

**V BÜKME KALIPLARINDA ALÜMİNYUM  
ALAŞIMLI SACLARIN ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE  
GERİ ESNEME MİKTARLARININ TESPİTİ**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**Ramazan ÖTÜ**

**V BÜKME KALIPLARINDA ALÜMİNYUM ALAŞIMLI SAÇLARIN  
ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE GERİ ESNEME MİKTARLARININ TESPİTİ**

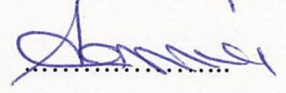
**Ramazan ÖTÜ**

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

**KARABÜK  
Haziran 2012**

Ramazan ÖTÜ tarafından hazırlanan “V BÜKME KALIPLARINDA ALÜMİNYUM ALAŞIMLI SAÇLARIN ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE GERİ ESNEME MİKTARLARININ TESPİTİ” 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. 29/06/2012

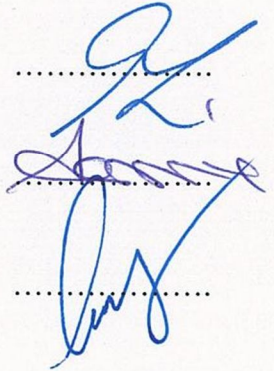
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU (KBÜ)

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

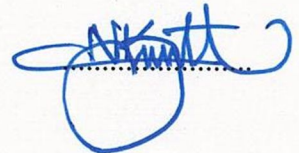
Üye : Doç. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)



.../.../2012

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN  
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.”*

Ramazan ÖTÜ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **V BÜKME KALIPLARINDA ALÜMİNYUM ALAŞIMLI SACLARIN ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE GERİ ESNEME MİKTARLARININ TESPİTİ**

**Ramazan ÖTÜ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalında**

**Tez Danışmanı:**

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

**Haziran 2012, 95 sayfa**

Bu çalışmanın amacı, endüstride sıklıkla kullanılan AA 5754-O ve AL 1050-O sac malzemelerin V şekilli kalıplarda farklı bükme yöntemleri uygulanarak geri esnemelerin incelenmesidir. Çalışmada deneysel ve teorik (SEY) karşılaştırılmıştır. Kullanılan sac malzemeler 1 mm ve 2 mm kalınlığındadır. Kalıp bükme açıları endüstride sık kullanılmakta olan 60°, 90° ve 120° olarak seçilmiştir. Sac malzeme hadde yönüne göre 0°, 45° ve 90° olacak şekilde V bükme için hazırlanmıştır. Zımbaların uç yarıçapları ise 2 mm, 4 mm ve 6 mm olarak belirlenmiştir. Literatürde sıklıkla kullanılan dört farklı bükme yöntemi iki grupta incelenmiştir. Bunlardan birincisi AA 5754-O, ikincisi AL 1050-O sac malzemelerdir. Herbir parametre için en az 3'er tane olmak üzere yaklaşık 1500 adet deney numunesi bükülerek şekillendirilmiş, geri esneme grafikleri çıkarılmıştır. Çalışmada kullanılan zımbaların uç yarıçaplarının artması ile zımbanın bükülen malzeme üzerinde bekletilme

süresinin geri esnemeyi azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca sac malzemelerin hadde yönü özelliğinin geri esneme açısında farklılıklar oluşturduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Alüminyum sac malzeme, geri esneme, V bükme, zımba yarıçapı, V şekilli kalıp, sonlu elemanlar yöntemi.

**Bilim Kodu :** 708.1.090

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **FORMING OF ALUMINUM ALLOY SHEETS AT V BENDING DIES AND DETERMINATION OF THEIR AMOUNT OF SPRING BACKS**

**Ramazan ÖTÜ**

**Karabuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Mechanical Education Department**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ**

**June 2012, 95 pages**

The purpose of this study is to investigate spring backs at different bending methods on AA 5754-O and AL 1050-O sheet materials in V shape dies. In this study, experimental and theoretical (FEM) methods are compared. Sheet materials used in study have the thickness of 1 mm and 2 mm. Form bending angles are chosen 60°, 90° and 120° which are commonly used in industry. Sheet material for V bending is prepared as 0°, 45° and 90° with respect to rolling direction. Punch radius is decided as 2 mm, 4 mm and 6 mm. Four different bending methods used frequently at literature are studied into two groups. First group is AA 5754-O and the second is AL 1050-O sheet materials. 1500 specimens at 3 units for each parameter are shaped with bending. Their spring-back graphs are generated. In this study, it is observed that waiting time of punch on bended material reduces spring-back with respect to increasing extreme radius of punches. In addition the differences were seen at spring-back angles because of rolling direction of sheet materials.

**Key Words** : Aluminum sheet material, spring-back, V-bending, punch radius, V-shaped plate, finite element method.

**Science Code** : 708.1.090



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Sayın Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ'ye tez çalıŐmamın teorik modellemesinde yardımları esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mustafa YAŞAR'a ve bu çalışmaya başlamamdan beri bana yardım eden arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
BÖLÜM 3 .....	10
BÜKME .....	10
3.1. BÜKME İŞLEMİ .....	10
3.2. BÜKME İŞLEM ÇEŞİTLERİ .....	11
3.2.1. V Bükme.....	12
3.2.2. Serbest Bükme .....	13
3.2.3. Kenar Bükme .....	14
3.3. GERİ YAYLANMA.....	15
3.4. ŞEKİLLENDİRMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER .....	15
3.4.1. Malzeme Değişkenleri.....	15
3.4.2. Akma Dayanımı .....	16
3.4.3. Elastiklik Modülü.....	16
3.4.4. Deformasyon Hızına Duyarlılık Üsteli .....	16

3.4.5. Plastik Anizotropi “r” .....	17
BÖLÜM 4 .....	18
METAL SACLARIN ŞEKİLLENDİRME İŞLEMİNİN BİLGİSAYAR .....	18
ORTAMINDA BENZETİMİ .....	18
4.1. İMPLİSİT YÖNTEM (İY).....	18
4.2. EKSPLİSİT YÖNTEM (EY).....	18
4.3. İMPLİSİT VE EKSPLİSİT YÖNTEMLERİN KARSILAŞTIRILMASI.....	19
4.4. ANSYS/LS-DYNA PROGRAMI .....	20
4.5. EKSPLİSİT DİNAMİK ANALİZ PROGRAMINDA KULLANILAN ELEMENTLER .....	20
BÖLÜM 5 .....	22
MATERYAL VE YÖNTEM .....	22
5.1. MATERYAL.....	22
5.2. YÖNTEM.....	34
5.3. MALZEME ÖZELLİKLERİ .....	35
5.3.1. 1XXX Serileri .....	36
5.3.2. 5XXX Serileri .....	36
5.4. TEORİK MODELİN OLUŞTURULMASI.....	39
5.4.1. Modelin Tasarlanması.....	39
5.4.2. Eleman Tipinin Tanımlanması.....	39
5.4.3. Malzeme Modelinin Tanımlanması .....	39
5.4.4. Modele Ağ Örne .....	40
5.4.5. Kontak (Sürtünme) Modelinin Tanımlanması.....	41
5.4.6. Parametrelerin Belirlenmesi .....	42
5.4.7. Problem Analiz Süresinin Belirlenmesi .....	42
BÖLÜM 6 .....	43
SONUÇLAR.....	43
6.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN GERİ ESNEME SONUÇLARI.....	43
6.2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (SEY) ÇALIŞMALARININ GERİ ESNEME SONUÇLARI .....	61

6.3. DENEYSEL YÖNTEMİN (DY) ZIMBANIN MATRİS ÜZERİNDE BEKLEME SÜRESİNE GÖRE GERİ ESNEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....	68
6.4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR UYGULANARAK 60°, 90° VE 120° BÜKÜLEN NUMUNELERİN GERİ ESNEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....	74
6.5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (SEY) UYGULANARAK 60°, 90° VE 120° BÜKÜLEN NUMUNELERİN GERİ ESNEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....	76
6.6. DENEYSEL YÖNTEM (DY) İLE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (SEY) UYGULANARAK 60°, 90° VE 120° BÜKÜLEN NUMUNELERİN GERİ ESNEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....	78
BÖLÜM 7 .....	85
TARTIŞMALAR.....	85
7.1. SAC KALINLIĞININ GERİ ESNEMEYE ETKİLERİ .....	88
7.2. DY İLE SEY'İN GERİ ESNEMEYE ETKİLERİ .....	88
7.3. FARKLI BÜKME YÖNTEMLERİNİN GERİ ESNEMEYE ETKİLERİ.....	88
7.4. HADDE YÖNÜNÜN GÖRE GERİ ESNEMEYE ETKİLERİ .....	88
BÖLÜM 8 .....	85
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	95

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Sac metal bükülmesi ile oluşan gerilmeler. ....	11
Şekil 3.2. Bükme operasyonları: a) Serbest bükme, b) Kenar bükme, c) Çift etkili bükme, d) Ezerek bükme, e) Döndürerek bükme. ....	12
Şekil 3.3. V bükme işlemi. ....	13
Şekil 3.4. Serbest bükme. ....	14
Şekil 3.5. Kenar bükme. ....	14
Şekil 3.6. Bükme sonrasında oluşan geri esneme. ....	15
Şekil 4.1. İmplicit ve eksplisit yöntemlerin karşılaştırılması. ....	20
Şekil 4.2. SHELL 163 element tipi. ....	21
Şekil 5.1. Deney numunesi sac boyutları. ....	23
Şekil 5.2. Al 1050-O deney numuneleri: a) Hadde yönü 90°, b) Hadde yönü 45°, c) Hadde yönü 0°olarak ayarlanmış numune. ....	23
Şekil 5.3. AA 5754-O deney numuneleri: a) Hadde yönü 0°, b) Hadde yönü 45°, c) Hadde yönü 90°olarak ayarlanmış numune. ....	24
Şekil 5.4. Şekillendirmede kullanılan pres. ....	24
Şekil 5.5. 60°'de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	25
Şekil 5.6. 60°'de bükülen Al 1050-O deney numuneler: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	25
Şekil 5.7. 90°'de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	26
Şekil 5.8. 90°'de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	26
Şekil 5.9. 120°'de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	26
Şekil 5.10. 120°'de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	27

Şekil 5.11. 60°'de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	27
Şekil 5.12. 60°'de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	27
Şekil 5.13. 90°'de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	28
Şekil 5.14. 90°'de bükülen AA 5754-O deney numuneler: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	28
Şekil 5.15. 120°'de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	28
Şekil 5.16. 120°'de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm. ....	29
Şekil 5.17. Modüler kalıp ve zımbaların parçaları: (a) 60°'lik, (b) 90°'lik, (c) 120°'lik. ....	29
Şekil 5.18. Modüler V bükme kalıp örneği. ....	31
Şekil 5.19. Alüminyum numunenin mekanik testi. ....	37
Şekil 5.20. AA 5754-O numunede çekme testi sonucu meydana gelen kırılma. ....	37
Şekil 5.21. Kalıp elemanları için mesh model. ....	41
Şekil 6.1. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	44
Şekil 6.2. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	46
Şekil 6.3. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	47
Şekil 6.4. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	49
Şekil 6.5. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	50

Şekil 6.6. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları.....	52
Şekil 6.7. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.....	53
Şekil 6.8. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları.....	55
Şekil 6.9. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.....	56
Şekil 6.10. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları.....	58
Şekil 6.11. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.....	59
Şekil 6.12. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları.....	61
Şekil 6.13. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.....	62
Şekil 6.14. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.....	63
Şekil 6.15. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.....	64
Şekil 6.16. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.....	65
Şekil 6.17. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.....	66
Şekil 6.18. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.....	67

Şekil 6.19. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	69
Şekil 6.20. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	70
Şekil 6.21. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	71
Şekil 6.22. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	72
Şekil 6.23. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	73
Şekil 6.24. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	74
Şekil 6.25. AA 5754-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	75
Şekil 6.26. AL 1050-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları. ....	76
Şekil 6.27. AA 5754-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları. ....	77
Şekil 6.28. AL 1050-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'li geri esneme açıları. ....	78
Şekil 6.29. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.....	79
Şekil 6.30. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.....	80
Şekil 6.31. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.....	81



Şekil 6.32. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.....	82
Şekil 6.33. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.....	83
Şekil 6.34. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.....	84

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 5.1.	V bükme kuvveti. ....	30
Çizelge 5.2.	AA 5754-O sac malzemeler için analitik yöntemle hesaplanan bükme açısı. ....	33
Çizelge 5.3.	AL 1050-O sac malzemeler için analitik yöntemle hesaplanan bükme açısı. ....	33
Çizelge 5.4.	AA 5754-O alaşımının kimyasal özelliği. ....	37
Çizelge 5.5.	AA 5754-O alaşımının mekanik özelliği. ....	38
Çizelge 5.6.	Al 1050-O alaşımının kimyasal özelliği. ....	38
Çizelge 5.7.	Al 1050 alaşımının mekanik özelliği. ....	38
Çizelge 5.8.	ASYS/LS-DYNA programına çözümleme için girilen malzemelere ait değerler. ....	40
Çizelge 6.1.	AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler. ....	44
Çizelge 6.2.	AA 5754-O sac malzemelerin 60°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler. ....	45
Çizelge 6.3.	AA 5754-O sac malzemelerin 90°'lik V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler. ....	47
Çizelge 6.4.	AA 5754-O sac malzemelerin 90°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler. ....	48
Çizelge 6.5.	AA 5754-O sac malzemelerin 120°'lik V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler. ....	50
Çizelge 6.6.	AA 5754-O sac malzemelerin 120°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler. ....	51
Çizelge 6.7.	AL 1050-O sac malzemelerin 60°'lik V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler. ....	53
Çizelge 6.8.	AL 1050-O sac malzemelerin 60°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler. ....	54
Çizelge 6.9.	AL 1050-O sac malzemelerin 90°'lik V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler. ....	56

Çizelge 6.10. AL 1050-O sac malzemelerin 90°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler. ....	57
Çizelge 6.11. AL 1050-O sac malzemelerin 120°'lik V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler. ....	59
Çizelge 6.12. AL 1050-O sac malzemelerin 120°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler. ....	60
Çizelge 6.13. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri. ....	62
Çizelge 6.14. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri. ....	63
Çizelge 6.15. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri. ....	64
Çizelge 6.16. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri. ....	65
Çizelge 6.17. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri. ....	66
Çizelge 6.18. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri. ....	67

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$r$	: Yarı çap (mm)
$t,s$	: Sac kalınlığı (mm)
Al	: Alüminyum
$D$	: Dış çap (mm)
$K$	: Müsaade edilen gerilme ( $N/mm^2$ )
$L$	: Uzunluk (mm)
$E$	: Elastisite modülü ( $N/mm^2$ )
$\alpha$	: Büküm açısı (derece)
$W$	: Bükme açısı (derece)
$R$	: Büküm yarıçapı (mm)
$\sigma$	: Gerilme ( $N/mm^2$ )
$\varepsilon$	: Şekil değiştirme (mm)
$\theta$	: Bükme açısı (derece)
$\gamma$	: AB yayının nötr eksene olan uzaklığı (mm)
$\ell_0$	: AB yayının bükme uzaklığı öncesi uzunluğu (mm)
$\ell$	: AB yayının bükme uzaklığı sonrası uzunluğu (mm)
$M$	: Bükme momenti (mm)
$y_y$	: Plastik deformasyonun başladığı andaki uzaklık (mm)
$\sigma_x$	: X yönünde oluşan gerilme ( $N/mm^2$ )
$\sigma_y$	: Y yönünde oluşan gerilme ( $N/mm^2$ )
$\sigma_z$	: Z yönünde oluşan gerilme ( $N/mm^2$ )
$\sigma_x, \sigma_y$	: Açının olduğu düzlemdeki normal gerilmeler ( $N/mm^2$ )
$\sigma_n$	: Maksimum ve minimum kayma gerilmesi düzlemindeki norma gerilme ( $N/mm^2$ )
$\theta_{max}, \theta_{min}$	: Maksimum ve minimum kayma gerilmesi düzlemleri (derece)
$\tau$	: Kayma gerilmesi ( $N/mm^2$ )

$\tau_{\max}, \tau_{\min}$	: Maksimum ve minimum kayma gerilmeleri (N/mm <sup>2</sup> )
$\tau_{x,y}$	: Açık yapan düzlemdeki kayma gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
$\Delta l$	: Boydaki değişim (mm)
$\Delta d$	: Çaptaki değişim (mm)
SX, SY	: X ve Y yönündeki gerilme (N/mm <sup>2</sup> )
F	: Kuvvet (N)
A	: Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )
n	: Pekleşme üsteli
C	: Malzeme sabiti
m	: Deformasyon hızına duyarlılık üsteli
Kt	: Bükülen teğetsel direyenlik matrisi
F	: Dış kuvvetlerin vektörü (N)
$\Delta u$	: Bir zaman adımındaki deplasmandaki vektörü (mm)
Sn	: Saniye

## KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute
PVC	: Polivinyllchlorid
EN	: Europeane Norm
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
FEM	: Finite Element Method
CAD	: Computer Aided Design
İGES	: İntursion Prevention System
EY	: Eksplisit Yöntem
İY	: İmplisit Yöntem

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Alüminyum sac malzemeler endüstride geniş bir uygulama alanı bulmakta, özellikle otomotiv, uzay, savunma, gemi, beyaz eşya, reklam ve birçok alanda hafiflik ve korozyona karşı dayanıklılık özelliğinden dolayı çok sık kullanılmaktadır.

Üstün özelliklerine rağmen alüminyum alaşımlı parça üretimi esnasında birçok problemlerle karşılaşmaktadır. Alüminyum alaşımlarının oda sıcaklığındaki şekillendirilebilme kabiliyetleri çeliklere nazaran oldukça düşüktür. Bunun yanı sıra düşük elastisite modülü (E) değerinden dolayı geri esneme problemi gözlemlenmektedir. Özellikle eğme işlemlerinde malzeme üzerine uygulanan yükün kaldırılmasından sonra malzemede var olan elastik enerjiyi geri vermesi sonucu istenen boyutlar bu malzemelere tam olarak verilememektedir. Bu durum özellikle parçaların montajı esnasında büyük sıkıntılar oluşturmakta, hataların düzeltilmesi için harcanan zaman, maliyet artışına ve gecikmelere sebep olmaktadır [1,2].

Bükme işlemi, doğrusal bir eksen etrafında düz levhalara kalıcı bir eğrilik verilmesi için gerçekleştirilen basit sac şekillendirme yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Bükmede amaç kalıcı şekil değişikliğidir. Şekillendirilen malzemelerde kalıcı şekil değişimi meydana gelirken çeşitli gerilmelerde ortaya çıkmaktadır. İstenen boyutlarda parça imal edilebilmesi için bükme açısı ile bükme kavisinin iyi bilinmesi gerekir. Bükme kavisini büyüdükçe dış yüzeylerde uzamalar da artmakta ve yırtılmalara sebep olabilmektedir. Malzemede yırtılmaların oluşmaması için en küçük bükme kavisinin bilinmesi gerekmektedir. Bükme işlemlerinde, istenen kusursuz bükme profilini elde edebilmek için, gerilim-gerinim dağılımları önemlidir.

Bükmede malzemelerin elastikiyet sınırı aşılar ancak maksimum çekme gerilmeleri aşılmamaktadır. Maksimum çekme gerilmeleri aşılmadığından dolayı da, malzeme

orijinal esnekliğinin bir kısmını muhafaza etmektedir. Malzemelere istenilen Őekilin verilebilmesi için malzemenin istenilen formuna uygun yöntemle yeterli kuvvetler uygulanmalıdır. Parça üzerinden kuvvetler kaldırıldığında bir miktar eski haline dönme eğilimi gösterir ki bu davranışa “geri yaylanma” denir [3].

Bükme işleminde geri yaylanma malzemenin cinsine, malzeme kalınlığına, sacın hadde yönüne, bükme açısına, bükme yarıçapına, matris ve zımba arasındaki kalıp boşluğuna, zımbanın kalıp üzerinde bekleme süresine, yağlama koşulları gibi birçok parametreye bağlıdır.

Bu sebeple her araştırmacı farklı parametreleri kullanarak bu parametrelerin bükmeye etkilerinin nasıl olacağını araştırmışlardır. Her bir parametrenin bkmeyi nasıl etkilediği önemlidir. Bu parametrelerin etkilerinin bilinmesi Şekillendirme öncesinde zaman ve maliyet açısından avantajlar oluŐturmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, sac malzemelerin Şekillendirilmesine etki eden malzemenin cinsi, malzeme kalınlığı, sacın hadde yönü, bükme açısı, bükme yarıçapı, matris ve zımba arasındaki kalıp boŐluđu ve zımbanın kalıp üzerinde bekleme süresi gibi parametreleri inceleyerek sonuçlara etkilerini tablo ve grafikler halinde görmektir.

Bu hedefe ulaŐmak için öncelikle literatur taraması yapılmış (Bölüm 2), bükme işlemi ve bükmeye etki eden faktörler incelenmiŐ (Bölüm 3), Sonlu elemanlar yöntemi ile bilgisayar ortamında similasyon gerçekleştirilmiş (Bölüm 4), materyal ve metot belirlenerek deneyler gerçekleştirilmiş (Bölüm 5) ve sonuçlar analiz edilmiştir (Bölüm 6).

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sac levhaların bükme ile şekillendirilmesi, özellikle otomotiv ve uçak sanayinde geniş uygulama alanı olan şekillendirme yöntemidir. Sac levhalara form verilmesi sırasında bükme, uzama, ters bükme gibi işlemler bir arada gerçekleşmektedir [4].

Endüstrideki bu ve benzeri uygulamalarda geri yaylanma için gerçeğe yakın yaklaşım büyük önem taşır [5].

Malzemeleri ısıtarak veya ısıtmadan ve talaş kaldırmadan, malzemenin belli bir eksen etrafında döndürülerek şekillendirilmesine bükme denmektedir. Bükme; düz bir sacın kalıp üzerine yerleştirilmesi ve zımbanın kalıp içerisine girerken sacın zımba ucu etrafında kıvrılmasıdır. Bükme kalıpları ise; istenilen parça şekline uygun olarak yapılmış, dişi kalıp ve zımbadan oluşan, sac malzeme üzerinde kalıcı şekil değişikliği meydana getiren düzeneklerdir [6].

Bükme işlemlerinde, istenen kusursuz bükme profilini elde edebilmek için, gerilimlerinim dağılımları önemlidir. Bükme işlemlerinde malzemelerin elastikiyet sınırı aşılmakta, ancak maksimum çekme gerilmeleri aşılamamaktadır. Bu sebepten dolayı, malzeme orijinal esnekliğinin bir kısmını hala muhafaza etmektedir [6,7].

Malzeme üzerinden yük geri alındığı zaman malzeme eski halini almaya çalışmakta ve bükülen malzeme bir miktar esneyerek geriye doğru açılmaktadır. Malzemenin sergilemiş olduğu bu olaya geri esneme adı verilmekte ve ürünlerde istenmeyen bu geri esnemeyi önlemek için; bükme açısının, geri esnemeye bağlı olarak artırılması, bükme bölgesinin geri esnemeyecek şekilde ezilmesi, parçanın gerdirilerek bükme işleminin yapılması, malzeme üzerindeki kuvvetin bekleme süresinin artırılması gibi yöntemler, yaygın olarak kullanılanlar arasındadır [6].



Tan vd. yapmış oldukları çalışmada geri esnemenin önlenmesi için basit bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem da sac malzemeye bir dizi yükleme tabi tutulmuştur. Her bir bükme açısı ve geri esneme ölçülmüş ve çıkış sinyali bir bilgisayara yüklenmiştir. Böylelikle aşırı bükmeye denk gelen zımbanın uygun olan basma derinliği belirlenmiştir [8].

Gan ve Wagoner yaptıkları çalışmada geri esnemeyi önlemek için kalıp tasarım yöntemlerini araştırmışlar ve uygun kalıp yapımı ile geri esnemenin en aza indirilebileceğini tespit etmişlerdir [9].

Tseng vd. bakır-berilyum sacların geri esneme davranışlarını tüm prensipleriyle incelemek için V kalıbı tasarlayarak çalışmışlardır [10].

Tekaslan vd. çalışmalarında, bükme kalıpları ve bükmede geri esneme konusunu araştırmışlardır. Bükmede geri esneme miktarının tespiti için bir “V” kalıbı tasarlanmış ve bu kalıpta 0,75 mm kalınlıktaki çelik sac malzemelerin farklı açılarda ne kadar geri esneyebilecekleri tespit edilerek geri esneme grafikleri elde edilmiştir. Çalışma sonuçlarında, zımba yükünün sac malzeme üzerinde daha fazla tutulmasıyla, geri esnemenin aynı oranla azalabileceği, sac malzeme kalınlığının ihmal edilerek zımbanın kalıp yüzeyine tamamen oturmasında elde edilen sonuçlarla, sac malzeme kalınlığının dikkate alındığı sonuçlar arasında da geri esneme değerlerinde yer yer 4°'lik fark ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Sac malzeme kalınlığının ihmal edildiği deneylerde, düzgün bir dağılım görülmemiştir [11,12].

Yuan, malzeme plastik deformasyona maruz kaldıktan sonra, yükün bırakılmasıyla malzeme içindeki gerilmelerin yeniden elastiki dağılımıyla, geri esnemeyi azaltmaya çalışmıştır. Şimdiye kadar geri esneme homojen malzemelerle sınırlandırılmıştır [13].

Lo vd. araştırmalarında ise metal parçaların geri esnemeleri ve yüzey gerilme deformasyonunun güç iletimi teorilerine uygunluğu araştırılmıştır [14].

Tekaslan vd. bükme kalıplarında geri esnemenin deneysel olarak tespiti hakkında çalışma yapılmıştır. Dört değişik bükme yöntemi kullanarak üç farklı kalınlıktaki pirinç sac malzemeler bükülüp bilgisayar ortamında değerlendirilerek, geri esneme grafikleri çıkarılmış, farklı bükme yöntemlerini geri esnemeye etkileri ve elde edilen grafiklerin kullanılabilirliği de tartışılmıştır. Literatürde en çok kullanılan dört farklı bükme yönteminden iki yöntemin geri esneme açısından kullanılmayacağı tespit edilmiştir. Ayrıca zımbanın bükülen malzeme üzerinde bekletilmesinin geri esnemeyi azalttığı, artan malzeme kalınlığının ve bükme açısının geri esneme değerlerini arttırdığı da tespit edilmiştir [15].

Tekaslan vd. araştırmalarında, bakır sac malzemelerin bükme kalıplarında geri esnemesinin deneysel olarak tespiti hakkında bir çalışma yapmışlardır. Modüler 18 değişik kalıpta, dört değişik bükme yöntemi kullanılarak üç farklı kalınlıktaki pirinç malzeme için en az 10'ar tane olmak kaydıyla 720'nin üzerinde deney numunesi bükülüp bilgisayar ortamında değerlendirilerek, geri esneme grafikleri çıkarılmış, farklı bükme yöntemlerinin geri esnemeye etkileri ve elde edilen grafiklerin kullanılabilirliği de tartışılmıştır. Literatürde en çok kullanılan dört farklı bükme yönteminden iki yöntemin geri esneme açısından kullanılmayacağı tespit edilmiştir. Ayrıca zımbanın bükülen malzeme üzerinde bekletilmesinin geri esnemeyi azalttığı, artan malzeme kalınlığının ve bükme açısının geri esneme değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Geri esneme değerlerinin  $0,5^\circ$  ile  $5^\circ$  arasında değiştiği görülmüştür [16].

V-bükmede zımba kalıbın şekillendirme hareketi sırasında malzeme negatif ve pozitif geri yaylanma davranışı sergileyebilir. Geçmişte sac levhaların bükme ile şekillendirilmesi, tasarımcıların tecrübelerine bağlıydı ve arzu edilen sonuçlara ulaşabilmek için deneme-yanılma çalışmaları gerekiyordu [17].

Bükme işleminde geri yaylanma ile ilgili yapılan birçok çalışmada ileri sürülen analitik modeller basit çubuk veya düzlem bükme teorilerini kullanır [18].

Tseng vd. alaşımının şekillendirilmesindeki geri esneme değerlerinin önemini araştırmışlardır. Tahmini geri esneme için birçok çözümsel formüller önermişler ve bilgisayar yardımıyla elde edilen elemanların tasarımını yapmışlardır [19].

Shu ve Hung'un araştırmasının ilk amacı, çift bükme tekniği ile geri esneme ve değişenler arasındaki ilişkiyi analiz etmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmak olmuştur. Daha sonra ise, geri esnemeyi azaltmak ve optimum şekillendirme parametrelerini bulmak için, sonlu eleman analizi ile optimizasyon tekniğini birleştirmişlerdir. Çalışmada elde edilen çözümler deneysel verilerle mukayese edilmiş, kalıp boşluğunun artmasıyla geri esnemenin azaldığını ortaya çıkarmışlardır [20].

Sonlu elemanlar yöntemi ile; Pourboghraat ve Chandorkar, Papeleux ve Ponthot, Micari ve vd., Forcellese v.d. çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak da sonlu elemanlar yönteminin, geri esnemenin hesaplanmasının yanı sıra, kalıp elemanlarının hesaplanabilmesinde de kullanılabilceğini yaptıkları çalışma ile ortaya koymuş ve deneysel verilerle desteklemişlerdir [21,18].

Zhang vd. tarafından, sac metal şekillendirmesinde, geri esneme analizleri için yeni bir matematiksel model hazırlanmıştır. Model, bükme moment kuvveti ve geri esnemenin bulunmasında kullanılmaktadır [22].

Lovell vd. sonlu eleman yöntemi ve deneysel teknikler kullanarak geri esnemenin tahmini ve/veya saptanmasında çeşitli çalışmalar yürütmüşlerdir [23].

Wang vd. çalışmalarında malzeme katılaşma modelinin, serbest V bükme işleminde meydana gelen geri esneme üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [24].

Arslan, çalışmaları kapsamında 1,5 mm, 2 mm ve 2,5 mm kalınlığındaki AL 1050 Sac malzemeleri ABAQUS sonlu elemanlar yöntemi ile deneysel olarak 84° 'lik V şekilli kalıp kullanarak bükme işlemleri yapmıştır. Analizi yapılan alüminyum sac parçaların geri esnemeyle beraber oluşan formdaki değişiklikleri sunulmuştur. Sonlu elemanlar analizi sonuçlarıyla deneysel sonuçların iyi bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç incelendiğinde geri esneme açılarının 2° ile 4° arasında farklılıklar oluşturduğu saptanmıştır. Ayrıca çalışmaları devamında derin çekme işlemleri de yapmıştır [25].

Sinterlenmiş bakır sacların üzerindeki V bükme prosesinin deneysel ve teoriksel olarak Sriram v.d. karşılaştırmalarını yapmışlardır [26]

Alüminyum alaşımları içerisinde de özellikle Alüminyum-Magnezyum (Al-Mg) alaşımları (5XXX seri), yüksek dayanım/ağırlık oranları, korozyon mukavemeti ve kaynağa uygunluk özelliklerinden dolayı kendini göstermektedir. Otomotiv sektörünün yanı sıra uzay, savunma ve gemi endüstrisi hafiflik, yüksek mukavemet ve korozyona karşı dayanıklılık gibi üstün özelliklerinden dolayı bu alaşımlara büyük ilgi göstermektedirler [27,28].

Yenice, çalışmasında en sık kullanılan şekillendirme yöntemlerinden birisi olan V-bükme operasyonu ile elde edilen deney parçaları için, sac parçanın hadde yönü, kalıp ve malzeme değişkenlerine bağlı olarak geri yaylanma davranışını incelemiştir. Deneylerde DP600, Fe355 ve FeP04 malzemeler, kalıp açısı 80°, 90° ve 100° ve bükme yarıcağı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olarak alınmıştır. Sac malzemeler üç ayrı hadde yönünde kullanılmıştır. Geri esneme açılarının (+) ve (-) yönde olduğunu saptamıştır [3].

Alüminyum'un üstün özelliklerine rağmen alaşımlarla parça üretimi esnasında birçok problemlerle karşılaşmaktadır. Alüminyum alaşımlarının oda sıcaklığındaki şekillendirilebilirlik kabiliyetleri çeliklere nazaran oldukça düşüktür. Bunun yanı sıra düşük elastisite modülü (E) değerinden dolayı geri esneme problemi gözlemlenmektedir. Özellikle eğme işlemlerinde malzeme üzerine uygulanan yükün kaldırılmasından sonra malzemede var olan elastik enerjiyi geri vermesi sonucu istenen boyutlar bu malzemelere tam olarak verilememektedir. Bu durum özellikle parçaların montajı esnasında büyük sıkıntılar oluşturmakta, hataların düzeltilmesi için harcanan zaman, maliyet artışına ve gecikmelere sebep olmaktadır [1,2].

Malzeme davranışlarının belirlenmesi ve ortaya çıkan problemlere çözüm yöntemleri geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Son zamanlarda üretim maliyetlerinde önemli avantajlar sağlayan sonlu elemanlar analiz programları bu malzemelerin şekillendirme işlemleri sonrasında veya esnasında oluşabilecek hataların önceden tespit edilmesine ve bu hataların önüne geçilmesine büyük katkı sağlamaktadır.

Gerek sanayiciler gerekse bilim adamları üretim işlemlerini daha verimli hale getirmek amacıyla yoğun çalışmalar yapmaktadırlar. Malzemelerin farklı koşullar altındaki geri esneme kabiliyetlerinin incelendiği birçok çalışmada genel olarak sıcaklık, hız ve ön gerilme gibi malzeme davranışlarını etkileyen parametreler incelenmiştir [29,30].

Prior, yaptığı çalışmada sac malzemelerin şekillendirilmesinde, kapalı adımlı (implicit) ve açık zamana bağlı (explicit) SEY kullanmıştır. Her iki yöntemin da birbirine karşı üstün olduğu alanlar olduğunu ve hesaplama yapılacak modele göre yöntemin seçilmesinin uygun olduğunun altını çizmiştir [31].

Tekkaya vd. çalışmasında farklı sonlu elemanlar yöntemlerinin sac şekillendirme hesaplamalarındaki kullanım alanlarından bahsetmiştir. Farklı yöntemlerin kullanılması özellikle açık zamana bağlı ve kapalı adımlı yöntemlerin birbirleri ile ya da deneysel verilerle karşılaştırılması birçok araştırmacıya konu olmuştur [32-35].

Kim ve Huh yaptıkları çalışmada doğrudan fark yöntemi ile sonlu farklar yönteminin sonuçlara olan etkileri karşılaştırmışlardır. Şekillendirme sırasında oluşacak olan hataları asgari seviyeye çekmek amacıyla, Hsu ve arkadaşları sacların şekillendirilmesi süresinde şekillendirmeye etki eden zimba kuvveti ve baskı kuvvetinin uygun bir yöntemle kontrol altında tutmanın sonuçları olumlu etkileyeceğini ortaya çıkarmıştır [36].

Lee ve Yang yaptıkları çalışmada geri esneme deformasyonlarına etki eden hesaplama parametrelerini incelemiştir. Eleman büyüklüğünün, şekillendirme hızının ve kanal omuz yapısının sonuçlara hangi oranda etki ettiğini ortaya çıkarmıştır [37].

Lin vd. tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada kanal çekme işlemi sırasında seçilen şekillendirme hızının ve kanal omzunda kullanılan eleman sayısının değişiminin geri esneme değerlerine etkileri incelenmiştir [38].

Li vd. kalıp boşluğunun, kalıp omuz yarıçapı ve sac kalınlığının değişiminin geri esneme deformasyonlarına etkilerini incelemiştir [39].

Her ne kadar alüminyum ve alaşımları çok yaygın bir kullanım alanına sahip olsa da otomobil endüstrisindeki kullanım alanları istenilen seviyenin çok altındadır. Halen otomobil dış aksamındaki temel malzeme düşük karbonlu çeliktir [40].

Toros vd. çalışmalarında otomotiv endüstrisinde oldukça yaygın kullanılmaya başlanan alüminyum magnezyum alaşımlarından AA 5754-O alaşımının 60°'lik V şekilli kalıpta geri esneme davranışı incelemiştir. Malzemelere % 1, 3, 5, 7, 9 ve 11'lik ön gerilmeler uygulayarak malzemelerin akma noktalarını değiştirmiş ve bu ön gerilmelerin geri esneme üzerindeki etkilerini deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Ayrıca çalışmalarını ETA/Dynaform sac şekillendirme simülasyon programında analiz ederek deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak uygulanan ön gerilmenin geri esnemeye pozitif etkisi tespit edilememiştir. Sonlu elemanlar programıyla yapılan simülasyonların deney sonuçlarına göre kabul edilebilir yakınlıkta olduğuda görülmüştür [41].

Literatürde yapılan deneysel yöntem ve sonlu elemanlar yöntemi çalışmaları değerlendirildiğinde şekillendirme ve geri esnemenin tespitinde deneysel ve teorik (SEY) yöntemlerinin her ikisinde bir birine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

## **BÖLÜM 3**

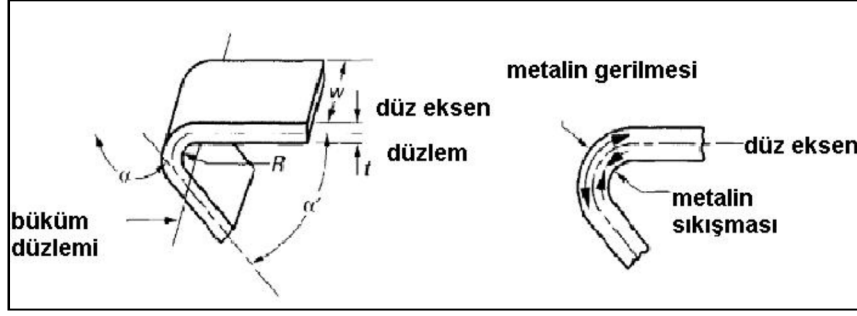
### **BÜKME**

Bükme, temel olarak doğrusal bir eksen etrafında, düz levhaya kalıcı bir eğrilik verilmesi için gerçekleştirilen en basit sac malzeme şekillendirme yöntemi olarak tanımlanmaktadır [42].

V bükme işlemlerinde şekillendirme sırasında sacın belirli bir bölgesi deformasyona uğramaktadır. Şekillendirme operasyonu ile sac parça üzerinde plastik deformasyon ve elastik şekil değişimi meydana gelmektedir.

#### **3.1. BÜKME İŞLEMİ**

Bükme sırasında, sac malzemenin iç ve dış yüzeyinde meydana gelen birim şekil değişimleri, tarafsız eksenle uzaklıkla orantılı olarak değişmektedir. Bükme işleminde tarafsız eksen iç yüzeye doğru kaymakta, dış yüzeyde meydana gelen birim şekil değişimleri ise iç yüzeydeki liflerde meydana gelen birim şekil değişimlerinden daha fazla olmaktadır. Bükülen kısımda sac kalınlığının değişmediği kabul edilirse tarafsız eksen sacın ağırlık noktasından geçer. Bu eksen çekmeye ve basmaya zorlanan kısımları ayırır. Sacın iç kısmı tarafsız eksene göre sıkışır, dış kısmı ise tarafsız eksene göre gerilir. Şekil 3.1’de sac metal bükülmesi ile oluşan gerilmeler gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Sac metal bükülmesi ile oluşan gerilmeler [43].

$\alpha$  = Büküm açısı

$w$  = Sacın genişliği

$R$  = Büküm yarıçapı

$t$  = Sacın kalınlığı

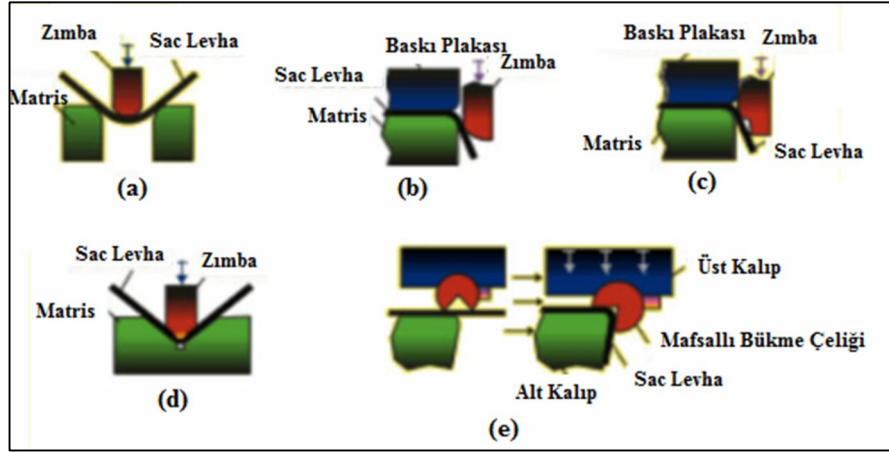
$\alpha'$  = Hesap açısı

Bükülen malzeme kesitinde meydana gelen değişimler genel olarak malzeme çeşidine, malzeme kalınlığına, bükme açısına, bükme yarıçapına, bükme kuvvetine, zımba-matris arasında bırakılan mesafeye, zımbanın numune üzerinde bekleme süresine bağlıdır. Bükme işleminde malzemeye uygulanan kuvvet malzemenin elastik değerini aşabilir fakat akma sınır limitleri aşamaz.

### 3.2. BÜKME İŞLEM ÇEŞİTLERİ

Sac parçaların şekillendirilmesinde V bükme işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. V bükme işlemi; serbest bükme, kenar bükme, çift etkili bükme, ezerek bükme ve döndürerek bükme gibi alt gruplara ayrılabilir. İstenen ürünün şekline göre Şekil 3.2'de çeşitli bükme işlemleri gösterilmiştir.





Şekil 3.2. Bükme operasyonları: a) Serbest bükme, b) Kenar bükme, c) Çift etkili bükme, d) Ezerek bükme, e) Döndürerek bükme [44].

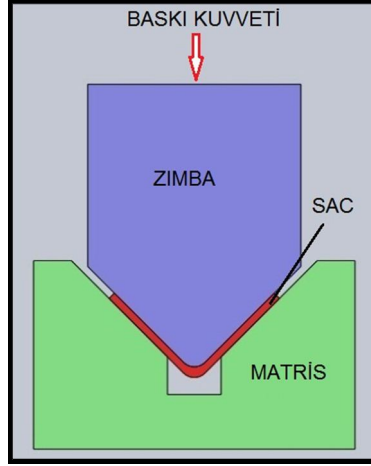
Bükme işleminde kalıplar genellikle zımba ve matristen oluşmaktadır. Bükmede parçanın şeklini zımba, matris ve zımbanın matrise yaklaşma mesafesi, numune kalınlığı, numunenin hadde yönü, zımbanın bükme sırasında numune üzerinde bekletilme süresi ve zımba uç yarıçapı belirlemektedir. Matris hareketsiz sabit dururken, zımba ise hareketlidir (Şekil 3.2-a). Bükme işlemleri genel olarak mekanik veya hidrolik presler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Presler hesaplanan kuvvete ayarlanmaktadır. Hesaplanan kuvvetin kullanılmaması durumunda kuvvet yetersiz geldiğinde bükme işlemi gerçekleşmeyecek, kuvvet aşırı geldiğinde ise sac parça ezilerek özelliğini yitirecektir.

Bazı bükme işlemlerinde şekilendirilecek sacı sabitlemek için veya işlem sırasında kırışmasını önlemek için “sıkıştırma kalıbı” kullanımı vardır [3].

### 3.2.1. V Bükme

V bükme işleminde zımba aşağı doğru inerken ilk olarak desteksiz sac ile temas eder. Zımba iş parçasının merkezinden aşağı bastırır. Bu durumda bükme kollarının uçları yukarı esneyerek kalıp radüsleri etrafında çok az bir miktar hareket ederek reaksiyon gösterirler. Malzemenin kalıp radüslerindeki hareketi sallanma değil, sürüklenme ve kayma hareketi olmaktadır. Bükme olayı ilerledikçe sürüklenme ve dolayısı ile malzemenin reaksiyonu daha da artmaktadır. Bu durumda kollar bir öncekine göre

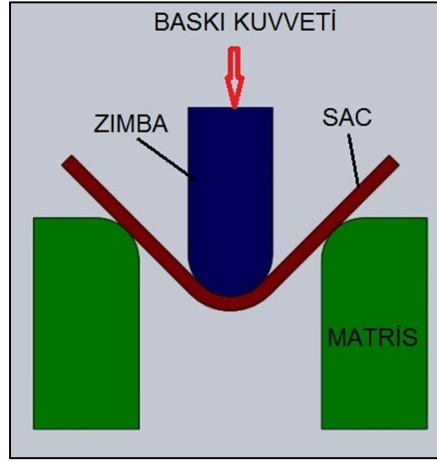
daha da yukarıya kalkmış bulunmaktadır. Son safhada yalnız zımba ucu değil artık yan yüzeyleri de temas halinde ve zımba parçayı kalıp içine yatırmış durumdadır [25]. Şekil 3.3'te V bükme olayı yer almıştır.



Şekil 3.3. V bükme işlemi.

### 3.2.2. Serbest Bükme

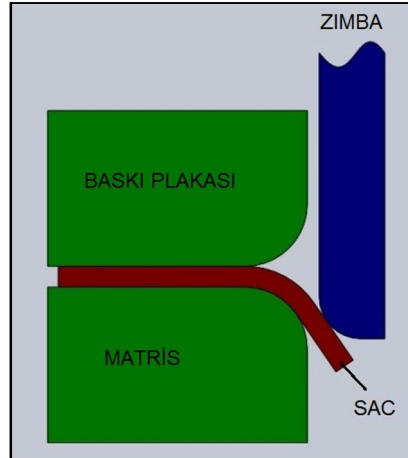
Serbest bükmede; sac parça altta yer alan kalıbın kenarları tarafından desteklenirken zımbanın aşağı doğru inmesi ile gerekli bükme açısı oluşur. Sac parçanın aldığı şekil itibari ile V bükmeye benzemesine rağmen sac parçanın kenarları bükme işleminin başlangıcında ve bitiminde de serbest haldedir [25]. Şekil 3.4'te serbest bükme olayı yer almıştır.



Şekil 3.4. Serbest bükme.

### 3.2.3. Kenar Bükme

Kenar bükme sac baskı çemberi tarafından sabit pozisyonda tutulur. Şekillendirici ıstampa aşağı doğru inerek sacı şekilendirir. Bükülecek sacın uzunluğu sacın diğer kısımlarına nazaran çok kısa ise bu tip bükme tercih edilir [25]. Şekil 3.5'te kenar bükme olayı yer almıştır

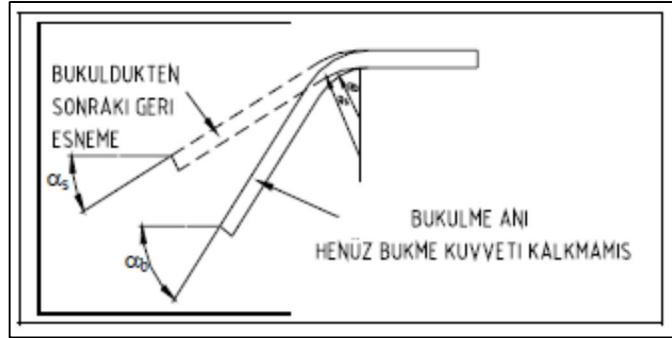


Şekil 3.5. Kenar bükme.

### 3.3. GERİ YAYLANMA

Sac metal levhaların şekillendirilmesinde istenilen şekil değişikliği uygun bir şekillendirme işlemi ve yeterli kuvvetler ile malzemeye uygulanmalıdır. Bükülen sac metal levhada elastik ve plastik şekil değişimleri oluşmaktadır. Levha üzerinden bükme için uygulanan kuvvetler kaldırıldığında sac bir miktar eski haline dönme eğilimi göstermektedir ki bu davranışa “geri yaylanma” denir.

Bükme işleminde geri yaylanma malzemenin cinsine, malzeme kalınlığına, bükme acısına, zımba uç yarıçapına, zımba ve matris arasındaki kalıp boşluğuna, yağlama koşulları gibi birçok etkene bağlı olarak oluşmaktadır. Şekil 3.6’da bükme sonrasında oluşan geri esneme olayı yer almıştır



Şekil 3.6. Bükme sonrasında oluşan geri esneme [45].

### 3.4. ŞEKİLLENDİRMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

#### 3.4.1. Malzeme Değişkenleri

Sacların şekillendirilmesinde en önemli etken malzeme dayanımları ile şekillendirilebilme yetenekleridir. Bu özellikler malzemenin haddeleme, ısıl işlem, kimyasal bileşimleri, fiziksel bileşimleri ve işlenme çeşidi gibi özellikleri malzeme hakkında bilgi vermektedir.

### 3.4.2. Akma Dayanımı

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. 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. 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. Bu durum sac yüzeylerin bozulmasına hatta çatlamalara yol açabilmektedir. Şekillendirilecek parçalarda kalıcı bir şekil değişimi elde edebilmek için üst akma sınırı aşılmalıdır [46].

### 3.4.3. Elastiklik Modülü

Malzemenin elastik özelliğini gösteren en önemli faktördür. Geri yayılanmanın kontrolü elastik şekil değişimi ile yapılmaktadır

### 3.4.4. Deformasyon Hızına Duyarlılık Üsteli

Metal malzemelerde deformasyon hızı ile malzemenin akma gerilmesi arasında  $\sigma = C \cdot \dot{\epsilon}^m$  Şeklinde tanımlanan bir ilişki mevcuttur. Burada  $\dot{\epsilon}$  birim şekil değişim hızı, m deformasyon hızına duyarlılık üsteli ve C ise bir malzeme sabitidir. Malzemedeki şekil değiştirme dağılımında rol oynayan diğer bir faktörde şekil değişim hızına duyarlılıktır. Bu özellik artan şekil değiştirme hızı ile meydana gelen akma gerilmesindeki artış ile tanımlanır. Deformasyon hızına duyarlılık üsteli m'nin büyük değerleri malzemenin boyun verme olarak tanımlanan kararsız şekil değişme olayının gecikmesine neden olmaktadır. Diğer bir değişle m'nin büyük değerleri

malzemenin iyi şekillendirilebilir olduğunun önemli bir göstergesi sayılmaktadır. Şekillendirme işlemlerinde, şekil değiştirme miktarı ve şekil değiştirme hızındaki artışlar çoğunlukla sürtünmeli ve geometrik sınırlamalardan dolayı meydana gelmektedir. Hem pekleşme üsteli, hem de deformasyon hızına duyarlılık üsteli, uniform olmayan yerel boyun vermenin azalmasında ve hasara kadar olan şekil değişim miktarının artmasında önemli rol oynamaktadır [44].

#### **3.4.5. Plastik Anizotropi “r”**

Sac malzemedan 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 [47].

## BÖLÜM 4

### METAL SACLARIN ŞEKİLLENDİRME İŞLEMİNİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA BENZETİMİ

Günümüzde metalleri biçimlendirme konusunda dünya çapında 60'a yakın benzetim (simülasyon) yazılımı mevcuttur. Bunların % 90 kadarı üniversite ve araştırma kuruluşlarında gerçekleştirilmiş olup yalnızca % 10 kadarı ticari amaçlı olup kullanıma açıktır [47].

#### 4.1. İMPLİSİT YÖNTEM (İY)

Bu yöntemde denge denklemleri  $t+\Delta t$  anında çözülür. Sac şekillendirmedeki birçok nonlineer davranış nedeni ile denge konumu iteratif olarak elde edilir [48].

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 nonlineer temas şartları nedeni ile sınırlıdır. Çözümde bir yakınsama kriterine ulaşıldığında hesaplama durur [47].

#### 4.2. EKSPLİSİT YÖNTEM (EY)

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. Buradaki merkezi farklar operatörü bir önceki artışlardan bilinen hız ve ivme değerlerini kullandığından yöntem eksplisit olarak adlandırılır [49].

### 4.3. İMPLİSİT VE EKSPLİSİT YÖNTEMLERİN KARSILAŞTIRILMASI

EY mevcut durumda daha az hesap zamanına ve hafızaya gerek duymaktadır. Yalnız bu tip programların (Kişisel Bilgisayar-Personel Computer) PC bilgisayar teknolojisindeki gelişmeye paralel geliştirildiği unutulmamalıdır. İY ise mevcut yazılımların geliştirilmesi ile oluşturulmuştur.

EY'ler çarpma gibi kısa süreli dinamik problemlerin çözümü için çok elverişlidir. Ancak çok sayıda zaman adımına gerek duyarlar. İY'lerde adım aralığı teorik olarak sınırsızdır. Hesap zamanını kısaltmak için EY'lerde yapay olarak bir ivmelendirmeye veya yoğunluğu arttırmaya gidilir. Bunun sonucu ortaya çıkacak kütle etkileri ancak yazılım çok iyi tanıyan kullanıcılar tarafından alınacak önlemlerle giderilebilir.

İY'lerde fiziksel sistemi değiştirmek gerekmez, çünkü çözüm zaten iteratif olarak yapılmaktadır [48].

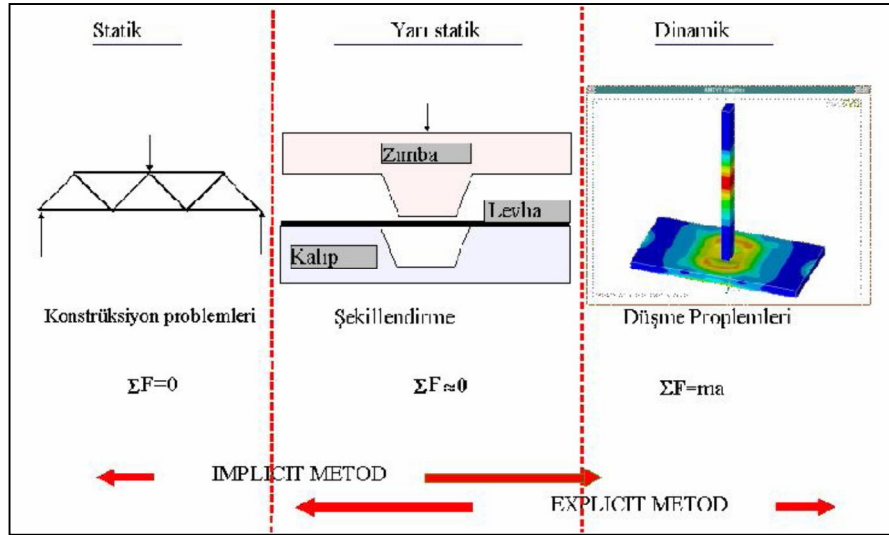
EY'ler nümerik açıdan oldukça kararlıdır. Temas şartları küçük zaman adımları sayesinde tam anlamı ile tarif edilebilir. Pot oluşması gibi karasızlık olguları kolayca belirlenir ve yakınsama problemleri ile karşılaşmaz. İY'ler ise bu durumda işlemeyebilir veya burkulma sonrası gibi ek hesaplara gereksinim duyulabilir.

Geriye yaylanma ve iç gerilmeler konusunda İY'ler daha üstündür. Bu tip hesaplamalarda takım parçalarının birbirlerinden uzaklaştırılmasının simülasyonu çok önemlidir. Bu yüklemeye boşaltması EY'lerde ancak is parçası hareketini tamamlamışsa, yani dinamik etkiler sönümlenmişse uygulanabilir. Hesap zamanını azaltma kaygısı, elemanlarda kullanılan düşük dereceli integreasyon gerilmelerinin hassas hatta doğru hesaplanmasını engeller. Ancak, geriye yaylanmanın temel şartı ise gerilmelerin doğru hesaplanmasıdır. Eleman integreasyon derecesi yükseltilecek buna karşı gelinebilir, ancak hesap zamanı oldukça artar ve İY'lere karşı olan avantaj kaybedilir [49].



#### 4.4. ANSYS/LS-DYNA PROGRAMI

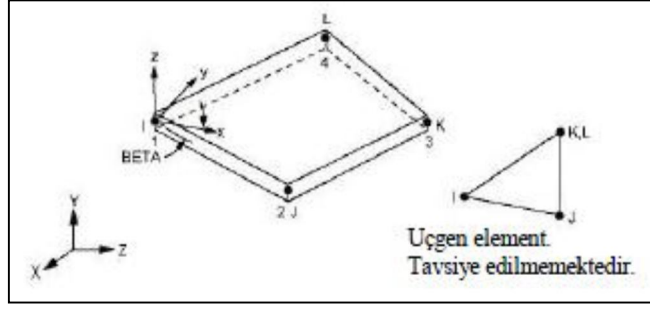
Bu çalışmada çözümler için kullanılan yazılım otomotiv endüstrisi için 1986'dan beri John Hallquist tarafından ticari olarak geliştirilmekte olan Livermore Software Technology Corp. (LSTC) firmasının LS-DYNA programı, genel amaçlı yüksek dereceden nonlinear zamana bağımlı dinamik problemlerin hesaplanmasında 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 [49]. Şekil 4.1'de eksplisit ve implicit yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 4.1. İmplicit ve eksplisit yöntemlerin karşılaştırılması [50].

#### 4.5. EKSPLESİT DİNAMİK ANALİZ PROGRAMINDA KULLANILAN ELEMENTLER

Eksplisit dinamik elementlerin tamamı üç boyutludur. Yapılan araştırmada SHELL 163 eksplisit element tipi kullanılmıştır. Şekil 4.2'de Shell 163 elementin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.2. SHELL 163 element tipi [49].

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE YÖNTEM

Hazırlanan V bükme kalıp sisteminin modellenmesi SolidWorks programı kullanılarak yapılmıştır.

Bilgisayar ortamındaki modellemeden ihtiyaç duyulacak parçalar ve şekillendirmeyi sağlayacak elemanlar ölçüleri ile birlikte ayrıntılı bir şekilde belirlenmiştir. Parçalar bilgisayar ortamında, sistemde kullanılacak kalıp ölçülerinde tasarlanmış ve CNC dik işleme merkezinde imalatı yapılmıştır.

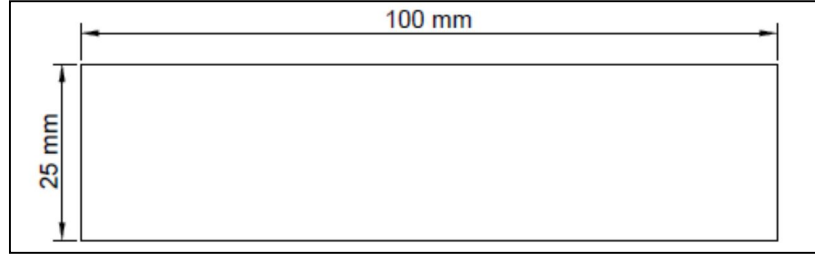
Kullanılacak kalıp ve şekillendirme deneylerinin benzetimi için ANSYS/LS-DYNA sonlu elemanlar analizi programından yararlanılmıştır. Böylece teorik olarak şekillendirme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

#### 5.1. MATERYAL

Deney numuneleri endüstride sıklıkla kullanılan AA 5754-O ve AL 1050-O malzemeler olarak seçilmiştir. Alüminyum ve alaşımlarının kullanım alanlarının artması bu malzemelere olan eğilimi artırmış ve bu çalışmanın seçilmesinde öncü olmuştur. Kalıp açıları endüstride yaygın olarak kullanılan bükme formları göz önüne alınarak 60°, 90° ve 120° olmak üzere üç farklı açıda seçilmiş ve zımba uç yarıçapları 2 mm, 4 mm ve 6 mm alınmıştır. Kullanılacak sac malzemelerin kalınlıkları 1 mm ve 2 mm, ebatları ise 25x100 mm olarak belirlenmiştir. Sac malzemeler hadde yönü 0°, 45° ve 90° olacak şekilde hazırlanmış 3'er adet olmak üzere yaklaşık 1500 adet deney numunesi hazırlanmıştır.

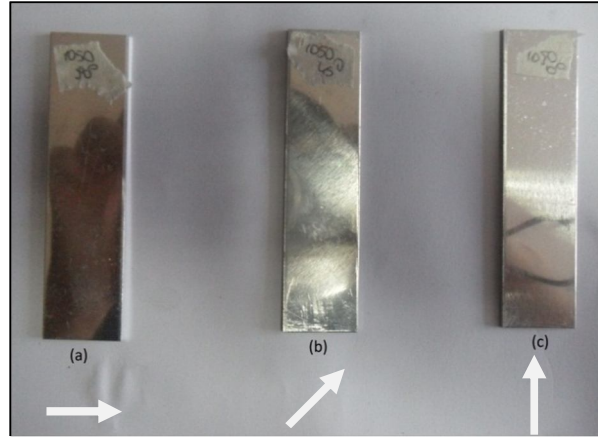
Malzeme ebatlarının küçük seçilmesinin nedeni, dar alanda geri esnemenin daha sağlıklı olarak tespit edilebileceği düşüncesinden kaynaklanmıştır [15].

Son olarak şekillendirilen sac parçaların geri esneme açısı ölçümleri hassasiyeti  $\pm 5$  dk olan Mitutoyo 187-908 mercekli universal açıölçer ile yapılmıştır. Deney numunesinin sac boyutları Şekil 5.1’de verilmiştir.

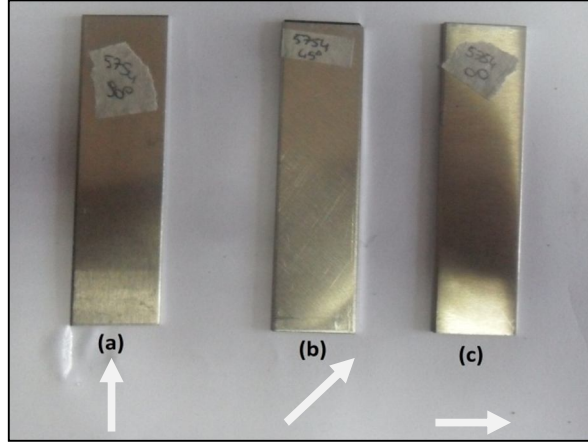


Şekil 5.1. Deney numunesi sac boyutları.

Çalışmada sacların hadde yönlerinin geri esnemeye ne şekilde etki edeceği araştırılmış ve deney numuneleri hadde yönüne  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  olacak şekilde kesilerek bükme işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 5.2’de Al 1050-O, Şekil 5.3’te AA 5754-O deney numunelerinin hadde yönlerine göre hazırlanmış numuneler verilmiştir.



Şekil 5.2. Al 1050-O deney numuneleri: a) Hadde yönü  $90^\circ$ , b) Hadde yönü  $45^\circ$ , c) Hadde yönü  $0^\circ$  olarak ayarlanmış numune.



Şekil 5.3. AA 5754-O deney numuneleri: a) Hadde yönü 0°, b) Hadde yönü 45°, c) Hadde yönü 90°olarak ayarlanmış numune.

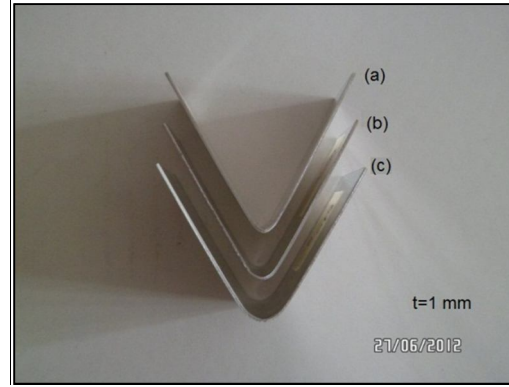
Deneyleerde 30 tonluk Hidroliksan marka pres kullanılarak zımbanın kuvveti presin aşağı-yukarı hareketi ile elde edilerek şekillendirme sağlanmıştır. Şekil 5.4'te şekillendirmede kullanılan presin resmi verilmiştir.



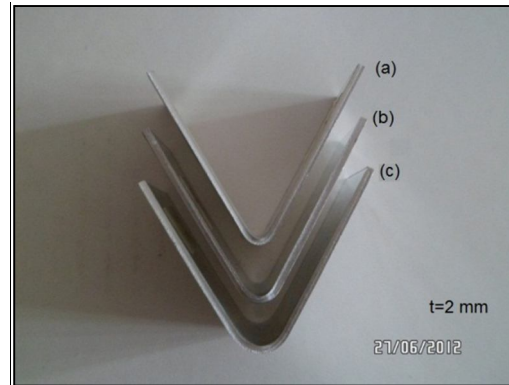
Şekil 5.4. Şekillendirmede kullanılan pres.

Deney numuneleri zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olacak şekilde hazırlanmış 3 adet zımba ve 60°, 90° ve 120°'lik kalıplarla bükülmüştür.

Sac parçaların geri esneme açısı ölçüm hassasiyeti  $\pm 5$  dk'dır. Deneysel çalışma sonucunda bükülen saclardan 60° olanları Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de, 90° olanları Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de ve 120° olanları Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'de verilmiştir.



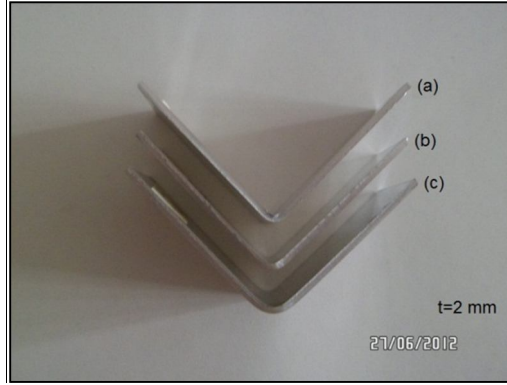
Şekil 5.5. 60°'de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.



Şekil 5.6. 60°'de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.



Şekil 5.7. 90°'de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.



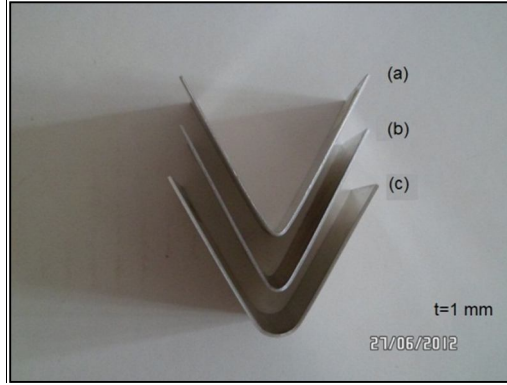
Şekil 5.8. 90°'de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.



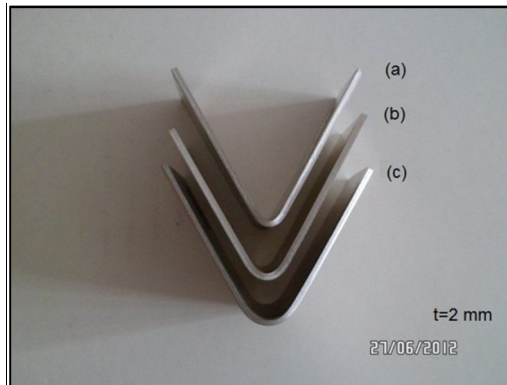
Şekil 5.9. 120°'de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.



Şekil 5.10. 120°de bükülen Al 1050-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.

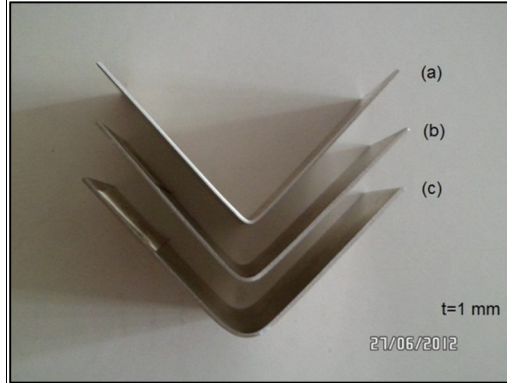


Şekil 5.11. 60°de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.



Şekil 5.12. 60°de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.

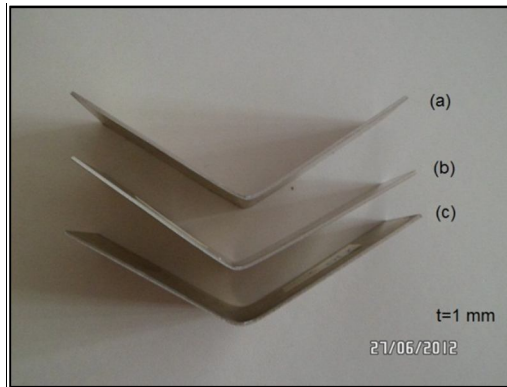




Şekil 5.13. 90°de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.



Şekil 5.14. 90°de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.

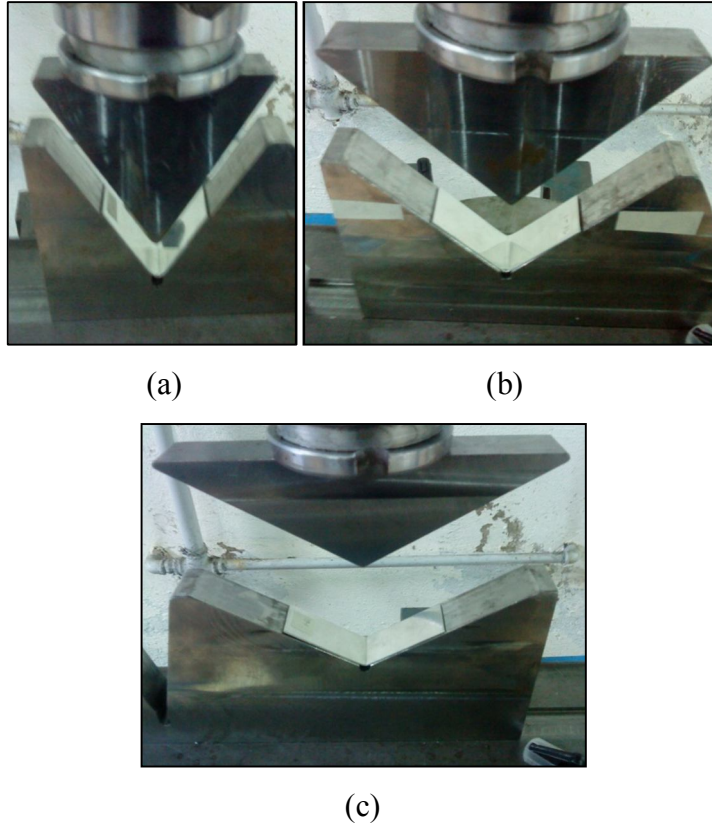


Şekil 5.15. 120°de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.



Şekil 5.16. 120°'de bükülen AA 5754-O deney numuneleri: a) Zımba uç yarıçapı 2 mm, b) Zımba uç yarıçapı 4 mm, c) Zımba uç yarıçapı 6 mm.

Deneyler için hazırlanan kalıplar CNC Freze tezgâhında St 37 malzemedan hassas ölçülerde 60°, 90° ve 120°' lik açılarda matris ve zımba olarak imal edilmiştir. Zımbaların uç kavis yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 5.17'de 60°, 90° ve 120° kalıp açılı zımba ve matrisler gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Modüler kalıp ve zımbaların parçaları: a) 60°'lik, b) 90°'lik, c) 120°'lik.

Modüler kalıplarda bükülen deney numuneleri;

“V” bükme kalıbındaki kuvvet hesabı için her araştırmacı farklı eşitlikler ortaya koymuştur. Bu eşitlikler her ne kadar farklı olsa da, çıkan sonuçlar arasında çok büyük farklar olmamaktadır. Bunun için çalışmada bükme kuvveti hesabı denklem (5.1)’e göre yapılmıştır [50,51]. Çizelge 5.1’de V bükme kuvveti hesabı verilmiştir.

$$P_v = C \times \frac{B \times T^2 \times \sigma_b}{W} \times 10 \quad (5.1)$$

C; W/T’ ye bağlı bir katsayı olup denklem (5.2) ile bulunur.

$$C = 1 + \frac{4 \times T}{W} \quad (5.2)$$

Bu eşitliklerde;

$P_v$ , V bükme kuvvetini (N),

B, Sac malzeme genişliği (mm),

T, Sac malzeme kalınlığı (mm),

$\sigma_b$ , Malzeme çekme mukavemeti (N/mm<sup>2</sup>),

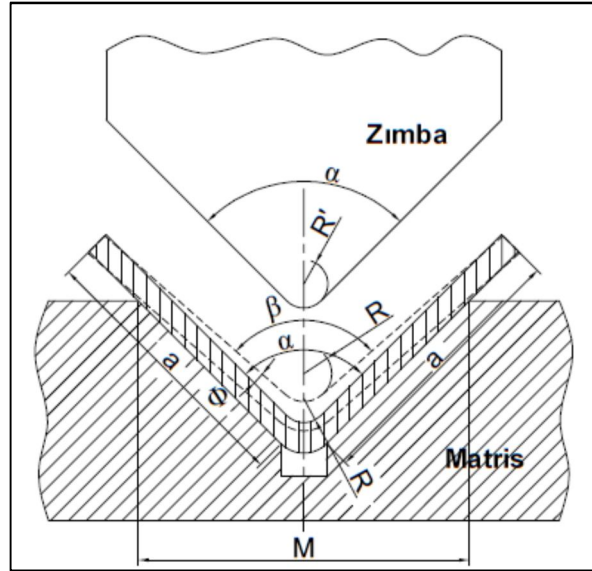
W, Kalıp ağız açıklığı (mm),

C, W/T oranına bağlı bir katsayıyı ihtiva etmektedir.

Çizelge 5.1. V bükme kuvveti.

Bükme Açısı	Sac Kalınlığı (mm)	AA 5754-O malzeme Bükme kuvveti (N)	AL 1050-O malzeme Bükme kuvveti (N)
60°	1	1600	930
	2	6400	3730
90°	1	1130	660
	2	4515	2630
120°	1	920	540
	2	3690	2150

V bükmelerde ( $R'$ ) bükme yarıçapı, ( $\alpha$ ) bükme açısı ve ( $L$ ) parça boyu hesabının doğru yapılması gerekir. Kalıpta bükme işlemi yapılırken, parça üzerinden baskı kuvveti kalktığında, parça büküldüğü gibi kalmaz. Yani, malzeme tam plastik deformasyona uğramaz. Bükülme sonunda, küçük değerlerde de olsa, parça üzerinde elastikiyet kalır. Baskı kuvveti kalktığına, kalan bu elastikiyet kuvveti sayesinde, parça ( $\Phi$ ) açısı kadar geri açılır. İşte bu geri açılma olayına bükmede “GERİ ESNEME” denir. Kalıpta basılı durumda iken, parçanın büküm yerinde oluşan ( $R'$ ) yarıçapının; parçanın serbest kaldıktan sonra, geri yaylanmadan dolayı oluşan ( $R$ ) yarıçapına oranı, geri yaylanma faktörü olan ( $\omega$ ) değerini verir [52]. Modüler kalıp örneği Şekil 5.18’de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Modüler V bükme kalıp örneği [52].

Geri yaylanma faktörü hesabı için her araştırmacı farklı eşitlikler ortaya koymuştur. Bu eşitlikler her ne kadar farklı olsa da, çıkan sonuçlar arasında çok büyük farklar olmamaktadır. Bunun için çalışmada geri yaylanma faktörü hesabı denklem (3)’e göre yapılmıştır.

Geri yaylanma faktörü denklem (5.3), bükme açısı denklem (5.4) ile bulunur.

$$\omega = \frac{R'}{R} = \frac{\alpha}{\beta} \quad (5.3)$$

$$\alpha = \beta - \Phi \quad (5.4)$$

Bükme radyüsü denklem (5.5) ile bulunur.

$$R' = \frac{R \cdot t \cdot E}{[(E \cdot t) + (3 \cdot R \cdot \sigma_b)] \cdot 1,075} \quad (5.5)$$

Bu eşitliklerde;

$\omega$  , Geri yaylanma faktörü,

$R'$  , Bükme radyüsü (mm),

$R$  , Yarıçap (mm),

$\sigma_b$  , *Malzeme* çekme mukavemeti (N/mm<sup>2</sup>),

$\alpha$  , Bükme açısı (derece),

$L$  , Parça boyu (mm),

$\beta$  , Geri esneme sonrası ölçülen açı (derece),

$\Phi$  , Parça açısı (derece),

$E$  , Elastikiyet modülü,

$t$  , Sac kalınlığı (mm),

$L$  , Parça boyu (mm),

Verilen (5.3), (5.4) ve (5.5) denklemleri hesaplandığında, 60°, 90° ve 120° bükülen sac malzemeler için bükme açıları bulunmuştur. Çizelge 5.2'de AA 5754-O, Çizelge 5.3'de AL 1050-O sac malzemeler için analitik yöntemle hesaplanan bükme açıları verilmiştir.

Çizelge 5.2. AA 5754-O sac malzemeler için analitik yöntemle hesaplanan bükme açısı.

Bükme Açısı	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Bükme Açısı (Derece)
60°	1	2	54,79
		4	53,81
		6	52,86
	2	2	55,29
		4	54,79
		6	54,29
90°	1	2	82,19
		4	80,71
		6	79,29
	2	2	82,94
		4	82,19
		6	81,44
120°	1	2	109,59
		4	107,62
		6	105,73
	2	2	110,59
		4	109,59
		6	108,59

Çizelge 5.3. AL 1050-O sac malzemeler için analitik yöntemle hesaplanan bükme açısı.

Bükme Açısı	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Bükme Açısı (Derece)
60°	1	2	55,44
		4	55,08
		6	54,72
	2	2	55,63
		4	55,44
		6	54,29
90°	1	2	83,17
		4	82,62
		6	82,05
	2	2	83,44
		4	83,17
		6	82,89
120°	1	2	110,89
		4	110,47
		6	109,45
	2	2	111,26
		4	110,89
		6	110,53

## 5.2. YÖNTEM

“V” bükme işlemlerinde geri esnemenin belirlenmesi için birçok parametre kullanılmaktadır. Geri esnemenin belirlenmesi için, elastikiyet modülü, akma gerilmesi, pekleşme özelliği gibi malzeme parametreleri ile uygulanan kuvvet, sacın kalınlığı, sacın hadde yönü, kalıbın açısı, zımba yarıçapı, kalıp açıklığı, zımbanın kalıp üzerinde bekleme süresi ve kalıbın yağlanması gibi işlem parametrelerinin, geri esnemeye karmaşık bir şekilde etki ettiği bilinmektedir. Parametrelerin geri esnemeye ne şekilde etki ettiğini araştırmak amacıyla deneyler her bir kalıp açısı için iki gruba ayrılmış ve gruplar içerisinde her biri için dört farklı yöntem kullanılmıştır.

Her bir kalıp açısı için birinci grup AA 5754-O, ikinci grup ise AL 1050-O olarak belirlenmiştir. Her bir grupta dört farklı bükme yöntemi kullanılmış ve bu yöntemler aşağıda verilmiştir.

Birinci yöntemde; zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmış ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiştir. Aynı zamanda zımba kalıp üzerinde 20 sn bekletildikten sonra yük geri alınmıştır.

İkinci yöntemde; zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmış ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiştir. Zımbanın kalıp üzerinde sadece basma süresi kadar bekletilmesiyle yük geri alınmıştır.

Üçüncü yöntemde; zımba kalıbın dibine kadar oturtulmuş ve sac malzemenin ezilmesi ile geri esnemeye etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda zımba kalıp üzerinde 20 sn bekletildikten sonra yük geri alınmıştır.

Dördüncü yöntemde; zımba kalıbın dibine kadar oturtulmuş ve sac malzemenin ezilmesi ile geri esnemeye etkisi incelenmiştir. Zımbanın kalıp üzerinde sadece basma süresi kadar bekletilmesiyle yük geri alınmıştır.

Her bir grupta yaklaşık 750 adet olmak üzere toplamda 1500 adet deney numunesi kullanılmıştır. Her bir gruptan elde edilen DY ve SEY verileri bilgisayar ortamına

aktarılarak karşılaştırma yapılmıştır. Sonuç olarak tüm kalıp açıları için iki grubunda birinci ve ikinci yöntemlerden elde edilen verilerin kullanılabilir, üçüncü ve dördüncü yöntemlerden sac malzeme kalınlığının dikkate alınmadan yapılan deneylerde tutarlı sonuçlar elde edilememiş ve çalışmaya dahil edilmemiştir.

Deneyle, sonuçları etkileyebilecek her türlü olumsuz şart elimine edilerek yapılmıştır. Deneyle parçaları dikkatli bir şekilde kalıba yerleştirilmiş, pres istenen kuvvete göre ayarlanmıştır. Bükülen sacların ölçümleri açölçer cihazı ile bükme işleminin hemen ardından zaman kaybetmeden titizlikle yapılmıştır.

### **5.3. MALZEME ÖZELLİKLERİ**

Alüminyumun, endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlaması bakır, çinko ve kurşuna oranla yeni sayılır. Endüstrideki hızlı gelişme, hafif fakat mekanik özellikleri iyi malzemelere duyulan ihtiyacı körüklemiş ve alüminyumu birinci sıraya yükseltmiştir. Alüminyumun alaşımlandırılma tekniklerindeki gelişmeler, kullanım alanlarının artışına neden olmuştur [53].

Saf haldeki alüminyum yumuşak ve elastiktir. Alüminyumdan daha yüksek mukavemet istendiğinde alaşımlandırılır. Yeterli olmadığı durumlarda istenen mukavemet değerleri ısı işlemler vasıtası ile elde edilir [54].

Birçok metalik element alüminyum ile alaşım yapabilmektedir. Bunların bir kısmı ise ticari olarak kullanılmaktadır. En genel alaşım elementleri, bakır, silisyum, çinko, mangan ve magnezyum dur. İlave edilen diğer elementler (krom, zirkonyum, vanadyum v.b.); ince tane yapısı, yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı, ana empürite elementlerine karşı blok etkisi sağlamak gibi yapısal özellikleri sağlamak amacıyla kullanılırlar [55].

Alaşım elementlerinin ilk görevi yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi yararlı özellikleri kötü yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük akma sınırını yükseltmektir. Alüminyuma ilave edilen element cins ve miktarı alaşım tanımlamada kullanılan ilk kriterdir. Kimyasal kompozisyonu yanında diğer kriterlere göre de



sınıflandırılabilir. Alüminyum alaşımlarının yapı ve katı hal dönüşümlerinin anlaşılması sonucu, dökülebilir yüksek dayanımlı alaşımlar ve yüksek dayanımlı pres döküm alaşımları geliştirilmiştir [53].

### **5.3.1. 1XXX Serileri**

Saf ya da çok az alaşım elemanı ihtiva eden malzemelerdir ( $Al \geq \% 99,00$ ). Bu alaşımlar fazla dayanım istenmeyen korniş, kapı, pencere profili, mutfak eşyaları v.b. yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımlar yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, düşük mekanik özellikleri ve yüksek işlenebilirlik ile karakterize edilir. Bu grupta deformasyon sertleşmesi ile az miktarda mukavemet yükselmesi elde edilebilir [56].

### **5.3.2. 5XXX Serileri**

Bu seride Magnezyum ana alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Yüksek çekme dayanımı, sertlik, aşınma direnci, deniz atmosferine karşı korozyon direnci ve iyi kaynak edilebilirliği önemli özellikleridir. % 10 oranında Magnezyum içeren alüminyum alaşımları, tavlama işleminden sonra bütün alüminyum döküm alaşımları içinde çekme mukavemeti, uzama ve darbeye karşı mukavemet bakımından en yüksek özelliğe sahiptir [56].

Bu serideki alaşımlar otomotiv sektörünün yanı sıra uzay, savunma ve gemi endüstrisinde hafiflik, yüksek mukavemet ve korozyona karşı dayanıklılık gibi üstün özelliklerinden dolayı büyük ilgi görmektedirler. Çekme deneyleri Shimadzu AG-IS 50 kN çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Mekanik test cihazı Şekil 5.19'da verilmiştir



Şekil 5.19. Alüminyum numunenin mekanik testi.

Deneysel çalışmada kullanılan AL 1050-O ve AA 5754-O numunelere mekanik testler uygulanmıştır. Mekanik testleri yapılan numunelerden biri Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.20. AA 5754-O numunede çekme testi sonucu meydana gelen kırılma.

Çalışmada, şekillendirilecek malzeme olarak Al (5XXX) serisinden AA 5754-O, Al (1XXX) serisinden Al 1050-O sac malzemelerden 1 mm ve 2 mm kalınlığında hadde yönü 0°, 45° ve 90° olarak kesilmiştir. Çizelge 5.4’te AA 5754-O malzemenin kimyasal özelliği, Çizelge 5.5’te ise mekanik özelliği verilmiştir.

Çizelge 5.4. AA 5754-O alaşımının kimyasal özelliği [48].

%									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Her Biri	Toplam
0,40	0,40	0,10	0,50	2,6-3,6	0,30	0,20	0,15	0,05	0,15

Çizelge 5.5. AA 5754-O alaşımının mekanik özelliği [48].

Mekanik Özellikleri	AA 5754-O
Yoğunluk, kg/mm <sup>3</sup>	2,643x10 <sup>-3</sup>
Çekme Dayanımı, MPa	220
Akma Dayanımı, MPa	100
50 mm'deki Uzama, %	26
Elastikiyet Modülü, GPa	71
Poisson Oranı	0,33
Tangent Modülü, MPa	416
Barlat Exponent	8
r <sub>0</sub>	0,705
R <sub>45</sub>	0,765
R <sub>90</sub>	0,906

Çalışmada kullanılan Al 1050-O malzemeye ait kimyasal özellikler Çizelge 5.6'da, mekanik özellikleri de Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.6. Al 1050-O alaşımının kimyasal özelliği [48].

%								
Al	Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Mn	Her Biri	Toplam
99,5	0,40	0,25	0,05	0,05	0,04	-	0,03	0,10

Çizelge 5.7. Al 1050 alaşımının mekanik özelliği [48].

Mekanik Özellikleri	AL 1050-O
Yoğunluk, kg/mm <sup>3</sup>	2,705x10 <sup>-3</sup>
Çekme Dayanımı, MPa	76
Akma Dayanımı, MPa	28
50 mm'deki Uzama, %	39
Elastikiyet Modülü, GPa	69
Poisson Oranı	0,33
Tangent Modülü, MPa	84
Barlat Exponent	8
r <sub>0</sub>	0,67
R <sub>45</sub>	0,45
R <sub>90</sub>	0,73

Bu malzemelerin mekanik özellikleri incelendiğinde çekme ve akma dayanımları arasında ciddi bir fark olduğu görülmekte, uzama oranlarında ise dayanımı az olan malzemenin daha fazla uzadığı görülmektedir.

#### **5.4. TEORİK MODELİN OLUŞTURULMASI**

Yapılan çalışmada, dinamik eksplisit ANSYS/LS-DYNA modülü kullanılmıştır. LS-DYNA modülü ANSYS programı altında çalışan 5 ana modülden biridir.

##### **5.4.1. Modelin Tasarlanması**

Kalıp elemanları yüzey (surface) olarak modellenmiştir. Modellenen parçalar sisteme yerleştirilirken kalıp elemanlarının konumuna ve et kalınlıklarına dikkat edilmiştir. Modellenen kalıp elemanlarının ağ örülmüş resmi Şekil 5.7’de verilmiştir.

##### **5.4.2. Eleman Tipinin Tanımlanması**

IGES formatında, ANSYS/LS-DYNA programına aktarılan yüzey modelinin element tipi belirlenmiştir. Element tipi olarak THIN SHELL 163 tanımlanmış olup kendi içindeki eleman formülü olarak da Belytschko-Wong formülasyonu seçilmiştir.

##### **5.4.3. Malzeme Modelinin Tanımlanması**

ANSYS/LS-DYNA programında oluşturulan modelin çözümlenmesinde en önemli unsur geometrilere uygun malzeme özelliklerinin tanımlanması ve giydirilmesidir. ANSYS/LS-DYNA programında her türlü malzeme modeline uygun malzeme özellikleri bulunmakta ve bünyesinde olmayan malzeme özellikleri de dışarıdan elle girdisi yapılarak çözümlenmektedir [48].

Çizelge 5.8. ASYS/LS-DYNA programına çözümlene için girilen malzemelere ait değerler.

Malzeme Türü	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
Alüminyum Sac (AL 1050-O)	2705	69000	0,33	28	76
Alüminyum Sac (AA 5754-O)	2643	71000	0,33	100	220
Hareketli Zımba	7850	210000	0,30	-	-
Sabit Matris	7850	210000	0,30	-	-

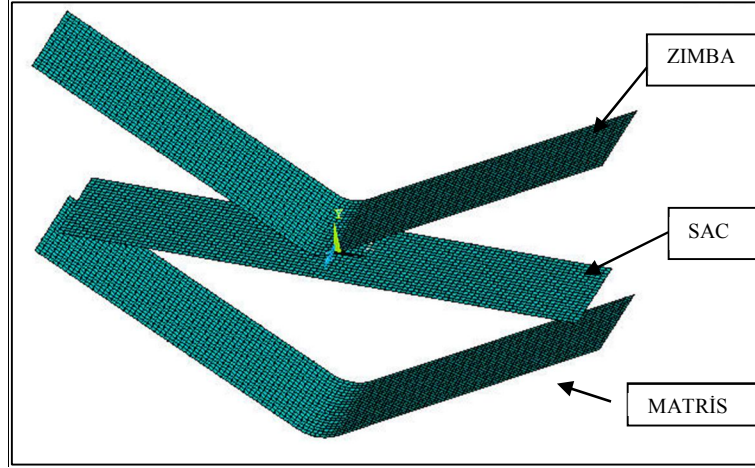
Deneyisel çalışmalarda iki farklı alüminyum serisine ait malzeme kullanılmıştır (Çizelge 5.8). Teorik analizlerde de bu iki farklı malzeme modeline ait özellikler tanımlanarak aralarındaki farklılıklar karşılaştırılmıştır.

Teorik analizlerde Al 1050-O ve AA 5754-O sac malzemelerine “Bilinear Kinematic” ve malzeme model tanımlaması yapılmıştır.

Al 1050-O ve AA 5754-O sac malzemelerindeki deformasyonların incelenmesi için malzeme modeli tanımlaması yapılmıştır. Matris için “Rijid” olarak malzeme tanımı yapılmıştır. Zımba için ise “Z ve X” yönündeki yer değiştirilmesi sınırlandırılmış olup presin düşey hareketinden dolayı sadece “-Y” yönündeki yer değiştirilmesine izin verilirken, zımbanın dönmesi sınırlandırılarak hiç bir yöne dönmemesini sağlamak amacıyla “All rotations” olarak sınırlandırılmıştır. Bu parametreler SolidWorks programında modellenen geometrinin orjin noktasına göre değişim göstermektedir. Kalıp modelde ise kalıbın yer değiştirmemesi için “Rijid”, tüm yöndeki dönmeleri de “All rotations” olarak sınırlandırılmıştır. Bu sıralamadan da anlaşılacağı gibi malzeme tanımlaması sac malzeme, matris ve zımba olarak sıralanmıştır.

#### 5.4.4. Modele Ağ Örne

Kalıp elemanları kullanılan element tipi ve malzeme özelliklerine göre sonlu sayıda bölüntülere bölmek ve daha iyi sonuçlar elde etmek için modellere mesh (ağ) örülmüştür. Mesh sayısının artması sonucun daha iyi çıkmasını sağlamaktadır. Şekil 5.21’de kalıp elemanlarının ağ örülmüş resimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.21. Kalıp elemanları için mesh model.

Analizlerde sac malzemeye ait mesh modelinde sonlu element sayısı diğer kalıp elemanlarına göre daha yüksek belirlenmiştir. Sac malzemede oluşacak olan deformasyonlardan daha iyi sonuç almak adına böyle bir yol izlenmiştir. Programda sac malzeme için bölüntüler 0,5 mm'ye göre, matris ve zımba için mesh model örme için bölüntüler 2 mm'ye ayarlanmıştır.

#### 5.4.5. Kontak (Sürtünme) Modelinin Tanımlanması

ANSYS/LS-DYNA'da analizlerde modeller arası kontak tanımlamasının yapılması çok önemlidir. Parçalar arası zamana bağlı analizlerde parçaların birbirleriyle olan temaslarındaki sonuçları gözlemlemek kontak modelleme ile sağlanır. Çalışmada parçalar arası kontak tanımlanırken SURFACE TO SURFACE kontak modeli seçilirken, kontak grubu da FORMING (FSTS) seçilmiştir. Kontakları sağlama almak adına analizin tamamına SINGLE SURFACE ve kontak grubunu da AUTOMATIC (ASSC) genel olarak seçilmiştir.

Parçalar arası kontak sayesinde meydana gelebilecek olan deformasyonlar ve davranışlar otomatik olarak hesap edilecektir.

Kontak tanımlamasında kontak ve hedef olmak üzere seçimler model üzerinde yapılmıştır. Çalışmada;

- Zimba-Sac,
- Sac-Matris,
- Single Surface olarak kontaklar tanımlanmıştır.

Sistemde zimba ve sac, presin aşağı yukarı hareketinden dolayı düşey merkezli olarak hareketli seçilmişlerdir. Matris ise herhangi bir deformasyonla karşılaşmayacağı için sabit tutulmuştur.

#### **5.4.6. Parametrelerin Belirlenmesi**

Hareketli zımbaya, zamana bağlı ilerleme mesafesi parametreleri tanımlanmıştır. Bu sayede hareketli zimba zamana bağımlı olarak (-y) yönünde hareket ederek alüminyum saca kuvvet uygulamaktadır. Mesafeler verilirken sac kalınlıkları dikkate alınarak Zimba ile Matris arasına bükülecek deney numunesi kalınlığı kadar boşluk verilmiştir.

#### **5.4.7. Problem Analiz Süresinin Belirlenmesi**

Problem analizin çözeceği süre zaman parametrelerinden girilir ve analiz başlatılır. V bükme işlemi bitirilmiş olur. Burada verilen süre yukarıda verilen zamana bağlı ilerleme ile aynı girilirse çözümlenmenin tamamı yapılır. Ancak süre daha az verilirse çözümlenmeyi tamamlamadan çözümlenme verilen sürede durdurulmuş olur. Bu da bize çözümlenmenin doğru bir şekilde ilerleyip ilerlemediğini görmemize olanak sağlar.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Yapılan deneyler sonucunda kullanılabilir olan sonuçlar çizelge ve şekiller halinde aşağıda verilmiştir.

#### 6.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN GERİ ESNEME SONUÇLARI

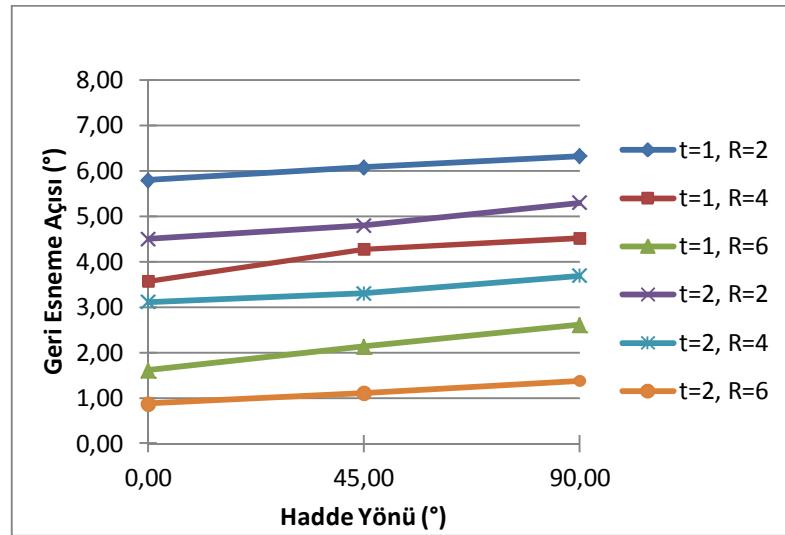
Çalışmalarda; her bir kalıp açısı için birinci grup AA 5754-O, ikinci grup ise AL 1050-O olarak belirlenmiştir. Numunelerin şekillendirilmesinde, birinci yöntemde; zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmış ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiştir. Aynı zamanda zımba kalıp üzerinde 20 sn bekletildikten sonra yük geri alınmıştır. İkinci yöntemde; zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmış ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiş, zımbanın kalıp üzerinde sadece basma süresi kadar bekletilmesiyle yük geri alınmıştır.

Çizelge 6.1’de 60° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.1’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de, hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°’ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneme 2 mm kalınlığında zımba uç yarıçapı 6 mm olan deneyde 0,88° olarak gerçekleşmiş, en fazla geri esneme ise 1 mm kalınlığında zımba uç yarıçapı 2 mm olan deneyde 6,33° olarak gerçekleşmiştir.



Çizelge 6.1. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrisine Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	20	65,75	65,83	65,83	65,80	5,80
		4	1	20	63,50	63,75	63,50	63,58	3,58
		6	1	20	61,75	61,50	61,58	61,61	1,61
	2	2	2	20	64,50	64,41	64,58	64,50	4,50
		4	2	20	63,00	63,16	63,16	63,11	3,11
		6	2	20	60,83	60,91	60,91	60,88	0,88
45°	1	2	1	20	66,00	66,08	66,16	66,08	6,08
		4	1	20	64,33	64,25	64,25	64,28	4,28
		6	1	20	62,16	62,08	62,16	62,13	2,13
	2	2	2	20	64,83	64,83	64,75	64,80	4,80
		4	2	20	63,41	63,25	63,25	63,30	3,30
		6	2	20	61,00	61,25	61,08	61,11	1,11
90°	1	2	1	20	66,25	66,33	66,41	66,33	6,33
		4	1	20	64,41	64,50	64,66	64,52	4,52
		6	1	20	62,50	62,75	62,58	62,61	2,61
	2	2	2	20	65,16	65,41	65,33	65,30	5,30
		4	2	20	63,66	63,66	63,75	63,69	3,69
		6	2	20	61,33	61,41	61,41	61,38	1,38



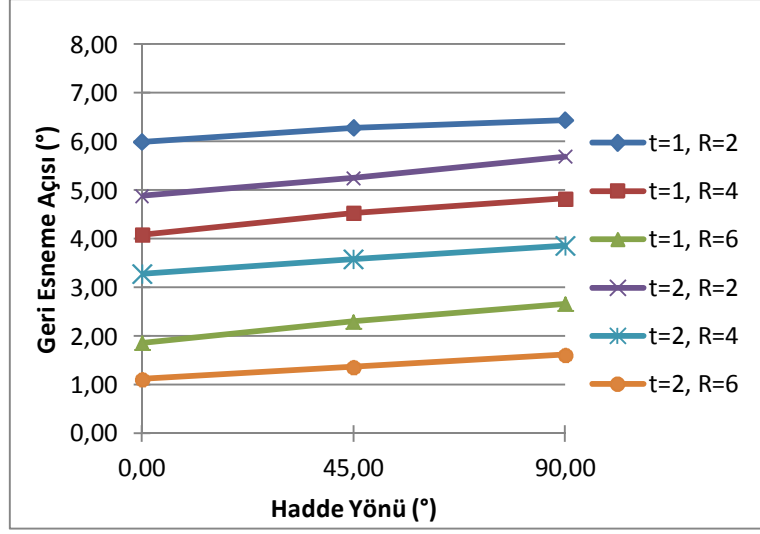
Şekil 6.1. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.2’de 60° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler

Şekil 6.2'deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de şekillendirilen deney numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°'ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (1,11°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (6,44°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.2. AA 5754-O sac malzemelerin 60°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	0	65,91	66,00	66,05	65,99	5,99
		4	1	0	64,00	64,08	64,16	64,08	4,08
		6	1	0	61,83	61,91	61,83	61,86	1,86
	2	2	2	0	64,83	64,91	64,91	64,88	4,88
		4	2	0	63,25	63,33	63,25	63,28	3,28
		6	2	0	61,16	61,08	61,08	61,11	1,11
45°	1	2	1	0	66,33	66,25	66,25	66,28	6,28
		4	1	0	64,50	64,50	64,58	64,53	4,53
		6	1	0	62,33	62,25	62,33	62,30	2,30
	2	2	2	0	65,16	65,25	65,33	65,25	5,25
		4	2	0	63,50	63,58	63,66	63,58	3,58
		6	2	0	61,33	61,33	61,41	61,36	1,36
90°	1	2	1	0	66,41	66,41	66,50	66,44	6,44
		4	1	0	65,00	64,75	64,75	64,83	4,83
		6	1	0	62,66	62,66	62,66	62,66	2,66
	2	2	2	0	65,75	65,66	65,66	65,69	5,69
		4	2	0	63,83	63,91	63,83	63,86	3,86
		6	2	0	61,83	61,50	61,50	61,61	1,61

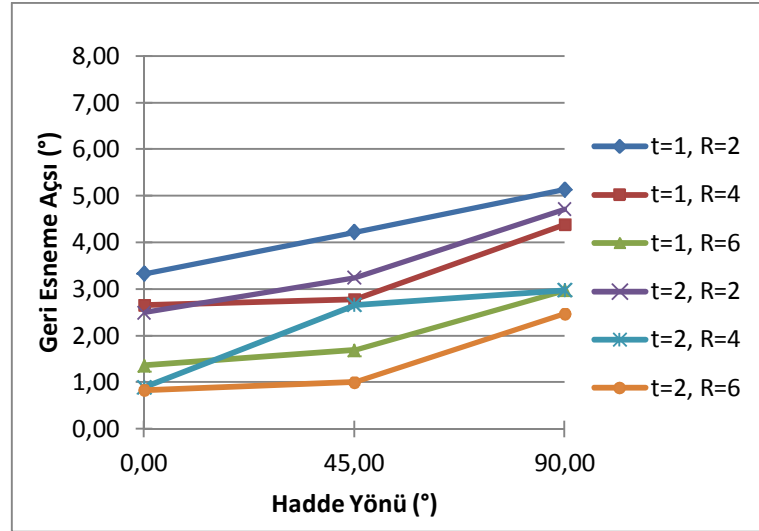


Şekil 6.2. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.3’de 90° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.3’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de şekillendirilen deney numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°’ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı arttıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (0,83°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (5,14°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.3. AA 5754-O sac malzemelerin 90°'lik V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zimba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrisine Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	20	93,75	93,25	93,00	93,33	3,33
		4	1	20	92,66	92,66	92,66	92,66	2,66
		6	1	20	91,41	91,33	91,33	91,36	1,36
	2	2	2	20	92,33	92,66	92,50	92,50	2,50
		4	2	20	91,00	90,66	91,00	90,89	0,89
		6	2	20	90,83	90,83	90,83	90,83	0,83
45°	1	2	1	20	94,00	94,66	94,00	94,22	4,22
		4	1	20	92,83	92,75	92,75	92,78	2,78
		6	1	20	91,75	91,66	91,66	91,69	1,69
	2	2	2	20	93,50	93,00	93,25	93,25	3,25
		4	2	20	92,66	92,66	92,66	92,66	2,66
		6	2	20	91,00	91,00	91,00	91,00	1,00
90°	1	2	1	20	95,41	95,00	95,00	95,14	5,14
		4	1	20	94,66	94,50	94,00	94,39	4,39
		6	1	20	92,91	93,00	93,00	92,97	2,97
	2	2	2	20	94,75	94,66	94,75	94,72	4,72
		4	2	20	93,00	92,91	93,00	92,97	2,97
		6	2	20	92,50	92,41	92,50	92,47	2,47



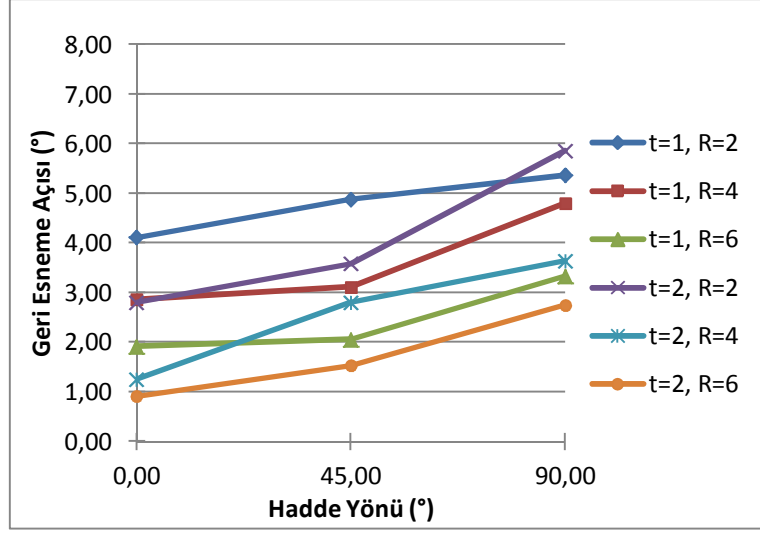
Şekil 6.3. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.4'te 90° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler

Şekil 6.4'teki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de şekillendirilen deney numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°'ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (0,91°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (5,36°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.4. AA 5754-O sac malzemelerin 90°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	0	94,08	94,08	94,16	94,11	4,11
		4	1	0	92,91	92,83	92,83	92,86	2,86
		6	1	0	91,91	91,91	91,91	91,91	1,91
	2	2	2	0	92,83	92,75	92,83	92,80	2,80
		4	2	0	91,25	91,33	91,16	91,25	1,25
		6	2	0	90,91	90,91	90,91	90,91	0,91
45°	1	2	1	0	94,83	94,91	94,91	94,88	4,88
		4	1	0	93,08	93,16	93,08	93,11	3,11
		6	1	0	92,08	92,00	92,08	92,05	2,05
	2	2	2	0	93,58	93,58	93,58	93,58	3,58
		4	2	0	92,83	92,83	92,75	92,80	2,80
		6	2	0	91,50	91,58	91,50	91,53	1,53
90°	1	2	1	0	95,41	95,41	95,25	95,36	5,36
		4	1	0	94,75	94,75	94,91	94,80	4,80
		6	1	0	93,33	93,25	93,41	93,33	3,33
	2	2	2	0	95,91	95,83	95,83	95,86	5,86
		4	2	0	93,50	93,75	93,66	93,64	3,64
		6	2	0	92,66	92,83	92,75	92,75	2,75

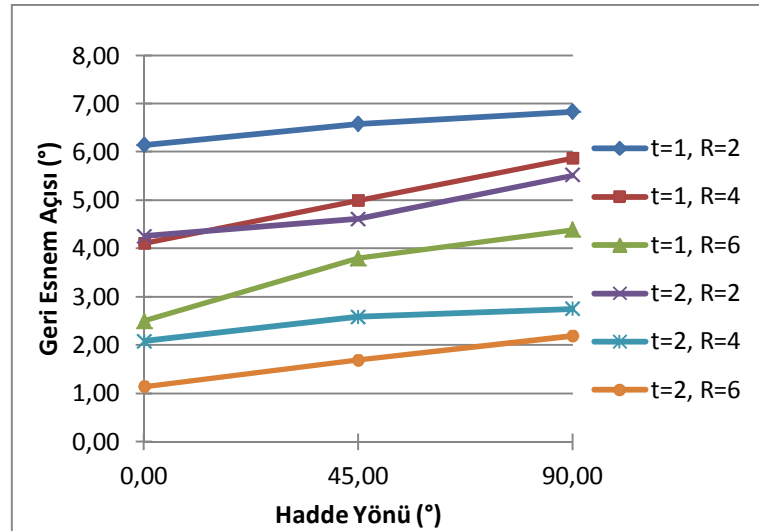


Şekil 6.4. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.5’de 120° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.5’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de şekillendirilen deney numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°’ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı arttıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (1,14°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (6,83°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.5. AA 5754-O sac malzemelerin 120°'lik V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	20	126,16	126,00	126,25	126,14	6,14
		4	1	20	124,00	124,16	124,16	124,11	4,11
		6	1	20	122,50	122,50	122,50	122,50	2,50
	2	2	2	20	124,25	124,33	124,16	124,25	4,25
		4	2	20	122,00	122,08	122,16	122,08	2,08
		6	2	20	121,00	121,00	121,41	121,14	1,14
45°	1	2	1	20	126,50	126,58	126,66	126,58	6,58
		4	1	20	125,00	125,00	125,00	125,00	5,00
		6	1	20	123,66	123,83	123,91	123,80	3,80
	2	2	2	20	124,50	124,66	124,66	124,61	4,61
		4	2	20	122,50	122,66	122,58	122,58	2,58
		6	2	20	121,66	121,66	121,75	121,69	1,69
90°	1	2	1	20	126,75	126,91	126,83	126,83	6,83
		4	1	20	125,91	125,83	125,91	125,88	5,88
		6	1	20	124,50	124,25	124,41	124,39	4,39
	2	2	2	20	125,41	125,66	125,50	125,52	5,52
		4	2	20	122,83	122,75	122,66	122,75	2,75
		6	2	20	122,16	122,25	122,16	122,19	2,19



Şekil 6.5. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.

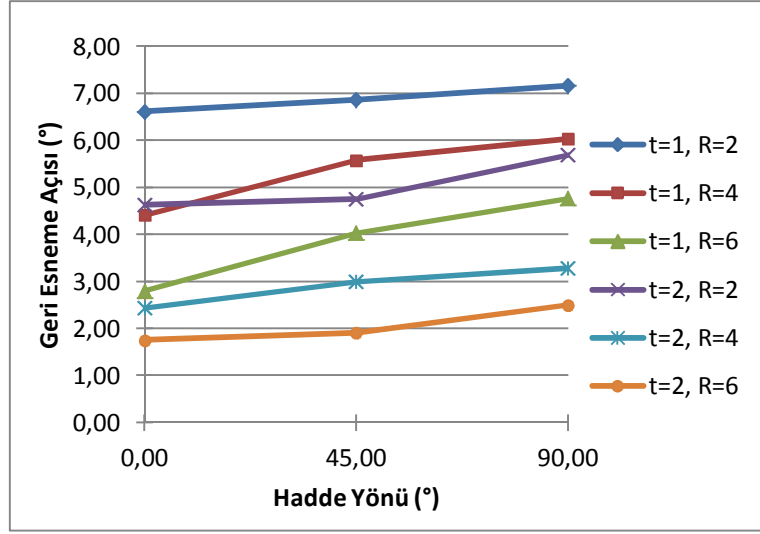
Çizelge 6.6'da 120° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler

Şekil 6.6'daki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de şekillendirilen deney numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°'ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (1,75°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (7,16°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.6. AA 5754-O sac malzemelerin 120°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	0	126,50	126,66	126,66	126,61	6,61
		4	1	0	124,50	124,41	124,33	124,41	4,41
		6	1	0	122,66	122,83	122,91	122,80	2,80
	2	2	2	0	124,66	124,58	124,66	124,63	4,63
		4	2	0	122,41	122,50	122,41	122,44	2,44
		6	2	0	121,66	121,83	121,75	121,75	1,75
45°	1	2	1	0	126,83	126,83	126,91	126,86	6,86
		4	1	0	125,50	125,66	125,58	125,58	5,58
		6	1	0	124,00	124,00	124,08	124,03	4,03
	2	2	2	0	124,75	124,75	124,75	124,75	4,75
		4	2	0	122,91	123,00	123,08	123,00	3,00
		6	2	0	121,91	121,91	121,91	121,91	1,91
90°	1	2	1	0	127,08	127,25	127,16	127,16	7,16
		4	1	0	126,00	126,08	126,00	126,03	6,03
		6	1	0	124,66	124,66	125,00	124,77	4,77
	2	2	2	0	125,66	125,66	125,75	125,69	5,69
		4	2	0	123,25	123,33	123,25	123,28	3,28
		6	2	0	122,33	122,66	122,50	122,50	2,50



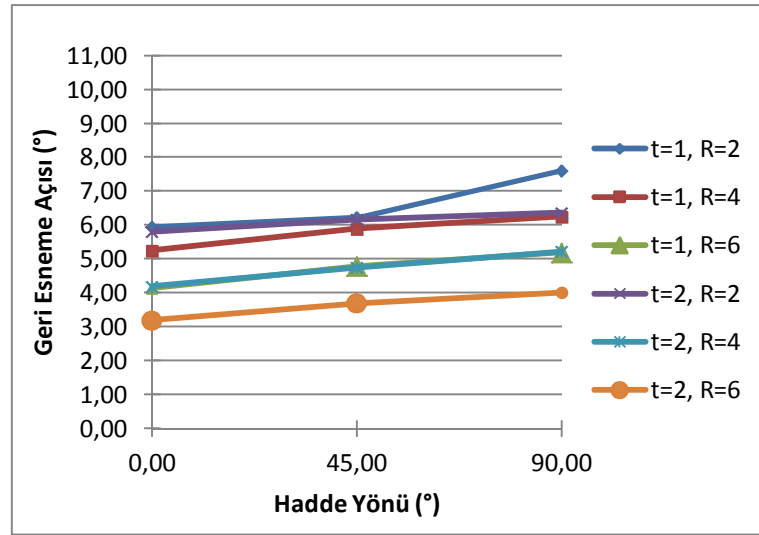


Şekil 6.6. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.7’de 60° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.7’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de şekillendirilen deney numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°’ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3,19°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (7,61°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.7. AL 1050-O sac malzemelerin 60°'lik V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zimba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	20	66,00	65,91	65,91	65,94	5,94
		4	1	20	65,00	65,33	65,41	65,25	5,25
		6	1	20	64,08	64,16	64,16	64,13	4,13
	2	2	2	20	65,83	65,75	65,83	65,80	5,80
		4	2	20	64,41	64,08	64,08	64,19	4,19
		6	2	20	63,25	63,16	63,16	63,19	3,19
45°	1	2	1	20	66,16	66,25	66,25	66,22	6,22
		4	1	20	65,92	65,83	65,92	65,89	5,89
		6	1	20	64,83	64,75	64,75	64,78	4,78
	2	2	2	20	66,16	66,08	66,25	66,16	6,16
		4	2	20	64,75	64,66	64,83	64,75	4,75
		6	2	20	63,75	63,66	63,66	63,69	3,69
90°	1	2	1	20	67,50	67,66	67,66	67,61	7,61
		4	1	20	66,00	66,33	66,41	66,25	6,25
		6	1	20	65,16	65,16	65,25	65,19	5,19
	2	2	2	20	66,33	66,33	66,41	66,36	6,36
		4	2	20	65,25	65,16	65,25	65,22	5,22
		6	2	20	64,00	64,00	64,00	64,00	4,00



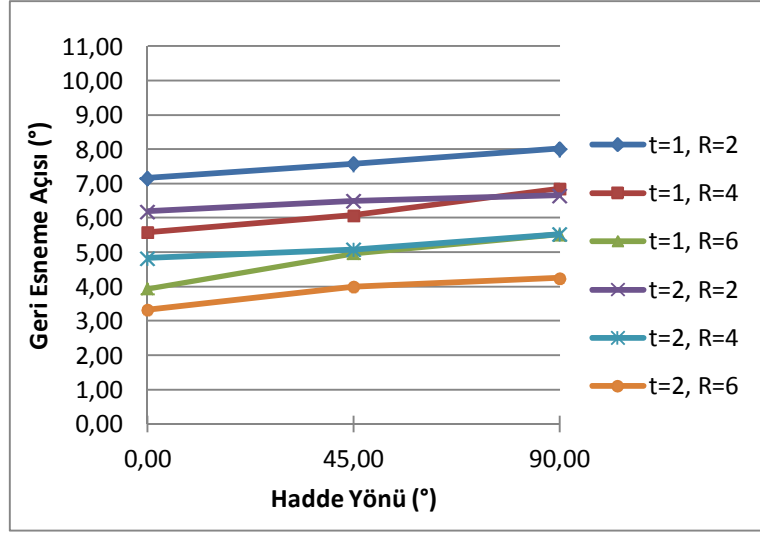
Şekil 6.7. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.8'de 60° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.8'deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de şekillendirilen deney

numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°'ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3,33°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (8,02°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.8. AL 1050-O sac malzemelerin 60°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde beklemeden elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	0	67,08	67,25	67,16	67,16	7,16
		4	1	0	65,66	65,58	65,50	65,58	5,58
		6	1	0	64,58	63,58	63,66	63,94	3,94
	2	2	2	0	66,16	66,25	66,16	66,19	6,19
		4	2	0	64,83	64,75	64,91	64,83	4,83
		6	2	0	63,00	63,50	63,50	63,33	3,33
45°	1	2	1	0	67,66	67,50	67,58	67,58	7,58
		4	1	0	66,00	66,08	66,16	66,08	6,08
		6	1	0	64,83	65,08	65,00	64,97	4,97
	2	2	2	0	66,50	66,58	66,41	66,50	6,50
		4	2	0	65,00	65,08	65,16	65,08	5,08
		6	2	0	64,00	63,91	64,08	64,00	4,00
90°	1	2	1	0	67,91	68,08	68,08	68,02	8,02
		4	1	0	67,00	66,75	66,83	66,86	6,86
		6	1	0	65,50	65,66	65,41	65,52	5,52
	2	2	2	0	66,66	66,58	66,75	66,66	6,66
		4	2	0	65,50	65,50	65,58	65,53	5,53
		6	2	0	64,25	64,16	64,33	64,25	4,25

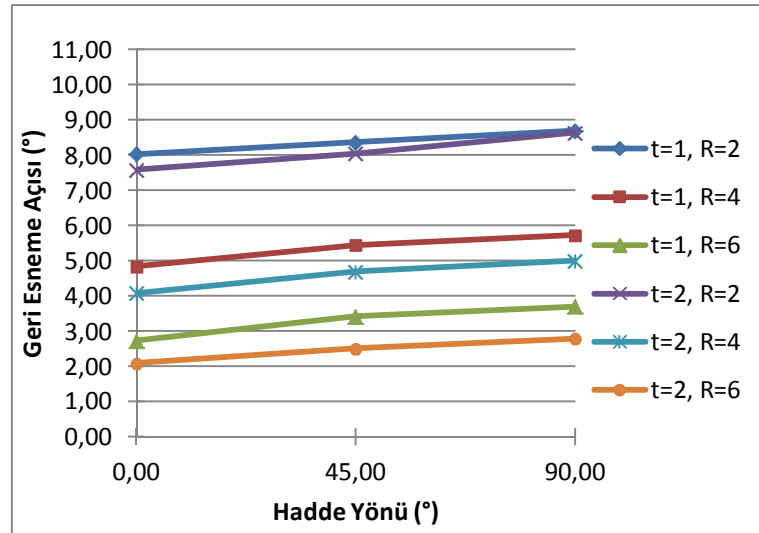


Şekil 6.8. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.9’da 90° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.9’daki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de şekillendirilen deney numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°’ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (2,08°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (8,69°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.9. AL 1050-O sac malzemelerin 90°'lik V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zimba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	20	98,00	98,08	98,00	98,03	8,03
		4	1	20	94,83	94,91	94,75	94,83	4,83
		6	1	20	92,83	92,75	92,58	92,72	2,72
	2	2	2	20	97,83	97,41	97,50	97,58	7,58
		4	2	20	94,25	94,00	94,00	94,08	4,08
		6	2	20	92,16	92,00	92,08	92,08	2,08
45°	1	2	1	20	98,25	98,25	98,58	98,36	8,36
		4	1	20	95,41	95,50	95,41	95,44	5,44
		6	1	20	93,33	93,41	93,50	93,41	3,41
	2	2	2	20	98,00	98,00	98,16	98,05	8,05
		4	2	20	94,66	94,50	94,91	94,69	4,69
		6	2	20	92,50	92,50	92,50	92,50	2,50
90°	1	2	1	20	98,66	98,75	98,66	98,69	8,69
		4	1	20	95,58	95,75	95,83	95,72	5,72
		6	1	20	93,75	93,58	93,75	93,69	3,69
	2	2	2	20	98,75	98,66	98,50	98,64	8,64
		4	2	20	95,00	95,00	95,00	95,00	5,00
		6	2	20	92,75	92,75	92,83	92,78	2,78



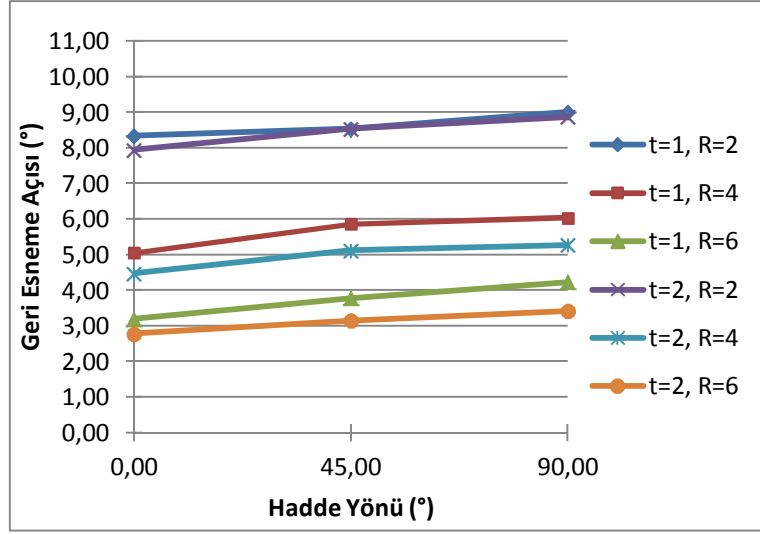
Şekil 6.9. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.10'da 90° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.10'daki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de şekillendirilen deney

numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°'ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (2,78°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (9°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.10. AL 1050-O sac malzemelerin 90°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	0	98,33	98,41	98,25	98,33	8,33
		4	1	0	95,00	95,08	95,08	95,05	5,05
		6	1	0	93,08	93,25	93,25	93,19	3,19
	2	2	2	0	97,91	97,91	98,00	97,94	7,94
		4	2	0	94,33	94,58	94,50	94,47	4,47
		6	2	0	92,75	92,75	92,83	92,78	2,78
45°	1	2	1	0	98,50	98,50	98,58	98,53	8,53
		4	1	0	95,83	95,91	95,83	95,86	5,86
		6	1	0	93,66	93,83	93,83	93,77	3,77
	2	2	2	0	98,58	98,50	98,50	98,53	8,53
		4	2	0	95,08	95,08	95,16	95,11	5,11
		6	2	0	93,00	93,25	93,16	93,14	3,14
90°	1	2	1	0	99,00	99,00	99,00	99,00	9,00
		4	1	0	96,00	96,00	96,08	96,03	6,03
		6	1	0	94,16	94,25	94,25	94,22	4,22
	2	2	2	0	98,91	98,83	98,83	98,86	8,86
		4	2	0	95,33	95,16	95,33	95,27	5,27
		6	2	0	93,41	93,33	93,50	93,41	3,41

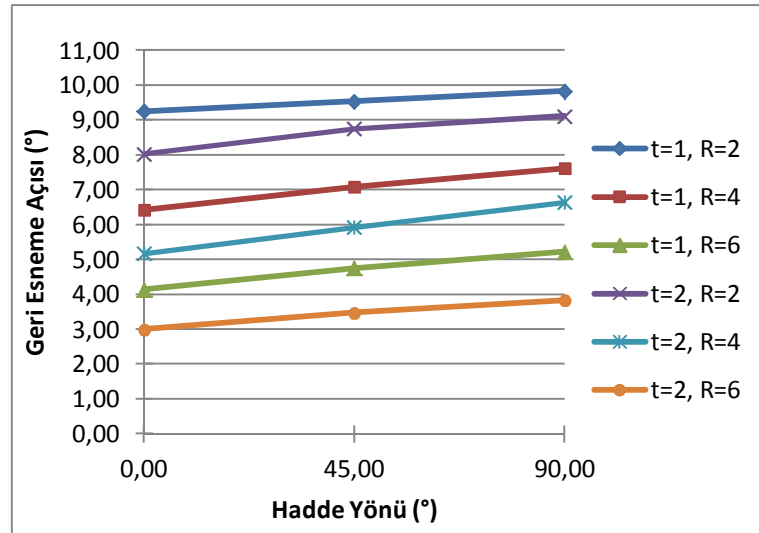


Şekil 6.10. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.11’de 120° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.11’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de şekillendirilen deney numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°’ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı arttıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (9,83°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.11. AL 1050-O sac malzemelerin 120°'lik V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	20	129,16	129,33	129,25	129,25	9,25
		4	1	20	126,50	126,00	126,75	126,42	6,42
		6	1	20	124,08	124,16	124,16	124,13	4,13
	2	2	2	20	128,08	128,00	128,00	128,03	8,03
		4	2	20	125,00	125,00	125,50	125,17	5,17
		6	2	20	123,00	123,00	123,00	123,00	3,00
45°	1	2	1	20	129,50	129,50	129,58	129,53	9,53
		4	1	20	126,83	127,25	127,16	127,08	7,08
		6	1	20	124,75	124,75	124,75	124,75	4,75
	2	2	2	20	128,66	128,83	128,75	128,75	8,75
		4	2	20	125,75	126,00	126,00	125,92	5,92
		6	2	20	123,33	123,50	123,58	123,47	3,47
90°	1	2	1	20	129,83	129,91	129,75	129,83	9,83
		4	1	20	127,50	127,66	127,66	127,61	7,61
		6	1	20	125,08	125,16	125,41	125,22	5,22
	2	2	2	20	129,08	129,25	129,00	129,11	9,11
		4	2	20	126,41	126,75	126,75	126,64	6,64
		6	2	20	123,83	123,75	123,91	123,83	3,83



Şekil 6.11. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.

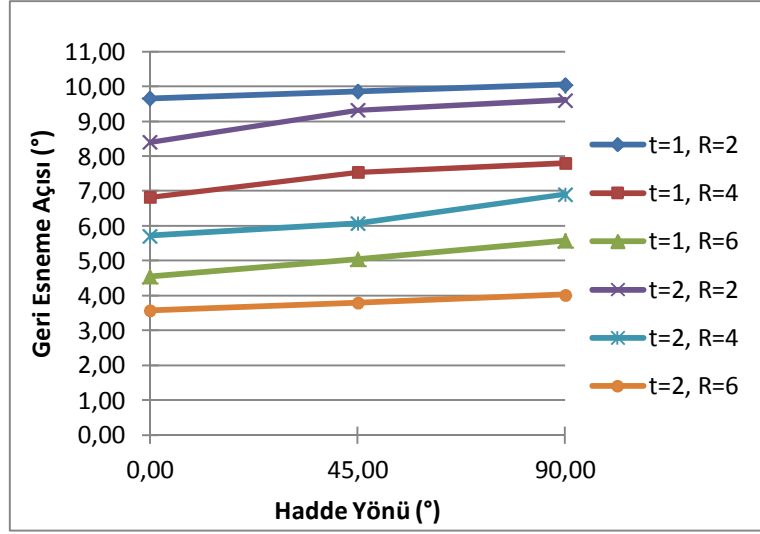
Çizelge 6.12'de 120° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel değerler görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.12'deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de



şekillendirilen deney numuneleri hadde yönlerine göre geri esneme değerleri incelendiğinde; hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°'ye göre daha az esnemiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3,58°) geri esnemiş, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (10,05°) geri esnemiştir.

Çizelge 6.12. AL 1050-O sac malzemelerin 120°'lik V bükme için zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel değerler.

Sac Hadde Yönü	Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0°	1	2	1	0	129,58	129,75	129,66	129,66	9,66
		4	1	0	126,91	126,75	126,83	126,83	6,83
		6	1	0	124,66	124,50	124,50	124,55	4,55
	2	2	2	0	128,50	128,33	128,41	128,41	8,41
		4	2	0	125,66	125,66	125,83	125,72	5,72
		6	2	0	123,66	123,50	123,58	123,58	3,58
45°	1	2	1	0	129,83	129,91	129,83	129,86	9,86
		4	1	0	127,66	127,50	127,50	127,55	7,55
		6	1	0	125,00	125,08	125,08	125,05	5,05
	2	2	2	0	129,25	129,41	129,33	129,33	9,33
		4	2	0	126,33	126,41	125,50	126,08	6,08
		6	2	0	123,83	123,75	123,83	123,80	3,80
90°	1	2	1	0	130,08	130,00	130,08	130,05	10,05
		4	1	0	127,83	127,75	127,83	127,80	7,80
		6	1	0	125,58	125,66	125,50	125,58	5,58
	2	2	2	0	129,50	129,66	129,66	129,61	9,61
		4	2	0	126,83	127,00	126,91	126,91	6,91
		6	2	0	124,00	124,00	124,08	124,03	4,03



Şekil 6.12. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekletilmeden elde edilen deneysel geri esneme açıları.

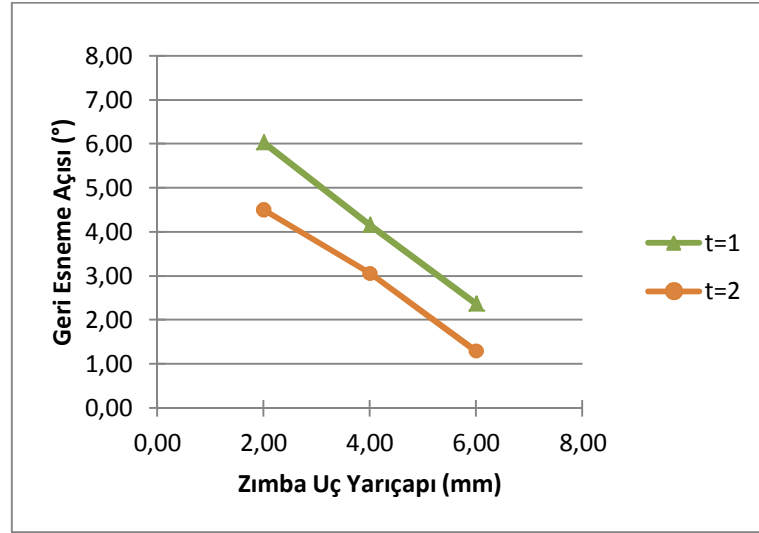
## 6.2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (SEY) ÇALIŞMALARININ GERİ ESNEME SONUÇLARI

SEY çalışmalarında; her bir kalıp açısı için birinci grup AA 5754-O, ikinci grup ise AL 1050-O olarak belirlenmiştir. Numunelerin şekillendirilmesinde birinci yöntemde zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmış ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiştir. Aynı zamanda zımba kalıp üzerinde 20 sn bekletildikten sonra yük geri alınmıştır.

Çizelge 6.13'te 60° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.13'teki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de SEY uygulanarak şekillendirilen AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deney numunelerinin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Sac kalınlığı arttıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (1,30°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (6,04°) geri esmiştir.

Çizelge 6.13. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri.

Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	Numune Parça (Derece)	Geri Esneme (Derece)
1	2	1	20	66,04	6,04
	4	1	20	64,16	4,16
	6	1	20	62,37	2,37
2	2	2	20	64,51	4,51
	4	2	20	63,06	3,06
	6	2	20	61,30	1,30



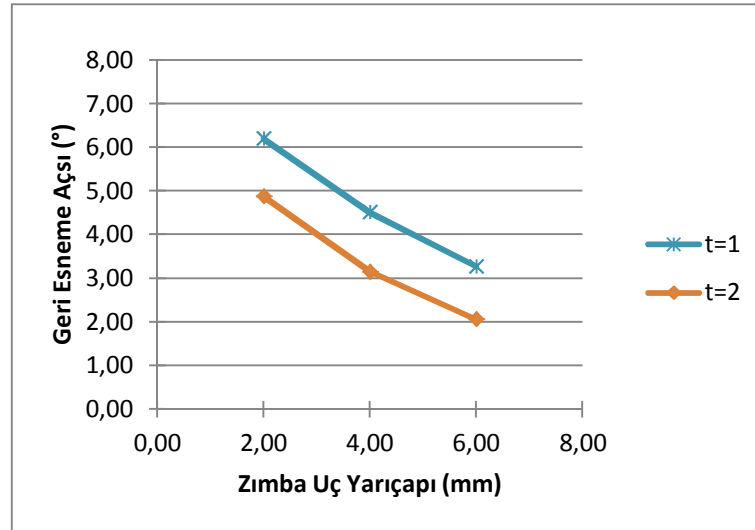
Şekil 6.13. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.

Çizelge 6.14'te 90° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.14'teki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de SEY uygulanarak şekillendirilen AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deney numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan

numune (2,06°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (6,20°) geri esmiştir.

Çizelge 6.14. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri.

Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	Numune Parça (Derece)	Geri Esneme (Derece)
1	2	1	20	96,20	6,20
	4	1	20	94,51	4,51
	6	1	20	93,27	3,27
2	2	2	20	94,88	4,88
	4	2	20	93,15	3,15
	6	2	20	92,06	2,06



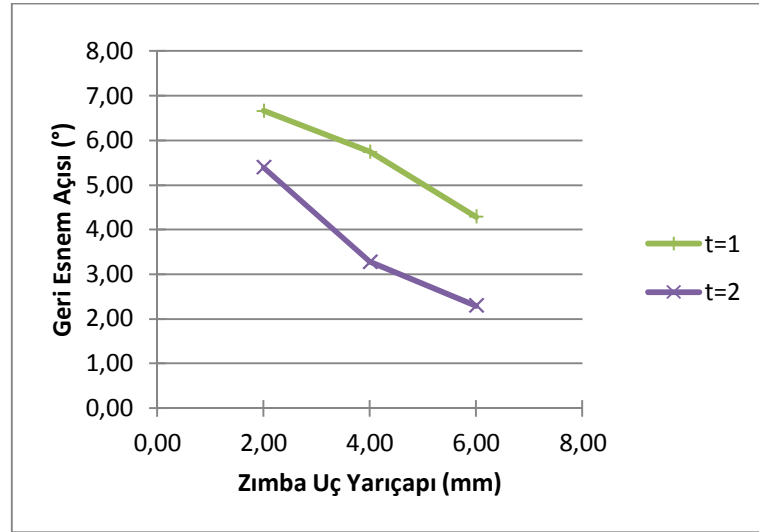
Şekil 6.14. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.

Çizelge 6.15'te 120° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.15'teki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de SEY uygulanarak şekillendirilen AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deney numunelerinin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Sac kalınlığı arttıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan

numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (2,30°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (6,67°) geri esmiştir.

Çizelge 6.15. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri.

Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	Numune Parça (Derece)	Geri Esneme (Derece)
1	2	1	20	126,67	6,67
	4	1	20	125,75	5,75
	6	1	20	124,29	4,29
2	2	2	20	125,40	5,40
	4	2	20	123,28	3,28
	6	2	20	122,30	2,30



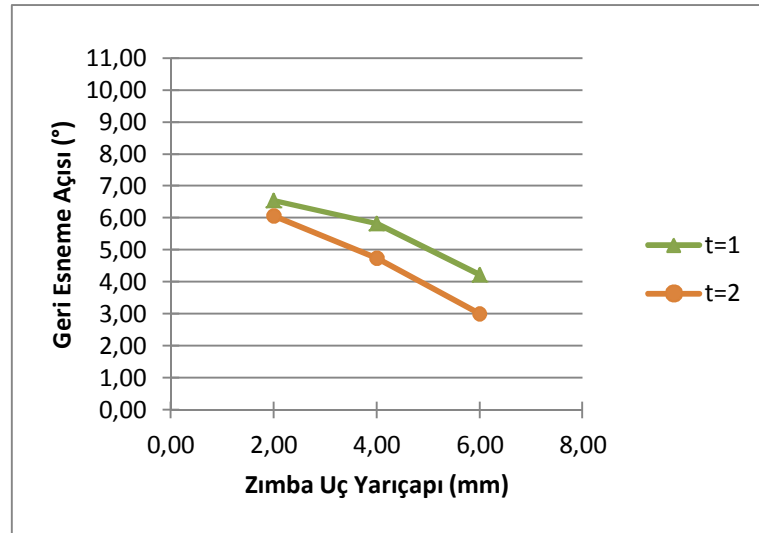
Şekil 6.15. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.

Çizelge 6.16'da 60° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.16'daki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de SEY uygulanarak şekillendirilen AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deney numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde;

numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Sac kalınlığı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (6,55°) geri esmiştir.

Çizelge 6.16. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri.

Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	Numune Parça (Derece)	Geri Esneme (Derece)
1	2	1	20	66,55	6,55
	4	1	20	65,83	5,83
	6	1	20	64,23	4,23
2	2	2	20	66,07	6,07
	4	2	20	64,75	4,75
	6	2	20	63,00	3,00



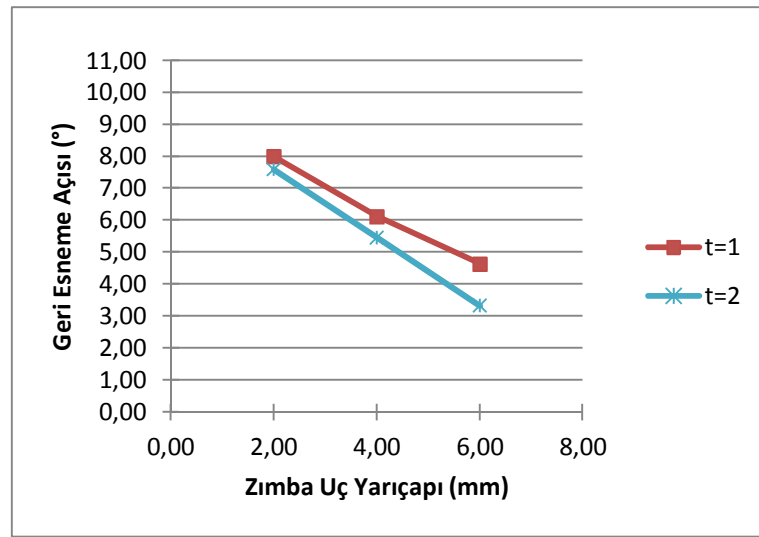
Şekil 6.16. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.

Çizelge 6.17'de 90° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) değerleri görülmektedir. Bu

değerler Şekil 6.17'deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de SEY uygulanarak şekillendirilen AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deney numunelerinin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Sac kalınlığı arttıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3,33°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (8°) geri esmiştir.

Çizelge 6.17. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in değerleri.

Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	Numune Parça (Derece)	Geri Esneme (Derece)
1	2	1	20	98,00	8,00
	4	1	20	96,12	6,12
	6	1	20	94,64	4,64
2	2	2	20	97,59	7,59
	4	2	20	95,46	5,46
	6	2	20	93,33	3,33

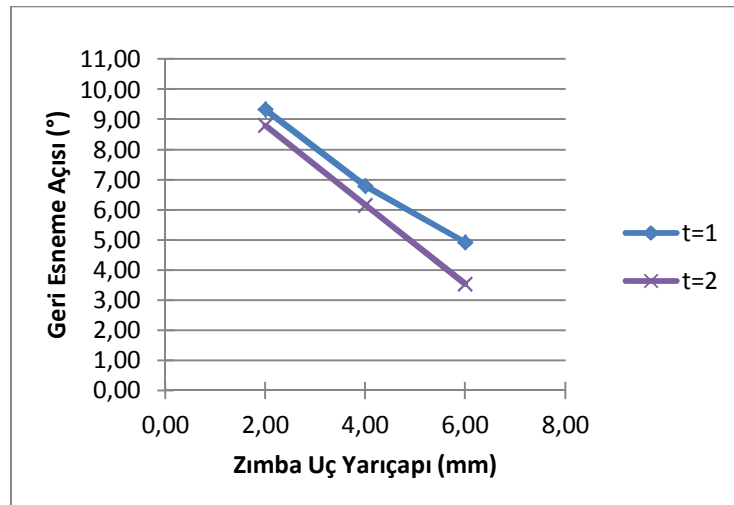


Şekil 6.17. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.

Çizelge 6.18’de 120° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.18’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de SEY uygulanarak şekillendirilen AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deney numunelerinin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; numunelerin zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Sac kalınlığı arttıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3,54°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (9,33°) geri esmiştir.

Çizelge 6.18. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme için zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY’in değerleri.

Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrise Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	Numune Parça (Derece)	Geri Esneme (Derece)
1	2	1	20	129,33	9,33
	4	1	20	126,79	6,79
	6	1	20	124,92	4,92
2	2	2	20	128,80	8,80
	4	2	20	126,15	6,15
	6	2	20	123,54	3,54



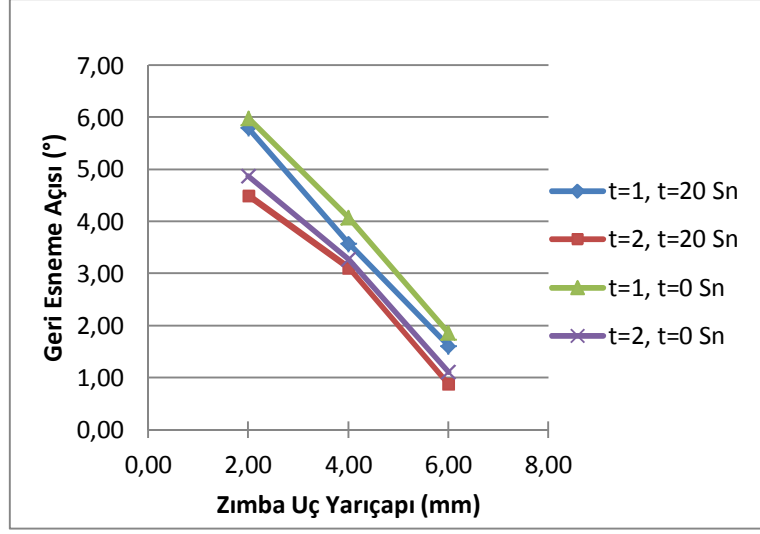
Şekil 6.18. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY’in geri esneme açıları.



### **6.3. DENEYSEL YÖNTEMİN (DY) ZIMBANIN MATRİS ÜZERİNDE BEKLEME SÜRESİNE GÖRE GERİ ESNEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

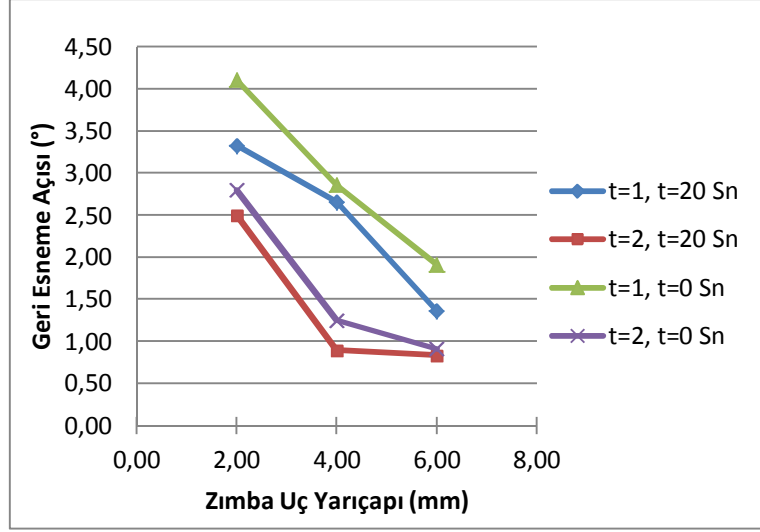
Numunelerin şekillendirilmesinde birinci yöntemde zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmış ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiştir. Aynı zamanda zımba kalıp üzerinde 20 sn bekletildikten sonra yük geri alınmıştır. İkinci yöntemde ise zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmış ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiş, zımbanın kalıp üzerinde sadece basma süresi kadar bekletilmesiyle yük geri alınmıştır.

Çizelge 6.19’da 60° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.19’daki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de deneysel yöntem uygulanarak şekillendirilen AA 4754-O sac malzemelerin 60° V bükme deney numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numunelerin her ikisinde de zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile bükülen numunelerin geri esneme açıları, zımbanın matris üzerinde hiç beklemeden (sadece basma süresi kadar beklemesi) ile bükülen numunelerin geri esneme açılarından daha az esnediği görülmektedir. Numuneler incelendiğinde en az geri esneme kalınlığı 2 mm, zımba uç yarıçapı 6 mm olan ve zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile şekillendirilen numune (0,88°) geri esnemiş, en fazla geri esneme ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan, zımbanın matris üzerinde sadece basma süresi kadar beklemesi ile şekillendirilen numune (5,99°) olarak geri esnemiştir.



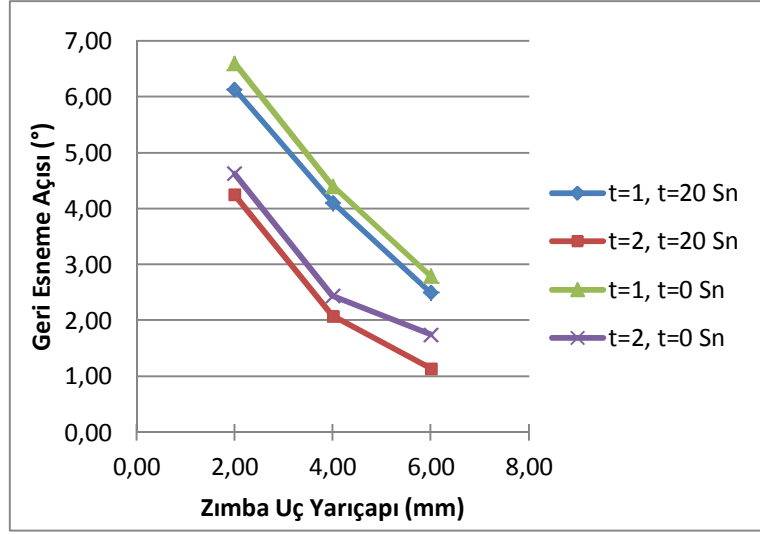
Şekil 6.19. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.20’de 90° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.20’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de deneysel yöntem uygulanarak şekillendirilen AA 4754-O sac malzemelerin 90° V bükme deney numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numunelerin her ikisinde de zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile bükülen numunelerin geri esneme açıları, zımbanın matris üzerinde hiç beklemeden (sadece basma süresi kadar beklemesi) ile bükülen numunelerin geri esneme açıları daha az esnediği görülmektedir. Numuneler incelendiğinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olup zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile şekillendirilen numune (0,83°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olup zımbanın matris üzerinde sadece basma süresi kadar beklemesi ile şekillendirilen numune (4,11°) geri esmiştir.



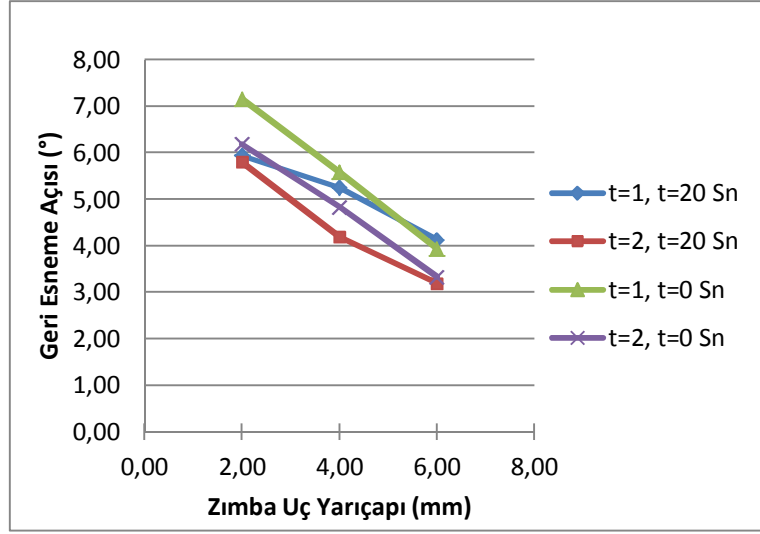
Şekil 6.20. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.21’de 120° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.21’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de deneysel yöntem uygulanarak şekillendirilen AA 4754-O sac malzemelerin 120° V bükme deney numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numunelerin her ikisinde de zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile bükülen numunelerin geri esneme açıları, zımbanın matris üzerinde hiç beklemeden (sadece basma süresi kadar beklemesi) ile bükülen numunelerin geri esneme açılarında daha az esnediği görülmektedir. Numuneler incelendiğinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olup zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile şekillendirilen numune (1,14°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olup zımbanın matris üzerinde sadece basma süresi kadar beklemesi ile şekillendirilen numune (6,61°) geri esmiştir.



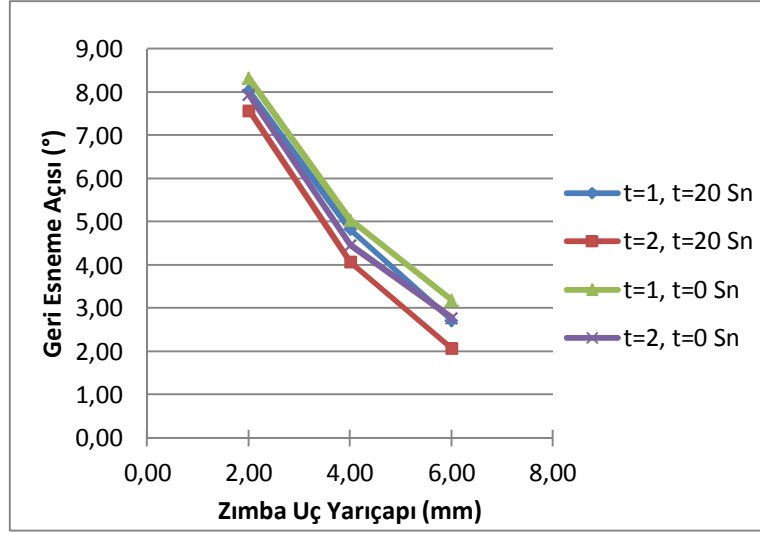
Şekil 6.21. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.22’de 60° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.22’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de deneysel yöntem uygulanarak şekillendirilen AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deney numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numunelerin her ikisinde de zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile bükülen numunelerin geri esneme açıları, zımbanın matris üzerinde hiç beklemeden (sadece basma süresi kadar beklemesi) ile bükülen numunelerin geri esneme açılarında daha az esnediği görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3,19°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (7,16°) geri esmiştir.



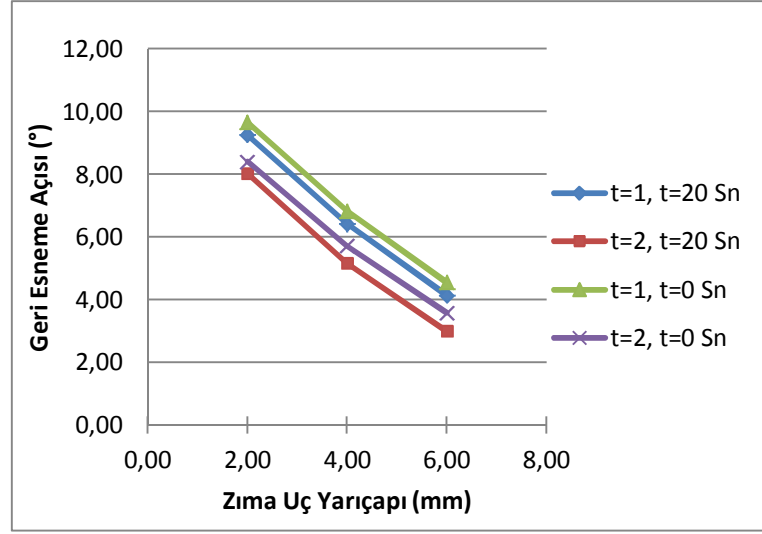
Şekil 6.22. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.23’de 90° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.23’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de deneysel yöntem uygulanarak şekillendirilen AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deney numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numunelerin her ikisinde de zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile bükülen numunelerin geri esneme açıları, zımbanın matris üzerinde hiç beklemeden (sadece basma süresi kadar beklemesi) ile bükülen numunelerin geri esneme açılarında daha az esnediği görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (2,08°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (8,33°) geri esnemiştir.



Şekil 6.23. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.24'te 120° V bükme için zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.24'teki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de deneysel yöntem uygulanarak şekillendirilen AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deney numunelerinin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numunelerin her ikisinde de zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile bükülen numunelerin geri esneme açıları, zımbanın matris üzerinde hiç beklemeden (sadece basma süresi kadar beklemesi) ile bükülen numunelerin geri esneme açıları daha az esnediği görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (9,66°) geri esnemiştir.

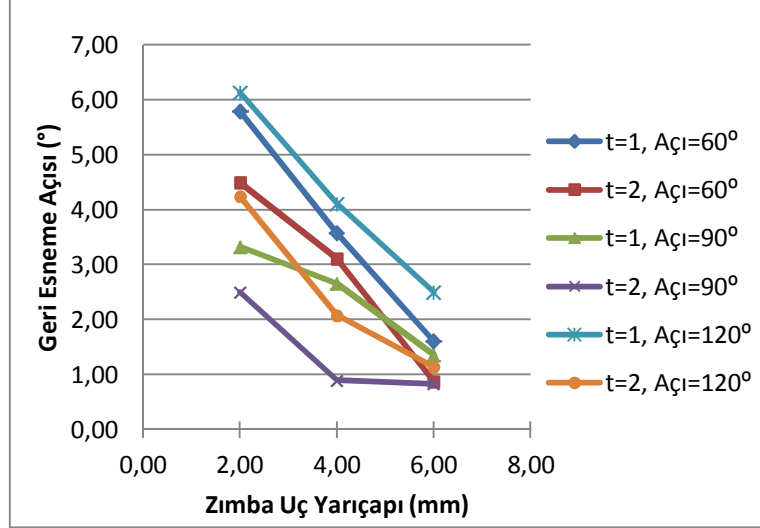


Şekil 6.24. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.

#### 6.4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR UYGULANARAK 60°, 90° VE 120° BÜKÜLEN NUMUNELERİN GERİ ESNEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çizelge 6.25’de zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile farklı V bükme açılara göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.25’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de DY uygulanarak şekillendirilen AA 5754-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deney numunelerinin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm kalınlığındaki numunelerde bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açıları bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu, bükme açısı 60° olan numunelerin de geri esneme açıları bükme açısı 120° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir. 2 mm kalınlığındaki numunelerde bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açıları bükme açısı 120° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu, bükme açısı 120° olan numunelerin zımba uç yarıçapları 2 mm ve 4 mm olanlarının geri esneme açıları bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen bükme açısı 90° olup 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune

(0,83°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise bükme açısı 120° olup 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (6,14°) geri esmiştir.

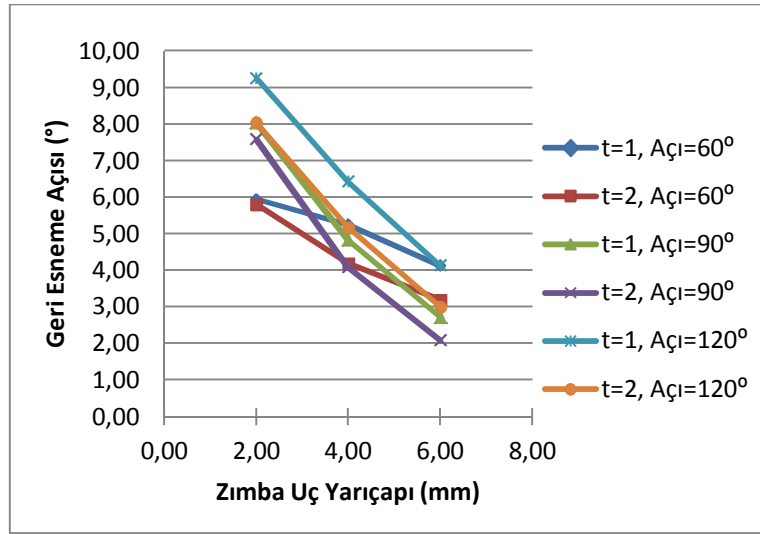


Şekil 6.25. AA 5754-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Çizelge 6.26'da zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile farklı V bükme açılarına göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.26'daki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de DY uygulanarak şekillendirilen AL 1050-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deney numunelerinin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm kalınlığındaki numunelerde bükme açısı 90° olan numunelerin zımba uç yarıçapı 4 mm ve 6 mm olanlarının geri esneme açıları bükme açısı 60° olan numunelerin zımba uç yarıçapı 4 mm ve 6 mm olanlarının geri esneme açılarından daha az olduğu, bükme açısı 60° olan numunelerin zımba uç yarıçapı 2 mm ve 4 mm olanlarının geri esneme açıları bükme açısı 120° olan numunelerin zımba uç yarıçapı 2 mm ve 4 mm olanlarının geri esneme açılarından daha az geri esmediği, her iki bükme açısı için de zımba uç yarıçapı 6 mm olanlarının geri esneme açılarının eşit olduğu görülmektedir. 2 mm kalınlığındaki numunelerde bükme açısı 90° olan numunelerin zımba uç yarıçapı 4 mm ve 6 mm olanlarının geri esneme açıları bükme açısı 60° olan numunelerin zımba uç yarıçapı 4 mm ve 6 mm olanlarının geri esneme açılarından daha az olduğu, bükme açısı 60° olan



numunelerin zımba uç yarıçapı 2 mm ve 4 mm olanlarının geri esneme açıları bükme açısı 120° olan numunelerin zımba uç yarıçapı 2 mm ve 4 mm olanlarının geri esneme açılarından daha az geri esmediği görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen bükme açısı 90° olup 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (2,08°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise bükme açısı 120° olup 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (9,25°) geri esmiştir.

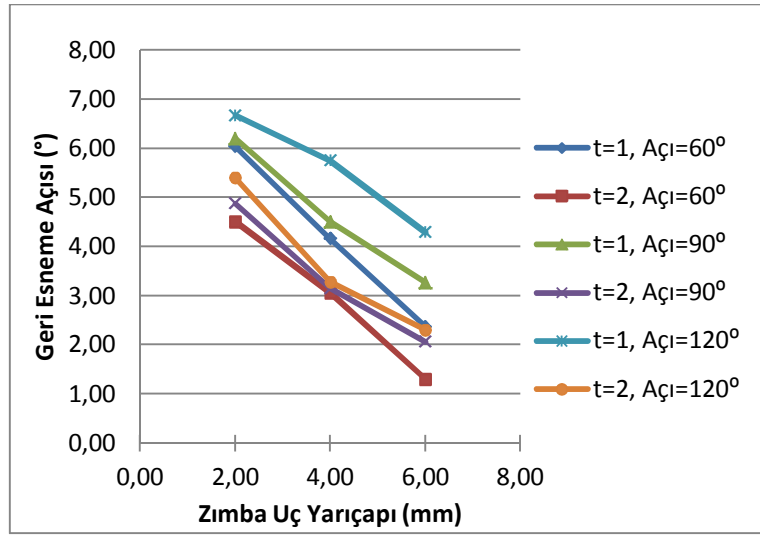


Şekil 6.26. AL 1050-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.

#### 6.5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (SEY) UYGULANARAK 60°, 90° VE 120° BÜKÜLEN NUMUNELERİN GERİ ESNEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çizelge 6.27’de zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile farklı V bükme açlarına göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.27’deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de SEY uygulanarak şekillendirilen AA 5754-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deney numunelerinin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm kalınlığındaki numunelerde tüm zımba uç yarıçapları için bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açıları bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu, bükme açısı 90° olan

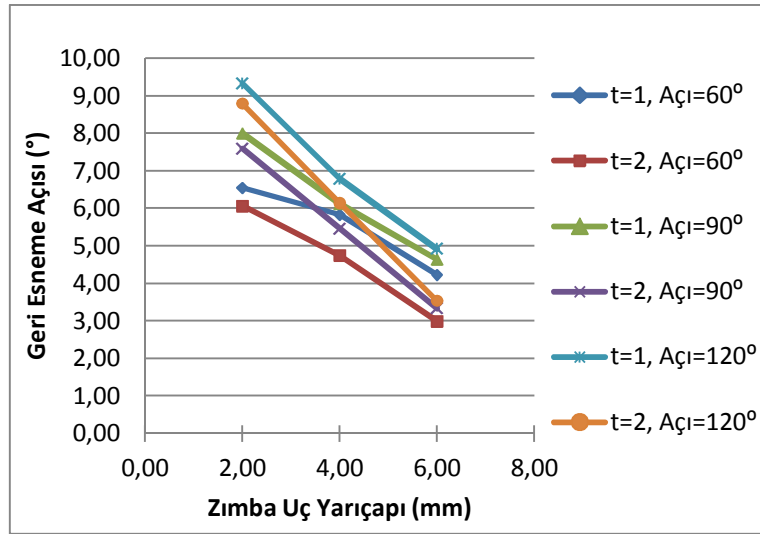
numunelerin de geri esneme açıları bükme açısı 120° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir. 2 mm kalınlığındaki numunelerde tüm zımba uç yarıçapları için bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açıları bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu, bükme açısı 90° olan numunelerin de geri esneme açıları bükme açısı 120° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen bükme açısı 60° olup 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (1,30°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise bükme açısı 120° olup 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (6,67°) geri esmiştir.



Şekil 6.27. AA 5754-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY'in geri esneme açıları.

Çizelge 6.28'de zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile farklı V bükme açılarına göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.28'deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de SEY uygulanarak şekillendirilen AL 1050-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deney numunelerinin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm kalınlığındaki numunelerde tüm zımba uç yarıçapları için bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açıları bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu, bükme açısı 90° olan numunelerin de geri esneme açıları bükme açısı 120° olan numunelerin geri esneme

açılarından daha az olduğu görülmektedir. 2 mm kalınlığındaki numunelerde tüm zımba uç yarıçapları için bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açıları bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu, bükme açısı 90° olan numunelerin de geri esneme açıları bükme açısı 120° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen bükme açısı 60° olup 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise bükme açısı 120° olup 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (9,33°) geri esnemiştir.

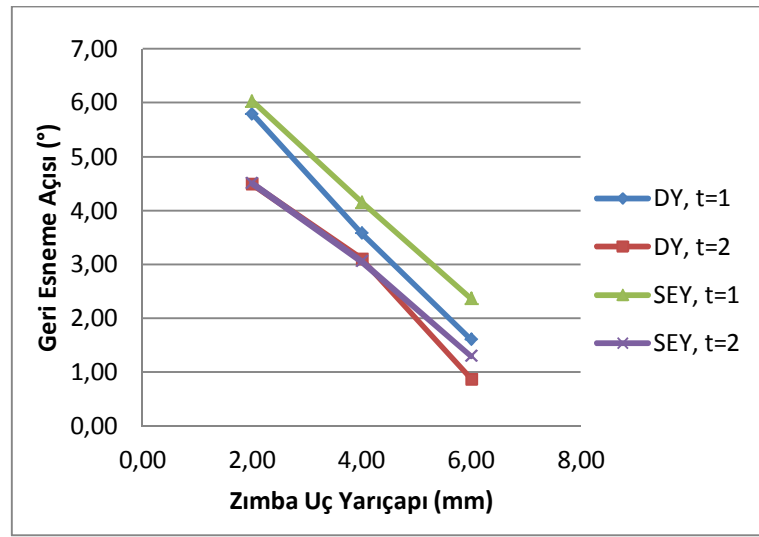


Şekil 6.28. AL 1050-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY’li geri esneme açıları.

## 6.6. DENEYSEL YÖNTEM (DY) İLE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (SEY) UYGULANARAK 60°, 90° VE 120° BÜKÜLEN NUMUNELERİN GERİ ESNEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çizelge 6.29’da zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile 60° V bükme deneyine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) ile (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.29’daki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde Sonlu Elemanlar yöntemi (SEY) uygulanarak şekillendirilen ve deneysel yöntem (DY) uygulanarak zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile şekillendirilen numunelerin zımba uç

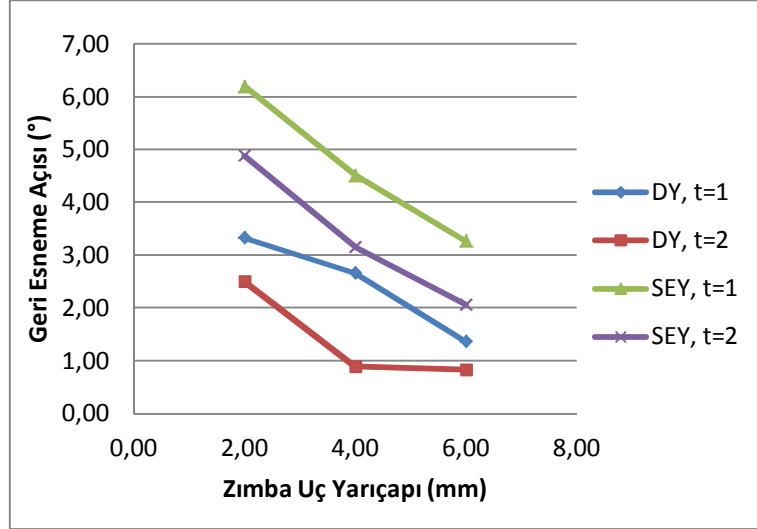
yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numuneler tüm zımba uç yarıçaplarında DY ile SEY'in geri esneme açılarının birbirlerine yakın olduğu, DY'nin sonuçlarının SEY sonuçlarından daha az esnediği tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen DY'nin 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune ( $0,88^\circ$ ) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise SEY'in 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune ( $6,04^\circ$ ) geri esnemiştir.



Şekil 6.29. AA 5754-O sac malzemelerin  $60^\circ$  V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.

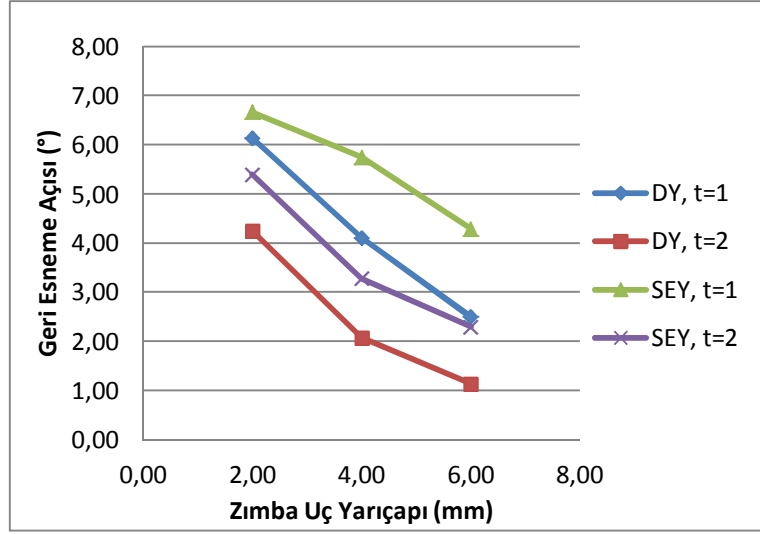
Çizelge 6.30'da zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile  $90^\circ$  V bükme deneyine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) ile (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.30'daki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de AA 5754-O sac malzemelerin  $90^\circ$  V bükme deneyinde Sonlu Elementler yöntemi (SEY) uygulanarak şekillendirilen ve deneysel yöntem (DY) uygulanarak zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile şekillendirilen numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numuneler tüm zımba uç yarıçaplarında DY ile SEY'in geri esneme açılarının birbirlerine yakın olduğu, DY'in sonuçlarının SEY sonuçlarından daha az esnediği tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen DY'nin 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune ( $0,83^\circ$ ) geri esnemekteyken, en

fazla geri esneyen ise SEY'in 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune ( $6,20^\circ$ ) geri esnemıştır.



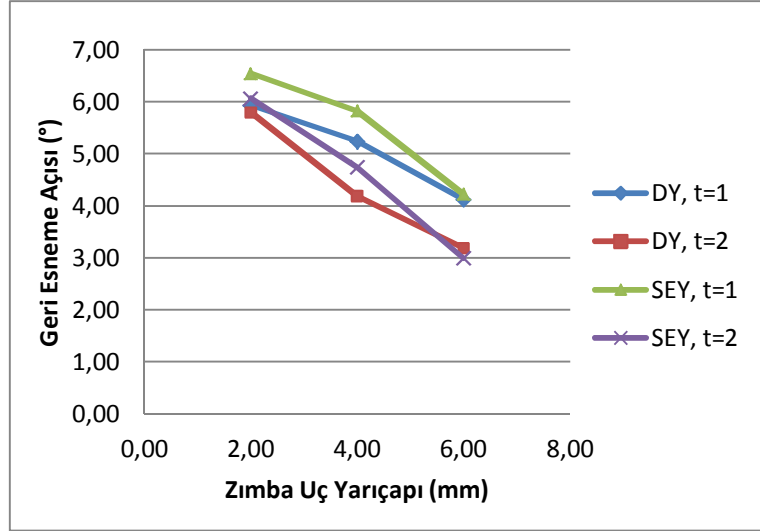
Şekil 6.30. AA 5754-O sac malzemelerin  $90^\circ$  V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.

Çizelge 6.31'de zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile  $120^\circ$  V bükme deneyine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) ile (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.31'deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de AA 5754-O sac malzemelerin  $120^\circ$  V bükme deneyinde Sonlu Elemenlar yöntemi (SEY) uygulanarak şekillendirilen ve deneysel yöntem (DY) uygulanarak zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile şekillendirilen numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numuneler tüm zımba uç yarıçaplarında DY ile SEY'in geri esneme açılarının birbirlerine yakın olduğu, DY'in sonuçlarının SEY sonuçlarından daha az esnediği tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen DY'nin 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune ( $1,14^\circ$ ) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise SEY'in 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune ( $6,67^\circ$ ) geri esnemıştır.



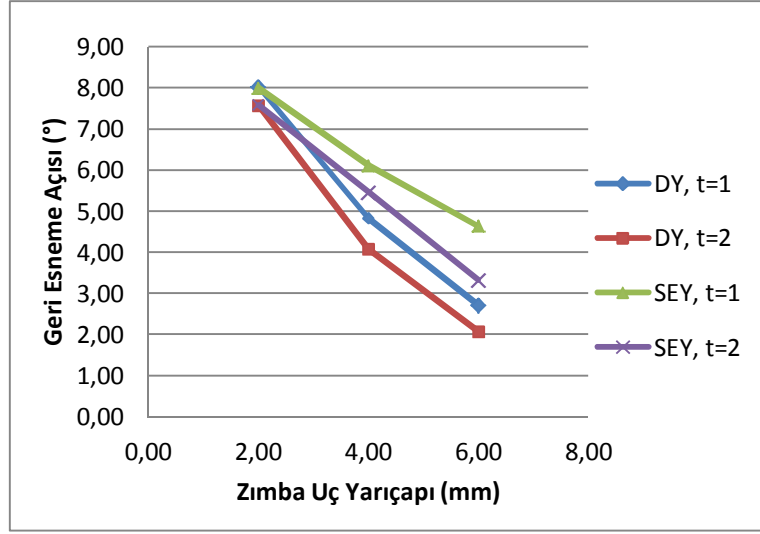
Şekil 6.31. AA 5754-O sac malzemelerin  $120^\circ$  V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.

Çizelge 6.32'de zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile  $60^\circ$  V bükme deneyine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) ile (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.32'deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de AL 1050-O sac malzemelerin  $60^\circ$  V bükme deneyinde Sonlu Elemanlar yöntemi (SEY) uygulanarak şekillendirilen ve deneysel yöntem (DY) uygulanarak zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile şekillendirilen numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numuneler tüm zımba uç yarıçaplarında DY ile SEY'in geri esneme açılarının birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. 2 mm kalınlığında DY'in sonuçlarının zımba uç yarıçapı 2 mm ve 4 mm olanlarının SEY'in zımba uç yarıçapı 2 mm ve 4 mm olanlarına göre daha az esnediği tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen SEY'nin 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune ( $3^\circ$ ) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise SEY'in 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune ( $6,55^\circ$ ) geri esnemiştir.



Şekil 6.32. AL 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.

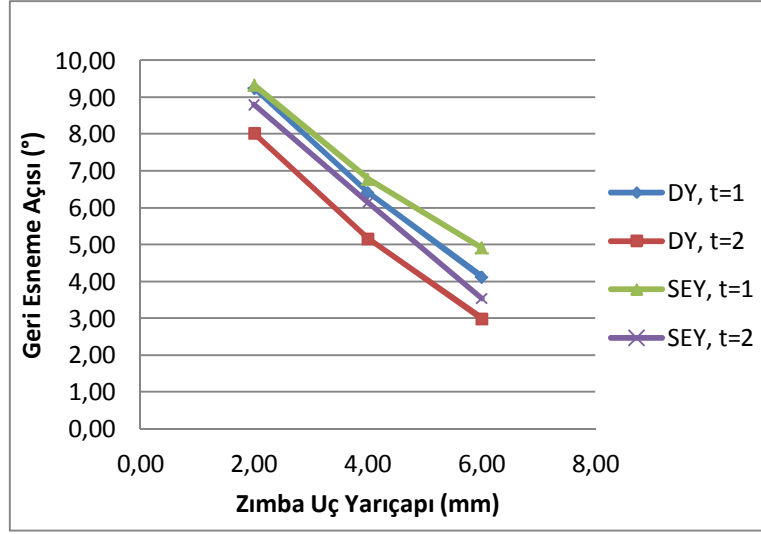
Çizelge 6.33'de zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile 90° V bükme deneyine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) ile (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.33'deki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde Sonlu Elemanlar yöntemi (SEY) uygulanarak şekillendirilen ve deneysel yöntem (DY) uygulanarak zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile şekillendirilen numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numuneler tüm zımba uç yarıçaplarında DY ile SEY'in geri esneme açılarının birbirlerine yakın olduğu, DY'in sonuçlarının SEY sonuçlarından daha az esnediği tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen DY'nin 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (2,08°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise SEY'in 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (8°) geri esnemiştir.



Şekil 6.33. AL 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.

Çizelge 6.34'te zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile 120° V bükme deneyine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen (SEY) ile (DY) değerleri görülmektedir. Bu değerler Şekil 6.34'teki grafikte her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde Sonlu Elemanlar yöntemi (SEY) uygulanarak şekillendirilen ve deneysel yöntem (DY) uygulanarak zımbanın matris üzerinde 20 sn beklemesi ile şekillendirilen numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numuneler tüm zımba uç yarıçaplarında DY ile SEY'in geri esneme açılarının birbirlerine yakın olduğu, DY'in sonuçlarının SEY sonuçlarından daha az esnediği tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en az geri esneyen SEY'nin 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numune (3°) geri esnemekteyken, en fazla geri esneyen ise SEY'in 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numune (9,33°) geri esnemıştır.





Şekil 6.34. AL 1050-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 sn matris üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.

## BÖLÜM 7

### TARTIŞMALAR

#### 7.1. SAC KALINLIĞININ GERİ ESNEMEYE ETKİLERİ

AA 5754-O ve AL 1050-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° bükme açılarında 2 mm, 4 mm ve 6 mm zımba kavis yarıçaplarının her birinde sac kalınlığı artıkça geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Deneyler içerisinde en az geri esneme her iki malzeme içinde, 2 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 6 mm olan numunelerdir, en fazla geri esneme ise her iki malzeme içinde 1 mm kalınlığındaki zımba uç yarıçapı 2 mm olan numunedir. Sac kalınlığıyla alakalı çalışmalar incelendiğinde, Tekaslan vd.'lerinin yapmış oldukları çalışmalarda da sac kalınlığının artmasıyla geri esnemenin azaldığı bulgusuna ulaşılmış olup elde edilen sonuçları desteklemektedir. [11,12,15,16,45].

AA 5754-O ve AL 1050-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° bükme açılarında 1 mm ve 2mm kalınlığındaki numunelerin her ikisinde de zımba kavis yarıçaplarının artmasıyla geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Zımba kavis yarıçapları ile alakalı çalışmalar incelendiğinde, Yenice'nin [3]. yapmış olduğu çalışmada da zımba kavis yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı bulgusuna ulaşılmıştır. Zımba uç yarıçapı arttırılarak geri esmenin daha da azaltılabileceği düşünülmektedir.

AA 5754-O ve AL 1050-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° bükme açılarında 1 mm ve 2mm kalınlığındaki numunelerin her ikisinde de zımbanın kalıp üzerinde yüklü bekleme süresinin geri esnemeyi azalttığı tespit edilmiştir. Zımbanın kalıp üzerinde yüklü bekleme süresi ile alakalı çalışmalar incelendiğinde Tekaslan vd.'lerinin yapmış oldukları çalışmalarda da aynı bulgulara ulaşılmıştır [11,12,15,16,45]

## **7.2. DY İLE SEY'İN GERİ ESNEMEYE ETKİLERİ**

60° bükme açısı için çalışmada kullanılan her iki malzemenin 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numuneleri incelendiğinde DY ile SEY'in sonuçlarının kabul edilebilir yakınlıkta olduğu tespit edilmiştir.

90° bükme açısı için çalışmada kullanılan her iki malzemenin 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numuneleri incelendiğinde DY ile SEY'in sonuçlarının kabul edilebilir yakınlıkta olduğu tespit edilmiştir.

120° bükme açısı için çalışmada kullanılan her iki malzemenin 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numuneleri incelendiğinde DY ile SEY'in sonuçlarının kabul edilebilir yakınlıkta olduğu tespit edilmiştir.

Farklı bükme açılarına göre DY ve SEY ile alakalı çalışmalar incelendiğinde Toros vd.'nin [41] AA 5754-O kullanarak yapmış oldukları çalışmalardan elde edilen bulgularda da simülasyon sonuçlarının deney sonuçlarına göre kabul edilebilir yakınlıkta olduğu görülmüştür.

## **7.3. FARKLI BÜKME YÖNTEMLERİNİN GERİ ESNEMEYE ETKİLERİ**

AA 5754-O ve AL 1050-O malzemelerin her ikisi içinde üçüncü ve dördüncü deney yöntemlerinin geri esnemeyi tespit etmede uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Bu yöntemlerde zımba ile kalıp arasında boşluk bırakılmamış ve zımba kalıbın sonuna kadar ilerletilmiştir. Arada kalan sac ezilmiş ve geri esnemenin hassasiyetini etkilemiştir. Tekaslan vd.'nin yapmış oldukları çalışmalarda da sac malzeme kalınlığının ihmal edildiği deneylerde düzgün bir dağılım görülemediğinden dolayı veriler çalışmaya dahil edilmemiştir [11,12,15,16,45].

## **7.4. HADDE YÖNÜNÜN GÖRE GERİ ESNEMEYE ETKİLERİ**

Bükülen sacın hadde yönüne göre malzemeler ele alındığında AA 5754-O için en az geri esneme hadde yönü 0°'de bükülen numunelerde elde edilmiştir. En fazla geri

esneme  $90^{\circ}$ 'de bükülen numunelerde meydana gelmiştir. AL 1050-O malzemesi için en az geri esneme hadde yönü  $0^{\circ}$ 'de bükülen numunelerde elde edilmiştir. En fazla geri esneme  $90^{\circ}$ 'de bükülen numunelerde meydana gelmiştir. Buradan hadde yönünün geri esnemedede önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

## BÖLÜM 8

### GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada, ebatları 25x100 mm olan 1 mm ve 2 mm kalınlığında AA 5754-O ve AL 1050-O olmak üzere iki farklı sac malzeme 60°, 90° ve 120°'lik V şekilli kalıplar kullanılarak bükme işlemine tabi tutulmuştur. Zımba uç yarıçapları 2 mm, 4 mm ve 6 mm olarak belirlenmiştir. Sac malzemeler hadde yönü 0°, 45° ve 90° olacak şekilde hazırlanmıştır. Bükme işlemi sırasında zımbanın matrise yaklaşma mesafesi ve zımbanın matris üzerinde bekleme süresine göre şekillendirme işlemi yapılmıştır.

Bu bağlamda elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir;

AA 5754-O ve AL 1050-O malzemeleri ile 60°, 90° ve 120°'de yapılan V bükme deney sonuçlarına göre, geri esnemenin malzeme, zımba-kalıp, numune sacın hadde yönüne, zımbanın matrise yaklaşma mesafesine ve zımbanın şekillendirilen sacın üzerinde bekletilme süresine bağlı olarak değiştiği bir kez daha desteklenmiştir.

Her iki malzeme ile yapılan V bükme deneylerinden elde edilen veriler incelendiğinde sac malzeme kalınlığının artmasının geri esnemeyi azalttığı tespit edilmiştir.

V bükmede zımbanın kalıp üzerinde yüklü bekleme süresinin geri esnemeyi azalttığı gözlemlenmiştir. Şekillendirme sırasında zımbanın kalıp üzerinde bekletilme süresi arttırıldığında geri esnemenin daha da azalacağı sonucuna varılmıştır.

Her iki malzeme ile yapılan çalışmalarda elde edilen veriler incelendiğinde sac malzemenin hadde yönünün geri esnemedede etkili olduğu gözlemlenmiştir.

V bükmede zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Zımba uç yarıçapı arttırılarak geri esmenin daha da azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

AA 5754-O ve AL 1050-O malzemelerin her ikisi içinde birinci ve ikinci yöntemlerinin geri esnemeyi tespit etmede uygun olduğu gözlemlenmiştir. Bu yöntemlerde zımba ile kalıp arasında numune sacın kalınlığı kadar boşluk bırakılmış ve zımbanın baskısı ile sacın ezilmesi önlenmiştir.

DeneySEL Yöntem (DY) ile Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)'in sonuçlarının kabul edilebilir yakınlıkta olduğu gözlemlenmiştir.

AA 5754-O ve AL 1050-O malzemelerin her ikisi içinde üçüncü ve dördüncü yöntemlerin geri esnemeyi tespit etmede uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Bu yöntemlerde zımba ile kalıp arasında boşluk bırakılmamış ve zımba kalıbın sonuna kadar ilerletilmiştir. Arada kalan sac ezilmiş ve geri esnemenin hassasiyetini etkilemiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda bu malzemeler için zımba kavis yarıçapları değiştirilerek geri esnemeyi en aza indiren ideal zımba kavis yarıçapı elde edilebilir.

Zımbanın kalıp üzerinde farklı yüklü bekleme süreleri denenerek en az geri esnemeyi veren yüklü bekleme süresi araştırılabilir.

Farklı kalıp açıları kullanılarak bu malzemeler için geri esneme açıları tespit edilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Li, K. P., Carden, W. P. and Wagoner, R. H., "Simulation of springback" *Int. Jnl. of Mech. Sci.*, 23 (3): 103-122 (2002).
2. Carden, W. D., Geng, L. M., Matlock, D. K. and Wagoner, R. H., "Measurement of springback" *Int. Jnl. of Mech. Sci.*, 44 (1): 79-101 (2002).
3. Yenice, M. M., "Bükme ile şekillendirilen saclarda geri yaylanma davranışının incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 20-27 (2006).
4. Gau, J. T. and Kinzel, G. L., "An experimental investigation of the influence of the baushinger effect on springback predictions", *J. Mater. Process. Technol.*, 108 (3): 369-375 (2001).
5. De, V. L. J., Streppel, A. H., Singh, U. P., and Kals, H. J. J., "A process model for air bending" *J. Mater. Process. Technol.*, 57 (1-2): 48-54 (1996).
6. Kalpakjian, S., "Manufacturing Engineering and Technology" *Prentice Hall Yay.*, USA, 12: 60-80 (2000).
7. Ostergaart, D. E., "Basic Die Making", *New Chapter Recycling Inc.*, USA, 1: 38-86 (2009).
8. Tan, Z., Persson, B. And Magnusson, C., "Empiric model for controlling springback in v-die bending of sheet metals" *Journal of Materials Processing Technology*, Sweden, 34 (1-4): 449-455 (1992).
9. Gan, W. and Wagoner, R. H., "Die design method for sheet springback" *International Journal of Mechanical Sciences*, 46 (1-7): 1097-1113 (2004).
10. Tseng, A. A., Chen, T. C., Jen, K. P., Kondetimmamhalli, R. and Murty, Y. V., "Forming properties and springback evaluation of copper beryllium sheets" *Metallurgical and Materials Transactions A. Physical Metallurgy And Materials Science*, USA, 26 (8): 2111-2121 (1995).
11. Tekaslan, Ö., Şeker, U. ve Özdemir, A., "Determining springback amount of steel sheet metal has 0,5 mm thickness in bending dies", *Materials and Desing*, 27 (3): 251-258 (2006).
12. Tekaslan, Ö., Şeker, U. ve Özdemir, A., "Determination of spring-back of stainless steel sheet metal in "V" bending dies" *Materials and Desing*, 29 (5): 1043-1050 (2008).

13. Yuan, W. Y. D., "Generalized solution for the prediction of springback in laminated strip" *Journal of Materials Processing Technology*, Port Kembla, 61 (3): 254-264, (1996).
14. Lo, S. W., Wu, Y. H., Yue, T. D., Xue. and F. Y., "On the proprieties of springback theories for commercial and experimental stamping products", *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers*, Taiwan, 17 (4): 397-404 (1996).
15. Tekaslan, Ö. ve Şeker, U., "Pirinç sac malzemelerin geri esneme miktarlarının tespiti", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 5: 13-15 (2009).
16. Tekaslan, Ö., Nedim, G. ve Şeker, U., "V bükme kalıplarında bakır sac malzemelerin geri esneme miktarlarının tespiti", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Ankara, 23 (1): 231-238 (2008).
17. Thanki, S. J., Raval, H. K. and Dave, A. K., "Prediction of the punch reversal position under v-plate bending using real material (power-law) behavior" *J. Mater. Process. Technol.*, 114 (3): 227-232 (2001).
18. Forcellese, L., Fratini, F. and Gabrielli, F. M., "Computer aided engineering of the sheet bending process" *J. Mater. Process. Technol.*, 60 (1-4): 225-232 (1996).
19. Tseng, A. A., Chen, T. C., Jen, K. P. and Ochiai, T., "Forming and fractographical characteristics of copper-nickel-beryllium sheets under tension and bending" *Journal of Materials Engineering and Performance*, USA, 3 (5): 619-634 (1994).
20. Shu, J. and Hung, C., "Finite element analysis and optimization of springback reduction: the double-bend technique" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Taiwan, 36 (4): 423-434 (1996).
21. Pourboghraat, F. and Chu, E., "Prediction of spring-back and side-wall curl in 2-d draw bending" *Journal of Materials Processing Technology*, 50 (4): 361-374 (1995).
22. Zhang, Z. T. and Lee, D., "Development of a new model for plane strain bending and springback analysis" *Journal of Materials Engineering and Performance*, USA, 4 (3): 291-300 (1995).
23. Narasimhan, N. and Lovell, M., "Predicting springback in sheet metal forming: an explicit to implicit sequential solution procedure", *Finite Elements in Analysis and Design*, 33 (1): 29-42 (1999).



24. Li, X., Yang, Y., Wang, Y., Bao, J. and Li, S., "Effect of the material-hardening mode on the springback simulation accuracy of v-free bending" *Journal of Materials Processing Technology*, 123 (2): 209-211 (2002).
25. Arslan, B., "Geri esnemenin sac parçaların biçim tamlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi uygulamaları ile değerlendirilmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 45-55 (2003).
26. Sriram, S., Jothi, N., Kumar, N. L. L. N. and Venugopal, P., "V-bending studies on sintered copper powder metallurgical preform sheets" *Journal of Materials Processing Technology*, 70 (1-3): 156-162 (1997).
27. Naka, T. and Yoshida, F., "Deep drawability of type 5083 aluminium-magnesium alloy sheet under various conditions of temperature and forming speed" *J. Mater. Process Technol.*, 88 (3): 19-23 (1999).
28. Mildenberger, U. and Khare, A., "Planning for an environment-friendly car" *Technovation*, 20 (4): 205- 214 (2000).
29. Iwata, N., Tutamori, H., Suzuki, N. and Murata, A., "Numerical prediction of springback behavior of stamped metal sheets" *R and D Review of Toyota CRDL*, 39 (2): 57-64 (2004).
30. Esat, V., Darendeliler, H. ve Gökler, I. M., "Finite element analysis of springback in bending of aluminium sheets" *Materials and Design*, 23 (2): 223-229 (2002).
31. Prior, A. M., "Applications of implicit and explicit finite element techniques to metal forming" *J. Mater. Process. Technol.*, 45 (1-4): 649-656 (1994).
32. Tekkaya, A. E., "State-of-the-art simulation of sheet metal forming" *J.Mater. Proces. Technol.*, 103 (1): 14-22 (2000).
33. Karafillis, A. P. and Boyce, M. C., "Tooling and binder design for sheet metal forming processes compensating springback error" *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 36 (4): 503-526 (1996).
34. Onate, E., Rojek, J. and Garino, C. G., "Numistamp: a research project for assessment of finite-element models for stamping processes", *J. Mater. Process. Technol.*, 50 (1-4): 17-38 (1995).
35. Finn, M. J., Galbraith, P. C., Wu, L., Hallquist, J. O., Lum, L. and Lin, T. L., "Use of coupled explicit-implicit solver for calculating springback in automotive body panels" *J. Mater. Process. Technol.*, 50 (1-4): 395-409 (1995).
36. Kim, S. H. and Huh, H., "Design sensitivity analysis of sheet metal forming processes with a direct differentiation method" *J. Mater. Process Technology*, 31 (1-4): 504-510 (2002).

37. Lee, S. W. and Yang, D. Y., “An assessment of numerical parameters influencing springback in explicit finite element analysis of sheet metal forming process” **J. Mater. Process Technol.**, 81 (3): 60-67 (1998).
38. Lin, Z., Liu, G., Xu, W. and Bao, Y., “Study on the effects of numerical parameters on the precision of springback prediction”, **Proc. of 6th Int. Ls-dyna Users Conference**, China, 235-287 (2000).
39. Li, G. Y., Tan, M. J. and Liew, K. M., “Springback analysis for sheet forming processes by explicit finite element method in conjunction with the orthogonal regression analysis” **I. Journal of Solid and Structures**, 36 (30): 4653-4668 (1999).
40. Chou, I. N. and Hung, C., “Finite element analysis and optimization on springback deuction” **I. Journal of Machine Tools and Manufactur**, 39 (3): 517-536 (1999).
41. Toros, S., Ece, E. R., Öztürk, F. ve Alkan, M., “5754-o al-mg alaşımında ön gerilmenin geri esnemeye etkisinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi” **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 6 (3): 1-9 (2009).
42. Marciniak, Z., Duncan, J. L. and Hu, S. J., “Mechanics of Sheet Metal Forming” **Butterworth-Heinemann**, England, 567-599 (2002).
43. Groover, M. P., “Fundamentals of Modern Manufacturing Shearing And Bending” **John Wiley and Sons**, USA, 17-20 (2007).
44. Tekiner, Z., “An experimental study on the examination of springback of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies” **Journal of Materials Processing Technology**, 45 (4): 109-117 (2004).
45. Tekaslan, Ö., Şeker, U. ve Gerger, N., “Bükme kalıplarında 0,75 mm kalınlığındaki çelik sac malzemenin geri esneme miktarlarının belirlenmesi”, **Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 13 (1): 15-22 (2007).
46. Erdir, S., “Profilli derin çekmede hata analizi ve alınabilecek önlemler” Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 70-77 (1995).
47. Alıcı, A., “Derin çekme saclarının deformasyon davranışının incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, 120-125 (2001).
48. Aşkar, E., “Hidrostatik basınçla al 5754 ve al 1050 saclarının küçük çapta şekillendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 34-39 (2010).

49. Yaşar, M., “Yüksek hızda şekillendirilen alüminyum alaşımlarında oluşan deformasyonun incelenmesi” Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 160-164 (2003).
50. Cerit, A. M., “Makine Mühendisliği El Kitabı” *Maya Matbaacılık Yayıncılık Ltd. Şti.*, Ankara, 458-489 (1976).
51. Güneş, A. T., “Pres İşleri Tekniği” *Erk Yayıncılık*, Ankara, 184-241 (1989).
52. Ataşımşek, S., “Plastik ve Metal Kalıpcılık Teknikleri” *Birsen Yayınları*, İstanbul, 111-119 (2002).
53. Çetin, H., “Alüminyum alaşımı hafif metal levhaların prizmatik derin çekmede biçimlendirilebilirlik özelliklerinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 57-68 (2005).
54. Göngül, A. ve Doğan, Y., “Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri” *Etibank Alüminyum Tesisleri Yayını*, Konya, 234-242 (1979).
55. Totten, E. G. and Mackenzie, D. S., “Handbook of Aluminium Volume 1 Physical Metallurgy And Processes” *Marcel Decker Inc*, USA, 12-15 (2003).
56. Oğuz, B., “Demir Dışı Metallerin Kaynağı Metalurjisi ve Uygulama” *Erdini Basımevi*, İstanbul, 90-98 (1990).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Ramazan ÖTÜ 1986 yılında Muş'ta doğdu; 1996 yılında İstanbul'a taşındı. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Sultanbeyli Gediktaş Lisesi Sayısal Bölümü'nden mezun oldu. 2005 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2009 yılında mezun oldu. Halen 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Mehmet Akif ERSOY Mahallesi Fatih Bulvarı Yusuf İSLAM Sokak  
No:30/5 Sultanbeyli/İSTANBUL  
Tel: (0505) 846 58 46 - (0536) 396 38 61  
E-posta: ramazanotu@hotmail.com