

**T. C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS**

**AISI 316 ve S355JR (ST52) SAC MALZEMELERİN
BÜKÜLMESİNDE GERİ YAYLANMA
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

İbrahim BUTGÜL

Danışman: Doç. Dr. Gültekin BASMACI

BURDUR, 2023

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**AISI 316 ve S355JR (ST52) Sac Malzemelerin Bükülmesinde Geri Yaylanma Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi**” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

08/06/2023

İbrahim BUTGÜL

ÖNSÖZ

Bu çalışmada beni her zaman yönlendiren, karşılaştığım zorlu aşamaları bilgi ve tecrübesiyle aşmamda yardımcı olan ve desteklerini eksik etmeyen değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Gültekin BASMACI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmalarını gerçekleştirmemde tüm desteğini eksik etmeyen tüm Cantek Group ve Sayın Makine çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yapılan bu deney için araştırma ve deneyin gerçekleştirilmesinde yardım ve desteklerini eksik etmeyen meslektaşım Yüksek Mak. Müh. Levent SAYIN ve diğer tüm iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eğitim yaşamı sürecinde her türlü aşamasında maddi ve manevi yardımını eksik etmeyen eşim Göknur BUTGÜL'e ve aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışma 0829-YL-22 numaralı proje olarak Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Haziran, 2023

İbrahim BUTGÜL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Büküm İşlemi.....	2
2.2. Büküm Metotları.....	2
2.2.1. V Büküm	3
2.2.2. U Büküm	3
2.2.3. L Büküm (Tek Yönlü U Büküm).....	4
2.2.4. Kıvrırma Bükümü.....	5
2.2.5. Oluklama Büküm	5
2.3. Geri Yaylanma	6
2.4. Geri Yaylanmayı Etkileyen Faktörler.....	7
2.4.1. Sac Metal Malzeme Özelliğinin Geri Yaylanma Üzerine Etkisi	7
2.4.2. Sac Metal Malzeme Kalınlığının Geri Yaylanma Üzerine Etkisi	8
2.4.3. Büküm Radyüsü Geri Yaylanma Üzerine Etkisi	8
2.4.4. Kalıp Boşluğu Geri Yaylanma Üzerine Etkisi	8
2.4.5. Büküm Kuvveti Geri Yaylanma Üzerine Etkisi.....	10
2.4.6. Üst Kalıp Sac Metal Üstünde Bekletme Süresi Geri Yaylanma Üzerine Etkisi	11
2.4.7. Akma Dayanımı Geri Yaylanma Üzerine Etkisi.....	11
2.4.8. Esneklik Modülünün Geri Yaylanma Davranış Etkisi.....	12
2.4.9. Hadde Yönünün Geri Yaylanma Üzerine Etkisi.....	12
2.5. Literatür Taraması.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Deneyde Kullanılan Malzemelerinin Özellikleri	18
3.1.2. Deney Çalışmalarında Kullanılan Büküm Kalıbı ve Tasarımı	18
3.2. Yöntem.....	21
3.2.1. Lazer Cnc Makinesi	21
3.2.2. Hidrolik Pres Atölye Tipi.....	22
3.2.3. Ölçüm Aleti.....	23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	25
4.1.1. S355JR (ST52) Sac Levha İçin Yapılan Büküm Deneyleri.....	25
4.1.2. AISI 316 Paslanmaz Sac Levha İçin Yapılan Büküm Deneyleri.....	28
4.1.3. Yapılan Deneyde Malzemelerin Sonuç Çalışmalarının Karşılaştırılması.....	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	41
EKLER	44
EK 1 – Şekil 3.1. V Büküm kalıp teknik çizim.....	44
EK 1 – Şekil 3.2. Mil teknik çizim	45

EK 1 – Şekil 3.3. Burç bağlama pabuç teknik çizim	46
EK 1 – Şekil 3.4. Burç teknik çizim.....	47
EK 1 – Şekil 3.5. Üst tabla teknik çizim.....	48
EK 1 – Şekil 3.6. Alt tabla teknik çizim	49
EK 1 – Şekil 3.7. Alt kalıp 120° teknik çizim.....	50
EK 1 – Şekil 3.8. Alt kalıp 90° teknik çizim.....	51
EK 1 – Şekil 3.9. Alt kalıp 60° teknik çizim.....	52
EK 1 – Şekil 3.10. R2 Üst kalıp 120° teknik çizim	53
EK 1 – Şekil 3.11. R2 Üst kalıp 90° teknik çizim	54
EK 1 – Şekil 3.12. R2 Üst kalıp 60°teknik çizim	55
EK 1 – Şekil 3.13. R4 Üst kalıp 120° teknik çizim	56
EK 1 – Şekil 3.14. R4 Üst kalıp 90° teknik çizim	57
EK 1 – Şekil 3.15. R4 Üst kalıp 60° teknik çizim	58
EK 1 – Şekil 3.16. Bağlama Mapası teknik çizim	59



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Sac metal levha	2
Şekil 2.1. Büküm	2
Şekil 2.2. Genel büküm metotları	3
Şekil 2.3. V büküm metot aşamaları	3
Şekil 2.4. U büküm	4
Şekil 2.5. L büküm.....	5
Şekil 2.6. Kıvrırma metotları.....	5
Şekil 2.7. Oluklama büküm metodunda kullanılan model.....	6
Şekil 2.8. Geri yaylanma.....	6
Şekil 2.9. Gerilme – birim biçim değişimi grafiği	7
Şekil 2.10. Kenar bükümde kalıp boşluğu	9
Şekil 2.11. V bükümde kalıp boşluğu.....	9
Şekil 2.12. Büküm yarıçapı- kalıp boşluğu grafiği	10
Şekil 2.13. Büküm sırasında haddeleme yönü belirtilmesi.....	12
Şekil 3.1. V büküm kalıbı 60° stoper örneği.....	18
Şekil 3.2. Kalıp elemanları.....	19
Şekil 3.3. Kalıp açısına göre büküm radyüsleri ve alt kalıp örnekleri	20
Şekil 3.4. V büküm kalıbı 60°	20
Şekil 3.5. V büküm kalıbı 90°	20
Şekil 3.6. V büküm kalıbı 120°	21
Şekil 3.7. Deney malzeme örnekleri	21
Şekil 3.8. Lazer Cnc Makinesi	22
Şekil 3.9. Hidrolik pres Atölye Tipi	22
Şekil 3.10. V büküm işleminde yapılan deney örnekleri	23
Şekil 4.1. 2 mm kalınlıktaki ST52 sac metal levha kalıp açısına göre geri yaylanma şeması	26
Şekil 4.2. 3 mm kalınlıktaki ST52 sac metal levha kalıp açısına göre geri yaylanma şeması	27
Şekil 4.3. 2 mm kalınlıktaki AISI 316 sac metal levha kalıp açısına göre geri yaylanma şeması	30

Şekil 4.4. 3 mm kalınlıktaki AISI 316 sac metal levha kalıp açısına göre geri yaylanma şeması.....	31
Şekil 4.5. V büküm radyüslerinin uç kısmındaki kalıp açısına göre biçim değişimi	33
Şekil 4.6. Sac metal levha 2 mm kalınlık ve 2 mm büküm radyüsüne göre deney sonuçlarının geri yaylanma grafiği.....	34
Şekil 4.7. Sac metal levha 2 mm kalınlık ve 4 mm büküm radyüsüne göre deney sonuçlarının geri yaylanma grafiği.....	35
Şekil 4.8. Sac metal levha 3 mm kalınlık ve 2 mm büküm radyüsüne göre deney sonuçlarının geri yaylanma grafiği.....	36
Şekil 4.9. Sac metal levha 3 mm kalınlık ve 4 mm büküm radyüsüne göre deney sonuçlarının geri yaylanma grafiği.....	37
EK 1 – Şekil 3.1. V Büküm kalıp teknik çizim.....	44
EK 1 – Şekil 3.2. Mil teknik çizim.....	45
EK 1 – Şekil 3.3. Burç bağlama pabuç teknik çizim.....	46
EK 1 – Şekil 3.4. Burç teknik çizim.....	47
EK 1 – Şekil 3.5. Üst tabla teknik çizim	48
EK 1 – Şekil 3.6. Alt tabla teknik çizim.....	49
EK 1 – Şekil 3.7. Alt kalıp 120° teknik çizim.....	50
EK 1 – Şekil 3.8. Alt kalıp 90° teknik çizim.....	51
EK 1 – Şekil 3.9. Alt kalıp 60° teknik çizim.....	52
EK 1 – Şekil 3.10. R2 Üst kalıp 120° teknik çizim.....	53
EK 1 – Şekil 3.11. R2 Üst kalıp 90° teknik çizim.....	54
EK 1 – Şekil 3.12. R2 Üst kalıp 60°teknik çizim.....	55
EK 1 – Şekil 3.13. R4 Üst kalıp 120° teknik çizim.....	56
EK 1 – Şekil 3.14. R4 Üst kalıp 90° teknik çizim.....	57
EK 1 – Şekil 3.15. R4 Üst kalıp 60° teknik çizim.....	58
EK 1 – Şekil 3.16. Bağlama Mapası teknik çizim.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. İşlem değişkenleri.....	17
Çizelge 3.2. İşlem değişkenlere göre stoper kalınlığı	17
Çizelge 3.3. AISI 316 paslanmaz sac malzeme kimyasal özellikleri	18
Çizelge 3.4. S355JR (ST52) sac malzeme kimyasal özellikleri	18
Çizelge 3.5. Deney malzemelerinin mekanik özellikleri	18
Çizelge 3.7. Lazer cnc makine teknik detayları.....	22
Çizelge 3.8. Hidrolik pres atölye tipi teknik detayları.....	23
Çizelge 4.1. S355JR (ST52) sac metal levha geri yaylanma sonuçları	25
Çizelge 4.2. AISI 316 paslanmaz sac metal levha geri yaylanma sonuçları.....	29

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Bi	: Bizmut
b	: Levha genişliği
c	: Büküm kuvveti Katsayısı
C	: Karbon
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Azot
Ni	: Nikel
P	: Forfor
Pb	: Kurşun
P_e	: Son büküm kuvveti
P_k	: Büküm kuvveti
r	: Büküm yarıçapı
R	: Alt kalıp radyüsü
s	: Sac levha kalınlığı
S	: Kükürt
Sb	: Antimon
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
Ti	: Titanyum
Zn	: Çinko
W	: Kalıp açıklığı
α	: Büküm açısı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AISI316 ve S355JR (ST52) Sac Malzemelerin Bükülmesinde Geri Yaylanma Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi

İbrahim BUTGÜL

**Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Gültekin BASMACI

Haziran, 2023

Sac metal kalıpları kullanılarak üretimi gerçekleşen parçalar endüstride geniş bir alanda kullanılmaktadır. Tercih edilen uygulama alanlarından birisi de büküm işlemli kalıpcılıktır. Sac metal levhalara ait kalıplar kullanılarak gerçekleştirilen şekillenme işleminde başlıca görülen sorun geri yaylanmadır. V büküm işlemi kullanılarak oluşan geri yaylanmalara bakıldığında, kalınlıkları farklı olan malzemelerde, değişik açılardaki oluşan geri yaylanma tutarını gösteren grafiklerin eksik olduğu tespit edilmektedir. Çalışmalar sırasında oluşan geri yaylanma miktarlarını tespit etmek için yapılan V büküm kalıbı ve deney malzemesi olarak AISI 316, S355JR (ST52), sac metal levhalarda işlem yapılmıştır. Kalınlığı 2 ve 3 mm örnekler 60, 90 ve 120 dereceden oluşan kalıp açıları kullanılarak ve işleme alınan her bir açı için büküm radyüsü 2 mm ve 4 mm değerindekiler kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneylerin sonrasında numune ürünlerin geri yaylanma miktarlarını tespit edebilmek amacıyla dijital ölçüm cihazından yararlanılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonuçlarında görünen miktarı fazla olan geri esneme S355JR (ST52) sac levhada tespit edilmiştir. Seçilen kalıp açı değeri arttırıldıkça geri esnemenin düştüğü gözlemlenmiştir. Seçilen sac levha kalınlıklarında oluşan geri yaylanma ile doğru orantılı olduğu ve büküm radyüsü değerini arttırıldıkça oluşan geri yaylanma değerinin arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: plastik şekil verme, sac levha, V büküm, geri yaylanma

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0829-YL-22 proje numarası ile desteklenmiştir.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

**Experimental Investigation of Springback Behavior in the Bending of AISI 316
and S355JR (St52) Sheet Materials
İbrahim BUTGÜL**

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Department**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gültekin BASMACI

June, 2023

Parts produced using sheet metal molds are widely utilized in various industries. One of the preferred applications is bending die tooling. The main issue observed during the forming process using sheet metal molds is springback. When examining the springback occurring in V-bending processes, it is found that there is a lack of graphs showing the amount of springback at different angles for materials with varying thicknesses. During the study, V-bending molds and the experimental materials, AISI 316 and S355JR (ST52) sheet metal plates, were used to determine the amount of springback. Samples with thicknesses of 2 mm and 3 mm were subjected to experiments using bending angles of 60, 90, and 120 degrees, and bending radii of 2 mm and 4 mm for each angle. Digital measurement devices were used to determine the amount of springback in the sample products after the experiments. The obtained findings were then compared according to predetermined parameters.

The conducted study revealed a higher amount of springback in S355JR (ST52) sheet metal plates. It was observed that as the selected bending angle value increased, the springback decreased. It was also determined that the springback was directly proportional to the thickness of the selected sheet metal and increased with an increase in the bending radius value.

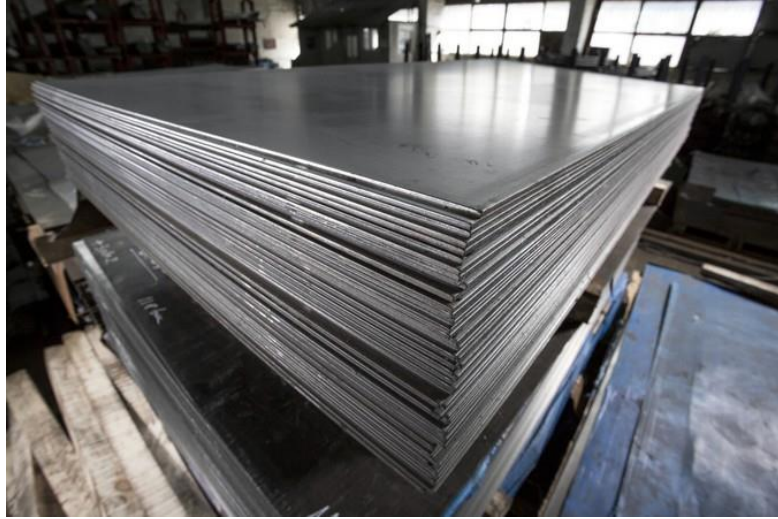
KeyWords: plastic shaping, sheet metal, V-bending, springback

The present M.Sc. Thesis was supported by Burdur Mehmet Akif Ersoy University Scientific Research Projects Coordinatorship under the Project number of 0829-YL-22.

1. GİRİŞ

Pek çok sektörde kendisine kullanım alanı bulan levha saclar, demir gibi metallerden elde edilirler. Yüzeyleri düzgün ve pürüzsüzdür. Yassı halde bulunan sac levha malzemeler kullanılacağı yere göre çeşitli inceliklerde ve boyutlarda olabilirler. Kimi zaman düzleştirilmemiş olarak, rulo halinde de görülürler. Haddelenmiş ürünler arasında yer alırlar ve geniş alanların kaplanması tercih edilirler. Levha saclar kolay imalatı, kullanım rahatlığı ve dayanıklılıkları ile endüstriyel alanda farklı kullanım alanlarına sahipler. Çeşitli bakım işlemlerinde de levha sacların sağladığı avantajlardan faydalanılır. Sacların kullanıldığı tüm alanlara aşağıda yer verilmektedir:

- **Otomotiv sektörü:** Levha saclar otomotiv sektörünün olmazsa olmazlarından. Kolay şekil alabildikleri için kaporta gibi yüzeyleri kaplamada kullanılırlar. Pürüzsüzlükleri ile ortaya estetik bir görünüm çıkarmaya yardımcı olurlar. Güzel göründükleri kadar dirençli olmalarıyla da otomotiv sektöründe tercih edilirler. Genellikle binek araçlarda veya kamyonlarda kullanılırlar.
- **Uçak:** Otomotivde olduğu gibi uçak parçalarının üretiminde ve kaplanmasında da levhalardan faydalanılır.
- **Tren:** Trenlerin vagon ve lokomotif gövdelerinde levha sacların dayanıklılığından ve kaynağa uygun yapısından yararlanır.
- **Dekorasyon:** Özellikle alüminyum ve teneke levhalar dekoratif levha üretiminde kullanılırlar.
- **Uyarı levhaları ve tabelalar:** Dekoratif levhalar gibi uyarı levhaları veya tabelalar da alüminyum/tene sacdan imal edilebilir.
- **Beyaz eşya:** Çeşitli beyaz eşyaların içeriğinde levha saclar bulunur.
- **İnşaat:** İnşaatlarda kullanılacak kalıpların üretilmesinde saclardan yararlanır.
- **Elektrik panoları:** Elektriği iletmeyen sac türleri elektrik panosu imalatında kullanılırlar.



Şekil 1.1. Sac metal levha

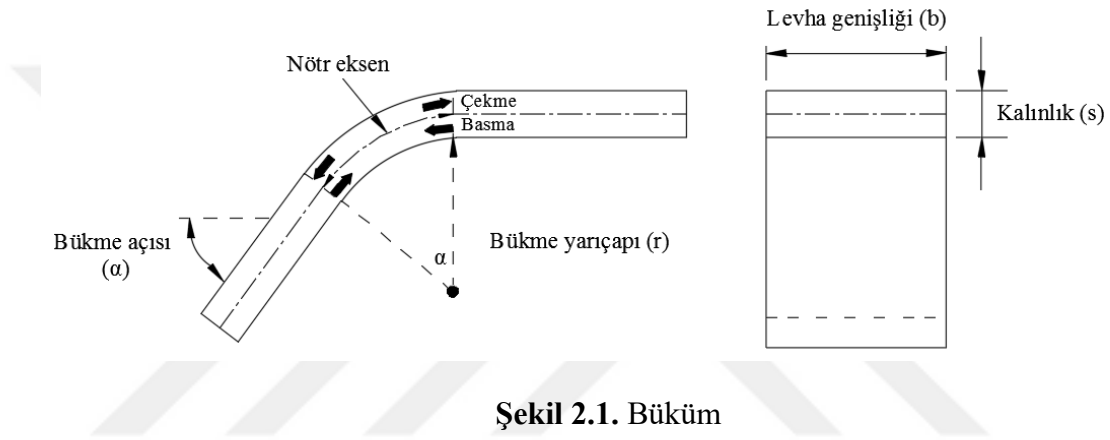
Şekil 1.1’de sac metal örneği görülmektedir. Sac metal kalıpları kullanılarak üretimi gerçekleşen parçalar endüstride geniş bir alanda kullanılmaktadır. Kalıpçılıkta en önemli uygulama alanı büküm kalıpcılığıdır. Sac levhalarda karşılaşılan en büyük problemlerden birisi geri yaylanmadır.

Sac levhalarda yapılan büküm işlemi gerçekleştirilirken malzemelerde oluşan davranışlarında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Levhanın üzerine uygulanan büküm kuvveti geri bırakıldığı zaman, sac levhada oluşabilecek elastik biçim değişimine uğraması ve işlem öncesi eski haline gelmesi olayına geri yaylanma olarak belirtilmektedir. Sac metal levha endüstrisinde gerçekleşen geri yaylanma tercih edilen uygulamaya sahiptir. Elastik şekil değişim özelliğinden geri yaylanmada gözlemlenen geçerlilik ölçüsü hassasiyetidir. V büküm metodunda oluşan geri yaylanma deneylerine bakıldığında, farklı kalınlık ölçüsüne sahip malzemelerde, farklı kalıp açıları kullanılarak geri yaylanma değerini gösteren grafiklerin yetersiz görülmektedir. Bu sebepten dolayı kalıp üreticisi ve tasarımcı için geri yaylanma değerini en az seviyede tutabilmek için kalıba verilecek olan kalıp açılarını tespit etmek için hesapmala veya deneme yanılma yöntemleri kullanılmaktadır. Yapılan yöntemler gösteriyor ki zaman, iş gücü kaybı ve maliyetlerde artış olmasına neden olmuştur. Çalışmada gerçekleştirilen deneylerdeki yöntemler ele alındığında kalınlık, kalıp açısı, malzeme, büküm radyüsünün oluşan geri yaylanma değerine etkisi incelenmiştir. Deneyel olarak elde edilen verileri geri yaylanma sonuçlarıyla karşılaştırılıp tespit ettiğimiz verilere göre kalıpların yapılması zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlayacağı tespit edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Büküm İşlemi

Sac biçimlendirme işleminde kullanılan metotlardan birisi de bükümdür. Büküm; ısı veya ısı kullanımı olmadan ve talaş kaldırımı olmadan, malzemenin hacmi korunarak, sadece plastik içeren malzeme değişimine maruz kalacak şekilde, malzemenin belirlenen eksen etrafında bükülmesidir. Şekil 2.1’de görülmekte olup bükme işlemi esnasında sacın dış yüzeyi çekme kuvvetine, iç yüzeyi ise basma kuvveti etkisi altında zorlandığı tespit edilmiştir.

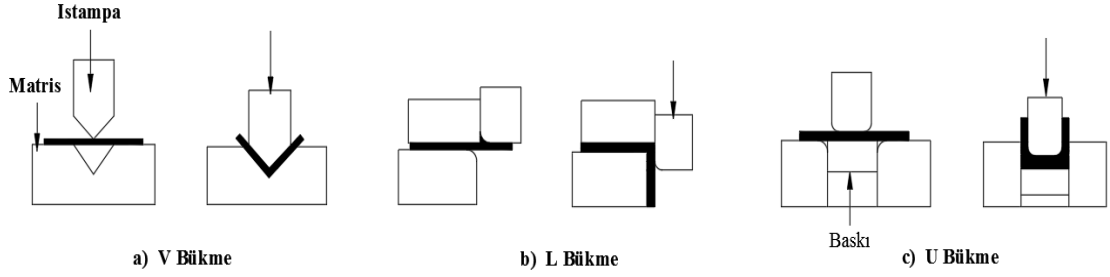


Şekil 2.1. Büküm

Çekmeye ve basmaya maruz kalan yerleri birbirinden ayıran çizgi nötr eksen olarak belirtilmektedir. Bükülen kısımlarda sac kalınlığının aynı kaldığı düşünülerek nötr eksen sacın merkezinden geçer. Bu sebeple iç ve dış yüzeylerde görülen birim biçim değiştirmeleri aynı olduğu kabul edilir (Çapan, 2010).

2.2. Büküm Metotları

Büküm metotlarında, sac metal levhalara yapılacak şekillin değişkenliklerine göre farklılık gözlemlenmektedir. Yapılan büküm işlemi genellikle hidrolik ve mekanik pres kullanılarak uygulanmaktadır. Preste uygulanacak olan kuvvet miktarı dikkate alınacak şekilde, hesaplanan kuvvetin gerçekleşmemesi durumunda kuvvet miktarı düşük olursa büküm işlemleri gerçekleşmeyecek, kuvvet miktarının çok gelmesi durumunda ise sac levhada beklenen şeklin dışında bozulmaya uğrayacaktır. Şekil 2.2’de gösterilen yöntemler olan U büküm, L büküm ve V büküm tercih edilmektedir. Tercih edilmeyen büküm metotları ise oluklama ve kıvrıma büküm olarak söylenebilir.

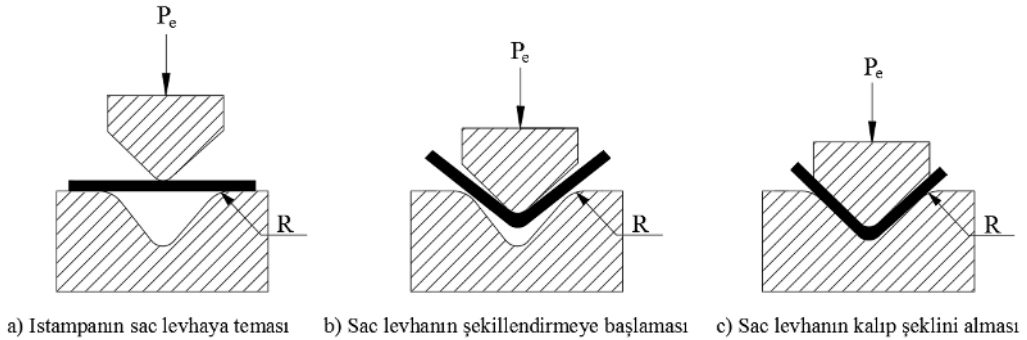


Şekil 2.2. Genel büküm metotları

2.2.1. V Büküm

Endüstride sanayide çoğunlukla kullanılan sac biçimlendirme uygulamalarından olan V büküm işlemi 3 hamlede yapılır. Yapılan V büküm işlemi 3 hamlede Şekil 2.3’de;

- Üst kalıbın uc kısmındaki görülen büküm radyüsün sac metal levhaya göre teğet olacak şekilde düşey yönde aşağıya inmesini göstermektedir.
- Üst kalıbın sac levha merkezinin, olan kalınlık değerine kadar aşağı yönde kuvvet uygulanır. Bundan dolayı sac levha ters yönde yayılım göstererek, R kalıp radyüsleri arasında kalarak tepki gösterir.
- Üst kalıp tarafından gerçekleştirilen kuvvete maruz kalan yarı mamul V büküm kalıbın şeklini alır.



Şekil 2.3. V büküm metot aşamaları

2.2.2. U Büküm

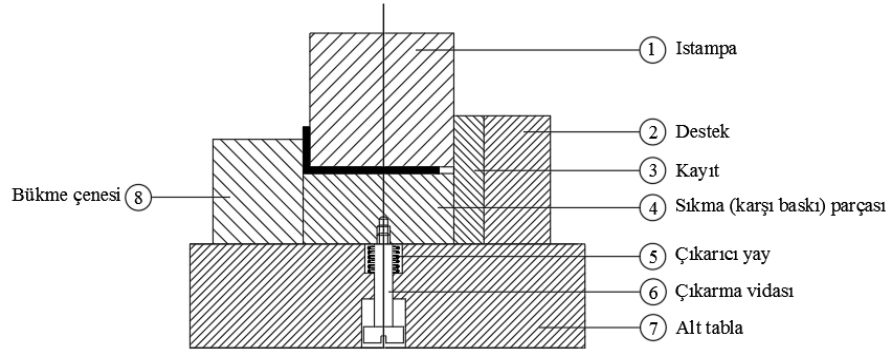
U Büküm kalıbında bükülen parça ve dolayısıyla kalıp boşluğunun şekli U harfine benzediği için bu tip kalıplar U büküm kalıpları olarak adlandırılır. U büküm işlemi diğer V bükme işlemine göre daha çok büküm kuvveti gerektirir. U büküm işleminde oluşan büküm kuvvetinin, matrisin yan yüzeyinde gözlemlenen sürtünme direncini, itici düzen kuvvetine karşı da direnç uygulaması gerekmektedir. Oluşan büküm kuvveti hesaplaması

The diagram illustrates the components of a cold-chamber die casting mold assembly. It shows a cross-section of the mold with a central cavity. A vertical plunger (Tij) is positioned at the bottom of the cavity, and a reciprocating plunger (Karşı baskı) is positioned above it. The mold is composed of two main parts: the upper part (Matris) and the lower part (Alt tabla). A vertical channel (Istampa) is shown in the center of the upper part. The assembly is shown in a state where the plunger is being moved up and down, as indicated by the arrows.

- 1 Istampa
- 2 Matris
- 3 Karşı baskı
- 4 Alt tabla
- 5 Tij

2.2.3.L Büküm (Tek Yönlü U Büküm)

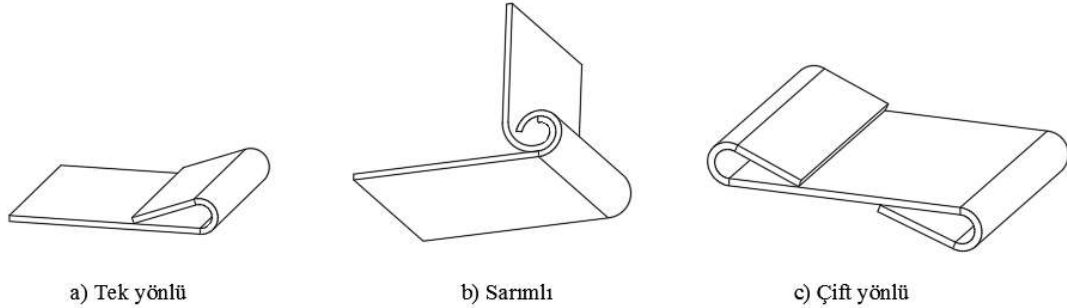
4



Şekil 2.5. L büküm

2.2.4. Kıvrırma Bükümü

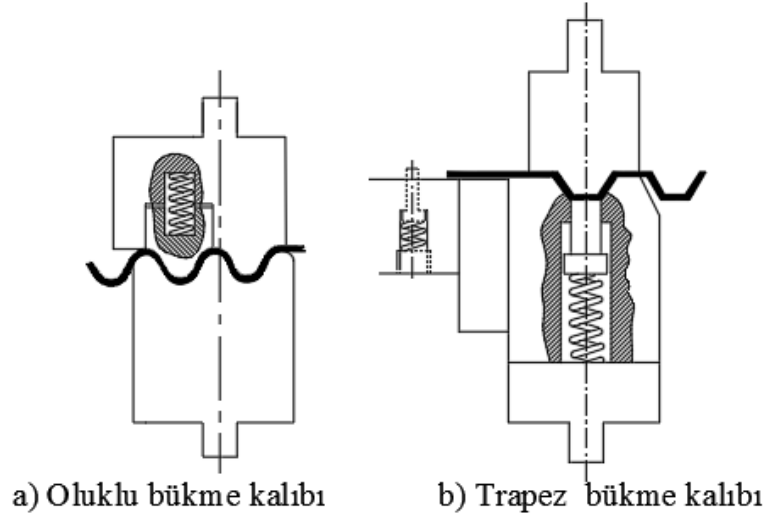
Kıvrırma; sac levhalarda yapılan bükümü devamında açık veya kapalı şekilde eğriler oluşturmaktır. Çoğunlukla kalıplanması gerçekleşen parçaların kenar dayanımını yükseltmek için yapılan kesim işlemi sonrasında gözlemlenen çapakları almak ve iki parçanın da mafsallı birleştirilmesini gerçekleştirmek için yapılan işlemdir. Şekil 2.6’da ise kıvrırma işlemi gerçekleşmiş parçaları belirtmektedir. Kıvrırma işleminin gerçekleştiği özel makine tezgâhlarında, kıvrırma üst kalıpları ile uygulanmaktadır.



Şekil 2.6. Kıvrırma metotları

2.2.5. Oluklama Büküm

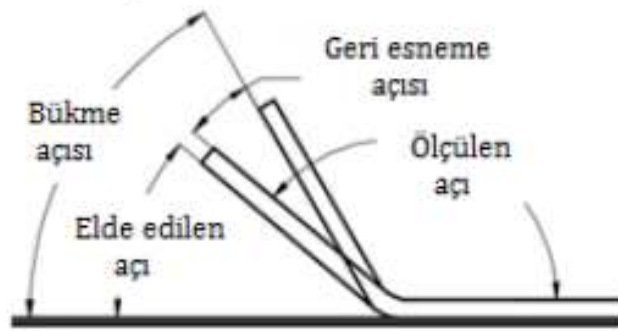
Sac metal levhaların mukavemetini yükseltmek ve belli bir şekil yapıldıktan sonra şekil değişimine engel olmak için kalıplama yapılan biçimlendirme işlemine oluklama büküm denir. Kullanımları ise çatı malzemeleri, garaj, gölgelik gibi yerlerde tercih edilecek olup alüminyum ve galvanizli sac levhalar oluklama ile yapılırlar. Şekil 2.7’de ise gösterilen sac metal levhaya yapılmış olan oluklama büküm işleminin gerçekleşmiş hali gösterilmektedir (Erişkin, 1986).



Şekil 2.7. Oluklama büküm metodunda kullanılan model

2.3. Geri Yaylanma

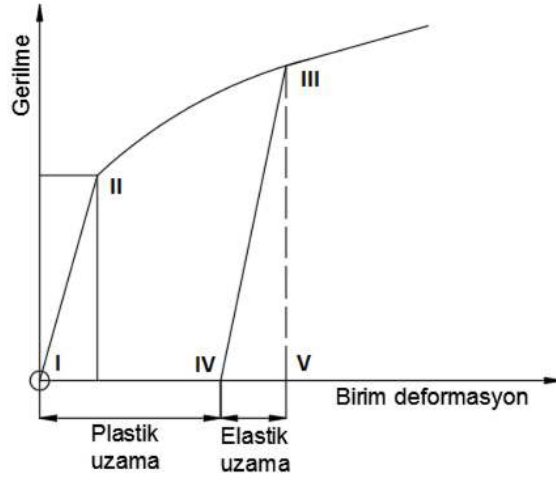
Geri yaylanma; esneklik ve kalıcı biçim değişiminin farktır. Kısmen plastik şekil değiştirmeye maruz kalan malzeme, yükün uygulama işlemi bittikten sonra bir miktar elastik şekil değiştirmeye maruz kalmaktadır. Bu durum, plastik şekil değiştirmeye maruz kalan parçaların boyutlarında istenmeyen sonuçların oluşmasına neden olmaktadır (Boljanovic, 2004). Malzemeler tam olarak plastik şekil değişimine uğramazlar. Şekil 2.8’de büküm kuvveti sac levha malzemenin üzerinden kalktıktan sonra sac levha üzerinde oluşan elastikiyet belli bir miktar geri yaylanmaya sebep verdiği görülmektedir.



Şekil 2.8. Geri yaylanma

Geri yaylanma durumu Şekil 2.9’da görüldüğü gibi gerilme- birim biçim değişim eğrisiyle ortaya konulabilir. I- II doğrusu gerilme birim biçim değişim ilişkisi ile orantılı olarak değiştiği elastik bölgedir. Parça üzerinden kuvvet geri alındığında IV değerini alır.

IV-V sac metal levha malzemenin eski haline dönüş miktarını, yani geri yaylanmayı göstermektedir. I-IV doğrusu ise kalıcı plastik birim biçim değişimini göstermektedir.



Şekil 2.9. Gerilme – birim biçim değişimi grafiği

2.4. Geri Yaylanmayı Etkileyen Faktörler

Büküm işlemi esnasında oluşan geri esneme olayına birden fazla nedenlere bağlı olarak değişkenlik gösterdiği etkileri vardır. Bu nedenlerin en önemli olanları aşağıda belirtilmiştir.

1. Sac Metal Malzeme Özelliğinin Geri Yaylanma Üzerine Etkisi
2. Sac Metal Malzeme Kalınlığının Geri Yaylanma Üzerine Etkisi
3. Makine Kalıpların Büküm Radyüsü Geri Yaylanma Üzerine Etkisi
4. Kalıp Boşluğunun Geri Yaylanma Üzerine Etkisi
5. Uygulanan Büküm Kuvvetinin Geri Yaylanma Üzerine Etkisi
6. Üst Kalıp Sac Metal Levha Üstünde Bekletilme Süresinin Geri Yaylanma Üzerine Etkisi
7. Sac Metal Levha Malzemenin Akma Dayanımının Geri Yaylanma Üzerine Etkisi
8. Sac Metal Levha Malzemenin Esneklik Modülünün Geri Yaylanma Üzerine Etkisi
9. Hadde Yönü Geri Yaylanma Üzerine Etkisi

2.4.1. Sac Metal Malzeme Özelliğinin Geri Yaylanma Üzerine Etkisi

Sac metal malzemesinin geri yaylanma miktarı yapısına göre mühim değişiklikler görülmektedir. Malzemenin; elastikiyet parçası, kopma gerilmesinin. Akma gerilmesinin ve çekme gerilmesinin gibi mühim değişkenlikler geçmiş saptamaların yapılması icap

etmektedir. Malzeme özellikleri özen gösterilerek kalıp tasarımını uygun yapmak daha gerçekçi neticeler doğuracaktır.

2.4.2. Sac Metal Malzeme Kalınlığın Geri Yaylanma Üzerine Etkisi

Malzemenin kalınlık ölçüsü geri yaylanmayı sebep olan önemli nedenlerden biridir. Büküm radyüsü (R) sac kalınlık ölçüsü (s) geri yaylanmaya etkisi ise (R/s) olarak gösterilmektedir. Malzemenin sac kalınlığı düştükçe R/s oranı yükseliş olacağından dolayı geri yaylanma da yükselmiş olacaktır. Sac kalınlığı yükselmesiyle geri yaylanma miktarı düşmüş olacaktır (Livatyalı ve Altan, 2001).

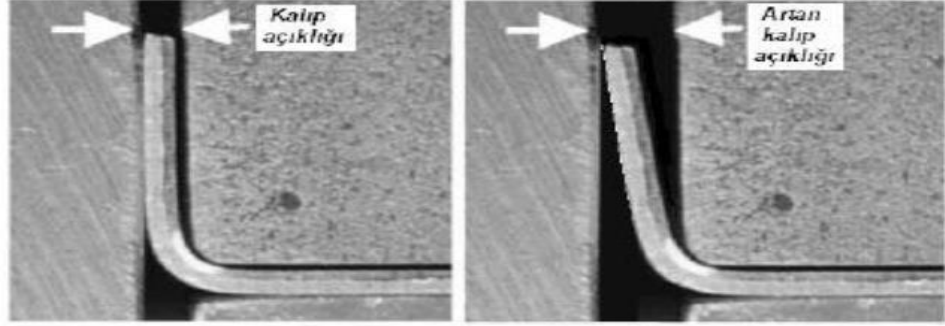
2.4.3. Büküm Radyüsü Geri Yaylanma Üzerine Etkisi

Sac metal levhaları büküm işlemi yapılarak biçimlendirilmesinde en mühim değişkenlikten biri de büküm radyüsüdür. Çünkü bükülebilirlik de takım geometrisi önemi yüksektir (Leu, 1997). Malzemelerin deformeye neden olmadan bükülebileceği en düşük radyüs değeri, o malzemelerin bükülebileceğini göstermektedir. Büküm radyüsü düşük tutulması durumunda biçimlendiren malzemelerin en dış yüzeyinde fazla miktarda birim şekil değişimi sonucunda deforme olmaları izlenmektedir (Hosford ve Caddell 1993). Dolaylı bir biçimde sac metal levhaların büküm ile biçimlendirme metodu uygularken, malzemelerde yırtık ya da çatlak meydana gelmesini engellemek için yüksek büküm radyüsleri seçilmektedir (Schüler, 1998). Talep edilen açıdaki bükümün erişebilmek için üst kalıba verilmesi gereken büküm radyüsü, geri yaylanma değeri kadar artırılır ya da azaltılır. Büküm açısının artırılması veya azaltılması malzeme türüne göre değişiklik gösterir. Geri yaylanma tam olarak öyle olduğu kabul edildiği zaman büküm radyüsü, azaltılarak ya da artırılarak istenilen büküm işlemi meydana getirilir (Özdemir, 2015).

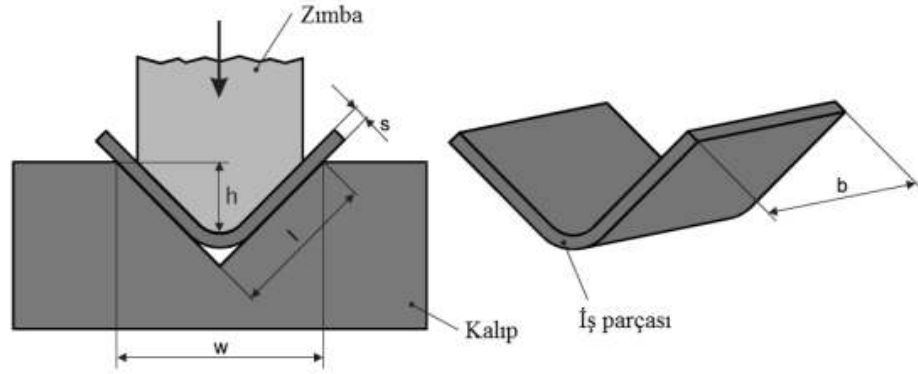
2.4.4. Kalıp Boşluğu Geri Yaylanma Üzerine Etkisi

Sac metal levha ile üst kalıp arasında kalan mesafe kalıp boşluğunu ifade etmektedir. Mevcut çalışmalarda görünen, kalıp boşluğunun artması ile geri yaylanma miktarı arttığı görülmektedir (Gau, 1999). Kalıp boşluğunun sac metal levha kalınlık oranında meydana gelecek %10'luk artış, geri yaylanmada %10 civarında yükseltebilmektedir (Livatyalı ve Altan, 2001). Kalıp boşluğu ne kadar az olursa, geri yaylanma miktarı da o kadar düşmektedir (Turan, 2009). Dolaylı bir biçimde kalıp boşluğu değerini değiştirerek geri yaylanma miktarını telafi etmesi mümkündür. Kalıp

boşluğunun küçülmesiyle, büküm bölgesine plastik deformeleri artmakta, dolayısıyla sac biçimlendirme sonrası geri yaylanma düşmektedir. (Livatyalı ve Altan, 2001). Kalıp boşluğu ile örnek gösterimler, Şekil 2.10’da verilmiştir.

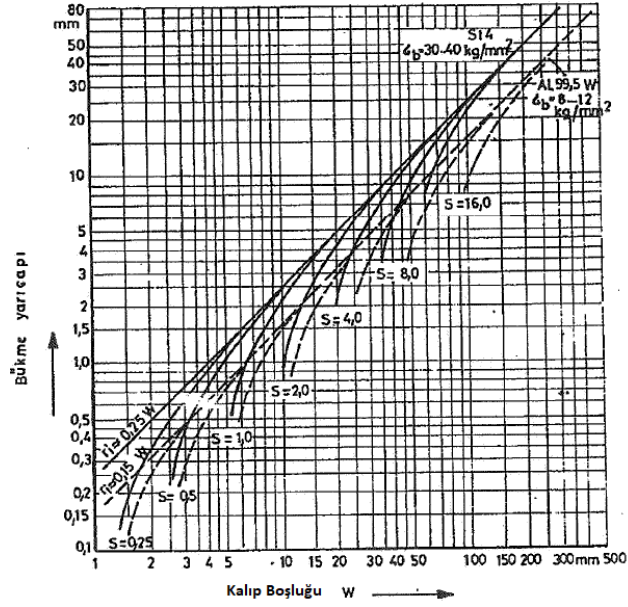


Şekil 2.10. Kenar bükümde kalıp boşluğu



Şekil 2.11. V bükümde kalıp boşluğu

V kalıp büküm metodunda kalıp boşluğunun saptanması gerekir. Dolaylı bir biçimde kalıp boşluğunun fazlalığı Şekil 2.11’de belirtilmiştir. Şekil 2.12’de belirtilen grafikte tahmini olarak kalıp boşluğu saptanabilir. Kalıp boşluğu etkilerini gözlemlemek üzere aynı büküm radyüsü, büküm açısı ve malzeme kalınlık seçerek deneyler uygulanmıştır.



Şekil 2.12. Büküm yarıçapı- kalıp boşluğu grafiği

2.4.5. Büküm Kuvveti Geri Yaylanma Üzerine Etkisi

Büküm kalıbı ile sac metal levhanın, bükülebilmesi için ihtiyaç olunan kuvvet büküm kuvveti denir. Büküm kuvvetinin, malzemenin iç özelliklerine, kalınlığına, sac metal levha ebatına göre değişiklik göstermektedir. Sac metal levhalarının biçimlendirme esnasında uygulanacak olan büküm kuvveti kalıbın kullanım ömrünü ve üretilen yarı mamulün kalitesi anlamında önemi büyüktür. Hesaplanan büküm kuvvetine uygun baskı makinesi seçilmelidir. Fazla büküm kuvveti değeri altında uygulanan büküm işlemlerinin, sac metal levhalarda daha çok plastik deforme olmasından kaynaklanan dolayısıyla geri yaylanma ölçüsünün azaldığı belirtilebilir. Bunun yerine üst kalıp malzeme üstünde belirli bir süre baskı yapılarak geri yaylanmada bir miktar azalma gerçekleşebilir (Erişkin, 1986).

Büküm kuvvetinin matematiksel olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$P_k = \frac{C \cdot \sigma_b \cdot s^2 \cdot b}{W} \quad (2.1)$$

$$c = 1 + \frac{4 \cdot s}{W} \quad (2.2)$$

$$P_e = 2 \cdot P_b \quad (2.3)$$

Burada;

P_k = Büküm kuvveti (N)

P_e = Son Büküm Kuvveti (N)

s = Sac levha kalınlığı (mm)

σ_b = Çekme dayanımı (N/mm²)

b = Levha genişliği (mm)

c = Büküm kuvvet katsayısı

W = Kalıp boşluğu (mm)

2.4.6. Üst Kalıp Sac Metal Üstünde Bekletme Süresi Geri Yaylanma Üzerine Etkisi

Üst kalıbın sac metal levha üzerinde belli bir süre bekletildiğinde oluşan geri yaylanma sayısal değerinin azalmasına karşı, ortaya çıkan zaman kayıplarından ötürü, maliyetin değerinin artması kaçınılmazdır. Bu sebeple uygulama gerçekleştirirken bütün şartların göz önüne alınması gerekmektedir (Uzun ve Erişkin, 1997). Üst kalıp kuvvetinin bükülen yarı mamul sac metal levhanın üzerinde bekletildiği zaman, büküm esnasındaki zamanın yükselmesine karşı, geri yaylanma miktarı düşeceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Üst kalıbın sac metal levha üstünde 10 saniye tutulması malzemeye ve büküm açısına göre ortalama 1° ile 3° arasında geri yaylanma miktarı bir miktar azalma göstermektedir. (Tekaslan vd., 2007).

2.4.7. Akma Dayanımı Geri Yaylanma Üzerine Etkisi

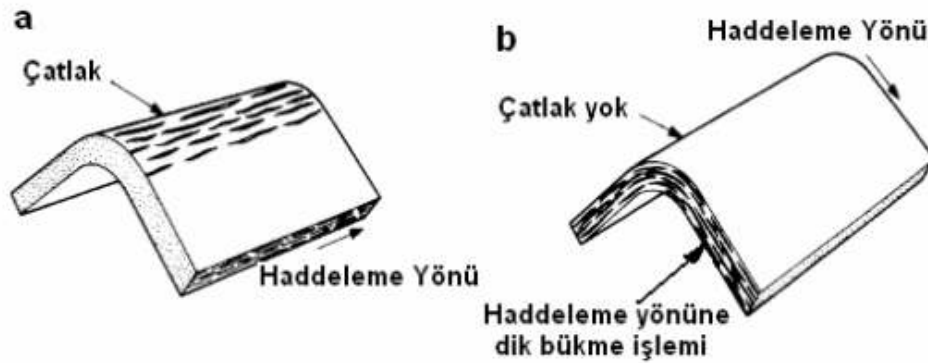
Malzemelerin içyapısına göre incelendiğinde bazı değişiklikler gösteren temel değerlerden biri de malzemenin akma dayanımıdır. Akma dayanımı aşıldıktan sonra malzeme kalıcı biçim değişimine maruz kalır. Akma dayanımını aşılmadan önce yani esneklik bölgesinde malzemeyi etkileyen yükleme kuvvet ortadan kaldırılırsa malzeme bir miktar sonra ilk haline döner esnek davranır ancak akma dayanımını aşılsa kalıcı biçim değiştirme bölgesine geçilirse malzemenin üzerinden uygulanan kuvvet geri alınsa dahi malzeme ilk haline dönemez. Biçim değiştirme artık kalıcı hale yani plastik biçim değiştirme olmuştur. Geri yaylanmanın düşük olması için, biçimlendirilecek sac metal levhaların akma dayanımı az olması gerekmektedir (Gau, 1999). Geri yaylanma miktarının akma dayanımına, esneklik modülüne olan oranının fazla olduğu durumlarda yükselmektedir. Geri yaylanma malzemelerin hem esneklik hem de kalıcı deforme olma durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir (Turan, 2009).

2.4.8. Esneklik Modülün Geri Yaylanma Davranış Etkisi

Sac metal levhalarda görülen geri yaylanma tutumu üzerinde etkisi olan malzeme özelliğinden birisi ise esneklik modülüdür. Esneklik modülü, yapılan mühendislik çalışmalarından çoğunlukla sabit bir değer olarak ele alınır. Fakat, yükselen birim biçim değişiminin miktarına göre esneklik modülünün değeri düşmektedir. Büküm işleminde esneklik modülü düşük olan sac metal levhalarda geri yaylanma miktarı da yüksek olmaktadır (Livatyalı ve Altan, 2001). Esneklik modülü yükseldikçe, elastik deforme olmasına direnç yükselerek geri yaylanma miktarı düşecektir (Tekiner, 2004).

2.4.9. Hadde Yönünün Geri Yaylanma Üzerine Etkisi

Haddeleme yönü malzemenin özellikleri farklı kristallografik metotlara bağlı olarak değişiyorsa bu malzeme anizotropiktir. Her yönde aynı özellikleri gösteren malzemeye verilen sınıflandırma isimidir. Herhangi bir malzeme tüm yönlerde aynı optik karakteri gösteriyorsa yani malzeme bütün özellikler bakımından her yönde aynıysa bu tür malzemeler izotropik malzeme olarak adlandırılır. Sac metal levhanın mekanik özelliklerine göre yöne bağlı olarak farklılık göstermektedir (Zhang vd., 2007). Anizotropi verisi yükseldikçe, malzemenin deformeye karşı direnci yükselmektedir. Bu durum, doğrultulara göre değişkenlik göstermektedir. Büküm eksenini haddeleme doğrultusuna göre dik bir şekilde uygulanarak yapılan sac levhaların bükme işlemleri, hadde yönüne doğru paralel doğrultuyla daha istenen sonuçlar belirtmektedir (Leu, 1997). Sac metal levhalarda büküm işlemi çoğunlukla hadde yönüne göre dik bir büküm işlemi daha çok uygulanmaktadır. Ancak bazı malzemelerin büküm radyüsü küçük bükümlerde gerçekleşmeyebilir. Şekil 2.13’de büküm işlemi sırasında hadde yönüne dikkat edilmezse, bükülen malzeme üzerinde çatlakların oluşabileceği gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Büküm sırasında haddeleme yönü belirtilmesi

2.5. Literatür Taraması

Yapılan çalışmalarda deney değişkenliklerinin ortaya çıkma esnasında, farklı malzemelerinin bükümünde V büküm metodunun uygulandığı deneyler incelenmiştir. Bu çalışmalar tarihsel sırayla incelenmiştir. Kullanılmış olan malzemelerin ile deney değişkenlerinde elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Forcellese ve çalışma arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, büküm kuvveti V büküm metodunda geri yaylanmaya tesirleri incelemişlerdir. Uygulanan çalışmaların büküm kuvveti yanında, büküm radyüsü ve geri yaylanmaya olan etkileri gözlemlemişlerdir. Büküm radyüsü arttığında geri yaylanmanın yükseldiği, düşük olması durumun da ise geri yaylanmanın düştüğü tespit edildiği belirtilmiştir (Forcellese vd., 1998).

Chan ve çalışma arkadaşlarının yapmış olduğu, V büküm kalıbıyla yaptıkları deneylerde geri yaylanmanın tesirlerini incelemişlerdir. Alüminyum AL2024-T3 sac metal levha malzemesini kullanarak, değişik kalıp açılarında ve büküm radyüsleri üzerinde çalışmaları incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmalarında Abaqüs ve Patran yazılımlarını kullanarak sonuçları daha efektif hale getirmişlerdir. Sonlu elamanların analiz verilerine göre, büküm radyüsünün düşmesi ve kalıp açısının ise yükselmesiyle geri esneme miktarının düştüğünü incelenmiştir (Chan vd., 2004).

Panthi ve çalışma arkadaşları, yapılan çalışmada oluşan büküm kuvvetinin geri yaylanma üzerinde görülen etkisini analiz çalışmalarıyla elde etmişlerdir. Seçilen malzemeye en düşük büküm kuvveti yapıldığında oluşan geri yaylanma değerinin büyük olduğu ve büküm kuvvetinin yükselmesi durumunda oluşan geri yaylanma miktarının gözle görülür bir şekilde azaldığı gözlemlemişlerdir (Panthi ve Ramakrishnan, 2007).

Sarıkaya yaptığı çalışmalarında, Isıl işlemi kullanmış olup değişik kalınlıklarda olan alüminyumdan oluşan malzemelere birbirinden farklı üç kalıp açısı ve üç farklı kalıp değişkenleri kullanılarak büküm çalışması realize edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda von mises gerilme değişimleri, plastik gerinme değerlerinin, kalıp kuvvetlerinin geri yaylanma düzenine etkisini araştırmak için sonlu elemanlar analizi yönteminde faydalanarak iki şekilde olan teorik ve deneysel olarak tetkik edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda alüminyumdan yapılmış olan malzemelerde ileri yaylanma olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca deney sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda seçilen kalınlık değeri arttırıldığında geri yaylanma değerinin de minimuma yaklaştığı saptanmıştır (Sarıkaya, 2008).

Bakhshi-Jooybari ve çalışma arkadaşlarının, CK67 çelik sac metal levha ile birlikte V-büküm işlemini 3 farklı değerdeki kalınlık, 4 farklı büküm radyüs olacak şekilde kullanmış olup 60°lik kalıpta deneyi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonunda ise sac levha numunelerinde ileri yaylanmanın gerçekleştiği sonucuna karar vermişlerdir. Büküm radyüsünün miktarının artması ise geri yaylanma değerinin artış gösterdiği tespit etmişler (Bakhshi vd, 2008).

Tekaslan ve çalışma arkadaşlarının, Hadde yönüne değerlendirildiğinde malzemelerde seçilen birbirinden farklı altı açılarda bükülme işlemi sonucunda görülen geri yaylanma değerinin tespit etmek istemişlerdir. 25x50 mm ebatları olan farklı kalınlıkları olan 3 tane Bakır sac kullanılmışlardır. Çalışmayı gerçekleştiren farklı olarak 4 metotta yer alan kullanılan birinci ve ikinci metotlarda oluşan geri yaylanma değerini tespit etmede elverişli olduğu kanısına saptanmıştır. Üst kalıp yükünün Bakır sac üzerinde bekletilmesi sonucunda büküm zaman değerinin arttırılmasına karşı geri yaylanma değerinde azalma görüldüğü tespit etmişlerdir. 20 sn. bekleme süresi ile ortalama 1-3° değerler aralığında geri yaylanma değerinde azalış incelenmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre kalınlık değeri ile seçilen bükme açısının geri yaylanma üzerine doğru orantıda etkilediğine karar verilmiştir (Tekaslan vd., 2008).

Özer çalışmalarında, Yüksek mukavemete sahip çeliklere yapılan işlem adı olan şekil verme sonrasında gözlemlenen geri yaylanma değerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanarak çıkarım yapılması ve düzeltilmesi üzerine çalışmıştır. Birbirinden farklı 3 büküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Hill48 ve Barlat89 akma modellerinin yer aldığı çalışmada sonlu elemanlar analizlerini tespit etmiştir. DP, TRIP ve TWIP 3 farklı çeliklerin geri yaylanma özellikleri incelenerek, pekleşme katsayısı ve pekleşme üstelinin geri yaylanma üzerinde tesirleri olup olmadığı incelenmiştir. U- profil büküm işlemi sonrasında benzer olmayan malzemeleri birbirleriyle karşılaştırmış ve olanların arasında bulunan anizotropi ve plastik davranışını en doğru sergileyen modelin Barlat89 olduğu tespit edilmiştir. S-ray profil büküm işlemi sonucunda, Barlat89 modeliyle yapılan deneylere göre çok fazla geri yaylanma tespit edilmiştir. Kalıp boşluk değerinin artması sonucunda geri yaylanma değerinin artış gösterdiği sürtünme katsayısı ve baskı plakası kuvvet miktar değerleri yükseldikçe da geri yaylanma değerinin azalış gösterdiği sac kalınlığının artmasından dolayı geri yaylanma miktarının arttığı sonuçlarına varılmıştır (Özer, 2011).

Ötü çalışmalarında, V büküm kalıplarında ise yer alan değişik büküm işlemleri kullanarak AA 5754-O ve AL 1050-O sac malzemelerinde oluşan geri yaylanma

miktarlarını değerlendirilmiştir. Yapılan deneyde ise deneysel ve teorik yöntemleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Aynı olmayan iki kalınlığı bulunan malzemeleri 3 tane olmak üzere farklı açılar kullanarak V büküm kalıplarında, haddeleme yönü doğrultusunda 0°, 45° ve 90° olacak şekilde çalışmalar yapmıştır. Üst kalıp sac levhanın üzerinde gerçekleştirilen oyalanma süresi sonucunda geri yaylanma miktarını azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kullanılan sac malzemelerinde hadde yönü özelliğinden dolayı geri yaylanma miktarlarında farklılıklar oluşturduğu tespit edilmiştir (Ötü, 2012).

Şahin çalışmalarında, geri yaylanma davranışları tespit edebilmek için, yöntem olarak V büküm kullanarak deneysel ve Dynaform yazılımı aracılığıyla teorik açıdan incelemiştir. Kalıp değişken çeşitlerine göre paslanmaz, dkp, alüminyum malzemelerine göre çalışmalar gerçekleştirmiştir. Kalıp değişkeninde farklı olarak üç V kalıp açıları kullanılmakta olup ve büküm radyüs değerinin sabit değer olarak ele almıştır. Üç farklı kalınlığı olan örnekler kullanılmış ve elde edilen sayısal sonuçlarıyla birlikte deneysel sonuçları karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçları yaptığı inceleme sonucunda birbirlerine eşit değerler olduğunu tespit etmiştir. Bazı deney göstergelerinde yer alan geri yaylanmanın yanında ileri yaylanma değerinin sonuçları tespit edilmiştir (Şahin, 2013).

Aslan çalışmalarında, yöntem olan V büküm ise sıvı basıncıya birlikte deneysel olarak araştırma yapmıştır. Kalınlığı 0,5 mm olarak belirlenen alüminyumdan oluşan, Bakır ve pirinç malzemelerini ise değişik açılar kullanarak V büküm kalıplarında çalışmalarını noktalamışlardır. Büküm sıvı basıncı miktarı ve ütüleme süresindeki gözlemlenen artış miktarının geri yaylanma değerinin azalttığını, büküm açısı ile malzemede olan sertliğin artması da geri yaylanma miktarının arttırdığını elde etmiştir (Aslan, 2014).

Özdemir çalışmalarında, V dip büküm çalışması bulgusunda yer alan ileri ve geri yaylanma davranışları, normalizasyon ve ısıl işleminde yer alan 16Mo3 oluşan sac malzemelere olan etkisi küçük yapısal düzeyde çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucuna göre 30° gerçekleştirilen büküm işleminde, ısıl işlemi olmadan ve normalizasyon işlemi yapılan sac malzemelerin kalınlık değerleri artırıldıkça, ileri yaylanma miktarını artış gösterirken, 60° ve 90° açılarla gerçekleştirilen işlem olan bükümde sac malzeme kalınlık miktarını arttırıldıkça elde edilen ileri yaylanma miktarının azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Menevişleme işlemi yapılmamış elemanlarda ise, sacların kalınlık miktarını arttırdıkça geri yaylanma değerinin azalış gösterdiği gözlemlenmiştir. Isıl işlemi olmadan ve normalizasyon işlemi yapılmış malzemelerde üst kalıp büküm radyüsü miktarını

arttırıldıkça ileri yaylanma sayısal değerini azaltırken, ısıt işlemleri uygulanmış malzemelerde ise, geri yaylanma davranış değerinin arttığını tespit etmişlerdir (Özdemir, 2015).

Çelik çalışmalarında sac malzemelerin geri yaylanma davranışlarını incelemiştir. Deneyde kullanılacak olan orijinal modele ait kalıp yüzeyleri Catia yazılımında oluşturup Autoform yazılımına doğru bir şekilde aktararak simülasyon çözümleri elde etmiştir. Yapılan simülasyonda parametreler doğru seçilmesinin hem zaman hem de işçilik maliyetlerini düşürdüğünü gözlemiştir. Deney sonucunda Autoform yazılım programı ile geri yaylanma davranışının sayısal verilerin uyumlu olduğunu gözlemiştir. Autoform programının sac biçimlendirme simülasyonunda, gerçeğe yakın sonuçlar vermede güvenilir olduğunu söylemek mümkündür (Çelik, 2020).

Sayın yapmış olduğu çalışmada farklı sac levha malzemelerin farklı kalınlıkları da geri yaylanmasını incelemiştir. Geri yaylanma sonuçlarının ortaya koymak için kalıp olan V büküm ve deneyde çalışılacak AISI 304, EN 10130 DC01, Bakır sac metal levhalar kullanılmıştır. Deneyde kullanılan malzemelere göre geri yaylanma farklılık gösterdiği gözlemlenmiş olup akma mukavemeti yüksek olan malzemede daha fazla geri yaylanma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca malzeme kalınlığı arttıkça da geri yaylanmanın azaldığı gözlemlenmiştir (Sayın, 2019).

Literatür çalışmalarına bakıldığı zaman, geri yaylanmayı düşürmek için deneysel çalışmalarda aynı olmayan malzemelerde kalınlık, kalıp açısı, büküm radyüsü değişkenlikleri kullanılarak farklı deneyler incelenmiştir. Bu deneysel işlemde ise kalıp tasarımı olarak V büküm yapılarak AISI 316, S355JR (ST52) sac levhalarının, kalınlıkları 2 ve 3 mm olacak şekilde, bükme radyüsü ise 2 ve 4 mm olacak şekilde geri yaylanma özelliklerinin gözlemlenebilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmalardan tespit edilen sonuçlar grafik ve çizelgeler şeklinde incelenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Sac metal levhalarda yapılan V büküm işleminde oluşan geri yaylanma değerinin belirtilmesi ile ilgili yapılacak olan deneylerde değişiklik gösteren işlem parametreleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Solidworks yazılımından faydalanarak 3 boyutlu çalışmalar gerçekleştirilmiş olup, erişilen modele göre de yer alan kalıp parçalarının ölçüleri tespit edilmiştir. Kalıp parçalarının üretimi ise CNC Freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir.

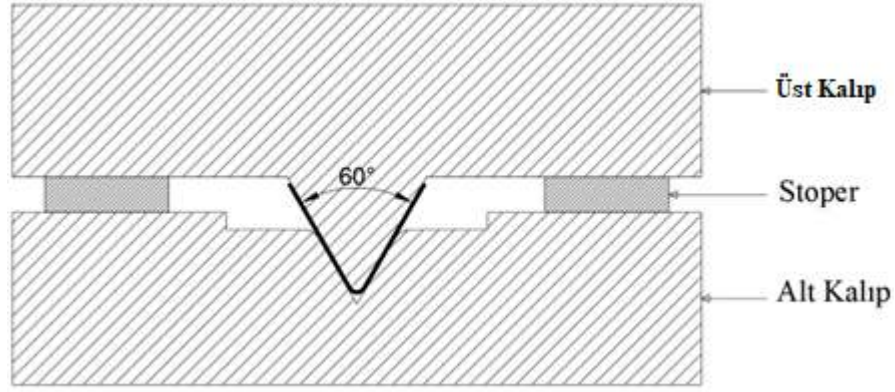
Çizelge 3.1. İşlem değişkenleri

Malzeme	AISI 316, S355JR (ST52)
Kalıp açısı (°)	60, 90, 120
Büküm radyusu (mm)	2, 4
Malzeme kalınlığı (mm)	2, 3

Deney çalışmasında kullanılacak olan sac metal levhaların boyutları belirlenmiş ve hadde yönüne göre dik doğrultuda CNC Lazer tezgâhı kullanılarak kesim işlemi yapılmıştır. 150 ton ağırlığında hidrolik pres makinesi kullanılarak V büküm deneylerinde kullanılacak olan her bir parametre için 3 er kez tekrar edilerek işlem sonucunda elde edilen toplam 108 adet örneğe bükme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bükme işlemi gerçekleştirilirken üst kalıp ve alt kalıp arasına, bunların sac levhalara fazla kuvvet uygulamasını engellemek ve bozulmalar meydana gelmemesi için stoperler koyulmuştur. Çizelge 3.2’de deneyde kullanılan stoperlerin kalınlıkları yer alırken, Şekil 3.1’de ise emsal olarak 60° V büküm işlem kalıbında kullanılan stoperlerin şekli gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. İşlem değişkenlere göre stoper kalınlığı

Kalıp Açısı (°)	Malzeme kalınlığı (mm)	Stoper kalınlığı (mm)
60	2	10,3
	3	11,3
90	2	13,9
	3	14,9
120	2	9
	3	10



Şekil 3.1. V büküm kalıbı 60° stoper örneği

3.1.1. Deneyde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

V büküm işlemi yapılan deneylerde 75x50 mm boyutlarında 2 ve 3 mm kalınlıklarında AISI 316 paslanmaz sac ve S355JR (ST52) sac levhaları kullanılmıştır. Deney örneklerinin kimyasal bileşim özellikleri sırasıyla aşağıda yer alan Çizelge 3.3, Çizelge 3.4; mekanik özellikleri ise Çizelge 3.5’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. AISI 316 paslanmaz sac malzeme kimyasal özellikleri

C	Mn	P	S	Si	Al	Ti	Nb	Cr	Cu	Ni	N
0,06	0,241	0,009	0,006	0,012	0,042	0,001	0,001	0,019	0,021	0,038	50

Çizelge 3.4. S355JR (ST52) sac malzeme kimyasal özellikleri

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	N
0,057	1,064	0,029	0,006	0,467	18,09	8,05	0,206	0,14	0,035

Çizelge 3.5. Deney malzemelerinin mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Yüzde uzaması (%)
S355JR (ST52)	218-279	319-352	28,7-39,2
AISI 316	316-318	679-690	52-53

3.1.2. Deney Çalışmalarında Kullanılan Büküm Kalıbı ve Tasarımı

Deneyde kullanılan kalıp parçaları, malzeme kalitesi AISI 1050 üretim çeliğinden CNC dik işleme makisinde hassas bir şekilde dikkat edilerek yapılmıştır. Şekil 3.2’de yer alan veriler ise alt ve üst tabla, kalıp civataları, burç ve bağlama pabuçları belirtilmiştir. Şekil 3.3’de ise büküm radyüsleri ve alt kalıp gösterimleri yer almaktadır. Kalıp elemanlarına uygulanan kuvvetten dolayı görülebilecek çatlama, kırılma ve malzemenin içyapısında gerilimlerin oluşmasını engellemek için ısıtıl işlemi yapılmıştır. Kalıp

tasarımları uygulanırken deneyde kullanılacak olan malzemelerden hidrolik presin ebatları ve kapasitesi dikkate alınmıştır. Kalıp açıları ise belirlenen literatüre uygun, endüstri alanında çok kullanılan sırasıyla Şekil 3.4'te 60°, Şekil 3.5'te 90° ve Şekil 3.6'da 120° yer alan üç farklı açıda ve üst kalıp büküm radyüsü 2 ve 4 mm olarak belirlenen V büküm kalıplarının üretimi yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılmış olan büküm kalıbına ait teknik resimler ise EK 1- de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kalıp elemanları



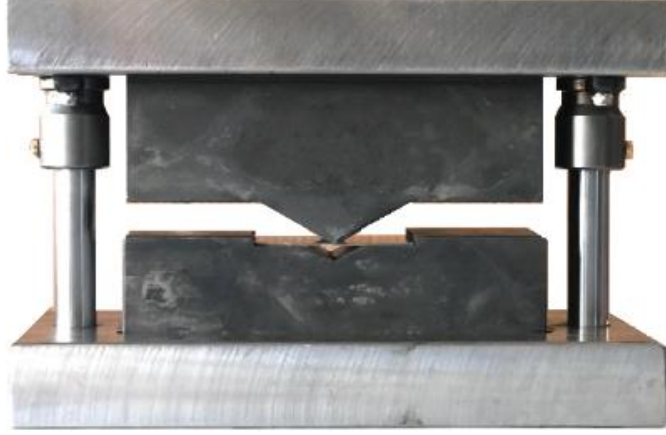
Şekil 3.3. Kalıp açısına göre büküm radyüsleri ve alt kalıp örnekleri



Şekil 3.4. V büküm kalıbı 60°



Şekil 3.5. V büküm kalıbı 90°

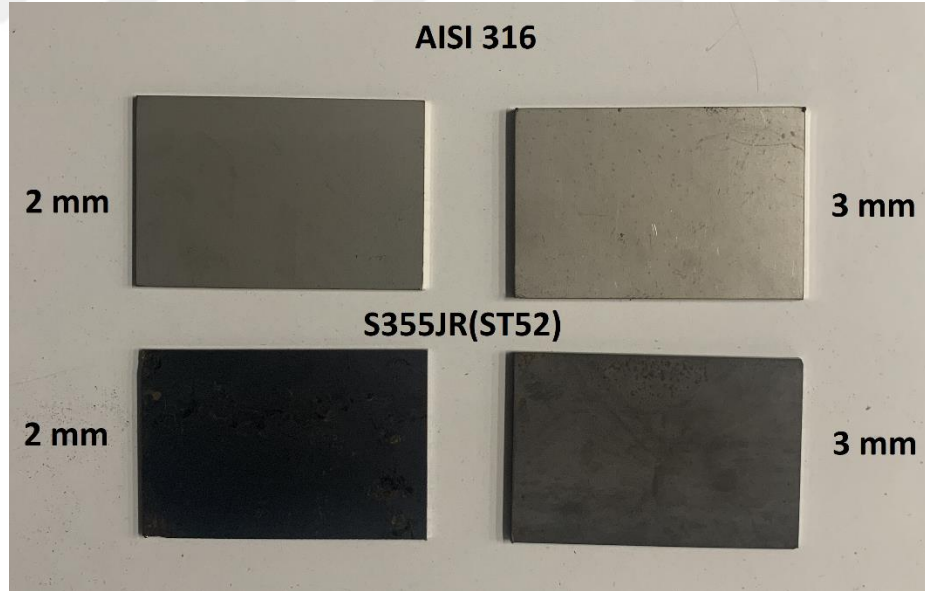


Şekil 3.6. V büküm kalıbı 120°

3.2. Yöntem

3.2.1. Lazer Cnc Makinesi

Deney numunelerinden daha objektif ve doğru veriler alınabilmesi amacıyla Lazer cnc makinesi kullanılarak hadde yönüne göre paralel 75x50 mm değerindeki ölçülere göre kesilerek hazırlanmıştır. Şekil 3.7’de ise deneylerde kullanılmış olan örnekler yer almaktadır.



Şekil 3.7. Deney malzeme örnekleri

Örneklerin üretiminde kullanılan Lazer cnc makinesi tezgâhı Şekil 3.8’de yer almakta olup teknik özellikleri ise Çizelge 3.7’de belirtilmiştir.



Şekil 3.8. Lazer Cnc Makinesi

Çizelge 3.7. Lazer cnc makine teknik detayları

Model	Bystronic – Bylaser 4400
Kontrol Ünitesi	Bilgisayar veya el kullanımı
Kesim Alanı (mm)	1500 x 3000
Pres gücü (W)	4000

3.2.2. Hidrolik Pres Atölye Tipi

V büküm deneyinde kullanılmış olan 150 ton’luk ağırlığında hidrolik pres makinesi Şekil 3.9’da yer almaktadır. Hidrolik presin kontrol panosu tercihe göre manuel ya da motorlu kumanda ile kontrol edilebilmektedir. Makineye ait teknik özellikler ise Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

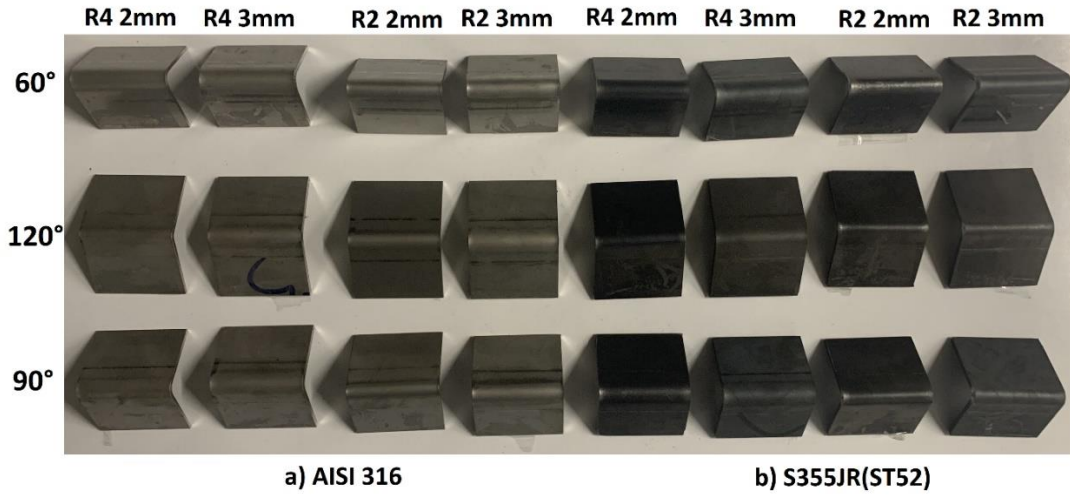


Şekil 3.9. Hidrolik pres Atölye Tipi

Çizelge 3.8. Hidrolik pres atölye tipi teknik detayları

En Yüksek Pres Kuvveti (ton)	150
Piston Stroku (mm)	400
Üst Kalıp inme hızı (mm/s)	6,7
Motor (kw)	4
Ağırlık (ton)	1,3
En Yüksek Ebatlar (mm)	2500 x 1400 x 1000

V büküm işlem deneylerinin daha doğru sonuçlar elde edilecek şekilde gerçekleştirilmesi için, tüm değişkenliklerdeki deney örneklerini kalıp üzerine düzgün ve aynı biçimde olacak şekilde dikkat edilerek yerleştirilmiştir. Alt kalıpla ve üst kalıp arasına ise sac kalınlıklarına uygun stoper koyarak kullanılan malzemelerde bozulmalar meydana gelmemesi için dikkat edilmiştir. Deney numunelerini alt kalıp üzerine yerleştirilme işlemi gerçekleştirildikten sonra V büküm işlemi yapılmıştır. V büküm işlemi yapılan örnekler ise Şekil 3.10'da yer almaktadır.



Şekil 3.10. V büküm işleminde yapılan deney örnekleri

3.2.3. Ölçüm Aleti

Deney çalışmasında V büküm işlemi gerçekleşen malzemelerin, büküm işleminden sonra Şekil 3.11'de görülen dijital açölçer ile değerler okunmuştur.



Şekil 3.11. Dijital açı ölçer

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deneylerde kullanılan malzemenin kalınlığı, kalitesi, kalıp açısı ve büküm yarıçapı gibi sabit olmayan işlem değişkenlerine bağlı olarak büküm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneyleri gerçekleştiren mamuller ise AISI 316 paslanmaz sac ve S355JR (ST52) sac metal malzemeleri olmak üzere iki unsur üzerinde ele alınmıştır.

4.1.1.S355JR (ST52) Sac Levha İçin Yapılan Büküm Deneyleri

Yapılan büküm işlemi, 60°, 90°, 120° açılar, 2 ve 4 mm değerlerdeki büküm yarıçaplı kalıplar ile 2 ve 3 mm kalınlığı bulunan ST52 sac metal levha örnekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir değişkene ait olan üçer adet olacak şekilde toplamda 36 adet numunede büküm işlemi gerçekleştirilmiştir.

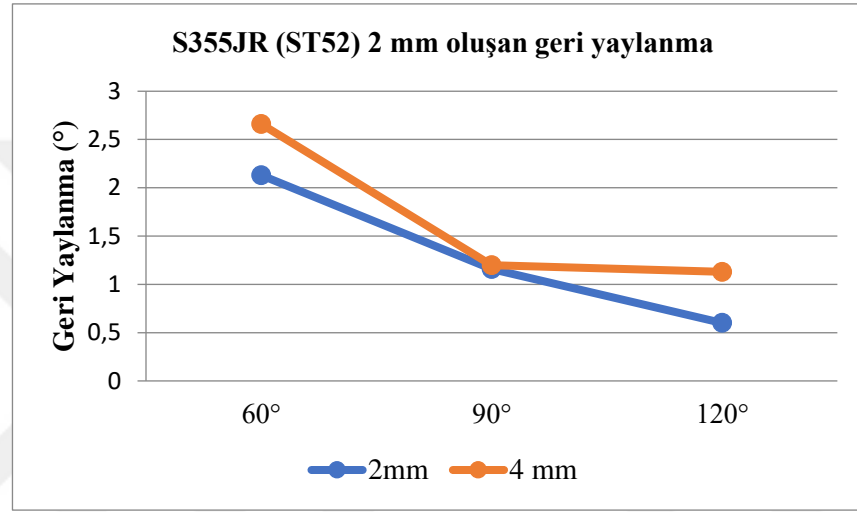
Hadde yönüne göre dik olacak şekilde yer alan üst kalıp malzeme üzerine dikey yönde kuvvet uygulanarak deneyler yapılmıştır.

Çizelge 4.1’de yer alan dijital açıölçer ile ölçüm yapılan ST52 sac metal levhaya ait deneysel geri yaylanma açısına ait sayısal değerleri belirtilmiştir. Çizelge 4.1’de ise bulunan verilerin görsel olarak karşılaştırma yapılabilmesi için 2 mm kalınlığındaki ST52 sac levhaya ait geri yaylanma açısı grafiği Şekil 4.1’de yer alırken, 3 mm kalınlığındaki ST52 sac levha için geri yaylanma açısı grafiği ise Şekil 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. S355JR (ST52) sac metal levha geri yaylanma sonuçları

Kalıp Açısı [°]	Sac Kalınlığı [mm]	Büküm Radyüsü [mm]	1. Numune Geri Yaylanma Açısı [°]	2. Numune Geri Yaylanma Açısı [°]	3. Numune Geri Yaylanma Açısı [°]	Ortalama Numune Geri yaylanma Açısı [°]	Geri Yaylanma [°]
60	2	2	62,1	62,2	62,1	62,13	2,13
		4	62,5	62,7	62,8	62,66	2,66
	3	2	59,8	59,7	59,8	59,76	0,23
		4	61,1	61,1	61,1	61,1	1,1
90	2	2	91	91,3	91,2	91,16	1,16
		4	88	89,2	89,2	89,13	1,2
	3	2	90,5	90,4	90,6	90,5	0,5
		4	91,8	91,9	91,7	91,8	1,8
120	2	2	120,7	120,7	120,5	120,6	0,6
		4	118,2	118,2	118,1	118,2	1,13
	3	2	119,6	119,6	119,7	119,65	0,35
		4	120,4	120,5	120,9	120,6	0,6

Çizelgede genel olarak 1, 2 ve 3 numaralı örneklerde ve bütün değişkenlere ait yer alan geri yaylanma sayısal değerlerinin belirlenen ortalama değere benzer olduğu ve bulunan geri yaylanma açısı değerlerinin ise birbirleriyle mevzun olduğu tespit edilmiştir. Çizelgede yer alan en fazla geri yaylanma değerinin 90° büküm açısına sahip 4 mm değerindeki radyüslü kalıpta, 2 mm kalınlıktaki ST52 sac levhanın bükülme işlemi sonrasında tespit edildiği gözlemlenmektedir. En az geri yaylanma değerinde ise çizelge de yer alan 60° büküm açısı olan 2 mm değere sahip radyüslü kalıpta, 3 mm kalınlık bulunan ST52 sac levhanın bükülme işlemi sonrasında elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. 2 mm kalınlıktaki ST52 sac metal levha kalıp açısına göre geri yaylanma şeması

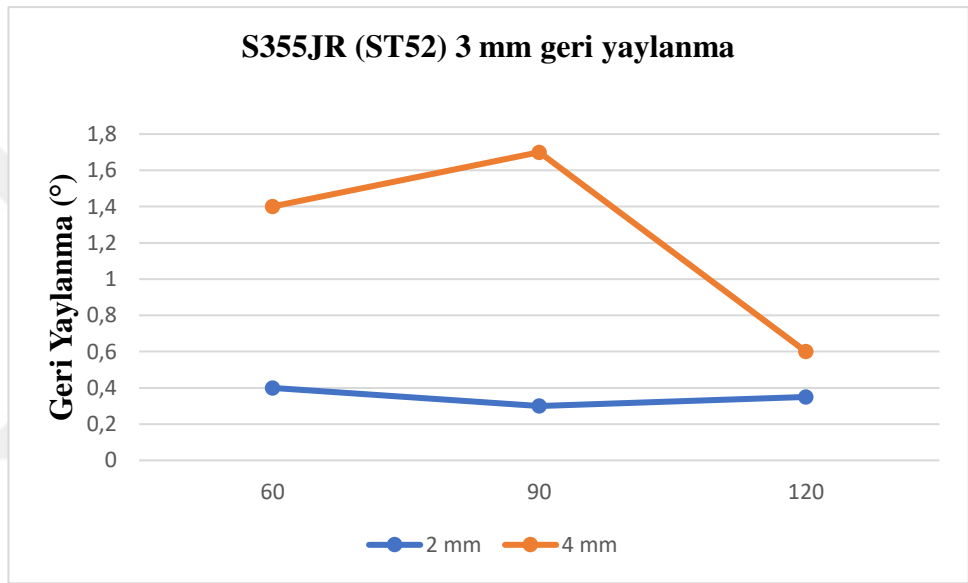
Yukarıda belirtilen Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 2 mm kalınlığına sahip ST52 sac levha için belirlenen geri yaylanma değeri 120° büküm açısına ait olan kalıptan erişilmiştir. ST52 sac levhanın maksimum geri yaylanma değerini ise 90° büküm açısına ait olan kalıptan erişilmiştir.

Büküm açısı 60° olan kalıpta, büküm radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, büküm radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %24,8 değerinde arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsü 4 mm olan değerde (2,66°) olduğu tespit edilmiştir.

Büküm açısı 90° olan kalıpta, büküm radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %0,35 arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsünde 4 mm olan değerde (1,2°) olduğu tespit edilmiştir.

Büküm açısı 120° olan kalıpta, bükme radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %88,3 arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsünde 4 mm olan değerde (1,13°) olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde oluşan sonuçlara göre bükme açısı 90° olan kalıplarda 2 mm ST52 sac levhanın bükülmesiyle gerçekleşen büküm radyüsünün oluşturduğu geri yaylanma üzerindeki bıraktığı etkinin diğer kalıp açılarına göre en az olduğu tespit edilirken, büküm açısı 120° olan kalıplarda ise bu farkın maksimum çıktığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.2. 3 mm kalınlıktaki ST52 sac metal levha kalıp açısına göre geri yaylanma şeması

Yukarıda belirtilen Şekil 4.2’de görüldüğü üzere 3 mm kalınlığına sahip ST52 sac levha için belirlenen en az geri yaylanma değeri 60° büküm açısına ait olan kalıptan erişilmiştir. ST52 sac levhanın en fazla geri yaylanma değerini ise 90° büküm açısına ait olan kalıptan erişilmiştir.

Büküm açısı 60° olan kalıpta, büküm radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %79,1 değerinde arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsü 2 mm olan değerde (0,23°) olduğu tespit edilmiştir.

Büküm açısı 90° olan kalıpta, bükme radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri

yaylanmaya miktarı %72,2 arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsünde 2 mm olan değerde (1,8°) olduğu tespit edilmiştir.

Bükme açısı 120° olan kalıpta, bükme radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %41,6 arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsünde 2 mm olan değerde (0,35°) olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde oluşan sonuçlara göre büküm açısı 60° olan kalıplarda 2 mm ST52 sac levhanın bükülmesiyle gerçekleşen bükme radyüsünün oluşturduğu geri yaylanma üzerindeki bıraktığı etkinin kalıp açılarına göre en az olduğu tespit edilirken, bükme açısı 90° olan kalıplarda ise bu farkın en fazla çıktığı gözlemlenmektedir.

ST52 sac levhalarına ait kalınlıkların, belirlenen kalıp açılarına göre değerlendirme işlemi sonrasında 2 mm kalınlığı bulunan sac levhadaki kalıp açısı derecesi arttırıldıkça oluşan geri yaylanma miktarının azaldığı, 3 mm kalınlıktaki sac levhada ise kalıp açısı değeri arttırıldıkça oluşan geri yaylanma değerinin arttığı gözlemlenmektedir.

4.1.2. AISI 316 Paslanmaz Sac Levha İçin Yapılan Büküm Deneyleri

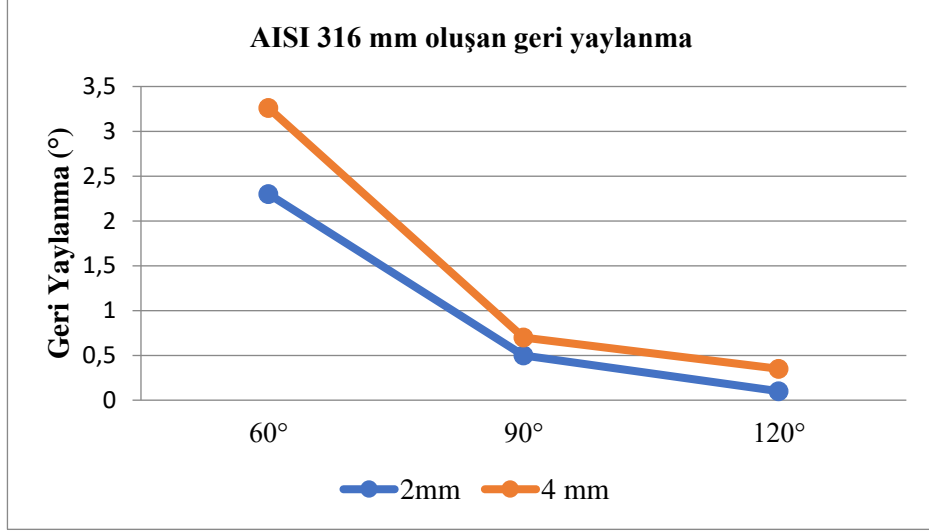
Yapılan büküm işlemi, 60°, 90°, 120° açılarda 2 ve 4 mm değerlerdeki büküm radyüslü kalıplar ile 2 ve 3 mm kalınlığı bulunan AISI 316 paslanmaz sac levha örnekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir değişkene ait olan üçer adet olacak şekilde toplamda 36 adet numunede büküm işlemi gerçekleştirilmiştir.

Hadde yönüne göre dik olacak biçimde yer alan üst kalıp malzeme üzerine dikey yönde kuvvet uygulanarak deneyler yapılmıştır. Çizelge 4.2’de yer alan dijital açıölçer ile ölçüm yapılan AISI 316 paslanmaz sac levhaya ait deneysel geri yaylanma açısına ait sayısal değerleri belirtilmiştir. Çizelge 4.2’de ise bulunan verilerin görsel olarak karşılaştırma yapılabilmesi için 2 mm kalınlığındaki AISI 316 paslanmaz sac levhaya ait geri yaylanma açısı grafiği Şekil 4.3’de yer alırken, 3 mm kalınlığındaki AISI 316 paslanmaz sac levha için geri yaylanma açısı grafiği ise Şekil 4.4’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. AISI 316 paslanmaz sac metal levha geri yaylanma sonuçları

Kalıp Açısı [°]	Sac Kalınlığı [mm]	Büküm Radyüsü [mm]	1. Numune Geri Yaylanma Açısı [°]	2. Numune Geri Yaylanma Açısı [°]	3. Numune Geri Yaylanma Açısı [°]	Ortalama Numune Geri yaylanma Açısı [°]	Geri Yaylanma [°]
60	2	2	57,7	57,8	57,6	57,7	2,3
		4	63,5	62,2	62,1	63,26	3,26
	3	2	60,4	60,5	60,3	60,4	0,4
		4	61,4	61,4	61,4	61,4	1,4
90	2	2	89,6	89,5	89,7	89,5	0,5
		4	90,8	90,7	90,9	90,7	0,7
	3	2	90,3	90,5	90,2	90,3	0,30
		4	91,8	91,9	91,7	91,7	1,7
120	2	2	120,2	120,1	120	120,1	0,1
		4	120,3	120,4	120,4	120,35	0,35
	3	2	119,6	119,6	119,7	119,65	0,35
		4	120,4	120,5	120,9	120,6	0,60

Çizelgede genel olarak 1, 2 ve 3 numaralı örneklerde ve bütün parametrelere ait yer alan geri yaylanma sayısal değerlerinin belirlenen ortalama değere benzer olduğu ve bulunan geri yaylanma açısı değerlerinin ise birbirleriyle mevzun olduğu tespit edilmiştir. Çizelgede yer alan en fazla geri yaylanma değerinin 60° büküm açısına sahip 4 mm değerindeki radyüslü kalıpta, 2 mm kalınlıktaki AISI 316 paslanmaz sac levhanın bükülme işlemi sonrasında tespit edildiği gözlemlenmektedir. En az geri yaylanma değerinde ise çizelge de yer alan 120° büküm açısı olan 2 mm değere sahip radyüslü kalıpta, 2 mm kalınlık bulunan AISI 316 paslanmaz sac levhanın bükülme işlemi sonrasında elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. 2 mm kalınlıktaki AISI 316 sac metal levha kalıp açısına göre geri yaylanma şeması

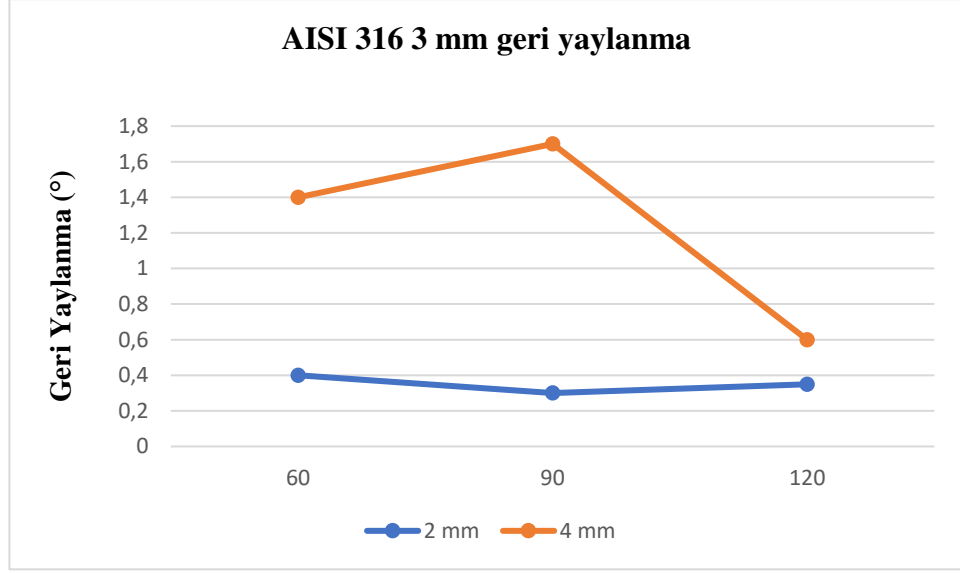
Yukarıda belirtilen Şekil 4.3'te görüldüğü üzere 2 mm kalınlığına sahip AISI 316 paslanmaz sac metal levha için belirlenen en az geri yaylanma değeri 120° büküm açısına ait olan kalıptan erişilmiştir. AISI 316 paslanmaz sac levhanın maksimum geri yaylanma değerini ise 60° büküm açısına ait olan kalıptan erişilmiştir.

Büküm açısı 60° olan kalıpta, bükme radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %29,44 değerinde arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsü 2 mm olan değerde (2,3°) olduğu tespit edilmiştir.

Büküm açısı 90° olan kalıpta, bükme radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %28,57 arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsünde 2 mm olan değerde (0,5°) olduğu tespit edilmiştir.

Büküm açısı 120° olan kalıpta, bükme radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %71,42 arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsünde 2 mm olan değerde (0,1°) olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde oluşan sonuçlara göre bükme açısı 60° olan kalıplarda 2 mm AISI 316 paslanmaz sac levhanın bükülmesiyle gerçekleşen bükme radyüsünün oluşturduğu geri yaylanma üzerindeki bıraktığı etkinin kalıp açılarına göre en az olduğu tespit edilirken, büküm açısı 90° olan kalıplar ise bu farkın maksimum çıktığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.4. 3 mm kalınlıktaki AISI 316 sac metal levha kalıp açısına göre geri yaylanma şeması

Yukarıda belirtilen Şekil 4.4’de görüldüğü üzere 2 mm kalınlığına sahip AISI 316 paslanmaz sac metal levha için belirlenen en az geri yaylanma değeri 120° büküm açısına ait olan kalıptan erişilmiştir. AISI 316 paslanmaz sac levhanın maksimum geri yaylanma değerini ise 60° büküm açısına ait olan kalıptan erişilmiştir.

Büküm açısı 60° olan kalıpta, bükme radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %71,42 değerinde arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsü 2 mm olan değerde (0,4°) olduğu tespit edilmiştir.

Büküm açısı 90° olan kalıpta, bükme radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %82,35 arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsünde 2 mm olan değerde (0,3°) olduğu tespit edilmiştir.

Büküm açısı 120° olan kalıpta, bükme radyüsleri 4 mm olarak yapılan büküm işlemleri sonucunda görülen geri yaylanma miktarı, bükme radyüsü 2 mm olana göre geri yaylanmaya miktarı %41,66 arttığı ve oluşan geri yaylanma değerinin ise en az bükme radyüsünde 2 mm olan değerde (0,35°) olduğu tespit edilmiştir.

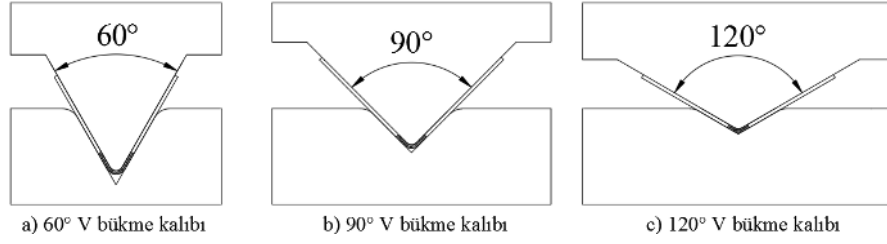
Elde edilen veriler incelendiğinde oluşan sonuçlara göre bükme açısı 60° olan kalıplarda 2 mm AISI 316 paslanmaz sac levhanın bükülmesiyle gerçekleşen bükme radyüsünün oluşturduğu geri yaylanma üzerindeki bıraktığı etkinin kalıp açılarına göre

en az olduğu tespit edilirken, büküm açısı 90° olan kalıplarda ise bu farkın maksimum çıktığı gözlemlenmektedir.

AISI 316 paslanmaz sac levhalarına ait kalınlıkların, belirlenen kalıp açılarına göre değerlendirme işlemi sonrasında 2 mm kalınlığı bulunan sac levhadaki kalıp açısı derecesi arttırıldıkça oluşan geri yaylanma miktarının azaldığı, 3 mm kalınlıktaki sac levhada ise kalıp açısı değeri arttırıldıkça oluşan geri yaylanma değerinin arttığı gözlemlenmektedir.

Yapılan deneyden elde edilen verilerin sonuçlarına göre grafikler incelendiğinde, artan malzeme kalınlığıyla birlikte oluşan geri yaylanma miktarının azaldığı belirlenmiştir. Belirlenen maksimum geri yaylanma miktarı 2 mm kalınlığından oluşurken, gözlemlenen geri yaylanmanın minimum değeri ise 3 mm kalınlığında elde edildiği tespit edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar literatürle uyum içerisindedir. Seçilen malzeme kalınlığının arttırılmasıyla oluşan geri yaylanma miktarında gözlemlenen azalmanın nedeni ise büküm işlemi gerçekleştirildikten sonra, uç radyüste olduğu gözlemlenen kalıntının gerilme değeri azaldığından dolayı kaynaklandığı tespit edilmiştir (Livatyalı ve Altan, 2001).

Seçilen kalıp açısı değerlerinin arttırılmasıyla oluşan geri yaylanma miktarlarında gözlemlenen azalmanın sebebi, arttırılan bükme açısı sonucunda sac metal levhanın dış yüzeylerinde gözlemlenen biçim değişimleri görülen alanın ve uzama miktarının artmasından dolayı olduğu tespit edilmiştir (Özdemir, 2010). Yapılmış olan çalışmada, 2 mm kalınlığındaki ST52 sac metal levhalarda en çok geri yaylanma miktarı 90° kalıp açısında gözlemlendiği, 3mm kalınlığındaki ST52 sac metal levhalarda en az geri yaylanma miktarı 60° kalıp açısında gerçekleşmiştir. AISI 316 paslanmaz sac metal levhada 2 mm de geri yaylanma en az 120° bulunurken, 3 mm AISI 316 paslanmaz sac metal levhalarda ise geri yaylanma en az 90° elde edilmiştir. 2 mm AISI 316 paslanmaz sac metal levhanın en fazla geri yaylanma miktarı 60° kalıp açısında olup, 3 mm AISI 316 paslanmaz sac metal levhanın ise 90° açıdan elde edilmiştir. Aşağıda belirtilen Şekil 4.5'de ise V büküm işlemi sonrasında seçilen kalıp açılarına göre taralı olarak belirtilen şeklin uç kısımları ise işlem sonrasında meydana gelen bölgelerde şekil değişimine maruz kalanları göstermektedir. 60° kalıp açısından dereceyi arttırarak 120° kalıp açısına geçildikçe bu bölgelerde olduğu gözlemlenen şekil değişim miktarlarının azaldığını ve ortaya çıkan sonuçların, işlemde seçilen kalıp açılarının geri yaylanma değerinin etkisi üzerine ise eskiden gerçekleştirilmiş çalışmalarla elde edilen deney sonuçlarının genelini örtüştüğü belirtilmektedir.

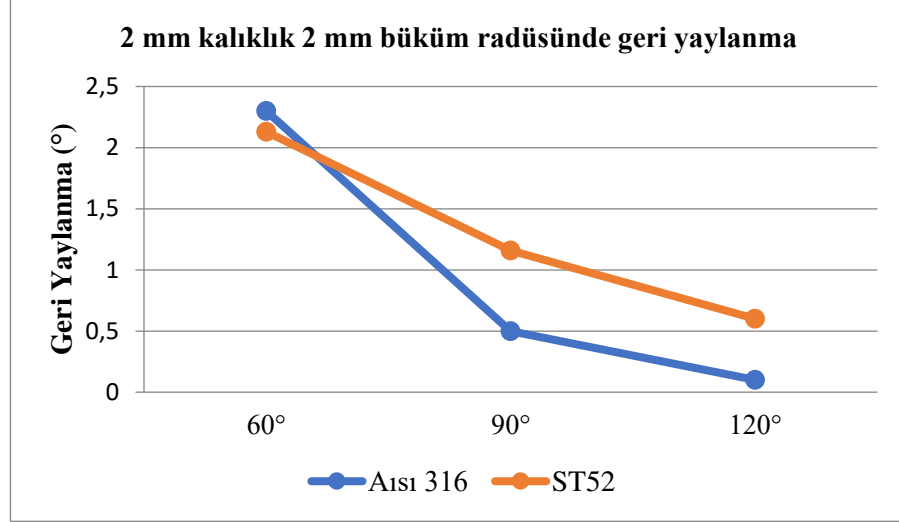


Şekil 4.5. V büküm radyüslerinin uç kısmındaki kalıp açısına göre biçim değişimi

Büküm radyüs değerlerine bakıldığında, 2 mm büküm radyüs olan kalıplardan temin edilen geri yaylanma miktarı, 4 mm büküm radyüs olan kalıplara göre kıyaslandığında daha az olduğu tespit edilmiştir. Geri yaylanmayı etkileyen başlıca nedenlerden biri büküm radyüsüdür. Geri yaylanmanın bağlı olduğu alan ise plastik bölgedir. Uygulanan az miktarda büküm radyüsü, kuvveti daha büyük olan plastik bozulmalar ve daha yüksek alansal gerinim seviyesi gerektiren dar bir bölgede toplanmasını sağlar. Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçtan ötürü, seçilen büküm radyüs değerinin artırılmasıyla birlikte oluşan geri yaylanma miktarının değerinin daha çok çıkmasına sebep olmaktadır (Buang vd, 2015).

4.1.3. Yapılan Deneyde Malzemelerin Sonuç Çalışmalarının Karşılaştırılması

V büküm deney işlemleri gerçekleştirilmiş olan AISI 314 paslanmaz sac ve S355JR (ST52) sac metal levhalara ait olan malzeme, kalınlık, büküm radyüs sayısal değerlerini kıyaslamak üzere aşağıda verilen Şekil 4.6'da 2 mm kalınlığında 2 mm büküm radyüs verileri belirtilirken, Şekil 4.7'de ise 2 mm kalınlığındaki 4 mm büküm radyüs değerine göre, Şekil 4.8'de ise verilen 3 mm kalınlığındaki kalıpların büküm radyüs değeri 2 mm olan, Şekil 4.9'da 3 mm kalınlığındaki kalıpların büküm radyüsü 4 mm olan değerler grafik olarak gösterilmiştir.



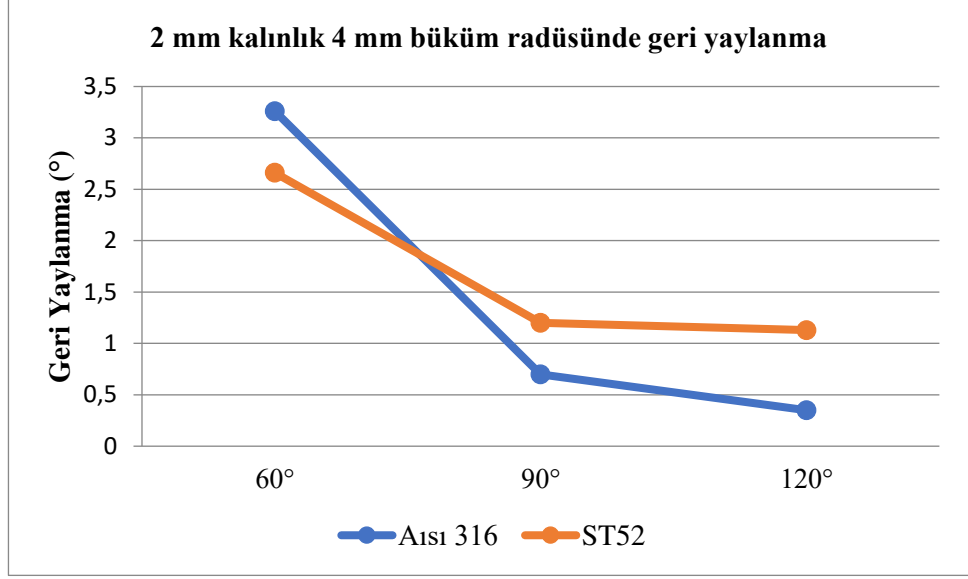
Şekil 4.6. Sac metal levha 2 mm kalınlık ve 2 mm büküm radyüsüne göre deney sonuçlarının geri yaylanma grafiği

Şekil 4.6'daki grafikte gösterilen veriler incelendiğinde gerçekleştirilen deneyde kullanılmış olan malzemelerin belirtilen kalınlık ölçüsü 2 mm olan, büküm radyüs değeri ise 2 mm seçilen levhaların oluşturduğu maksimum geri yaylanma 60° ST52 sac levhaya ait olduğu, minimum geri yaylanma değeri ise 120° AISI 316 paslanmaz sac levhada olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 60° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok ST52 sac metal levhada (2,66°) olduğu, geri yaylanma değeri en az olan ise AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (2,3°) olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 90° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok ST52 sac metal levhada (0,86°) olduğu, geri yaylanma değeri en az olan ise AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (0,5°) olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 120° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok ST52 sac metal levhada (1,83°) olduğu, geri yaylanma değeri en az olan ise AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (0,1°) olduğu görülmektedir.



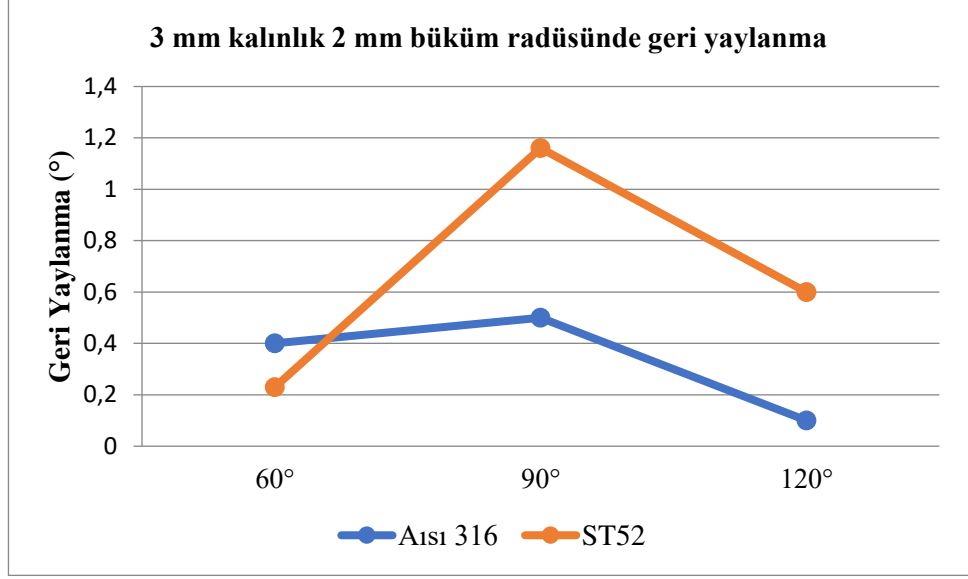
Şekil 4.7. Sac metal levha 2 mm kalınlık ve 4 mm büküm radyüsüne göre deney sonuçlarının geri yaylanma grafiği

Şekil 4.7’deki grafikte gösterilen veriler incelendiğinde gerçekleştirilen deneyde kullanılmış olan malzemelerin belirtilen kalınlık ölçüsü 2 mm olan, büküm radyüs değeri ise 4 mm seçilen levhaların oluşturduğu maksimum geri yaylanma 90° ST52 sac metal levhaya ait olduğu, minumum geri yaylanma değeri ise 120° AISI 316 paslanmaz sac metal levhada olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 60° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (3,26°) olduğu, geri yaylanma değeri en az olan ise ST52 sac metal levhada (2,13°) olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 90° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok ST52 sac metal levhada (3,43°) olduğu, geri yaylanma değeri en az olan ise AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (0,7°) olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 120° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok ST52 sac metal levhada (0,6°) olduğu, geri yaylanma değeri en az olan ise AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (0,35°) olduğu görülmektedir.



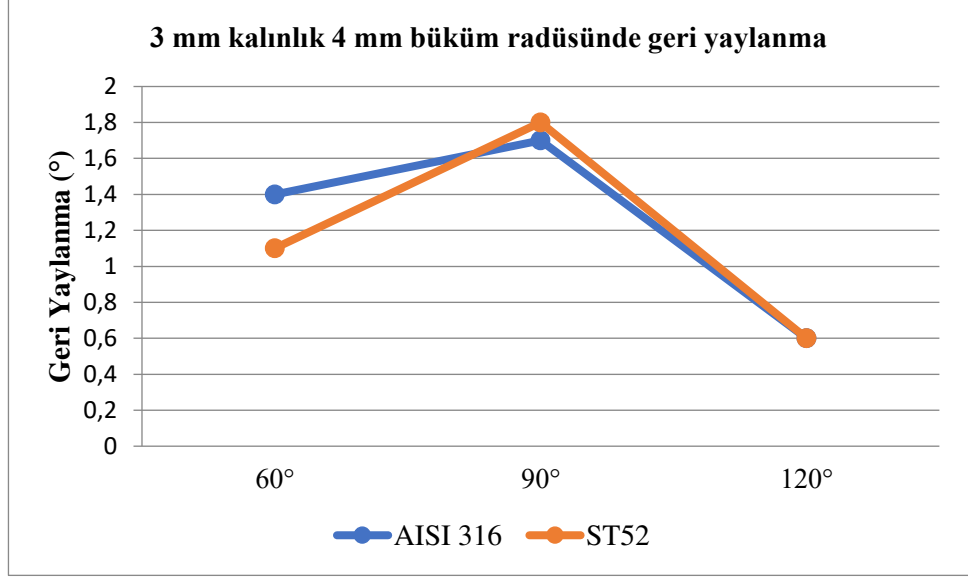
Şekil 4.8. Sac metal levha 3 mm kalınlık ve 2 mm büküm radyüsüne göre deney sonuçlarının geri yaylanma grafiği

Şekil 4.8’deki grafikte gösterilen veriler incelendiğinde gerçekleştirilen deneyde kullanılmış olan malzemelerin belirtilen kalınlık ölçüsü 3 mm olan, büküm radyüs değeri ise 2 mm seçilen levhaların oluşturduğu maksimum geri yaylanma 90° ST52 sac metal levhaya ait olduğu, minumum geri yaylanma değeri ise 120° AISI 316 paslanmaz sac metal levha ve ST52 sac levhada eşit olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 60° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (0,4°) olduğu, geri yaylanma değeri en az olan ise ST52 sac metal levhada (0,23°) olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 90° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok ST52 sac metal levhada (0,5°) olduğu, geri yaylanma değeri en az olan ise AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (0,3°) olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 120° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok ve en az değeri eşit çıkmıştır. Bu değerler ST52 sac metal levhada (0,35°), AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (0,35°) olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Sac metal levha 3 mm kalınlık ve 4 mm büküm radyüsüne göre deney sonuçlarının geri yaylanma grafiği

Şekil 4.9'daki grafikte gösterilen veriler incelendiğinde gerçekleştirilen deneyde kullanılmış olan malzemelerin belirtilen kalınlık ölçüsü 3 mm olan, büküm radyüs değeri ise 4 mm seçilen levhaların oluşturduğu maksimum geri yaylanma 90° ST52 sac metal levhaya ait olduğu, minumum geri yaylanma değeri ise 120° AISI 316 paslanmaz sac metal levha ve ST52 sac metal levhada eşit olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 60° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (1,4°) olduğu, geri yaylanma değeri en az olan ise ST52 sac metal levhada (1,1°) olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 90° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok ST52 sac levhada (1,8°) olduğu, geri yaylanma değeri en az olan ise AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (1,7°) olduğu görülmektedir.

Büküm açısı 120° belirlenen için geri yaylanma değeri en çok ve en az değeri eşit çıkmıştır. Bu değerler ST52 sac levhada (0,6°), AISI 316 paslanmaz sac metal levhada (0,6°) olduğu görülmektedir.

Şekil 4.8'den Şekil 4.9'a kadar olan grafiklerdeki veriler incelendiğinde ortaya çıkan deney sonuca göre bakıldığında genellikle geri yaylanma değeri en fazla ST52 sac metal levhasında görülmekte olup, geri yaylanma değeri en az ise AISI 316 paslanmaz sac metal levhada olduğu tespit edilmiştir. Sonuçların böyle çıkmasının sebebi ise akma mukavemetidir. ST52 sac metal levha da akma mukavemet değerinin fazla olduğu malzemelerde oluşan geri yaylanma değerinin arttığı, AISI 304 paslanmaz sac metal

levhalarda ise akma mukavemet deęerinin dūřuk olduęu malzemelerde oluřan geri yaylanma deęerinin azalıř gōsterdięi gōzlemlenmektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada, kullanılan sac biçimlendirme tekniklerinden birisi olarak V büküm işlemi tercih edilerek yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkan geri yaylanma miktarlarının değerlerini belirlenmesi için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde hadde yönüne göre dik doğrultuda (90°), büküm açısı (60° , 90° ve 120°) üç farklı olacak şekilde, iki farklı sac kalınlık değerleri (2 mm, 3 mm) ve iki farklı büküm radyüsü (2 mm, 4 mm) değerleri seçilerek AISI 316 paslanmaz sac metal levhası ve S355JR (ST52) sac metal levhaların yapmış olduğu geri yaylanma değerleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıda verilmiştir:

1. Çalışmalarda kullanılmış malzemelerin çeşitliliğine göre oluşan geri yaylanma miktarlarında değişiklik gözlemlenmiştir. ST52 sac metal levhasının akma mukavemeti değeri az olmasından dolayı oluşan geri yaylanma miktarı yüksek olurken, AISI 316 paslanmaz sac levhanın akma mukavemeti değeri yüksek olmasından kaynaklanan geri yaylanma değerinin ise daha düşük olduğu belirlenmiştir.
2. ST52 sac metal levha, AISI 316 paslanmaz sac metal levhaların seçilen kalınlık değerlerinin arttırılması ile oluşan geri yaylanma miktarının azaldığı gözlemlenmektedir. Bu sonucun çıkmasının nedeni ise işlem sırasında büküm bölgesinde olduğu gözlemlenen kalıntı gerilme değerinin azalmasından dolayı görüldüğü ifade edilebilir.
3. Seçilen V büküm açısı arttırılmasıyla 2 mm ve 3 mm kalınlığındaki ST52 paslanmaz sac levhada oluşan geri yaylanma miktarının azaldığı gözlemlenmektedir. AISI 316 sac levhada ise bu durum değişkenlik göstermiştir. 90° kalıp açısı ile oluşan geri yaylanma miktarı 3 mm kalınlığında AISI 316 sac levhada en çok olurken, 2 mm kalınlığındaki AISI 316 sac levhada ise en az olduğu gözlemlenmektedir. Çalışmalar neticesine bakıldığında genelleme yapılacak olursa seçilen kalıp açısı değerinin artması sonucunda oluşan geri yaylanma miktarlarının azaldığı, sac levhalarda yapılan büküm işleminden sonra gerçekleşen dış yüzeylerde bazı bölgelerinde meydana gelen şekil değişimleri sonucunda uzama miktarlarının azalmasından dolayı kaynaklandığı söylenebilir.
4. Çalışmalarda büküm radyüsü 2 mm kalıplar kullanılarak elde edilen geri yaylanma miktarının, büküm radyüsü 4 mm kalıplar kullanarak elde edilen geri yaylanma

miktarına göre daha az olduğu görülmektedir. Büküm radyüsü daha düşük olarak seçilen kalıplarda üst kalıp kuvveti, işlem sırasında malzemenin üzerine çok fazla plastik bozulmalar ve daha fazla bölgesel gerinim oluşturmasıyla dar bir bölgede yoğunlaştırır. Bu nedenden ötürü belirlenen büküm radyüs değerinin azaldığı zaman uygulanan kuvvet daha fazla plastik alan boyunca yayılacağından dolayı oluşan geri yaylanma miktarını azalttığı söylenebilir.

5. Gerçekleştirecek V büküm işlemi öncesinde kalıp tasarım şeklinden faydalanarak alt kalıp ve üst kalıp arasında bulunan boşluk mesafesine göre stoper koyulması, bu yapılan işlem sac levhalarda çalışma sırasında fazla bükme kuvvetinden dolayı oluşabilecek bozulma durumlarından korumuş ve tüm parametrelerde ise aynı değerdeki büküm kuvvetinin uygulanmasına olanak sağlamıştır. Gerçekleştirilen deney sonrasında ise malzemeler incelendiğinde herhangi bir bozulma ve çatlaklık gözlemlenmemiştir.

İlerleyen zamanlarda yapılan çalışmaya ek olarak aşağıda belirtilen konular eklenerek araştırma içeriğinin büyütülmesi planlanmaktadır.

1. Üst kalıbın seçilen örnek üzerinde bırakılarak seçilen değişik ütüleme zamanlarında büküm işlemi yapılması
2. Kalıp açıları farklı olarak seçilerek yapılacak olan deneylerde oluşan geri yaylanma değerine etkisi tespit edilmesi,
3. Çeşitli yazılım programları seçilerek deneysel yöntemle tespit edilen bilgilerin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak tespit edilen verilerle karşılaştırma yapılması.

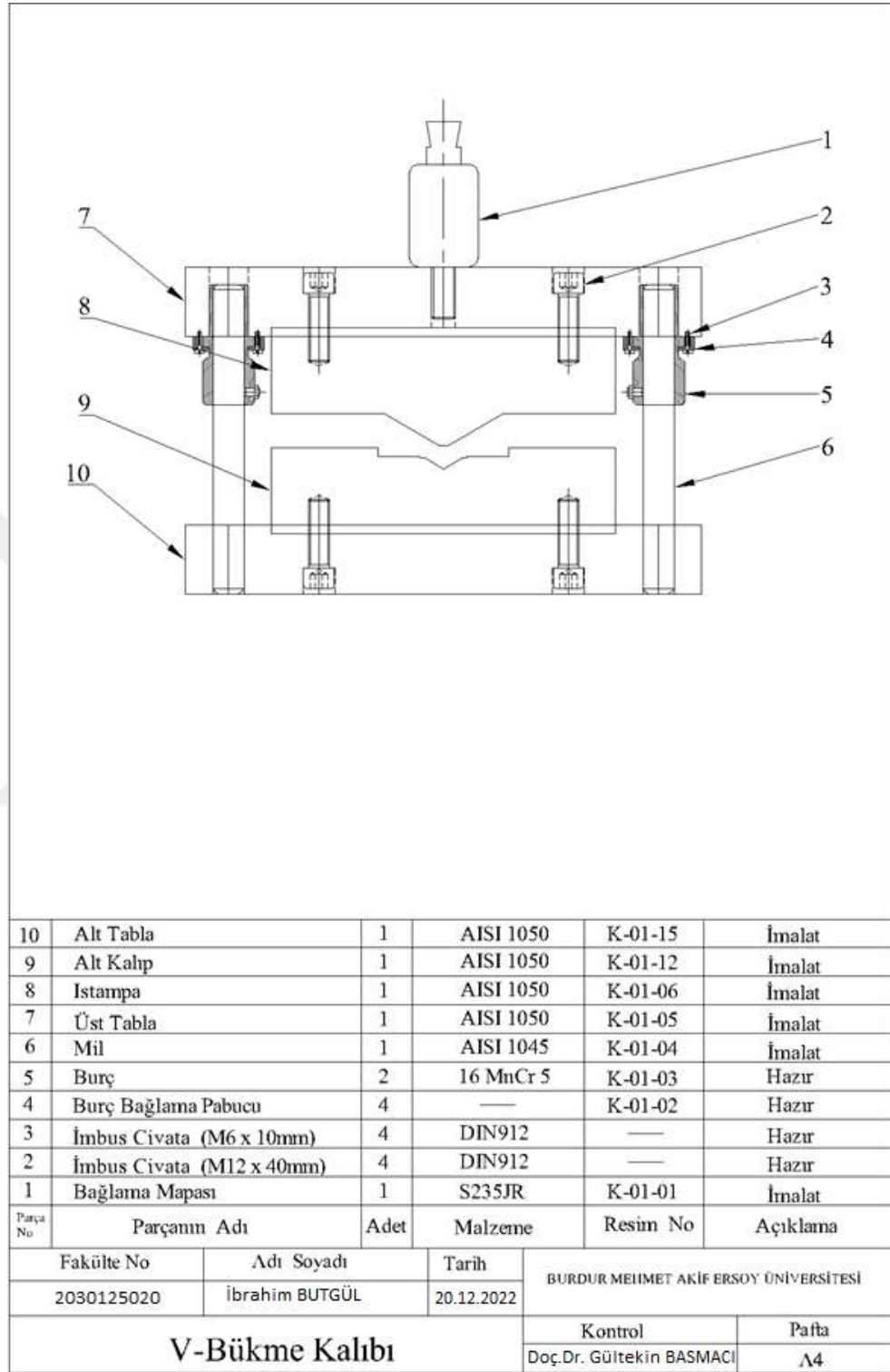
KAYNAKLAR

- Aslan, Y. (2014). *Sıvı Basıncıyla V Bükme Prosesinde Geri Esnemenin Deneysel Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Bakhshi, J. M., Rahmani B., Daezadeh V., ve Gorji A. (2008). The Study of Spring-back of CK67 Steel Sheet in V-Die and U-Die Bending Processes, *Materials and Design*, Faculty of Mechanical Engineering Babol University of Technology, Mazandaran, Iran, 30, 2410-2419.
- Boljanovic, V. (2004). *Sheet Metal Forming Processes and Die Desing*, Industrial Press Inc. Madison Avenue, New York, ISBN 0-8311-3182-9.
- Buang, MS., Abdullah, SA., ve Saedon, J. (2015). *Effect of Die and Punch Radius on Springback of Stainless Steel Sheet Metal in The Air V-Die Bending Process*, Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 8, 1322-1331.
- Chan, W. M., Chew, H. I., Lee, H. P., ve Cheok, B. T. (2004). *Finite Element Analysis of Spring-Back of V-Bending Sheet Metal Forming Processes*, Journal of Materials Processing Technology, 148, 15-24.
- Çapan, L. (1999). *Metallere Plastik Şekil Verme*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, Türkiye 3. baskı
- Çapan, L. (2010). *Metallere Plastik Şekil Verme*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, Türkiye 5. baskı
- Erişkin, Y. (1986). *Uygulamalı Sac Metal Kalıp Konstrüksiyonu*, Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Ankara, Türkiye, 73-126.
- Forcellese, A., Fratini, L., Gabrielli, F., ve Micari, F. (1998). *The Evaluation of Springback in 3D Stamping and Coining Processes*, Journal of Materials Processing Technology, 80-81, 108-112.
- Gau, J. T. (1999). *A Study of The Influence of the Bauschinger Effect on Springback in Two-Dimensional Sheet Metal Forming*, Phd Thesis, The Ohio State University, Columbus, OHIO, 42-52.
- Hosford, W. F., ve Caddell, R. M. (1993). *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*, Prentice Hall, New Jersey, 42-45.
- Işıktaş, A. (2011). *Farklı Kalınlıklardaki Dkp ve Paslanmaz Sacların Farklı Açılarda Yapılan V-bükme İşlemindeki Geri Yaylanmanın İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye.
- Kılıç, S. (2009). *DP600 Çeliğinin Geri Esneme Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, Türkiye.

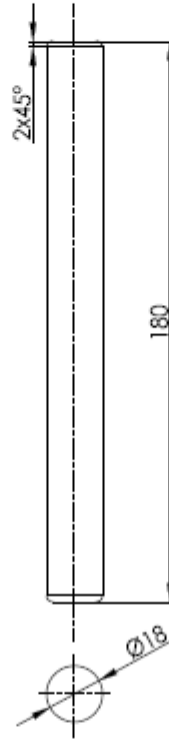
- Leu, D. K. (1997). *A Simplified Approach For Evaluating Bendability and Springback in Plastic Bending of Anisotropic Sheet Metals*, Journal of Materials Processing Technology, 66, 9-17.
- Livatyalı, H., ve Altan, T. (2001). *Prediction and Elimination of Springback in Straight Flanging Using Computer Aided Design Methods*, Journal of Materials Processing Technology, 117, 262-268.
- Ötü, R. (2012). *V Bükme Kalıplarında Alüminyum Alaşımli Sacların Şekillendirilmesi ve Geri Esneme Miktarlarının Tespiti*, Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye.
- Özdemir, A. (2010). *Sac Metal Ürünlerde Geri Esneme Miktarının Deneysel ve Sonlu Elemanlarla Tespiti Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Özdemir, M. (2015). *Sac Malzemenin Geri-İleri Esneme Miktarı ve Deformasyon İlişkisinin Deneysel ve Matematiksel Olarak İncelenmesi*, Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Özer, F. (2011). *Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Şekil Verme Operasyonları Sonucu Oluşan Geri Yaylanmanın Doğru Tahmini ve Telafisi*, Yüksek Lisans Tezi. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Panthi, S. K., ve Ramakrishnan N. (2007). *An Analysis of Springback in Sheet Metal Bending Using Finite Element Method (FEM)*, Journal of Materials Processing Technology, 180, 80-85.
- Sarıkaya, O. T. (2008). *Analysis of Heat Treatment Effect on Springback in V- Bending*, Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Sayın, L. (2019). *AISI 304, EN 10130 DC01, Bakır Sac Levhaların V bükme Yöntemi ile Şekillendirme Sonucunda Oluşan Geri Yaylanma Miktarının Deneysel Olarak İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur, Türkiye.
- Schüler GmbH. (1998). *Metal Forming Handbook*, Springer, Berlin, 38-48
- Şahin, Ç. Ö. (2013). *Sac Levhaların V-Bükme Sonucu Geri Yaylanma Davranışlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Tekaslan, Ö., Gerger, N., ve Şeker. U. (2007). *Bükme Kalıplarında 0.75 mm kalınlığındaki Çelik Sac Malzemenin Geri Esneme Miktarlarının Belirlenmesi*, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Türkiye, 13, 15-22,

- Tekaslan, Ö., Nedim, G., ve Şeker, U. (2008). *V Bükme Kalıplarında Bakır Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti*, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt 23, No 1, 231-238.
- 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.
- Turan, S.E. (2009). *Düz Kenar Bükme ve Döner Kalıpla Kenar Bükme İşlemlerinin Geri Yaylanma Üzerine Etkilerinin DeneySEL Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Uzun, İ., ve Erişkin, Y. (1997). *Sac Metal Kalıpcılığı*, Milli Eğitim Yayınları, Ankara, Türkiye, 253-286.
- Zhang, D., Cui, Z., Chen, Z., ve Ruan, X. (2007). *An Analytical Model For Predicting Sheet Springback After V-bending*, Journal of Zhejiang University Science A, 8(2), 237-244.

EKLER

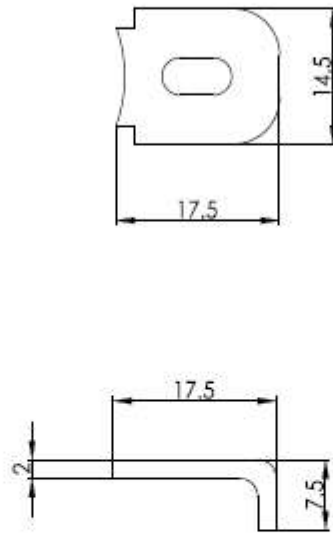


EK 1 – Şekil 3.1. V Büküm kalıp teknik çizim



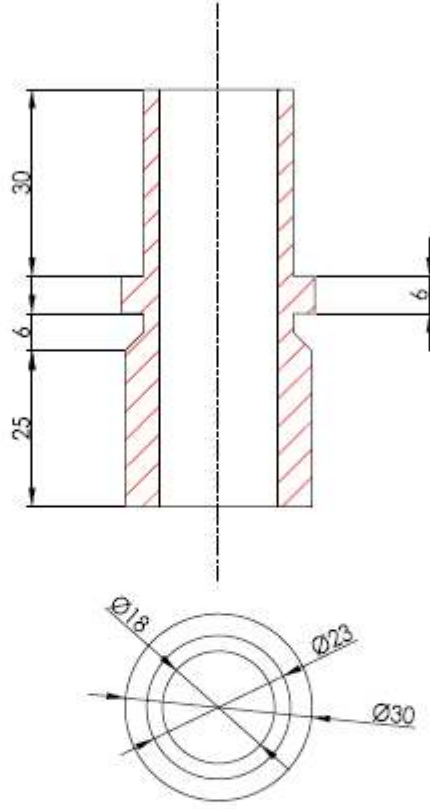
	ADI - SOYADI	BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ			ÖLÇEK	1:1
ÇİZEN	İbrahim BUTGÜL					
KONTROL	Doç. Dr. Gültekin BASMACI	K-01-01	Öğrenci No	2030125020		
ONAY	Doç. Dr. Gültekin BASMACI		Malzeme	AlSi 1050		
PARÇA / MONTAJ ADI						
Mil Ø18x180						

EK 1 – Şekil 3.2. Mil teknik çizim



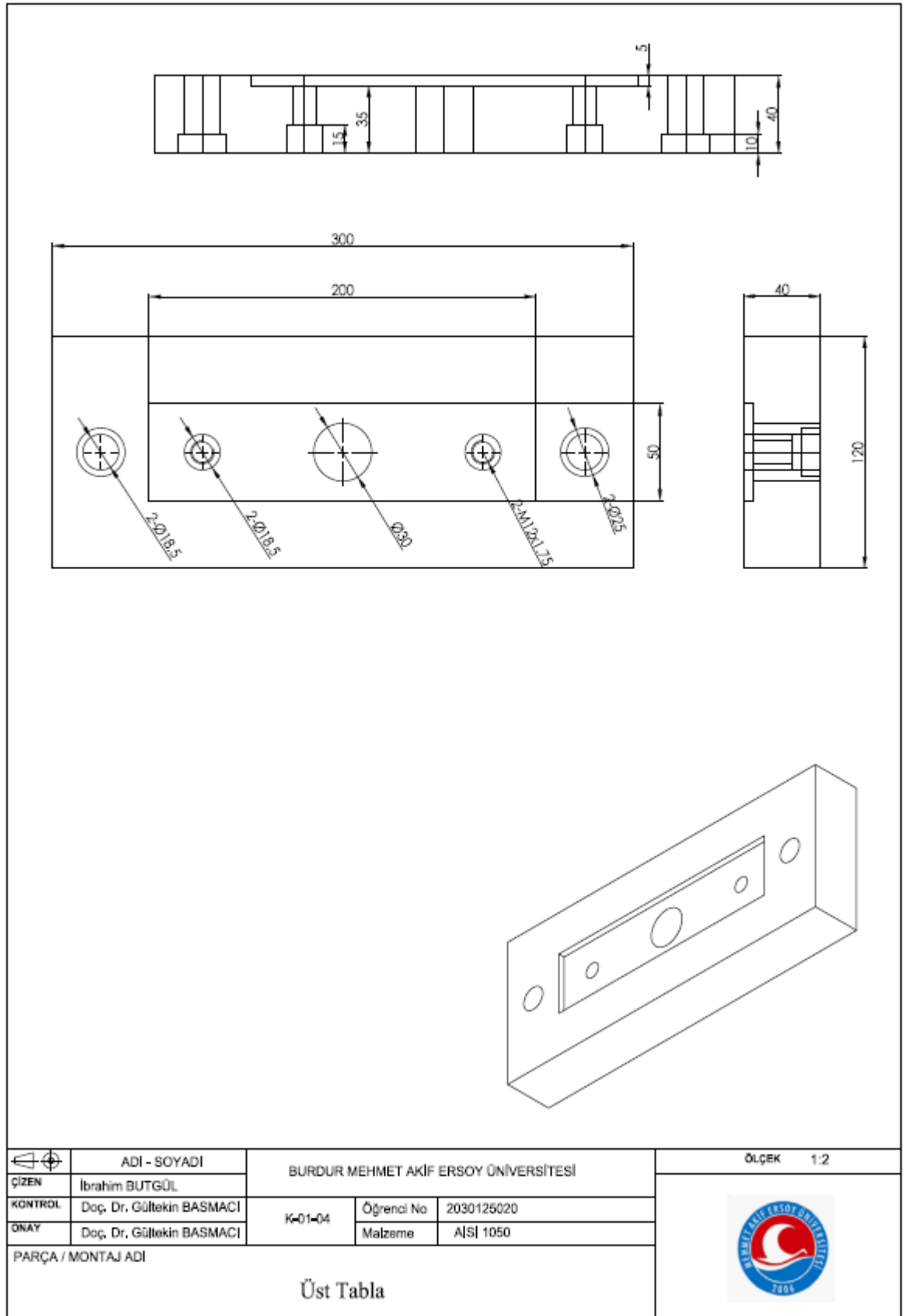
	ADI - SOYADI	BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ			ÖLÇEK	3:1
ÇİZEN	İbrahim BUTGÖL				K-01-02	Öğrenci No
KONTROL	Doç. Dr. Gültekin BASMACI	Malzeme	AlSi 1050			
ONAY	Doç. Dr. Gültekin BASMACI					
PARÇA / MONTAJ ADI						
Burç Bağlama Pabucu						

EK 1 – Şekil 3.3. Burç bağlama pabuç teknik çizim

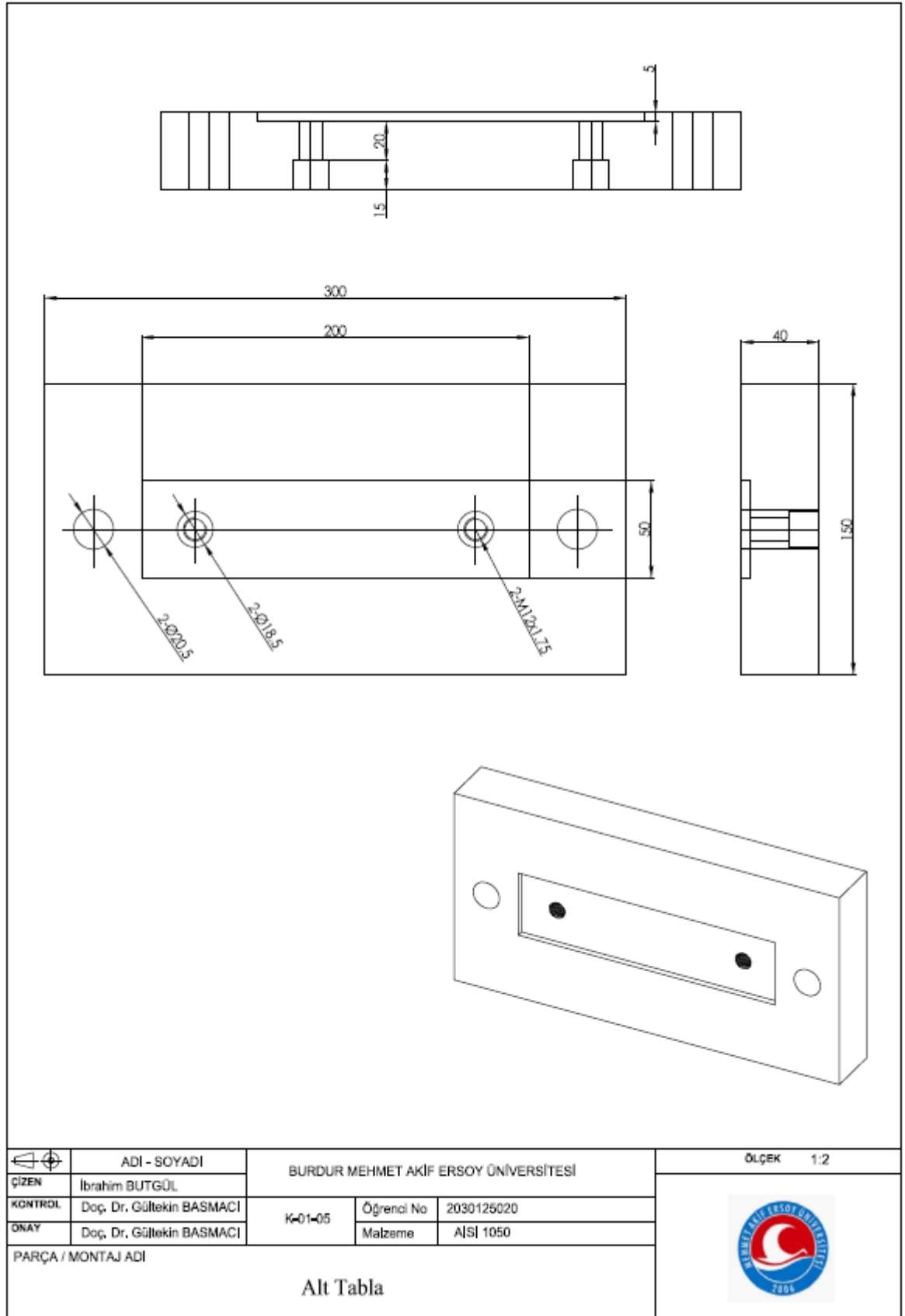


	ADI - SOYADI	BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ			ÖLÇEK	2:1
ÇİZEN	İbrahim BUTGÜL				K-01-03	Öğrenci No
KONTROL	Doç. Dr. Gültekin BASMACI	Malzeme	AlSi 1050			
ONAY	Doç. Dr. Gültekin BASMACI	PARÇA / MONTAJ ADI				
Burç						

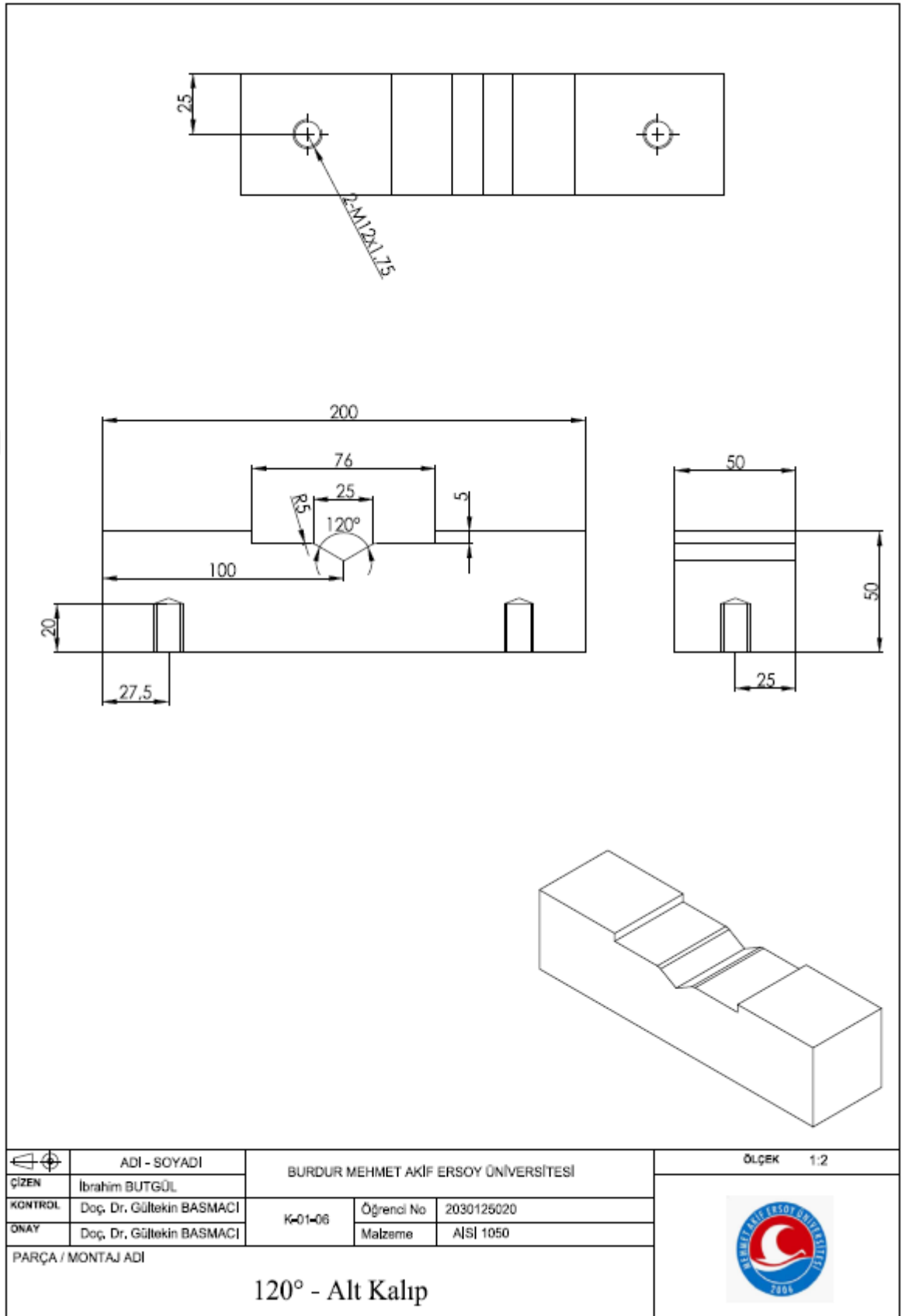
EK 1 – Şekil 3.4. Burç teknik çizim



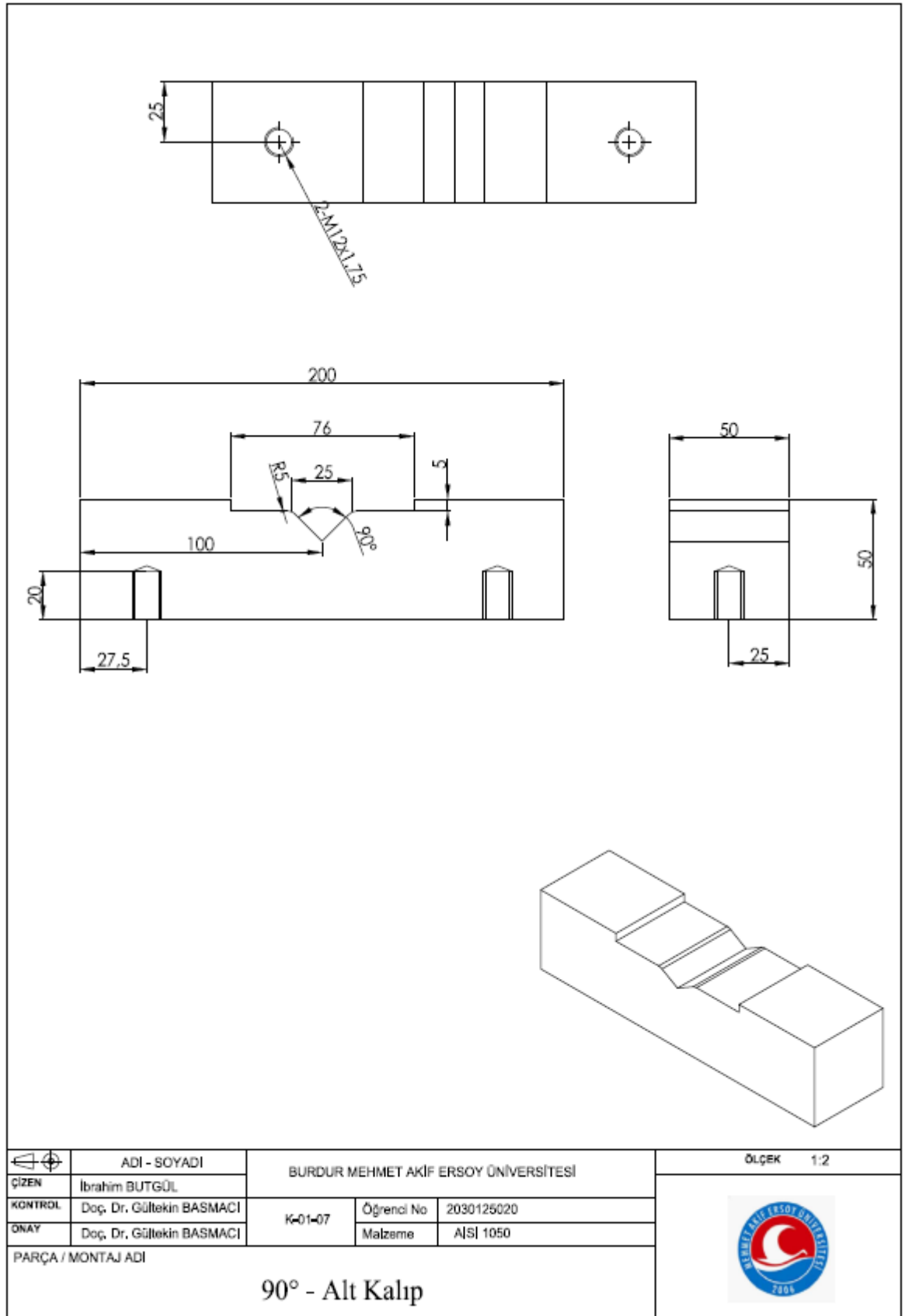
EK 1 – Şekil 3.5. Üst tabla teknik çizim



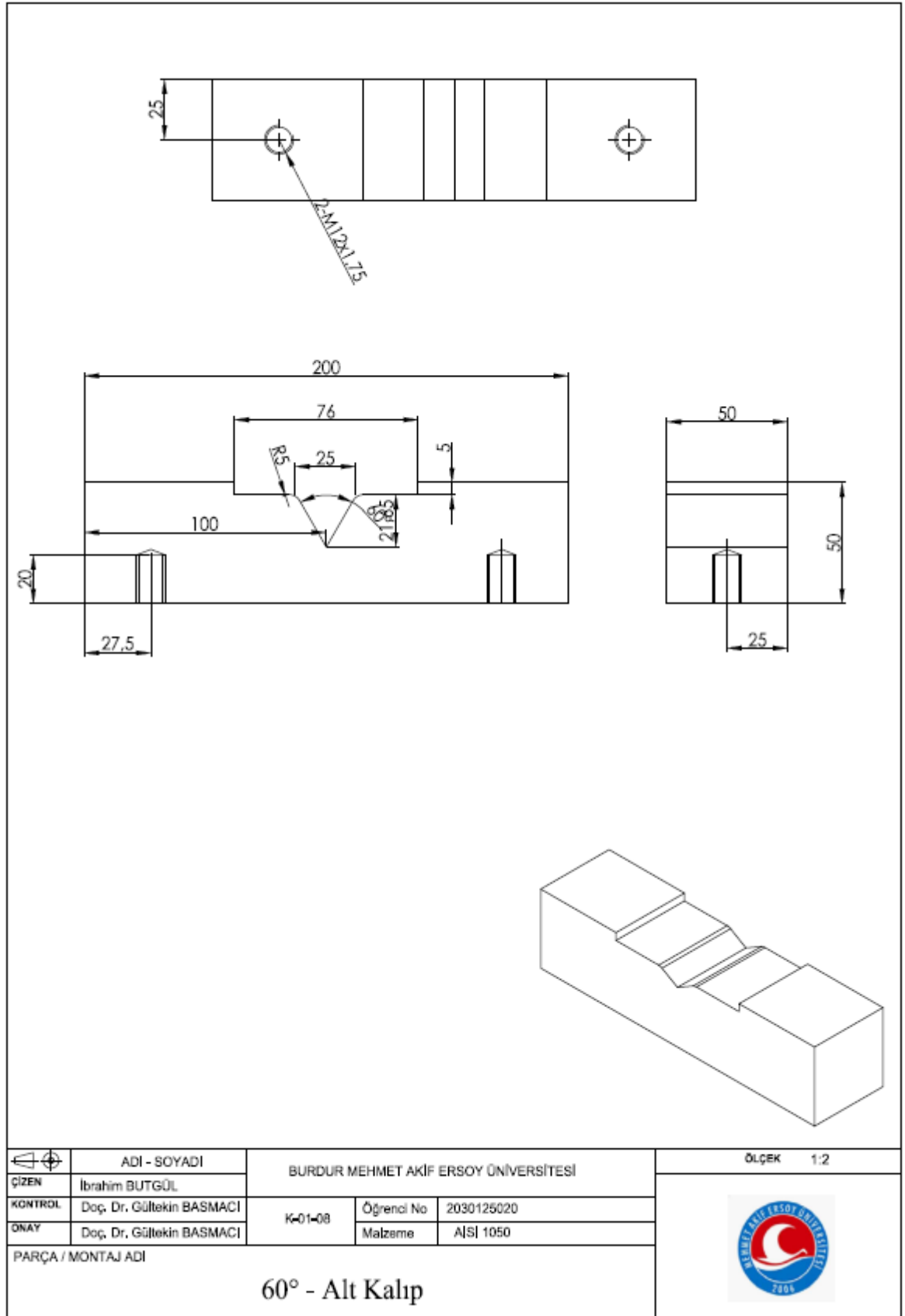
EK 1 – Şekil 3.6. Alt tabla teknik çizim



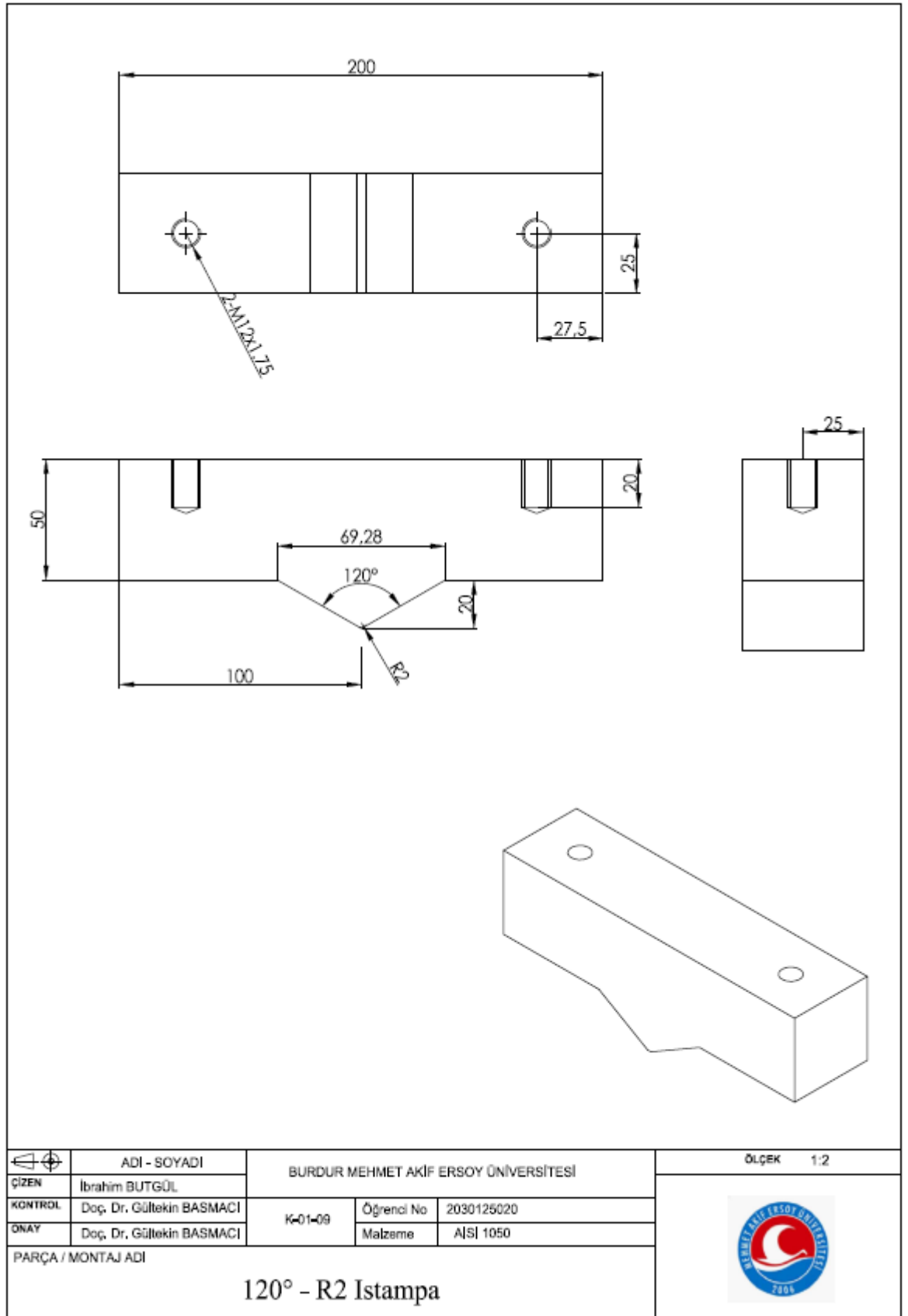
EK 1 – Şekil 3.7. Alt kalıp 120° teknik çizim



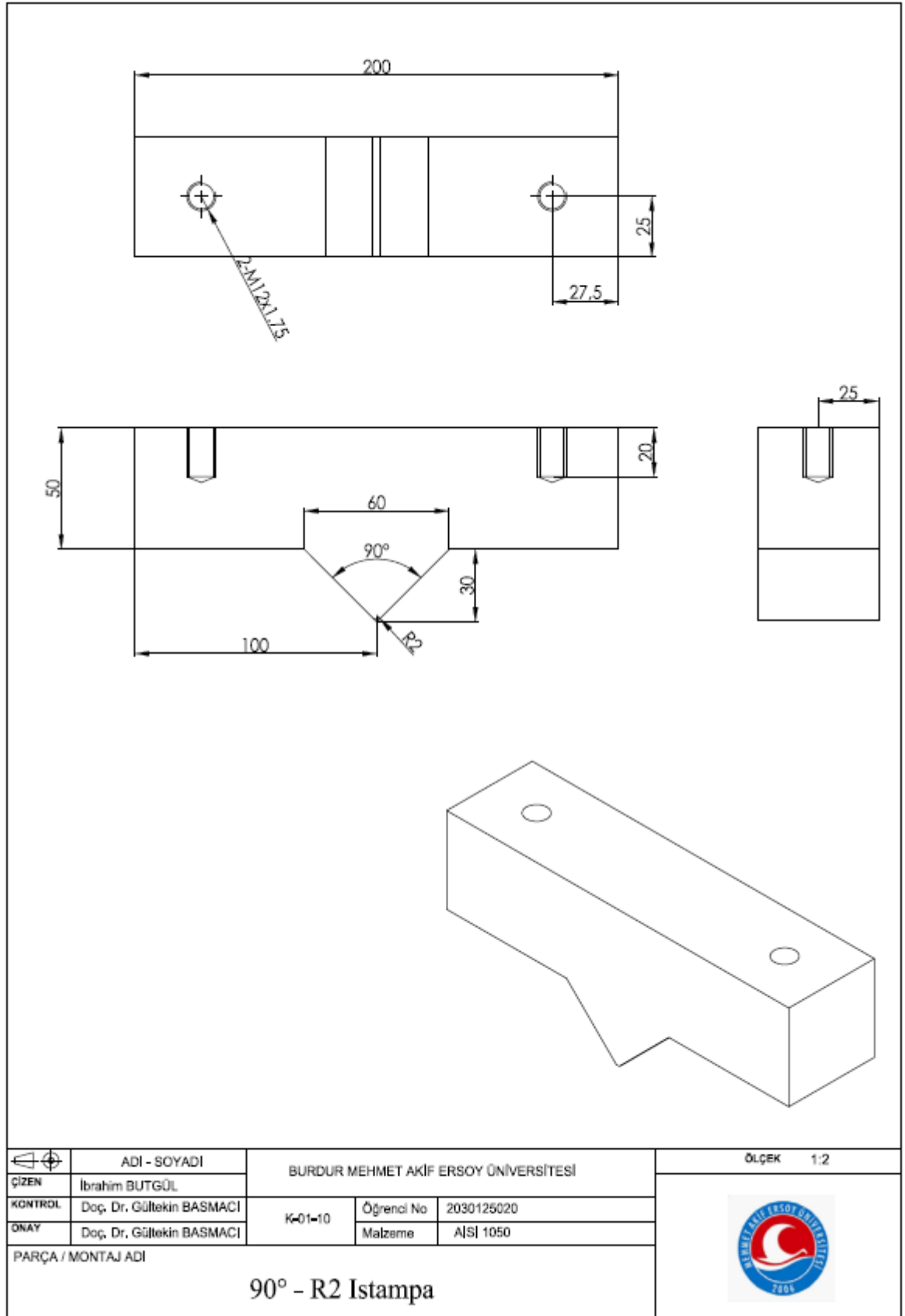
EK 1 – Şekil 3.8. Alt kalıp 90° teknik çizim



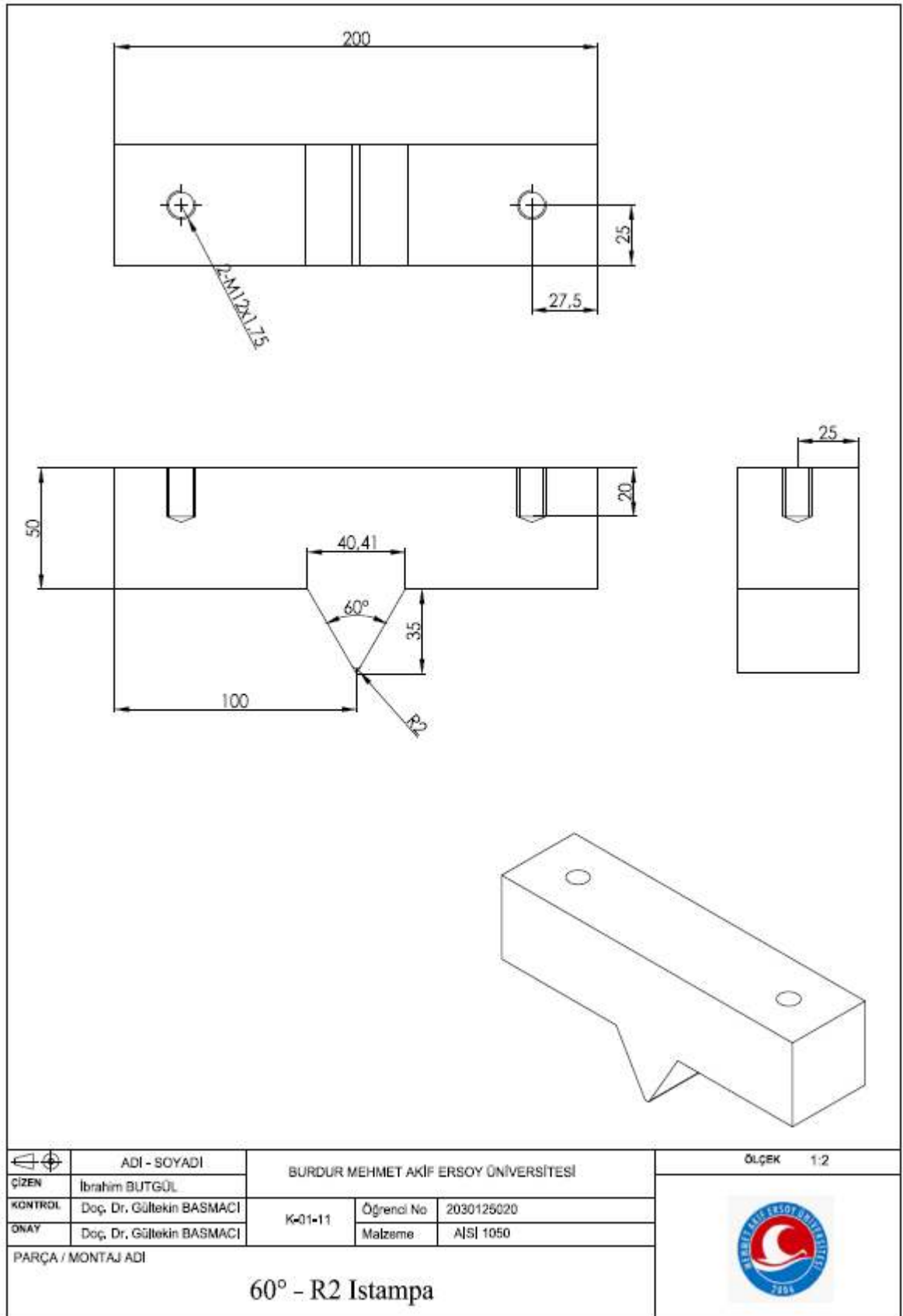
EK 1 – Şekil 3.9. Alt kalıp 60° teknik çizim



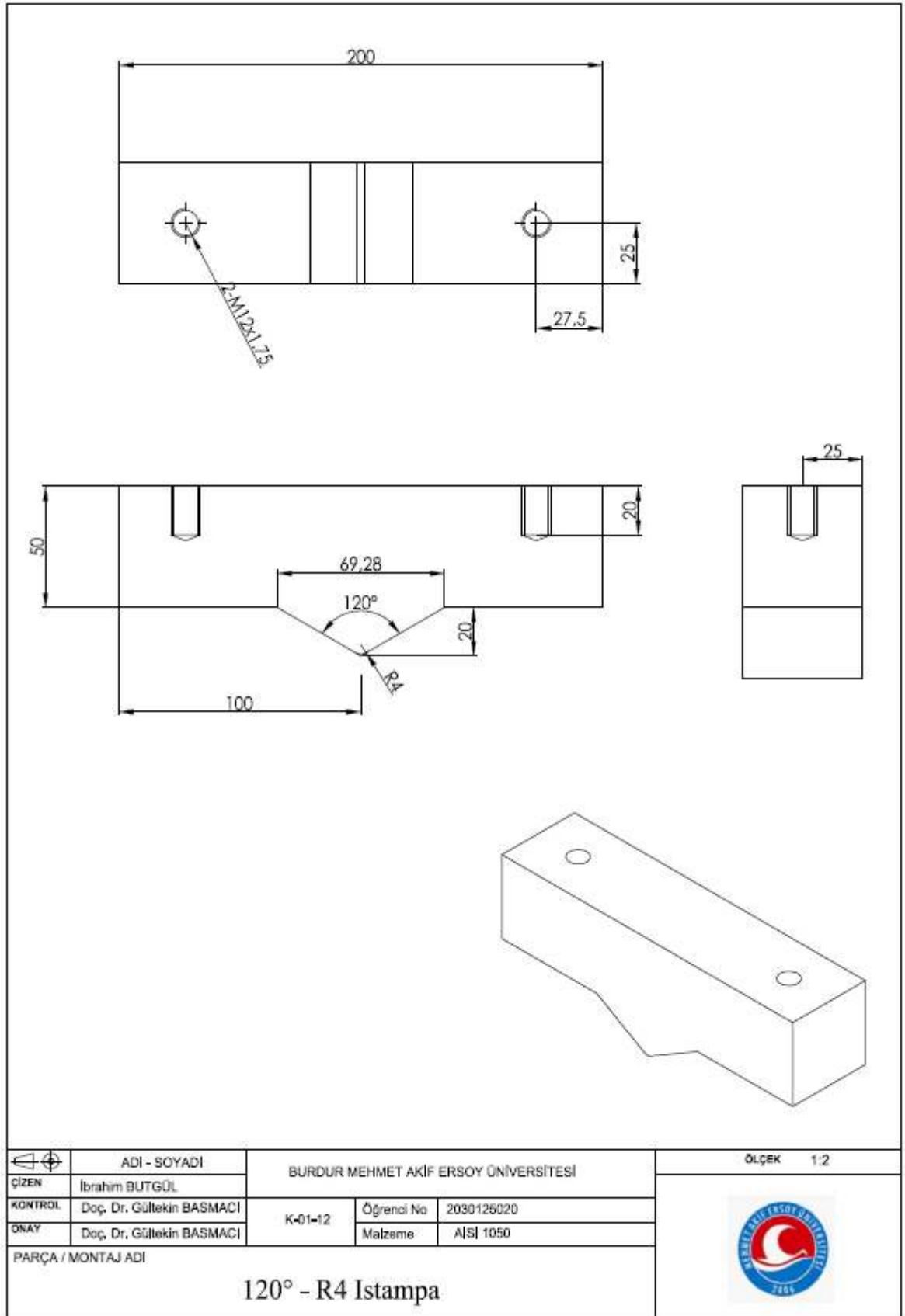
EK 1 – Şekil 3.10. R2 Üst kalıp 120° teknik çizim



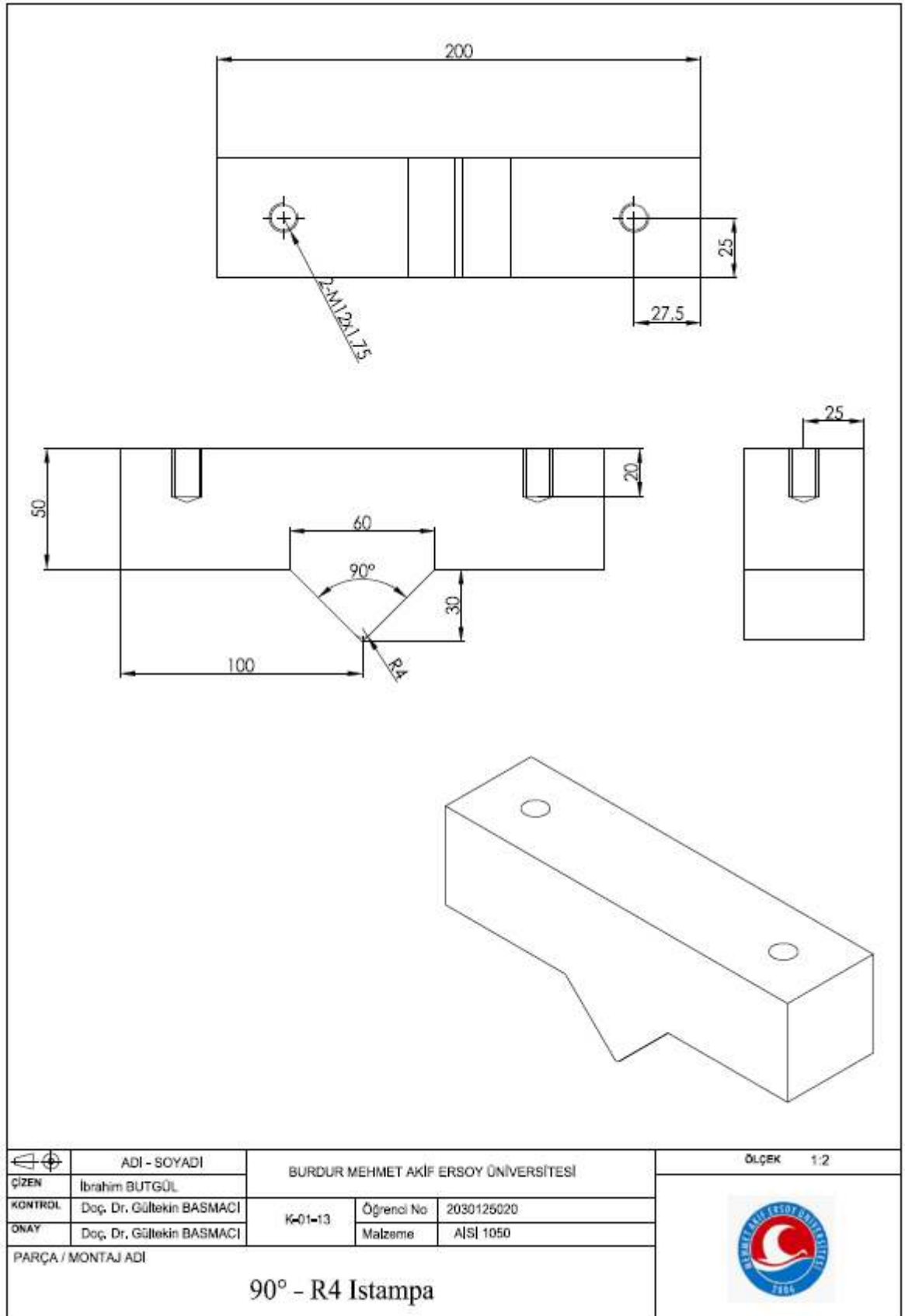
EK 1 – Şekil 3.11. R2 Üst kalıp 90° teknik çizim



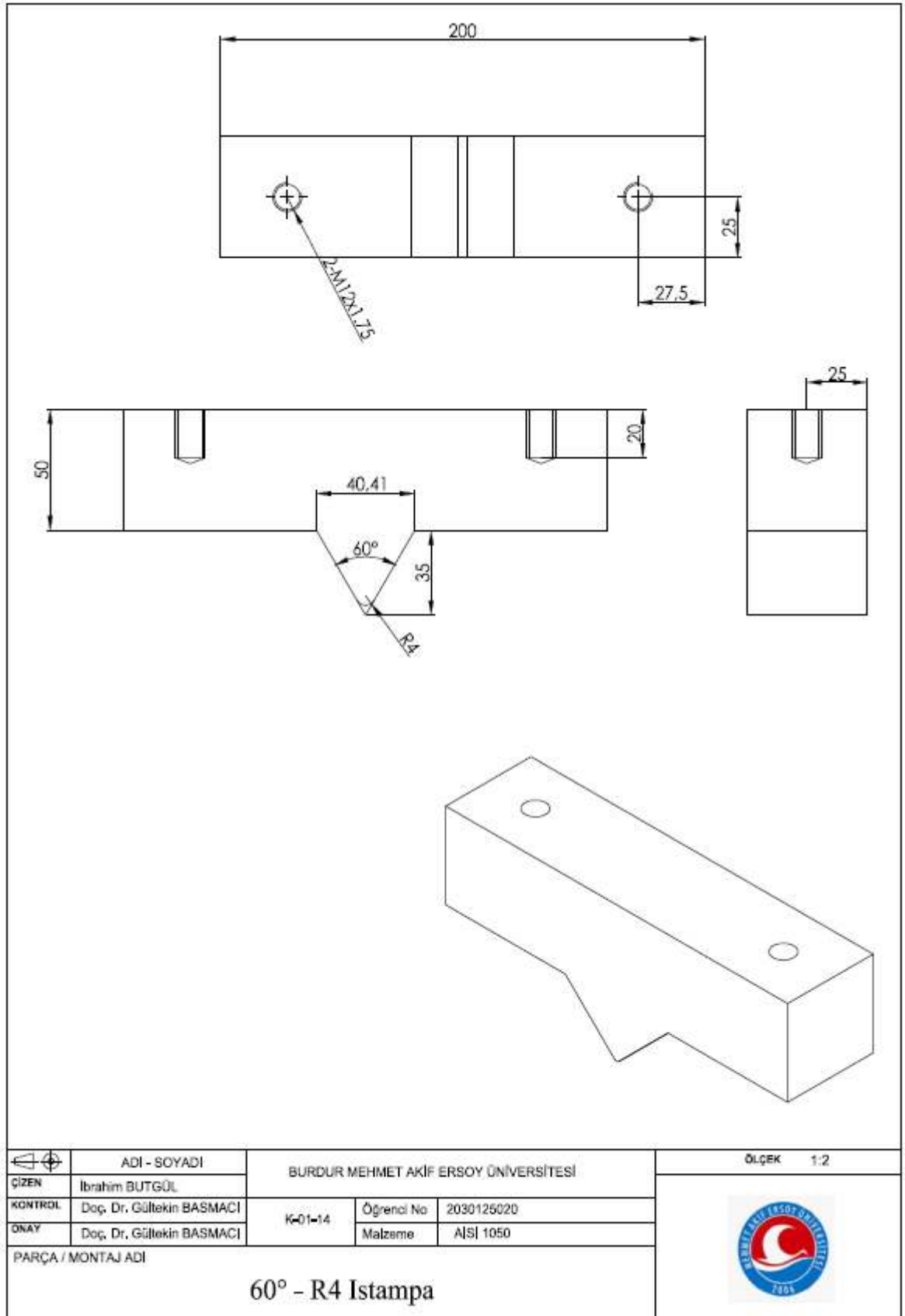
EK 1 – Şekil 3.12. R2 Üst kalıp 60°teknik çizim



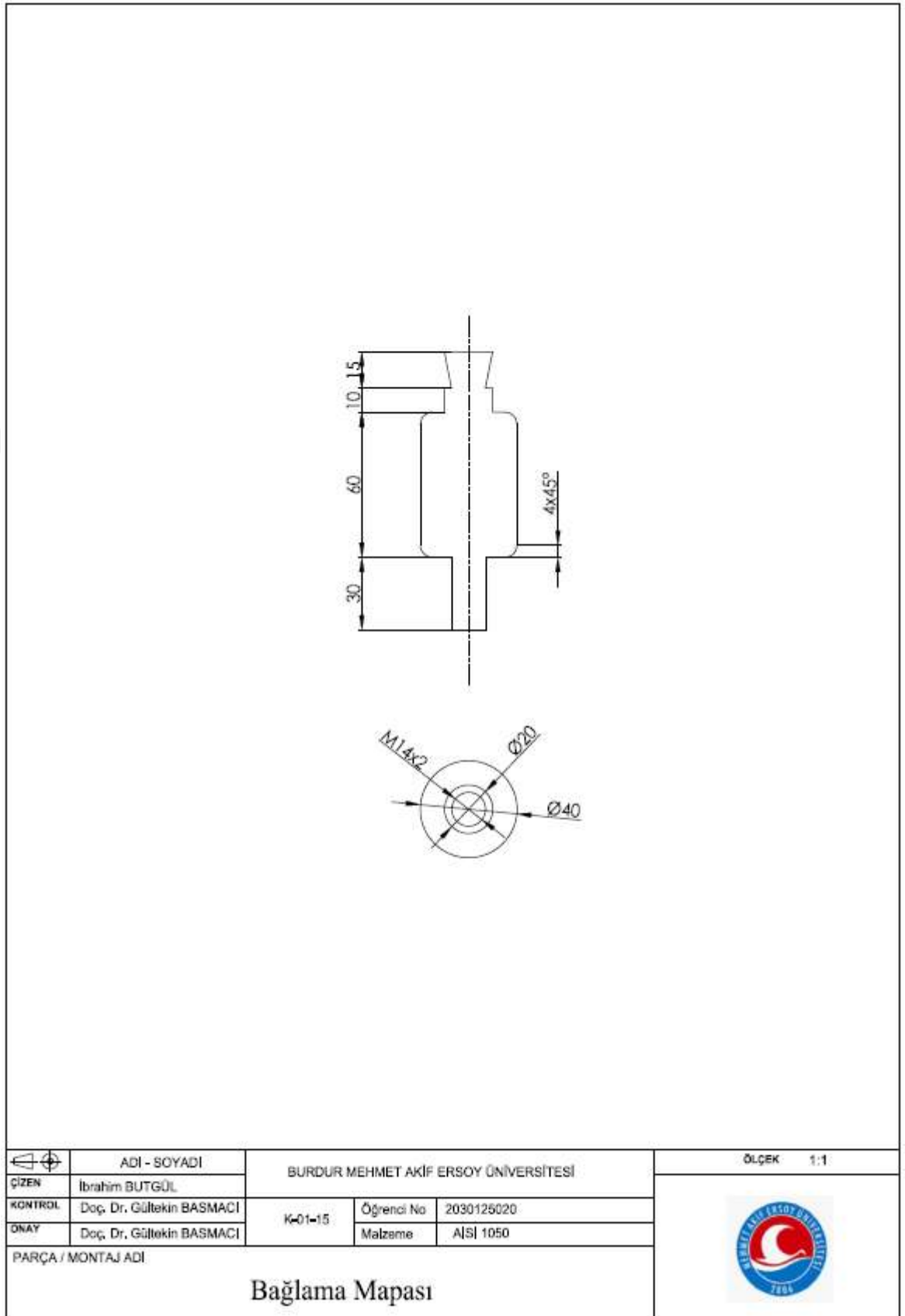
EK 1 – Şekil 3.13. R4 Üst kalıp 120° teknik çizim



EK 1 – Şekil 3.14. R4 Üst kalıp 90° teknik çizim



EK 1 – Şekil 3.15. R4 Üst kalıp 60° teknik çizim



EK 1 – Şekil 3.16. Bağlama Mapası teknik çizim