceğini göstermektedir. Levha Kalınlığının Etkisi Aynı plaka boyutları ve açıklık geometrisi kullanılarak, ancak farklı plaka kalınlıklarıyla modellenen plaka örnekleri S-2, S-3, S-4, S-5 ve S6, ANSYS sayısal simülasyonu aracılığıyla 0.1 MPa yük altında gerilme ve yer değiştirme açısından değerlendirildi. Plaka kalınlıklarındaki değişimler gerilme ve yer değiştirme üzerinde önemli bir etkiye sahipti. Simülasyon sonucu, plaka kalınlığı arttıkça plaka gerilmesi ve yer değiştirme değerlerinin azaldığını göstermiştir, Şekil 8 ve Şekil 9'da görüldüğü gibi. Örneğin, plaka kalınlığı %44 arttığında, plaka gerilmesi %53 azaldı. Ayrıca, Şekil 8'deki $R^2 = 0,995$ üstel eğri, plaka kalınlığı arttıkça plakanın gerilme değerlerinin azaldığını gösterir. Bu ters orantılı ilişki, plakanın rijitliğinin ve sertliğinin artmasıyla, plaka kalınlığı arttıkça plakanın genel gerilme kapasitesini arttırdığından kaynaklandı. Ayrıca, farklı plaka kalınlıklarına sahip S-2, S-3, S-4, S-5 ve S-6 plaka örnekleri, aynı boyutlarda ve açıklık geometrisinde modellemeleri yapılarak, 0,1 MPa yük altındaki gerilmeleri ve yer değiştirmeleri ANSYS sayısal simülasyonu ile değerlendirildi. Plaka kalınlıklarındaki değişimler gerilim ve yer değiştirme üzerinde önemli bir etkiye sahipti. Simülasyon sonucu, plaka kalınlığı arttıkça, plakanın gerilimi ve yer değiştirmesinin azaldığını gösterdi ve bu durum Şekil 8 ve Şekil 9'da görülmektedir. Örneğin, plaka kalınlığı %44 arttığında, plaka gerilimi %53 azalmıştır. Ayrıca, Şekil 8'deki $R^2 = 0,995$ üssel eğrisi, plaka kalınlığı arttıkça plakanın gerilim değerlerinin azaldığını gösterir. Bu ters orantılı ilişki, plakanın rijitliği ve sertliğinin artmasıyla plakanın genel gerilim kapasitesini arttırdığından kaynaklanmaktadır." "Şekil 11, farklı plaka kalınlığına sahip çelik plaka örneklerinin gerilim dağılım konturlarını göstermektedir. Genel olarak, tüm çelik plakalar benzer gerilim kontur dağılım desenlerine sahipti; bu, tüm test edilen örneklerin, duvar kalınlıklarına bakılmaksızın tipik geometriye sahip olmasından kaynaklanır. Örneklerin paylaştığı diğer ortak özellik, plakanın maksimum geriliminin, stres konsantrasyonu etkileri nedeniyle açıklık köşelerinde yoğunlaşmasıdır. Dikdörtgen delikli çelik levhaların mukavemet kapasitesine açıklık en-boy oranının etkisini incelemek için modellemeleri yapılan çelik plaka örnekleri S-7, S-8, S-9, S-3, S-10 ve S-11'dir ve bunların karşılaştırmalı gerilim ve yer değiştirme

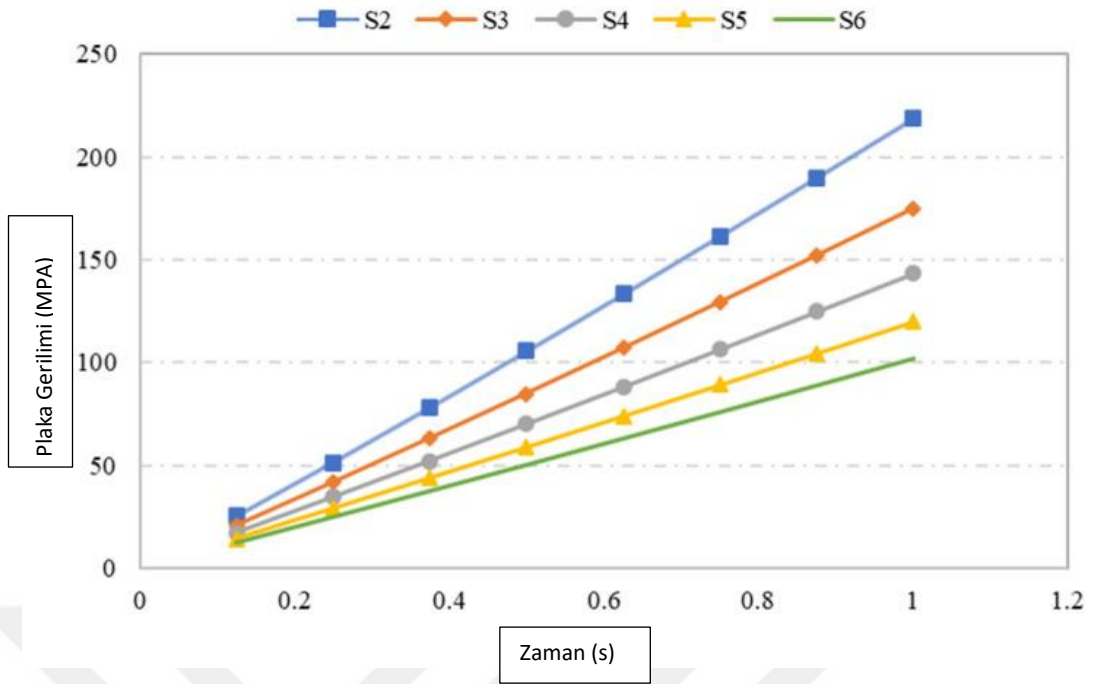
değerleri Şekil 12 ve Şekil 13'te gösterilmiştir. Bu çelik plaka örnekleri aynı boyut ve kalınlığa sahipti, ancak açıklık en-boy oranları karşılaştırma temelini oluşturuyordu. Şekil 12'deki FEA simülasyon sonuçlarından, maksimum stresin açıklık en-boy oranı tarafından önemli ölçüde etkilendiği görülebilir.



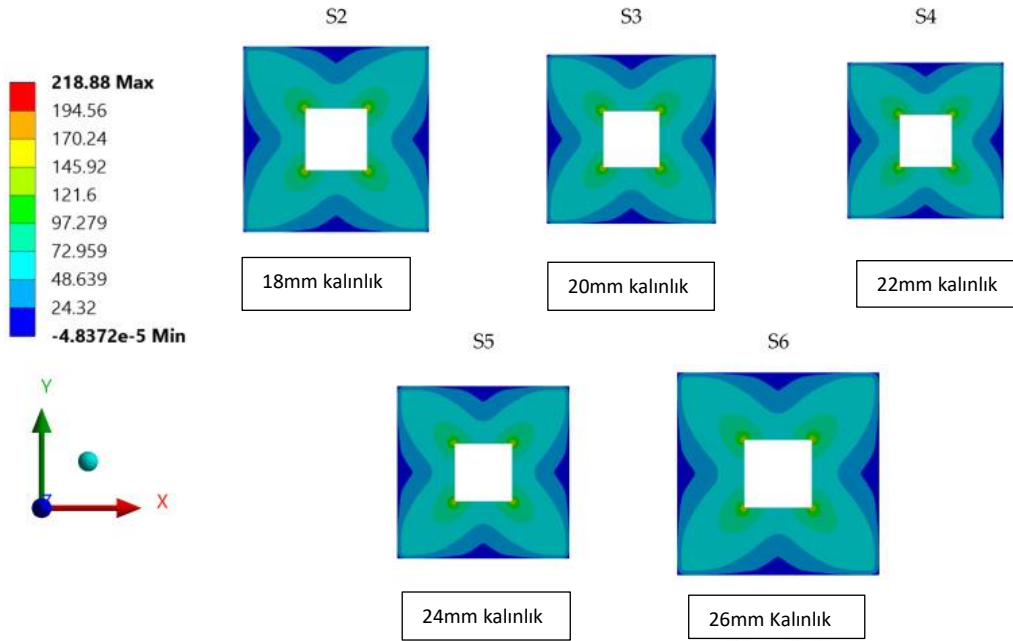
Şekil 3.6: Çelik Parçasının Kalınlık ve Gerilim İlişkisi



Şekil 3.7: Çelik Parçasının Kalınlık ve Yer Değiştirme İlişkisi

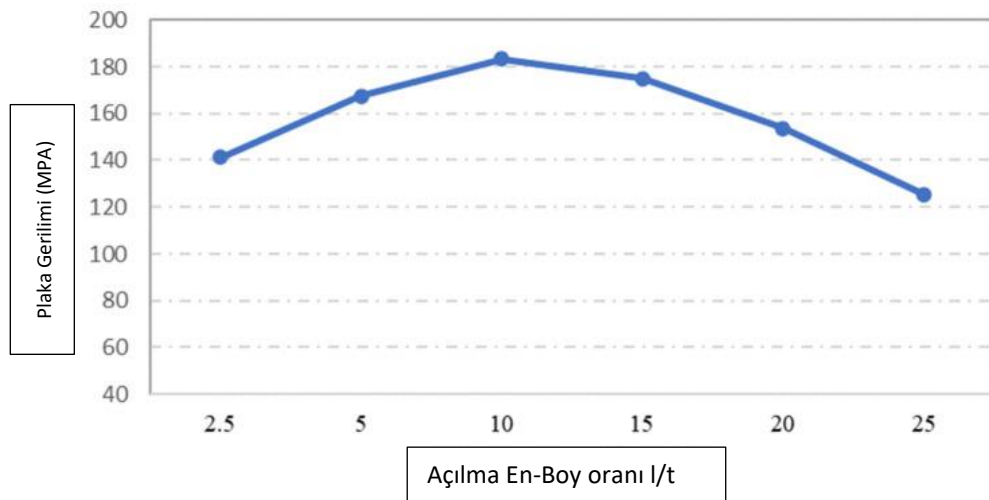


Şekil 3.8: Üssel Eğrisi (Farklı kalınlıktaki plakalardaki Gerilme)

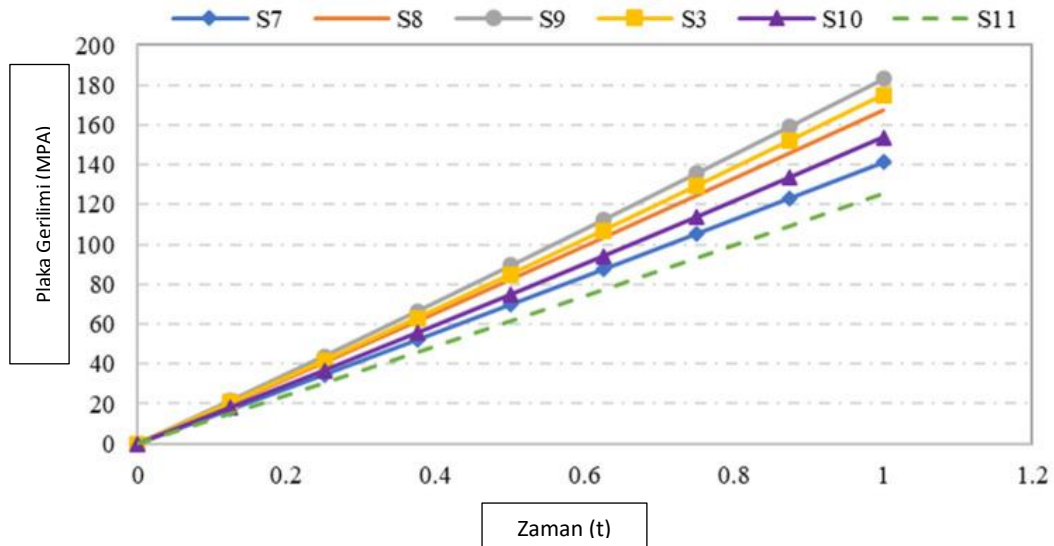


Şekil 3.9: Plakada Farklı Kalınlıklar Sonucu Gerilim ve Yer değiştirme

Farklı çelik levha örnekleri için şekil 15'te gösterilen gerilme kontur çizgileri, levha açıklığı en-boy oranı ve maksimum gerilim arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamak ve yorumlamak için incelendi. Gözlemlendi ki, $l/t = 10$ 'dan az olan açıklık oranına sahip levhalar yüksek gerilme konsantrasyonlarına sahipti ve bu konsantrasyonlar genellikle açıklık köşe ve kenarları etrafında dağılıyordu. Bu durum, 0.1 MPa'lık uygulanan basıncın levha açıklığı köşelerinin kenarlarından desteklere aktarıldığını göstermektedir. Öte yandan, $l/t = 10$ 'dan yüksek açıklık oranına sahip levha örneklerinde yüksek gerilme konsantrasyonları sadece açıklık köşelerinde gözlemlendi. Levha gerilmesinin aktarımı, açıklık köşelerinden desteklere doğru gerçekleşti ve bu, tüm levha yüzeyinin tam olarak kullanılmaması nedeniyle etkisiz bir gerilim aktarımı olarak görüldü. Dolayısıyla, $l/t = 10$ 'dan yüksek açıklık oranına sahip çelik levhalarda maksimum gerilim azalması bekleniyordu, çünkü açıklık köşelerinde başarısızlık modu oluşma olasılığı vardı. Bu, levhanın köşelerinde gerilme yırtılması oluşmasıyla ilişkili olabilirdi ve bu da levhanın maksimum gerilim ve yer değiştirmesinin düşmesine neden olurdu. Zhao ve arkadaşlarının [10] çelik levhalardaki kesme gerilimi üzerine yaptıkları deneysel çalışmalar ve sayısal analiz raporuna göre, bir çelik levha örneği, açıklık köşelerinde oluşan gerilme yırtılması olarak bilinen bir başarısızlık moduna sahipti. Bu özel levhaların kesme kapasitesini ANSYS FEA'den elde edilen kesme gerilim değeri ile doğruladıktan sonra, iki yöntemden elde edilen kesme gerilimleri iyi bir uyum gösterdi. Ayrıca, söz konusu çelik levha örneğinin açıklık köşelerindeki gerilme konsantrasyonu da en yüksek olarak görüldü.



Şekil 3.10: Gerilme Bağlı Olarak En-Boy Açılma Grafiği



Şekil 3.11: Farklı Kalınlıktaki Çeliklerin Gerilmeleri

Levha geometrisi ve açıklık boyutu sabit tutularak, açıklık sayısı değiştirilerek çelik levhaların performansı üzerindeki etkisini belirlemek için S-9, S-12, S-13, S-14, S-15 ve S-16 numaralı örnekler kullanılarak bir değerlendirme yapıldı. Açıklıkların gerilim ve yer değiştirme üzerindeki etkisi ANSYS FEA simülasyonları kullanılarak değerlendirildi. Şekil 16, merkezi bir açıklığı olan S-9 numaralı levha örneği ve 5 açıklığı olan S-15 numaralı levha örneğinin en yüksek maksimum gerilim değerlerini gösterdiğini göstermektedir. İki levha arasındaki benzerlik, her iki levhanın da levhanın merkezinde eşit büyüklükte bir açıklıktan oluşmasıdır. Bu, maksimum gerilim değerlerindeki artışın nedeni olabilir. Ayrıca ANSYS FEA ile farklı açıklık sayılarına sahip çelik levhaların maksimum yer değiştirmelerinin karşılaştırılması, şekil 17'de gösterildi. En yüksek yer değiştirme, 5 açıklığı olan S-15 numaralı levhada kaydedildi. Ancak, çelik levhaların gerilim ve yer değiştirme değerlerinin aynı deseni takip etmediği görüldü. Özellikle, S-9 numaralı levha örneğinin uygulanan yük altındaki maksimum gerilimi ikinci en yüksekken, yer değiştirme açısından elde edilen değer en düşük oldu. Bu, S-9 numaralı levhanın diğer levha örneklerinden daha fazla yüzey alanı bırakan merkezi bir açıklığa sahip olmasından kaynaklanabilir. Ancak, merkezinde de bir açıklığı olan S-13 numaralı levha örneğinde maksimum gelişen gerilim en düşüktü. Bu, açıklıkların düzenlenmesi ve sayısından kaynaklanmaktadır. Açıklıklar plakaların merkez çizgisini takip eden bir lineer desende üç açıklık olarak düzenlenmiştir. Bu düzenleme, açıklıkların köşelerindeki gerilim konsantrasyon faktörünü yeniden dağıttı. Ayrıca, farklı açıklama pozisyonlarına sahip çelik levhaların mukavemet kapasitesi ve yer değiştirmesi üzerindeki etkisi incelendi. Özellikle, plaka

örnek S-9, uygulanan yük altındaki maksimum gerilim açısından ikinci en yüksek değere sahip olmasına rağmen, yer değiştirme açısından elde edilen değer en düşüktü. Bu, S-9 plaka örneğinin diğer plaka örneklerine göre daha fazla yüzey alanına sahip olmasından kaynaklanabilir. Ancak, merkezinde bir açıklığı olan S-13 plaka örneği durumunda, geliştirilen maksimum gerilim en düşüktü. Bu, açıklıkların düzenlenmesi ve sayısına, plakaların merkez hattı boyunca lineer bir şekilde üç açıklıklı yerleştirilmesine bağlıdır. Bu düzenleme, açıklıkların köşelerindeki gerilim konsantrasyon faktörünü yeniden dağıttı gibi görünmektedir. Farklı açıklama pozisyonlarının etkisiyle ilgili olarak, plaka geometrisi, kalınlığı, açıklık en boy oranı ve açıklık sayısı aynı olan çelik plaka örnekleri S-13, S-17, S-18, S-1 ve S-20 modellenmiştir. Bunların her birinin belirleyici özelliği açıklıkların konumu ve konfigürasyonuydu. Bu açıklıkların, uygulanan yükler altında plakaların dayanım kapasitesi ve yer değiştirme üzerindeki etkisi araştırıldı. Farklı açıklama pozisyonlarına sahip bu çelik plakaların ANSYS FEA çözümleri Tablo 3'te sunulmuştur. Figür 20 ve Figür 21'de gösterilen grafiklerden elde edilen temel gözlemlerden biri, S-13 ve S-17 numaralı örneklerin maksimum gerilim ve yer değiştirme değerlerinin aynı olmasıdır. Diğer dikkat çekici gözlem ise çapraz açıklıklara sahip S-18 plakanın maksimum gerilim ve yer değiştirme çıktılarının yüksek olmasıdır. İlk gözlemle ilgili olarak, S-13 ve S-17 plaka örneklerinin kare geometrisine, benzer özelliklerine ve açıklık en boy oranlarına sahip olmaları nedeniyle aynı sonuçları vermesi bekleniyordu. İkinci gözlemle ilgili olarak, çapraz açıklıkların varlığı, stres dağılımının kritik yolunda yer alan açıklıkların pozisyonlanması nedeniyle mukavemet kapasitesine ve dolayısıyla plakanın stres dağılımına ve gerilim konsantrasyonuna neden oldu.

Plaka	Numune	Açma	ve	Pozisyonun	Maksimum	Gerilmesi
-------	--------	------	----	------------	----------	-----------

S13	Dikey	140.8	2.1994			
-----	-------	-------	--------	--	--	--

S17	Yatay	140.8	2.1993			
-----	-------	-------	--------	--	--	--

S18	Diyagonal	227.36	2.3817			
-----	-----------	--------	--------	--	--	--

S19	Rastgele1	174.76	2.2393			
-----	-----------	--------	--------	--	--	--

S20	Rastgele 2	179.26	2.0992			
-----	------------	--------	--------	--	--	--

Uygulanan Zaman						
-----------------	--	--	--	--	--	--

Basınç (MPa) Maksimum Gerilme

(MPa) Maksimum yer değıştirme

0 0 0

0.125 0.0125 10.389 0.11053

0.25 0.025 20.818 0.22104

0.375 0.0375 31.283 0.33152

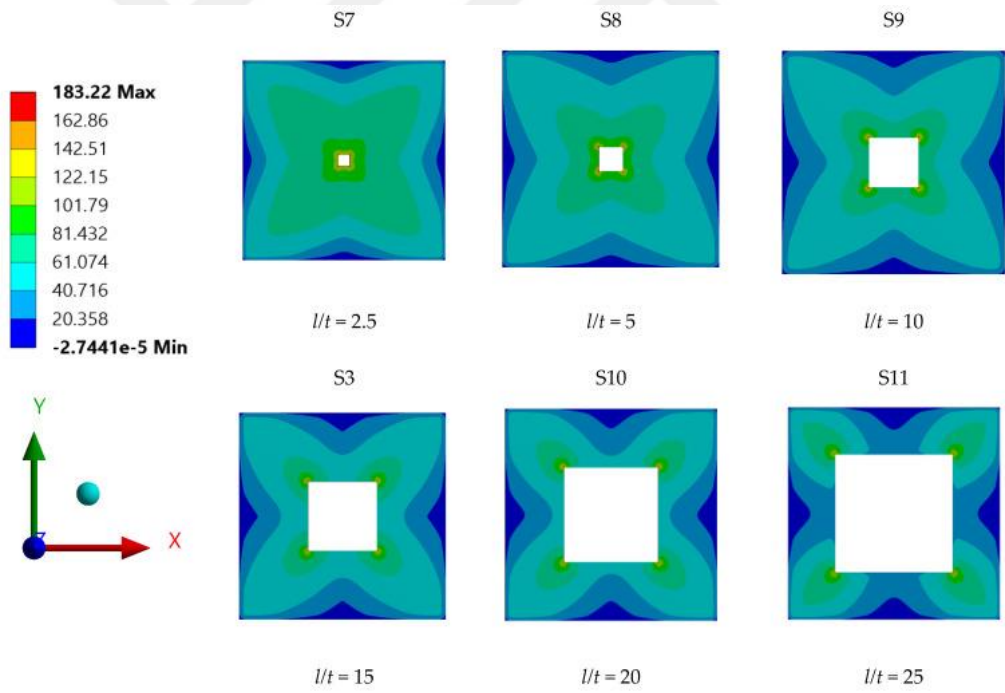
0.5 0.05 41.784 0.44195

0.625 0.0625 52.319 0.55231

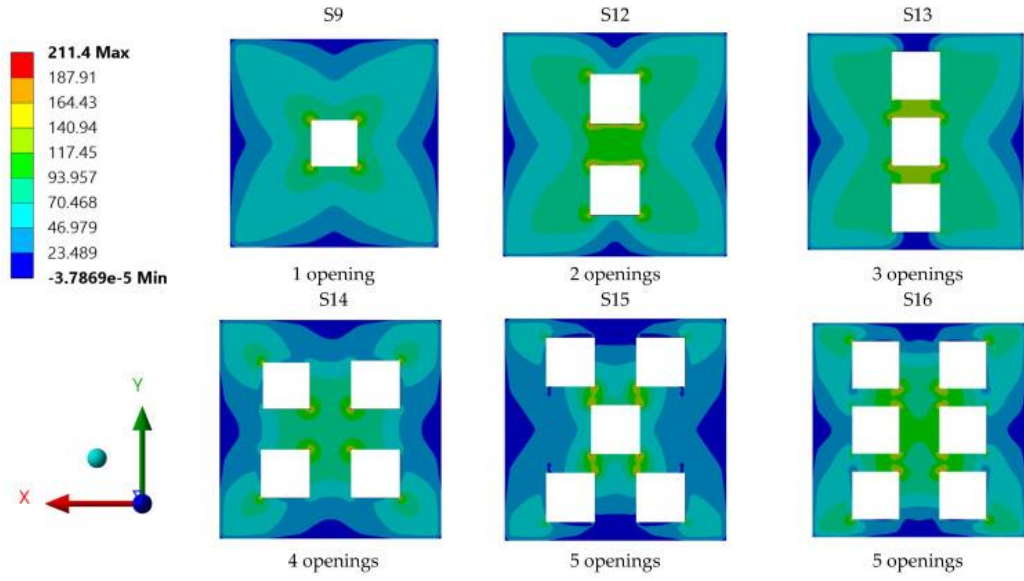
0.75 0.075 62.886 0.66259

0.875 0.0875 73.482 0.77276

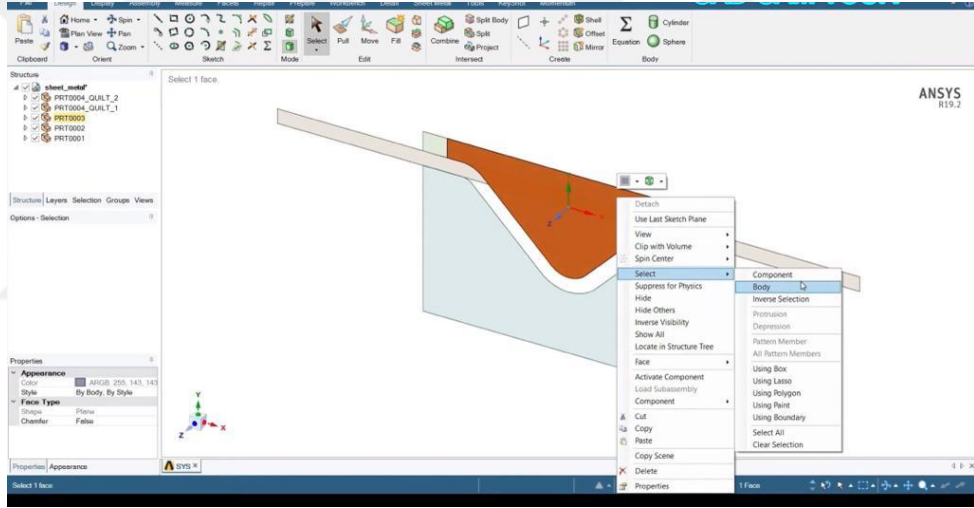
1 0.1 84.107 0.88283



Şekil 3.12: Aynı Kalınlığa, Farklı Açıklığa Sahip Çelik Numune Parçaları

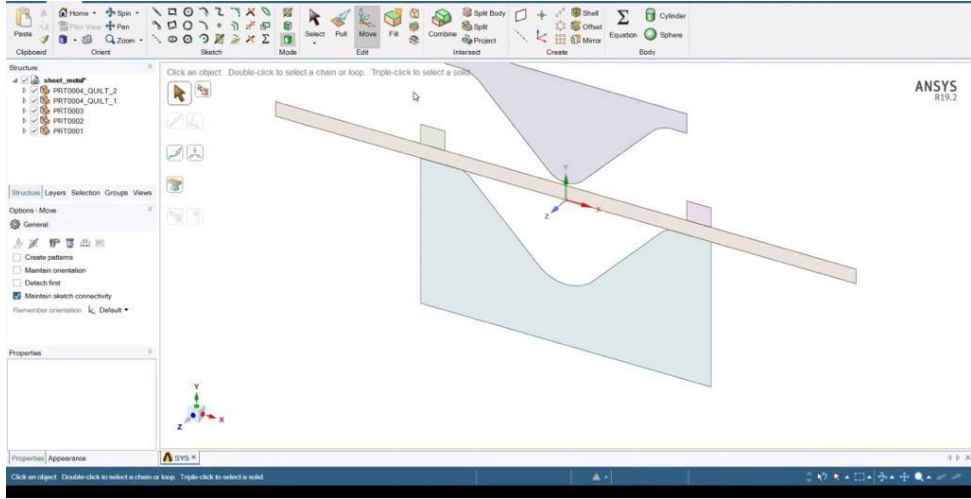


Şekil 3.13: Aynı Boyutlarda, Farklı Açıklıklardaki Çelik Numune Parçaları

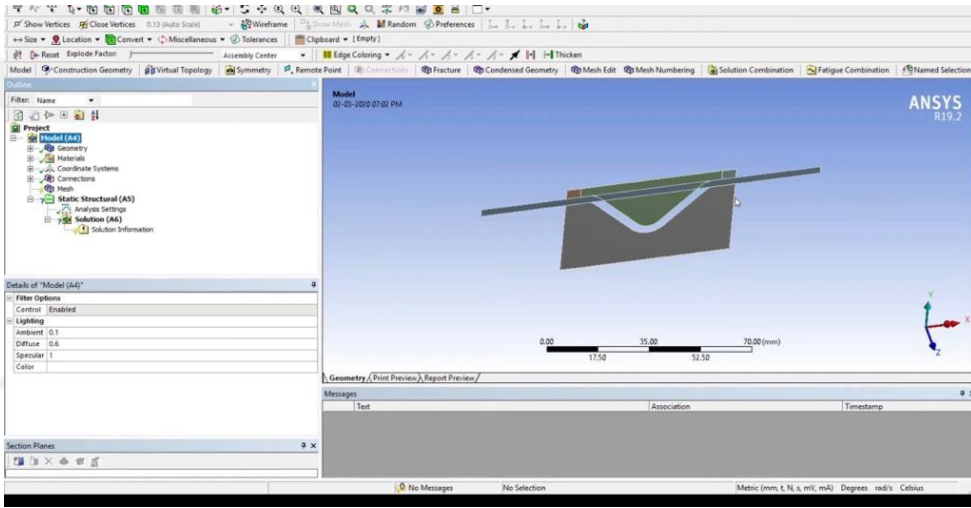


Şekil 3.14: Numune Çelik Parçasının ve Makas Presin Çizimi

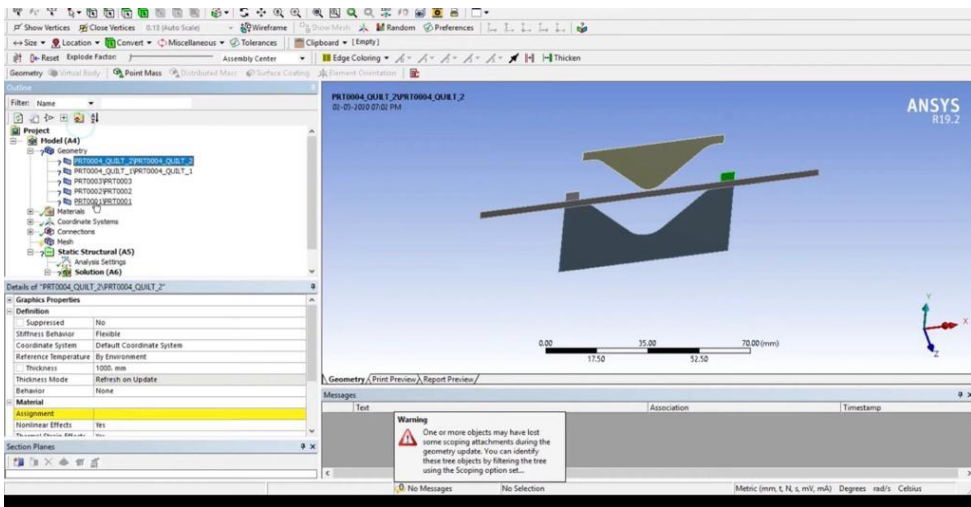
Alüminyum İçin Uygulanan Statik Gerilme Analiz işlemlerinin farklı bir parça olarak seçilen çelik için uygulanması; (Alüminyum için yapılan bütün işlemler ve basamaklar çelik içinde yapılmış ve yapılan işlemler ANSYS üzerinde gösterilmiştir.)



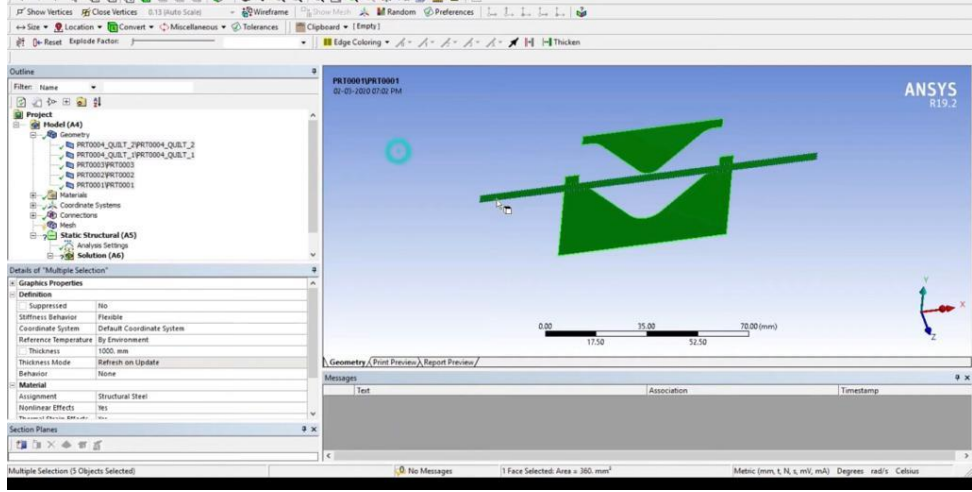
Şekil 3.15: Levha Açıklığı ve En-Boyun Gerilme Üzerindeki Etkisi



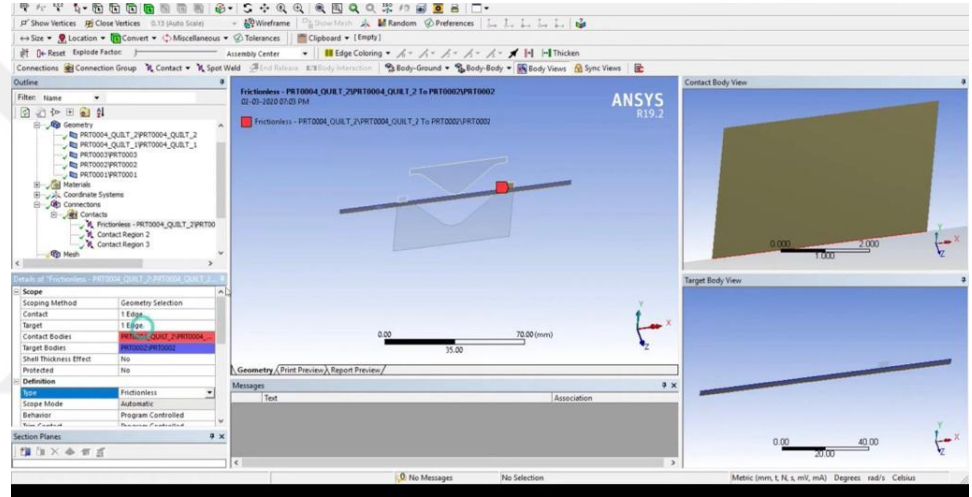
Şekil 3.16: Çelik Parçasında Olan Açıklıkların Gerilimle İle Olan İlişkisi



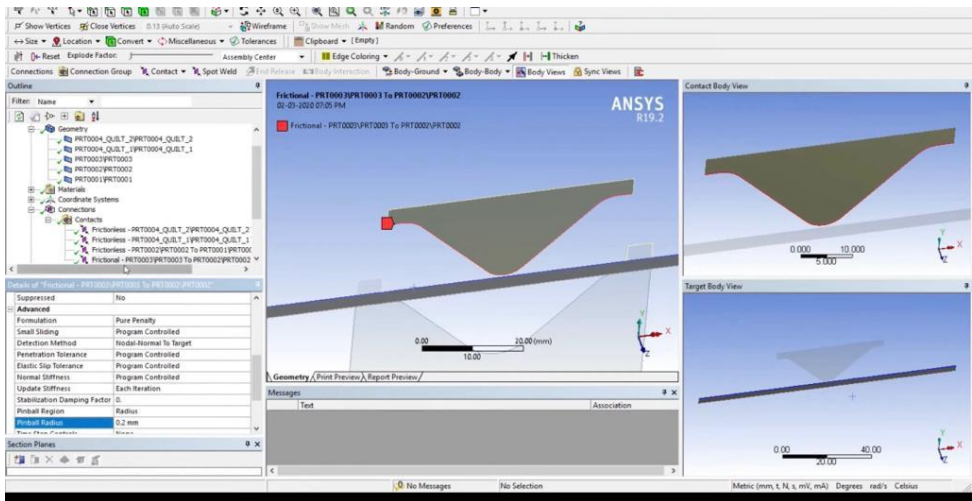
Şekil 3.17: Çelik Parçasında Olan Açıklıkların Yer Değiştirme İle Olan İlişkisi



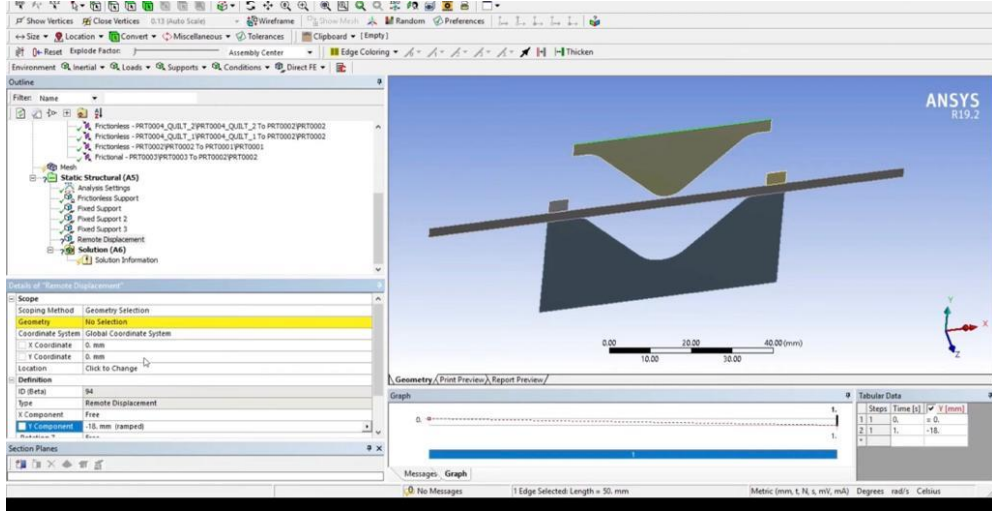
Şekil 3.18: Çelik Malzemesinin Statik Analizi



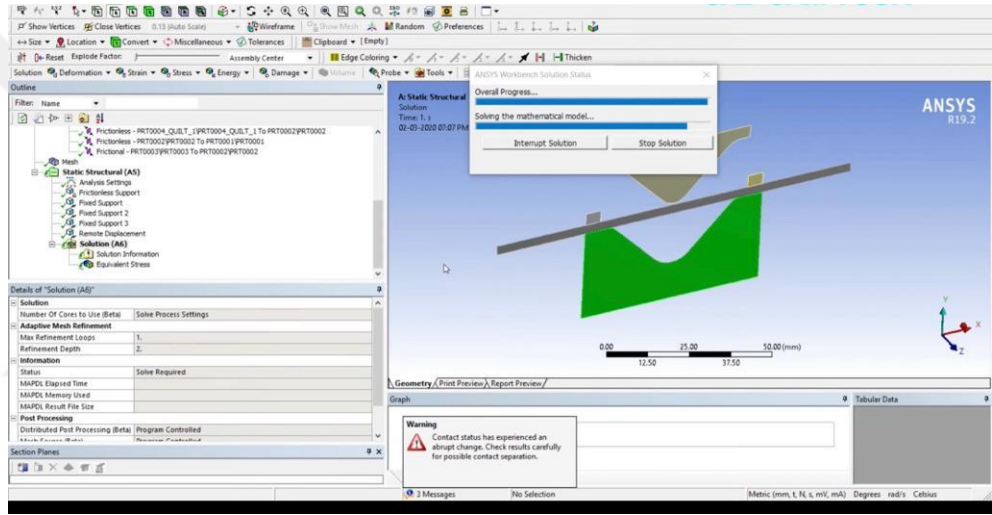
Şekil 3.19: Çelik Parçasının Temas Yüzeyinin Belirlenerek Ayarlanması



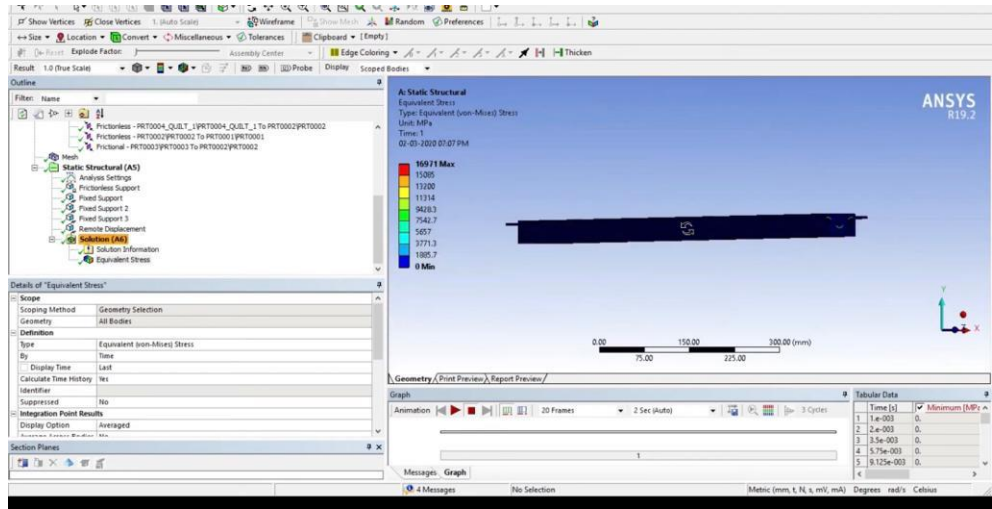
Şekil 3.20: Pres Mekanizmasının Temas Yüzeyinin Ayarlanması



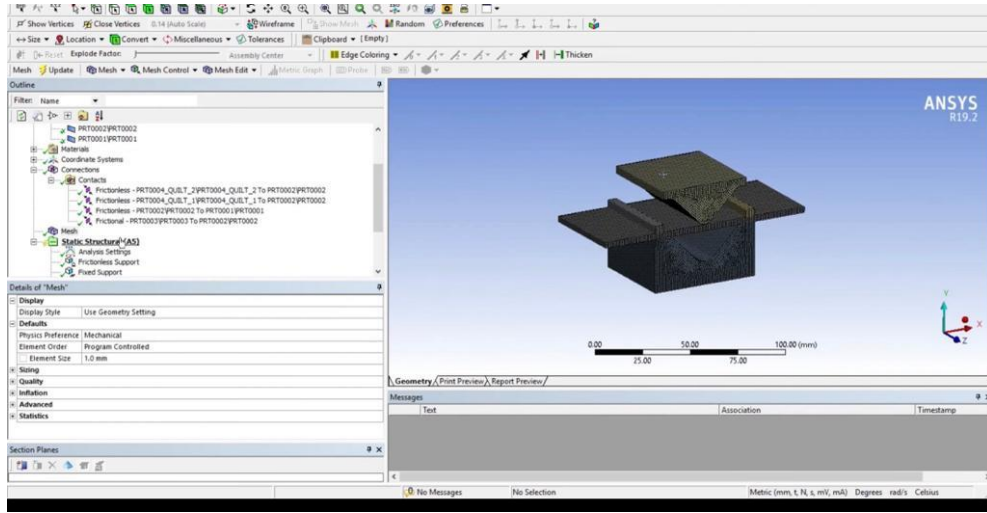
Şekil 3.21: Çelik Malzemesi İçin Yer Değiştirme Detayları



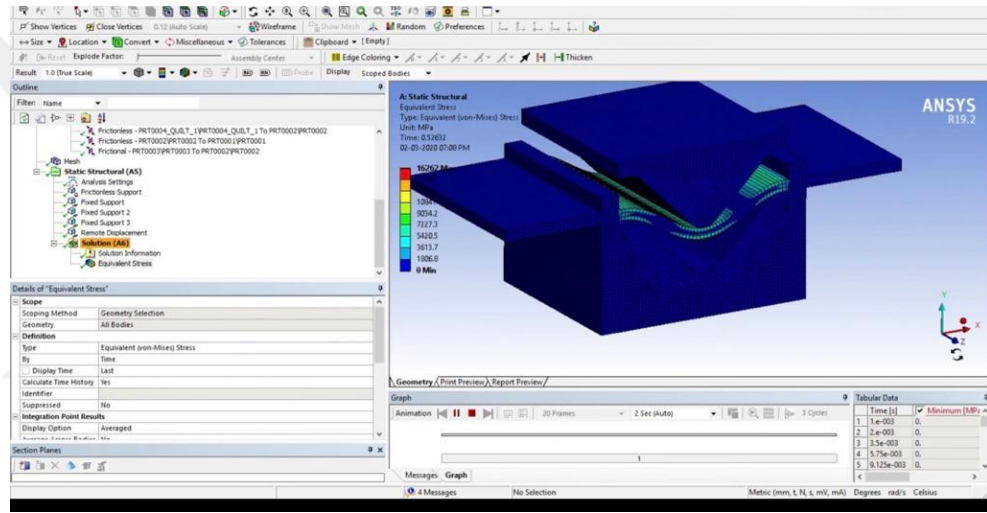
Şekil 3.22: Çelik Levha Bükmenin Statik Yapısal Sonlu Elemanlar Analizi



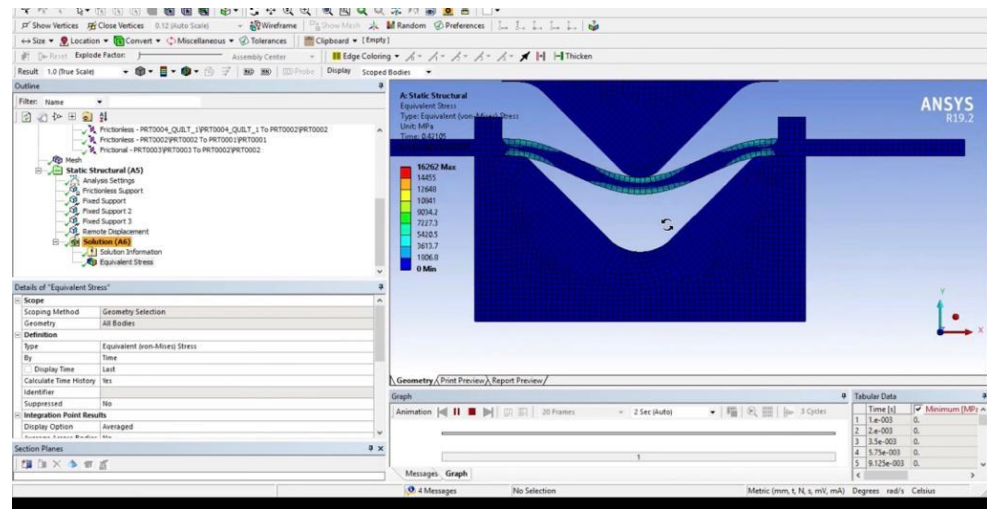
Şekil 3.23: Çelik Malzemesinin Gerilme Değerleri



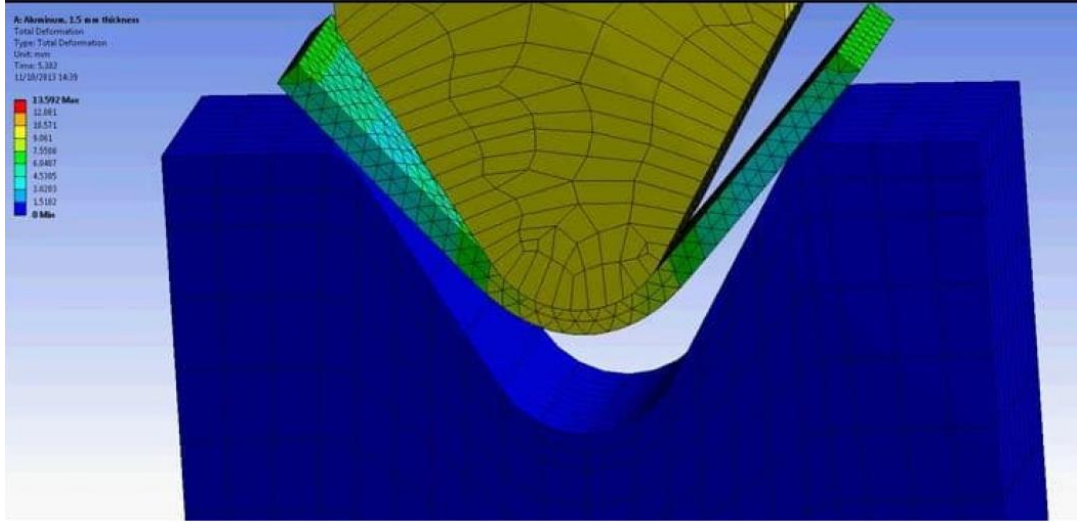
Şekil 3.24: Statik Analizi Yapılan Çelik Parçasının Ağ yapısı



Şekil 3.25: Alüminyum Levha Bükmenin Statik Yapısal Sonlu Elemanlar Analizi

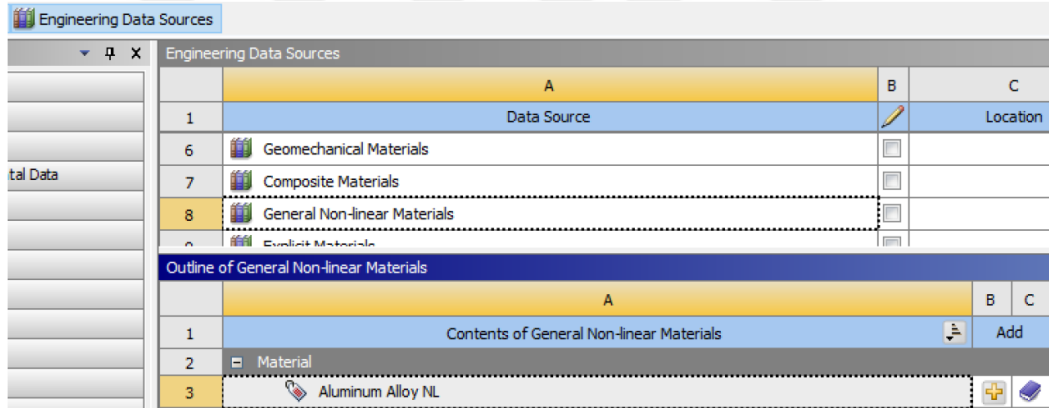


Şekil 3.26: Alüminyum Levha Bükmenin Statik Yapısal Sonlu Elemanlar Analizi



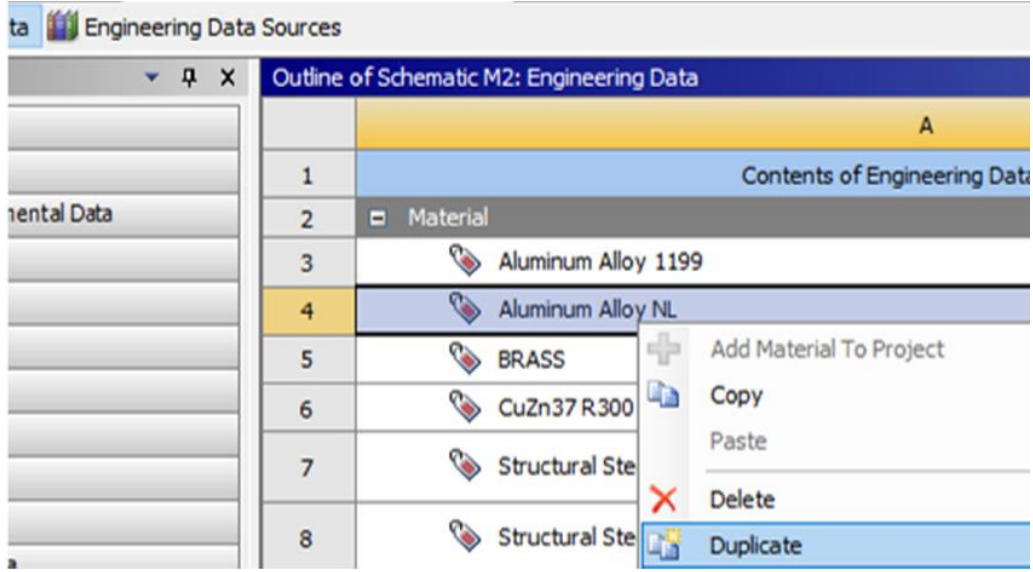
Şekil 3.27: Alüminyum Levha Bükme Sonlu Elemanlar Analizi

Statik bir yapısal senaryoyu araç kutusundan, analiz sistemlerinden sürüklenip bırakılır. Malzemeleri düzenlemek için mühendislik veri hücresine çift tıklanır. Genel doğrusal olmayan malzeme kitaplığı seçilir. Malzemelere Alüminyum Alaşım eklemek için sarı + sembolüne tıklanır.



Şekil 3.28: Alüminyum Alaşım Malzemesi Eklenmesi

Favori malzemeleri görmek üzere mühendislik veri kaynakları düğmesine tıklayın. Yeni eklenen Aluminium Alloy NL, Duplicate'e sağ tıklanır.



Şekil 3.29: Alüminyum Alaşım Malzemesini Kopyalama Yapma

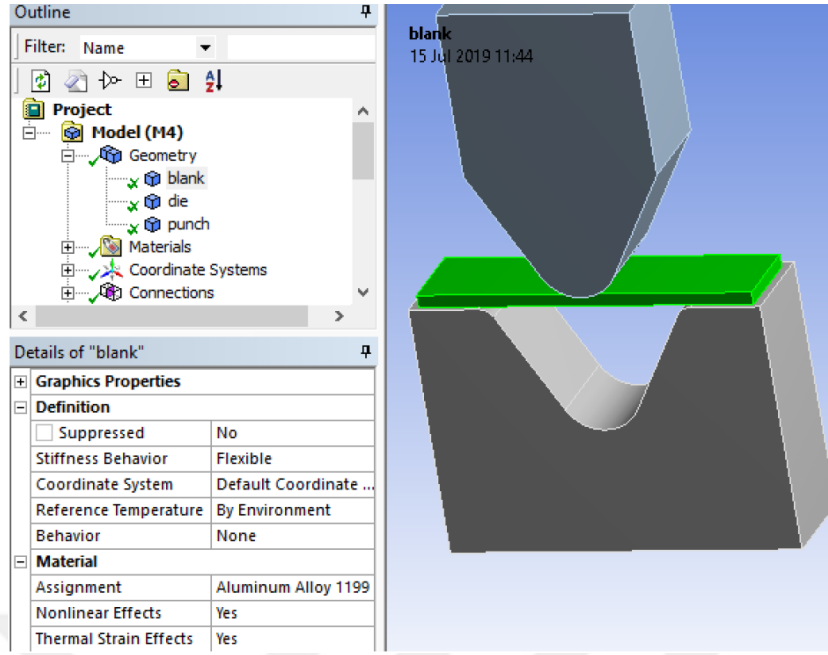
Bu adımın ardından yeni oluşan malzemeyi alüminyum alaşımı 1199 olarak adlandırılmış ve yeni değerler atanmıştır.

Outline of Schematic M2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			Source
2	Material			
3	Aluminum Alloy 1199			General aluminum a -5H, page 3-277.
Properties of Outline Row 3: Aluminum Alloy 1199				
	A	B		
1	Property	Value		
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	2770	kg m ⁻³	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio		
6	Young's Modulus	6,2E+10	Pa	
7	Poisson's Ratio	0,33		
8	Bulk Modulus	6,0784E+10	Pa	
9	Shear Modulus	2,3308E+10	Pa	
10	Bilinear Isotropic Hardening			
11	Yield Strength	1,4E+08	Pa	
12	Tangent Modulus	2,0946E+08	Pa	

Şekil 3.30: Alüminyum Alaşımına Atanan Değerler

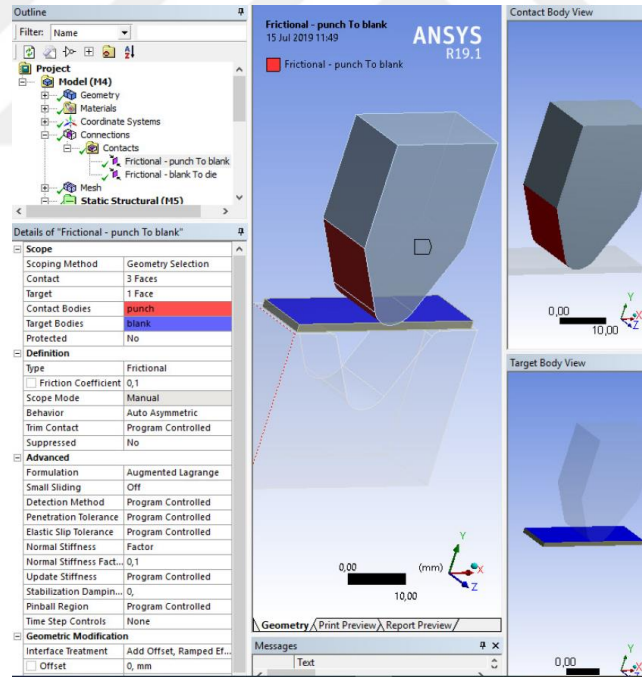
- Ön işleme aşaması

Parçalar Şekil 3.5'te gösterildiği gibi yeniden adlandırılmıştır. Burada yeşil gösterilen iş parçası boştur. Boşa alüminyum alaşım NL ve diğer parçalara yapısal çelik atanmıştır.



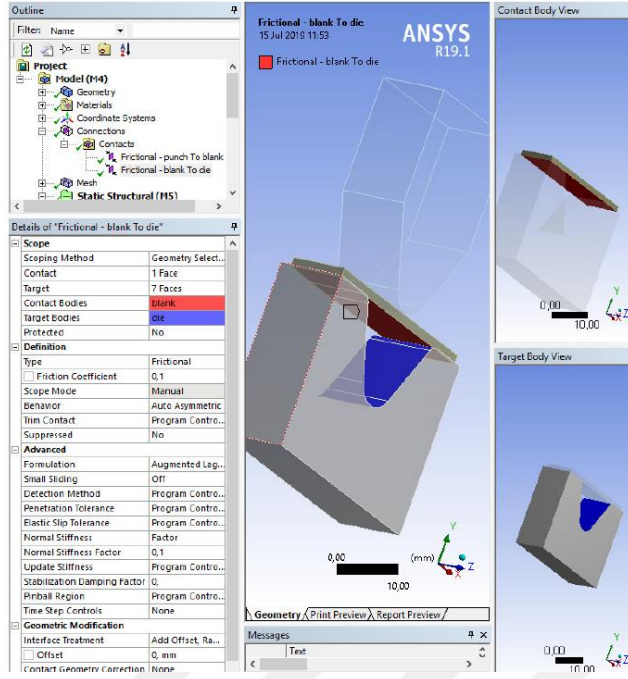
Şekil 3.31: Malzemelerin Atanması

- Kalıp ve boşluk arasındaki temasın ilgili parametrelerin belirlenerek ayarlanması



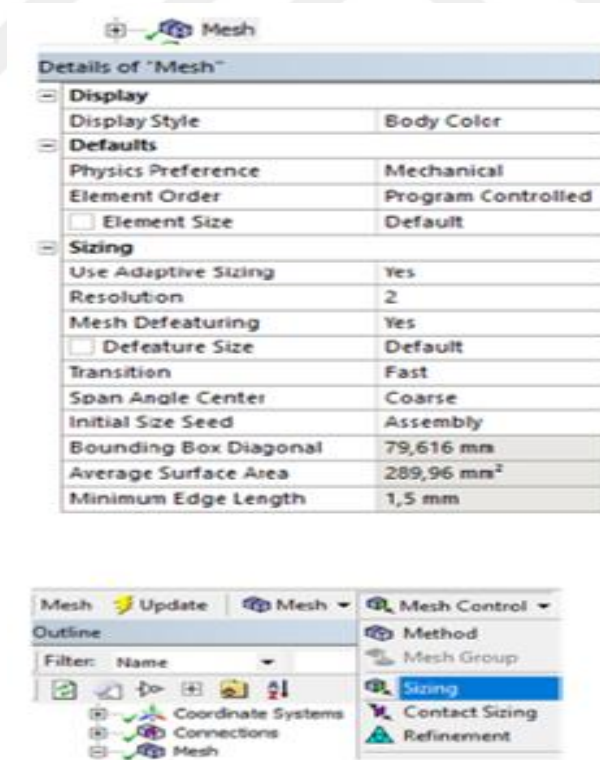
Şekil 3.32: Kalıp ve Boşluk Arasındaki Temasın İlgili Parametrelerin Belirlenerek Ayarlanması

- Bükmenin son aşamalarında boşluğa dokunacak tüm mavi yüzlerin kalıba eklenmesi



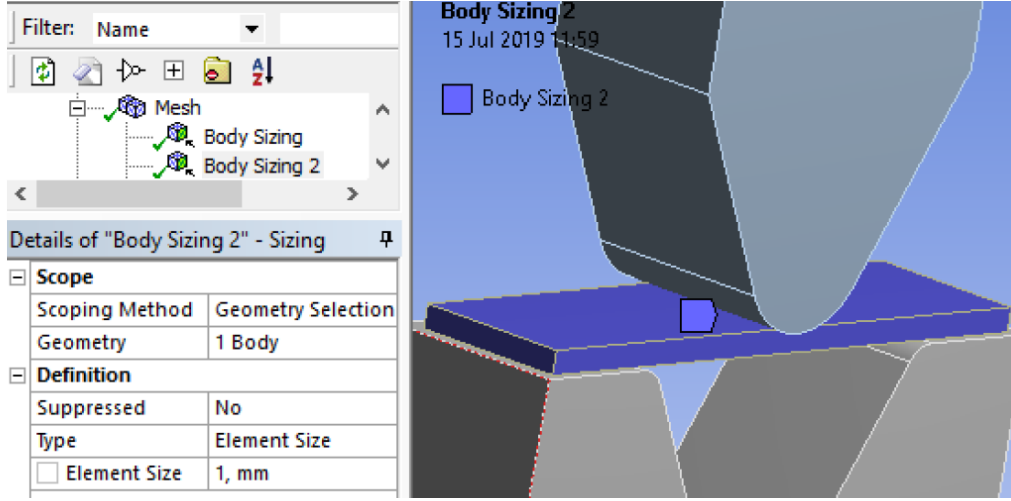
Şekil 3.33: Bükmenin Son Aşamalarında Boşluğa Dokunacak Tüm Mavi Yüzlerin Kalıba Eklenmesi

- Ayrıntıların ağ (mesh) öğesine atanması



Şekil 3.34: Ayrıntıların Ağ (Mesh) Öğesine Atanması

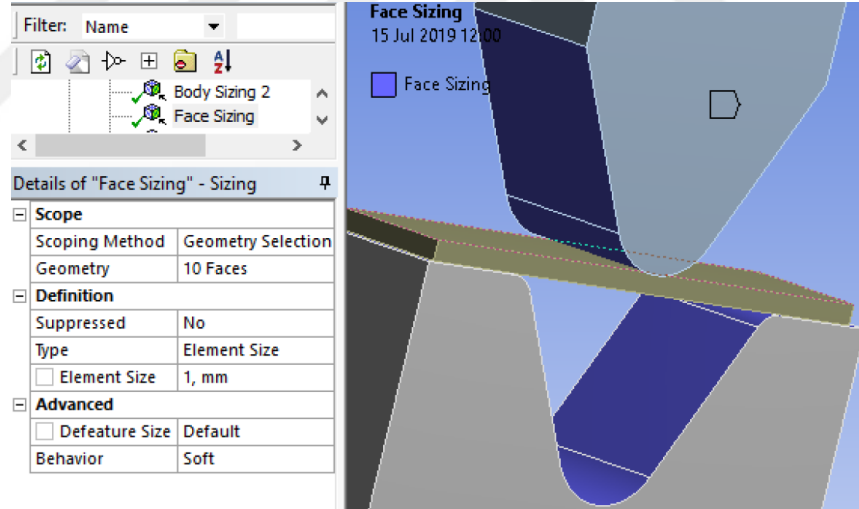
- Komutun tekrarlanması ve boyutlandırmanın boşluğa atanması



Şekil 3.35: Komutun Tekrarlanması ve Boyutlandırmanın Boşluğa Atanması

- Boyutlandırma komutunun tekrarlanması ve bükme işlemi sırasında boşluğa dokunacak olan kalıptan mavi yüzlerin seçilmesi/belirlenmesi

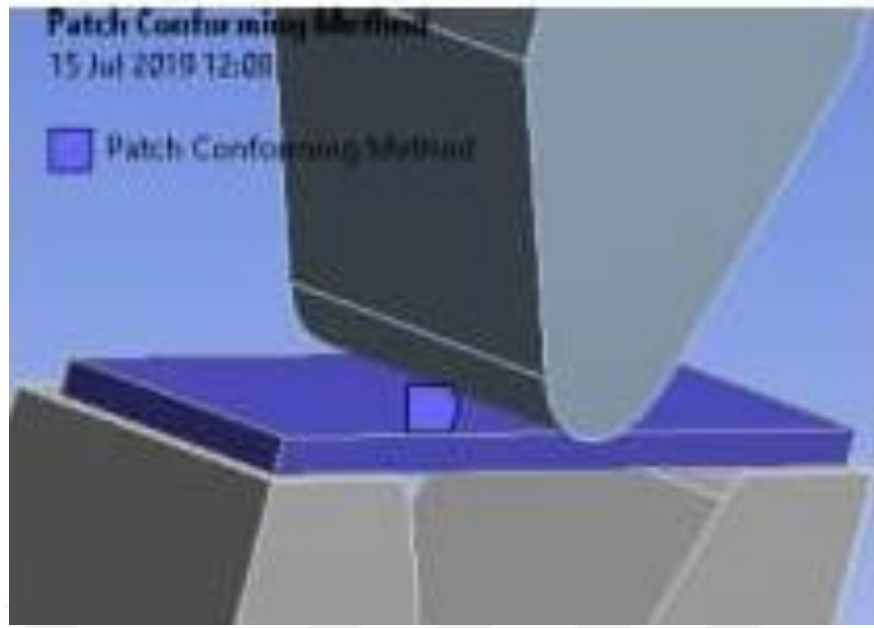
Tıpkı boşluktakine benzer bir ağ olarak ancak sadece boşluğa dokunacak dış yüzler elde edilmektedir. Şekil 3.36’da gösterilmiştir.



Şekil 3.36: Boyutlandırma Komutunun Tekrarlanması ve Bükme İşlemi Sırasında Boşluğa Dokunacak Olan Kalıptan Mavi Yüzlerin Seçilmesi/Belirlenmesi

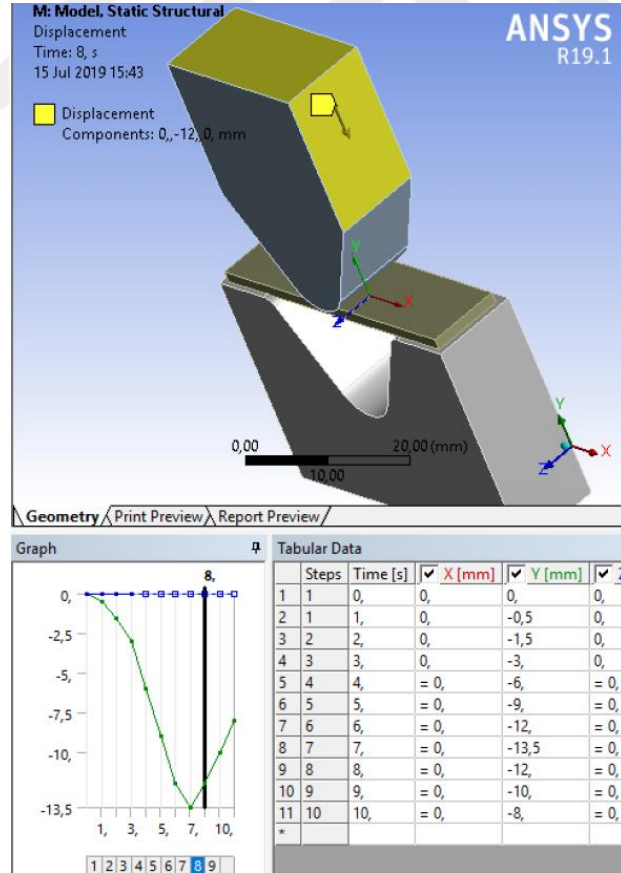
- Boşluğun seçilmesi ve yöntemin atanması

Bu aşamada tetrahedron seçilmiştir.



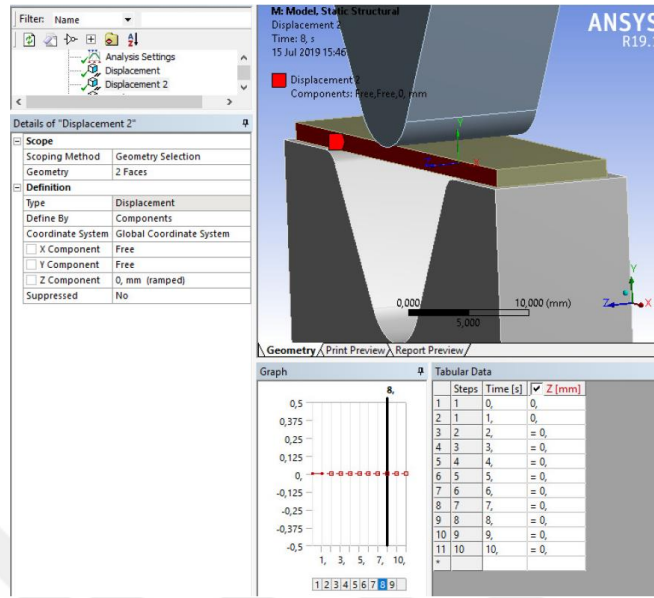
Şekil 3.37: Boşluğun Seçilmesi ve Yöntemin Atanması

Şekil 3.38’de gösterilen 3 yüzey (sarı ile gösterilmiştir) seçilmiştir. Bunun ardından ilgili değerler atanmıştır.



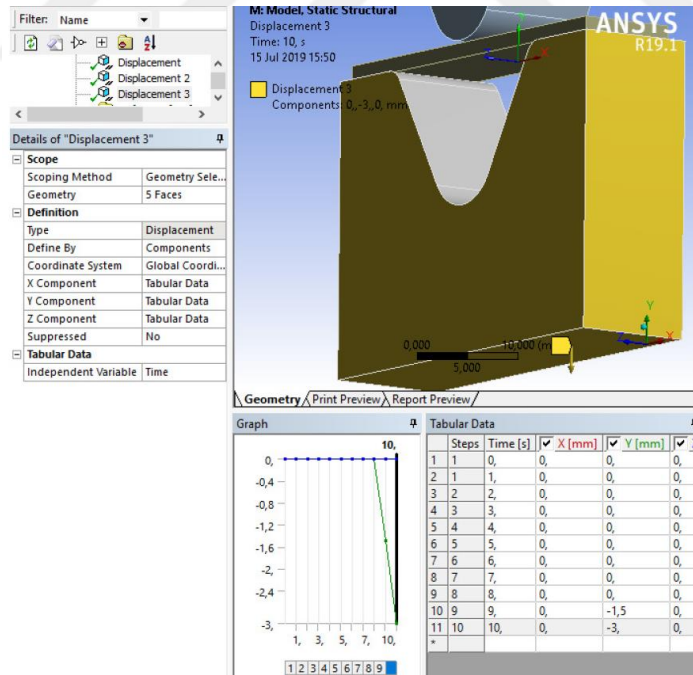
Şekil 3.38: Kalıp Parametrelerinin Belirlenmesi

Komutu tekrarlandıktan sonra boşluğun yanal kırmızı yüzleri Z ekseninde hareket edecek şekilde sınırlandırılmıştır. Şekil 3.39’da gösterilmiştir.



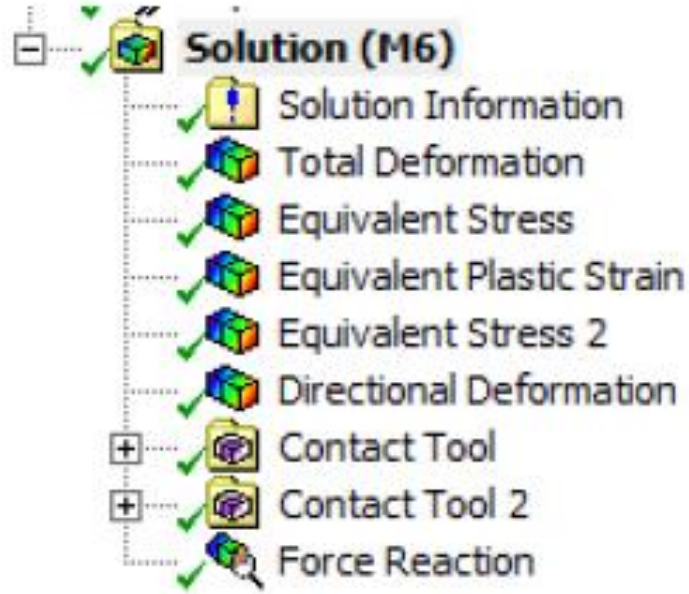
Şekil 3.39: Boşluğun Yanal Yüzleri İçin Kısıtların Belirlenmesi

- Kalıp için yer değiştirme oluşturulması



Şekil 3.40: Kalıp İçin Yer Değiştirmenin Oluşturulması

Bu senaryo için çözüm yapıldıktan sonra Şekil 3.40’ta gösterilen öğeler eklenmiştir.



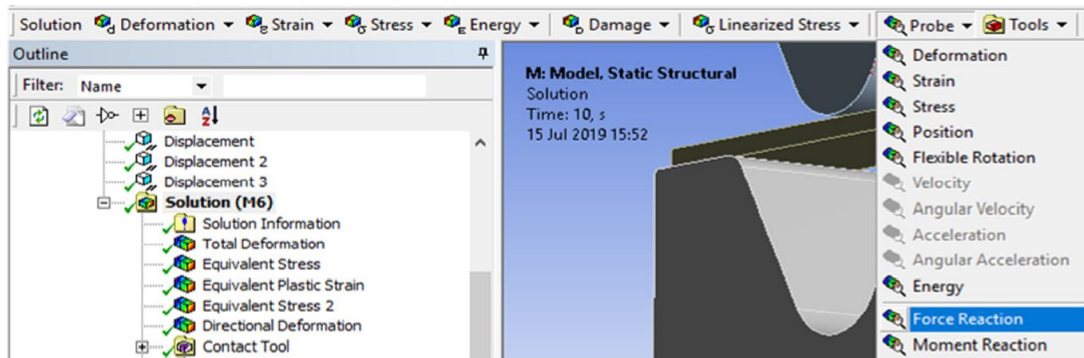
Şekil 3.41: Çözüme Eklene Ögeler

- Temas aracının ve kuvvet tepkilerinin seçilmesi

Temas aracı (contact tool) ve kuvvet tepkilerinin seçilmesi Şekil 3.42 ve Şekil 3.43'te gösterilmiştir.



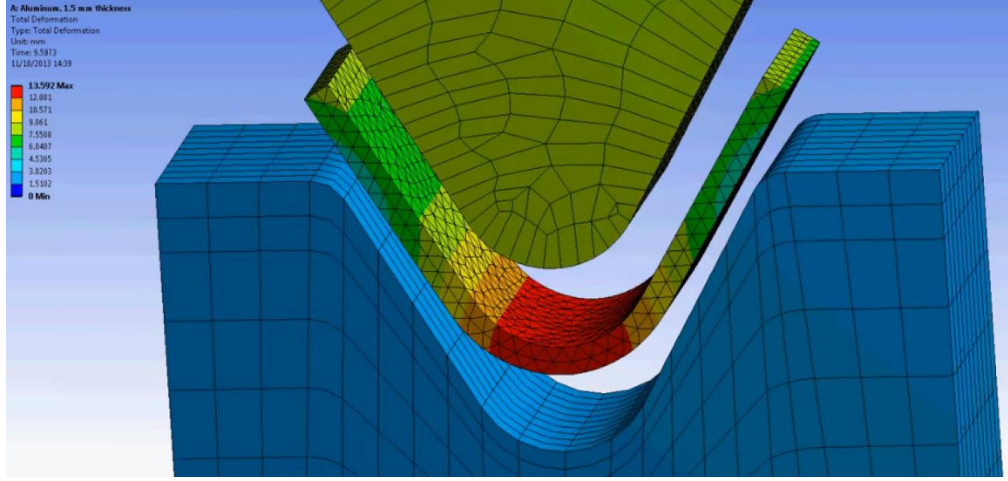
Şekil 3.42: Temas Aracı Seçilmesi



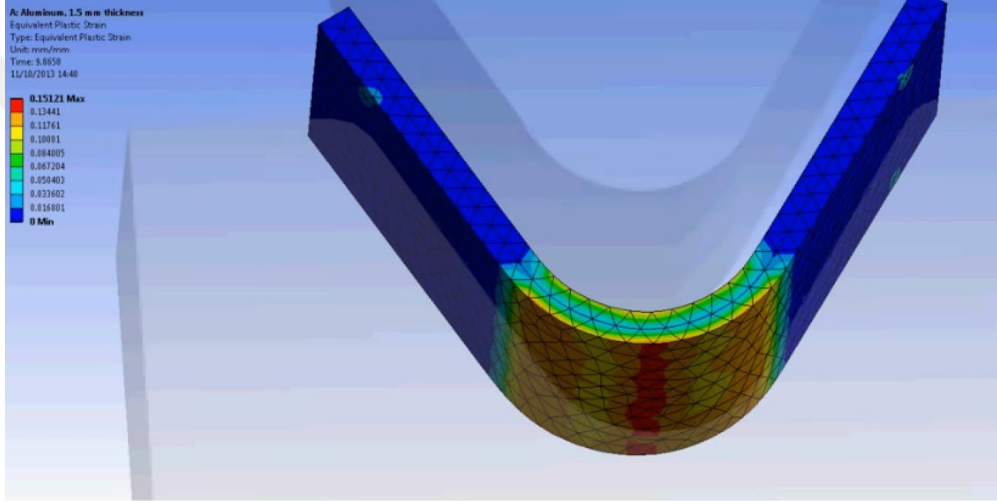
Şekil 3.43: Kuvvet Tepkilerinin Seçilmesi

- Analiz sonucu elde edilen çıktılara ilişkin örnekler

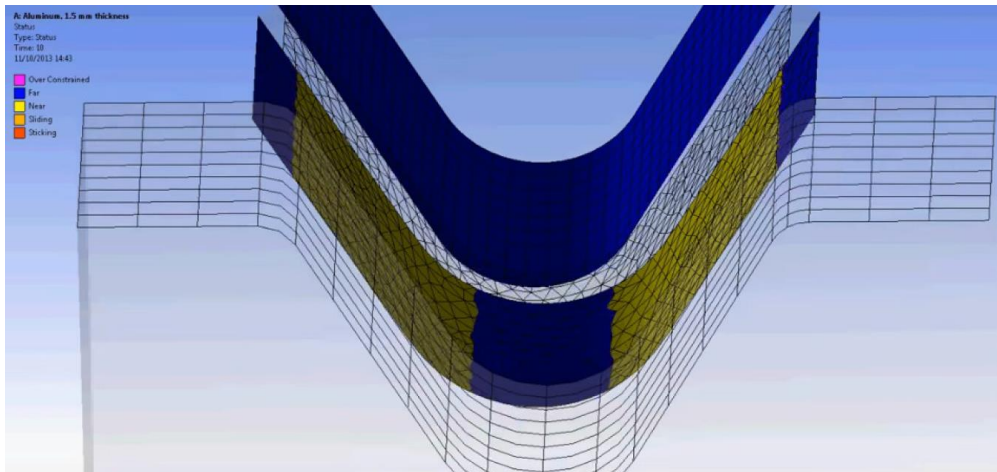
Elde edilen bulgular çalışmanın bir sonraki bölümü olan bulgular bölümünde yer alacaktır. Ancak bu bölümde izlenen metodolojinin çıktılarını göstermek amacıyla bazı örnekler bulunmaktadır.



Şekil 3.44: Toplam Deformasyon Grafiği



Şekil 3.45: Plastik Gerilme Grafiği



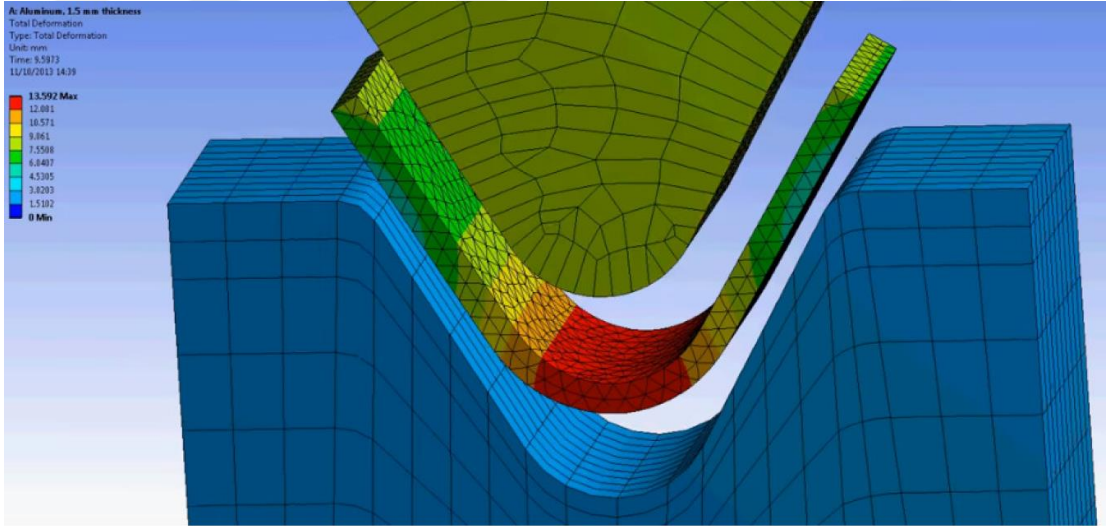
Şekil 3.46: Temas Durum Grafiği

4. BULGULAR

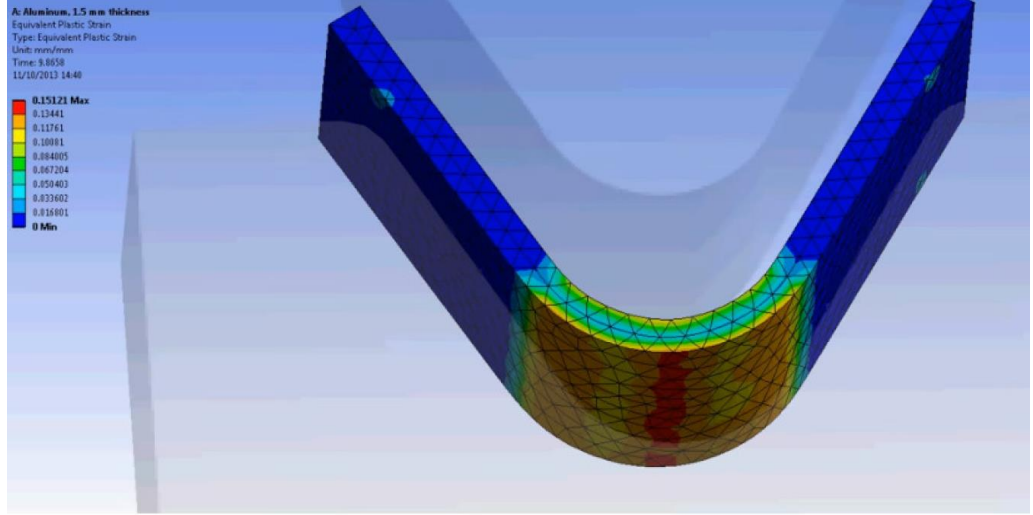
Bu tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular öncelikle aşağıda verildiği gibi listelenmiştir. Bunun ardından tüm bulgular ilgili şekillerde gösterilmiştir.

- Toplam deformasyon grafiği
- Eşdeğer plastik gerilme grafiği
- Temas durum grafiği (temas eden her iki yüzey için)
- Montajın tamamında eşdeğer gerilim grafiği
- Kuvvet tepki grafiği
- Dikey Y ekseninde yönlü deformasyon grafiği.
- Boşlukta eşdeğer gerilme grafiği

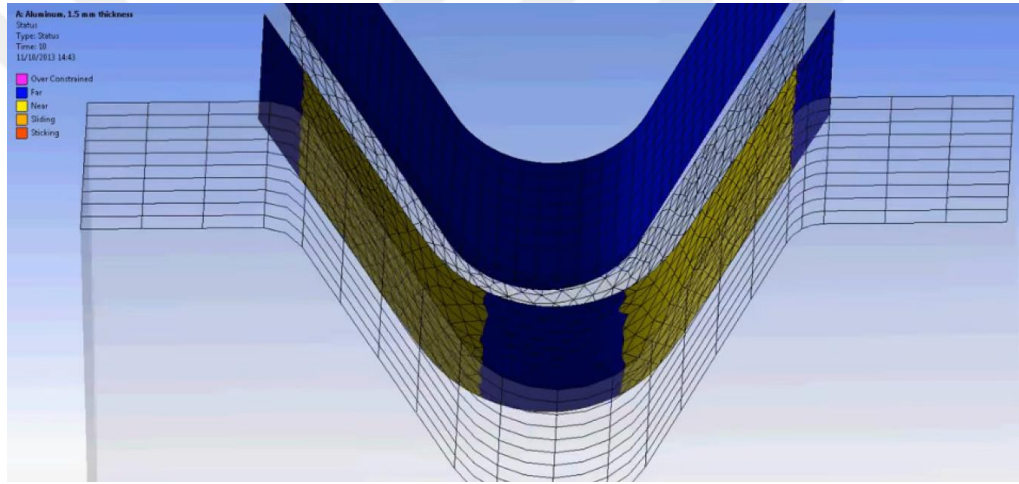
Toplam deformasyon grafiği Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Eşdeğer plastik gerilme grafiği Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Temas durum grafiği ise Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



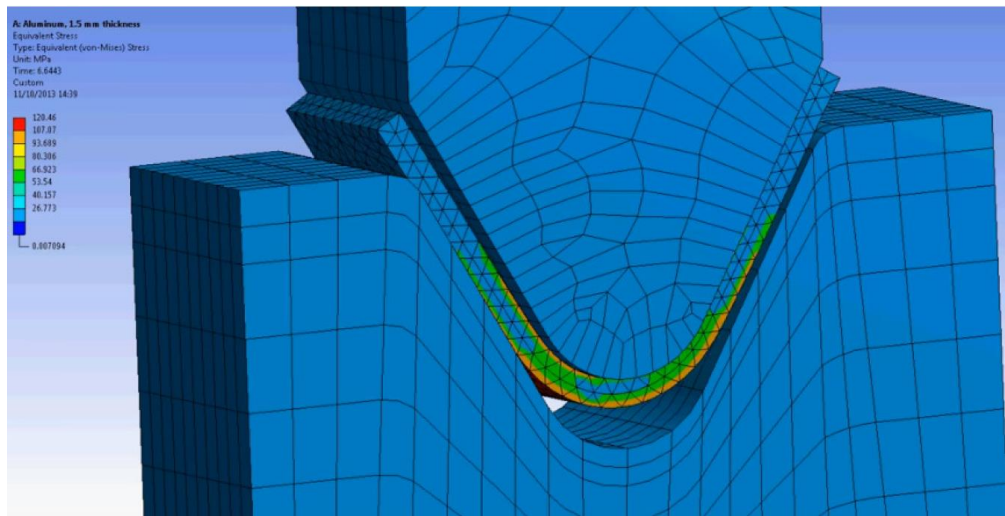
Şekil 4.1: Toplam Deformasyon Grafiği



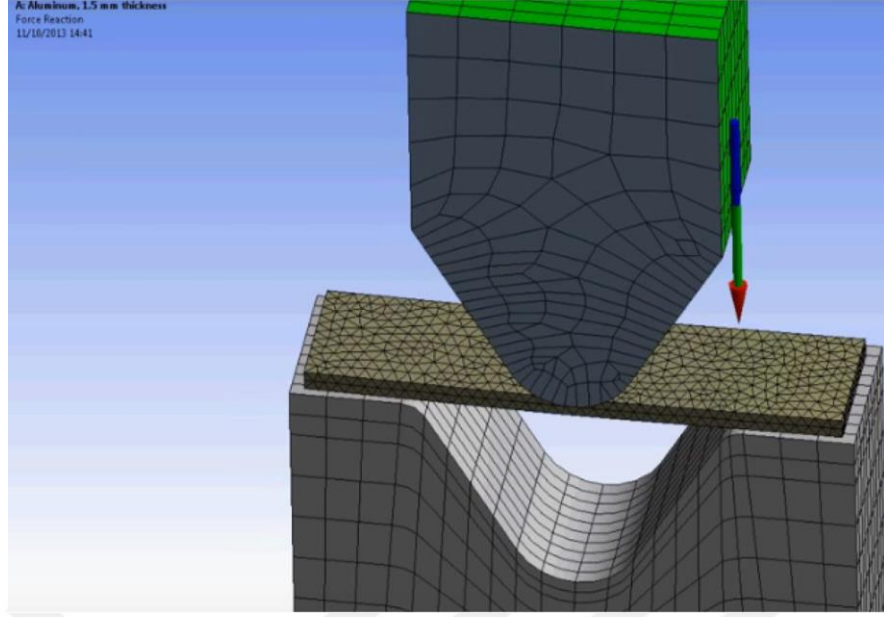
Şekil 4.2: Eşdeğer Plastik Gerilme Grafiği



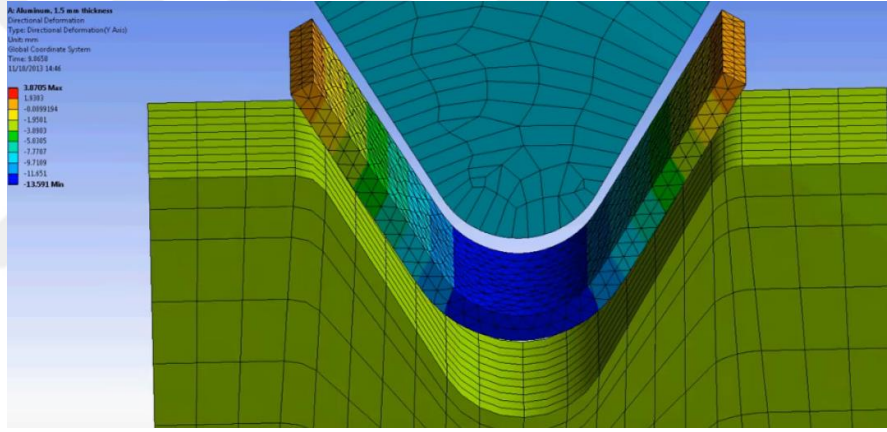
Şekil 4.3: Temas Durum Grafiği



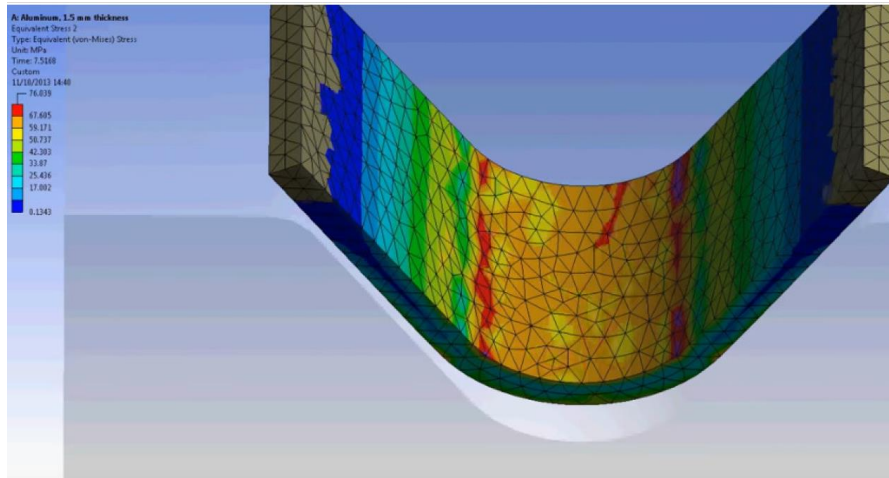
Şekil 4.4: Montajın Tamamında Eşdeğer Gerilim Grafiği



Şekil 4.5: Kuvvet Tepki Grafiği



Şekil 4.6: Dikey Y Ekseninde Yönlü Deformasyon Grafiği



Şekil 4.7: Boşlukta Eşdeğer Gerilme Grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezin amacı imalat sanayinde alüminyumun kullanım yerlerinin ve alüminyum parça tasarımında dikkat edilen noktaların ortaya konulmasıdır. ANSYS yazılımı kullanılarak belirlenen alüminyum parça için mekanik analiz yapılmıştır. Mekanik özelliklerin modellenmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Bu bağlamda söz konusu tez çalışması alüminyumun imalat sanayindeki yerini hem kuramsal hem de uygulamalı olarak ortaya konulmuştur.

Öncelikle alüminyumun tanımı ve özellikleri, imalat sanayinde kullanım yerleri ve alüminyumun tasarımında dikkat edilen noktalara yer verildikten sonra belirlenen alüminyum parçası için mekanik analizler yapılmıştır. Bu tez kapsamındaki mekanik analizler ANSYS yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. ANSYS yazılımı kullanılarak belirlenen alüminyum parça için mekanik analiz yapılmıştır. Mekanik özelliklerin modellenmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

ANSYS, çok çeşitli mekanik problemleri sayısal olarak çözmek için genel amaçlı, sonlu eleman modelleme paketidir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizler ANSYS Workbench v15 ve üzeri sürümlerde kullanılabilir. Bu bağlamda alüminyum levha bükümünün statik yapısal özellikleri analiz edilmiştir. Aşağıda yer alan çalışmalar yapılmıştır.

- Plastisiteyi destekleyen doğrusal olmayan malzemelerle çalışmak
- Daha hızlı çözüme süresi için basitleştirilmiş bir şekilde ağ (mesh) oluşturmak
- Büyük deformasyonlarla çalışmak
- Geçici davranış için uygun analiz ayarlarını tanımlamak
- Stres, gerilme, deformasyon vb. için uygun çıktıyı tanımlamak
- Sonuçları ilgili ihtiyaçlara göre kolayca özelleştirmek

Bu tez çalışmasında abkant pres (makas pres) ile alüminyum levha bükme işlemine benzetilerek modellenmiştir ve statik yapısal özellikler analiz edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular aşağıda verildiği gibi listelenmiştir.

- Toplam deformasyon grafiği
- Eşdeğer plastik gerilme grafiği
- Temas durum grafiği (temas eden her iki yüzey için)
- Montajın tamamında eşdeğer gerilim grafiği
- Kuvvet tepki grafiği
- Dikey Y ekseninde yönlü deformasyon grafiği.
- Boşlukta eşdeğer gerilme grafiği

Bazı çalışmalara yönelik öneriler ise aşağıda verilmiştir:

- Boşluğun boyutunun önce 0.5 mm olarak belirlenmesi ve ardından 1.5 mm olarak belirlenmesi. Aynı çözümlerin tekrarlanıp sonuçların alınması ve karşılaştırma yapılması.
- Sürtünme sabitlerinin 0.2 ve 0.3 olarak alınması. Aynı çözümlerin tekrarlanıp sonuçların alınması ve karşılaştırma yapılması.
- Stabilizasyon yapılması. Bunun ardından aynı çözümlerin tekrarlanıp sonuçların alınması ve karşılaştırma yapılması.

KAYNAKLAR

Dobrzański, L.A. Śliwa, A. Tański, T. (2009). Finite element method application for modeling of mechanical properties. *Archives of Computational Materials Science and Surface Engineering* 1(1), 25-28.

Pelleg, J. (2013). *Mechanical properties of materials*. Springer.

Rattan, S. S. (2011). *Strength of materials*. McGraw Hill.

Ravi, B. (2006). Design for castability, IIT Bombay, archived from the original (PDF).

Schneider, G. (2009). *Machinability of metals*. American Machinist.

Jain, C.M. (2009). Textbook of Engineering Physics

Url-1 <<https://matmatch.com/materials/mama00000100-aluminium/>>, alındığı tarih: 13/01/2023.

Url-2 <<https://matmatch.com/resources/blog/top-10-uses-of-aluminium-in-the-industry-today/>>, alındığı tarih: 13/01/2023.

Url-3 <<https://matmatch.com/resources/blog/top-10-uses-of-aluminium-in-the-industry-today/>>, alındığı tarih: 13/01/2023.

Url-4 <<http://www.aluminyumdokum.org/etiket/model-yapiminda-dikkat-edilecek-hususlar/>>, alındığı tarih: 13/01/2023.

Url-5 <<https://autoprotoway.com/aluminum-car-parts-guide/>>, alındığı tarih: 13/01/2023.

Url-5 <<https://matmatch.com/resources/blog/aluminium-alloys-in-aerospace-industry/>>, alındığı tarih: 13/01/2023.

Url-6 <<https://www.rsc.org/periodictable/element/13/aluminium#:~:text=Aluminium%20is%20a%20silvery%2Dwhite,It%20is%20soft%20and%20malleable.&text=Aluminium%20is%20used%20in%20a,beer%20kegs%20and%20aeroplane%20parts>>, alındığı tarih: 13/01/2023.

Url-8 <<https://www.ekstrametel.com.tr/upload/Node/42915/xfiles/62-ModelYapimiFull.pdf>>, alındığı tarih: 13/01/2023.

Url-9 <<https://www.thyssenkrupp-materials.co.uk/uses-of-aluminium.html>>, alındığı tarih: 13/01/2023.

Url-10 <<https://www.ansys.com/>>, alındığı tarih: 13/01/2023.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali Rıza Güven

EGİTİM:

- **Lisans** : **2014-2015** Fırat Üniversite Makine Mühendisliği (Hazırlık)
2015-2019 Nisantaşı Üniversitesi Makine Mühendisliği
2022- Manisa Celal Bayar Üniversitesi Siyasal Bilgiler ve Uluslararası İlişkiler (İngilizce) İÖ (Devam ediyor)
- **Yüksek Lisans** : **2019-2023** Gedik Üniversitesi Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2022 GES Plastik Enjeksiyon (Gece vardiyası – Vardiya Mühendisi /Üretim şefi)
- 2022 Ekşioğlu Seger Orman Ürünleri/ İmalat Şefi ve Makine Kontrol Şef
- 2022 AND Analiz Test Ölçüm Lav. Hiz. /Asansör Periyodik Kontrol Mühendisi
02.2019-05.2019 Mert Teknik Fabrika A.Ş
- 07.2010-08.2010 Borusan Makina (Staj)