

**AA 5754 MALZEMESİNİN DERİN ÇEKME METODU  
İLE SOĞUK-SICAK ŞEKİLLENDİRİLMESİ  
VE FEM İLE ANALİZİ**

**2010**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**Aysu AKILLI**

**AA 5754 MALZEMESİNİN DERİN ÇEKME METODU İLE SOĞUK-SICAK  
ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE FEM İLE ANALİZİ**

**Aysu AKILLI**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2010**

Aysu AKILLI tarafından hazırlanan "AA 5754 MALZEMESİNİN DERİN ÇEKME METODU İLE SOĞUK- SICAK ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE FEM İLE ANALİZİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/ 06/ 2010


Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası


Başkan : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ (KBÜ)

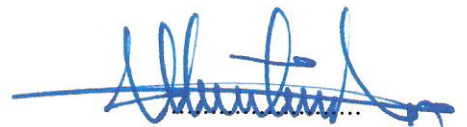


23.07/2010

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ V.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Aysu AKILLI

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **AA 5754 MALZEMESİNİN DERİN ÇEKME METODU İLE SOĞUK-SICAK ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE FEM İLE ANALİZİ**

**Aysu AKILLI**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ**

**Haziran 2010, 67 sayfa**

Bu çalışmada, derin çekme işlemlerinde 25°C ve 220°C’ deki şekillendirmenin cidar kalınlığı ve kap derinliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sıcaklık 200°C den sonraki sınırlarda geri esnemenin azalma gösterdiği için bu sıcaklık değerleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Derin çekme modeli olarak silindirik kap seçilmiştir ve malzeme olarak alüminyum alaşımı olan 2 mm kalınlığındaki AA5754 kullanılmıştır. Sac levhanın silindirik kap şeklinde biçimlendirilmesi teorik ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Derin çekme ile şekillendirmenin teorik analizi ANSYS/LS-DYNA yazılımı kullanılarak çözümlenmiştir. Deneysel ve teorik sonuçların 25°C ve 220°C de 0°-45° ve 90° deki kap kesitlerinden cidar kalınlık değişimleri karşılaştırması yapılmıştır. Silindirik derin çekme işleminde Alüminyum malzemesinde en iyi şekillenme 2 MPa

ile gerekleŖtiđi için 1,5-2-3-4-5 MPa aralıklarında baskı plakası kuvvetleri kullanılmıŖtır. Bu deneyler sonucunda baskı plakası kuvvetleri ile sıcaklığa bağlı olarak kalınlıklarında homojen incelme ve derinliklerinde ise artma gzlemlenmiŖtir. GeliŖtirilen teorik ve deneysel modelin birbiriyle % 90 oranında uyumlu olduğu gzlemlenmiŖ uyumsuzluğun nedenleri araŖtırılmıŖtır.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, silindirik ekme, cidar kalınlığı

**Bilim Kodu** : 626.08.01

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **COLD-HOT FORMING OF AA 5754 VIA DEEP DRAWING METHOD AND ITS FEM ANALYSIS**

**Aysu AKILLI**

**Karabuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Halil İbrahim DEMİRÇİ**

**June 2010, 67 pages**

In this study, the effects of deep drawing forming operations at 25 °C and 220 °C on wall thickness and forming depth was investigated. The experiments were performed above 200 °C due to decreasing spring back effect on the relative temperatures. A cylindrical cup was chosen as a deep drawing model and the material was decided as aluminum alloy AA5754 in 2 mm thickness. Forming of the cylindrical cup from sheet metal was fulfilled as in theoretical and experimental studies.

Theoretical analysis of deep drawing was analyzed with ANSYS/LS-DYNA software. The changes of wall thicknesses at the angular sections of 0, 45 and 90 ° were compared based on the results obtained from theoretical and experimental studies which made at 25 and 220 °C. The best aluminum cylindrical deep drawing shape aluminum cylindrical deep drawing process takes place in at 2 MPa and the

pressure plate force was used at 1.5-2-3-4-5 MPa ranges. The results show that a homogenous thinning and depth increase are occurred in accordance with increasing of pressure plate force and temperature values.

The theoretical and experimental models developed are in good harmony of 90%. The causes of small disagreement are investigated.

**Keywords** : Aluminum, cylindrical drawing, wall thickness.

**Science Code** : 626.08.01



## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca, desteğini ve yardımını hiçbir zaman esirgemeyen, danıőman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ' ye, similasyon analizi yardımından dolayı Doç. Dr. Mustafa YAŞAR' a K.B.Ü. Teknik Eğitim Fakóltesi Makine Eğitimi bölümünde hidrolik presin kullanımındaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARALI' ya, tez yazımında yardımını esirgemeyen Cevdet GÖLOğLU'na ve bu çalıőmaya baőladıęından bu yana yardımlarını esirgemeyen aileme ve Oęuzhan BİLDİK'e teşekkür ederim.

Çalıőmalarımın her safhasında anlayıőını, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, rahmetli babam Hayri AKILLI, annem Nurten AKILLI, ablalarım Emel SADIÇ, Ebru YENİLMEZ ve ağabeyim Serkan AKILLI' ya minnettarlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ. ....	1
1.1. ÇEKME KALIBI TASARIMININ AMACI .....	2
1.2. ÇEKME KALIBI TASARIMININ ÖNEMİ.....	2
1.3. ÇALIŞMANIN LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALARI .....	4
BÖLÜM 2. ....	11
DERİN ÇEKME .....	11
2.1. ÇALIŞMADAKİ DERİN ÇEKME YÖNTEMİ .....	11
2.2. DERİN ÇEKME MEKANİĞİ .....	12
2.3. DERİN ÇEKME ORANI.....	14
2.4. DERİN ÇEKME KABİLİYETİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER .....	14
2.4.1. Elastisite (Young) Modülü .....	16
2.4.2. Pekleşme Üsteli “n” .....	17
2.4.3. Deformasyon Hız Duyarlılığı Üssü (m) .....	18
2.4.4. Plastik Anizotropi “r” .....	19
2.5. ÇEKME İŞLEMİNDE KALIP GEOMETRİSİNİN ETKİSİ .....	20
2.6. BASKI PLAKASI KUVVETİ .....	21

	<u>Sayfa</u>
2.7. SAC KALINLIĞI VE TANE BOYUTU.....	21
2.8. DERİN ÇEKME HIZI .....	22
2.9. YAĞLAMA .....	22
2.10. ÜRÜN GEOMETRİSİ.....	22
2.11. YÜKSEK SICAKLIĞIN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ .....	23
2.12. ÇEKME KALIBININ TASARIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER .....	23
2.13. DERİN ÇEKİLME İŞLEMİ SIRASINDA SAÇLARDA GÖRÜLEN HATALAR.....	23
 BÖLÜM 3. ....	 25
DENEY DÜZENİĞİNİN KURULMASI .....	25
3.1. KALIP TASARIMI .....	25
3.1.1. Çekilecek Sacın İlkel Sac Çap Hesabı .....	26
3.1.2. Zimba Kenarının Yuvarlaklığı.....	27
3.1.3. Matris Kenarının Yuvarlaklığı.....	27
3.1.4. Zimba ile Matris Arasındaki Boşluk (Çekme aralığı).....	28
3.1.5. Baskı Plakası Kuvveti .....	30
3.2. ÇEKME SACININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ .....	31
3.2.1. Kimyasal Birleşimi.....	32
3.2.2. Malzeme Özellikleri.....	32
3.3. ÇALIŞMADA YAPILAN ÇEKME DENEYLERİ .....	33
 BÖLÜM 4. ....	 34
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ .....	34
4.1. SAC LEVHALARIN ŞEKİLLENDİRME İŞLEMİNİN SİMÜLASYONU .....	34
4.1.1. İmplicit Yöntem .....	34
4.1.2. Dinamik Eksplisit yöntem .....	35
4.2. ANSYS LS-DYNA PROGRAMI (DYNA3D).....	36

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5. ....	37
TEORİK MODELLEME .....	37
5.1. MODELİN TASARLANMASI .....	37
5.2. MESH MODELLEME .....	37
5.3. KONTAK (SÜRTÜNME) MODELİNİ OLUŞTURMA .....	38
5.4. TEORİK SONUÇLAR .....	39
BÖLÜM 6. ....	40
SICAKLIĞA GÖRE DEFORMASYON İŞLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	40
6.1. KLASİK SINIFLANDIRMA.....	40
6.2. BENZEŞME SICAKLIĞI ( $T/T_m$ ) GÖRE SINIFLANDIRMA.....	40
BÖLÜM 7. ....	41
DENEYSEL VE TEORİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI .....	41
7.1. SACIN BURUŞMA VE YIRTIK SINIRLARININ TESPİTİ.....	41
7.2. BASKI PLAKASI KUVVETİNİN VE SICAKLIĞIN KABIN DERİNLİĞİNE ETKİSİ.....	41
7.3. BASKI PLAKASI KUVVETİNİN CİDAR KALINLIĞINA ETKİSİ .....	44
BÖLÜM 8. ....	46
ANSYS LS-DYNA İLE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	46
8.1. 25°C ve 220°C DEKİ DENEYSEL SONUÇLAR.....	49
BÖLÜM 9. ....	53
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	58
EK AÇIKLAMALAR A. HİDROLİK PRESİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	59

**Sayfa**

EK AÇIKLAMALAR B. SAC LEVHANIN 1,5-2-3-4 VE 5 MPa DAKİ 25°C VE 220°C DENEY SONUCUNDAKİ KESİT GÖRÜNTÜLERİ.....	61
EK AÇIKLAMALAR C. FEM ANALİZİ İLE SAC LEVHANIN 1,5-2-3-4 VE 5 MPa DAKİ MESH ÖRÜLMÜŞ GERİLME ANALİZİ KESİT GÖRÜNTÜLERİ.....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Sac levhanın çekilme aşaması.....	3
Şekil 1.2. Kesitteki değişim oranı.....	4
Şekil 1.3. Şekillendirme sonrası iş parçasının a) Sayısal b) Deneysel modeli.....	5
Şekil 1.4. Buruşma sınırı altındaki numunelerin bir fotoğrafı vesonlu elemanlar metodu ile yapılmış modellemesi. ....	5
Şekil 1.5. Kap Yüksekliği ve Limit Çekme Oranı .....	6
Şekil 1.6. Basit bir ılık derin çekme prosesinin şematik olarak gösterimi .....	7
Şekil 1.7. Geri esneme miktarının sıcaklıkla değişimi .....	8
Şekil 1.8. Eğme kuvvetinin sıcaklıkla değişimi .....	8
Şekil 1.9. -50°C~250°C sıcaklıkları arasındaki (a)sertleşme üssü (b) Uzama diyagramı.....	9
Şekil 1.10. Derin çekme kalıplarında, optimum çekme oranlarında et kalınlığı değişimi. ....	10
Şekil 1.11. R=6 mm için kalıp açısı değişimine bağlı numuneler.....	10
Şekil 2.1. Basit bir derin çekme işlemi .....	11
Şekil 2.2. Çekme kalıbındaki işlev bölgeleri.....	12
Şekil 2.3. Derin çekmenin mekaniği.....	13
Şekil 2.4. Derin çekme esnasında parçada boylamsal kısımlarda meydana gelen gerilmeler. ....	13
Şekil 2.5. Orta karbonlu çeliklerin gerilme gerinim eğrisi.....	15
Şekil 2.6. Düzgün akma gösteren bir malzemenin çekme diyagramında akma gerilmesinin bulunması .....	16
Şekil 2.7. n değerinin kritik deformasyon miktarına etkisi .....	18
Şekil 2.8. Çeşitli malzemeler için derin çekme oranı sınırının ortalama dikey anizotropi “r” katsayısına bağlı değişimi . ....	19
Şekil 2.9. Çekme kalıbındaki a) Sac değişim bölgeleri, b) Kalıbın bölgeleri .....	20
Şekil 3.1. Derin Çekme Deney Düzenegi .....	25
Şekil 3.2. Elde edilecek silindirik kap.....	26

## Sayfa

Şekil 3.3. Kalıptaki Çekme Boşluğu.....	28
Şekil 3.4. İlk kademedeki derin çekme kalıbının ölçüleri.....	30
Şekil 5.1. Sonlu elemanlar modelinde kalıbın mesh örülmüş kesit görünüşü.....	38
Şekil 5.2. Sonlu elemanlar modelinde kalıbın kontak yapılmış kesit görünüşü.....	38
Şekil 5.3 a) Çekilmemiş sac, b) 1/2 Çekilmiş kap, .....	39
Şekil 7.1. Kulaklanma ve yırtılma sınırındaki numunenin sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmış analizi (5 MPa).....	41
Şekil 7.2. Çekilen kapların deney sonuçları.....	42
Şekil 7.3. İncelenen kapların ortalama derinlikleri.....	43
Şekil 7.4. 3 MPa'da 25°C ve 220°C deki çekilmiş kapların yüzey görüntüleri.....	43
Şekil 7.5. ANSYS LS-DYNA analiz sonucu .....	44
Şekil 7.6. Parçanın kafes şeklinde görünüşü .....	45
Şekil 8.1. Farklı kesitlerdeki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması 1,5 MPa .....	46
Şekil 8.2. Farklı kesitlerdeki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması 2 MPa .....	47
Şekil 8.3. Farklı kesitlerdeki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması 3 MPa .....	47
Şekil 8.4. Farklı kesitlerdeki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması 4 MPa .....	48
Şekil 8.5. Farklı kesitlerdeki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması 5 MPa .....	48
Şekil 8.6. Farklı sıcaklıklardaki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması 1,5 MPa....	49
Şekil 8.7. Farklı sıcaklıklardaki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması 2 MPa .....	50
Şekil 8.8. Farklı sıcaklıklardaki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması 3 MPa .....	50
Şekil 8.9. Farklı sıcaklıklardaki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması 4 MPa .....	51
Şekil 8.10. Farklı sıcaklıklardaki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması 5 MPa .....	51
Şekil EK B.1. Farklı MPa pot basıncında sac levhanın 25°C ve 220°C deki değişim resimleri, (a)1,5 MPa, (b)2 MPa, (c)3 MPa, (d)4 MPa, (e)5 MPa.....	64
Şekil EK C.1. Fem analizi ile sac levhanın farklı MPa' daki mesh örülmüş gerilme analizi kesit görüntüleri, (a) 1,5 MPa, (b) 2 MPa (c) 3 MPa, (d) 4 MPa, (e)5 MPa.....	68

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Çekme kalıbında kullanılan malzemeler .....	26
Çizelge 3.2. Malzeme cinsine göre matris yarıçap değeri formülleri .....	27
Çizelge 3.3. Malzeme cinsine göre matris boşluğu formülleri.....	28
Çizelge 3.4. Silindirik Çekmede Çekme Boşluğu .....	29
Çizelge 3.5. Çekme Boşluğu İçin (a) Katsayıları .....	29
Çizelge 3.6. Çekme Boşluğu Değerleri.....	29
Çizelge 3.7. Çeşitli malzemeler için baskı plakası basıncı .....	31
Çizelge 3.8. Deneilerde kullanılan Alüminyum Diğer Standartlardaki karşılığı ....	32
Çizelge 3.9. AA5754-O alaşımının kimyasal birleşimi(%) .....	32
Çizelge 3.10. LS-DYNA kullanılan malzeme özellikleri .....	33
Çizelge EK A.1. Hidrolik presin teknik özellikleri .....	61



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$D$	: Malzeme çapı
$d_0$	: Sac parçanın çekmeden önceki çapı
$d_z, d$	: Zimba veya elde edilen ürünün çapı
$R_k, r_1$	: Kalıp eğrilik yarıçapı
$R_z, R$	: Zimba eğrilik yarıçapı
$d_n$	: Parçanın son çapı
$d_{(n-1)}$	: Parçanın bir önceki yeniden derin çekme işlemindeki çapıdır
$e$	: Zimba ile kalıp arasındaki boşluk
$p$	: Baskı plakası basıncı
$r_m$	: Zimba kenar yuvarlatma yarıçapı
$D_f$	: Flanş çapı
$R$	: Matris kenar yarıçapı
$n$	: Deformasyon sertleşmesi üssü
$m$	: Deformasyon hızı duyarlılığı üssü
$c$	: Malzeme sabiti
$r$	: Plastik anizotropi
$\sigma$	: Gerilme
$s$	: Sac kalınlığı
$z$	: Çekme boşluğu
$T$	: Deformasyon sıcaklığı
$T_m$	: Ergime sıcaklığı
$T_{yk}$	: Kristalleşme sıcaklığı

## **KISALTMALAR**

- DÇ : Derin Çekme  
DÇO : Derin Çekme Oranı  
DÇSO : Derin Çekme Sınır Oranı  
SEA : Sonlu elemanlar analizi  
SEM : Sonlu Elemanlar Metodu  
FEA : Finite Element Analysis  
FEM : Finite Element Method  
EY : Eksplisit Yöntem  
IY : İmplicit Yöntem  
BSD : Bilgisayarlı sayısal denetim  
DC : Doğru akım (Direct current)  
SD : Sayısal denetim

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Bu çalışmada, derin çekme işlemlerinde baskı plakasının, 25°C ve 220°C' deki sıcaklıkların şekillendirmede cidar kalınlığı ve kap derinliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu sıcaklık değerleri 200°C den büyük sınırlarda sac malzemenin geri esnemesinde azalma gösterdiğinden dolayı deney sıcaklığı olarak 220°C seçilmiştir. Seçilen malzeme şekli silindirik kap seçilmiştir ve malzeme olarak ise alüminyum alaşımı olan 2 mm kalınlığındaki AA5754 kullanılmıştır. Sac levhanın şekillendirilmesi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Derin çekme deney sistemi tasarlanarak montajı yapılmıştır. Hazırlanan deney sisteminde basınç kontrollü baskı plakası yardımı ile sac levha üzerine farklı kuvvetler ve 25°C-220°C deki sıcaklıklar uygulanarak derin çekme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Derin çekme ile şekillendirmenin teorik analizi ANSYS/LS-DYNA yazılımı kullanılarak çözümlenmiştir. Deneysel ve teorik sonuçların 25°C ve 220°C deki sıcaklıklarda 0°-45° ve 90° deki kap kesitlerinde cidar kalınlık ve kap derinlikleri değişimleri karşılaştırması yapılmıştır. Derin çekme işleminde alüminyum malzemesinde en iyi şekillenme 2 MPa ile gerçekleştiği için 1,5-2-3-4-5 MPa aralıklarındaki baskı plakası kuvvetleri kullanılmıştır.

Bu deneyler sonucunda baskı plakası kuvvetleri ile sıcaklığa bağlı olarak kalınlıklarında homojen incelme ve derinliklerinde ise artma gözlemlenmiştir. Kulaklanma veya buruşmanın az olduğu kuvvet ise 3 MPa'dan sonraki baskı plakası kuvvetlerinde yavaş yavaş azaldığı görülmüş. Geliştirilen teorik ve deneysel modelin birbiriyle % 90 oranında uyumlu olduğu gözlemlenmiş uyumsuzluğun nedenleri araştırılmıştır.

## **1.1. ÇEKME KALIBI TASARIMININ AMACI**

Bu çalışmada alüminyum malzemelerin soğuk derin çekilme işlemi sırasında malzeme şekillendirilirken oluşan yüzey kalitesinin kalınlığının ısı verilerek nasıl bir değişme olacağını yüzeyin ne kadar düzgün oluşacağını incelenmesi ilk amaç olarak ortaya çıkmıştır.

Yapılan deneylerde 2 mm kalınlığındaki Al 5754 sac malzemenin 25°C ve 220°C deki derin çekilmesinde optimum şekillenme sınırları belirlenerek Al 5754 malzemesi 80 mm çapındaki zımba yardımı ile şekillenmede cidar kalınlıkları ve kap derinlikleri değişiminin farklılıkları karşılaştırılarak en iyi şekillenme hangi değerler arasında olduğu araştırılacaktır. Ayrıca ANSYS LS-DYNA ile analizi yapılarak sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılacak ve deneme yanılma metoduna gerek kalmadan analiz sonuçları ile değişik malzemelerin şekillendirilmesinde bu yöntem kullanılacaktır.

## **1.2. ÇEKME KALIBI TASARIMININ ÖNEMİ**

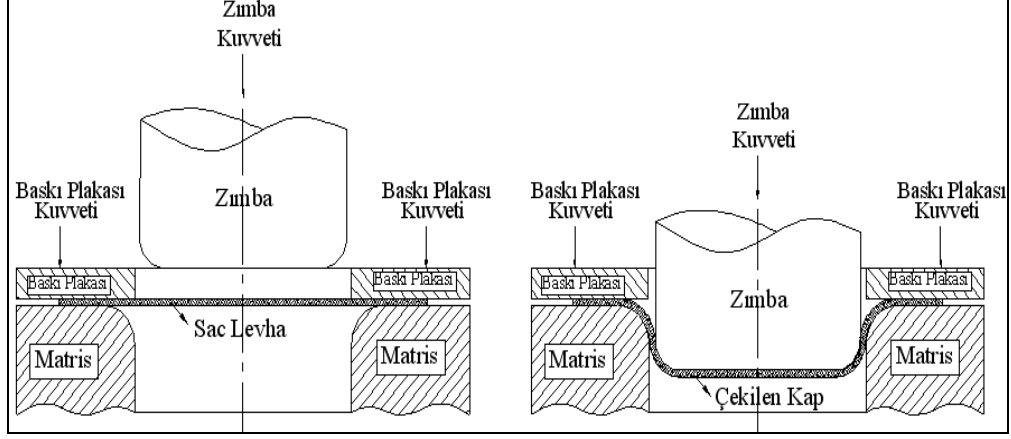
Sanayide çoğunlukla kullanılan deneme yanılma yöntemi ile yapılan şekillendirme çalışmalarının daha kısa sürede ve ekonomik olarak yapılabilecektir.

Bu sistem ile daha az maliyette daha kaliteli üretim gerçekleştirilebilecek ve üretim sırasında meydana gelen yırtılmalar ve kırışıklıklar minimum düzeye indirilmiş olacaktır.

Derin çekme işlemi ünitesindeki bu metot ülkemiz sanayisine katkıda bulunacağı açıkça görülmektedir.

Bu yöntemde matris, zımba, baskı plakası, baskı plakası ayar sistemi ve hidrolik silindirler kullanılmıştır. Matris üzerine hem 25°C sıcaklıkta hem de 220°C sıcaklığında ısıtılarak yerleştirilen Al 5754 levha baskı plakası ile sabitlenerek zımbanın belirlenen bir basınçta levha üzerine uyguladığı kuvvet yardımıyla levha

matris içerisine doğru ilerleyerek, levhanın zımba etrafına düzgün ve homojen bir şekilde sarılması sağlanacaktır (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Sac levhanın çekilme aşaması.

Metallerin soğuk şekillendirilmesinde, karşılaşılan problemler ve güçlükler her zaman üretime olumsuz yönde etki etmektedir. Sac levhanın ısıtılarak derin çekilmesi yöntemi, bu olumsuzlukların önüne geçmekte ve daha kaliteli üretimin yapılmasına olanak vermektedir.

Klasik çekme yöntemini kullanarak üretim yapmak hala geçerli uygulamalardan bir tanesidir. Zımba kuvvetinin etkisi ve uygunsuz üretilen kalıpların etkisi ile üretim sonrasında yırtılmalar, çatlaklar oluşmakta ve levhada kırışıklıklar meydana gelmektedir. Avantajlarının yanı sıra dezavantajları olan bu yöntem alternatif olarak geliştirilen derin çekme yöntemi ile elde edilen sonuçlar iyileştirilmiştir.

Bu çalışmada, derin çekme yönteminin diğer üretim yöntemlerine göre daha çok avantaj oluşturulması sağlanmıştır.

Bunlar;

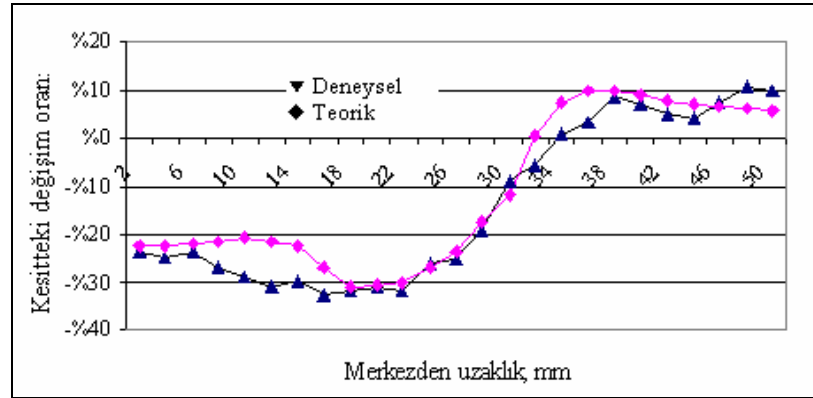
1. Kalıp maliyetleri en aza indirgenir,
2. Malzemede meydana gelen yırtılmalar ve kırışıklıklar diğer üretim yöntemlerine göre daha çok azalır,
3. Homojen kalınlık dağılımı yüksek düzeyde sağlanır,

4. Levhanın ısı etkisiyle daha kolay şekil alması ve bunun doğrultusunda kusursuz yüzey oluşması sağlanır.

### 1.3. ÇALIŞMANIN LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALARI

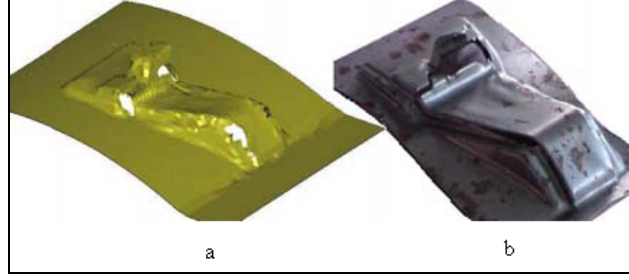
Derin çekme imalatı endüstride yoğun olarak kullanılması nedeniyle birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Literatürde ANSYS LS-DYNA programındaki analize benzer yaklaşımlar 1985'ten sonra başlamıştır.

M. Yaşar yüksek hızda şekillendirme metotlarından birisi olan gaz detonasyonu ile alüminyum alaşımlarının silindirik kap şeklinde biçimlendirme çalışması yapmış deneysel şekillendirmenin ANSYS/LS-DYNA yazılımını kullanarak teorik modeli oluşturmuş ve deneysel sonuçlarla, teorik sonuçların karşılaştırmasını yapmıştır. Sonuçların uyum içinde olduğunu belirtmiştir [1].



Şekil 1.2. Kesitteki değişim oranı [1].

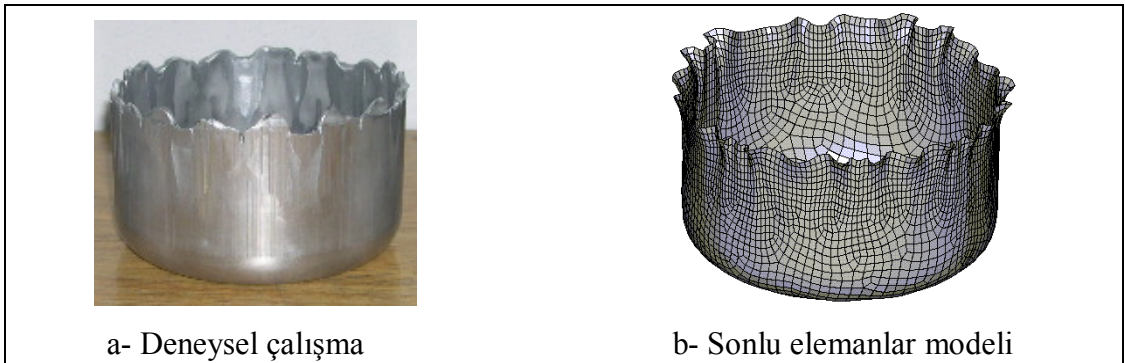
Yıldız ve arkadaşının derin çekme işleminin doğrusal olmayan sonlu elemanlar metodu yardımıyla modellenmesi isimli çalışmasında; doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak derin çekme işleminin benzetimini yapmak ve bu işlem sırasında ortaya çıkabilecek problemleri önceden tespit edip uygun çözümler bulmayı hedeflemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonunda soğuk şekillendirme işlemi için sonlu elemanlar yöntemi ile eksplicit analizin tutarlı sonuçlar verdiği ve tasarımı yönlendirmek için kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır [2].



Şekil 1.3. Şekillendirme sonrası iş parçasının a) Sayısal, b) Deneysel modeli [2].

M. Karalı baskı plakasına uygulanan kuvveti bilgisayar yardımıyla kontrol edilebilen bir derin çekme sistemi geliştirmiştir. Baskı plakasının cidar kalınlığına etkisi ve çekme derinliğine olumlu katkısının tespiti deneysel ve teorik sonuçlarla karşılaştırılarak yapılmıştır [3].

Demirci ve arkadaşları non-linear ekspisit sonlu elemanlar metodu (ANSYS LS-DYNA) kullanarak (Şekil 1.4.), temas modeli, malzeme özellikleri (AL 1050) ve Coulumb sürtünme katsayısı ile simülasyonu gerçekleştirmişler baskı plakasının cidar kalınlığına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel datalarla karşılaştırılarak % 90 uyum sağlandığı görülmüş, derin çekme işleminde kalıp üretilmeden önce karşılaşılabilecek problemler belirlenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur [4].

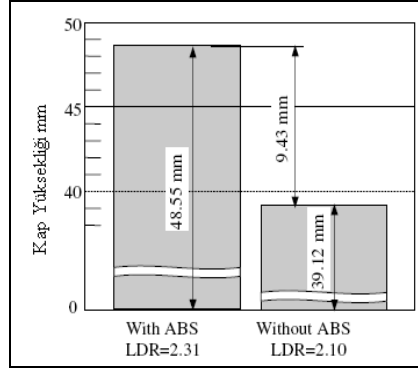


Şekil 1.4. Buruşma sınırı altındaki numunelerin bir fotoğrafı ve sonlu elemanlar metodu ile yapılmış modellemesi [4].

Gavas Al-1050 alaşımlı alüminyum sacın kare derin çekme özellikleri deneysel bir metotla incelemiş, verilen takım geometrisine göre, ulaşılabilecek maksimum çekme

yüksekliği, çekme oranı limiti belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, çekilen kabın duvar kalınlık dağılımları ve yüzey kalitesi incelenmiştir [5].

Gavas ve arkadaşının yaptığı çalışmada derin çekme işleminde yeni bir metot geliştirmişlerdir. Bu metotta derin çekme işleminde baskı plakasının Anti-Lock Braking sistemi (ABS) kullanarak malzemenin kalıp içine akışını kontrol etmişlerdir. Bu metotla AL99.8 alüminyum sacların derin çekilebilirliğinde yüzey kalitesi, kap köşelerinde, kap yüksekliğini ve Limit Çekme Oranı (LÇO)'nda gelişmeler gözlenmiştir (Şekil 1.5.) [6].



Şekil 1.5. Kap Yüksekliği ve Limit Çekme Oranı [6].

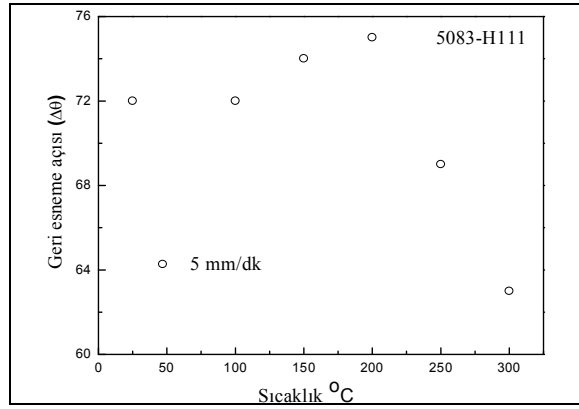
Literatürdeki bilgiler ışığında bu çalışmada derin çekme işlemlerinde yoğun olarak kullanılan AA5754 (Etial 53) serisinin 2 mm kalınlığındaki bulunan alüminyum malzeme kullanılmıştır. Baskı plakasının kontrolüne yönelik çalışma yapılarak optimum baskı plakası kuvveti deneysel ve sayısal olarak tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar Sonlu Elemanlar Analizinde yoğun olarak kullanılan non-lineer ekspilist sonlu elemanlar metodu (ANSYS LS-DYNA) karşılaştırılmıştır [6].

F. Öztürk ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada otomobilin ağırlığını azaltarak yakıt sarfiyatını azaltmak ve çevre kirliliğini önlemektir. Hafif metaller içerisinde de yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve korozyona karşı dayanıklılık özelliklerinden dolayı alüminyum-magnezyum (Al-Mg) alaşımları en fazla üzerinde çalışılan malzemelerdendir. Bu makalede otomobil imalatında Al-Mg alaşımlarının yeri ve bu alaşımların şekillendirilebilme kabiliyetlerini arttırma yönünde yapılan çalışmalar incelenmiştir [7].

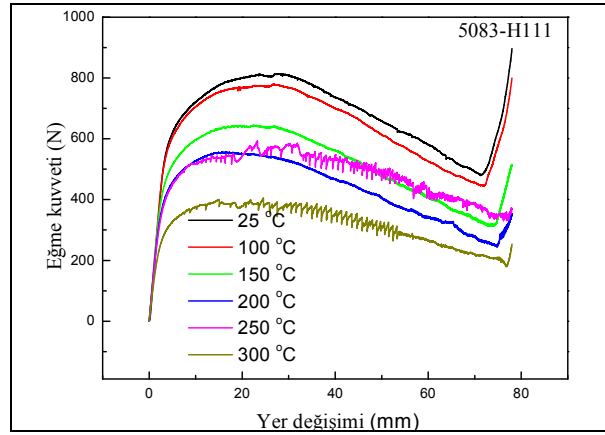




alaşımından mukavemetlendirilmiş 3 mm kalınlığındaki 5083-H111'nin geri esneme davranışları 60° açılı V kalıbıyla oda sıcaklığı ile 300°C sıcaklık aralığında incelenmiştir. Yapılan deneylerde geri esneme miktarının 200°C'ye kadar arttığı ve bu sıcaklıktan sonra 300°C'ye kadar da azaldığı tespit edilmiştir. Geri esneme açısından bakıldığında 5083-H111 Al-Mg alaşımı için en iyi şekillendirme koşulunun 300°C olduğu belirlenmiştir [8].



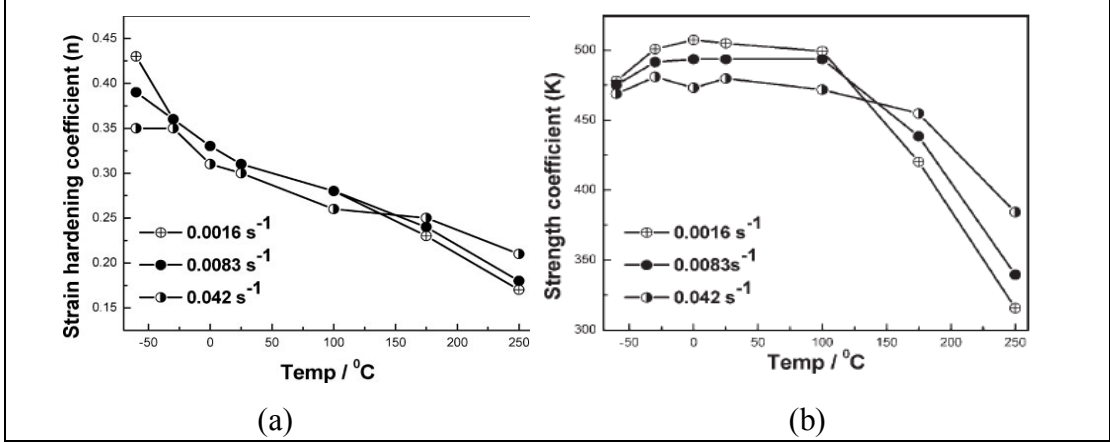
Şekil 1.7. Geri esneme miktarının sıcaklıkla değişimi [8].



Şekil 1.8. Eğme kuvvetinin sıcaklıkla değişimi [8].

Çalışma kapsamında parça üzerindeki sertlik dağılımlarını belirlemek amacıyla malzeme sertlikleri büküm bölgesi ve yan duvarlar (flaş) olmak üzere iki bölgede ölçülmüş olup Şekil 1.8.'de gösterilmektedir. Her iki alan için malzemelerin sertlik değerleri sıcaklıkla azalma göstermektedir. Büküm bölgesi için sertlik değeri 102,5'den 77,6'ya düşerken, yan duvar sertlikleri ise 83,2'den 73'e düşmektedir [8].

F. Öztürk ve arkadaşları otomobil ağırlığının düşürülmesi ve buna bağlı olarak maliyetin azaltılması düşüncesi üzerine Al 5754 malzeme üzerinde oda sıcaklığı ve 300°C arasındaki sıcaklıkta derin çekme işlemini yaparak malzemenin üzerindeki şekil değişimini incelemiştir [9].

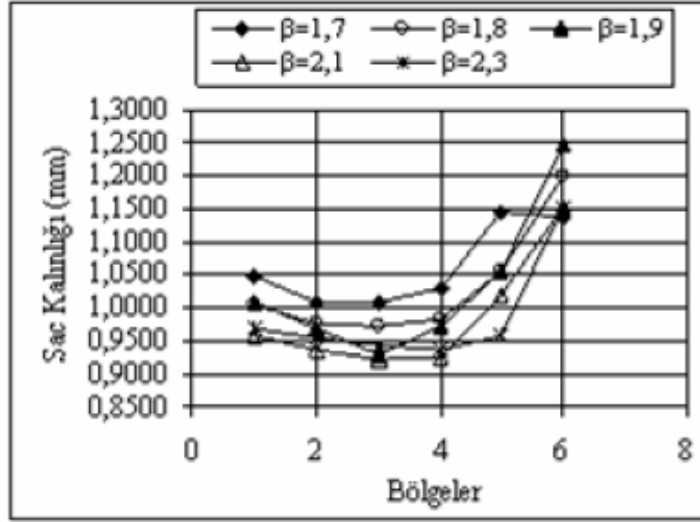


Şekil 1.9. -50°C~250°C sıcaklıkları arasındaki (a) sertleşme üssü, (b) Uzama diyagramı [9].

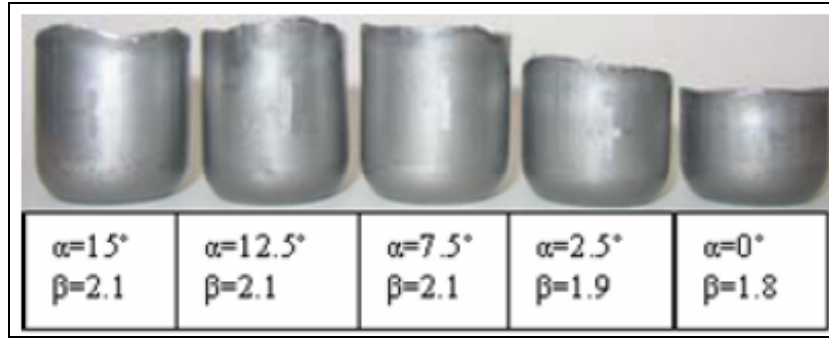
Bu çalışmada, tek eksenli gerilme deformasyon davranışının 5754 alüminyum-magnezyum alaşımı sıcak soğuk gerilme oranı aralığı araştırılmıştır. Soğuk sıcak ısıda bu materyalin şekillenebilirlik derecesi incelenmiştir. Sıcak derin çekmenin oda sıcaklığına göre daha iyi yüzeyli olduğu bulunmuştur. 175°C ile 200°C arasında daha iyi bir şekillenme oluşmuş olduğunu belirlemiştirlerdir [9].

Özek ve arkadaşlarının DKP 37 sacı kullanılarak kalıp ve zımbanın radyüs değişimlerinin, limit çekme oranının, baskı plakası ve kalıp açılarının et kalınlığı üzerindeki etkisini belirlemek için yapılmıştır [10].

Sac malzeme kalınlığının farklı açılardaki değişimi Şekil 1.10.' da verilmiştir.



Şekil 1.10. Derin çekme kalıplarında, optimum çekme oranlarında et kalınlığı değişimi [10].

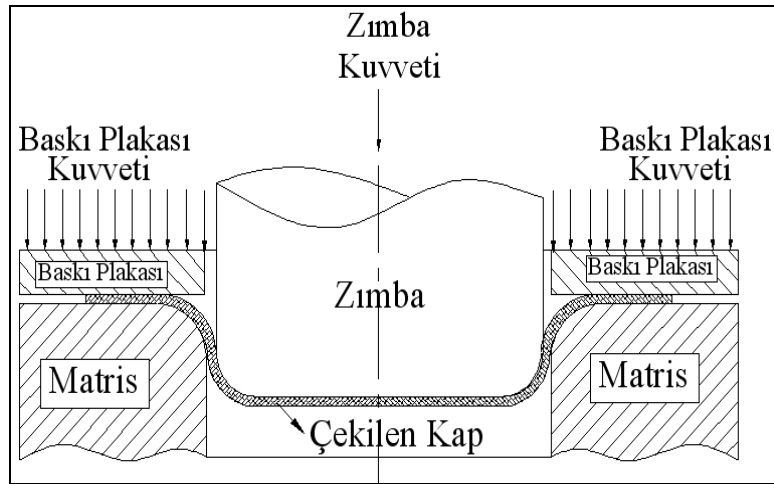


Şekil 1.11. R=6 mm için kalıp açısı değişimine bağlı numuneler [10].

## BÖLÜM 2

### DERİN ÇEKME

Derin çekme; düz sac levha malzemelerden içi boş, üç boyutlu kap vb. parçaları biçimlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Derin çekme işlemi birden fazla işlemi içermektedir bunlar eğme, bükme, basma gibi biçimlendirme işlemleridir. Baskı plakasının derin çekmede önemi malzemenin kulaklanmasını engelleyici görev üstlenmesi ve kabın incelmeye yardımcı karşı kuvvet olarak kullanılır. Böylece sac malzeme matris içine ilerleyerek şekillenmesi sağlanır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Basit bir derin çekme işlemi.

#### 2.1. ÇALIŞMADAKİ DERİN ÇEKME YÖNTEMİ

Bu çalışmada derin çekme ünitesi için kullanılan pres, matris, zımba, hidrolik silindir, baskı plakası ayar sistemi ve baskı plakası kullanarak yapılan derin çekme işlemidir.

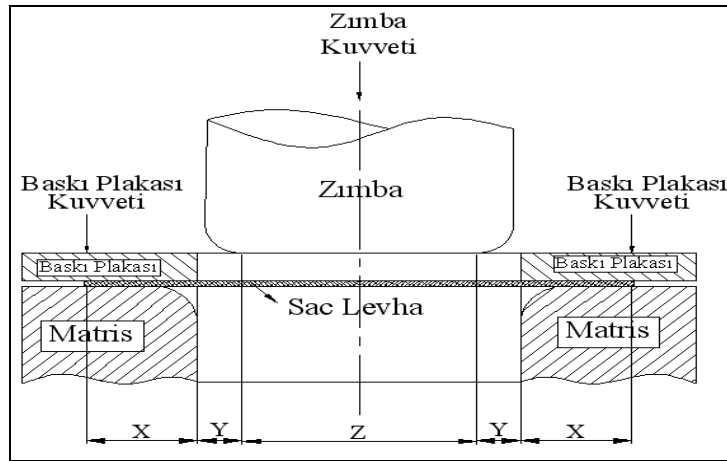
Derin çekme kalıbı tasarlanarak imal edilir ve pres sistemine zımba, matris, hidrolik silindir, baskı plakası ayar sistemi ve baskı plakası montaj yapılarak derin çekme

ünitesi hazırlanır. Bu hazırlanan sistemde derin çekme işlemi sac levha hem 25 °C de hem de 220°C de derin çekme işlemi gerçekleştirilerek elde edilen ürünler üzerinde ölçümler yapılır.

## 2.2. DERİN ÇEKME MEKANİĞİ

Çekme işleminde, matris üzerine yerleştirilen 25°C ve 220°C deki sac levha baskı plakası yardımı ile belirli basınçta sabitlenerek zımbanın sabit bir basınçta sac malzeme üzerine uyguladığı kuvvet yardımıyla levha matris içerisine doğru ilerleyerek sac malzemenin zımba etrafına düzgün ve homojen bir şekilde sarılması sağlanır böylece işlemlerin sonrasında matris içerisine ilerleyen levhanın matris boşluğunda şekillendirilir. Matris ve baskı plakası arasında kalan sac levhanın baskı plakasının verdiği kuvvet ile sac levhanın akmasına karşı sürtünme kuvveti oluşturarak sekilenmeyi kuvvet oluşturmaktadır.

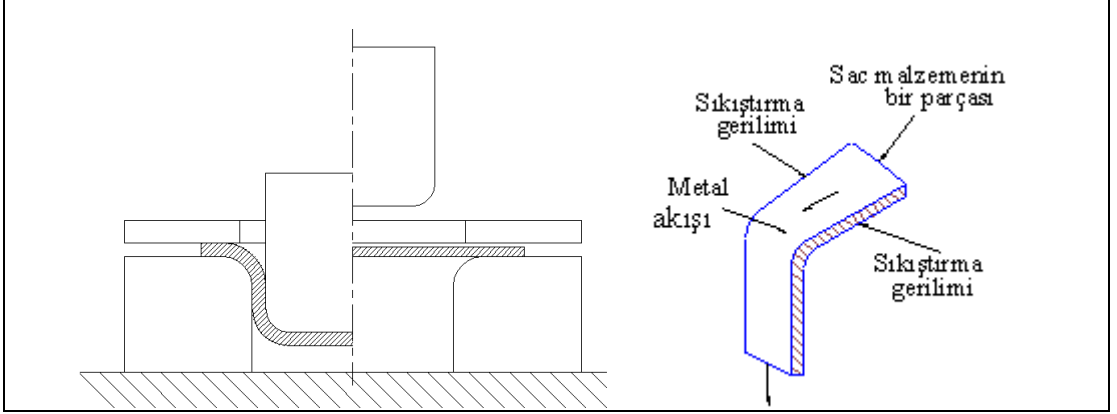
Çekme sacını X,Y,Z ile belirtilen üç ayrı bölgeye ayırarak gösterelim (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Çekme kalıbındaki işlev bölgeleri.

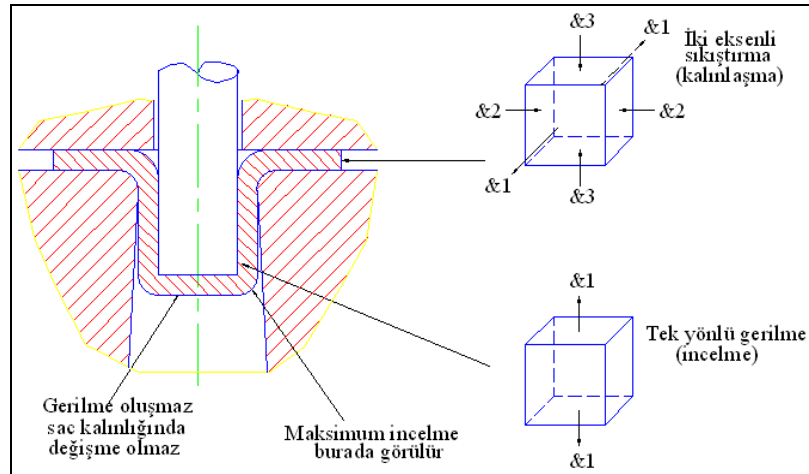
X ile belirtilen bölge sac levhanın matrisle temas ettiği kısımdır. Y ile gösterilen bölge çekme başlangıcında hem matrisle hem de zımbayla teması olmamaktadır. Z ile gösterilen dairesel bölge ise zımbanın alt yüzeyiyle temas eder. Çekme sırasında X ile ifade edilen bölge baskı plakası ile temas ettirilerek basıncın etkisi ile çekmeye karşı kuvvet oluşturulur, çekilme esnasında malzeme kalınlığı artar, Y bölgesinde sac

malzeme uzama ve kayma eğilimi göstererek malzeme kalınlığında incelme oluşur, Z bölgesinde ise malzeme zımba tabanında hem uzama hem de kaymaya maruz kalır.



Şekil 2.3. Derin çekmenin mekaniği [11].

Derin çekme işleminde malzeme baskı plakası ile temas halinde olduğu yüzeyde sıkıştırma gerilimi oluşur ve matrisin kavis kısmında malzeme şekillenirken incelme yani metal akışı meydana gelmektedir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.4. Derin çekme esnasında parçada boylamsal kısımlarda meydana gelen gerilmeler [11].

Derin çekme işlemi sırasındaki boylamsal kısımlarda yani zımba köşe kavisinde tek yönlü gerilme ile malzemede maksimum incelme görülür, zımba tabanında ise sac kalınlığında değişme olmaz, sacın baskı plakası ile bastırıldığı kısımda ise iki eksenli sıkıştırma oluşarak sac malzemenin kalınlığında kalınlaşma oluşur.

### 2.3. DERİN ÇEKME ORANI

Derin çekme oranı (DÇO) derin çekme işleminde  $D/d_0$  formülü ile tanımlanır. Kap derinliğini artırmak için ilkel çap sınırsız olarak arttırılamaz. Bu işlem için maksimum ilkel çapı derin çekme oranı sınırı (DÇSO) ile belirlenir [12].

$$DÇSO = D/d_0 \quad (2.1)$$

$D$  = İlkel çap (mm)

$d_0$  = Elde edilen ürünün çapı (mm)

İdeal koşullarda DÇSO' nın maksimum teorik değeri 2,7'dir.

### 2.4. DERİN ÇEKME KABİLİYETİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Derin çekmeyi etkileyen faktörleri dört grupta ele alabiliriz. Bunlar [12];

1. Çekme işleminde kullanılan malzemenin özellikleri,
2. Kalıp geometrisi,
3. Sac malzeme veya kalıbını ısıtılması,
4. İşlem koşullarıdır.

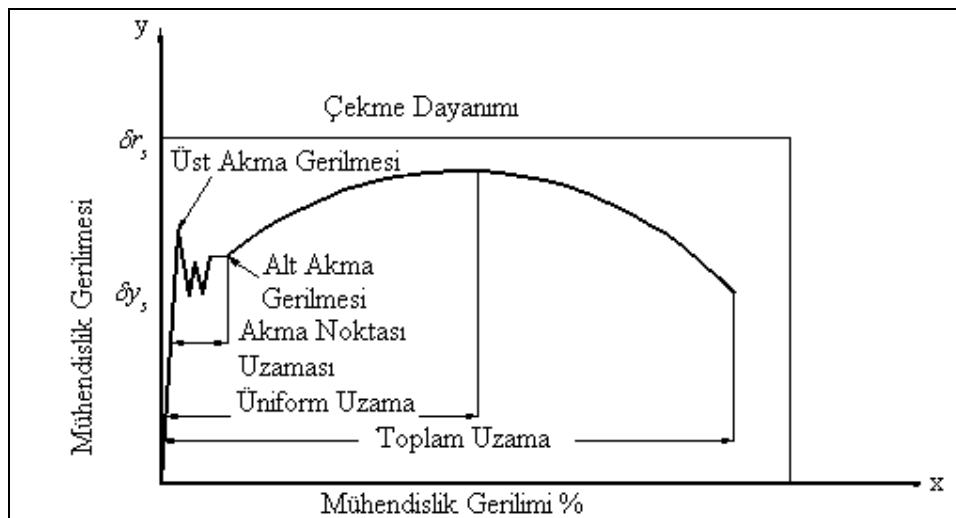
Derin çekme işlemi uygulanırken sac malzemenin kalın olması derin çekme oranını artırır. Çünkü daha fazla çekme derinliği ve kalınlık incelmesine imkan verir. Malzemenin ısıtılarak malzemedeki yapılar arasındaki kaymanın daha kolay olması ile derin çekmeye olumlu etki yapar.

Malzemenin sertliği veya akma gerilmesi derin çekme kabiliyeti açısından ölçü kabul edilemez. Çünkü alüminyum düşük karbonlu çeliğe göre daha yumuşak olmasına rağmen derin çekme kabiliyeti daha azdır [13].

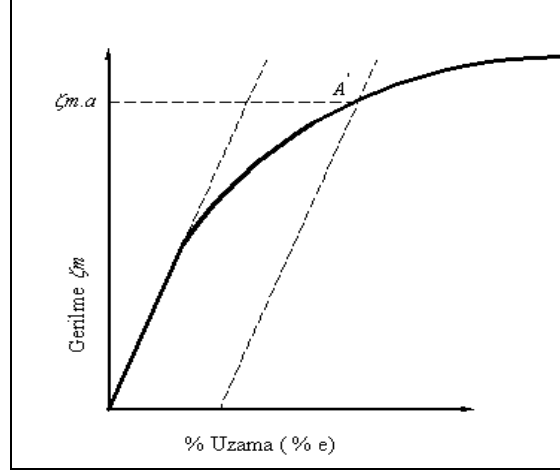


Derin çekmeyi etkileyen diğer bir önemli faktör R dikey anizotropi katsayısıdır. Bu katsayı malzemenin yapısına ve kristallografik yönlemesine bağlıdır. Uygun kristallografik yönlenme, haddeleme koşulları ve yumuşatma tavı rejiminin kontrollü yapılması ile sağlanır [13].

Akma sınırı çekme testinde elastik deformasyonun durduğu ve plastik deformasyonun başladığı noktadır. Belirli bir üst akma noktası büyük miktarda serbest hareketli dislokasyonlara sahip olmayan dinlendirilmiş çelik gibi malzemelerde görülür (Şekil 2.5). Plastik deformasyonun gerçekleşmesi için sac parçanın bütün bölgelerinde bu noktanın aşılması gerekir. Tavlanmış alüminyumda akma düzgün olarak meydana gelir ve % 0.1 veya % 0.2 lik bir gerilim noktasında eğriye çizilen paralelin eğriyi kestiği noktayı akma dayanımı (Akma gerilmesi) olarak alınır (Şekil 2.5). Bununla birlikte düzgün bir akma davranışı sac metalin biçimlendirilmesinde arzu edilen bir malzeme özelliğidir. Küçük miktarda ara ergiyik atomları içeren malzemeler % 4 ila % 5 plastik deformasyonun olduğu kararsız gerilme gerinim davranışı göstermektedir. Akma sınırı uzaması olarak bilinen bu davranış, dislokasyonların, eriyik atomları ve bunu takip eden bozulmalar ile sürekli tutulması ve birikmesi ile neden olur. Sac malzeme üzerinde bu durum çekme eksenine ile  $55^\circ$  lik eğim yapan bir lüder eğrisi ile açıklanır ve durum sac yüzeylerin bozulmasına hatta çatlamalara yol açabilmektedir [14].



Şekil 2.5. Orta karbonlu çeliklerin gerilme gerinim eğrisi [14].



Şekil 2.6. Düzgün akma gösteren bir malzemenin çekme diyagramında akma gerilmesinin bulunması [14].

#### 2.4.1. Elastisite (Young) Modülü

Gerilme gerinim eğrisinin 0 olduğu nokta konumu ile üst akma noktası arasında malzemenin elastik bölgesi adı verilir. Bu gölgede hook geçerli olup bu doğrunun eğimi malzemenin Young modülünü verecektir [14].

Metallere şekil verme sırasında görülen elastik geri yaylanmayı belirlemede akma mukavemeti elastisite modülü önemlidir. Bu olay daha yüksek akma mukavemeti ve düşük elastisite modülüne sahip malzemelerde görünür [15].

Akma dayanımı ve young modülünün değeri sac malzemedeki geriye yaylanma miktarının saptanmasında önemlidir. Bu geriye yaylanma eğilimi, yüksek akma dayanımı ve düşük bir young modülünün yardımcı olduğu elastik gerinim artışı ile artar. Düşük karbonlu çelikler yaklaşık olarak 140 MPa'lık bir akma dayanımı için yüksek bir modüle ( 210000 MPa ) sahip olduğunda küçük yaşlanma miktarı gösterir. Mukayese edilir bir alüminyum alaşımı, düşük modülünün (7000 MPa ) bir sonucu olarak üç defa geri yaylanacaktır [14].

### 2.4.2. Pekleşme Üsteli “n”

Bir sacın uygulanan gerilmedeki artış ile plastik şekil değişimi sertleşme yeteneği, soğuk şekillendirilebilirliğini etkileyen en önemli malzeme özelliğidir. Bölgesel olarak plastik değişimine uğrayan bir bölgede, burada oluşacak pekleşmeden dolayı dayanım artacağından, bu bölgedeki şekil değişimi durur ve parçanın diğer komşu bölgelerdeki plastik şekil değişimi başlar [16].

Malzeme deforme oldukça deformasyon sertleşmesi nedeniyle şekil alma kabiliyeti giderek azalır. Gerçek gerilme gerçek şekil değiştirme eğrisi logaritmik olarak çizilmesiyle elde edilen eğrinin eğiminden hesaplanır. Veriler aşağıdaki denklem ile uyum gösterir [15].

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (2.2)$$

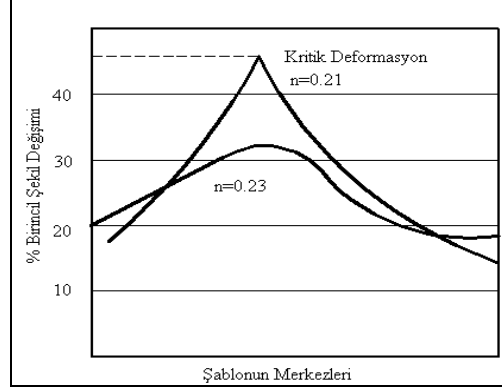
$\sigma =$  Gerilme

$K =$  Sabit

$\varepsilon =$  Deformasyon

$n =$  Pekleşme üsteli

Karmaşık şekil verilmiş bir bölgenin şekillendirme arasında kritik bir bölgede, deformasyon dağılımına farklı  $n$  etkisi Şekil 2.7’de gösterilmiştir.  $n$  değeri düşük olan bölgelerde levhada aşırı incelme ve kırılmalar ile sonuçlanabilir. Aynı parçanın  $n$  değeri yüksek olan kısımlarında aynı kritik bölgeler daha dirençli olacak ve deformasyonu komşu bölgelere transfer ederek hasara uğramadan şekillendirilebilecektir [15].



Şekil 2.7. n değerinin kritik deformasyon miktarına etkisi [17].

### 2.4.3. Deformasyon Hız Duyarlılığı Üssü (m)

Malzeme deforme edilirken oluşan sertleşme daha fazla gerilme gerektirdiğinden şekil değiştirme üniform olarak dağılır. Boyun vermeden sonraki deformasyon miktarı  $m$  (Deformasyon Hız Duyarlılığı Üssü) ile yakından ilişkilidir [15].

Gerilim hızı duyarlılığı üsteli “m” pozitif ve yüksek olan malzemelerde boyun verme olayından sonraki şekil değiştirme miktarı artar. Bu tür malzemelerde boyun verme bölgesinde plastik gerilme artar ve boyun verme olayının etrafa yayılmasını sağlar. Böylece kalınlık incilmesi sadece bir bölgede yoğunlaşmayıp tüm malzemede üniform olarak gelişmesini sağlar [14].

Yüksek sıcaklıklarda ( $T > 0.5T_m$ ) gerilim hızının malzemenin mukavemetine etkisi çok olup, sabit sıcaklıkta ve birim değiştirme miktarı için aşağıdaki bağıntı geçerlidir [14].

$$\sigma = c \cdot \dot{\epsilon}^m \quad (2.3)$$

$\sigma$  = Plastik gerilme

$c$  = Malzeme sabiti

$m$  = Gerilim hızı duyarlılığı üssü

#### 2.4.4. Plastik Anizotropi “ $r$ ”

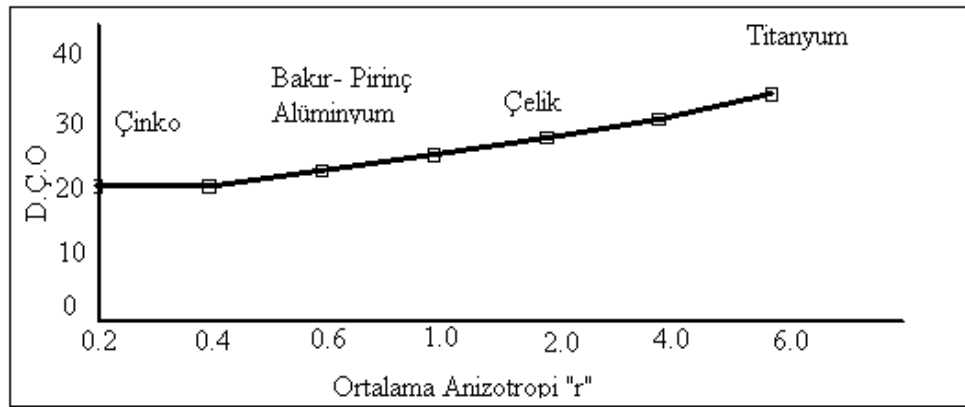
Sac malzemeden hazırlanan bir deney parçasına çekme deneyi uygulandığında plastik şekil değişimi çekme eksenini boyunca, buna dik olarak uzanan kalınlık ve genişlik doğrultusunda ise kısalma şeklinde meydana gelir. Hacim sabitliği uzama şekil birim toplamının kısalma şekil değişimlerinin toplamına eşit olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ancak bu kalınlık ve genişlik yönlerindeki birim şekil değişimlerinin birbirlerine eşit olmasını gerektirmemektedir. Genişlik yönündeki birim şekil değişimi  $\varepsilon_w$  nin kalınlık yönündeki birim değişimi  $\varepsilon_t$  'ye oranı  $r$  değeri olarak tanımlanır [16].

$$r = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} \quad (2.4)$$

$\varepsilon_w$  = Genişlikteki gerinim

$\varepsilon_t$  = Kalınlıktaki gerinim

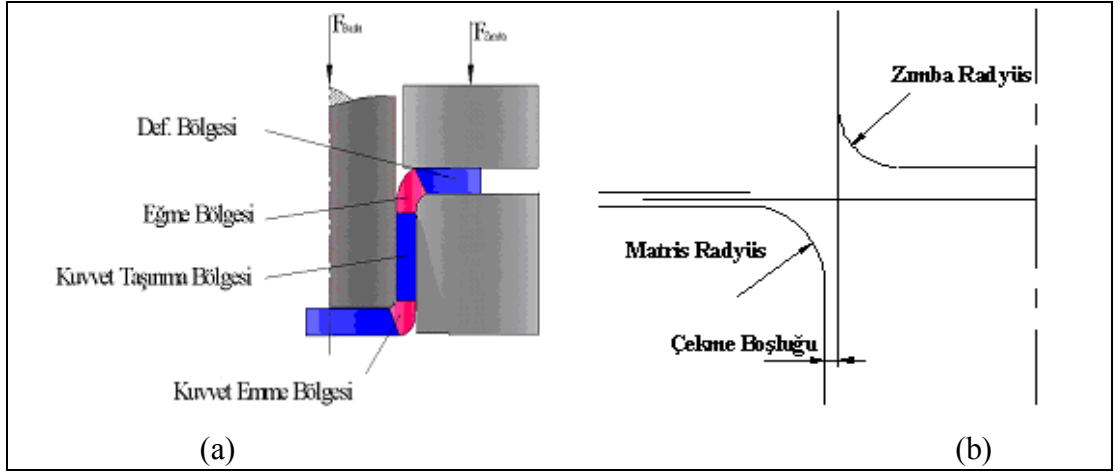
Ortalama dikey anizotropi katsayısı “ $r$ ” sac malzemelerde derin çekilebilirliğin bir ölçüsüdür. Bunun 1 ve 1’den büyük olması istenir. Metalik saclara ait derin çekme oranı sınırının ortalama dikey anizotropi “ $r$ ” katsayısına göre değişimi Şekil 2.8.’de gösterilmiştir [14].



Şekil 2.8. Çeşitli malzemeler için derin çekme oranı sınırının ortalama dikey anizotropi “ $r$ ” katsayısına bağlı değişimi [14].

## 2.5. ÇEKME İŞLEMİNDE KALIP GEOMETRİSİNİN ETKİSİ

Derin çekme işleminde zımba yarıçapı önemli bir etkidir yarıçapında azalma olursa malzemede yırtılmalar oluşabilir. Önemli etkenlerden diğeri ise matris ile zımba arası boşluk ( $e$ ) bu boşluk 0'a yakın bir değer olursa malzemede yırtılma veya kesme hataları oluşabilir.



Şekil 2.9. Çekme kalıbındaki a) Sac değişim bölgeleri, b) Kalıbın bölgeleri.

Çekilmiş parçanın dip yarıçapı yan yüzeyleri iç kısımları ile tabanına teğet olan yarıçaptır. Çekme zımbasının yarıçapı tarafından biçimlendirilir, zımbanın ucundaki radyüs küçük olursa çekme derinliği sınırlandırılmalıdır. Eğer çekme derinliği büyük, zımba uç radyüsü de küçük olursa, parçada yırtılmalar meydana gelebilir (Şekil 2.9. (a)).

Çekme boşluğu matris ve zımba arasındaki boşluğa çekme boşluğu adı verilmektedir. Çekme sırasında meydana gelebilecek olan sürtünmeleri en aza indirmek maksadıyla verilir. Çekme boşluğu sac kalınlığından fazladır. Kademeli çekim yapılacaksa ilk çekmelerde çekme boşluğu fazla verilebilir. Fakat son çekmede daha az miktarda verilmelidir. Sığ çekmelerde, çekme boşluğu daha az olur. Çekme derinliğinin çapa oranı hesaplanır eğer sığ olursa hiç boşluk verilmeyebilir (Şekil 2.9.(b)).

## 2.6. BASKI PLAKASI KUVVETİ

Derin çekme esnasında malzemenin kırışmasını engellemek için baskı plakası kullanıyoruz. Baskı plakası malzeme üzerine basma kuvveti uygulayarak malzemenin çekilmesine yardımcı etken olur.

Baskı plakasının gereken kuvvetten fazla bir kuvvetle basarsak malzemede yırtılmalar, delinmeler meydana gelebilir bu doğrultu ile derin çekme işlemi yapmadan önce baskı plakası kuvveti hesabı yapmak gerekir.

Baskı plakası kuvveti aşağıdaki ile hesaplanır [12].

$$P_b = \pi / 4 \times (D_2 - d_2) \times q \quad (2.5)$$

$P_b$  = Baskı plakası kuvveti ( kg )

$q$  = Yüzey basılma gerilmesi ( kg / mm<sup>2</sup> )

$D$  = İlkel çap ( Taslak çapı ) ( mm )

$d_0$  = İş Parçasının Çapı ( mm )

## 2.7. SAC KALINLIĞI VE TANE BOYUTU

Sac kalınlığındaki artış biçimlendirilebilirliğe olumlu yönde etki eder. Yapılan biçimlendirme işleminde kalın sacda ince saca göre daha büyük sınır gerinimleri elde edilir. Levha kalınlığının kopmadaki etkisini görmek amacıyla 0,5 ve 2 mm kalınlıktaki alüminyum numuneler çekme deneyine tabi tutulmuş, deney sonuçlarına bakıldığında çekme mukavemeti ve deformasyon sertleşme üssü ( $n$ ) değerinin değişmediği, ancak % kopma uzama değerinin 0,5 mm'lik sac için daha fazla olduğu gözlenmiştir. Levha kalınlığının artmasıyla levha kusurlarının etkisinin azalması nedeniyle biçimlendirme limiti artmaktadır [15].

Tane büyüklükleri göz önüne alındığında küçük taneli sacların dayanımı yüksek fakat biçimlendirebilirlik özelliği düşüktür. Kaba taneli sacların biçimlenebilirlikleri yüksek buna karşın yüzey düzgünlüğü “portakal kabuğu” diye anılan pürüzlülüğü görünümüne bürünebilir [14].

## **2.8. DERİN ÇEKME HIZI**

Derin çekme hızı, çekilen parçanın ve düzgünlüğüne ve fiziksel özelliklerine etki eder. Genelde çekme hızı kap malzemenin cinsine, kalınlığına, kapın yağlanmasına ve benzer özelliklere bağlı olarak seçilir [11].

## **2.9. YAĞLAMA**

Yağlama, kalıpla ile sac arasındaki sürtünmeyi azaltarak malzemenin şekillenmeye karşı olan direncini azaltmış olur. İyi bir yağlama takım ve iş parçası yüzeylerinin zamansız bozulmalarını önlediği gibi kalıp ömrünün artmasına sebep olur [16].

## **2.10. ÜRÜN GEOMETRİSİ**

Presleme işleminde önemli bir konuda artıklardır. Bir levhadan istenilen özellikte en fazla parçayı çıkarmak ya da bir levhayı en etkin şekilde kullanmak istenilir. Bununla birlikte levhanın mekanik özelliklerinde yöne bağlı olarak değişim göstermesi bu amaçla engel. Eğer şekil verme farklı yönlerde yapılırsa hasar olma olasılığı vardır. Diğer bir faktör ise kenar etkisidir. Kenarlarda fazla yanıklar varsa şekillenebilirlik düşer, özellikle tufal olan kısım şekillendirilen parçanın dış kısmına denk geldiği olur. Bıçakların körelmesi ya da kötü temizlenmesinden dolayı istenmeyen deformasyon sonuçlarıyla karşılaşılabilir. Aşırı yanmış bölgeler yüksek deformasyonlara tabi tutulursa çatlaklar oluşabilir. Levhanın kenar ve atık kısımlarının yanık ve soğuk işlem nedeniyle tokluğu düşüktür. Bu bölgeler çekme gerilmesine maruz kaldığında çatlamalara neden olurlar. Bu bölgelerin tamamen kaldırılması problemin tamamen çözülmesine yetecektir [15].

## **2.11. YÜKSEK SICAKLIĞIN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

Genleştirilme yapılması bir dereceye kadar zor olmakla beraber, sıcaklığın yükselmesi çoğunlukla süneklikle tokluğu artırır, elastiklik modülü, akma sınırı, ve çekme dayanımını ise düşürür [18].



Pekleşme üsteli de sıcaklıktan etkilenen bir malzeme özelliğidir. Sıcaklığın yükselmesi pekleşme üstelinin düşmesine yol açar [18].

Çeşitli plastik şekil verme yöntemlerinde şekil değiştirme hızı değişiktir. Örneğin preste yapılan bir üretimde genel olarak şekil değiştirme hızının nisbeten düşük olmasına karşılık yüksek enerji ile şekillendirmede işlem çok kısa sürede tamamlanmaktadır [18].

## **2.12. ÇEKME KALIBININ TASARIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

Derin çekme işleminde çekme kalıbının tasarımı önemli bir rol oynamaktadır. Yani çekme kalıbının veya malzemenin uygun olmaması derin çekme işlemini olumsuz etkilemektedir.

Bu olumsuzlukları sıralayacak olursak [12];

1. Çekilecek sacın kalınlığı(mm)
2. Çekilecek sacın malzeme cinsi
3. Çekilecek ürün ebatları
4. Üretilecek parça sayısı
5. Kullanılacak presin tipi
6. Kalıp malzemesinin cinsi
7. Üretilecek malzemenin hassasiyeti
8. Çekme hızı
9. Çekme boşluğu
10. Çekme derinliği olarak sıralamak mümkündür.

## **2.13. DERİN ÇEKİLME İŞLEMİ SIRASINDA SACLARDA GÖRÜLEN HATALAR**

Çekme işleminde meydana gelen hatalar buruşma, yırtılma ve benzeri hallerdir. Bu hatalar çekilerek elde edilen iş parçalarında asla kabul edilmeyen hatalardır.

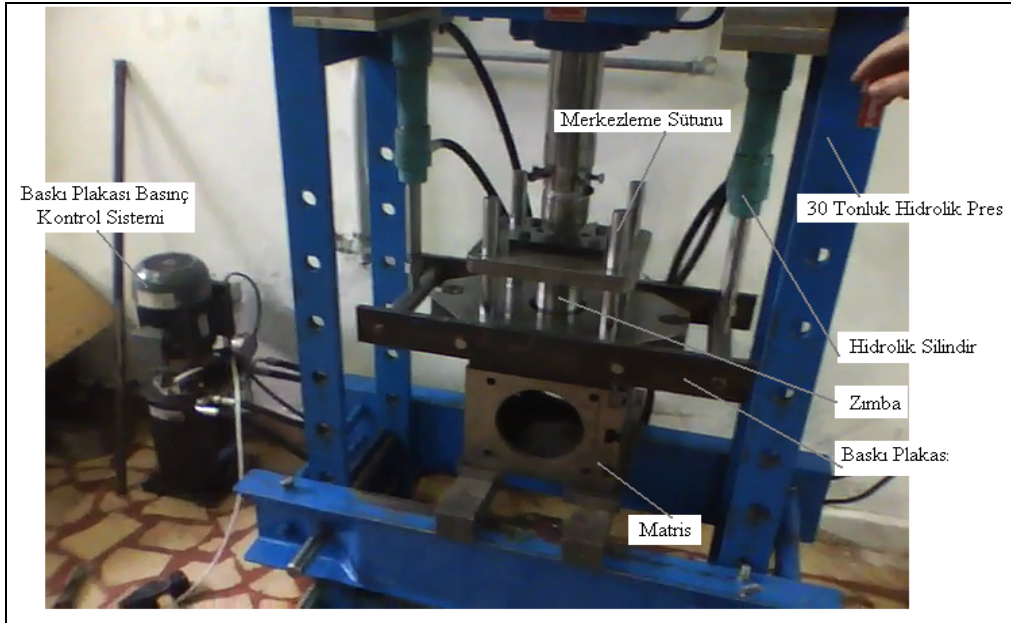
Çekme işleminde en çok rastlanan hatalar şunlardır [12].

1. Çekilen iş parçasının sac kalınlığının değişmesi
2. Portakal kabuğu biçimi (Pütürlenme )
3. Kulaklanma (ıkıntı oluşması )
4. Çizilme, zedelenme ve entikleme
5. Germe izgileri (Lekeleri )
6. Renk değişimi (Yanma )
7. Buruşma
8. Geri esneme gibi hatalar görülebilir.

## BÖLÜM 3

### DENEY DÜZENEĞİNİN KURULMASI

Derin çekme deney düzeneği ve ön deneylerin yapıldığı Elektro-Hidrolik kontrol düzeneği Şekil 3.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Derin Çekme Deney Düzeneği.

Deney düzeneğinde 60 ton'luk kuvvete sahip bir hidrolik pres ve pot çember baskı plakası kontrolü için 40 mm çapında piston kullanılmıştır.

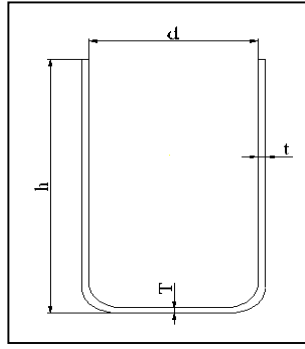
#### 3.1. KALIP TASARIMI

Şekil 3.1.'deki gibi boyu eninden daha fazla olacak şekilde bir oran tercih edilmiştir. Çalışmanın amacı; cidar kalınlığındaki kalınlık değişiminin ve kap derinliklerinin incelenmesidir. Zimba, matris ve pot çemberinin özellikleri Çizelge 3.1' deki gibi seçilmiştir.

Çizelge 3.1. Çekme kalıbında kullanılan malzemeler [3].

	Malzeme (DIN Normu)	Türü	Isıl İşlem
Zimba	1.0503 C45	İmalat Çeliği	Yok
Pot çemberi	1.0503 C45	İmalat Çeliği	Yok
Matris	1.0503 C45	İmalat Çeliği	Yok

Çekme işlemi sırasında elde edilecek parça Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Elde edilecek silindirik kap.

### 3.1.1. Çekilecek Sacın İlkel Sac Çap Hesabı

Çekilecek silindirik kabın çapı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [12].

$$D = \sqrt{d^2 + 4d(h - 0,43 \times r)} \quad (3.1)$$

$$D = \sqrt{80^2 + 4 \times 80(70 - 0,43 \times 10)} \cong 150 \text{ mm}$$

$D \cong 150$  alınmıştır.

Buradaki;

$D$  = İlkel sacın çapı (mm)

$d$  = Çekilen sacın ortalama çapı (mm)

$h$  = Çekilen kabın yüksekliği (mm)

$r$  = Zimba köşe kavis yarıçapı (mm)

$t$  = Çekme sacı kalınlığı (mm)

$T$  = Taban sac kalınlığı (mm)' dir.

### 3.1.2. Zımba Kenarının Yuvarlaklığı

Zımba kenarının yuvarlatılması sac levhanın daha kolay yırtılmadan çekilmesine yardımcı olur [12].

$$5t < R < 0,3 \times d \quad (3.2)$$

Bunlar;

$R$  = Zımba kenarı yuvarlatma yarıçapı (mm)

$t$  = Çekme sacı kalınlığı (mm)

$d$  = Zımba çapı (mm)' dir.

$R$  = 10 mm alınmıştır.

### 3.1.3. Matris Kenarının Yuvarlaklığı

Çekme dişisi yarıçapının en uygun değeri  $\left( D < R < \frac{D-d}{2} \right)$  sınırları arasında değişir.

Ancak malzeme cinsine göre [12];

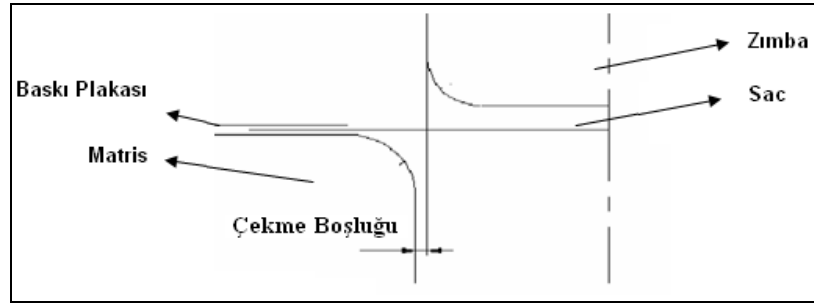
Çizelge 3.2. Malzeme cinsine göre matris yarıçap değeri formülleri.

Malzeme Cinsi	Matris Yarıçap Değeri (mm)
Çelik saclarda	$R=0,8 \sqrt{(D-d) \times t}$
Alüminyum ve alaşımlarında	$R=0,9 \sqrt{(D-d) \times t}$
Kademeli çekmelerde	$R_n = (d_{n_1} - d_{n_2})$

$$R = 0,9 \sqrt{(150 - 80) \times 2} \cong 11 \text{ mm alındı.}$$

### 3.1.4. Zimba ile Matris Arasındaki Boşluk (Çekme aralığı)

Derin çekme işleminde çekme boşluğunun büyük bir önemi vardır, çekme boşluğunun az olması parçanın derin çekilirken kesilmesine neden olabilir. Çekilen malzeme ölçüleri istenilen tamlıkta olmaz ise ince malzemelerde kırışıklıklara neden olabilir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Kalıptaki Çekme Boşluğu.

Çeşitli malzemeler için uygulanacak çekme boşlukları için aşağıdaki formüller kullanılabilir.

Çizelge 3.3. Malzeme cinsine göre matris boşluğu formülleri [18].

Malzeme Cinsi	Matris Boşluğu (mm)
Çelik saclar için	$w = t + 0,07\sqrt{10xt}$
Alüminyumlar için	$w = t + 0,02\sqrt{10xt}$
Demir olamayan metaller	$w = t + 0,04\sqrt{10xt}$
Isıya dayanıklı alaşımlar	$w = t + 0,20\sqrt{10xt}$

Çizelge 3.4. Silindirik Çekmede Çekme Boşluğu.

Çekme Kademesi	Hassas Kaliteli Parçalar	Orta Kaliteli Parçalar
İlk Çekme	$z=s+X+a$	$z=s+X+(1,15-2)a^*$
Ara Çekme	$z=s+X+2a$	$z=s+X+(2,5-3)a^*$
Son Çekme	$z=s+X$	$z=s+X+2a$

\*Parantez içindeki kat sayılarının küçük değerleri  $(s/D) \times 100=1$  oranları içindir.

Bunlar;

$z$  = Tek taraflı çekme boşluğu (mm)

$t$  = Sac nominal kalınlığı (mm)

$X$  = Kalınlık toleransı üst sınırı (mm)

$a$  = İlave katsayı

Çizelge 3.5. Çekme Boşluğu İçin ( $a$ ) Katsayıları [19].

Malzeme Kalınlığı (mm)	0,2	0,5	0,8	1	1,2	1,8	2	2,5	3	4	5
İlave Katsayısı ( $a$ )	0,05	0,10	0,12	0,17	0,19	0,21	0,22	0,25	0,3	0,35	0,4

Çizelge 3.6. Çekme Boşluğu Değerleri [20].

Malzeme Kalınlığı (mm)	İlk Çekme	Ara Çekmeler	Son Çekme
$--<0,5$	$(1,07-1,09)t$	$(1,08-1,10)t$	$(1,04-1,05)t$
0,5-1,25	$(1,08-1,10)t$	$(1,09-1,12)t$	$(1,05-1,06)t$
1,25-3,25	$(1,10-1,12)t$	$(1,12-1,14)t$	$(1,07-1,09)t$
$3,25<--$	$(1,12-1,14)t$	$(1,15-1,20)t$	$(1,08-1,10)t$

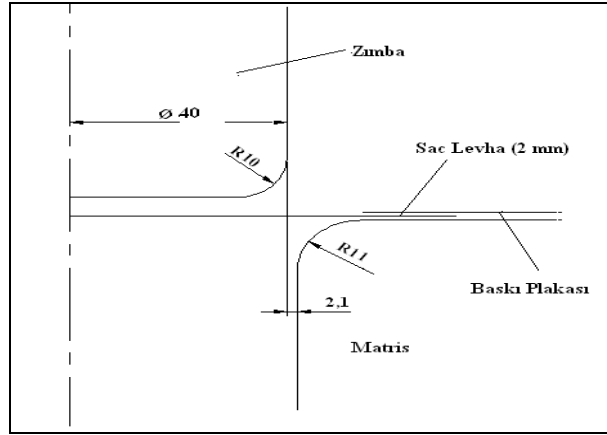
Çekme boşluğunun belirlenmesinde pratik kullanışlığa sahip olduğu için Çizelge 3.6.'daki değerlerden sıklıkla faydalanılır [18].

Bu çalışmada birinci kademe için;

$$W = e + 0,02\sqrt{10xe} \quad (3.3)$$

$W = 2,08mm \Rightarrow 2.1$  mm alınmıştır [18].

Derin çekme işlemi bir kademedan gerçekleşecektir kademenin kalıp ölçüleri Şekil 3.4.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. İlk kademedeki derin çekme kalıbının ölçüleri.

### 3.1.5. Baskı Plakası Kuvveti

Baskı plakası kuvveti, baskı plakası kuvvetinin sacla pot çemberi arasındaki temas alanı ile çarpımıdır. Dolayısıyla birinci kademe için baskı plakası kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanır [18];

$$P_p \cong \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \times p \quad (3.4)$$

Burada;

D = İlkel çekme sacı çapı (mm)

d = Zimba çapı (mm) dir.



Çeşitli malzemeler için gerekli baskı plakası kuvveti Çizelge 3.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Çeşitli malzemeler için baskı plakası basıncı [18].

Malzeme	P (kgf/mm <sup>2</sup> )
Alüminyum	0,10~0,12
Çinko	0,12~0,15
Düralümin	0,15~0,16
Paslanmaz çelik	0,2
Pirinç	0,2
Çelik	0,25
Kalaylı sac	0,30

### 3.2. ÇEKME SACININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Alüminyumun hafiflik ve dayanıklılığın yanında asıl avantajları şekillendirme kabiliyetinin çok yüksek olması ve endüstride geniş bir kullanma alanının bulunmasıdır. Alüminyumla çalışmak genel olarak demir esaslı metallere çalışmaktan daha kolay olduğu ve üretimde ufak düzeltmelerle iş bittiği için kullanımı yayılmaktadır. Endüstride alüminyum çok çeşitli şekillerde ve ölçülerde üretilebilmektedir. Bunlar alüminyum folyo, sac, tabaka, katı metal, boru olarak sayılabilir. Ayrıca çok geniş bir alışımlı ve bunları kullanma alanına sahiptir [3].

Alüminyum alaşımları ısı işleme tabi tutulanlar ve ısı işleme tabi olmayanlar olarak iki gruba ayrılır. İki grupta soğuk işlem aşamaları ile sertleştirilir ve tavlama işlemi ile yumuşatılır. Bunun yanında ısı işleme tabi tutulan alüminyum alaşımları solüsyon ve yapay yolla sertleştirilebilir. Ayrıca alüminyum tavlendiğinde diğer metal esaslı malzemelere nazaran daha fazla derin çekilebilir. Bunun yanında yoğunluğu düşük olması, korozyona dayanıklı olması ve yüksek elektrik ve ısı iletmesi alüminyumu cazip hale getirmiştir. Dezavantajları ise yüksek ısıya karşı dayanıklı olmamasıdır [3].

### 3.2.1. Kimyasal Birleşimi

Bu çalışmada kullanılan Etial-53 (AA5754-O) sacının değer standartlardaki karşılığı Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Deneylerde kullanılan Alüminyum Diğer Standartlardaki karşılığı [21].

ETİAL	T.S.E	ALMANYA (DIN)	A.B.D (AA)	FRANSA (NF)
ETİAL-53	AlMg3	AlMg3	5754	A-G3
ETİAL	İNGİLTERE (BS)	İTALYA (UNI)	ISO	
ETİAL-53	N5	P-AlMMg3,5	AlMg3	

AlMg sertleştirilemeyen bir alaşımdır. % 0,6-7 Mg ve %0.2-0,6 ihtiva eder. Deniz suyuna dayanıklılığı fazladır. Mg oranına göre çok farklı yerlerde kullanılır. AlMg, saf alüminyum gibidir. Mg'un %5'den fazla olması halinde, kaynak yapılması ve işlenmesi zorlanır. Gerilme nedeniyle korozyona uğrar ve çok iyi olan anot oksitlenmesi yapabilme özelliğine sahiptir [22]. Çizelge 3.9.'da AA5754-O alüminyum alaşımının kimyasal birleşimini gösterilmektedir.

Çizelge 3.9. AA5754-O alaşımının kimyasal birleşimi (%) [23].

Alaşım	Magnezyum	Silisyum	Bakır	Demir	Mangan	Krom	Titanyum
AA5754	2,6-3,6	≤0,4	≤0,1	≤0,4	≤0,5	≤0,3	≤0,1
AA5754	2,6-3,6	≤0,4	≤0,1	≤0,4	≤0,5	≤0,3	≤0,1

### 3.2.2. Malzeme Özellikleri

Çizelge 3.10.'da LS-DYNA kullanılan malzeme özellikleri göstermektedir.

Çizelge 3.10. LS-DYNA kullanılan malzeme özellikleri [24].

<b>LS-DYNA Özellikleri</b>	<b>AA5754-O</b>
Özgül Ağırlık, $\rho$ (g:/mm <sup>3</sup> )	0,002643
Poissons oranı $\nu$	0,33
Elastikiyet Modülü, GPa	70,23
Akma Mukavemeti,(MPa)	100
Mukavemet Sabiti, k (MPa)	416,52
$r_0$	0,705
$r_{45}$	0,765
$r_{90}$	0,906
Deformasyon Sertleşmesi Katsayısı, n	0,2939
Barlat Sabiti, M	8,0

### 3.3. ÇALIŞMADA YAPILAN ÇEKME DENEYLERİ

Yapılan deneylerde 60 ton'luk bir hidrolik pres (Şekil 3.1.) kullanılmıştır. Pres ile ilgili ayrıntılı teknik bilgiler Ek 1'de verilmiştir.

Sabit zımba basıncı altında baskı plakası kuvveti 1,5-2-3-4-5 Mpa ve 25°C-220°C de çekilen kapların cidar kalınlığındaki değişimlerin incelenmesi için yapılan deneyler incelenmiştir.

## BÖLÜM 4

### SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar metodunu (FEM) matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilen problem çözüm tekniğidir. Geliştirilen birçok sonlu elemanlar metodu vardır bunlardan bir tanesi ANSYS LS-DYNA dır. Bu metot ilk kez gerilme analizlerinin çözümünde kullanılmıştır. Bu yöntem ile kısa süre ve az maliyette ön deneylerin yapılarak deney işleminden önce analizleri yapıldı ve bu sonuçlar referans alınarak deneyler yapıldı.

#### 4.1. SAC LEVHALARIN ŞEKİLLENDİRME İŞLEMİNİN SİMÜLASYONU

Günümüzde metalleri biçimlendirme konusunda dünya çapında 60'a yakın benzeşim (simülasyon) yazılımı mevcuttur. Bunların %90 kadarı üniversite ve araştırma kuruluşlarında gerçekleştirilmiş olup yalnızca % 10 kadarı ticari amaçlı olup kullanıma açıktır. Bunların çoğu eksplisit ve implisit yöntemlerle sac biçimlendirme simülasyonu konusundadır [25].

##### 4.1.1. İmplicit Yöntem

Bu yöntemde denge denklemleri  $t+\Delta t$  anında çözülür. Sac şekillendirmedeki bir çok nonlineer davranış nedeni ile denge konumu iteratif olarak elde edilir. Genelde, denklem 3.1 de verilen Newton-Raphson yöntemi kullanılarak çözülür [26].

$$\Delta u^{(i+1)} = \Delta u^{(i)} + K_t^{-1} (F^{(i)} - I^{(i)}) \quad (4.1)$$

Burada,  $K_i$  bilinen teğetsel direngenlik matrisi,  $F$  dış kuvvetlerin vektörü,  $I$  ise iç kuvvetlerin vektörü olup,  $\Delta u$  bir zaman adımındaki deplasmanların vektörüdür. Bu yöntemde her iterasyon adımında teğetsel direngenlik matrisinin yeniden oluşturulması ve ayrıştırılması gerekir yöntem teoride iki artış arasındaki adım aralığı istenen büyüklükte seçilebilmesine karşın pratikte nonlinear temas şartları nedeni ile sınırlıdır. Çözümde Bir yakınsama kriterine ulaşıldığında hesaplama durur [25].

#### 4.2.2. Dinamik Eksplisit yöntem

Bu yöntemde denge denklemi  $t$  anında çözülür ve iterasyona gerek yoktur. Biçimlendirme işlemi statik değil dinamik bir işlem olarak algılanır ve hareket denkleminin entegrasyonu için merkezi farklara dayalı bir çözüm adımı kullanılır [27].

$$u^{(i+1)} = u^{(i)} + \Delta t^{(i+1)} \dot{u}^{(i+\frac{1}{2})} \quad (4.2)$$

$$\dot{u}^{(i+\frac{1}{2})} = \dot{u}^{(i-\frac{1}{2})} + \frac{\Delta t^{(i+1)} + \Delta t^i}{2} \ddot{u}^{(i)} \quad (4.3)$$

buradaki merkezi farklar operatörü bir önceki artışlardan bilinen hız ve ivme değerlerini kullandığından yöntem eksplisit olarak adlandırılır. İvme için [28];

$$\ddot{u}^{(i)} = M^{-1}(F^{(i)} - I^{(i)}) \quad (4.4)$$

formülü kullanılır ki burada  $M^{-1}$  kütle matrisinin tersi olup “lumped mass” yöntemi kullanıldığı takdirde ters alma işlemi diyagonal bir matrisin tersini alma işlemi şeklinde kolaylaşır. Kararlılık açısından kullanılabilir zaman ise adımı genişliği sınırlıdır.  $l$ : karakteristik sonlu eleman büyüklüğü,  $c$ : malzemedeki ses hızı olmak üzere, kararlı bir zaman adımı yaklaşık olarak  $\Delta t = \frac{l}{c}$  [1] eşitliği ile bulunur. Yani bir zaman adımı içinde bir dalga en fazla bir sonraki sonlu elemana ulaşabilir. Ağ yoğunluğunda mm seviyesinde eleman büyüklükleri kullanıldığında  $\mu s$  mertebesinde

zaman adımları elde edilir. Bu demektir ki bir derin çekme işleminin simülasyonu  $10^5 - 10^6$  kadar zaman adımına gerek duyulabilir. Bu da doğrudan hesaplama zamanına yansır. Bu problemi gidermek için şekillendirme işlemleri gerçekte olduğundan daha hızlı şekilde oluyormuş gibi benzeştirilir. Benzeşim sırasında ortaya çıkabilecek atalet etkilerini gidermek için (örneğin sönüm elemanları kullanmak gibi) önlemler alınmalıdır. Yapılan araştırmalar, işlem hızının sonuçları etkilemeden on kata kadar çıkarılabileceğini göstermiştir. Malzeme özelliklerinin ve katsayıların şekil değiştirme hızına bağlı olduğu malzeme modelleri için ise hızın değiştirilmesi söz konusu olamaz. Alternatif bir yöntem de işlem hızı sabit tutularak malzemenin yoğunluğunun artırılması ve buna bağlı olarak malzeme içindeki ses hızı küçültülmesidir. Yoğunluğun 100 kat artırılması ses hızını 10 kat düşürür ve problem 10 kat hızlı çözülür [25].

#### **4.2. ANSYS LS-DYNA PROGRAMI (DYNA3D)**

Bu çalışmada çözümler için kullanılan yazılım otomotiv endüstrisi için 1986'dan beri John Hallquist tarafından ticari olarak geliştirilmekte olan Livermore Software Technology Corp. (LSTC) firmasının LS-DYNA programı, genel amaçlı yüksek dereceden nonlinear zamana bağımlı dinamik problemlerin hesaplanmasında kullanılan eksplisit dinamik sonlu elemanlar yazılımıdır. Çok geniş kontak tipleri kullanılarak ileri düzeyde malzeme modelleme kapasitesi ile çok ayrıntılı deformasyon analizleri yapılabilmektedir.

ANSYS ve LS-DYNA yazılımları birbiriyle entegre olarak çalışmaktadır. Eksplisit ve İmplicit çözüm teknikleri mükemmel bir şekilde ANSYS'de bir araya gelmiştir [1].

## **BÖLÜM 5**

### **TEORİK MODELLEME**

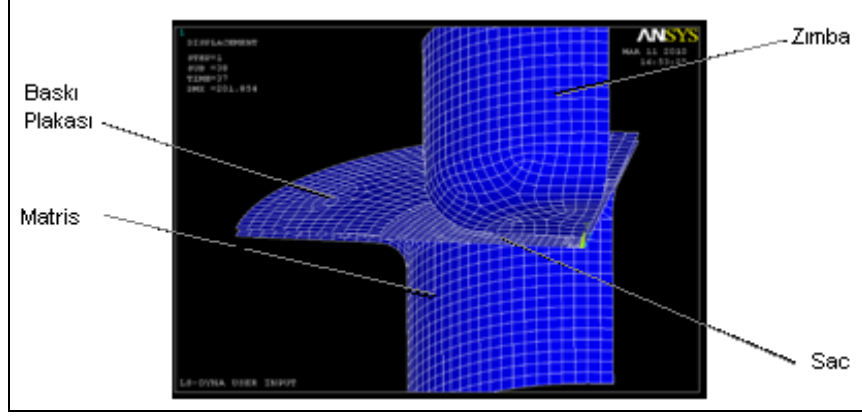
#### **5.1. MODELİN TASARLANMASI**

Teorik modelleme hazırlanırken geometrik modellerin oluşturulması SolidWorks 2008 programında hazırlanmıştır. Kalıp elemanların dahil bütün parçalar yüzey (surface) olarak modellenmiştir. Modellenen parçalar sisteme yerleştirilirken kalıp elemanlarının konumuna ve et kalınlıklarına dikkat edilmiştir. SolidWorks 2008 programında modellenen parçalar IGES formatına çevrilerek ANSYS LS-DYNA programına aktarılmıştır.

Kalıp sistemi sırasıyla zımba, baskı plakası, baskı plakası basınç ayarlayıcısı, sac ve matrinden oluşmaktadır. Oluşturulan modelin çalışma sistemi ise matris sabit kalırken, sac baskı plakası tarafından uygulanan kuvvet etkisiyle matris ile baskı plakası arasına sıkıştırılır ve zımba Y-yörüngesi boyunca hareket ettirilmesiyle matris içinden geçerek sacı şekillendirmektedir.

#### **5.2. MESH MODELLEME**

Sac, zımba, kalıp ve baskı plakası S.R. Co Rotation thin-shell 163 numaralı element kullanılarak mesh (ağ) örülmüştür. Kalıp ve baskı plakasına serbest mesh örülmüştür. Zımba üzerinde eşit bölüntü sağlamak amacıyla 2 mm aralıklı mesh örülmüştür. Sac üzerindeki mesh deformasyon sonuçlarının daha sağlıklı alınabilmesi için sık örülmüştür (Şekil 5.1.).

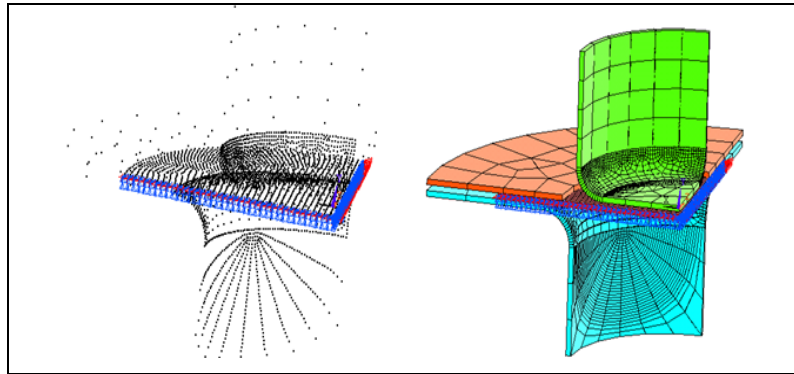


Şekil 5.1. Sonlu elemanlar modelinde kalıbın mesh örülmüş kesit görünüşü.

Mesh örülmesinin bize sağlayacağı katkılardan bir tanesi Şekil 5.1.'de görülmektedir. Burada çekilen sac levhanın gerilme analizini gösterilmekte ve bu sonuçlar mesh örülmesi sayesinde belirgin bir şekilde fark edilmektedir (Ek C).

### 5.3. KONTAK (SÜRTÜNME) MODELİNİ OLUŞTURMA

ANSYS LS-DYNA programında, ANSYS implisit metoda göre, kontak tipini tanımlamak daha basit, üstelik tanımlanan kontakların kapasitesi de çok üstündür[4]. Bu çalışmada Coulumb sürtünme modeli kullanılarak zimba-sac, sac-kalıp ve levha-baskı plakası arasında sürtünme modeli oluşturulmuştur. Sürtünme modelinde yüzey-yüzey kontak modeli kullanılmıştır. Kontak grubu ise Forming (FSTS) seçilmiştir. Levha-kalıp arasında Coulumb sürtünme katsayısı 0,1 alınmıştır. Kalıp ile baskı plakası arasında ise Coulumb sürtünme katsayısı 0,1 alınmıştır [23-29].

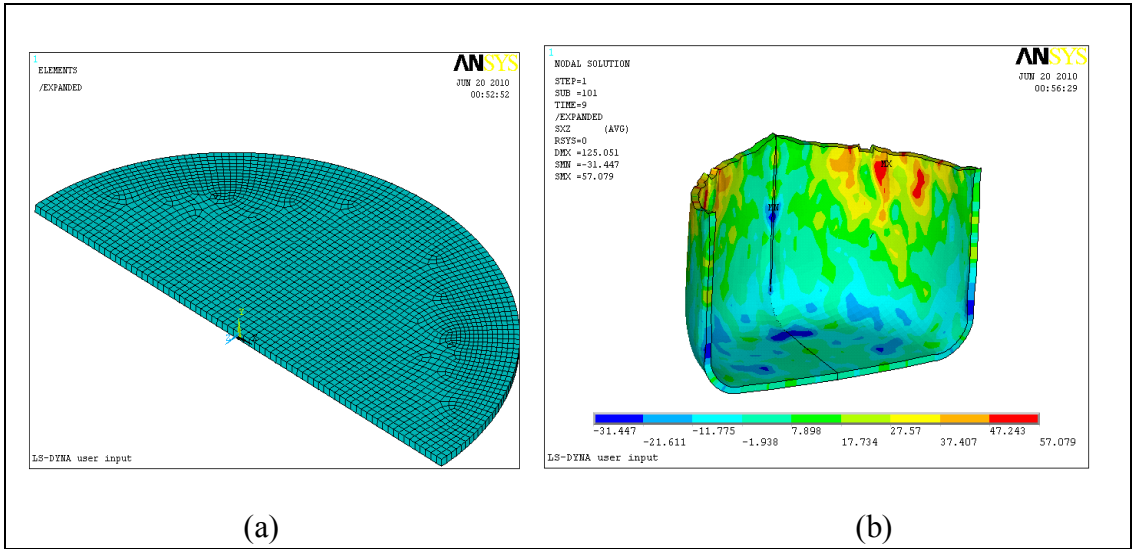


Şekil 5.2. Sonlu elemanlar modelinde kalıbın kontak yapılmış kesit görünüşü.



## 5.4. TEORİK SONUÇLAR

Bu çalışmada, malzemenin anizotropik özelliği göz önüne alınarak sac üzerine baskı plakası tarafından 1,5-2-3-4 ve 5 Mpa kuvvetler uygulanmıştır ve bu uygulama esnasında 220°C sıcaklıkta malzemeler ısıtılmış ve değişik baskı plakası kuvveti ile derin çekme işlemleri uygulanmıştır. Baskı plakası tarafından uygulana değişik kuvvet sonucunda ortaya çıkan ürünler incelendiğinde baskı plakasının ve sıcaklığın kuvvetinin şekillendirme üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Derin çekme işlemine tabi olan 150 mm çapındaki sac levhanın (Şekil 5.3.(a)) çapı 80 mm olan silindirik zımba ile yapılan şekillendirme işlemi sonrasındaki fiziksel değişimi (Şekil 5.3.(b)) görülmektedir.



Şekil 5.3. a) Çekilmemiş sac, b) 1/2 Çekilmiş kap.

Bu çalışmada alüminyum AA5754 malzemesi kullanılmıştır. Derin çekme işleminde uygulanacak baskı plakası kuvveti 1,5 MPa, 2 MPa, 3MPa, 4 MPa ve 5 MPa arasında kuvvetler ANSYS-LS DYNA programında uygulanarak analizi yapılmıştır.

## BÖLÜM 6

### SICAKLIĞA GÖRE DEFORMASYON İŞLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Sıcaklığa bağlı olarak deformasyon işlemleri klasik ve benzeş sıcaklığa göre olmak üzere iki şekilde sınıflandırılırlar [30].

#### 6.1. KLASİK SINIFLANDIRMA

Klasik sınıflandırmaya göre, mekanik işlemler sıcak ve soğuk işlem olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Sıcak işlem, deformasyon şartlarında ( $T$  ve  $\epsilon$ ), malzemede uygulanan deformasyonla aynı zamanda yeniden kristalleşmenin gerçekleştiği işlemdir. Soğuk işlem ise deformasyon sırasında yeniden kristalleşmenin gerçekleşmediği işleme verilen isimdir. Yani malzemenin yeniden yeniden kristalleşme sıcaklığı ( $T_{yk}$ ) ile deformasyon sıcaklığının ( $T$ ) kıyaslamasına göre yapılan bu grupta  $T > T_{yk}$  sıcak işlem,  $T < T_{yk}$  ise soğuk işlem olarak isimlendirilmektedir [30].

Metalik malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklığı yaklaşık olarak ergime sıcaklığının  $1/3$ 'ü ile  $1/2$ 'si arasındadır [30].

#### 6.2. BENZEŞME SICAKLIĞI ( $T/T_m$ ) GÖRE SINIFLANDIRMA

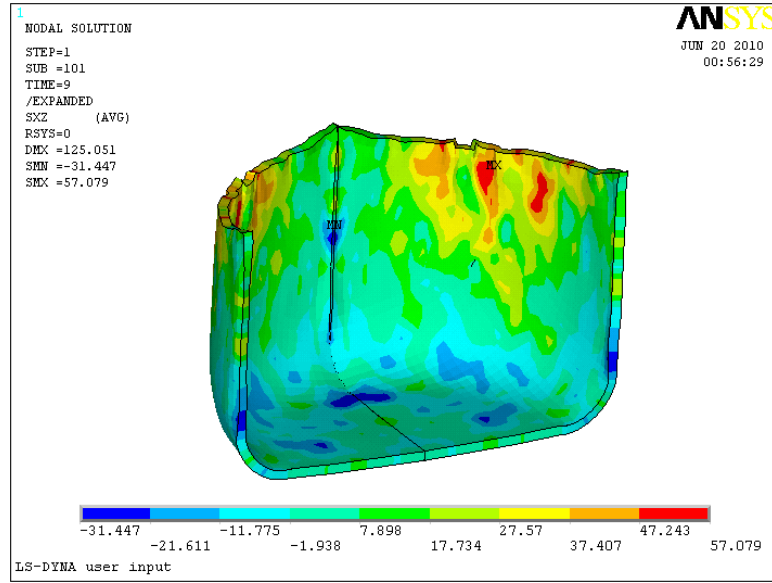
Mekanik işlem sırasında deformasyon sıcaklığının ( $T^{\circ}K$ ) malzemenin ergime sıcaklığına ( $T_m^{\circ}K$ ) oranı olan benzeşme sıcaklığına göre deformasyon işlemleri üç gruba ayrılır. Benzeş sıcaklığa göre grupta;  $T/T_m > 0,5$  sıcak işlem,  $0,5 > T/T_m > 0,3$  ılık işlem,  $T/T_m < 0,3$  ise soğuk işlem olarak isimlendirilir [30].

## BÖLÜM 7

### DENEYSEL VE TEORİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

#### 7.1. SACIN BURUŞMA VE YIRTIILMA SINIRLARININ TESPİTİ

Bu çalışmada 2 mm kalınlığındaki alüminyum alaşımı olan AA5754 malzemesine farklı baskı plakası kuvvetleri ile derin çekme işlemi uygulanarak baskı plakası basıncının cidar kalınlığı üzerindeki etkisini araştırılmıştır.



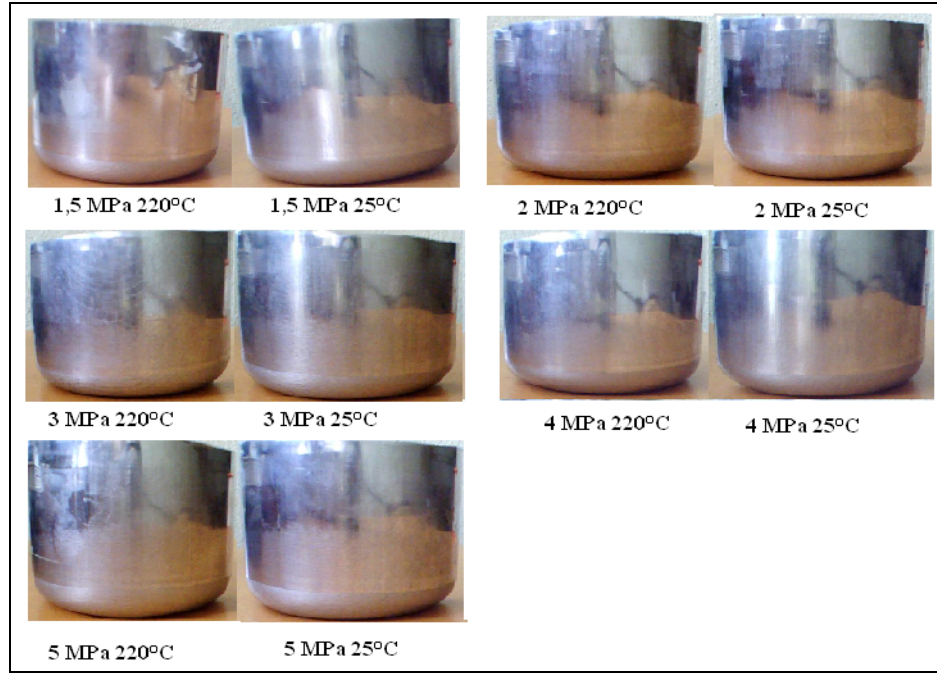
Şekil 7.1. Kulaklanma ve yırtılma sınırındaki numunenin sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmış analizi (5 MPa).

#### 7.2. BASKI PLAKASI KUVVETİNİN VE SICAKLIĞIN KABIN DERİNLİĞİNE ETKİSİ

Yapılan bu deneysel çalışmada oda sıcaklığındaki ve 220°C deki sac levhanın 1.5 ~5 MPa baskı plakası arasındaki kuvvetlerde sac cidar kalınlıklarında ve kap derinliklerinde fark gözlemlenmektedir. Silindirik kapların köşe yarıçaplarındaki

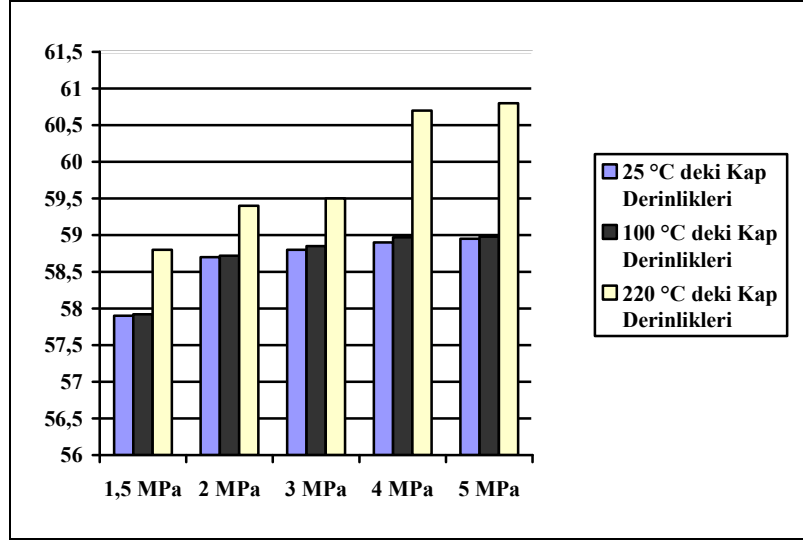
kalınlıklarda yoğun bir incelme olmuştur, en yoğun incelme ve kap boyunun uzaması 220°C’deki sıcaklıkta meydana geldiği gözlemlenmektedir. Elde edilen verileri kullanarak yapılan deneyler sonucunda deneysel sonuçlarla FEM arasında yaklaşık % 90 uyum sağlandığı görülmüştür.

Yapılan deney sonuçlarında 1,5-2-3-4-5 MPa’daki baskı plakası kuvvetlerinde oluşan silindirik kapların görünüşü (Şekil 7.2.).



Şekil 7.2. Çekilen kapların deney sonuçları.

Deneysel olarak 1,5-2-3-4-5 MPa baskı plakası kuvvetleri ve 25°C-220°C’deki çekilen kapların derinlikleri Şekil 7.3.’de gösterilmektedir.



Şekil 7.3. İncelenen kapların ortalama derinlikleri.

Yukarıdaki Şekil 7.3.'de görüldüğü gibi 25°C deki kabın derinliği ile 220°C deki kabın derinliği arasında fark olduğu 100°C de ise 25°C ile benzer derinlikler olduğu görülmektedir. 25°C de kabın derinliği 220°C den daha az olduğu, ve her baskı plakası basıncının artışıyla kabın derinliğinde büyüme gerçekleşmektedir.



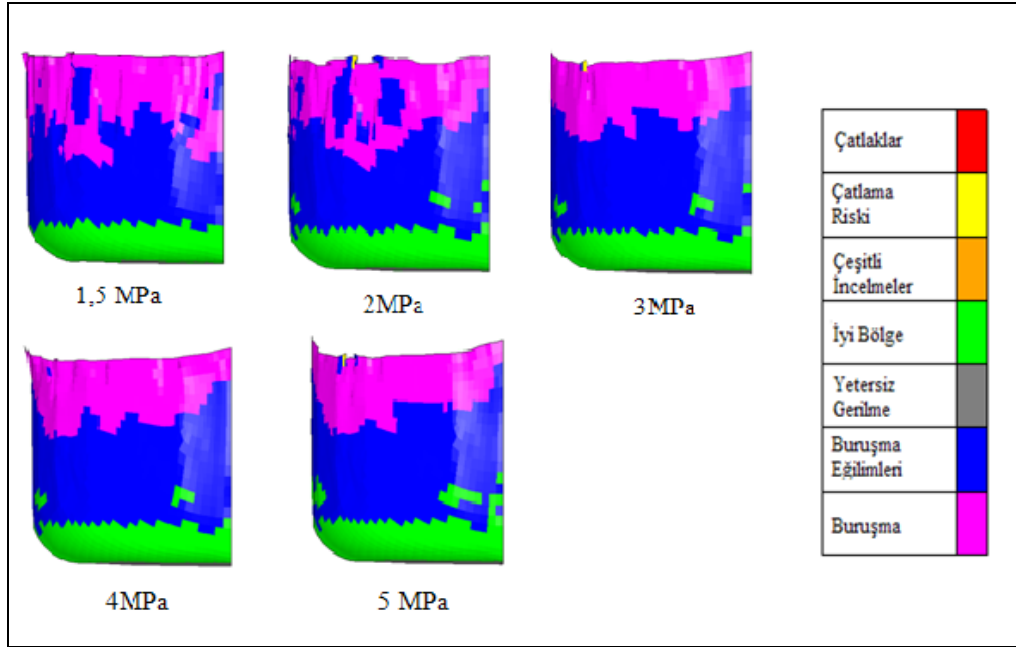
Şekil 7.4. 3 MPa'da 25°C ve 220°C deki çekilmiş kapların yüzey görüntüleri.

3 MPa baskı plakası kuvvetindeki çekilmiş kabın yüzeyindeki değişim görülmektedir. 25°C'deki malzemenin yüzeyinde gözle görülür derecede malzemenin zorlandığı ve buna bağlı olarak malzemenin içyapısındaki akış yönleri görülmektedir. 220°C'deki malzemenin yüzeyinde ise sıcaklığa bağlı olarak bu yolun gözlemlenmesi biraz daha azdır yani buradan çıkarılan sonuçta malzemenin derin çekme esnasında ısıtılarak derin çekme işleminin yapılması malzemenin iç

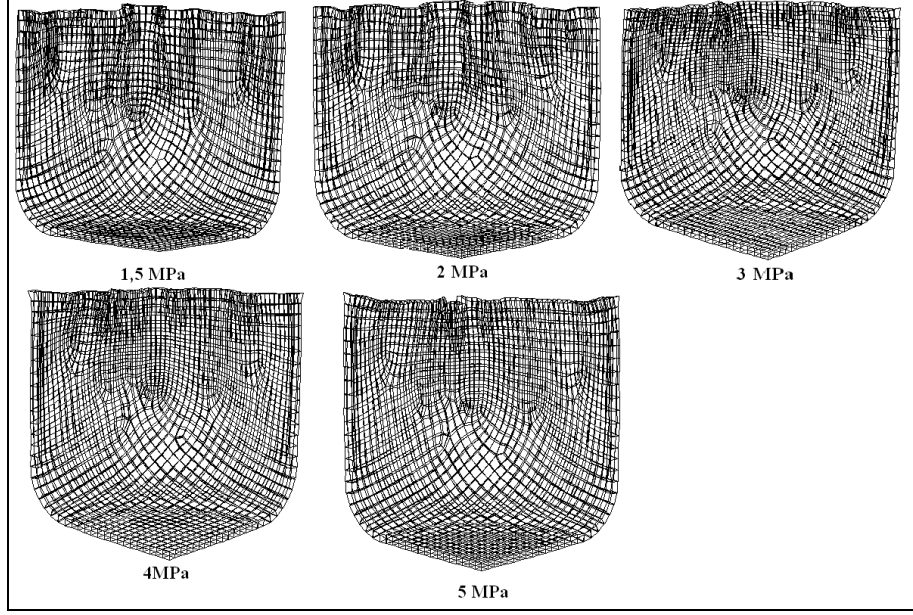
yapısındaki değişimin biraz daha akıcı olması sağlanarak yüzeyindeki malzeme akış yönünün az gözlemlenmesi sağlanır (Şekil 7.3.).

### 7.3. BASKI PLAKASI KUVVETİNİN CİDAR KALINLIğINA ETKİSİ

Yapılan bu çalışmada alüminyum alaşımı AA5754-O sac malzemesinin derin çekilmesi esnasında 25°C ve 220°C deki malzemenin ve farklı baskı plakası kuvvetinin cidar kalınlığına etkileri, oluşturulan FEM ve deneysel olarak incelenmiştir (Şekil 7.5.).



Şekil 7.5. ANSYS LS-DYNA analiz sonucu.



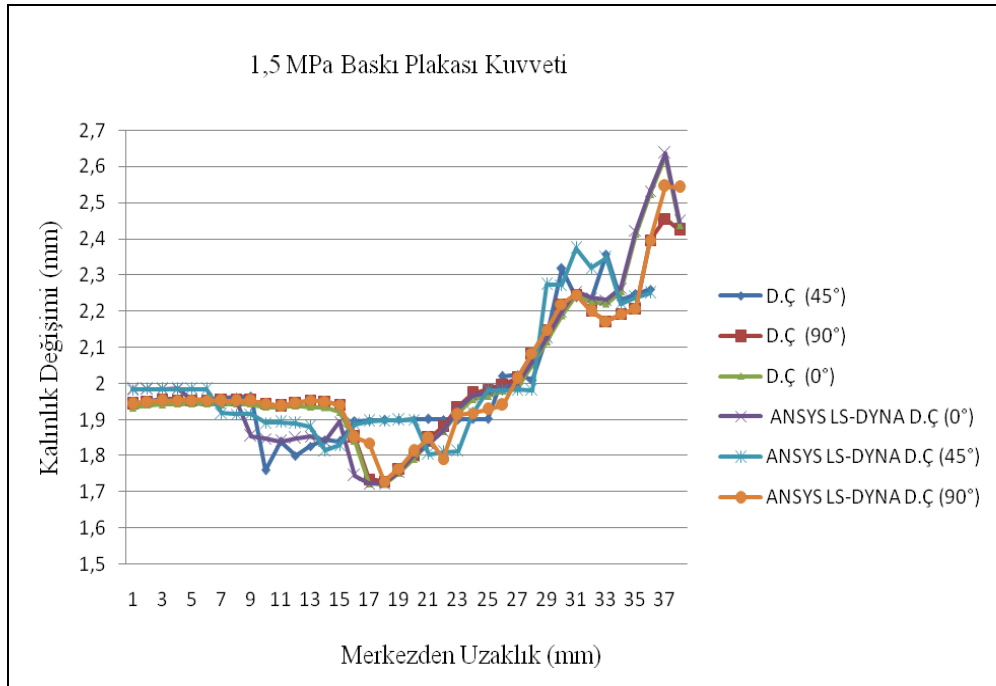
Şekil 7.6. Parçanın kafes şeklinde görünüşü.

Şekil 7.5. de 1,5-2-3-4 ve 5 MPa pot baskısı ile 25°C deki çekilmiş kapların yüzey görüntüleri ANSYS LS-DYNA ile analizi yapılmıştır. Sonuçlarda görüldüğü gibi 3 MPa ve üstü pot baskı basınçlarındaki malzemelerde buruşma, buruşma eğilimi daha az 1,5 ve 2 MPa basınçlarda daha fazla olduğu gözlenmektedir. 3, 4, 5 MPa basınçlarında benzer sonuçlar görülür. Şekil 7.6.'de tel kafes görünüşü ile malzemedeki akış yönleri ve kalınlık incelmede hangi yolları izlediği açıkça görülmüştür.

## BÖLÜM 8

### ANSYS LS-DYNA İLE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

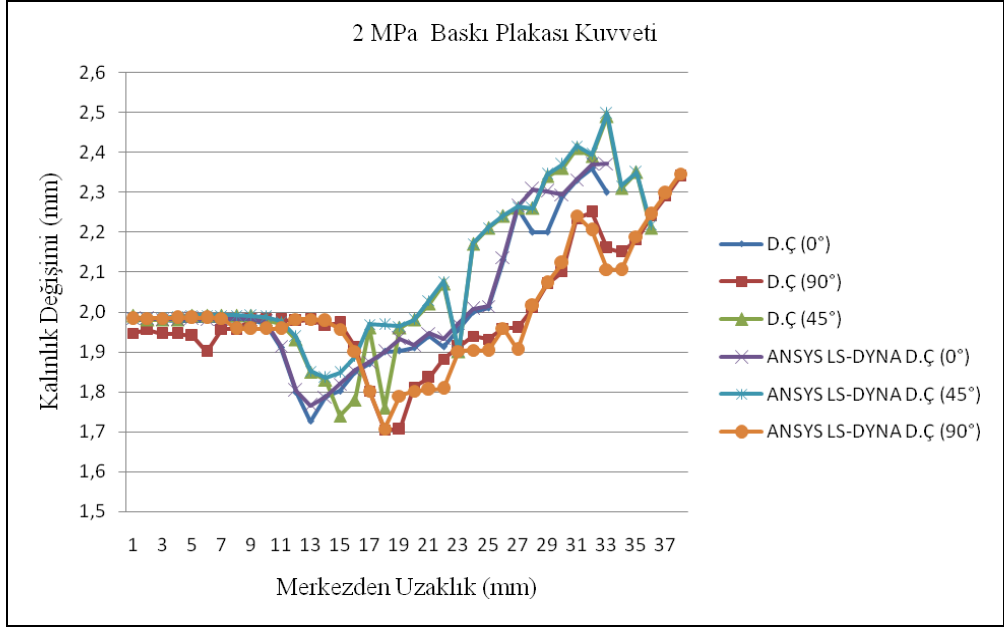
1,5-2-3-4 ve 5 MPa pot baskısı ile elde edilen parçanın 0°, 45° ve 90° deki kesitlerinin kalınlık değişimi deney ile ANSYS LS-DYNA analiz sonuçlarının karşılaştırılması aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



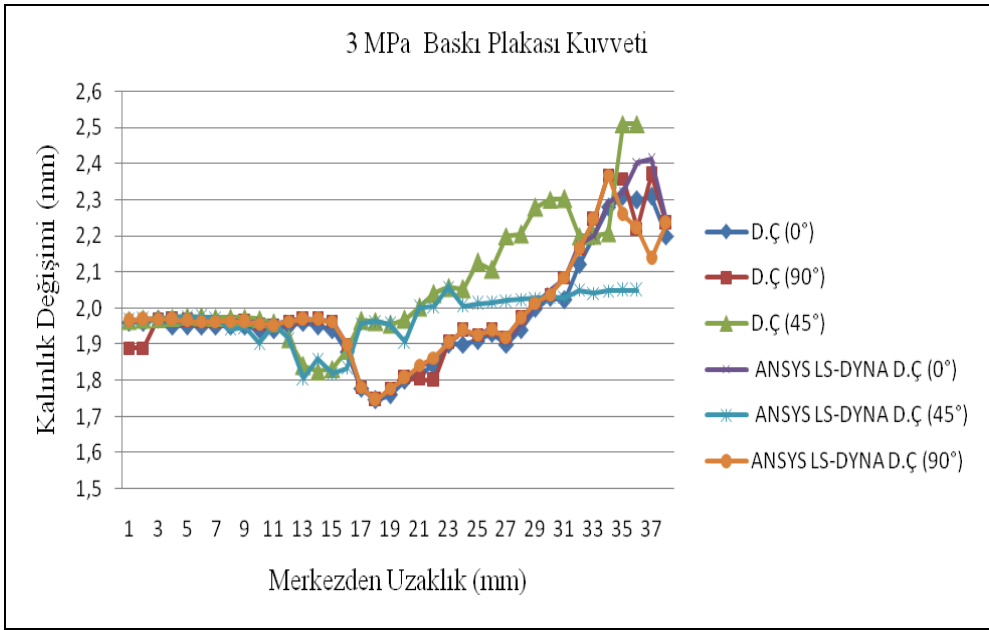
Şekil 8.1. Farklı kesitlerdeki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması (1,5 MPa).

Deney sonuçlarında yaklaşık 15-23 mm uzaklıkları arasındaki bölgelerde fazlasına maruz kaldığı için cidar kalınlıkları incelmesi daha fazla gerçekleşmiştir. Cidar kalınlıkları 1,7-2,7 arasında değişim göstermiştir.

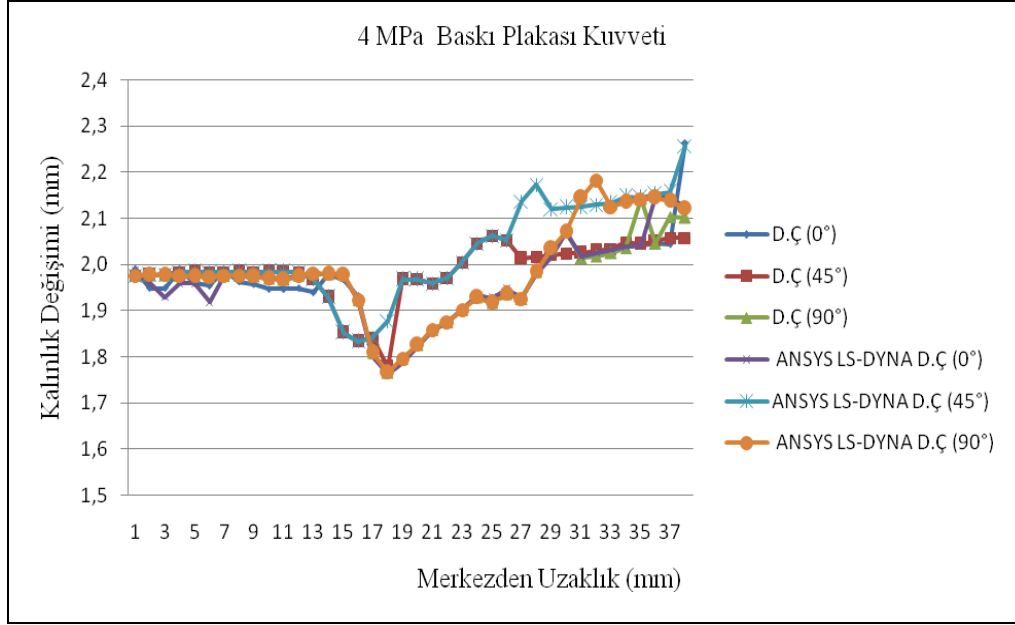




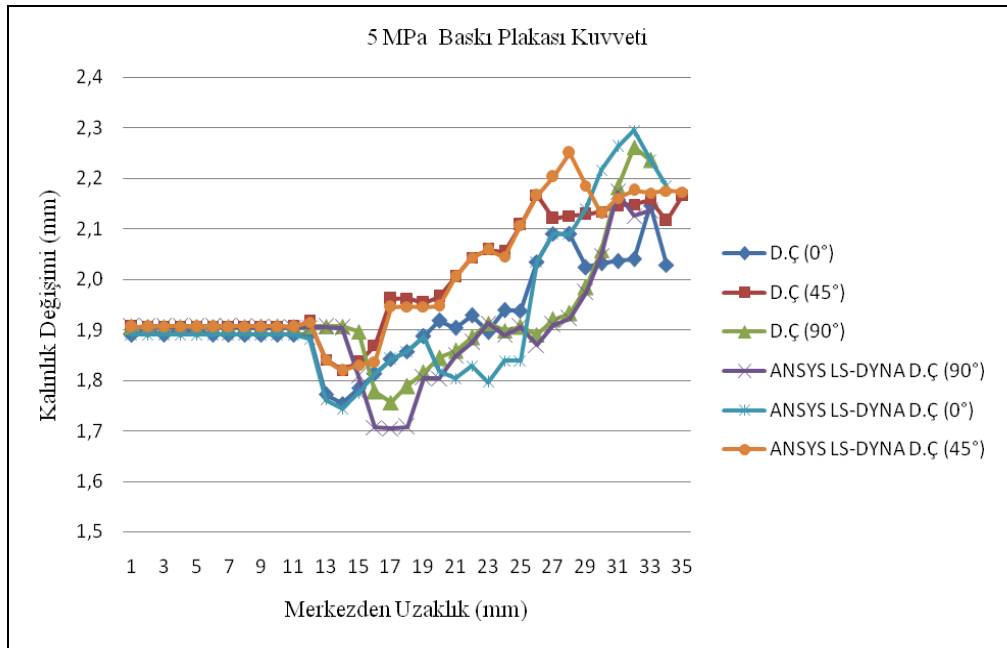
Şekil 8.2. Farklı kesitlerdeki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması (2 MPa).



Şekil 8.3. Farklı kesitlerdeki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması (3 MPa).



Şekil 8.4. Farklı kesitlerdeki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması (4 MPa).



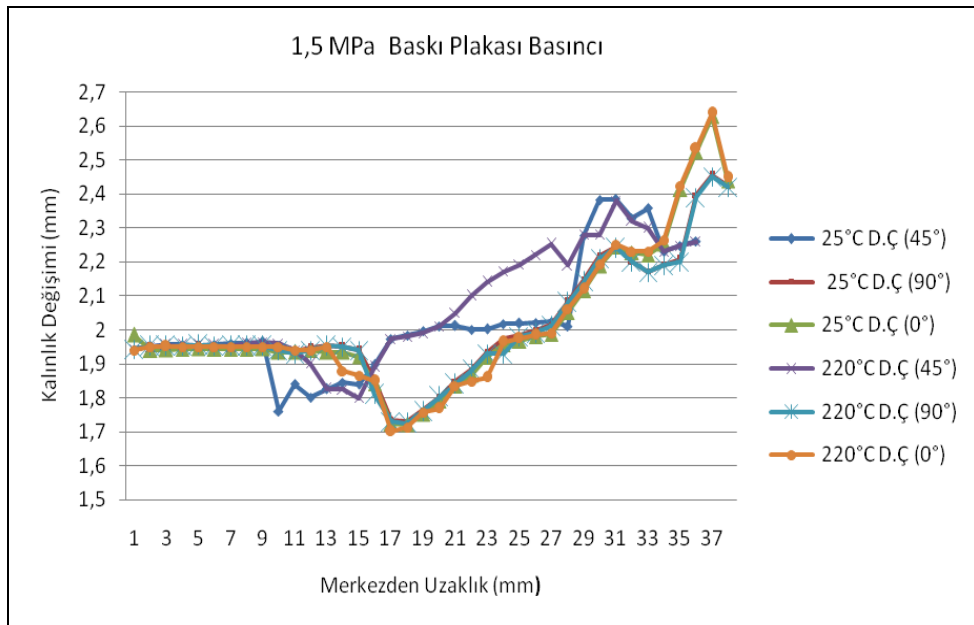
Şekil 8.5. Farklı kesitlerdeki kap cidar kalınlığının karşılaştırılması (5 MPa).

Grafiklerden de görüldüğü gibi 1,5 ve 2 MPa pot baskısının olduğu deneylerde ANSYS LS-DYNA ve deneysel olarak karşılaştırıldığında kalınlık değişiminin farklı olduğu görülmektedir. Her iki deney yöntemindeki kalınlık değişimleri heterojen gerçekleşmiştir.

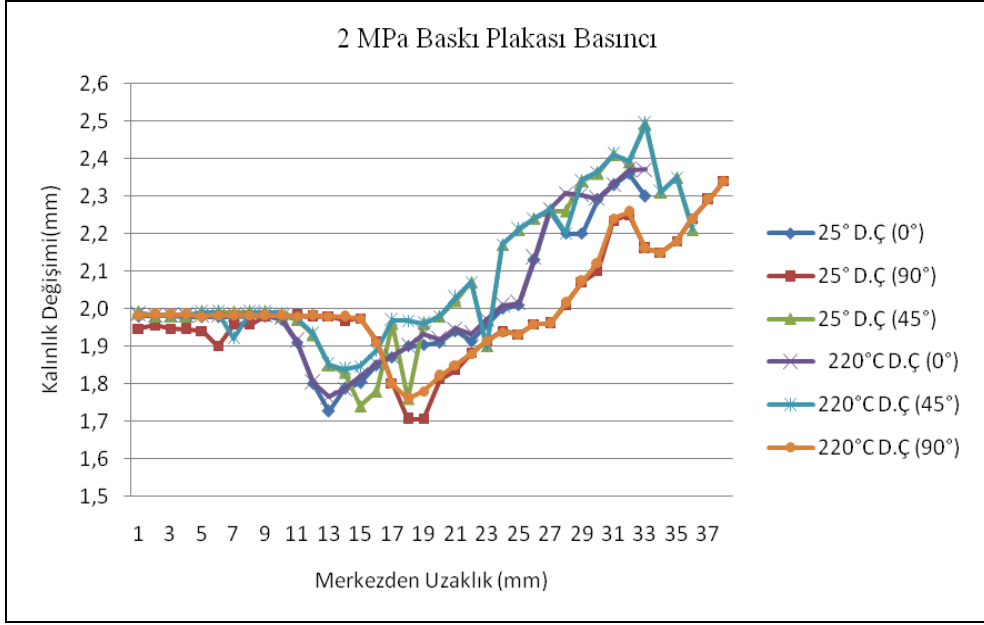
Baskı plakası kuvveti 3-4 ve 5 MPa olan karşılaştırmalarda ise malzemenin merkezden uzaklaştıkça taban kısmında aynı kalınlıklara yakın sonuçlar kabın taban köşe kısımlarında daha fazla incelmenin olduğu kabın ağız kısmına gittikçe daha çok farklı sonuçların oluştuğu görülmektedir.

### 8.1. 25°C ve 220°C DEKİ DENEYSEL SONUÇLAR

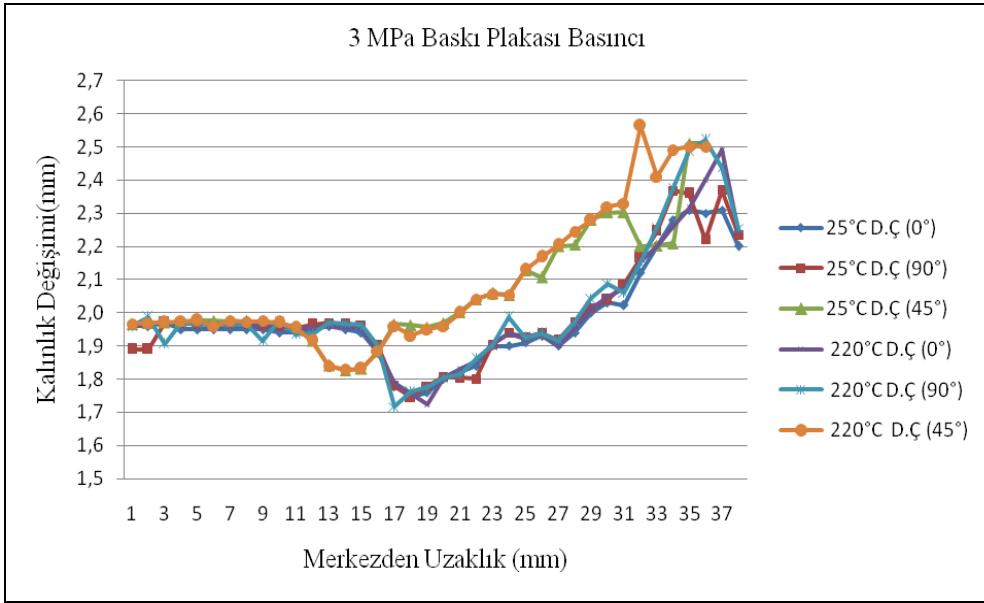
Aşağıdaki grafiklerde 1,5- 2- 3- 4 ve 5 MPa pot baskı plakası basıncı ile 25°C deki 0°, 45° ve 90°'lik açılardaki çekilen kap kesitlerindeki cidar kalınlıkları gösterilmektedir. Grafiklere bakarsak kalınlık değişimi diğer grafiklerden farklılık göstermektedir. Bunun nedenlerinden biri baskı plakasının fazla basarak malzemedeki kalınlık değişiminin daha fazla olması sağlanılmıştır fakat malzemenin fazla basması kabın ağız kısmında malzeme birikmesine ve kalınlaşmasına diğer yöndeki malzemenin ise gerilerek incelmesine neden olmuştur. 90° deki kesitte malzemenin daha fazla basınca maruz kalarak incelme diğer kesitlere göre daha fazla olmuştur.



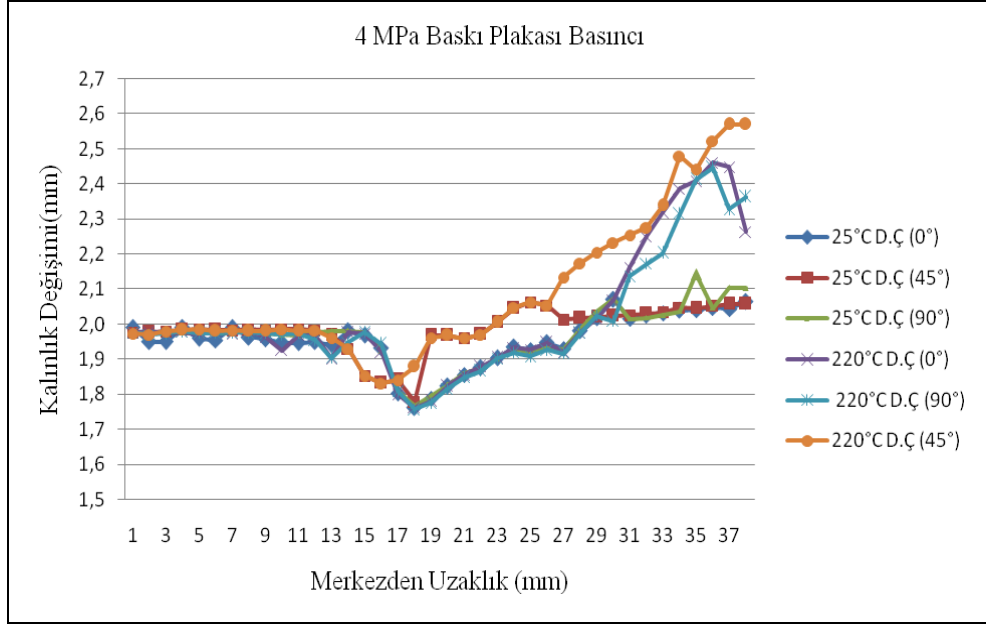
Şekil 8.6. Farklı sıcaklıklardaki kabın cidar kalınlığının karşılaştırılması (1,5 MPa).



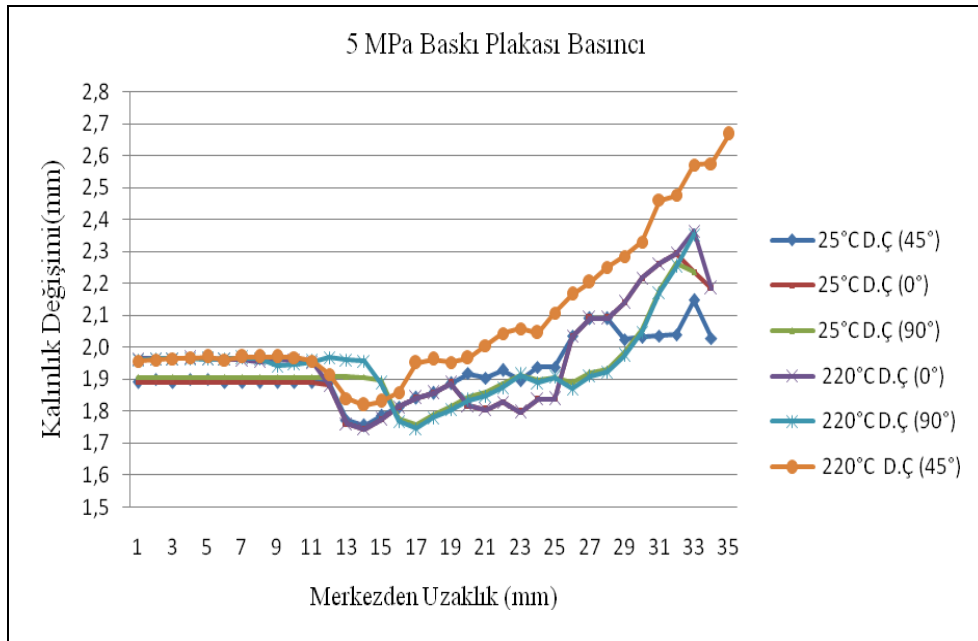
Şekil 8.7. Farklı sıcaklıklardaki kabın cidar kalınlığının karşılaştırılması (2 MPa).



Şekil 8.8. Farklı sıcaklıklardaki kabın cidar kalınlığının karşılaştırılması (3 MPa).



Şekil 8.9. Farklı sıcaklıklardaki kabın cidar kalınlığının karşılaştırılması (4 MPa).



Şekil 8.10. Farklı sıcaklıklardaki kabın cidar kalınlığının karşılaştırılması (5 MPa).

Şekil 8.10.'daki yaklaşık 15 - 23 sınırları arasındaki kalınlık değişimi farkının fazla olmasının nedeni parçanın radius kenarlarındaki aşırı zorlanmadan kaynaklandığı kalınlık değişimi daha fazladır yani köşe kısımlarında daha fazla incelmeye olduğu görülür. 90° de sıcak ve soğuk malzemelerde birbirinden daha bağımsız değerler çıkmasına rağmen 0° ve 45° de benzer sonuçlar çıkmıştır.

Şekil 8.10.'dan görüldüğü üzere sıcaklık etkisinin olduğu kaplardaki kalınlık değişiminde daha fazla bir kalınlık değişimi olmuştur. 5 MPa baskı plakası kuvvetindeki kalınlık değişimi sıcaklık arttıkça yani 220°C de daha fazla bir kalınlık değişimi olmuştur, diğer basınçlarda fazla bir değişiklik olmamıştır.

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi sıcaklığın malzeme üzerinde çekilmeyi kolaylaştıran olumlu bir etkisi vardır yani sıcaklık arttıkça kabın çekilebilme oranı artıyor ve bu artış doğrultusunda hem malzemenin cidar kalınlığında gözle görülebilir bir incelme sağlanıyor hem de bu incelmeye bağlı olarak kabın boyutunda artma gerçekleşiyor.

Şekil 8.10.'daki grafiği incelersek 45°'deki kap kesitinde sıcak ve soğuk ile karşılaştıracak olursak sıcak işleme tabi tutulmuş malzemede daha fazla incelme gerçekleşiyor. 0°, 45° ve 90° ile karşılaştırırsak 0°'nin daha fazla incelme 90° de ise daha az incelme gözlemlenmektedir bunun nedeni malzemenin derin çekme işlemindeki akış yönünden kaynaklanan bir değişimdir. Sıcaklık artışı olan malzemelerde soğuk parçalara göre daha fazla kalınlık incelmesi gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak malzemeye uygulanan sıcaklığın ve pot çemberi basıncının malzeme üzerinde etkileri, malzeme sıcaklığı ne kadar çok artarsa malzeme içindeki moleküllerin birbiri üzerinden kaymaları kolaylaşacağı yani akma gerilmesinin azalacağı için malzeme daha kolay derin çekme sağlanır fakat sıcaklığa maruz bırakırken sertleşme sınırının üzerine çıkmamak gerekir eğer sertleşme sınırının üzerine çıkarsa malzemede çatlaklar meydana gelebilir.

Al 5754 malzemesindeki kesilen 0°, 45° ve 90°'lik açılardaki kesitlerde birbirinden bağımsız olarak kalınlık değişimi olduğu gözlemlenmiştir.

## BÖLÜM 9

### GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Derin sac çekmede baskı plakasının cidar kalınlığı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan SEA sonuçları Bölüm 8’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Sabit pot baskısı ile çekilen kapların et kalınlıkları aynı şartlar altında gerçekleştirilen sonlu eleman analiz sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Deneysel ve FEM yoluyla elde edilen cidar kalınlık dağılımının genelde % 90 uyum sağladığı görülmüştür.
2. Çekilen silindirik kapların cidar kalınlığının yan yüzeylerde homojen incelme olduğu, zımba köşelerine denk gelen bölgelerinde ani cidar kalınlık değişimleri olduğu, ağız kısmına doğru kalınlaşmalar olduğu görülmektedir.
3. AA 5754-O 1,5-2-3-4 ve 5 MPa baskı plakası kuvvetlerinde 25°C ve 220°C’deki sıcaklıklarda farklılaşma olduğu tespit edilmiştir. 220°C’de malzemenin yüzey pürüzlüğü ve kabın derinliğinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
4. Çekilen kapın derinlikleri baskı plakasının sac üzerine uyguladığı kuvvetle ve sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmaktadır.
5. Bu deneyler sırasında malzeme ısıtılırken 250°C den daha fazla sıcaklıklarda 20 dk’ dan fazla bekletildiğinde malzemede sertleşme meydana geliyor ve malzemenin derin çekilmesinde olumsuz etki oluşturarak malzemenin kusursuz bir yapıda çekilmesine engel oluşturmaktadır.

6. Yapılan bu çalışma ile sac levhaların FEM ile şekillendirilmesi sayesinde kalıp seti ile preste yapılan deneylere gerek kalmadan her türlü malzemenin şekillendirme şartları, baskı plakası kuvveti ve şekillendirme sınır diyagramları belirlenebilmektedir. Böylece sanayide tasarım ve üretim aşamasında zaman ve maliyetten büyük kazanç sağlanabilir.

Elde edilen sonuçlar ışığında, bundan sonra çalışılması gereken noktalar ve yapılabilecek öneriler aşağıda özetlenmiştir.

1. Yapılan çalışma ile şekillendirme hareketi altında baskı plakasının ve sıcaklığın cidar kalınlığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda FEM sağladığı kolaylıklardan yararlanılarak değişken baskı plakası kuvvetinin etkisini, baskı plakasına gelen reaksiyon kuvvetlerinin tespitini çekme derinliğinin artırılmasında çekme boşluğunun etkisi zımba ve kalıp radüsü nün cidar kalınlığına etkisi incelenebilir.
2. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan eleman sayısı ve ağ yapısı gibi değişkenlerin, farklı temas tiplerinin ve farklı malzeme özelliklerinin analize etkisi incelenebilir.
3. Malzemenin anizotropik özelliği göz önüne alınarak malzeme sarfiyatını azaltmak için çekme işlemi öncesi sac levhanın geometrik yapısında düzenlemeler yapılabilir.
4. Malzeme ısıtılırken ne kadar sürede fırında tutulacağı ve bu süre aşımında nasıl bir malzeme yapısı olduğu ve derin çekmeyi nasıl etkilediği araştırılabilir.
5. Sanayide sıklıkla kullanılan değişik malzemeler bu yöntemle incelenebilir.



## KAYNAKLAR

1. Yaşar, M., “Yüksek hızda şekillendirilen alüminyum alaşımlarında oluşan deformasyonun incelenmesi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, İstanbul, 164 (1999).
2. Yıldız, H. ve Kırılı, O., “Derin çekme işleminin doğrusal olmayan sonlu elemanlar metodu yardımıyla modellenmesi”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (3) 317-326 (2004).
3. Karalı, M., “Derin sac çekme işleminde pot çemberi baskısının kontrolünün cidar kalınlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 118 (2005).
4. Demirci, H.İ., Yaşar, M., Demiray, K. ve Karalı, M., “Derin çekme işlemlerinde baskı plakasının cidar kalınlığı üzerindeki etkisinin Ansys Ls-Dyna ile incelenmesi”, *4<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium september*, 28-30 Konya (2005).
5. Gavas, M., “AL-1050 Alaşımlı alüminyum sacın kare derin çekilmesinde çekme oranı limitinin belirlenmesi”, *Teknoloji Dergisi*, 8 (2) 215-221 (2005).
6. Gavas, M. ve İzçiler, M., “Deep drawing with anti-lock braking system (ABS)”, *Mechanism and Machine Theory*, (2006).
7. Öztürk, F. ve Toros, S., “Otomobillerde alüminyum-magnezyum alaşımlarının yeri ve şekillendirilebilme kabiliyetlerinin incelenmesi”, *Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, 51100, Niğde (2009).
8. Alkan, M., Öztürk, F., Toros, S. ve Kılıç, S. “5083-H111 Alüminyum magnezyum alaşımının geri esneme özelliğinin sıcaklıkla değişimi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu*, ADANA (2008).
9. Öztürk, F., Toros, S., ve Pekel, H., “Evaluation of tensile behaviour of 5754 aluminium–magnesium alloy at cold and warm temperatures”, *Materials Science and Technology*, 25 (7), 919-924, (2009).

10. Özek, C. ve Bal, M., “Derin çekme kalıplarında matris zımba radyüsü ve çekme oranının et kalınlığı üzerindeki etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 24 (1) 33-41, (2009).
11. Demiray K., “Al 1050 malzemesinin derin çekme işleminde baskı plakasının etkisinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı*, Karabük, 66 (2009).
12. İnternet: T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, “Makine teknolojisi derin çekme 1”. [http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine\\_tek/moduller/cekme\\_kaliplari1.pdf](http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine_tek/moduller/cekme_kaliplari1.pdf), (2006).
13. Colgan, M. and Monaghan, J., “Deep drawing process analysis and experiment”, *Journal of Materials Processing Technology*, 132 35-41 (2003).
14. Erdir, S., “Profilli derin çekmede hata analizi ve alınabilecek önlemler”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, İstanbul, 77 (1995).
15. Gündü, T., “Derin çekme saclarında derin çekilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 126 (2000).
16. Alıcı, İ., “Derin Çekme Saclarının Deformasyon Davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Bursa, 125 (2001).
17. Anon, “How to draw round cups deeper, by the ohio state university ERC for net shape manufacturing”, [http://thefabricator.com/Articles/stamping\\_Articles/.cfm?ID=542](http://thefabricator.com/Articles/stamping_Articles/.cfm?ID=542), January 15 (2001).
18. Çapan, L., “Metallere plastik şekil verme”, *Çağlayan Basımevi*, I. Baskı (1999).
19. Güneş, A.T.: “Pres işleri tekniği”, *TMMOB*, Ankara, Türkiye, (2) 15-149 (2002).
20. Erişkin, Y., “Uygulamalı sac metal kalıp konstrüksiyon”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Nisan (1986).
21. Anon, [http://www.horozmetal.com/icindekiler\\_01.asp](http://www.horozmetal.com/icindekiler_01.asp), ulaşım tarihi, (2006).

22. Gürleyik M.Y., “Malzeme bilgisi ve malzeme muayenesi”, *Kuzey Gazetecilik Matbaacılık ve Ambalaj Sanayi A.Ş.*, Trabzon, 248 (1977).
23. Hughes, T. J. R, and Camoy, E., "Nonlinear finite element shell formulation accounting for large membrane strains", *Transactions of the ASME*, 193-208 (1981).
24. Zhuo X., “Numerical prediction of springback in u-channel forming of aluminum tailor welded blanks”, *Department of Mechanical and Aerospace Engineering Ottawa-Carleton Institute for Mechanical and Aerospace Engineering Carleton University*, Ottawa 167 (1999).
25. Yaşar, M., Demirci, H. ve Kadı, İ., “Gaz detonasyonu ile şekillendirilen (GDŞ) alüminyum levhalarda meydana gelen deformasyon ve teorik modellenmesi”, *Teknoloji Dergisi*, 15-25, (2002).
26. Padmanabhan, M.; Tech. B.: “Wrinkling and springback in electromagnetic sheet metal forming and electromagnetic ring compression”, *The Ohio State University, Ms. Thesis*, (1997).
27. Alpers, B.; Bergmann, D.; Galanulis, K.; Winter, D.: “Advanced deformation measurement in sheet metal forming”, *Gesselschaft für Optisch Meßtechnik*, Germany, (2000).
28. Kadı, İ.: “Detonasyon olaylarının bilgisayar destekli ölçme ve analizi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1992).
29. Huetink, J., Boogaard, A.H., Geijselaers, H.J. and Meiders T., “Improvements in FE- analysis of real-life sheet metal forming”, *European Congress on Computational Methods in Applied Science and Engineering*, Barcelona, 11-14 September (2000).
30. Kayalı E.S., Ensari C., “Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları”, *İ.T.Ü. Kimya –Metalurji Fakültesi*, İstanbul, 1. Baskı, 86-1, (1986).

## ÖZGEÇMİŞ

Aysu AKILLI 1985 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlk ve ortaokulu Bahçelievler İlköğretim Okulunda tamamladı. Zonguldak Anadolu Kız Meslek Lisesi Bilgisayar bölümünden 2003 yılında tamamladıktan sonra, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliğinden 2008 yılında mezun oldu.

2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans programına devam etmekte.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Terakki Mahallesi Bahçe Sokak No: 43/C  
Zonguldak/ Merkez  
Tel : (0505) 524 53 16  
E-posta : aysu\_akilli@hotmail.com

**EK AÇIKLAMALAR A**  
**HİDROLİK PRESİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ**

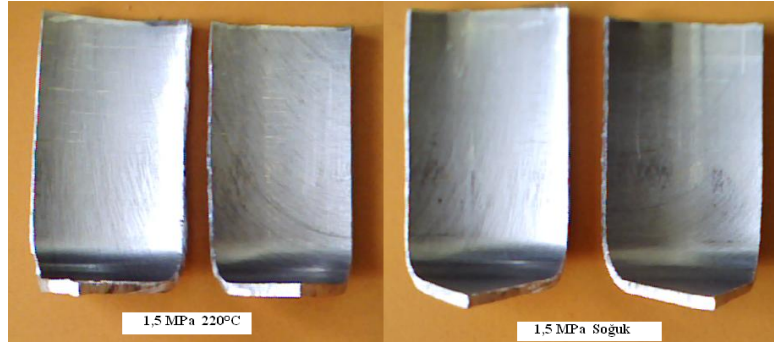
## HİDROLİK PRESİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Çizelge Ek A.1. Hidrolik presin teknik özellikleri

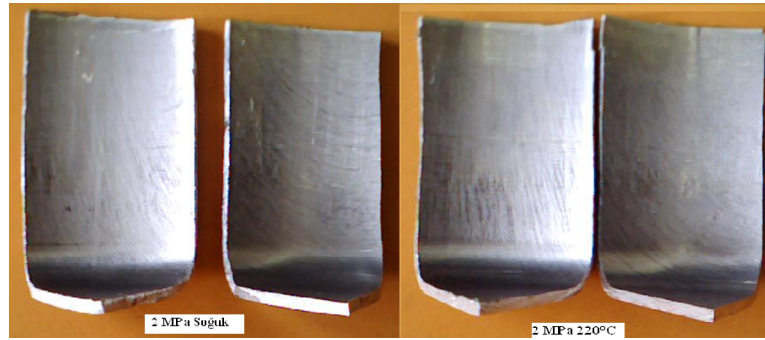
ŞAHİNLER HCP PRESLERİ		60 TON
Pres gücü	kN	600
Strok	mm	250
Çalışma basıncı	bar	236
Maks. Hız	mm/s	26
Çalışma hızı	mm/s	8,5
Dönüş hızı	mm/s	47
Çalışma boşluk yüksekliği	mm	450
Kalıp tablası ebatları	mm	500x750
Tabla altı boyutları	mm	430x500
Kalıp tablasındaki delik çapı	Ø mm	100
Motor gücü	kw	7,5
Pompa debisi	l/min	40
Yağ tankı	lt	200
Boy	mm	1820
Genişlik	mm	960
Yükseklik	mm	2400
Ağırlık	kg	4000

## **EK AÇIKLAMALAR B**

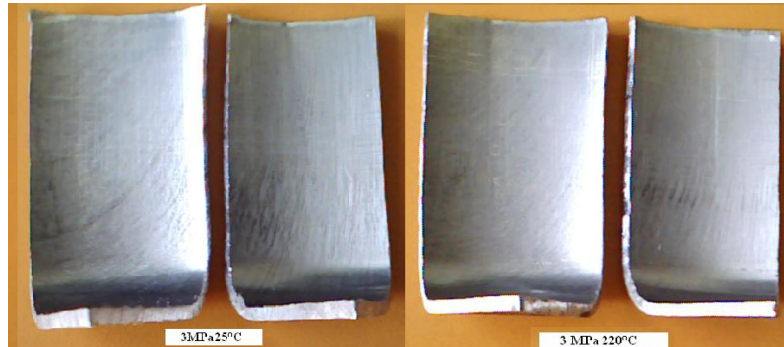
**SAC LEVHANIN 1,5-2-3-4 VE 5 MPa DAKİ 25°C VE 220°C DENEY  
SONUCUNDAKİ KESİT GÖRÜNTÜLERİ**



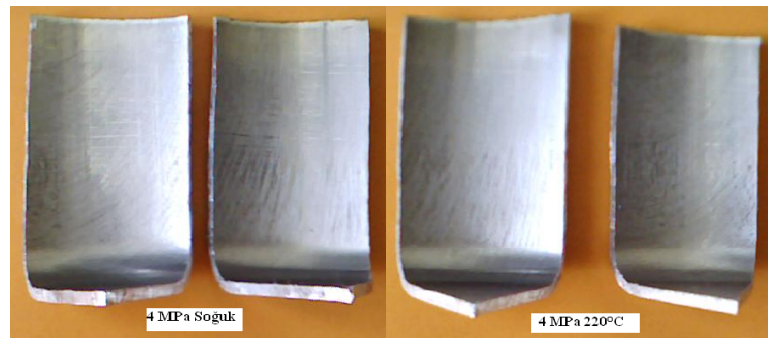
(a)



(b)



(c)



(d)



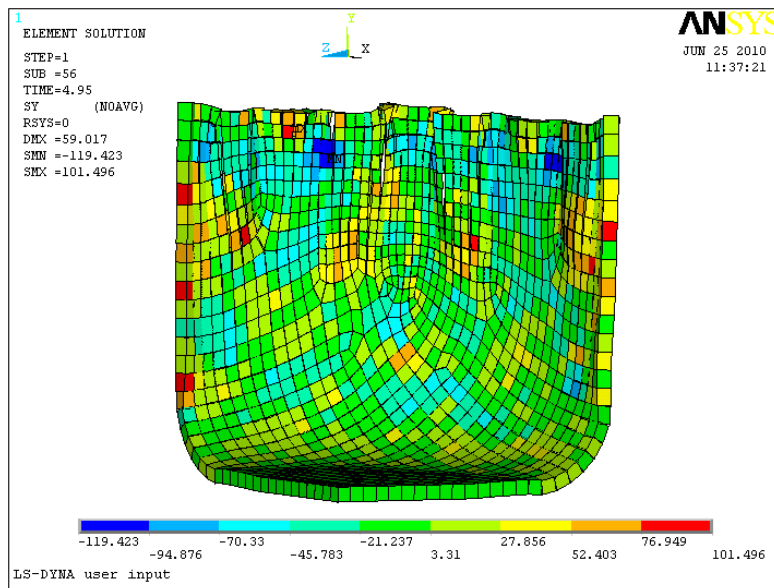


(e)

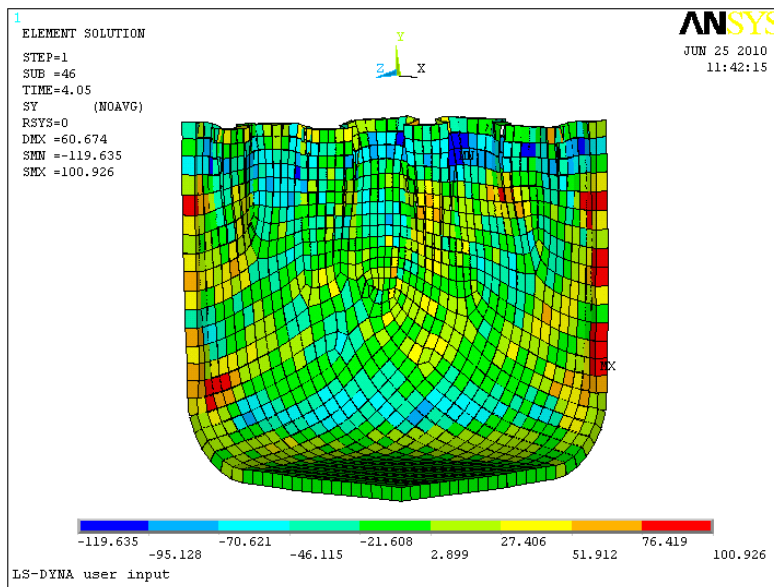
Şekil Ek B.1. Farklı MPa pot basıncında sac levhanın 25°C ve 220°C deki değişim resimleri, (a) 1,5 MPa, (b) 2 MPa, (c) 3 MPa, (d) 4 MPa, (e) 5 MPa

## **EK AÇIKLAMALAR C**

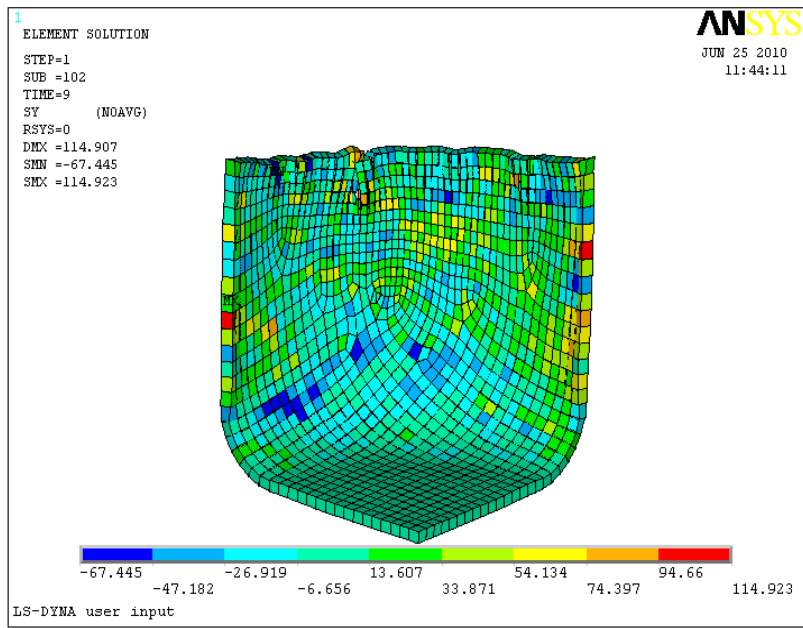
**FEM ANALİZİ İLE SAC LEVHANIN 1,5-2-3-4 VE 5 MPa DAKİ MESH  
ÖRÜLMÜŞ GERİLME ANALİZİ KESİT GÖRÜNTÜLERİ**



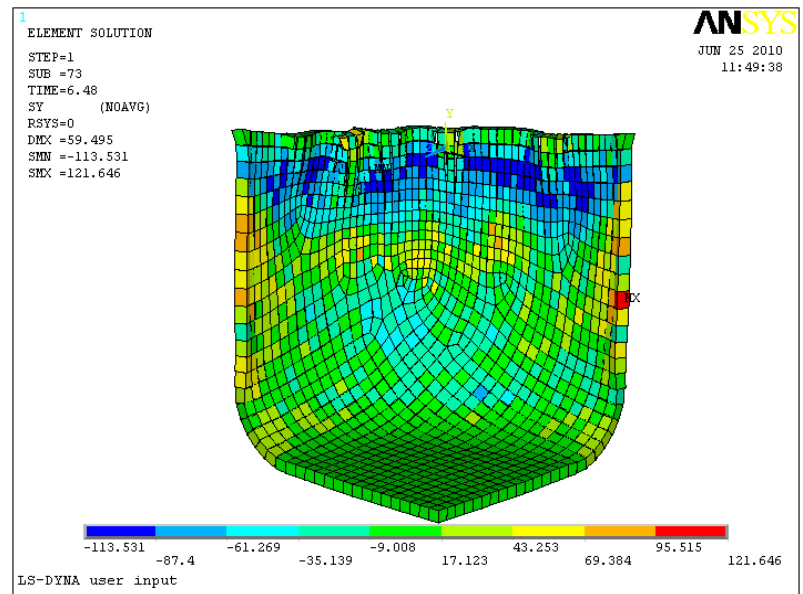
(a)



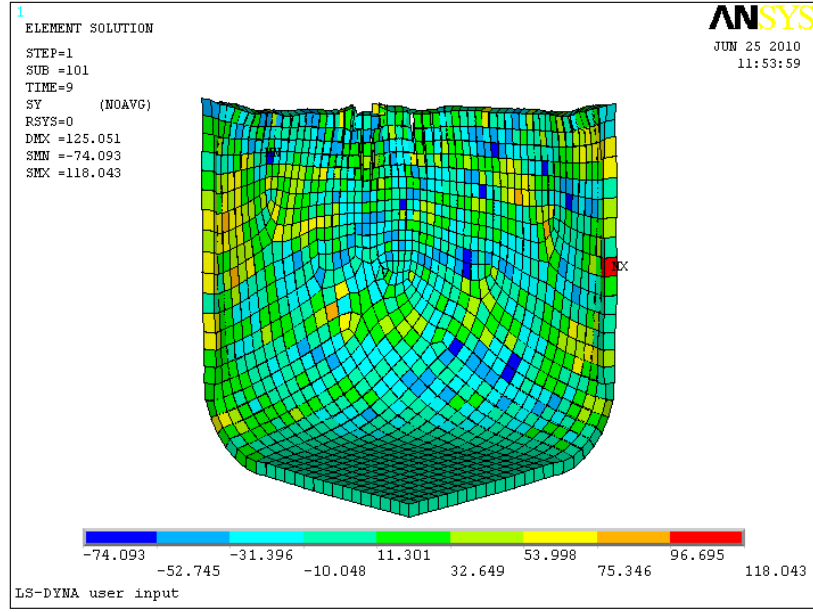
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil Ek C.1. Fem analizi ile sac levhanın farklı MPa' daki mesh örülmüş gerilme analizi kesit görüntüleri, (a) 1,5 MPa, (b) 2 MPa (c) 3 MPa, (d) 4 MPa, (e) 5 MPa.