



**SIVI BASINCIYLA V BÜKME PROSESİNDE GERİ ESNEMENİN
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Yunus ASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2014

Yunus ASLAN tarafından hazırlanan “SIVI BASINCIYLA V BÜKME PROSESİNDE GERİ ESNEMENİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi MAKİNE EĞİTİMİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim KARAAĞAÇ
İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Prof. Dr. Ferhat GÜL
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Doç. Dr. Onuralp ULUER
İmalat Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 08 / 12 / 2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yunus ASLAN

08.12.2014

SIVI BASINCIYLA V BÜKME PROSESİNDE GERİ ESNEMENİN

DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Yunus ASLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2014

ÖZET

Bu tez çalışmasında, sıvı basıncıyla V bükme yöntemi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, imalat mühendisliği laboratuvarında bulunan sıvı basıncıyla şekillendirme test düzeneğinde, sıvı basıncıyla bükmeye uygun düzeltmeler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bükme esnasında ayarlanan bükme sıvı basıncı, basınç transdüseri ile hassas olarak ölçülmüş ve deney düzeneği elektronik olarak kontrol edilmiştir. Kalınlıkları 0,5 mm olan Alüminyum, Bakır ve Pirinç malzemeler deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Sac malzeme türü, bükme açısı, bükme sıvı basıncı ve ütüleme süresi parametrelerinin geri esmeye etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda, numunelerde zımba izleri, kalınlık incilmesi gibi şekillendirme kusurlarının oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bükme sıvı basıncı ve ütüleme süresindeki artışın geri esnemeyi azalttığı, bükme açısındaki ve malzeme sertliğindeki artışın da geri esnemeyi arttırdığı tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 708.3.028

Anahtar Kelimeler : Geri esneme, V bükme, Sıvı basıncıyla V bükme, Flexform

Sayfa Adedi : 76

Danışman : Yrd. Doç. Dr. İbrahim KARAAĞAÇ

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SPRINGBACK IN V HYDRO-
BENDING PROCESS

(Master's. Thesis)

Yunus ASLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2014

ABSTRACT

In this study, hydraulic V bending process were investigated experimentally. The study were carried out in hydroforming experimental setup. The bending pressure was measured accurately by hydraulic pressure transducer and the experimental setup was controlled as electronically during the experiments. Aluminium, Copper and Brass materials were used as experimental material. The effects of sheet material type, die angle, bending pressure and holding time on springback were experimentally investigated. The forming defects on formed parts weren't observed in experimental study. It was found that the increase of bending pressure and holding time have been decreased to springback and the increase of material stiffness and die angle have been increased to springback.

Science Code : 708.3.028

Key Words : Springback, V bending, Hydroforming, Flexform

Page Number : 76

Supervisor : Yrd. Doç. Dr. İbrahim KARAAĞAÇ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. İbrahim KARAAĞAÇ 'a teşekkür ederim. Tez çalışmamı, 07/2013-09 kod numaralı Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) ile destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında maddi manevi yardımlarından dolayı; KALIPSAN SAVUNMA HAVACILIK Firmasından Adnan KELEŞ, Ender KARACA ve Emrah YAŞAR'a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalışmalarım sırasında, manevi desteğini hiç esirgemeyen karşılaştığım problemleri çözmemde her zaman yol gösterici olan sevgili nişanlım Betül GENÇER 'e sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Yetişmemde sonsuz emekleri geçen anne ve babama, eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteğini hiç esirgemeyen Tuncay TUNÇ 'a şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Geri Esnemenin Tespiti ve Telafisine Yönelik Deneysel Çalışmalar	3
2.2. Geri Esneme İle İlgili Analitik Modelleme Ve Sonlu Elamanlarla Analiz Çalışmaları.....	13
3. KAVRAMSAL BİLGİLER VE KURAMSAL TEMELLER.....	19
3.1. Bükme Prosesi ve Bükme Prosesi Türleri	19
3.2. Geri Esneme ve Geri Esnemeyi Etkileyen Faktörler	21
4. MATERYAL METOT	23
4.1. Deney Düzeneği Tasarımı.....	23
4.2. Deney Düzeneği İmalatı ve Montajı	26
4.3. Deney Malzemelerinin Özellikleri	30
4.4. Deney Parametreleri.....	32
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	35
5.1. Alüminyum Malzeme Deney Sonuçları	35

	Sayfa
5.2. Bakır Malzeme Deney Sonuçları	47
5.3. Pirinç Malzeme Deney Sonuçları.....	59
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	76

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Numune malzeme ve boyut bilgileri	6
Çizelge 4.1. Alüminyum, Bakır ve Pirinç deney malzemesinin mekanik özellikleri	31
Çizelge 4.2. Deney parametreleri	32
Çizelge 5.1. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 10 MPa	36
Çizelge 5.2. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 11 MPa	37
Çizelge 5.3. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 12,1 MPa	38
Çizelge 5.4. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 13,3 MPa	39
Çizelge 5.5. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 14,6 MPa	40
Çizelge 5.6. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 15 Derece	41
Çizelge 5.7. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 30 Derece	42
Çizelge 5.8. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 45 Derece	43
Çizelge 5.9. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 60 Derece	44
Çizelge 5.10. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 75 Derece	45
Çizelge 5.11. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 90 Derece	46
Çizelge 5.12. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 10 MPa	48

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.13. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 11 MPa	49
Çizelge 5.14. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 12,1 MPa	50
Çizelge 5.15. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 13,3 MPa	51
Çizelge 5.16. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 14,6 MPa	52
Çizelge 5.17. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 15 Derece	53
Çizelge 5.18. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 30 Derece	54
Çizelge 5.19. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 45 Derece	55
Çizelge 5.20. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 60 Derece	56
Çizelge 5.21. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 75 Derece	57
Çizelge 5.22. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 90 Derece	58
Çizelge 5.23. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 10 MPa	60
Çizelge 5.24. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 11 MPa	61
Çizelge 5.25. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 12,1 MPa	62
Çizelge 5.26. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 13,3 MPa	63
Çizelge 5.27. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 14,6 MPa	64

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.28. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 15 Derece	65
Çizelge 5.29. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 30 Derece	66
Çizelge 5.30. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 45 Derece	67
Çizelge 5.31. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 60 Derece	68
Çizelge 5.32. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 75 Derece	69
Çizelge 5.33. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 90 Derece	70

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Geri esneme grafikleri	4
Şekil 2.2. CNC Servo pres ve V bükme kalıp detayı.....	6
Şekil 2.3. Lazer destekli bükme yöntemi.....	7
Şekil 2.4. Çok noktalı şekillendirme prosesi görüntüleri.....	8
Şekil 2.5. Matlab ön işlemci kullanıcı ara yüzü görüntüsü.....	9
Şekil 2.6. Test için kullanılan çeliklerin gerilme-gerinim eğrileri.....	10
Şekil 2.7. Geri esneme bölgesinin sıcaklığı ve geri esneme miktarı arasındaki ilişki	11
Şekil 2.8. Sıcaklığın bükme kuvvetine ve geri esnemeye etkisi, a-Farklı sıcaklıklarda kuvvet – zımba eğrileri, b- Geri esneme açısına sıcaklığın etkisi	12
Şekil 2.9. FE ile şekillendirilmiş parçanın esneme öncesi ve sonrası görüntüsü.....	14
Şekil 2.10. Baskı derinliğine göre geri esnemeye etki eden faktörler	16
Şekil 2.11. Farklı malzeme modellerinden elde edilen deney ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	17
Şekil 3.1. Bir çizgi boyunca bükülmüş şerit	19
Şekil 3.2. V kalıpta bükme yöntemi görüntüsü.....	20
Şekil 3.3. Klasik Abkant bükme ve şekillendirme kalıpları	20
Şekil 3.4. V bükme yöntemleri (a-Altta bükme, b- Serbest bükme).....	21
Şekil 3.5. Geri esnemenin şematik görüntüsü.....	22
Şekil 4.1. Deney düzeneği 3 boyutlu revizyonlu tasarım görüntüleri.....	24
Şekil 4.2. Sıvı basıncıyla şekillendirme yazılım ekran görüntüsü	25
Şekil 4.3. Basınçlı kalıp düzeneğinin kesit görüntüsü	26
Şekil 4.4. V bükme kalıpları teknik resim görüntüsü	29
Şekil 5.1. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 10 MPa	36

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 11 MPa	37
Şekil 5.3. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 12,1 MPa	38
Şekil 5.4. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 13,3 MPa	39
Şekil 5.5. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 14,6 MPa	40
Şekil 5.6. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 15 Derece	41
Şekil 5.7. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 30 Derece	42
Şekil 5.8. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 45 Derece	43
Şekil 5.9. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 60 Derece	44
Şekil 5.10. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 75 Derece	45
Şekil 5.11. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 90 Derece	46
Şekil 5.12. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 10 MPa	48
Şekil 5.13. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 11 MPa	49
Şekil 5.14. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 12,1 MPa	50
Şekil 5.15. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 13,3 MPa	51
Şekil 5.16. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 14,6 MPa	52
Şekil 5.17. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 15 Derece	53
Şekil 5.18. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 30 Derece	54
Şekil 5.19. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 45 Derece	55
Şekil 5.20. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 60 Derece	56
Şekil 5.21. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 75 Derece	57
Şekil 5.22. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 90 Derece	58
Şekil 5.23. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 10 MPa	60
Şekil 5.24. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 11 MPa	61
Şekil 5.25. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 12,1 MPa	62

Şekil	Sayfa
Şekil 5.26. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 13,3 MPa	63
Şekil 5.27. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 14,6 MPa	64
Şekil 5.28. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 15 Derece	65
Şekil 5.29. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 30 Derece	66
Şekil 5.30. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 45 Derece	67
Şekil 5.31. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 60 Derece	68
Şekil 5.32. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 75 Derece	69
Şekil 5.33. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 90 Derece	70

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Deneysel çalışma ortamının görüntüsü	24
Resim 4.2. Kalıp grubu görüntüsü.....	27
Resim 4.3. Kalıp grubu montaj görüntüsü	27
Resim 4.4. Deney düzeneği montaj görüntüsü.....	28
Resim 4.5. Üretimi yapılan basınçlı kalıp grubunun görüntüleri.....	29
Resim 4.6. Üretimi yapılan dişi kalıpların görüntüsü	30
Resim 4.7. Çekme deneyi numune görüntüleri a) Alüminyum sac, b) Bakır sac, c) Pirinç sac	31
Resim 4.8. Deney numunesi ölçüm görüntüleri a) Alüminyum, b) Bakır, c) Pirinç	32
Resim 4.9. CMM cihazının genel görüntüsü	33
Resim 5.1. Farklı bükme açılarında şekillendirilmiş alüminyum Malzeme görüntüsü.....	35
Resim 5.2. Farklı bükme açılarında şekillendirilmiş bakır malzeme görüntüsü.....	47
Resim 5.3. Farklı bükme açılarında şekillendirilmiş pirinç malzeme görüntüsü.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
m	Metre
s	Saniye
θ	Açı, derece
W	Kalıp açıklığı, mm
r	Yarıçap, mm
R	Dik anizotropik değeri
n	Pekleşme üsteli
t	Sac kalınlığı, mm
σ_b	Malzeme çekme mukavemeti, N/mm ²
Pv	Bükme kuvveti, N
B	Sac malzeme genişliği, mm
Kısaltmalar	Açıklamalar
AHSS	Yüksek gerilimli çelik
ANN	Yapay sinir ağları
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
CMM	Koordinat ölçüm cihazları
CNC	Bilgisayar sayımlı kontrol
DP	Çift fazlı çelik
FE	Sonlu elemanlarla simülasyon yöntemi

Kısaltmalar**Açıklamalar****GPa**

Giga Paskal

HRC

Rockwell sertlik birimi

HSLA

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı

kN

Kilo Newton

MPa

Mega Paskal

TRIP

Üç fazlı çelik

UG-NX

NX Tasarım programı

1. GİRİŞ

Sac metal ürünlerin büyük bir çoğunluğu, preslerde kalıplanarak şekillendirilmektedir. Bükme yöntemi ile şekillendirilen ürünler; başlıca otomotiv sektörü olmak üzere, savunma sanayi, gıda, enerji, medikal, inşaat, makine sanayi, elektrik elektronik, uzay ve havacılık sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu sektörlerde kullanılan sac metal parçalar yaygın olarak klasik bükme yöntemiyle şekillendirilmektedir. Bükülen parçalarda en önemli problemlerin başında geri esneme davranışlar gelmektedir. Yapılan araştırmalar ve deneysel çalışmalarda geri esneme probleminin yanı sıra çapak, zımba izi ve görsel bozukluklar gibi şekillendirme problemlerinin de ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bükme işleminin olumsuzluklarını ortadan kaldırmak için, araştırmacılar birçok farklı teknik kullanarak en ideal bükme yöntemini deneysel olarak ortaya koymaya çalışmışlardır.

Literatür incelemesinde, bükülen parçalardaki geri esneme problemi ortadan kaldırabilmek veya toleranslar içerisinde şekillendirme yapabilmek için deneysel parametre değişkenleri üzerinde yoğunlaşıldığı görülmüştür. Bir diğer problem ise, klasik bükmede ürün yüzeyinde kalıbın bir hat boyunca fiziki temas ve kuvvet uygulanması sonucunda biçimsel bozulmaların ve ölçü değişikliklerinin oluşmasıdır. Bu çalışmada V bükme yöntemi geri esneme davranışının sonucu oluşan açısallık değişimlerinin sınırları belirlenmiş yüzey kusurları ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Sıvı basıncı ile V bükme yönteminde hidrolik sistem vasıtasıyla şekillendirilecek parça üzerine uygulanacak olan basınçlı sıvı parçanın her alanına eşit miktarda kuvvet uygulayacağı için geri esneme problemi en aza indirilmeye çalışılacaktır. Bu yöntemde, parça üzerine temas eden sıvı her yerden eşit miktarda şekil vereceği için yüzey kusurları da önlenmeye çalışılacaktır.

Sıvı basıncıyla V bükme prosesinde geri esnemenin deneysel araştırılmasıyla ilgili literatür araştırmalarında, bilimsel araştırma ve deneysel çalışmaların çok sayıda yapılmamış olduğu tespit edilmiştir. Bu araştırma, endüstride kalıp ile bükülerek şekillendirilen parçaların istenilen ölçülerde ve kalitede şekillendirme problemi olmaksızın üretebilmesi için yapılan deneysel bir çalışmadır.

Klasik şekillendirme ile bükme yönteminde zımba sac metal parçaya çizgisel bir hat boyunca temas etmektedir. Sıvı basıncıyla bükme yönteminde ise bükmedeki sıvı basıncı

sac malzemeye yüzeysel olarak etki etmektedir. Bu nedenle, sıvı basıncı ile V bükme yöntemi için yüksek basınç değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek sıvı basıncı için gerekli olan hidrolik sistem ekipmanlarının yüksek maddi yatırımlar gerektirmesi ve hidrolik kontrol ekipmanlarının ülkemizde üretilmiyor olması deneysel çalışmanın en büyük sınırlılıkları olarak ortaya çıkmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Geri esneme; bükme işlemi sonucu malzeme içerisinde kalan, kalıntı gerilmeler nedeniyle oluşan bir şekil verme problemidir. Bu problem, ürünlerde ölçü ve görünüş bozukluklarına sebep olmaktadır. Bu problemini telafi edebilmek için literatürde çok sayıda deneysel ve sonlu elemanlarla analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu probleme etki eden parametrelerin kalıp tasarımı ve proses şartlarının tamamlanması esnasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu parametrelerin başında; malzeme türü ve özellikleri, kalıp ve proses parametreleri gelmektedir.

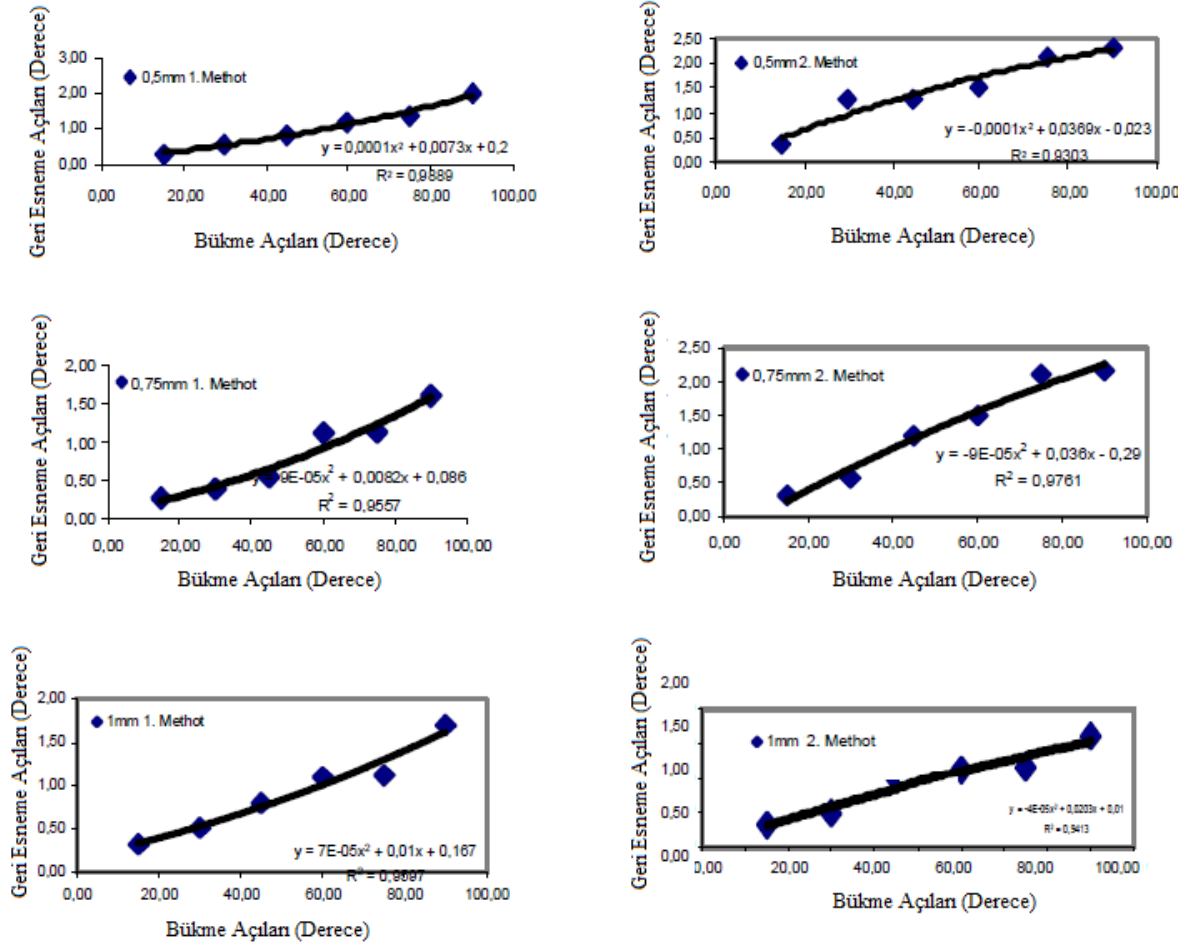
Sıvı basıncıyla V bükme yöntemi konusunda yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. V bükme konusunda yapılan çalışmalar, daha çok klasik kalıplama yöntemleri ile V bükme ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalarda dişi kalıp ve zımba ile şekillendirme, lazer yardımıyla ısıtılarak şekillendirme, CNC servo presler kullanılarak şekillendirme, gerdirerek bükme ile şekillendirme ve ılık şekillendirme yöntemlerinin kullanıldığı belirlenmiştir. V bükme yönteminde geri esnemenin tespitine yönelik çok sayıda sonlu elemanlarla analiz ve analitik modelleme yöntemleri kullanarak çalışmalar yapılmıştır.

2.1. Geri Esnemenin Tespiti Ve Telafisine Yönelik Deneysel Çalışmalar

Geri esnemenin tespitine ve telafisine yönelik, farklı yöntem ve farklı tür malzemelerin kullanıldığı çok sayıda deneysel çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu bölümde, yapılan bu çalışmalar derlenmiştir.

Tekaslan, Gerger ve Şeker, çalışmalarında bakır sac malzemedeki geri esneme miktarlarını tespit etmeye çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarında 4 farklı yöntem kullanılmışlardır. 1. Yöntemde zımba ile kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmiş ve bu sayede malzemenin bükme kesitinde ezilerek geri esnemeyi etkilemesi önlenmiş ve 20 s. ütüleme süresi kullanılmıştır. 2. Yöntemde kalıp ve zımba arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk bırakılmış ancak ütüleme süresi kullanılmamıştır. 3. Yöntemde zımba sac malzemeyi preslemiş ve 20 s. ütüleme süresi kullanılmıştır. 4. Yöntemde ise sac malzeme kalınlığı ihmal edilerek zımba ile kalıbın teması sağlanmış ve sac malzemenin üzerinde

zımba hiç bekletilmemiştir. Çalışma sonucunda, sac malzeme kalınlığının artması ile geri esneme miktarının arttığı ve yine aynı şekilde bükme açısının artması ile de geri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, ütüleme süresinin de geri esneme için önemli faktör olduğu ve ütüleme süresinin artması ile geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Deney sonucunda oluşan geri esneme grafikleri Şekil 2.1’da gösterilmiştir [1].



Şekil 2.1. Geri esneme grafikleri [1].

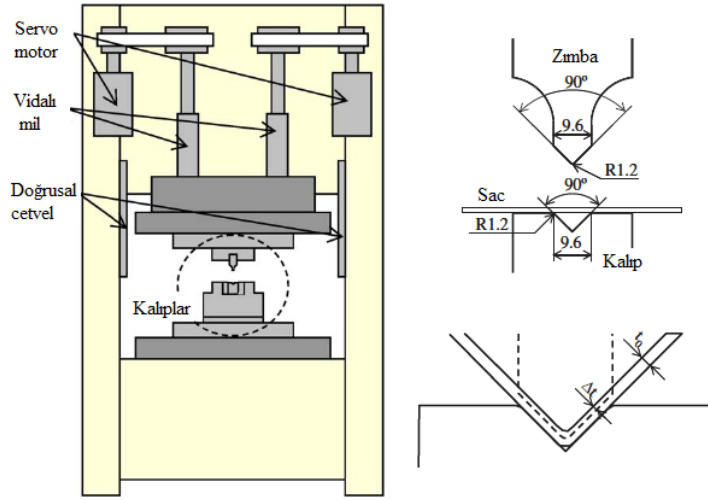
Tekaslan, Şeker ve Özdemir yaptıkları diğer bir çalışmada da; yine daha önce kullandıkları 4 yöntemi kullanarak, DKP çelik sac malzemenin 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 derece açılarında bükülmesi sonrası oluşan geri esneme miktarını belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında, geri esneme miktarının malzeme ve kalıp fonksiyonlarının her ikisine göre değiştiğini tespit etmişlerdir. Diğer bir yandan, ütüleme süresindeki artışın geri esneme değerini oransal olarak azalttığını gözlemlemişler ve ütüleme süresinin 20 s. olması

durumunda DKP sac malzemede geri esneme değerinde 1-3 derece arasında azalma olduğu tespit edilmiştir [6].

Geri esnemenin laboratuvar şartlar altında ölçölmesine yönelik çalışmalar da yapılmaktadır. Carden ve diğerleri yaptıkları çalışmada, proses değişkenlerine bağlı olarak bir deney numunesindeki bükümler için geri esneme alarını ölçmüşlerdir. alışmalarında; sürtünmenin sac metal şekillendirme uygulamalarında geri esnemeye çok az etkisinin olmasına rağmen, 6022 T4 malzeme için çok düşük şartların geri esnemeyi arttırdığı gözlemlenmiştir [7].

Genetik algoritma (GA) ve yapay sinir ağlarının da (ANN) geri esneme problemini çözmek için kullanıldığı görölmüştür. Liu ve diğerleri, yapmış oldukları çalışmada geri esneme problemini çözmek için yapay sinir ağları ve genetik algoritmaya bağlı bir teknik geliştirmişlerdir. alışmalarında, genetik algoritmayı yapay ağların ağırlığını optimize etmek için kullanmışlardır. Geri esneme tahmin modeli, yapay ağlar ve genetik algoritma entegrasyonu kullanılarak geliştirilmiştir. Geri esnemenin GA-ANN modeller ile regresyon modellerine göre daha doğru yapılabileceği ve bu modellerin sac metal şekillendirme ve takım tasarımı için bir referans olarak alınabileceği belirlenmiştir [8].

Ultra yüksek dayanımlı elik sacların geri esneme davranışlarının da deneysel olarak incelendiği gözlemlenmiştir. Bu sac malzemeler otomotiv endüstrisinde ağırlık azaltmasında yaygın olarak kullanılmasına rağmen, yüksek gerilimlerinden dolayı geri esneme miktarları yüksektir. Bu sac malzemelerin geri esneme davranışları, CNC servo presler kullanarak kontrollü şartlar altında incelenmiştir. Çalışma sonucunda, CNC servo preslerin kalınlık kontrollü bükme için kullanışlı olduğu ve ayrıca geri esneme miktarına şekillendirme hızı ve kalıp alt ölü noktasındaki ütüleme zamanının etkilerinin çok küçük olduğu tespit edilmiştir [9]. Çalışmada kullanılan deney düzeneği şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. CNC Servo pres ve V bükme kalıp detayı [9].

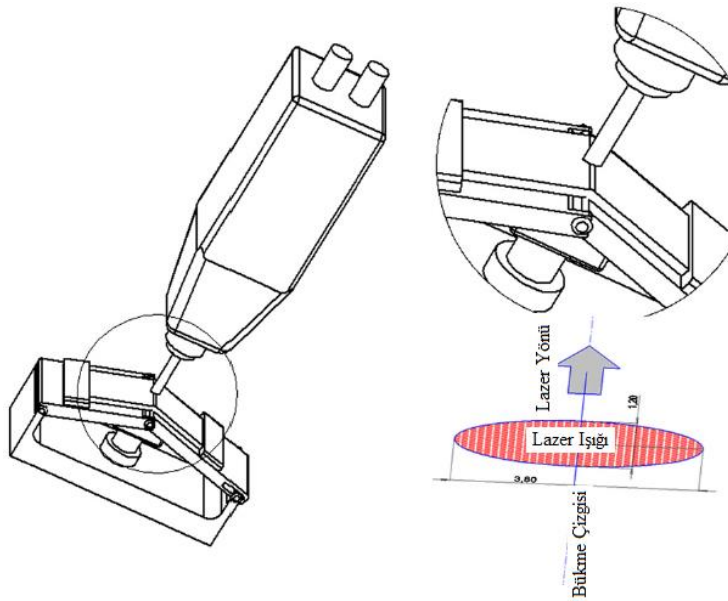
V bükme kalıplarında katı takım ve kalıplamanın yanı sıra deforme edilebilir zımbalar kullanılarak şekillendirme üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Zhang ve diğerleri yaptıkları çalışmada; katı kalıp ve deforme edilebilir kalıp tarafından V sac şekillendirmenin deformasyon mekanizmasını deneysel araştırmışlardır. Malzeme özellikleri, sac kalınlığı, katı kalıp geometrisi ve deforme edilebilir zımbanın geometri ve özellikleri açısından geri esnemenin iyileştirilmesi üzerinde durmuşlardır. Presleme esnasında zımba malzemesinin deformasyonunun, sac malzemenin deformasyon mekanizmasını değiştirdiği ve geri esneme oranını esas olarak negatif yaptığı tespit edilmiştir [10]. Çalışmada kullanılan numune malzeme ve ölçü bilgileri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Numune malzeme ve boyut bilgileri [10].

Malzeme	$\theta=60^\circ$	$\theta=90^\circ$	$\theta=120^\circ$
Yumuşak malzeme	22x30xt 30x30xt	38x30xt 50x30xt	66x30xt 80x30xt
Prinç	22x30xt 30x30xt	38x30xt 50x30xt	66x30xt 80x30xt
Bakır	22x30xt 30x30xt	38x30xt 50x30xt	66x30xt 80x30xt

Yapılan çalışmalarda geri esnemeyi telafi etmek için çok sayıda yöntem tanımlanmıştır. İş parçasının daha büyük açıyla endüstriyel uygulamalarda kullanılan en yaygın çözümdür. Diğer telafi alternatifleri, gerdirerek bükme ve yüksek basınçla ezmedir. Diğer yaygın alternatif çözümler; ön ısıtılmış kalıp ve takımları veya alternatif olarak yüksek sıcaklıkta

bükme işlemlerini veya şekillendirilen parçalarda gerilim dağılımlarının düzenlenmesini içermektedir. Şekillendirilen alaşımın sıcaklığındaki artış, şekillendirilebilirliği artırabilmekte ve malzemenin dayanımını da azaltılabilmektedir. Böylelikle bükme işlemleri için ihtiyaç duyulan maksimum güçte azalma ile bükme yöntemi basitleştirilebilmektedir. Özellikle alüminyum alaşımlarında, sıcaklıklardaki çok küçük artış bile dayanımlarında kayda değer bir azalmaya neden olabilir. Diğer bir yandan bükme yöntemi esnasında kullanılan ısıtılmış kalıp ve malzemeler zaman ve maliyet artırıcı olabilmektedir. Ayrıca ısıtma işlemleri şekillendirilen parçanın özelliklerini de değiştirebilmektedir ve bu durum iş parçasının performansını tümüyle riske atabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı, iş parçasının tümünü ısıtmak yerine lazer desteği ile sadece büküm bölgesinin ısıtılması konusunda da çalışmalar yapılmıştır. Gisario ve diğerleri, AA 6082 T6 alüminyum levhaların lazer yardımı ile bükülme işleminin deneysel analizi ve analitik modellemesini çalışmışlardır. Yüksek güç diyot ile ışınlama kullanarak, bükme alanı, seçilen bir sıcaklık ile desteklenerek V bükme yönteminde geri esnemenin kontrolü sağlanmaya çalışılmıştır [11].

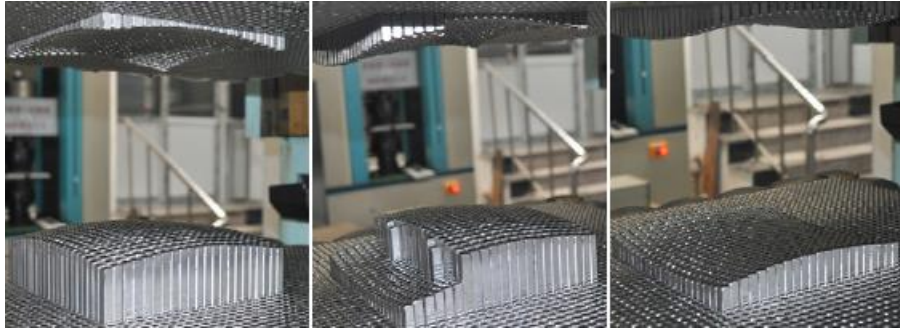


Şekil 2.3. Lazer destekli ısıtarak bükme yöntemi [11].

Geri esnemenin telafisi için yapılan düzeltmeler genellikle kalıp takımlarının şeklinin modifiye edilmesi ile yapılmaktadır. Takım tasarım aşamasında geri esnemenin tahmini çok önemli olmaktadır. Çünkü bitmiş kalıp takımları üzerindeki geometri düzeltmeleri çok pahalı ve zaman alıcı olmaktadır [12]. Ancak yine de geri esnemenin telafisine yönelik

yapılan yaklaşımlar genellikle takım şeklinin ayarlanmasına eğilimlidir. Kalıp yüzeyinin modifikasyonu ile şekillendirilen ürünün şekli, istenilen ürün şekline yaklaşık olarak elde edilebilmektedir [13].

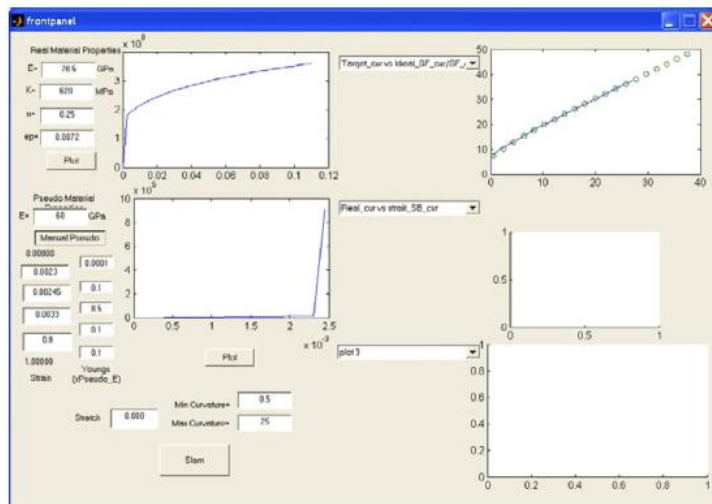
Sac metal şekillendirme yöntemleri, gemi inşası hava araçları üretimi araç gövdeleri ve basınçlı kaplar gibi üç boyutlu yüzeylerin şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok noktalı şekillendirme yöntemi bu tür parçaların şekillendirilmesinde son zamanlarda yaygın olarak da kullanılmaya başlanmıştır. Bu özel parçaların üretimi için çok noktalı şekillendirme yöntemi ideal bir yöntem olmaktadır. Ancak klasik şekillendirmede olduğu gibi çok noktalı şekillendirme yönteminde de geri esneme probleminin kaçınılmaz bir olgu olduğu tespit edilmiştir. Zhang ve diğerleri, çok noktalı şekillendirme proseslerinde iki eğimli plakalar boyunca geri esnemeyi telafi için, bir algoritma önermişlerdir. Algoritmalarını; teorik analizler, sayısal simülasyonlar ve şekillendirme deneylerinin bileşimi üzerine kurmuşlardır. Çalışmaları sonucunda, telafi yöntemi çift eğrili plakaların çok noktalı şekillendirilmesinde geri esnemenin neden olduğu hatalar etkili bir şekilde kontrol edilebilmiştir [14]. Çok noktalı şekillendirme prosesi görüntüleri Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Çok noktalı şekillendirme prosesi görüntüleri [14].

Gerdirek çekme-bükme prosesleri otomobil ve uzay ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Geri esneme probleminin bu yöntemde de önemli bir problem olarak ortaya çıktığı yapılan çalışmalarda görülmektedir. Zhao ve diğerleri, gerdirek çekme-bükme prosesindeki geri esnemenin tahmini için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında, U profilleri gerdirek radyüslü V şeklinde bükerek şekillendirmişler ve bu profillerin geri esneme problemlerini incelemişlerdir [15].

Geri esnemenin dolayı parça şeklindeki hata sac metal şekillendirme proseslerinde genellikle üretim kusuru olarak kabul edilmektedir. Bu problem, aktif proses kontrolü ve/veya takım şeklinin uygun şekle ayarlanması ile düzeltilebilmektedir. Geleneksel deneme yanılma yöntemleri, karmaşık geometrili kalıplar için etkili bir yöntem olmamaktadır. Son zamanlarda birçok analitik yöntem önerilmiş ve önerilen bu yöntemlerin her biri avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Tüm bu yöntemler, istenilen takım şekline dönüşmeden önce birkaç iterasyon gerektirmektedir. Cheng ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, takımın şekil tasarımına odaklanmışlardır. Çalışmalarında, bu önerilen tüm yöntemleri aynı çerçeve içerisine yerleştirmişler ve var olan metotlar üzerine temel geometrik analizler ile saf geometri düzeltmesi birleştirilerek yeni bir yöntem inşa etmişler ve en ideal takım şeklinin bulunması için yakınsama daha hızlı ve kesin olmuştur [16]. Çalışmalarında kullanılan program görüntüsü Şekil 2.5’de verilmiştir.

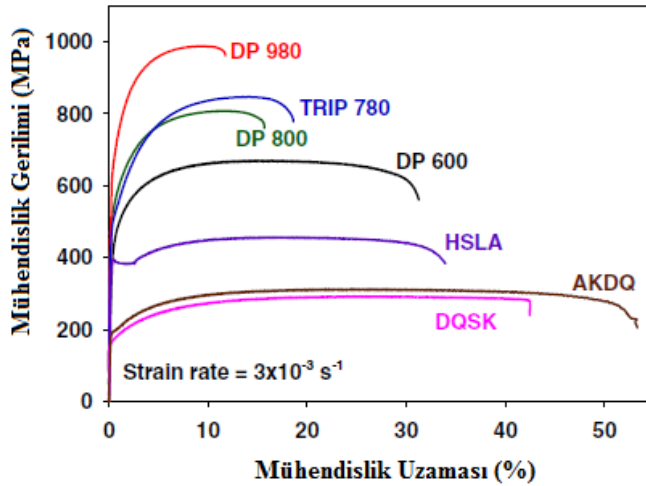


Şekil 2.5. Matlab önışlemci kullanıcı ara yüzü görüntüsü [16].

Paslanmaz çelik sac malzemelerin, yukarıda V bükme kalıbında bükülerek şekillendirilmesinde de geri esneme ve yırtılma gibi şekillendirme problemleri ortaya çıkmaktadır. Asnafı yapmış olduğu çalışmada kalın paslanmaz çelik sac malzemelerden oluşan bu şekillendirme hatalarının giderilmesine yönelik çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, yük boşladıktan sonrasında geri esnemeyi tahmin etmek için analitik bir model geliştirmiştir. Bu geliştirilen analitik model tarafından hesaplanan geri esneme, her durumda deneysel olarak elde edilen geri esnemenin daha küçük bulunmuştur. Teori ve pratik arasındaki uyum, teorik analizlerde incelenen ve doğal eksen konumundaki

kaymanın ihmal edilmesine rağmen teori ve pratik arasında iyi bir uyum olduğunu tespit etmiştir [17].

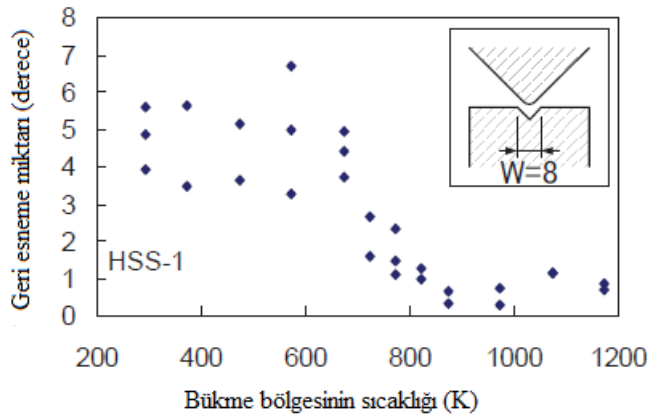
Bükülen sac malzemelerde oluşan geri esneme davranışı, zamana bağlı olarak da incelenmiştir. Sac malzemelerde bu davranış, kalıcı gerilmelere ve daha yüksek sürtünme hızlarına dayandırılmakta ve daha çok bu durum, Alüminyum alaşımlarında gözlemlenmektedir. Lim ve diğerleri; yapmış oldukları çalışmada yüksek gerilimli çelik (AHSS) sac malzemelerde de zamana bağlı olarak geri esneme davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında DP 600, DP 800, DP 980, TRIP 780, DQSK, AKDQ ve HSLA sac malzemeler de geri esneme testlerini yapmışlardır. AHSS alaşımlarının oda sıcaklığında zamana bağlı geri esneme gösterdiği ilk şekil değişiminin ilk birkaç günde günlük süreyle orantılı olduğunu, fakat haftalar geçtikçe değişim oranının azaldığı tespit edilmiştir. Ancak AHSS 'nin zamana bağlı şekil değişiminin aynı koşullar altındaki Alüminyum alaşımlarda gözlenen değişimin yaklaşık 1/3 kadar olduğu da belirlenmiştir. Yine aynı zamanda geri esneme simülasyonları Young modülünün hem ilk geri esneme miktarını hem de zamana bağlı geri esneme miktarını etkilediğini tespit etmiştir [18]. Test için kullanılan çeliklerin gerilme-gerinim eğrileri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Test için kullanılan çeliklerin gerilme-gerinim eğrileri [18].

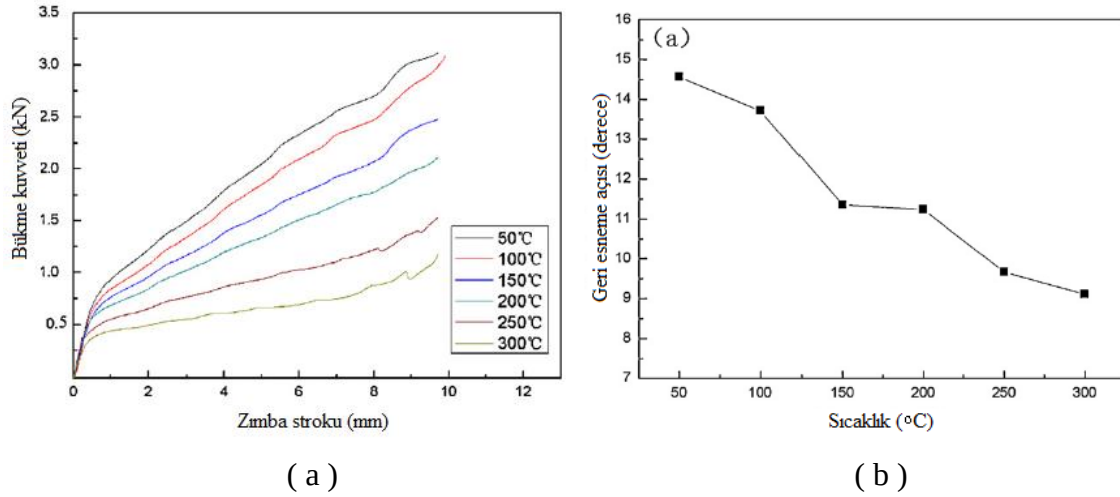
Yüksek gerilimli çeliklerin kullanım alanlarının artması ile birlikte şekillendirilebilirliğin geliştirilmesi ve ortaya çıkan şekillendirme hatalarının giderilmesine yönelik çalışmaların da arttığı gözlenmektedir. Özellikle otomobil endüstrisinden emisyon miktarını azaltmak

için hafif ağırlıklı sac malzemelere ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu yüzden yüksek gerilimli çelikler sac metal şekillendirme endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yanagimoto ve Oyamada yaptıkları çalışmada yüksek gerilimli çeliklerin ılık şekillendirme şartları altında bükümü sonrasında oluşan geri esneme mekanizmasını açıklamayı amaçlamışlardır. Yaklaşık 750 °K'den daha yüksek sıcaklıklarda, bükme modundaki değişikliklerin bir sonucu olarak, geri esnemede ani bir azalmanın olduğunu tespit etmişler ve bu şekillendirmenin sıcak şekillendirmeden kayda değer şekilde düşük olduğu görülmüştür. Geri esneme miktarı ve bükme bölgesindeki sıcaklık arasındaki ilişki Şekil 2.7'de verilmiştir [19].



Şekil 2.7. Geri esneme bölgesinin sıcaklığı ve geri esneme miktarı arasındaki ilişki [19].

Ilık şekillendirme ile geri esnemenin telafisi konusunda yapılan bir diğer çalışmada da Wang ve diğerleri de ılık şartlar altında farklı zımba radüsleri ile geri esnemeyi analiz etmişlerdir. Magnezyum alaşımlarının oda sıcaklıklarında zayıf şekillendirilebilirliklerinden dolayı, magnezyum alaşımlarının şekillendirilmesinde ortaya çıkan geri esneme davranışını incelemişlerdir. Çalışmalarında, şekillendirme sıcaklığının artışı ve zımba radüsünün azalışı ile geri esnemenin azaldığını tespit etmişlerdir. Elde edilen grafikler Şekil 2.8'de verilmiştir [20].



Şekil 2.8. Sıcaklığın bükme kuvvetine ve geri esnemeye etkisi, a-Farklı sıcaklıklarda kuvvet – zimba eğrileri, b- Geri esneme açısına sıcaklığın etkisi [20].

Geri esnemenin hassas tahmini için, deformasyon sonrası sac metalde iç gerilim dağılımını tam belirlemede Bauschinger etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Gau ve Kinzel, geri esnemenin tahmini için Bauschinger etkisinin göz önünde bulundurulduğu yeni bir model geliştirmişlerdir. Çalışmalarında yeni bir artışlı yöntem ve sertleştirme modeli önermişlerdir. Alüminyum sac malzemelerin, simülasyonun en zor sac metal malzemelerden birisi olduğu bilinmektedir. Önerilen bu modelin, çoklu bükme işlemlerine maruz kalan Alüminyum sac için deney sonuçları ile uyum sağladığı görülmüştür [21].

Geri esnemenin tahmini için malzeme oluşturma modellerinin geliştirilmesi ve uygulanması alanında da çalışmaları yapılmaktadır. Geliştirilen modeller, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan yazılımlarda kullanılarak geri esneme tahminlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Zhu ve diğerleri yapmış olukları çalışmalarında, geri esnemenin tahmini için; malzeme oluşturma modellerinin geliştirilmesi ve uygulanması, elastik davranış, anizotropi ve pekleşme özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda Hill 1948, Barlat 1989 ve geliştirilmiş Armstrong-Frederic ve Chaboche modellerinin hala en hakim uygulama olduğu görülmüş, ancak malzeme oluşturma modellerinin uygun olmadığını tespit etmişlerdir. Yaygın olarak kullanılan malzeme oluşturma modellerinin, geri esnemeyi tahmin etmesinin zor olduğu ve bu durumun, malzeme tanımlamada değişken elastik çarpan etkisi, malzeme anizotropisi ve doğrusal olmayan sertleşmenin de birlikte düşünülmesi gerektiğinden kaynaklandığını tespit etmişlerdir [22].

Dik anizotropik (R) değerin ve pekleşme üstelinin (n) bükme etkileri de yapılan çalışmalarda incelenmiştir. Leu yaptığı çalışmada, bükümdeki geri esnemeyi, bükülebilirliği ve maksimum bükme momentini incelemek amacıyla, dik anizotropik R değeri, sac kalınlığı (t) ve pekleşme üstelini (n) birleştiren bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışması sonucunda, dik anizotropik R değerindeki artışın bükülebilirliği geliştirdiği tespit edilmiştir. Geri esneme oranının, büyük dik anizotropik R değeri veya küçük sac kalınlığı ve pekleşme üsteli olan malzemelerde daha yüksek olduğu ve maksimum bükme momentinin de esas olarak sac kalınlığının etkisine bağlı olduğunu belirlemiştir [23].

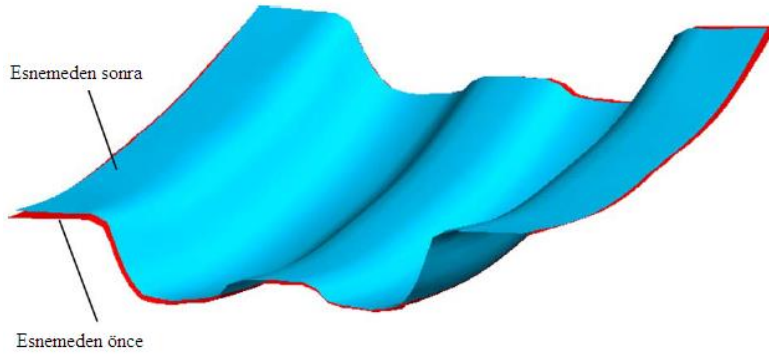
Otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan yüksek gerilimli bazı çeliklerin şekillendirilebilirliği düşük ve geri esneme miktarı ise yüksek olmaktadır. Bu nedenle şekillendirilebilirliği arttırmak için dik anizotropi artırılmaktadır. Geri esnemeye dik anizotropinin etkisi bir diğer çalışmada da Verma ve Haldar tarafından incelenmiştir. Anizotropinin geri esnemeye etkisi sonlu eleman analizleri kullanarak tahmin edilmiş ve yüksek anizotropinin daha büyük geri esneme verdiği ancak izotropik malzemeler için geri esnemenin minimum olduğu tespit edilmiştir [24].

2.2. Geri Esneme ile İlgili Analitik Modelleme Ve Sonlu Elemanlarla Analiz Çalışmaları

Ampirik formüller kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar ve deneme yanılma süreçleri zaman, para ve malzeme israfına yol açmaktadır. Son zamanlarda sonlu elemanlarla analiz yöntemleri birçok mühendislik problemlerinin analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bükme ve geri esnemenin tahminine yönelik çalışmalarda da sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çok sayıda araştırma yapılmıştır. İncelenen çalışmalarda deneysel çalışma sonuçları ile analiz çalışması sonuçlarının birbirleri ile uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Analiz çalışmalarında çoğunlukla, ABAQUS, Marc-Mentat yazılımları ve Hill 48, Barlat 89, Barlat 96, Yld-2000 malzeme modelleri kullanıldığı belirlenmiştir.

Karmaşık şekilli sac metal parçaların şekillendirilmesi için takım şeklinin belirlenmesinde sonlu elemanlarla (FE) simülasyonlarının yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. FE geri esneme simülasyonları aracılığı ile deneysel çalışmalarda geçen deneme yanılma süreleri en aza indirilebilmektedir. Geri esnemenin dolayısı ile şekillendirilen parçalardaki

hatalar takım yüzeylerinin ötelenmesi ile telafi edilebilmektedir. Lana ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada; orijinal CAD sac metal parçası ve FE ile şekillendirilmiş parça arasındaki hatayı değerlendirmek, geri esneme telafisinde takım yüzeyini ötelemek, düzgün bir takım yüzeyi elde etmek ve diğer FE simülasyon için takım yüzey tanımlı girmek için bir sistem geliştirmişlerdir. Bu teknik, FE geri esneme simülasyonlarından elde edilen veri noktalarının yaklaşık ötelenerek düzgün bir takım yüzeyi elde etmek ve geri esnemenin telafisinde takımın yeni bir şeklini tanımlamak için başarılı bir şekilde kullanılmıştır [25]. FE ile şekillendirilmiş parçanın esneme öncesi ve sonrası görüntüsü Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. FE yöntemi ile şekillendirilmiş parçanın geri esneme öncesi ve sonrası görüntüsü [25].

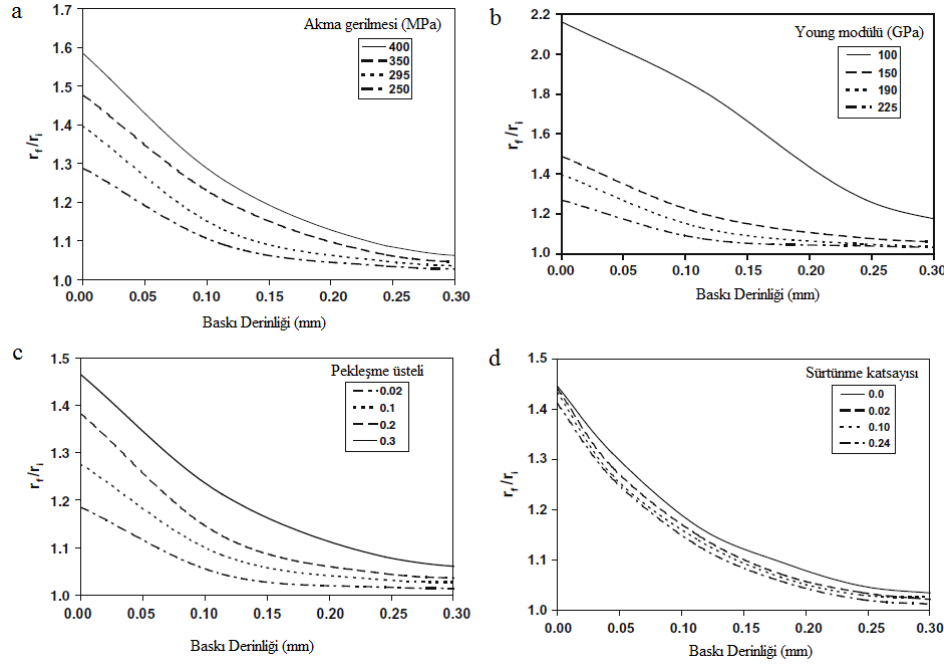
Malzeme sertlik modelinin geri esnemeye etkisi sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Lia ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, 2D elasto plastik sonlu eleman programı kullanarak malzeme sertlik modelinin V bükme kalıplarında geri esnemeye olan etkilerini incelemişlerdir. Malzeme sertlik modelinin, doğrudan geri esneme hesaplamalarının doğruluğunu etkilediğini ve doğruluğun ne kadar fazlaysa geri esneme doğruluğunun da o kadar fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, Young modülünün geri esneme simülasyonunun doğruluğu üzerinde büyük etkisi olduğu ve plastik deformasyonla birlikte Young modülünde oluşan değişim kullanılarak geri esneme simülasyonunun doğruluğunun artırılabilirliği belirlenmiştir [26].

Sonlu elemanlar yöntemi ile geri esneme davranışının analizlerinde, düğüm sayısının artırılmasının elde edilen sonuçlardaki hassasiyeti artırabileceği ancak buna karşılık işlem süresinin de artacağı, yapılan simülasyon çalışmalarıyla belirlenmiştir. Genelde analiz

alışmalarında kullanılan 4 nodlu/düğümlü eleman simülasyonun sac sertliğini olduğundan biraz fazla göstereceğı için bir hata kaynağı olduğu, ancak 9 nodlu/düğümlü eleman simülasyonun daha iyi hassasiyet sağladığı belirlenmiştir [27].

Bükme yöntemi, alüminyum parçaların üretimi esnasında sıklıkla kullanılan işlemlerden birisidir. Malzemelerin mekanik özellikleri de geri esnemeyi etkileyen faktörlerden birisi olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılan sonlu elemanlarla analiz çalışmalarında da Alüminyum malzemelerin mekanik özelliklerinin geri esneme davranışına olan etkileri incelenmiştir. Esat ve diğerleri; yapmış oldukları çalışmada, akma dayanımındaki artışın geri esneme miktarını arttırdığını simülasyon çalışmaları ile de doğrulamışlardır [28].

Bükme kalıplarında, gerek malzeme özelliklerinin gerekse de kalıp geometrisinin geri esnemeye etkileri yaygın olarak yapılan çalışmalarla bilinmektedir. Ancak, baskı derinliği ve baskı yükünün değişimine göre bu parametrelerin etkisinin değişmekte olduğu Panthi ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışma ile belirlenmiştir. Yapılan çalışmada; geri esnemenin minimum yükte büyük oranda akma gerilmesi, Young modülü ve pekleşme gibi malzeme özelliklerine ve sac kalınlığı, kalıp radyüsü ve kalıp açıklığı açısı gibi geometrik parametrelere bağılı olduğunu belirlemişlerdir. Ancak belirli bir baskı yük/derinliğinden sonra bu malzeme ve yük kombinasyonun anlamsız kaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca sürtünmenin etkisinin de göz ardı edilebilir bir seviyede olduğu ve akma gerilmesi ile pekleşmedeki artışın geri esnemeyi arttırdığı yapılan bu çalışma ile de doğrulanmıştır [29]. Akma gerilmesinin, Young modülünün, pekleşme üstelinin ve yağlamanın baskı derinliğine göre geri esnemeye etkileri Şekil 2.10'da verilmiştir.



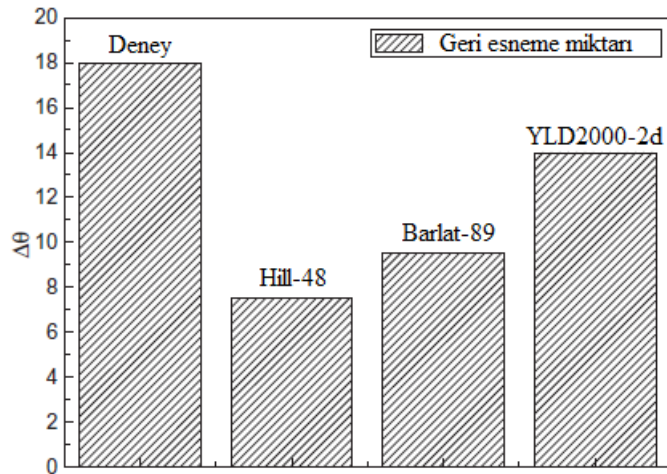
Şekil 2.10. Baskı derinliğine göre geri esnemeye etki eden faktörler [29].

Uygulanan bükme kuvvetinin geri esnemeye etkisi de sayısal simülasyon çalışmaları ile incelenmiştir. Geri esnemenin, minimum bükme kuvveti durumunda yüksek olduğu ve bükme kuvvetinin artırılması ile geri esnemenin önemli derecede azaltıldığı gözlemlenmiştir. Bükme kuvvetinin etkisinin çok önemli olduğu ve bükme kuvvetinin etkisinin, eğrilik yarıçapının artması ile arttığı ve sac kalınlığının azalması ile de arttığı belirlenmiştir [30].

Bükme kuvvetinin V bükme yöntemindeki geri esnemeye etkileri konusunda bir diğer çalışmada Forcellese ve diğerleri tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında bükme kuvvetinin yanı sıra, zımba uç radyüsünün de geri esnemeye olan etkilerini incelemiştirlerdir. Zımba uç radyüsünün büyük olması durumunda geri esnemenin arttığı, zımba uç radyüsünün azalması durumunda da geri esneme oranının azaldığı gözlemlenmiştir [31].

Malzeme modelinin doğru seçimi; bir sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yapan yazılımlarda, yapılan analiz sonucunda elde edilen sonucun doğruluğunu etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. TRIP ileri yüksek gerilimli sac malzemeleri, dayanım ve şekillendirilebilirlik açısından eşsiz bir kombinasyona sahip malzemelerdir. TRIP çelik sac malzemelerin geri esneme davranışları sonlu elemanlar analizleri ile de incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde Hill-48, Barlat 89 ve YLD 2000 malzeme

modelleri tanımlanmıştır. Geri esneme analizlerinde, YLD 2000-2d malzeme modelinin en iyi tahmin yapan malzeme modeli olduğu belirlenmiştir [32]. Farklı malzeme modellerinden elde edilen deney ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Farklı malzeme modellerinden elde edilen deney ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması [32].

TRIP çelik sac malzemelerdeki geri esnemeye etki eden faktörlerle ilgili bir diğer çalışmada Fei ve Hodgson tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında diğerlerinden farklı olarak, yukarıda V bükme metodunu kullanmışlardır. Geri esnemenin sac kalınlığı ve kalıp açıklığına bağlı olduğu, zımba hızı ve zımba radyüsünün etkisinin ihmal edilebilir olduğunu belirlemişlerdir. TRIP çelikler için Young modülündeki değişimin göz önünde bulundurulması gerektiği tavsiye edilmekle birlikte, sürtünme kuvvetinin zımba kuvvetini etkilediği ancak geri esnemeyi etkilemediğini tespit edilmiştir [33].

Literatür araştırmalarında yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde; geri esneme miktarını arttıran faktörler; malzeme kalınlığının artması, bükme açısının artması, yüksek gerilimin artması, büyük dik anizotropik değerinin artması, akma dayanımı ve pekleşmenin artması olarak belirlenmiştir. Geri esneme miktarını azaltan faktörler ise, ütüleme süresinin artması, şekillendirme şartlarında sıcaklığın artması, bükme radyüsünün azalması ve bükme kuvvetinin artması olarak tespit edilmiştir.

Ayrıca, yapılan analiz çalışmalarında sınır şartlarının ve malzeme modellerinin doğru tanımlanması durumunda geri esnemenin doğru tahmin edildiğinde görülmüştür. Bu

durumun deneme yanılma süresini en aza indirerek kullanılan malzeme ve enerji israfını önlediği de tespit edilmiştir.

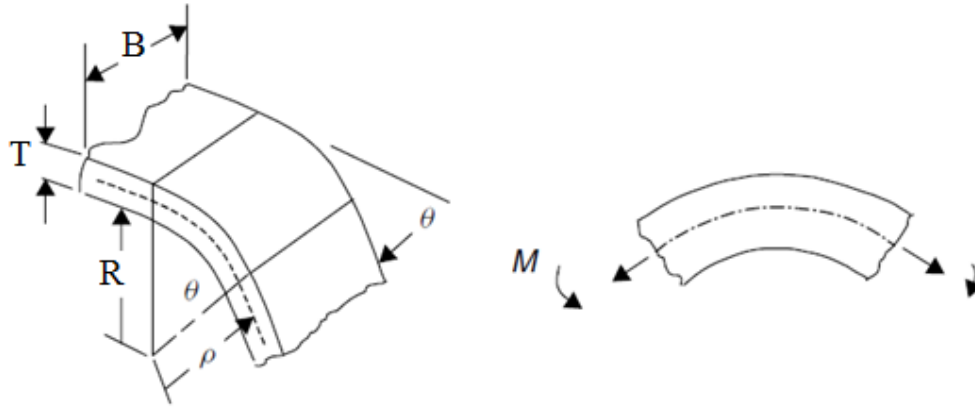
Klasik kalıplama ile bükme işlemlerinde, zımba bir hat boyunca sac malzemeye temas ederek sac malzemeyi şekillendirmeye başlamakta ve şekillendirilen ürünlerde yüzey kusurları (şekillendirme izleri, kalınlık incilmesi vb) durumları oluşturmaktadır. Sıvı basıncı ile V bükme yönteminde, sıvı basıncı sac malzemeye her noktadan eşit temas ederek V bükme kalıbında sac malzemeyi şekillendirmektedir. Bu yöntem savunma sanayi ve havacılık sektöründe uçak parçalarının şekillendirilmesinde kullanılmakta olup bilimsel açıdan yeterince incelenmemiştir. Şekillendirmeye etki eden parametrelerin deneysel olarak incelenmesi, yöntemi bilimsel anlamda yorumlamak için yardımcı olacaktır.

3. KAVRAMSAL BİLGİLER ve KURAMSAL TEMELLER

Sıvı basıncı ile V bükme yönteminde kavramsal bilgiler ve kuramsal temeller kısmında bükme prosesi ve bükme prosesi türleri, V bükme kuvveti hesabı, geri esneme olgusu ve geri esnemeyi etkileyen faktörler açıklanmıştır.

3.1. Bükme Prosesi ve Bükme Prosesi Türleri

Malzemeleri ısıtarak veya ısıtmadan ve talaş kaldırmadan, malzemenin belli bir eksen etrafında döndürülerek şekillendirilmesi bükme yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Bükme kalıpları ise; istenilen parça şekline uygun olarak yapılmış dişi kalıp ve zımbadan oluşan, sac malzeme üzerinde, kalıcı şekil değişikliği meydana getiren düzeneklerdir [1].



Şekil 3.1. Bir çizgi boyunca bükülmüş şerit

“V” bükme kalıbındaki kuvvet hesabı için farklı eşitlikler ortaya konulmuştur. Bu eşitlikler, her ne kadar farklı olsa da, çıkan sonuçlar arasında çok büyük farklılıklar olmamaktadır. Bükme kuvveti hesabı Eşitlik 3,1’de verilmiştir [1].

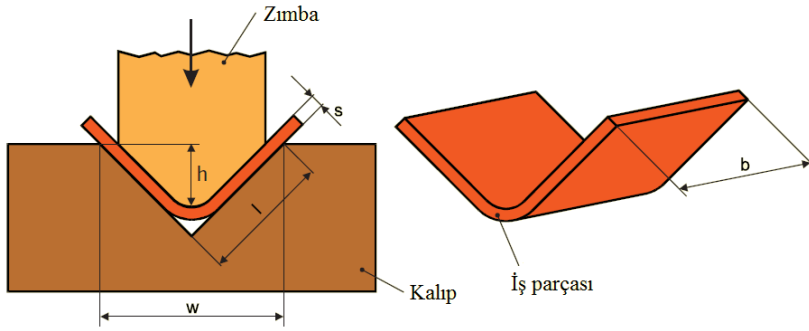
$$P_v = C \times \frac{B \times T^2 \times \sigma_b}{W} \times 10 \quad (3,1)$$

C; W/T ’ye bağlı bir katsayı olup Eşitlik 3,2’ile bulunmaktadır.

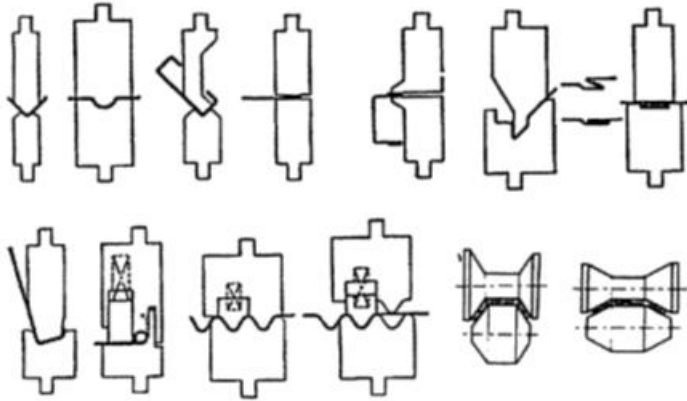
$$C = 1 + \frac{4 \times T}{W} \quad (3,2)$$

Bu eşitliklerde; P_v , “V” bükme kuvvetini (N); B , sac malzeme genişliği (mm); T , sac malzeme kalınlığı (mm); σ_b , malzemenin çekme mukavemeti (N/mm²); W , kalıp ağız açıklığıdır (mm). C , W/T oranına bağlı bir katsayıdır. [1].

Bükme yöntemi, DIN 8580 standardına göre doğrusal kalıp hareketiyle bükme ve dairesel kalıp hareketiyle bükme yöntemi olarak iki ana grupta sınıflandırılmıştır. Doğrusal kalıpla bükme yöntemi V bükme ve U bükme yöntemi olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır [2]. Ürün şekline göre bükme yöntemi ise; şekillendirme, oluklama, kenarlama, ezme, birleştirme, kıvrırma, buruşturma ve dairesel şekillendirme olarak 8 ana grupta sınıflandırılmıştır. Bu gruplama yöntemi Şekil 3.2’de şematik olarak verilmiştir [3]



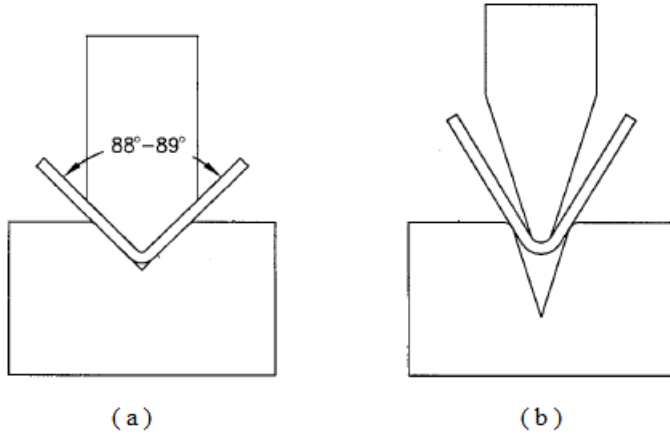
Şekil 3.2. V kalıpta bükme yöntemi görüntüsü [2].



Şekil 3.3. Klasik Abkant bükme ve şekillendirme kalıpları [3].

V bükme yöntemi, altta bükme ve serbest bükme yöntemleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Altta bükme yönteminde, kalıp ve zımba arasındaki boşluğu doldurmak için sac malzemeye zımba tarafından kuvvet uygulanmakta ve sac malzeme

şekillendirilmektedir. Ancak, altta bükme yönteminde, sac malzeme hiçbir zaman kalıp kavisini doldurmamaktadır. Serbest bükme yönteminde ise, kalıp zımbası presin en alt strok noktasına ulaşmadan yukarıda bükme yöntemini gerçekleştirmektedir. V bükme yöntemlerinin görüntüsü Şekil 3.3’de gösterilmiştir [4].

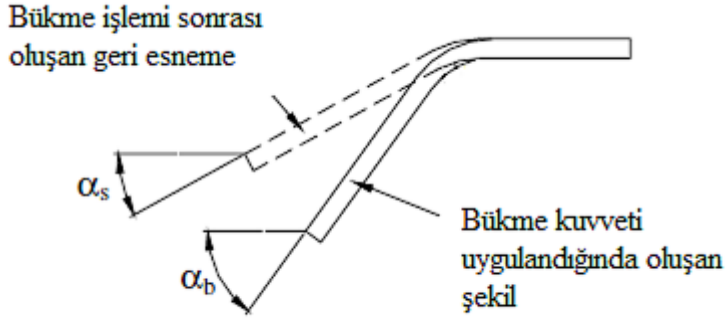


Şekil 3.4. V bükme yöntemleri [4].

- a) Altta bükme,
- b) Serbest bükme

3.2. Geri Esneme ve Geri Esnemeyi Etkileyen Faktörler

Geri esneme, şekil verme işlemini takiben yük boşaltımı sırasında bir metal levhanın şeklinin elastik olarak değişime uğraması olarak tanımlanmaktadır [2]. Bu değişim, bitmiş parçalarda, sonraki şekillendirme operasyonlarında değişkenliğe ve artan toleransa neden olmaktadır. Bu durum, genellikle üretilen ürünlerin ölçü, kalite ve görünüşünde bozulmaya yol açmaktadır [5].



Şekil 3.5. Geri esnemenin şematik görüntüsü [6].

Geri esnemeyi, sac malzeme kalınlığının, bükme açısının, sürtünmenin, büyük dik anizotropik değeri R' 'nin, akma dayanımının, pekleşmenin ve malzeme içerisindeki yüksek gerilimin etkilediği yapılan çalışmalardan elde edilmiştir. Ütüleme olarak adlandırılan zımbanın sac üzerinde bekleme süresi arttığında, bükme radüsünün küçüldüğünde ve bükme kuvveti arttığında geri esnemenin miktarının azaldığı, yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek gerilimli sac malzemeler ılık şekillendirme şartlarında sıcaklık artışı ile geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir.

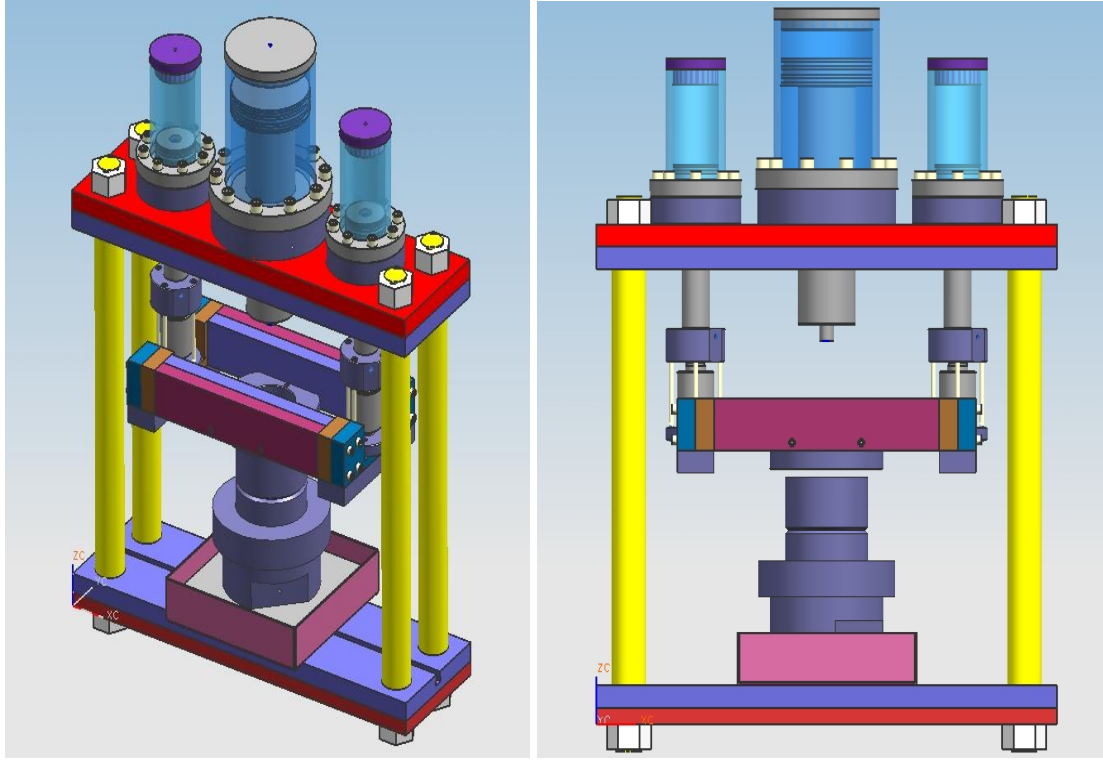
4. MATERYAL METOT

Bu bölümde, sıvı basıncı ile V bükme prosesinde geri esnemenin araştırılmasıyla ilgili deney düzeneğinin tasarım, imalat ve montaj aşamaları ve deney çalışmalarında kullanılan deney malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri ve deneysel çalışma parametreleri verilmiştir.

4.1. Deney Düzeneği Tasarımı

Endüstride birçok farklı alanda kullanılan bükülerek şekillendirilmiş ürünlerin yüzey kalitesi ve geri esneme miktarı çok önemlidir. Sıvı basıncı ile bükme işleminde etkili olan parametrelerinin geri esnemeye etkilerinin deneysel olarak belirlenmesiyle, uygulama esnasında deneme yanılma sayısının azaltılarak tezgah çevrim sürelerinin kısılması hedeflenmektedir.

Deneylerde kullanılan hidromekanik derin çekme deney düzeneği üzerinde düzenlemeler yapılarak sıvı basıncıyla V bükme yöntemine uygun hale getirilmiştir. Deney düzeneği UG-NX yazılımı ile 3 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Şekil 4.1’de deney düzeneğinin revizyon yapılmış nihai 3 boyutlu görüntüleri verilmiştir. Deneysel çalışma ortamının görüntüsü de Resim 4.1’de verilmiştir.

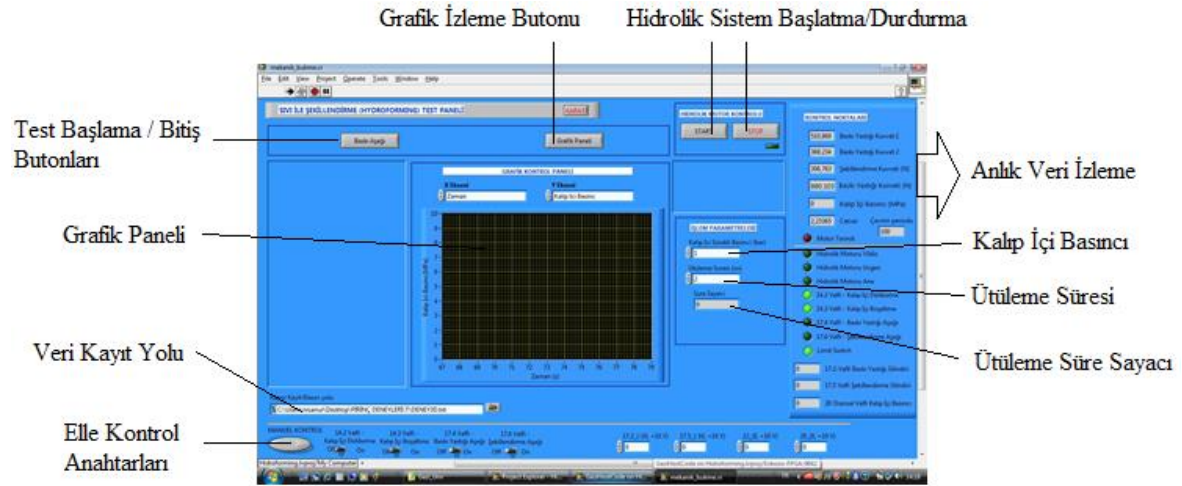


Şekil 4.1. Deney düzeneği revizyonlu tasarım görüntüleri



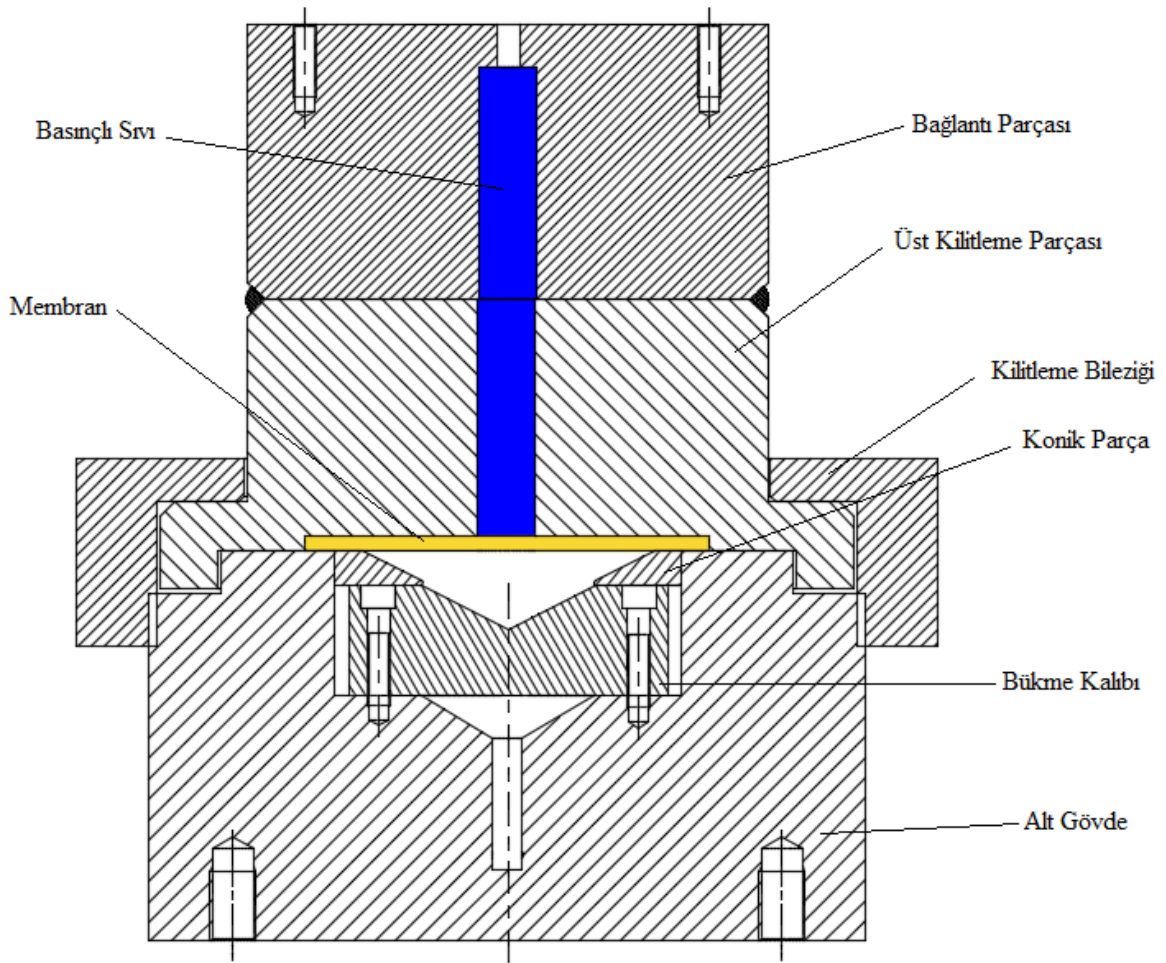
Resim 4.1. Deneysel çalışma ortamının görüntüsü

Deney düzeneğinde basınçlı kalıp bölümündeki bükme sıvı basıncı yazılım ile kontrol edilmektedir. Deney düzeneğinde sıvı basıncı ile sistemde okunan verilerin kontrol edilmesini sağlayan yazılımın ana ekran görüntüsü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Sıvı basıncıyla şekillendirme yazılım ekran görüntüsü

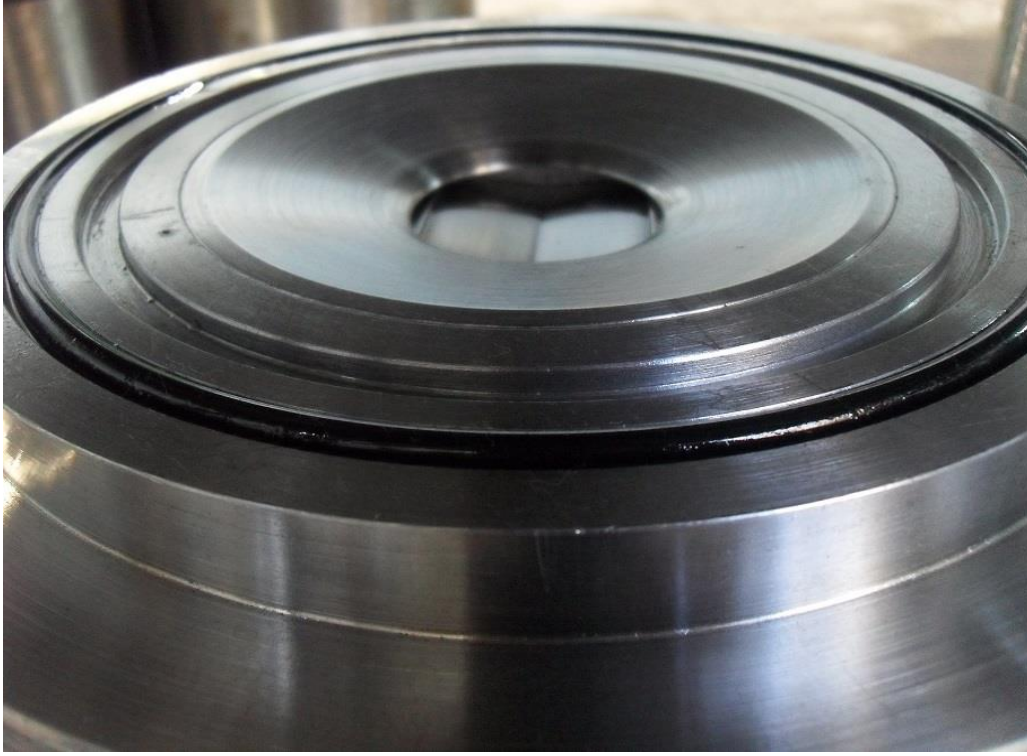
Deneysel düzeneğin basınçlı kalıp grubu Şekil 4.3’de kesit olarak verilmiştir.



Şekil 4.3. Basınçlı kalıp grubunun kesit görüntüsü

4.2. Deney Düzeneği İmalatı ve Montajı

UG-NX programında 3 boyutlu tasarımı yapılan basınçlı kalıp grubunun çeşitli tezgahlar da üretimi yapılmıştır. Üretimi yapılan basınçlı kalıp grubunun deney düzeneğine montajı yapılarak sistemi çalıştırılmıştır. Üretimi yapılmış basınçlı kalıp grubunun görüntüsü Resim 4.2’de, kalıp grubu montaj görüntüsü Resim 4.3’de ve deney düzeneği montaj görüntüleri Resim 4.4’de verilmiştir.



Resim 4.2. Kalıp grubu görüntüsü



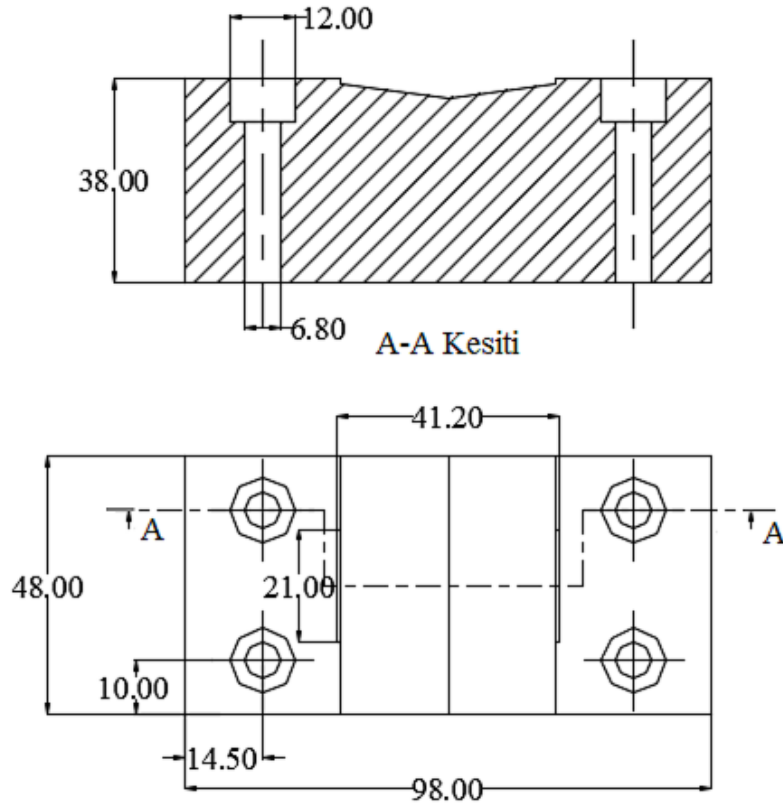
Resim 4.3. Kalıp grubu montaj görüntüsü



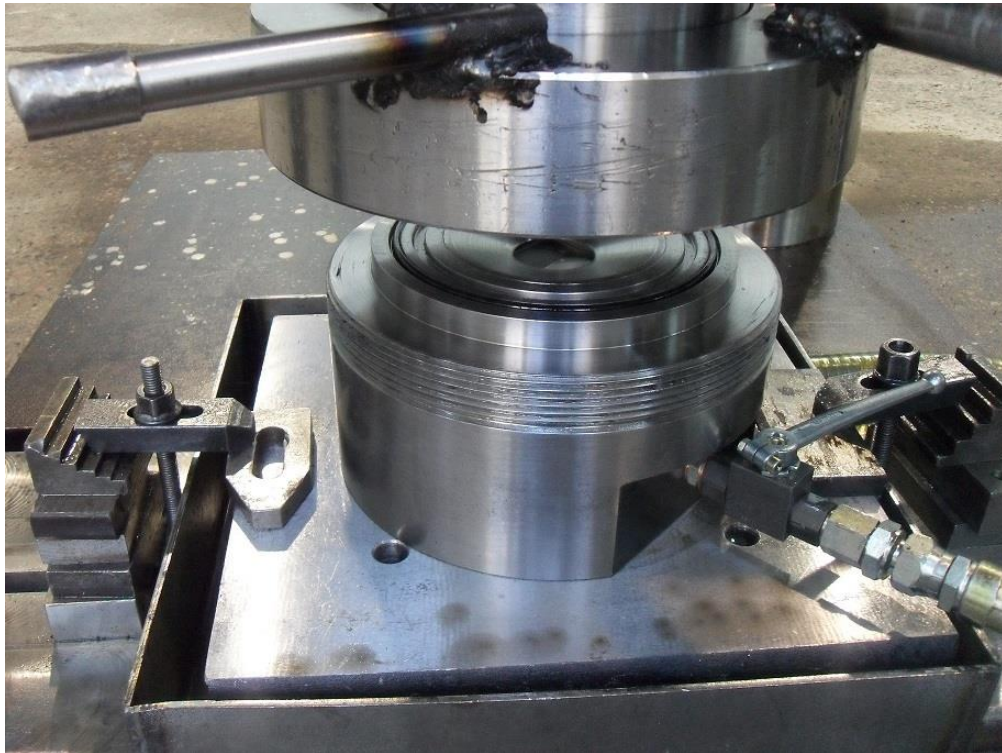
Resim 4.4. Deney düzeneği montaj görüntüsü

1) Kontrol yazılımı, 2) Elektronik kontrol ve veri okuma panosu, 3) Elektrik panosu, 4) Hidrolik motor ve pompa grubu, 5) Hidrolik tank, 6) Hidrolik valf grubu, 7) Geri dönüş filtreleme grubu, 8) Basınç plakası silindirleri, 9) Mekanik konstrüksiyon, 10) Basınç plakası grubu, 11) Kalıp grubu ve sıvı haznesi, 12) Şekillendirme basınç hattı

Farklı açılarda (15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90°) 6 adet V bükme dişi kalıpları üretimi Şekil 4.4'de verilen teknik resimde belirtilen ölçülerine göre yapılmıştır. Üretimi yapılan kalıpların basınçlı kalıp grubuna montaj görüntüleri Resim 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. V bükme kalıpları teknik resim görüntüsü



Resim 4.5. Üretimi yapılan basınçlı kalıp grubunun görüntüleri

Ç 1050 malzemeden üretimi yapılan dişi kalıplar, ısıtılma tabi tutularak 30 HRC sertlik elde edilmiştir. Dişi kalıplar, basınçlı kalıp düzeneğine montajı yapılarak ilk ürün kontrolü yapılmış ve deneysel çalışma şartlarına hazır hale getirilmiştir. Üretimi yapılan dişi kalıpların görüntüsü Resim 4.6’de gösterilmiştir.



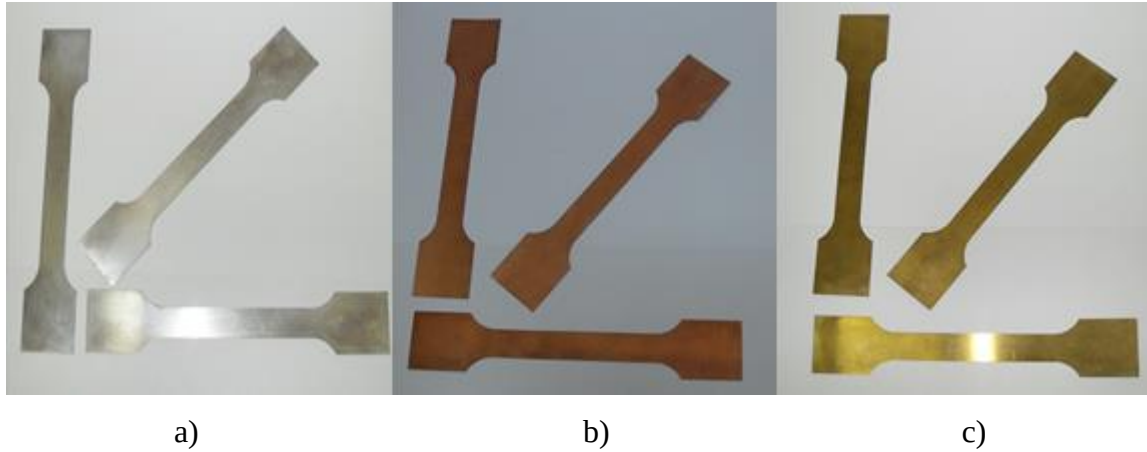
Resim 4.6. Üretimi yapılan dişi kalıpların görüntüsü

4.3. Deney Malzemelerinin Özellikleri

Sıvı basıncı ile V bükme prosesinde geri esnemenin araştırılması için Alüminyum, Bakır ve Pirinç malzeme türleri deney malzemesi olarak seçilmiştir.

Deney numuneleri 26x20 mm boyutlarında giyotin makasta kesilerek deneysel çalışmalar için hazırlanmıştır. Deney numuneleri spektrometre kimyasal analizleri aşağıdaki gibidir. Bakır sac malzeme için Sn 0,0892 – Ni 0,0108 – Pb 0,198 – Zn 32,47 – Fe 0,27 kalan Cu. Pirinç sac malzeme için Sn 0,221 – P 0,25 – Ni 0,0156 – Pb 0,136 – Zn 32,89 – Fe 0,276 kalan Cu. Alüminyum sac malzeme için Fe 0,332 – Cu 0,0124 – Sn 0,0414 kalan Al.

Deneysel malzemelerin mekanik özellikleri için çekme test cihazında çekme testleri yapılmıştır. Her malzeme türü için hadde yönüne göre 0, 45 ve 90 derecelerde deney numunesi tel erozyon tezgahında 3'er adet kesilerek hazırlanmıştır. Çekme deneyi için hazırlanan numunelerin görüntüleri Resim 4.7' de gösterilmiştir. Deney malzemelerinin çekme testi yapılarak elde edilen mekanik özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Resim 4.7. Çekme deneyi numune görüntüleri

a) Alüminyum sac, b) Bakır sac, c) Pirinç sac

Çizelge 4.1. Alüminyum, Bakır ve Pirinç deney malzemesinin mekanik özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı MPa	Akma Dayanımı MPa	Uzama %	Elastikiyet Modülü MPa	Poission Oranı	Özgül Ağırlığı g/cm ³	Sertlik Vickers
Bakır	105,520	105,377	50,565	43281,830	0,343	8,95	65,8
Pirinç	216,149	214,597	37,370	28754,051	0,375	8,86	171,8
Alüminyum	314,004	290,679	2,028	60230,967	0,330	2,705	261,8

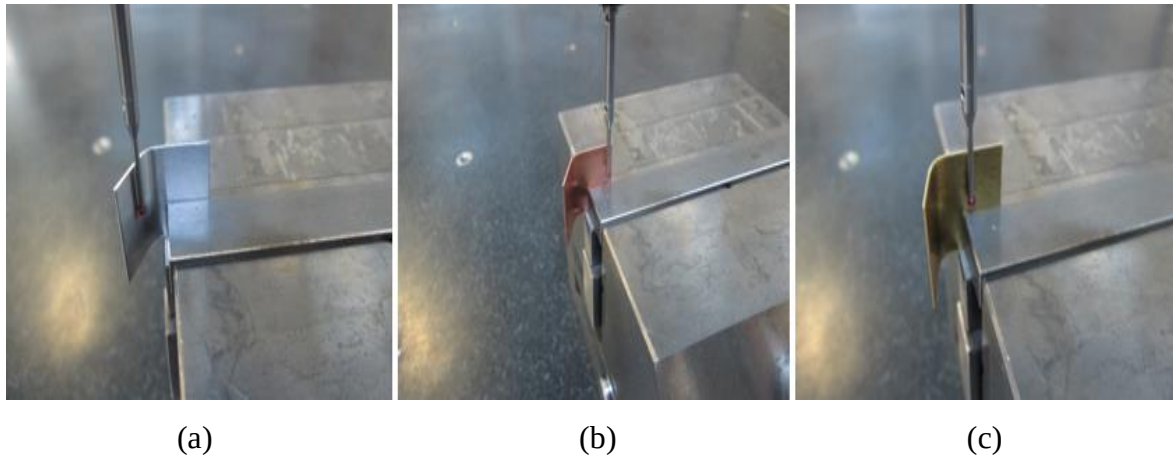
4.4. Deney Parametreleri

Deney düzeneğinin tasarımı, üretim ve kalibrasyon aşamalarının tamamlanmasından sonra Çizelge 4.3’de verilen parametrelere göre her bir malzeme türü için 60 adet deney üç defa tekrar edilerek toplamda 180 adet deney yapılmıştır. Üç malzeme türü için yapılan deney sayısı toplamda 540 adettir.

Çizelge 4.2. Deney parametreleri

Sac Malzeme Türü	Alüminyum, Bakır, Pirinç
Sac Malzeme Kalınlığı (mm)	0,5
Bükme Açısı (derece)	15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°
Bükme Sıvı Basıncı (MPa)	10, 11, 12.1, 13.3, 14.6
Ütüleme Süresi (s)	0, 10

Deneysel çalışma sonucu şekillendirilen deney numuneleri DEA marka koordinat ölçme tezgâhında (CMM) geri esneme açılarının ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. CMM tezgahında deney numunesi ölçüm görüntüleri Resim 4.8’de, CMM cihazının genel görüntüsü Resim 4.9’de verilmiştir.



Resim 4.8. Deney numunesi ölçüm görüntüleri a) Alüminyum, b) Bakır c) Pirinç.



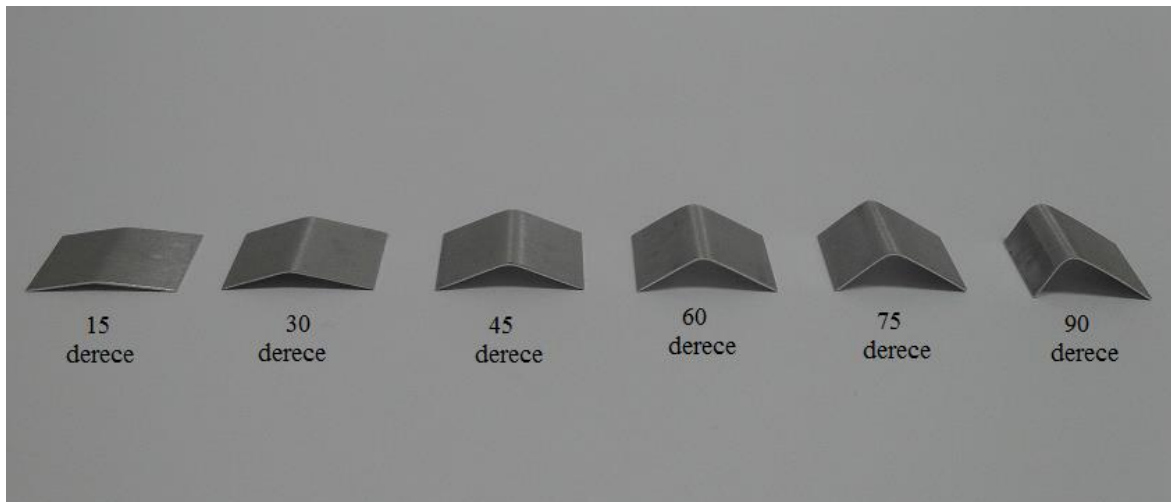
Resim 4.9. CMM cihazının genel görüntüsü

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar, kalibrasyonu yapılmış elektronik kontrollü deney düzeneğinde, belirlenen deney planına göre üç defa tekrar edilerek gerçekleştirilmiştir. Deney esnasında veri okuma işlemi de gerçekleştirilmiş ve çalışma anlık olarak grafiksel olarak da izlenmiştir. Deneysel çalışma sonuçları; bükme açısı, bükme sıvı basıncı basıncı, ütüleme süresi ve malzeme sertliği parametrelerinin geri esnemeye etkileri açısından yorumlanmıştır. Deney sonuçları her bir malzeme türü için ayrı bölümler halinde verilmiştir.

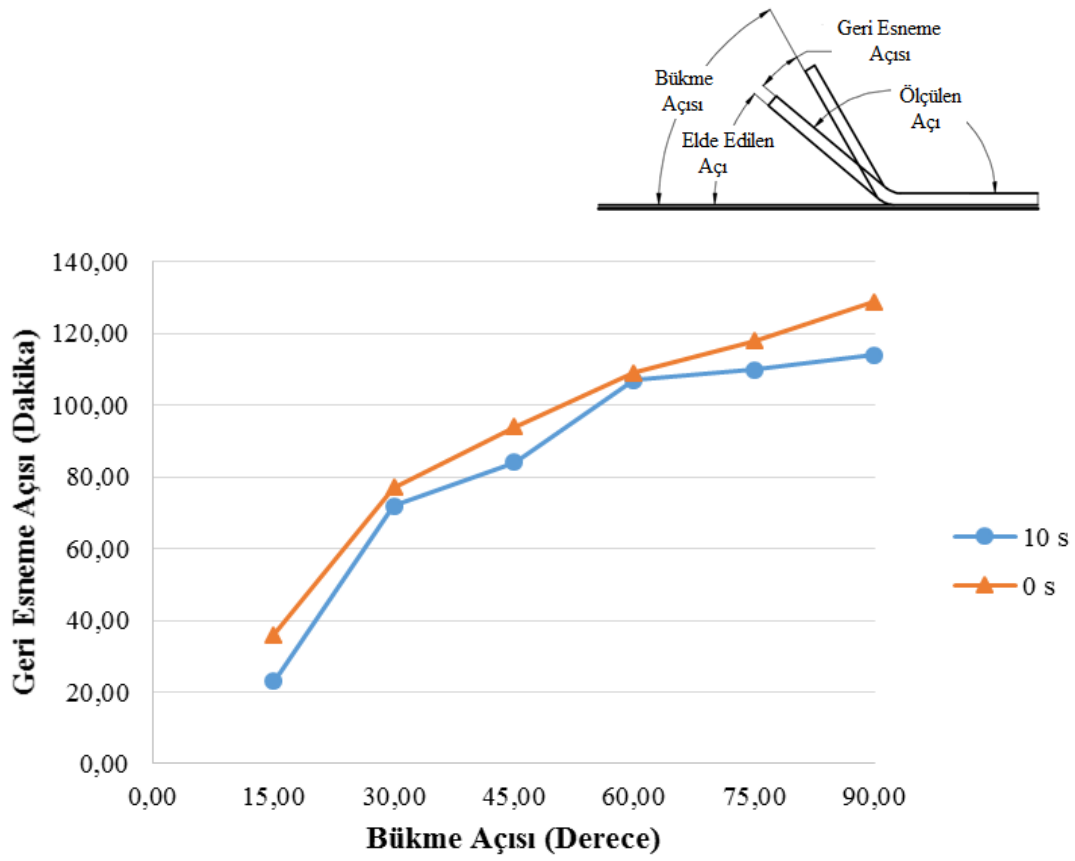
5.1. Alüminyum Malzeme Deney Sonuçları

Alüminyum sac malzemenin sıvı basıncıyla bükme yöntemiyle şekillendirilmesinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Farklı bükme açılarında şekillendirilmiş Alüminyum malzeme görüntüsü Resim 5.1' de verilmiştir



Resim 5.1. Farklı bükme açılarında şekillendirilmiş alüminyum malzeme görüntüsü

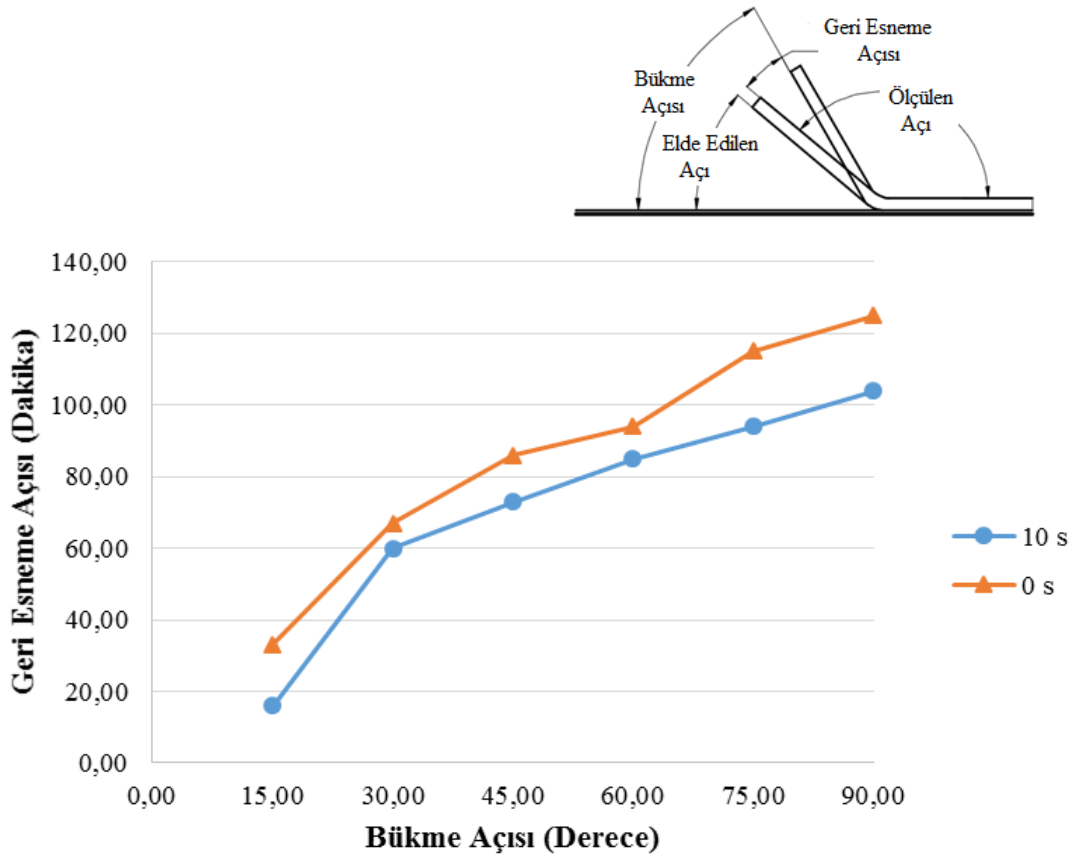
Sonuçlar öncelikle her bir 10 MPa, 11 MPa, 12,1 MPa, 13,3 MPa, 14,6 MPa basınç değerinde bükme açısı ve geri esneme açısı arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar grafik olarak aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.1. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 10 MPa

Çizelge 5.1. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 10 MPa

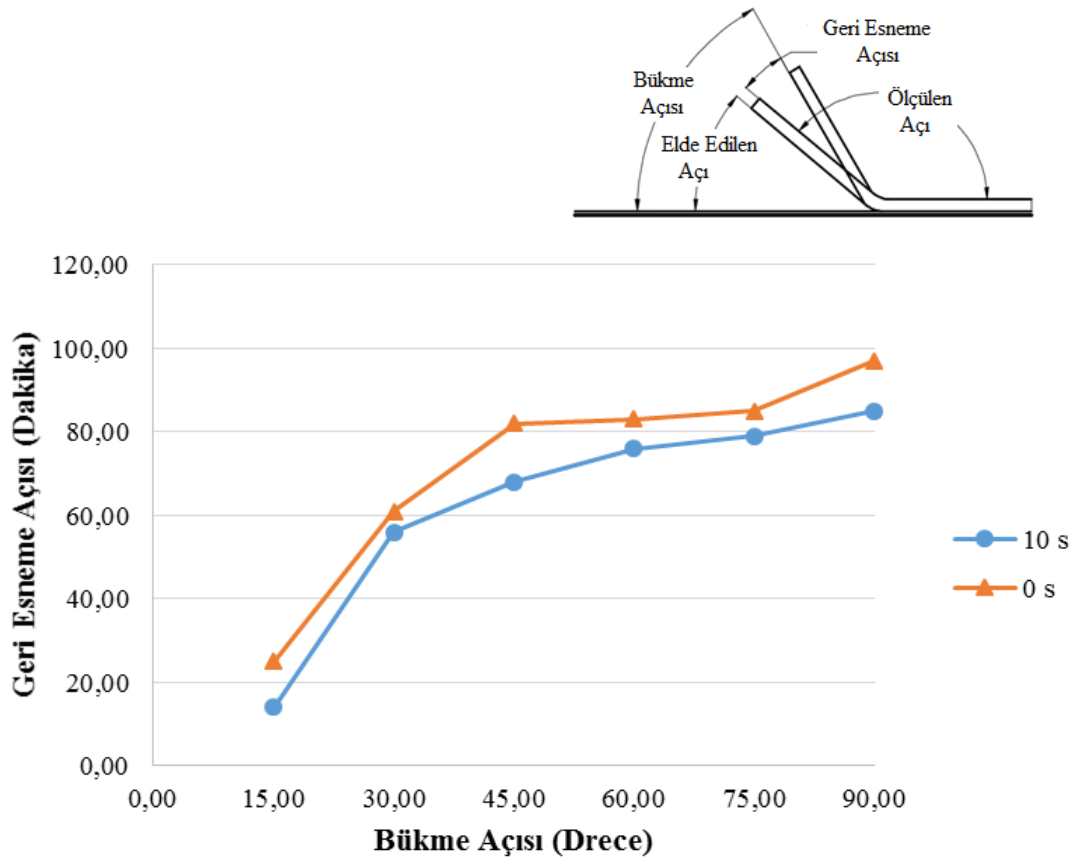
Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	36	77	94	109	118	129
Ütüleme Süresi, 10 s.	23	72	84	107	110	114



Şekil 5.2. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 11 MPa

Çizelge 5.2. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 11 MPa

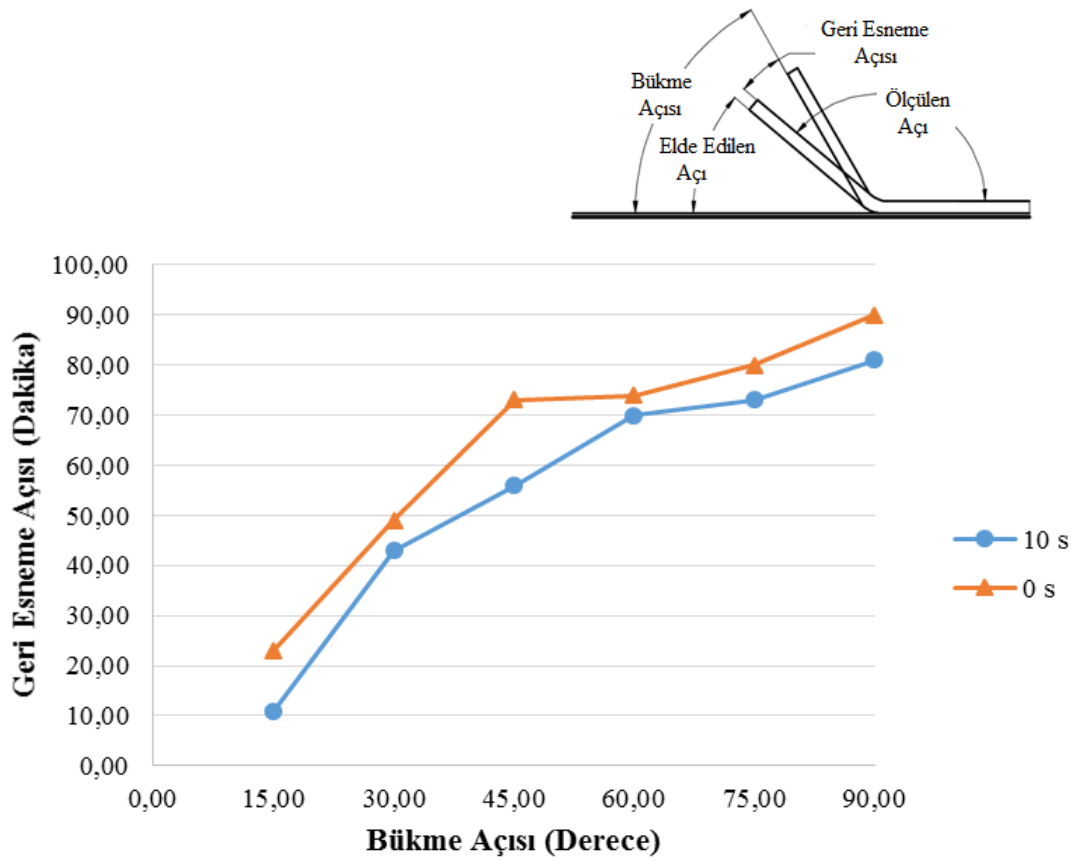
Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	33	67	86	104	115	125
Ütüleme Süresi, 10 s.	16	60	73	85	94	104



Şekil 5.3. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 12,1 MPa

Çizelge 5.3. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 12,1 MPa

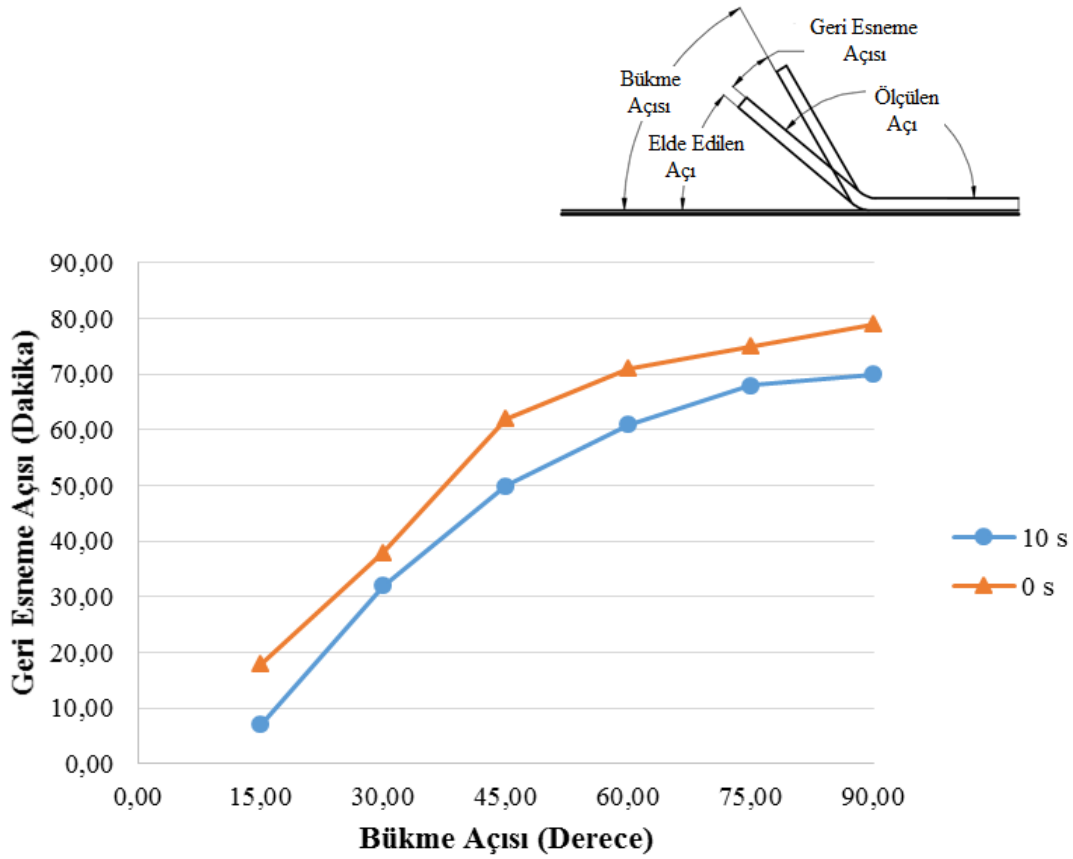
Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	25	61	82	83	85	97
Ütüleme Süresi, 10 s.	14	56	68	76	79	85



Şekil 5.4. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 13,3 MPa

Çizelge 5.4. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 13,3 MPa

Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	23	49	73	74	80	90
Ütüleme Süresi, 10 s.	11	43	56	70	73	81

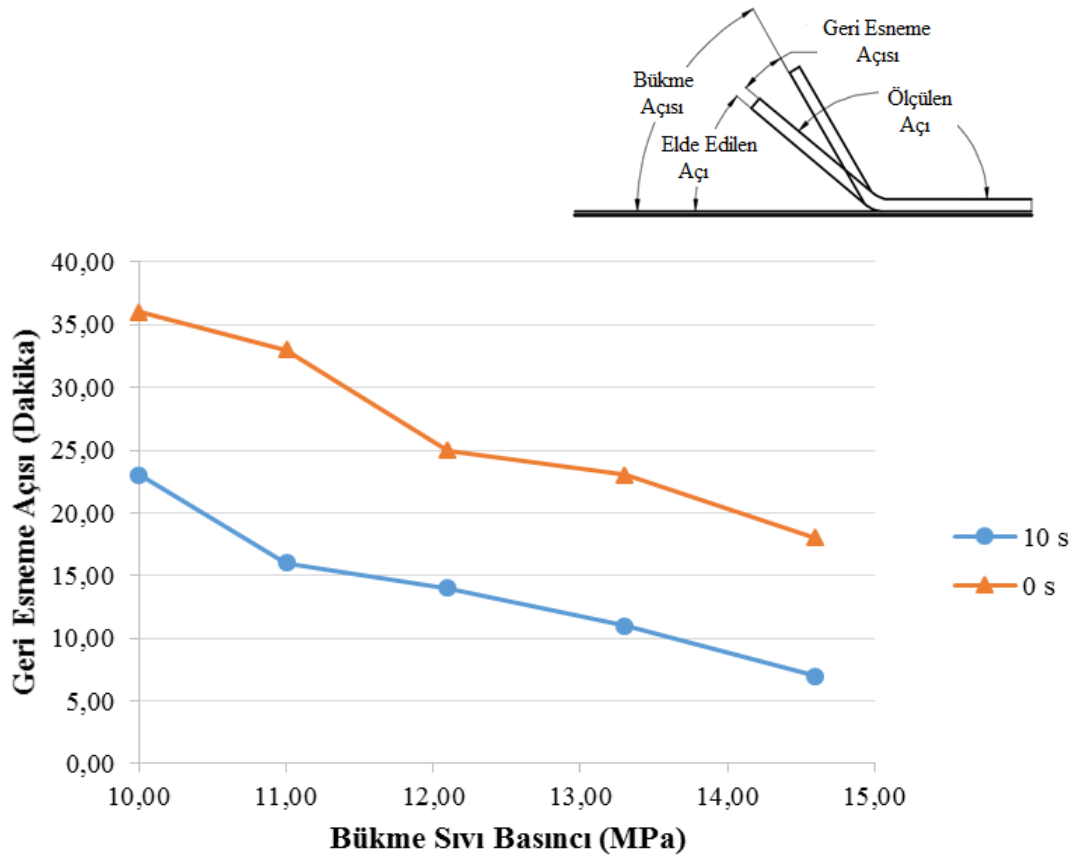


Şekil 5.5. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 14,6 MPa

Çizelge 5.5. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 14,6 MPa

Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	18	38	62	71	75	79
Ütüleme Süresi, 10 s.	7	32	50	61	68	70

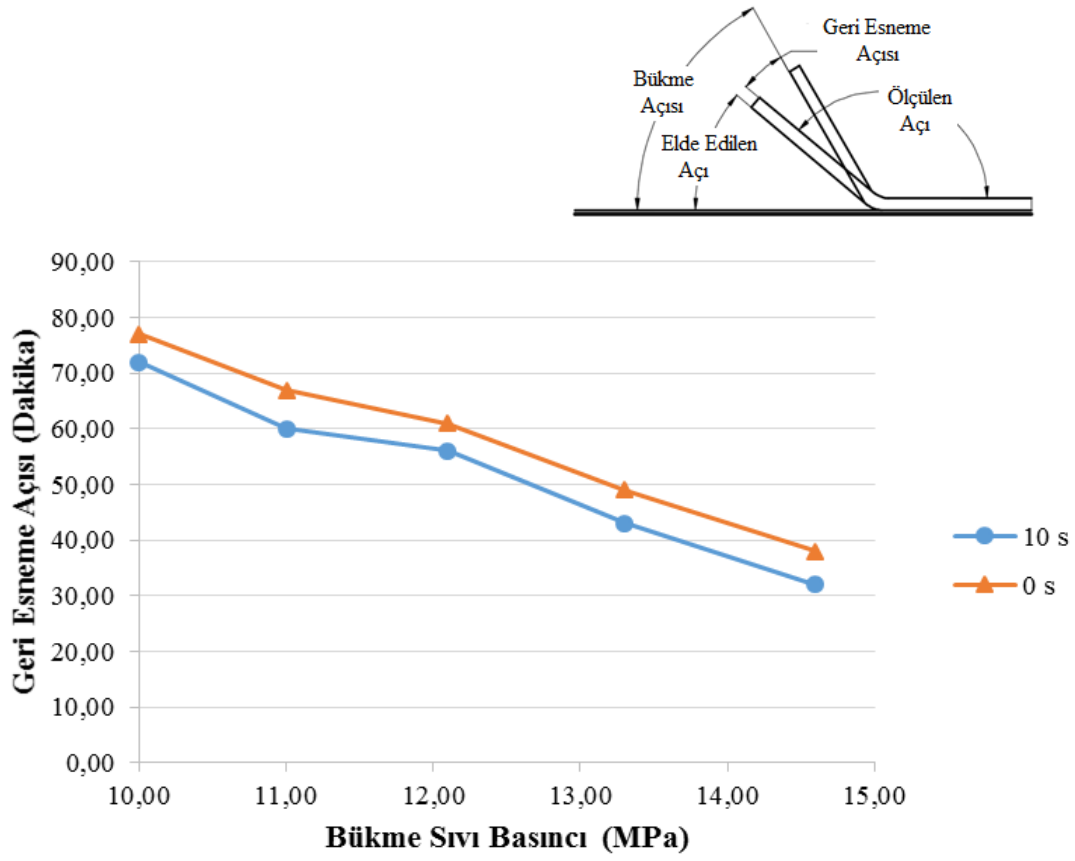
Elde edilen deney sonuçlarından, bükme açısının artmasıyla geri esneme miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. 10 s.'lik ütüleme süresinin de geri esnemeyi yaklaşık 0-10 dk. azaltan bir parametre olduğu belirlenmiştir. 15 derecelik bükme açılarında geri esnemenin en büyük 36 dk. olduğu açı büyüdüğünde bu değerin 129 dk.'ya kadar arttığı tespit edilmiştir. Bükme açısındaki artışın farklı malzeme türleri içinde geri esneme miktarını artıran bir parametre olduğu tespit edilmiştir [3]. Alüminyum sac malzeme için incelenen bir diğer deney sonucu da, her bir bükme açısında, bükme sıvı basıncı basıncındaki değişime göre geri esneme miktarının değişimidir. Elde edilen deney sonuçları grafik ve çizelge olarak aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.6. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 15 Derece

Çizelge 5.6. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 15 Derece

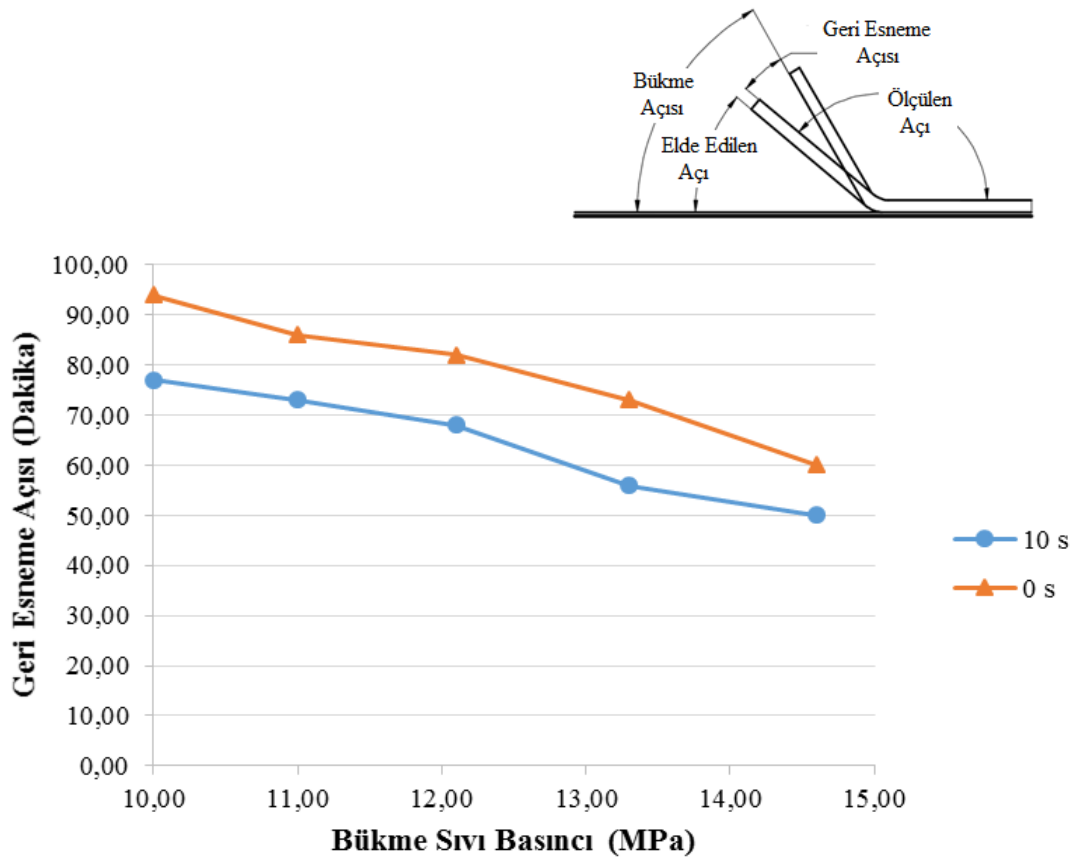
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	36	33	25	23	18
Ütüleme Süresi, 10 s.	23	16	14	11	7



Şekil 5.7. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 30 Derece

Çizelge 5.7. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 30 Derece

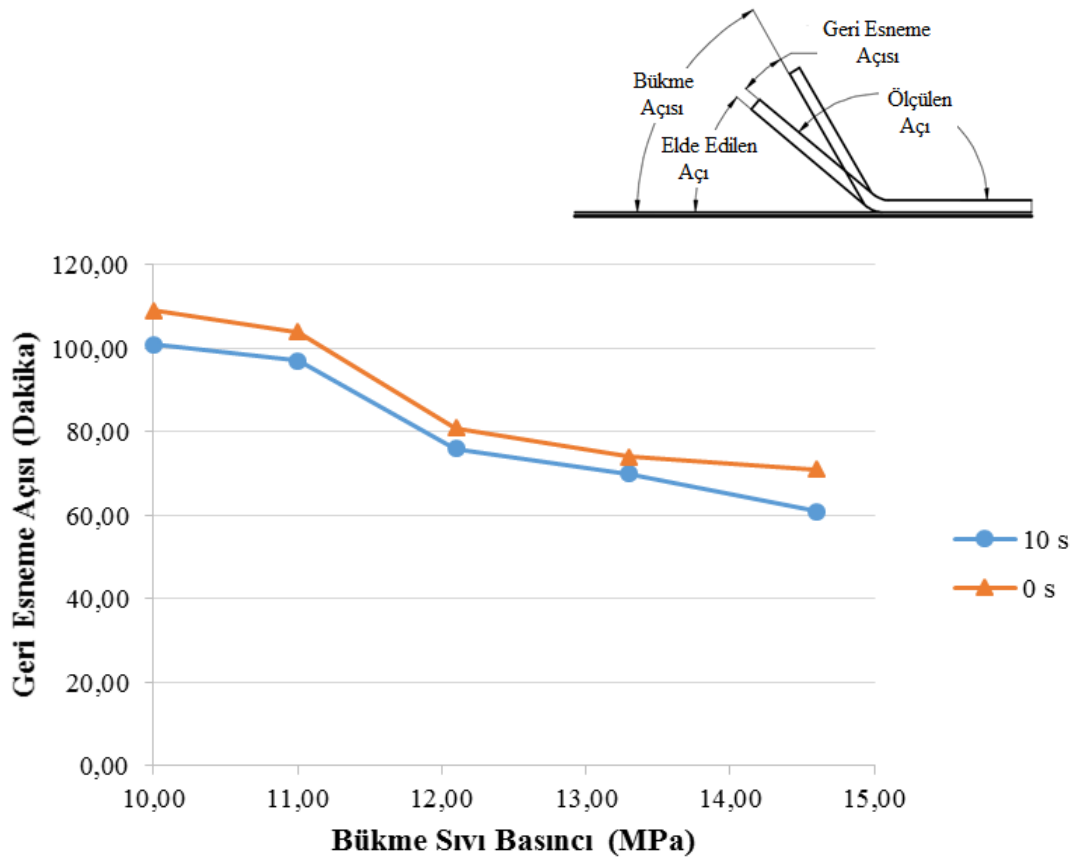
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	77	67	61	49	38
Ütüleme Süresi, 10 s.	72	60	56	43	32



Şekil 5.8. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 45 Derece

Çizelge 5.8. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 45 Derece

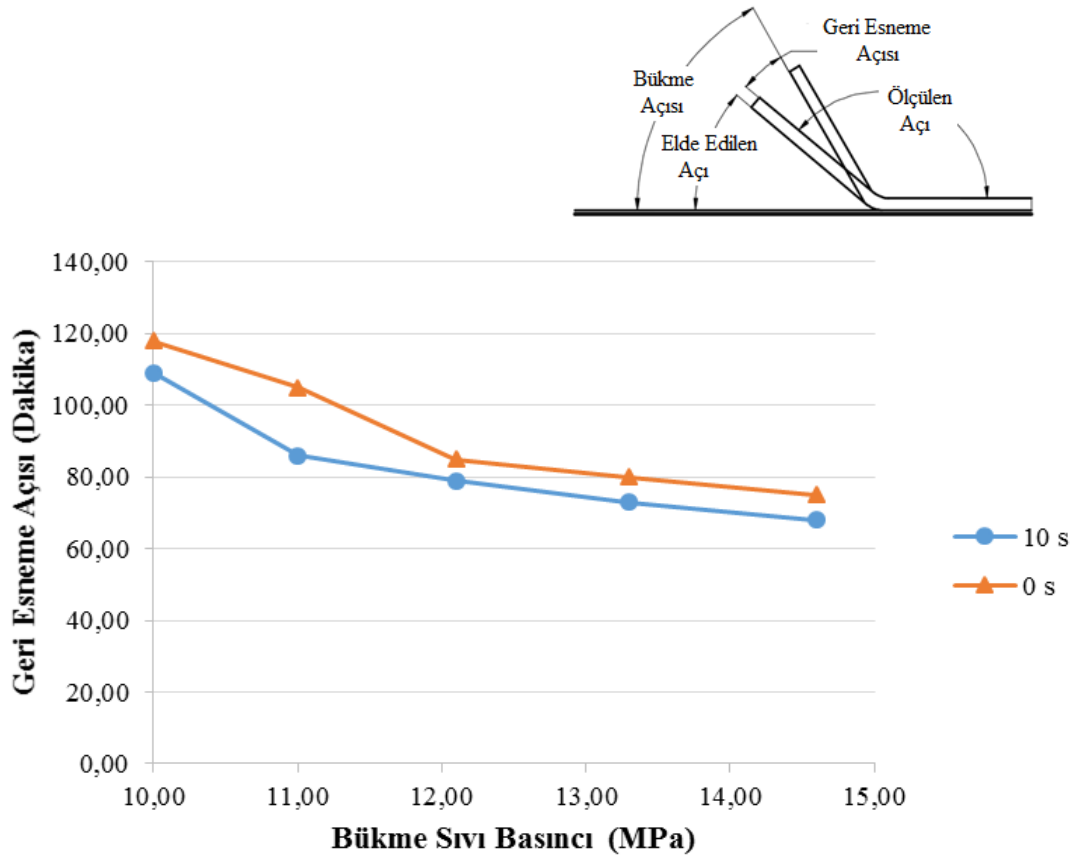
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	94	86	82	73	60
Ütüleme Süresi, 10 s.	77	73	68	56	50



Şekil 5.9. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 60 Derece

Çizelge 5.9. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 60 Derece

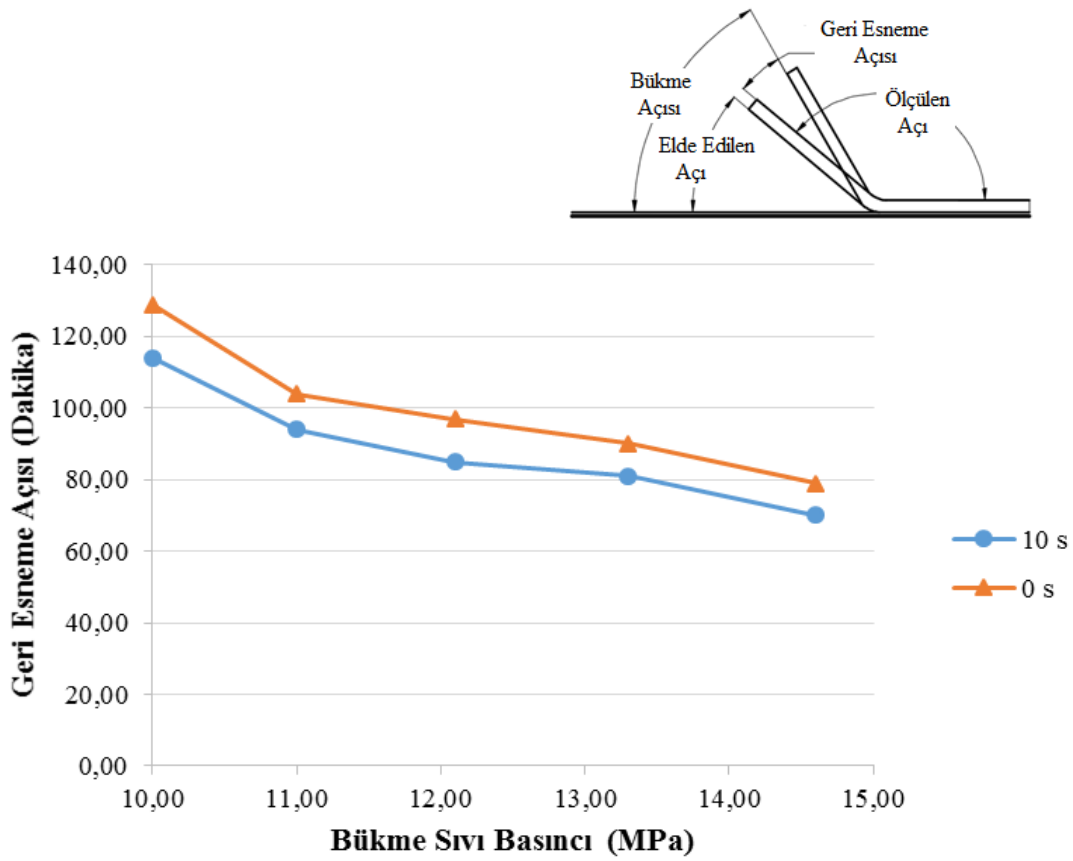
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	109	104	81	74	71
Ütüleme Süresi, 10 s.	101	97	76	70	61



Şekil 5.10. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 75 Derece

Çizelge 5.10. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 75 Derece

Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	118	105	85	80	75
Ütüleme Süresi, 10 s.	109	86	79	73	68



Şekil 5.11. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 90 Derece

Çizelge 5.11. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 90 Derece

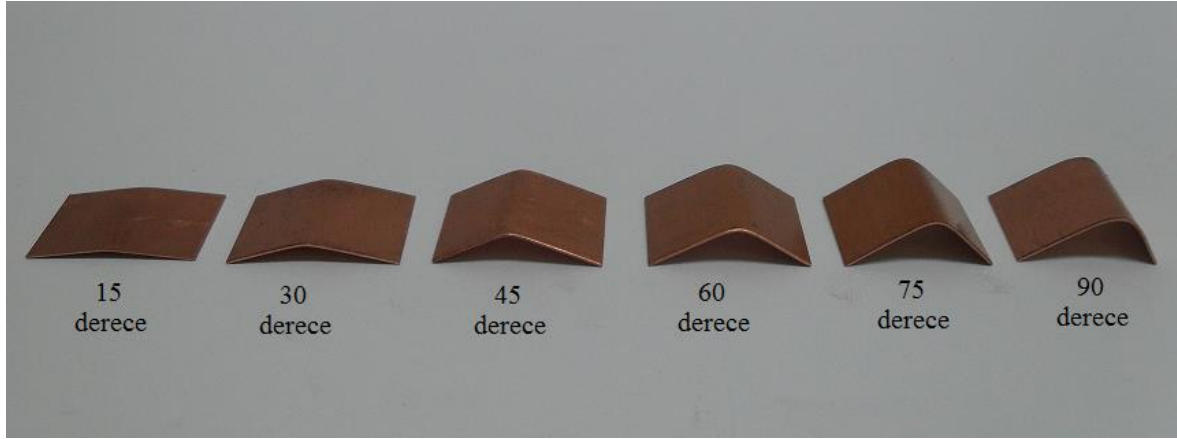
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	129	104	97	90	79
Ütüleme Süresi, 10 s.	114	94	85	81	70

Elde edilen deney sonuçlarından bükme sıvı basıncındaki artışının geri esnemeyi azalttığı tespit edilmiştir. Bükme sıvı basıncındaki % 10'luk artışın geri esnemeye değerini 3 dk. ile 25 dk. arasında azalttığı belirlenmiştir.

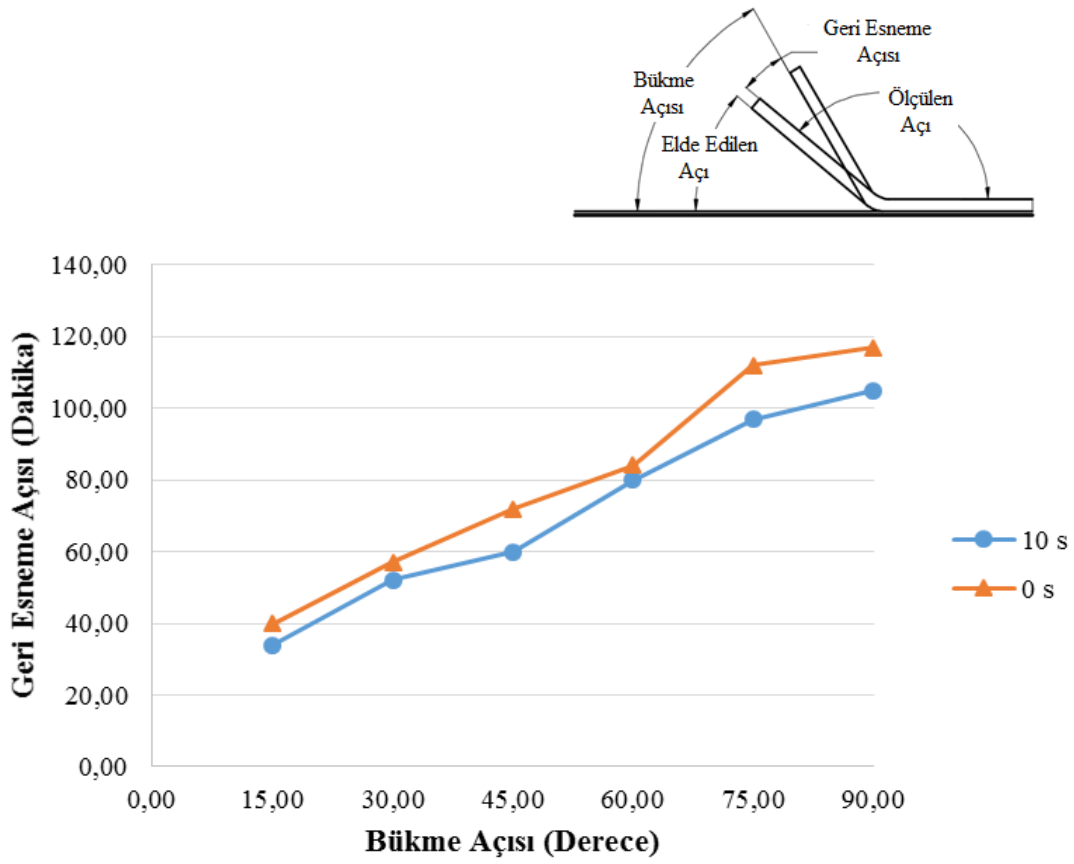
Yapılan diğer bir çalışmada da Alüminyum malzeme türü için bükme sıvı basıncının geri esnemeyi azaltan bir parametre olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir [34].

5.2. Bakır Malzeme Deney Sonuçları

Farklı bükme açıları ve bükme sıvı basıncıları ile ütüleme süresinin geri esnemeye etkileri bakır sac malzeme içinde incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda farklı kalıp açılarında şekillendirilmiş deney numuneleri görüntüleri Resim 5.2.'de verilmiştir.



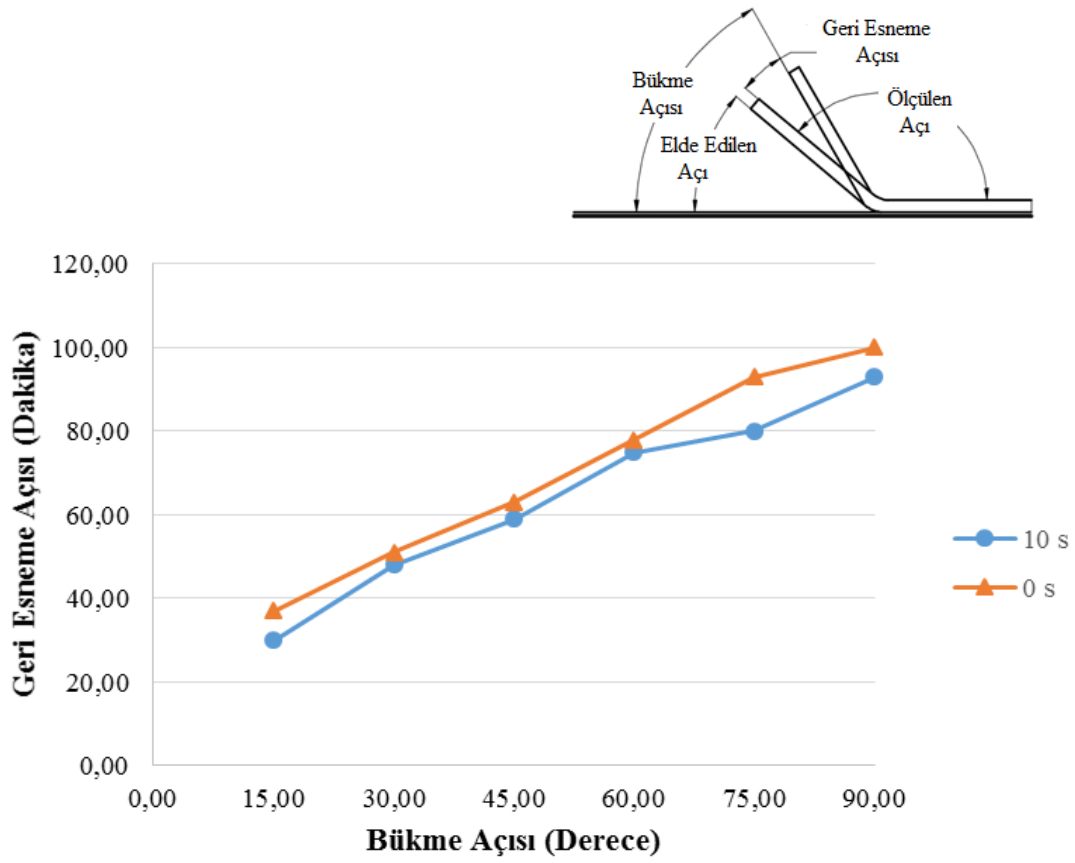
Resim 5.2. Farklı bükme açılarında şekillendirilmiş bakır malzeme görüntüsü



Şekil 5.12. Bükme açısı – ütleme süresi deney sonuçları – 10 MPa

Çizelge 5.12. Bükme açısı – ütleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 10 MPa

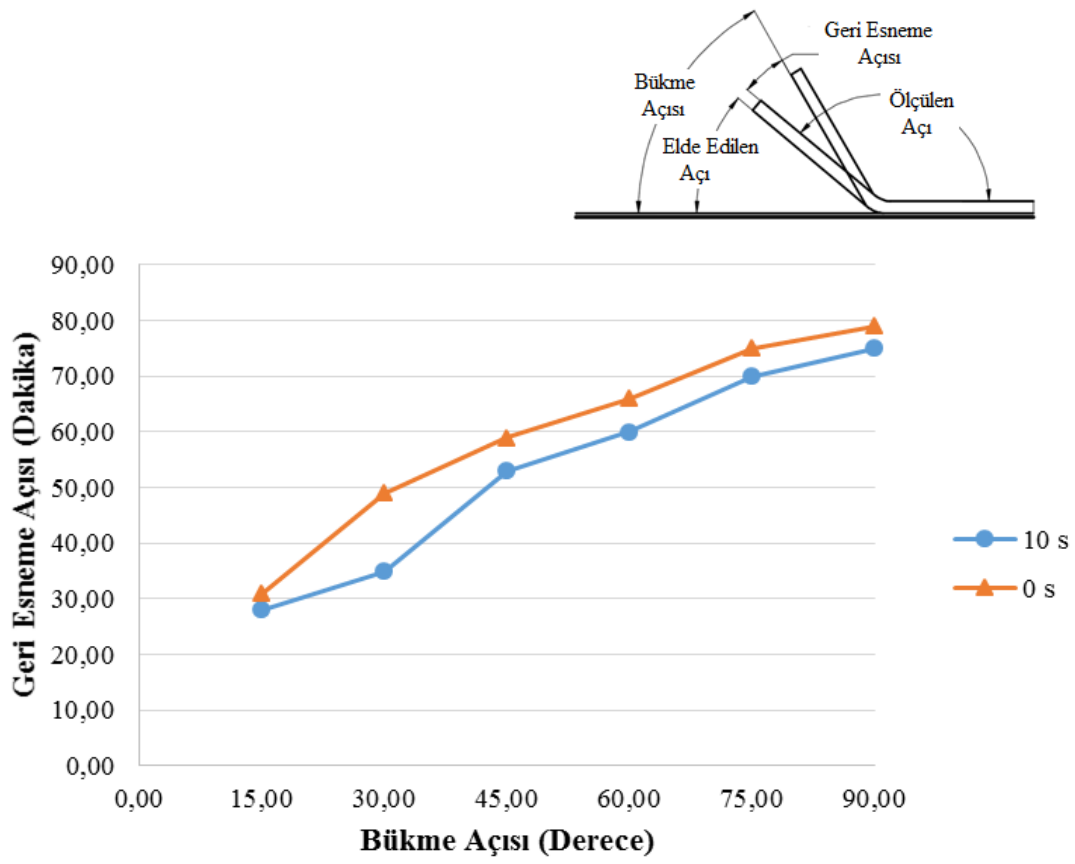
Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütleme Süresi, 0 s.	40	57	72	84	112	117
Ütleme Süresi, 10 s.	34	52	60	80	97	105



Şekil 5.13. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 11 MPa

Çizelge 5.13. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 11 MPa

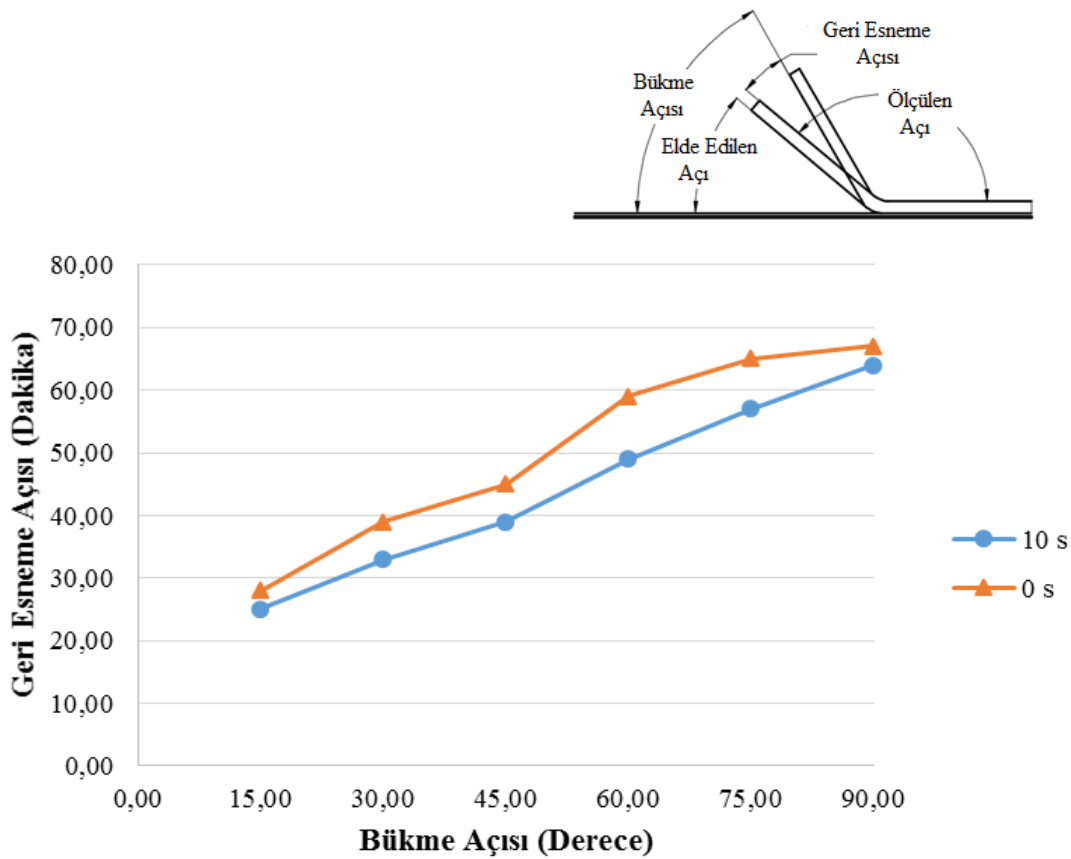
Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	37	51	63	78	93	100
Ütüleme Süresi, 10 s.	30	48	59	75	80	93



Şekil 5.14. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 12,1 MPa

Çizelge 5.14. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 12,1 MPa

Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	31	49	59	66	75	79
Ütüleme Süresi, 10 s.	28	35	53	60	70	75

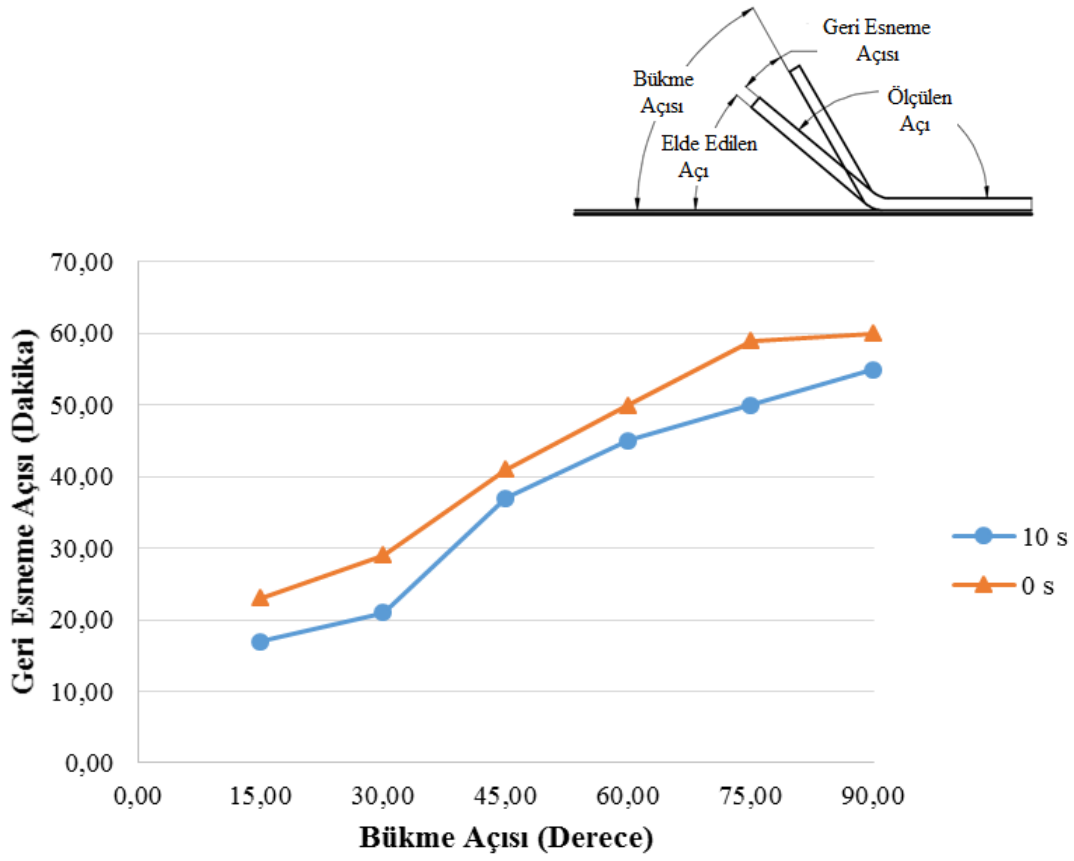


Şekil 5.15. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 13,3 MPa

Çizelge 5.15. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 13,3 MPa

Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	28	39	45	59	65	67
Ütüleme Süresi, 10 s.	25	33	39	49	57	64

Bükme açısındaki artışın bakır sac malzeme içinde geri esneme miktarının artan bir etken olduğu tespit edilmiştir. Bükme açısındaki artışa bağlı olarak geri esneme değerinin 4-28 dk. aralığında arttığı, buna karşılık ütüleme süresinin de geri esneme değerini 3-15 dk. aralığında azaltan bir parametre olduğu belirlenmiştir. Klasik kalıplama ile bükme işlemlerinde Bakır sac malzeme türü için geri esneme değerinin 90 derecelik kalıpta 120 dk.'ya kadar çıktığı ancak sıvı basıncı ile bükme yönteminde bu değer basınç arttıkça 67 dk.'ya kadar düştüğü, ütüleme süresi ile bu değer 64 dk.'ya kadar düştüğü tespit edilmiştir [1].

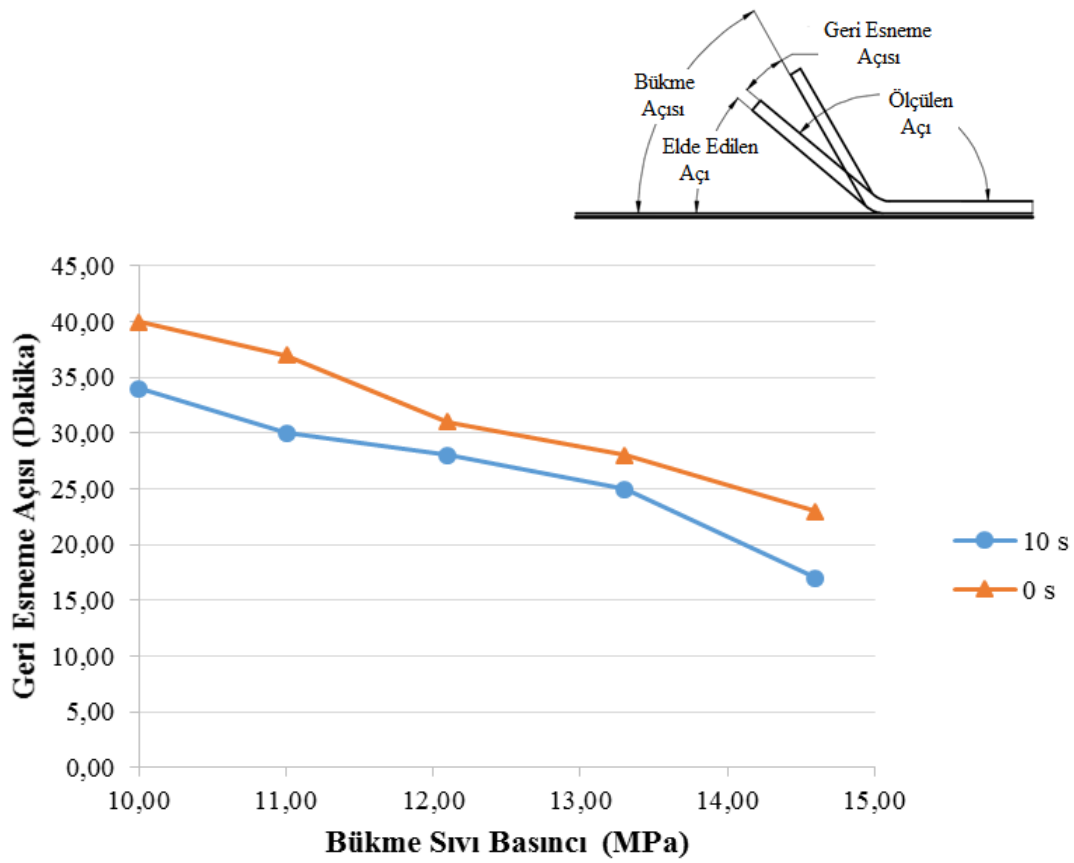


Şekil 5.16. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 14,6 MPa

Çizelge 5.16. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 14,6 MPa

Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	23	29	41	50	59	60
Ütüleme Süresi, 10 s.	17	21	37	45	50	55

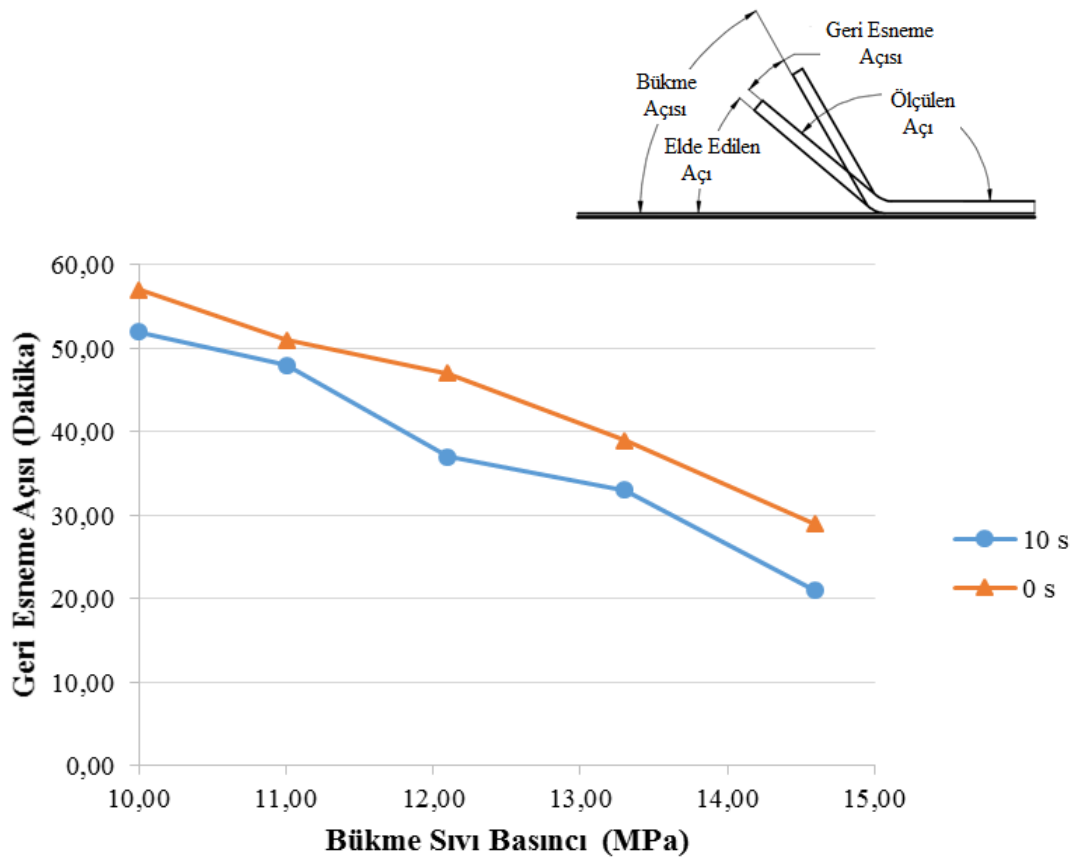
Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar bükme sıvı basıncı açısından da değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak ta aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.17. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 15 Derece

Çizelge 5.17. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 15 Derece

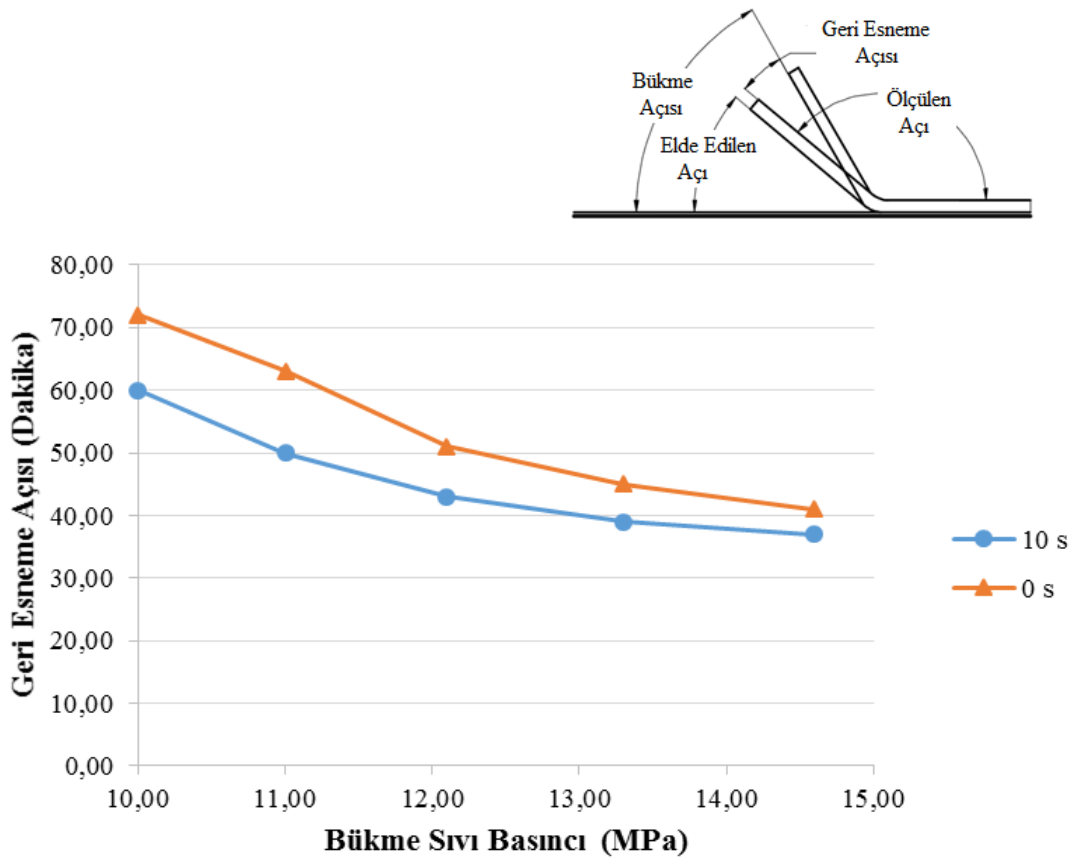
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	40	37	31	28	23
Ütüleme Süresi, 10 s.	34	30	28	25	17



Şekil 5.18. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 30 Derece

Çizelge 5.18. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 30 Derece

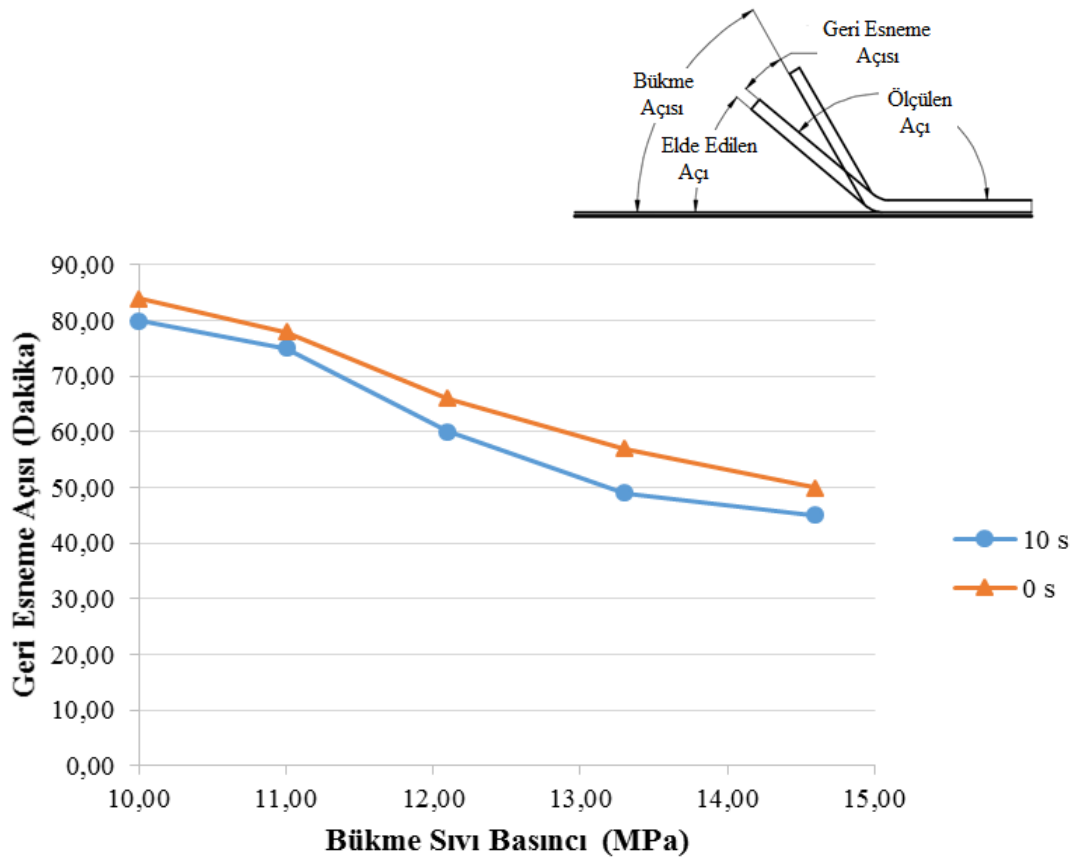
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	57	51	47	39	29
Ütüleme Süresi, 10 s.	52	48	37	33	21



Şekil 5.19. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 45 Derece

Çizelge 5.19. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 45 Derece

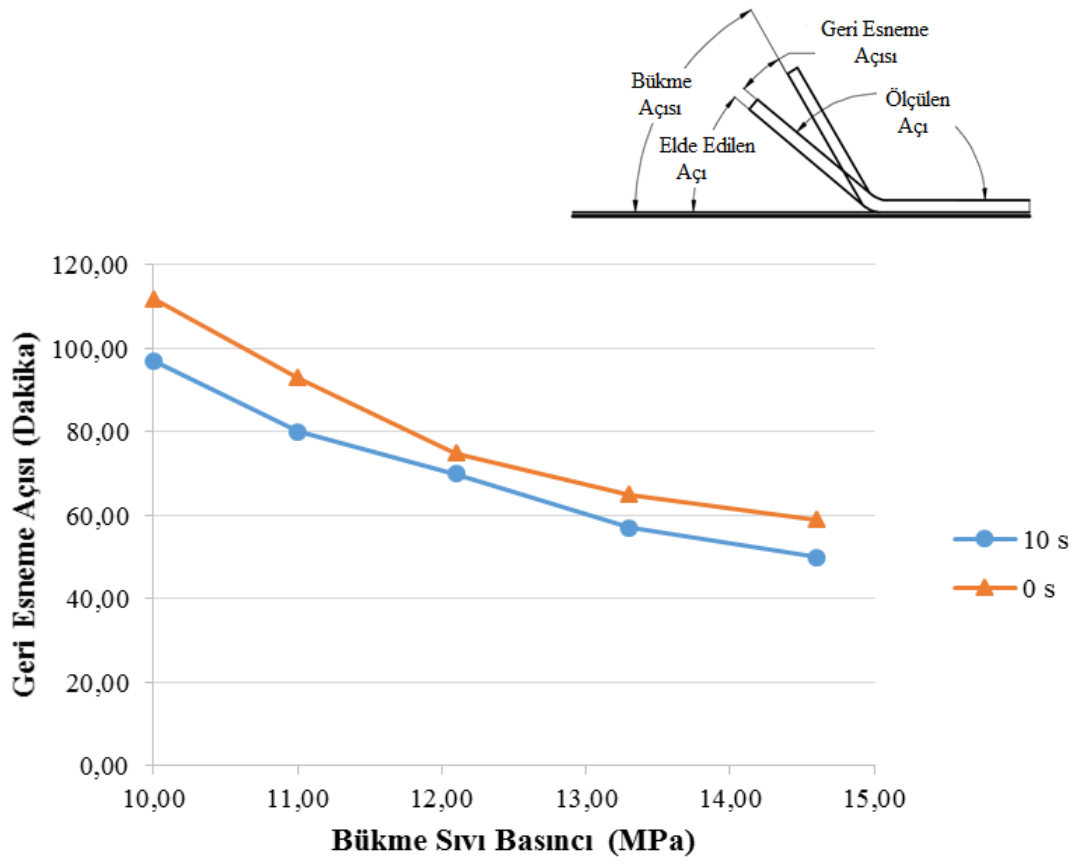
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	72	63	51	45	41
Ütüleme Süresi, 10 s.	60	50	43	39	37



Şekil 5.20. Bükme sıvı basıncı – ütöleme süresi deney sonuçları – 60 Derece

Çizelge 5.20. Bükme sıvı basıncı – ütöleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 60 Derece

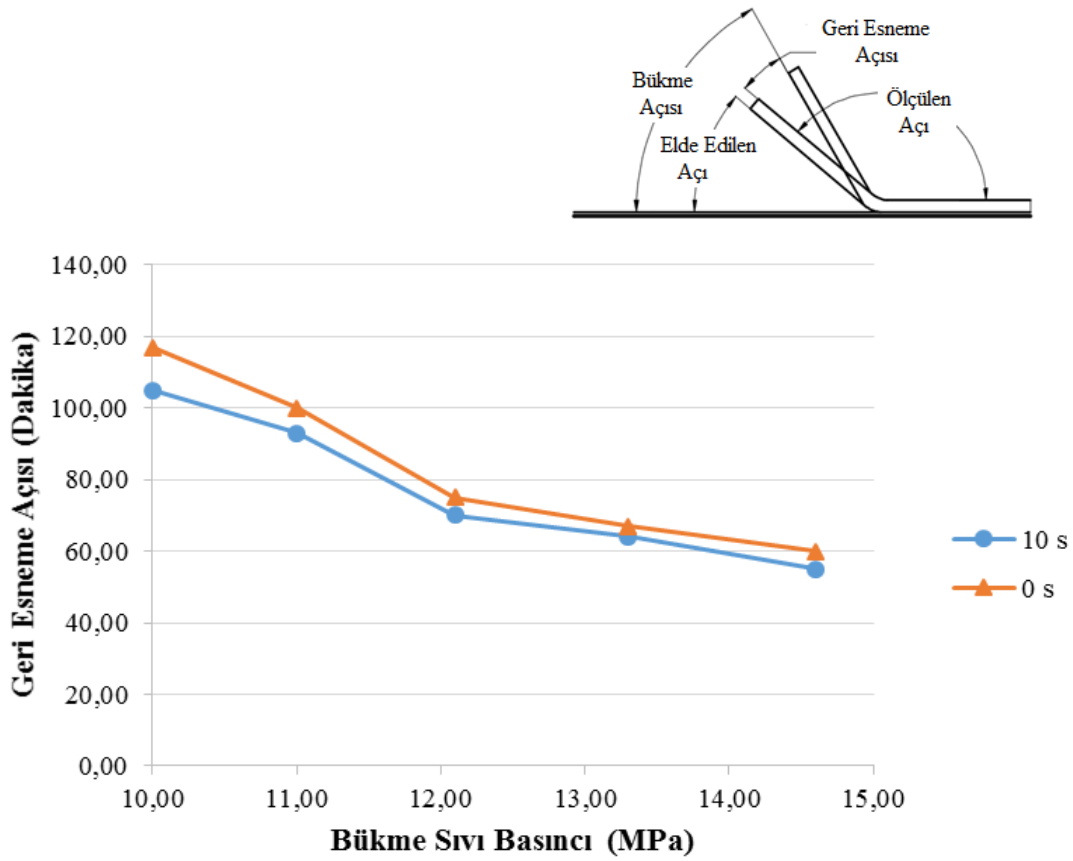
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütöleme Süresi, 0 s.	84	78	66	57	50
Ütöleme Süresi, 10 s.	80	75	60	49	45



Şekil 5.21. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 75 Derece

Çizelge 5.21. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 75 Derece

Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	112	93	75	65	59
Ütüleme Süresi, 10 s.	97	80	60	57	50



Şekil 5.22. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 90 Derece

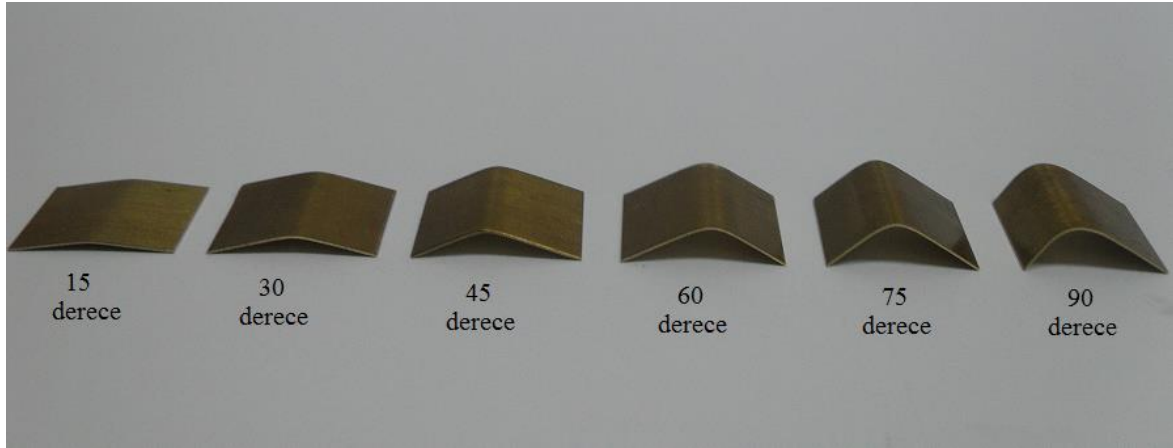
Çizelge 5.22. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 90 Derece

Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	117	100	75	67	60
Ütüleme Süresi, 10 s.	105	93	70	64	55

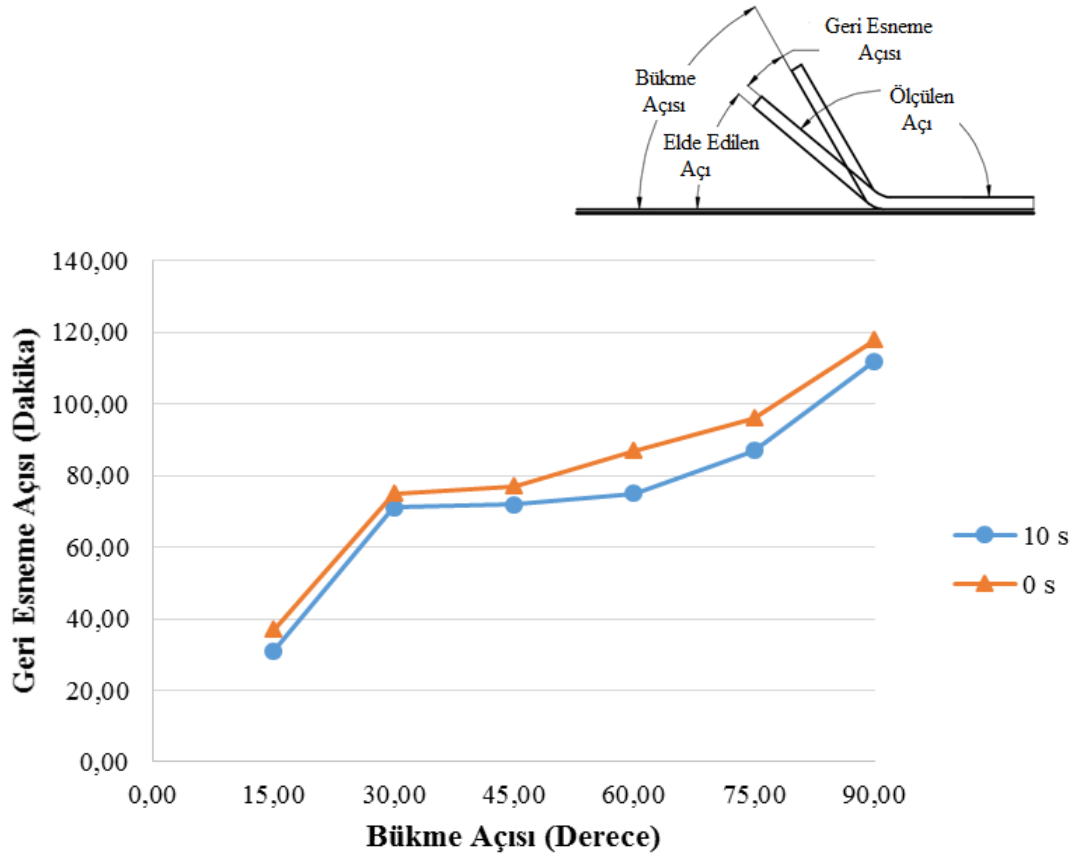
Bakır sac malzeme türü için de bükme sıvı basıncının bükme işlemlerinde anahtar bir parametre olduğu görülmüştür. Bükme sıvı basınçtaki %10'luk artışın geri esnemeyi 3-25 dk. arasında azaltan bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Bu durum bükme sıvı basıncındaki artışın geri esneme miktarını azalttığını göstermiştir.

5.3. Pirinç Malzeme Deney Sonuçları

Pirinç malzemenin sıvı basıncıyla bükme parçası sonucu elde edilen deney sonuçları aşağıda verilmiştir. Sıvı basıncıyla şekillendirilen pirinç malzemelerin görüntüsü Resim 5.3.'de verilmiştir.



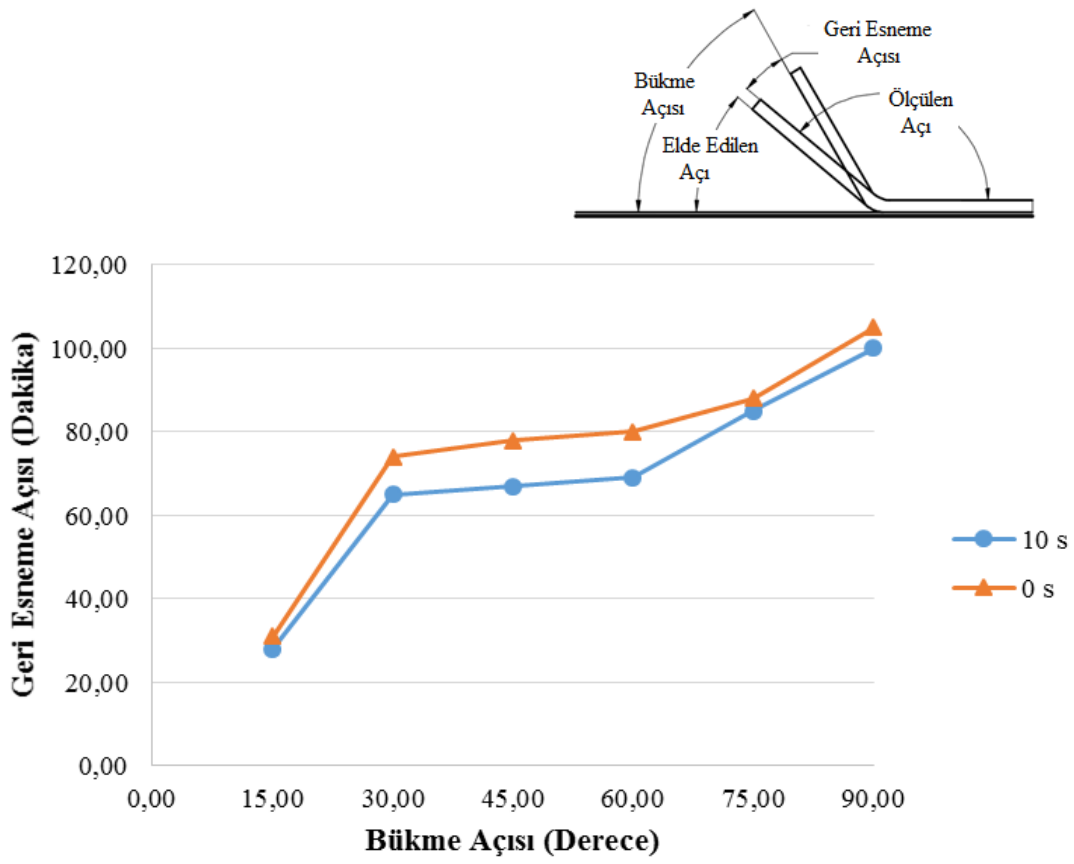
Resim 5.3. Farklı bükme açılarında şekillendirilmiş pirinç malzeme görüntüsü



Şekil 5.23. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 10 MPa

Çizelge 5.23. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 10 MPa

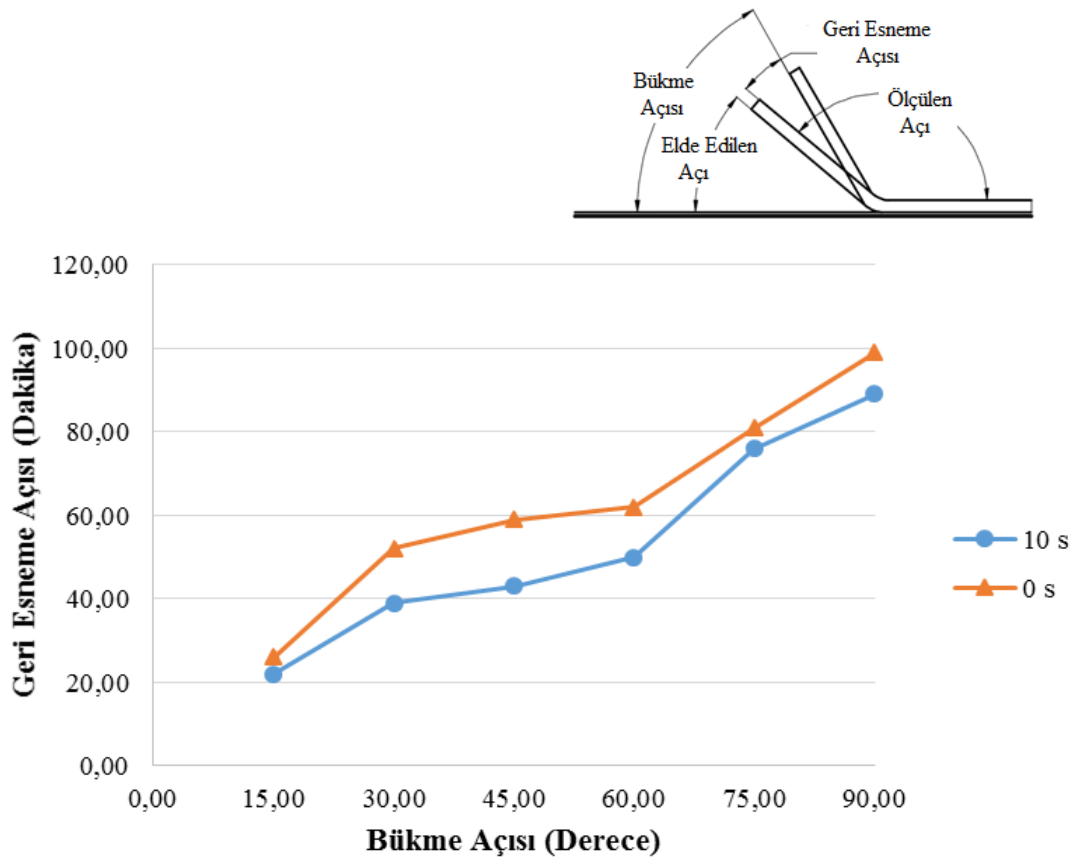
Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	37	75	77	87	96	118
Ütüleme Süresi, 10 s.	31	71	72	75	87	112



Şekil 5.24. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 11 MPa

Çizelge 5.24. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 11 MPa

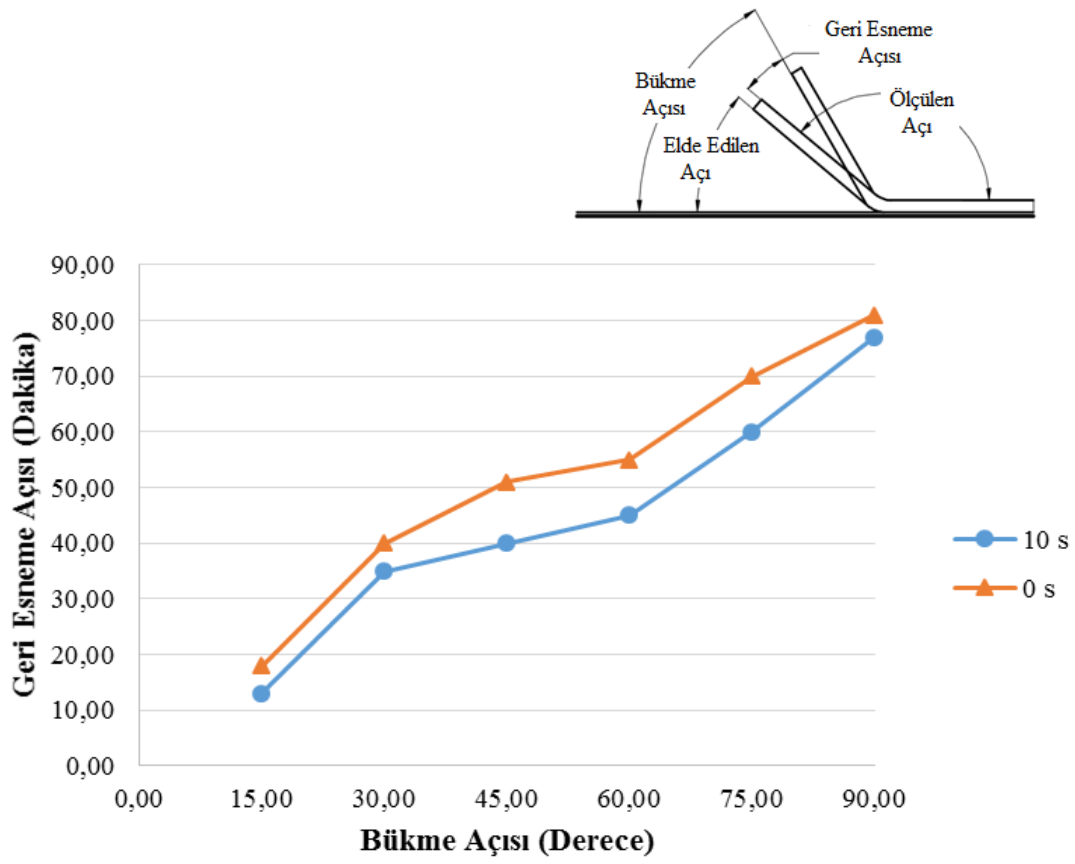
Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	31	74	78	80	88	105
Ütüleme Süresi, 10 s.	28	65	67	69	85	100



Şekil 5.25. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 12,1 MPa

Çizelge 5.25. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 12,1 MPa

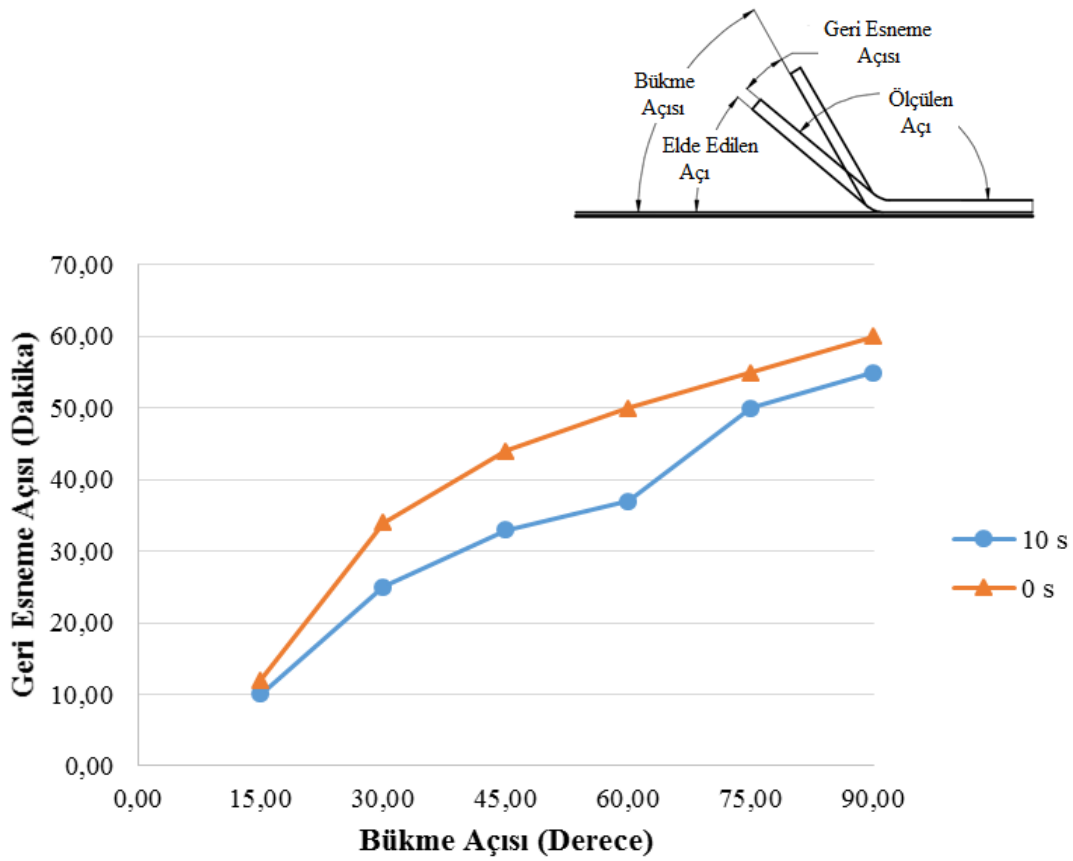
Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	26	52	59	62	81	99
Ütüleme Süresi, 10 s.	22	39	43	50	76	89



Şekil 5.26. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 13,3 MPa

Çizelge 5.26. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 13,3 MPa

Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	18	40	51	55	70	81
Ütüleme Süresi, 10 s.	13	35	40	45	60	77



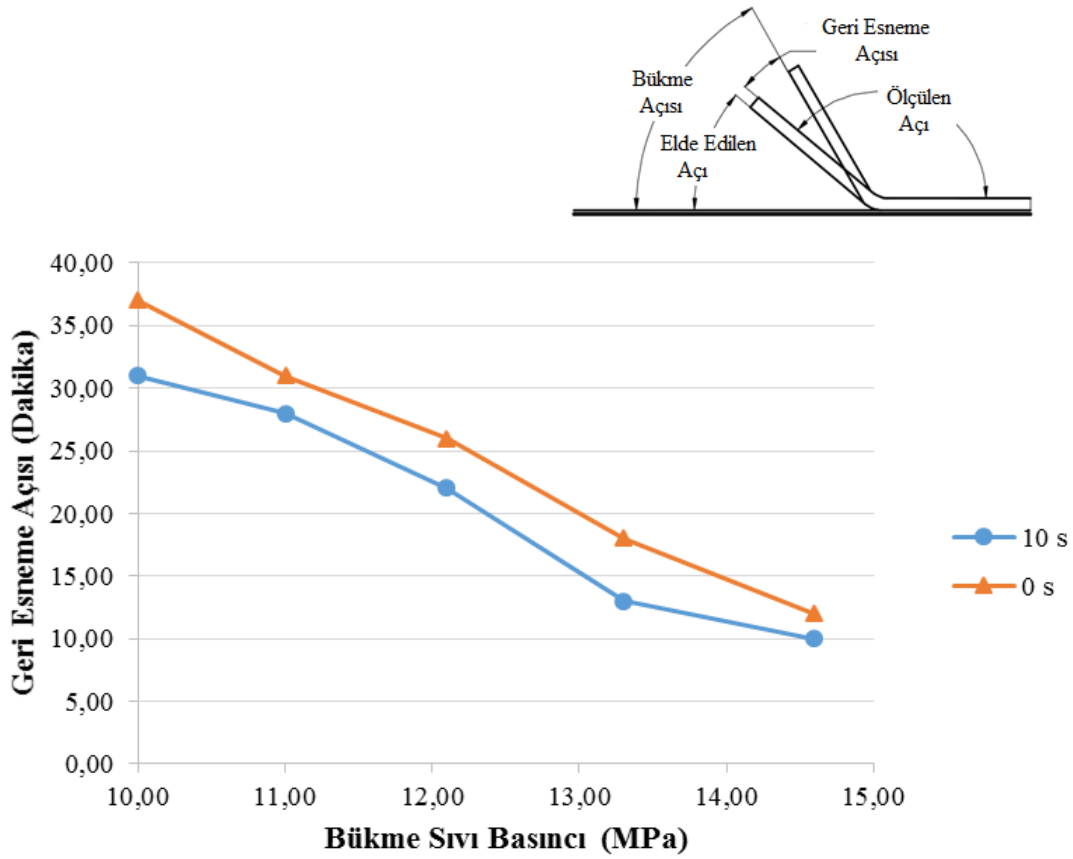
Şekil 5.27. Bükme açısı – ütüleme süresi deney sonuçları – 14,6 MPa

Çizelge 5.27. Bükme açısı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 14,6 MPa

Bükme Açısı, derece	15	30	45	60	75	90
Ütüleme Süresi, 0 s.	12	34	44	50	55	60
Ütüleme Süresi, 10 s.	10	25	33	37	50	55

Bükme açısındaki artış geri esnemeyi artırmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda Piriç malzeme türü içinde bükme açısının artmasıyla geri esnemenin arttığı gözlemlenmiştir. 15 derecelik kalıpta en büyük 37 dk. geri esneme değeri elde edilebilirken bükme açısının 90 dereceye çıkmasıyla bu değer en fazla 118 dk.'ya kadar çıkmıştır. Klasik kalıplama işlerinde 0,5 mm kalınlıkta Piriç malzeme türü için 15 derecelik kalıpta 59 dk. geri esneme edilirken bükme açısı 90 derece olduğunda geri esneme 164 dk. elde edilmiştir. Bu durum sıvı basıncı ile bükmenin en önemli avantajını ortaya koymaktadır.

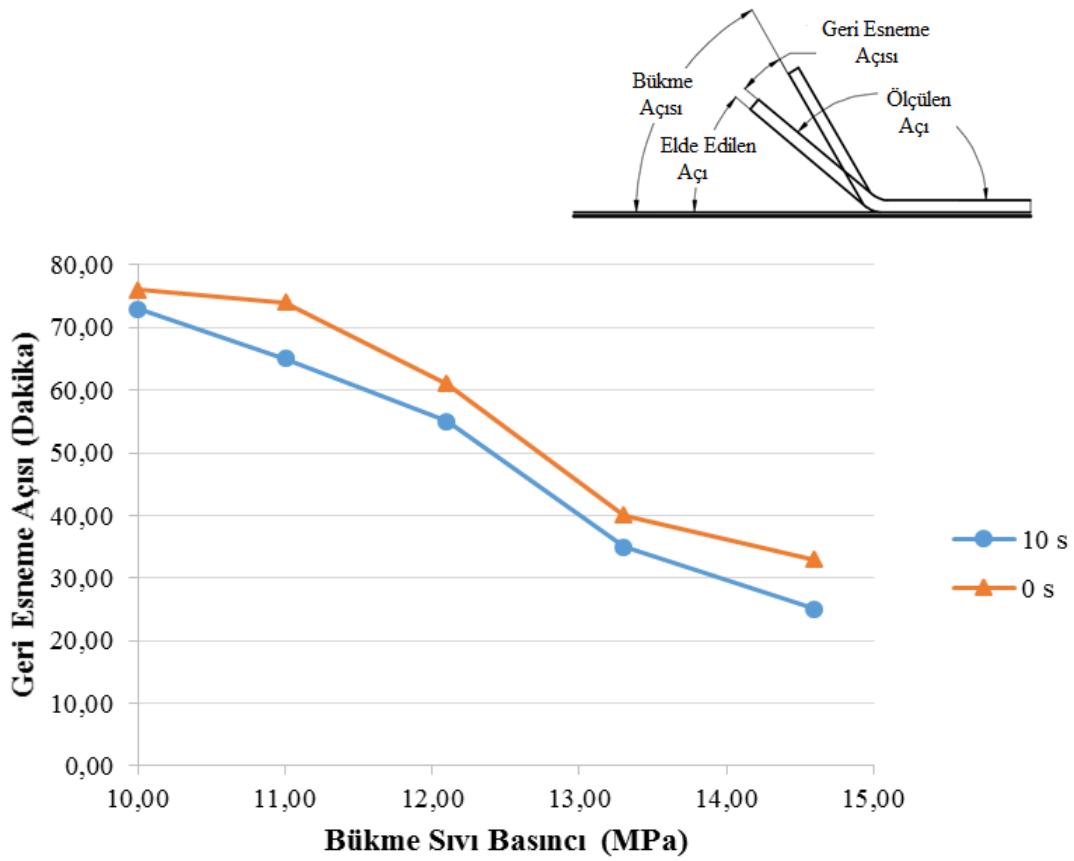
Bükme sıvı basıncındaki değişime göre geri esneme açısındaki değişimi gösteren deney sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.28. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 15 Derece

Çizelge 5.28. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 15 Derece

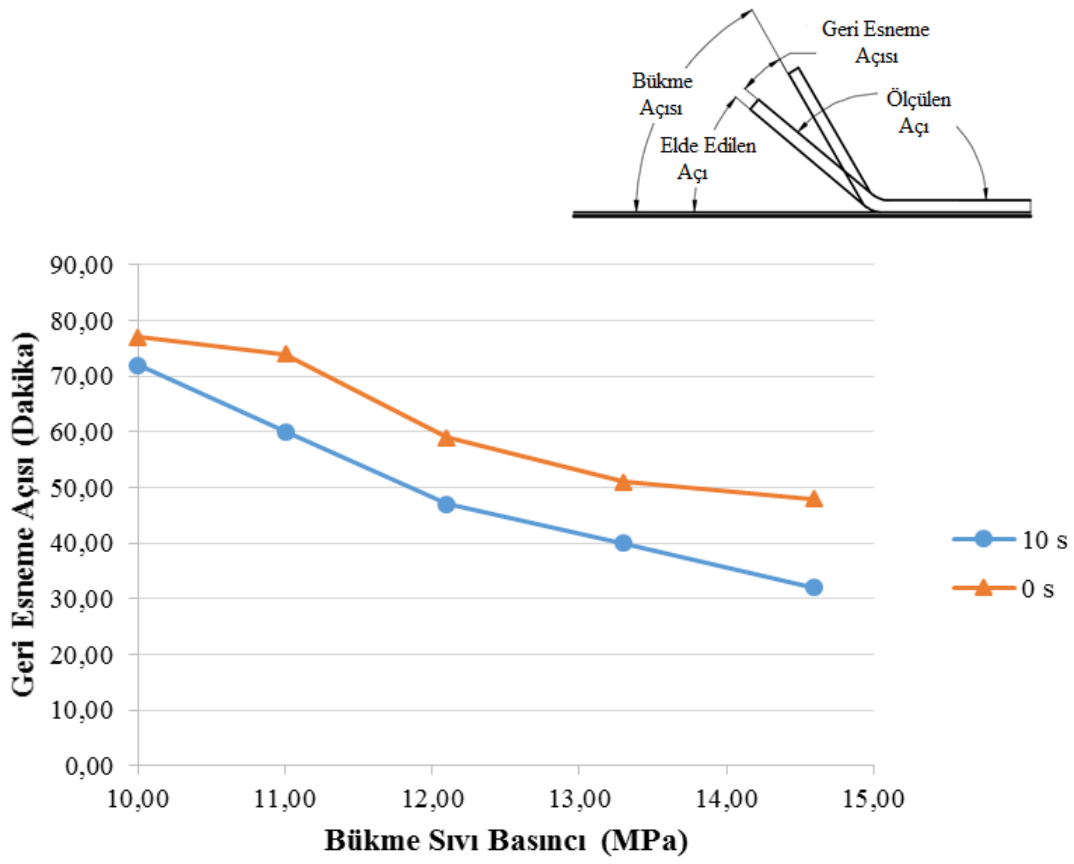
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	37	31	26	18	12
Ütüleme Süresi, 10 s.	31	28	22	13	10



Şekil 5.29. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 30 Derece

Çizelge 5.29. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 30 Derece

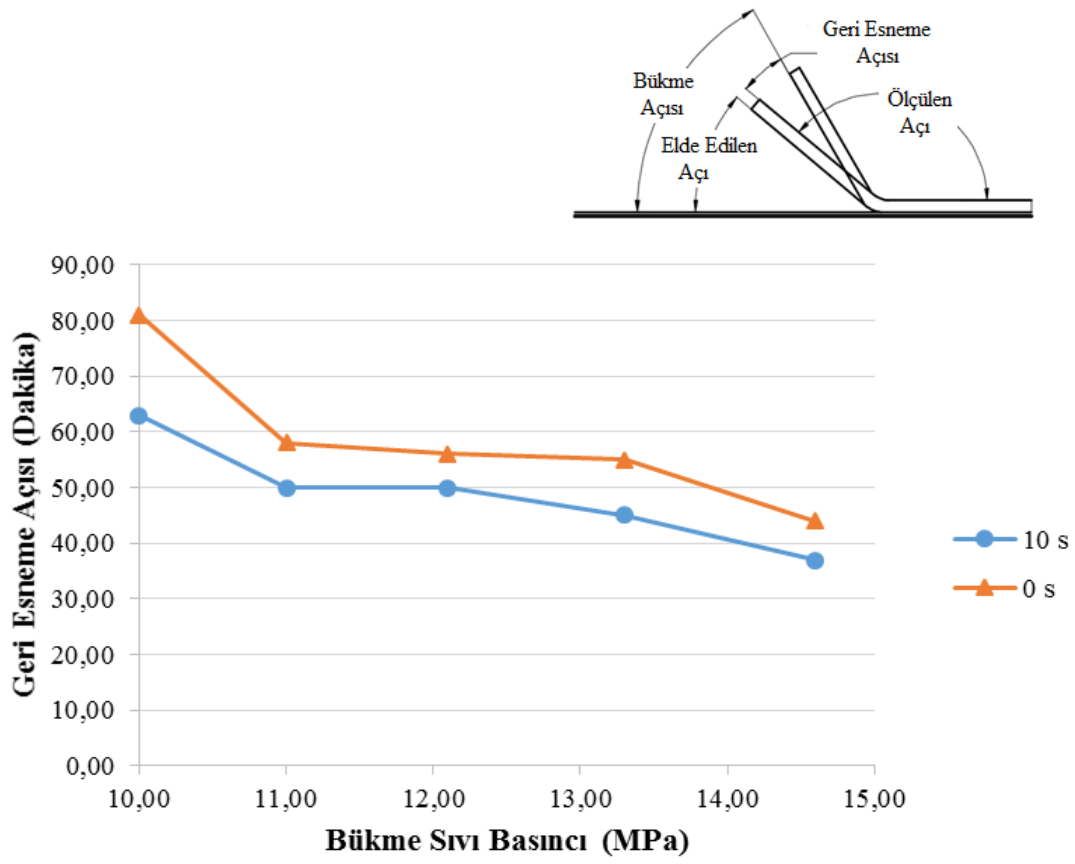
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	76	74	61	40	33
Ütüleme Süresi, 10 s.	73	65	55	35	25



Şekil 5.30. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 45 Derece

Çizelge 5.30. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 45 Derece

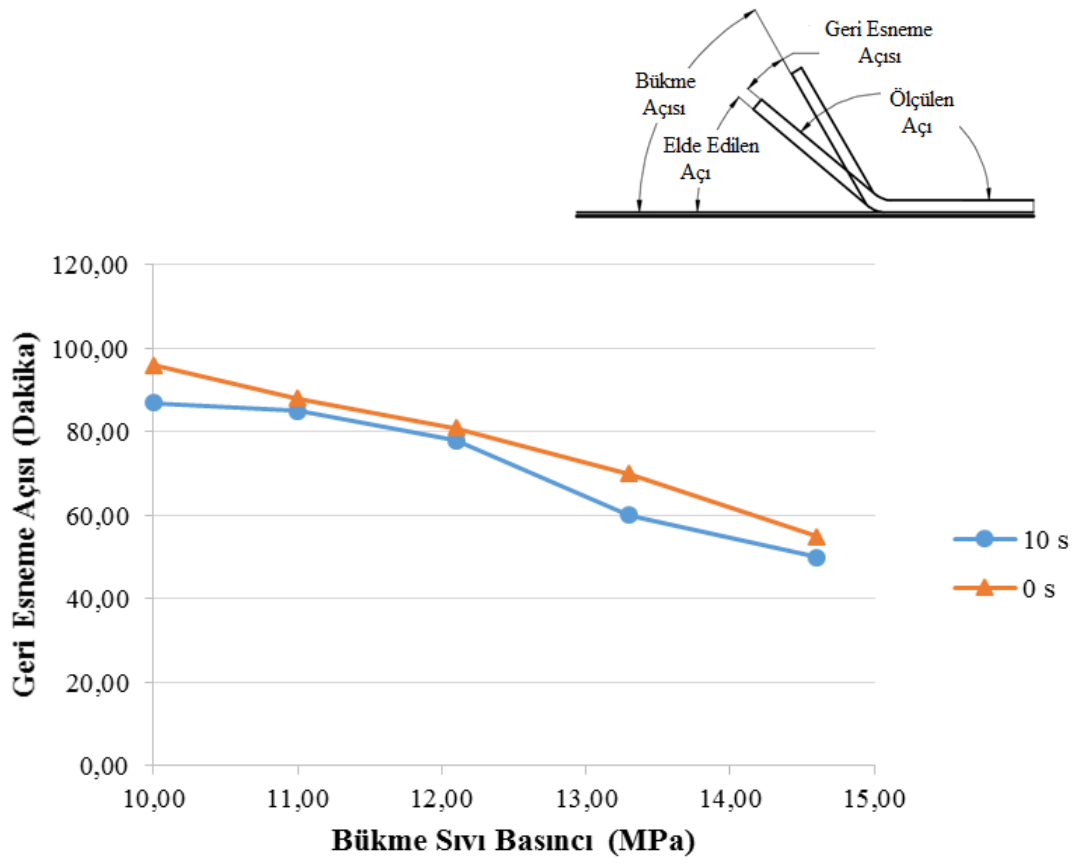
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	77	74	59	51	48
Ütüleme Süresi, 10 s.	72	60	47	40	32



Şekil 5.31. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 60 Derece

Çizelge 5.31. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri – 60 Derece

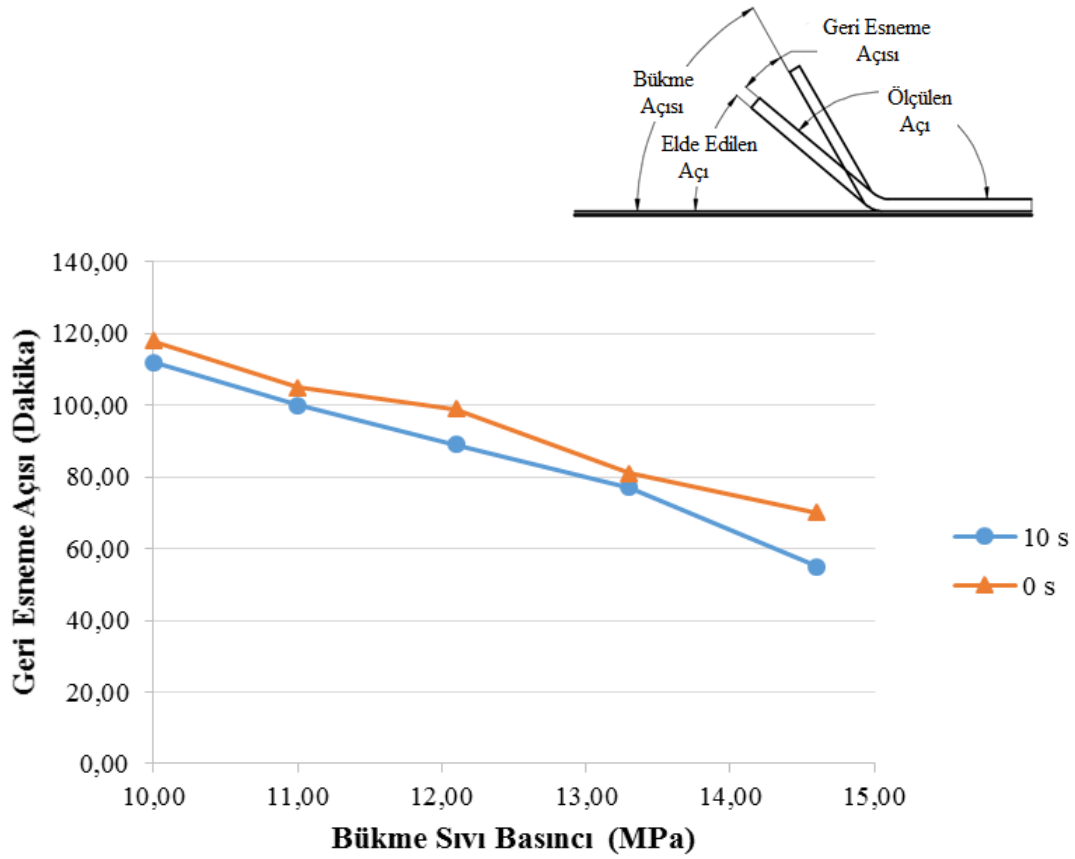
Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	87	58	56	55	44
Ütüleme Süresi, 10 s.	63	50	50	45	37



Şekil 5.32. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 75 Derece

Çizelge 5.32. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri –75 Derece

Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	96	88	81	70	55
Ütüleme Süresi, 10 s.	87	85	78	60	50



Şekil 5.33. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi deney sonuçları – 90 Derece

Çizelge 5.33. Bükme sıvı basıncı – ütüleme süresi ortalama deney sonuç değerleri –90 Derece

Bükme Sıvı Basıncı, MPa	10	11	12,1	13,3	14,6
Ütüleme Süresi, 0 s.	118	105	99	81	70
Ütüleme Süresi, 10 s.	112	100	89	77	55

Bükme sıvı basıncındaki %10 luk artışın Pirinç malzeme türünde geri esneme açısından yaklaşık 1-29 dk. aralığında bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. 10 s.'lik ütüleme süresindeki artışın ise geri esnemeyi 2-24 dk.'ya aralığında azalttığı tespit edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sıvı basıncı ile V bükme işleminde; malzeme türü sertlik, akma dayanımı, ütüleme süresi, bükme açısı ve bükme sıvı basıncı parametrelerinin geri esnemeye etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 derecelik bükme açıları ve 10 Mpa, 11 MPa, 12,1 MPa, 13,3 MPa ve 14,6 MPa bükme sıvı basınç değerleri kullanılmıştır. Bükme sıvı basınç değerlerinde %10 artış dikkate alınmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Geri esneme özellikleri ile yakından ilgilidir. Daha büyük akma geriliminde geri esneme daha da artmaktadır [28]. Yapılan çalışmalarda da geri esneme değerinin akma dayanımına bağlı olarak ettiği tespit edilmiştir.

Malzeme sertliği de geri esnemeyi artıran önemli bir parametre olup, sertlik arttıkça geri esneme değeri de artmaktadır [35]. Yapılan deneysel çalışmalarda, seçilen deney malzemelerinden en sert olan Alüminyum malzemedeki en büyük geri esneme değerleri elde edilirken, sertlik azaldıkça geri esneme değerinin azaldığı gözlenmiştir.

Ütüleme süresi geri esnemeyi azaltan önemli bir parametredir [1,36]. Deneysel çalışmalarda ütüleme süresinin 10 s. artması ile birlikte bükme işlemlerinde geri esnemenin 30 dk.'ya kadar azaldığı belirlenmiştir.

Bükme açısının artışı geri esnemeyi artırmaktadır [1,6,36]. Yapılan deneysel çalışmalarda bükme açısının artmasıyla birlikte geri esnemenin de arttığı gözlemlenmiştir. Ancak sıvı basıncı ile bükme işleminde geri esnemenin klasik kalıplama ile bükme işlemlerine göre daha az geri esnemeye sebep olduğu tespit edilmiştir.

Bükmedeki sıvı basıncının artışı geri esnemeyi azaltmaktadır [34]. Deneysel çalışmalarda da, bükme işleminde kullanılan sıvı basıncındaki artışa bağlı olarak geri esnemenin azaldığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen ürünler üzerinde şekillendirme kusurlarının (iz, kalınlık inceliği vb.) olmaması yöntemin klasik bükme yöntemlerine göre en önemli avantajlarından biridir.

Sıvı basıncıyla bükme işlemlerindeki geri esnemenin klasik bükme işlemlerine göre daha küçük çıkması önemli bir avantaj olarak görülmektedir. Şekillendirilecek ürün için daha dar toleransların fazladan kalıp revizyonu gerektirmeksizin üretilmesine imkan tanıyacaktır.

KAYNAKLAR

1. Tekaslan, Ö., Gerger, N. ve Şeker, U. (2008). V Bükme Kalıplarında Bakır Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 23, 231-238.
2. Schuler, C. (1998). *Metal Forming Handbook* . Berlin: Springer. 563.
3. Tekiner, Z. (2004). An Experimental Study on the Examination of Springback of Sheet Metals With Several Thicknesses and Properties in Bending Dies. *Journal of Materials Processing Technology*, 145, 109-117.
4. Suchy, I. (2006). *Handbook of Die Design*. New York: McGraw-Hill, 711.
5. Wagoner, R.H., Lim, H. and Lee, M.G. (2013). Advanced Issues in Springback. *International Journal of Plasticity*, 45, 3-20.
6. Tekaslan, Ö., Şeker, U. ve Özdemir, A. (2006). Determining Springback Amount of Steel Sheet Metal Has 0.5 mm Thickness in Bending Dies. *Materials and Design*, 27, 251–258.
7. Carden, W.D., Geng, L.M., Matlock, D.K. and Wagoner, R.H. (2002). Measurement of Springback. *International Journal of Mechanical Sciences*, 44, 79–101.
8. Liu, W., Liu, Q., Ruan, F., Liang, Z. and Qiu, H. (2007). Springback Prediction For Sheet Metal Forming Based on GA-ANN Technology. *Journal of Materials Processing Technology*, 187–188, 227–231.
9. Mori, K., Akita, K. and Abe, Y. (2007). Springback Behaviour in Bending of Ultra-High-Strength Steel Sheets Using CNC Servo Press. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47, 321–325.
10. Zhang, L.C., Lu, G. and Leong, S.C. (1997). V-shaped Sheet Forming by Deformable Punches. *Journal of Materials Processing Technology*, 63, 134-139.
11. Gisario, A., Barletta, M., Conti, C. and Guarino, S. (2011). Springback Control in Sheet Metal Bending by Laser-Assisted Bending: Experimental Analysis, Empirical and Neural Network Modelling. *Optics and Lasers in Engineering*, 49, 1372–1383.
12. Naceur, H., Guo, Y.Q. and Ben-Elechi, S. (2006). Response Surface Methodology for Design of sheet Forming Parameters to Control Springback Effects. *Computers and Structures*, 84, 1651–1663.
13. Yang, X.A. and Ruan, F. (2011). A Die Design Method For Springback Compensation Based on Displacement Adjustment. *International Journal of Mechanical Sciences*, 53, 399–406.
14. Zhang, Q.F., Cai, Z.Y., Zhang, Y. and Li, M.Z. (2013). Springback Compensation Method For Doubly Curved Plate in Multi-Point Forming. *Materials and Design*, 47, 377–385.

15. Zhao, J., Zhai, R., Qian, Z. and Ma, R. (2013). A Study on Springback of Profile Planestretch-Bending in the Loading Method of Pretension and Moment. *International Journal of Mechanical Sciences*, 75, 45–54.
16. Chenga, H.S., Caoa, J. and Xia, Z.C. (2007). An Accelerated Springback Compensation Method. *International Journal of Mechanical Sciences*, 49, 267–279.
17. Asnafi, N. (2000). Springback and Fracture in V-Die Air Bending of Thick Stainlesssteel Sheets. *Materials and Design*, 21, 217-236.
18. Lim, H., Lee, M.G., Sung, J.H., Kim, J.H. and Wagoner, R.H. (2012). Time-Dependent Springback of Advanced High Strength Steels. *International Journal of Plasticity*, 29, 42–59.
19. Yanagimoto, J. and Oyamada, K. (2007). Mechanism of Springback-Free Bending of High-Strength Steel Sheets under Warm Forming Conditions. *Institute of Industrial Science*, 56, 265-268.
20. Wanga, L., Huang, G., Zhanga, H., Wanga, Y. and Yina, L. (2013). Evolution of Springback and Neutral Layer of AZ31B Magnesium Alloy V-Bending Under Warm Forming Conditions. *Journal of Materials Processing Technology*, 213, 844– 850.
21. Gau, J.T. and Kinzel, G.L. (2001). A New Model For Springback Prediction in Which the Bauschinger Effect is Considered. *International Journal of Mechanical Sciences*, 43, 1813–1832.
22. Zhu, Y.X., Liu, Y.L., Yang, H. and Li, H.P. (2012). Development and Application of the Material Constitutive Model in Springback Prediction of Cold-Bending. *Materials and Design*, 42, 245–258.
23. Leu, D.K. (1997). A Simplified Approach for Evaluating Bendability and Springback in Plastic Bending of Anisotropic Sheet Metals. *Journal of Materials Processing Technology*, 66, 9-17.
24. Verma, R.K. and Haldar, A. (2007). Effect of Normal Anisotropy on Springback. *Journal of Materials Processing Technology*, 190, 300–304.
25. Lana, F., Chena, J. and Linb, J. (2006). A Method of Constructing Smooth Tool Surfaces for FE Prediction of Springback in Sheet Metal Forming. *Journal of Materials Processing Technology*, 177, 382–385.
26. Lia, X., Yanga, Y., Wanga, Y., Baoa, J. and Li. S. (2002). Effect of the Material-Hardening Mode on the Springback Simulation Accuracy of V-Free Bending. *Journal of Materials Processing Technology*, 123, 209–211.
27. Nilsson, A., Melin, L. and Magnusson, C. (1997). Finite-Element Simulation of V-Die Bending: A Comparison With Experimental Results. *Journal of Materials Processing Technology*, 65, 52 -58.
28. Esat, V. Darendeliler, H. ve Gokler, M.İ. (2002). Finite Element Analysis of Springback in Bending of Aluminium Sheets. *Materials and Design*, 23, 223-229.

29. Panthi, S.K., Ramakrishnan, N., Ahmed, M., Singh, S.S. and Goel, M.D. (2010). Finite Element Analysis of Sheet Metal Bending Process to Predict the Springback. *Materials and Design*, 31, 657–662.
30. Panthi, S.K., Ramakrishnan, N., Pathak, K.K. and Chouhan, J.S. (2007). An Analysis of Springback in Sheet Metal Bending Using Finite Element Method (FEM). *Journal of Materials Processing Technology*, 186, 120–124.
31. Forcellese, A., Fratini, L., Gabrielli, F. and Micari, F. (1998). The Evaluation of Springback in 3D Stamping and Coining Processes'', *Journal of Materials Processing Technology*, 80–81, 108–112.
32. Toros, S., Polat, A. ve Ozturk, F. (2012). Formability and Springback Characterization of TRIP800 Advanced High Strength Steel. *Materials and Design*, 41, 298–305.
33. Fei, F., Hodgson, P. (2006). Experimental and Numerical Studies of Springback in Air V-Bending Process for Cold Rolled TRIP Steels. *Nuclear Engineering and Design*, 236, 1847–1851
34. Hatipoğlu, H.A. (2007). Experimental and Numerical Investigation of Sheet Metal Hydroforming Flexforming Process, Yüksek Lisans Tesiz, Middle East Technical University, Ankara, 137.
35. Işıktaş, A. (2011). Farklı Kalınlıklardaki DKP ve Paslanmaz Sacların Farklı Açılarda Yapılan V-Bükme İşlemindeki Geri Yaylanmaların İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 71.
36. Tekaslan, Ö. ve Şeker, U. (2009). Determining of Spring back Amount of Brass Sheet Metal. *Karabük Üniversitesi 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumunda sunuldu*, Karabük

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ASLAN, Yunus
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1985, Tirebolu
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (553) 209 54 28
 Faks : 0 (312)
 e-mail : yunus.aslan1@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Egt.	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Egt.	2009
Lise	Piraziz Teknik Lise	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2010	Kalıpsan	Sac Metal Kalıp Tasarımcısı
2010-2013	Kalıpsan	Kalite Yönetim Temsilcisi
2013-	Kalıpsan Savunma Havacılık LTD. ŞTİ.	Kalite Yönetim Temsilcisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Hobiler

Futbol, Bağlama, Araştırma

A

Abstract · vii
Aluminyum · iv
analitik modelleme · 3

B

Bakır · iv, viii, ix, xv, 6, 31, 32,
33, 34, 47, 58, 71, 73
basınçlı kalıp · xv, 25, 26, 28, 30
Bauschinger · 12, 74
bükme sıvı basıncı · iv, 46, 47, 71
bükme yöntemi · iv, xii, 1, 2, 3,
7, 19, 20, 21, 23, 72
Bükme yöntemi · 1, 15, 20

Ç

Çekme deneyi · xv, 31, 32

D

Danışman · 3
deformasyon · 6, 12
Deney numunesi · xv, 32, 34
Deney Sonuçları · vii, viii, 35,
47, 59

F

Flexform · iv, v

G

Genetik algoritma · 5
Geri esneme · iv, xii, 3, 4, 5, 8,
11, 12, 13, 17, 21, 22

H

Hydroforming · v

K

kalınlık incelmesi · iv, 18
Kalıp · xv, xvi, 8, 26, 27, 28, 46,
64, 70, 71, 75
kalıp tasarımı · 3
Key Words · v
klasik bükme · 1

L

lazer · 3, 7

Ö

Özet · vii
Özgeçmiş · viii
ÖZGEÇMİŞ · 75

P

Pirinç · iv, viii, ix, xv, 31, 32, 33,
34, 59, 64, 71

S

sertlik · xvii, 14, 30
Sıvı basıncı · 1, 18, 19, 23, 31,
71, 72
sonlu eleman · 13, 14
Springback · v, 73, 74

Ş

Şekil · vii, xii

T

Teşekkür · vii

Ü

ütüleme süresi · iv, ix, x, xi, xii,
xiii, xiv, 3, 35, 36, 37, 38, 39,
40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48,
49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56,
57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65,
66, 67, 68, 69, 70, 71, 72

V

V bending · v
V BÜKME · 2, 3, iv

Y

yapay sinir ağları · 5
yüzey kusurları · 1, 18



GAZİ GELECEKTİR...