



**HİDROLİK AKIŞKAN DESTEKLİ ARTIMLI SAC ŞEKİLLENDİRME
YÖNTEMİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Hürcan Volkan YAZGIN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Hürcan Volkan YAZGIN tarafından hazırlanan “HİDROLİK AKIŞKAN DESTEKLİ ARTIMLI SAC ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. Can ÇOĞUN

Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

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

.....

Üye: Doç. Dr. Hakan GÜRÜN

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/06/2019

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

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.

Hürcan Volkan YAZGIN

24/06/2019

HİDROLİK AKIŞKAN DESTEKLİ ARTIMLI SAC ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hürcan Volkan YAZGIN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Bir ürünün düşünce halinden piyasaya sürülene kadar geçen zamanda önemli aşamalardan birisi de prototip üretim sürecidir. Prototip parça üretimlerinde seri imalat tekniklerini kullanmak maliyetli bir işlemdir. Bu sebepten ötürü esnek üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de özellikle otomotiv sektöründe tercih edilen artımlı sac şekillendirme (ASŞ)' dir. Bu tezde, ASŞ yöntemlerinden birisi olan tek nokta artımlı sac şekillendirme ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bir CNC dik işleme tezgahında, bağlama aparatı yardımıyla sabitlenen 0,7, 1,0, ve 1,5 mm et kalınlıklarındaki sacların; yarı küresel bir takım kullanarak, 45° ve 60° duvar açılarında, konik ve prizmatik şekillerde, basınçsız, 0,2 ve 0,4 bar basınçlarda bir hidrolik akışkan ile desteklenerek şekillendirme işlemleri yapılmıştır. Malzeme olarak DP600 sac malzeme seçilmiştir. Bu malzemenin seçilmesinin en önemli nedenleri, otomotiv sektöründe giderek artan kullanımı ve daha önce yapılan çalışmalarda çok az tercih edilmiş olmasıdır. Bu çalışmanın diğerlerinden ayrılan önemli bir özelliği de; şekillendirme esnasında sac parçaların bir hidrolik akışkan sistemi yardımıyla alttan basınçlandırılmasıdır. Üretilen parçaların, et kalınlığı değişimi, CAD datadan sapma değerleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Tek nokta artımlı sac metal şekillendirme, DP600.

Sayfa Adedi : 81

Danışman : Doç. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF INCREMENTAL SHEET FORMING
METHOD VIA HYDRAULIC FLUID

(M. Sc. Thesis)

Hürcan Volkan YAZGIN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

One of the most important stages of a product from the thought stage to the market is the prototype production process. However, it is a costly process to use serial manufacturing techniques in production of prototype parts. For this reason, flexible production methods have been developed. One of these methods is incremental sheet metal forming (ISF), especially preferred in the automotive sector. In this thesis, studies were carried out with one-point incremental sheet metal forming which is one of the ISF's methods. In CNC vertical processing machine, metal sheets with thicknesses of 0,7, 1,0, and 1,5 mm, which were fixed with the aid of a clamping device, were produced by using a semi-spherical tool; at 45° and 60° wall angles; in conical and prismatic shapes; at unpressurized, a pressure of 0,2 and 0,4 bar environments where was supported by a hydraulic fluid. In studies, DP600 metal sheet was chosen as a material. The most important reasons for the selection of this material are its increasing usage in the automotive industry and the fact that it has been preferred very rarely in previous studies. An important feature of this study that differs from the others is that the sheet metal parts are pressurized from the bottom by means of a hydraulic fluid system during the process. The changes in the wall thickness, the deviation from CAD data and surface roughness values of the produced parts were investigated.

Science Code : 91438

Key Words : Single point incremental sheet metal forming, SPIF, DP600.

Page Number : 81

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın başından sonuna kadar geçen zamanda yardımlarını esirgemeyen ve tezimin bugünlere ulaşmasında büyük emeği olan değerli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK' e ve her zaman bilgi ve tecrübesiyle yanımda olan kıymetli hocalarım Sn. Doç. Dr. Hakan GÜRÜN' e ve Sn. Mak. Yük. Müh. Duran KAYA' ya ve bugüne kadar aldığım eğitimlerde pay sahibi olan tüm kıymetli hocalarıma şükranlarımı sunarım.

Teknik bilgisi ve manevi desteği ile çalışmalarımızın her aşamasındaki katkılarından dolayı değerli büyüğüm Sn. İhsan ÇELİK' e de teşekkürü bir borç bilirim.

Malzeme temini konusunda uzun ve zorlu bir süreç yaşamamıza rağmen en sonunda bizlere DP600 gibi bir malzeme ile çalışma fırsatı sunan ERDEMİR A.Ş.' nin yönetici ve çalışanlarına müteşekkirim.

Hem bilgi hem de malzeme desteği konularında katkılarından dolayı KİMYAĞ ve ANKARA BRONZ firmalarının yönetici ve çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Lazer tarama için POLİGON MÜHENDİSLİK, lazer kesim için EMSİ LAZER, lazer markalama için BORAMARKA, çelik konstrüksiyon imalatı için CELSAN, akışkan sistemi elemanları için HİDROTH ve elektrik sistemi elemanları için SİNCE firmalarının yönetici ve çalışanlarına, ayrıca bu çalışmaya katkıda bulunan ve burada ismini zikretmeyi unuttuğum herkese teşekkür ederim.

Aldığım izinlere sabır gösteren ve bana her türlü kolaylığı sağlayan başta amirlerim Sn. Hakan ÖZDEMİR ve Sn. Sezai YAR olmak üzere tüm Pİ MAKİNA Personel Müdürlüğü ve İnsan Kaynakları Müdürlüğü yönetici ve çalışanlarına da minnettarım.

Çalışmalarım süresince sabır gösteren sevgili eşim ve kızlarıma ve elbette bugünlere gelmem de emeği herkesten fazla olan canım anne ve babama da bu çalışmamı armağan etmek istiyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Tanım	6
2.2. Kısa Tarihçe.....	7
2.3. Temel ASŞ Yöntemleri	8
2.3.1. Tek nokta ASŞ yöntemi	9
2.3.2. İki nokta ASŞ yöntemi	9
2.3.3. Kinematik ASŞ yöntemi	10
2.4. Kullanılan Tezgahlar	10
2.5. Uygulama Alanları	11
2.6. Avantajları ve Dezavantajları	12
2.7. Önceki Çalışmalar	12
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	19
3.1. Malzeme Karakterizasyonu	20
3.2. Deney Düzenegi	23

	Sayfa
3.2.1. Bağlama aparatı.....	24
3.2.2. Hidrolik sistemi.....	24
3.2.3. Elektrik sistemi.....	26
3.2.4. Deney düzeneğinin çalıştırılması	27
3.3. Yardımcı Ekipmanlar	28
3.3.1. Tezgah.....	28
3.3.2. Takımlar	29
3.4. Yağlama.....	30
3.5. Takım Yolu	31
3.6. Deneylerin Planlanması	32
3.6.1. Malzemenin belirlenmesi	33
3.6.2. Çalışma hızının belirlenmesi.....	33
4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	35
4.1. Et Kalınlığı Değişimi	38
4.1.1. Dairesel formlar	38
4.1.2. Kare formlar	43
4.2. CAD Datadan Sapma Değerleri	47
4.2.1. Dairesel formlar	48
4.2.2. Kare formlar	51
4.3. Gerçek Gerinim (ϵ) Değerleri.....	54
4.4. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	59
4.4.1. Takım ilerleme yönünün etkisi	60
4.4.2. Takım malzemesinin etkisi	61
4.4.3. Sıvı basıncının etkisi	62

	Sayfa
4.4.4. İlerleme hızının etkisi.....	64
4.5. Sıcaklık Değerleri.....	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	73
EK-1. Bağlama aparatı imalat resimleri.....	74
ÖZGEÇMİŞ	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. DP600 malzeme kimyasal kompozisyonu	21
Çizelge 3.2. Pompa teknik bilgileri.....	25
Çizelge 3.3. Hidrolik devre elemanları	26
Çizelge 3.4. Tezgah teknik bilgileri	28
Çizelge 3.5. Takım malzemeleri kıyaslaması	29
Çizelge 3.6. Bronz malzemelerin kimyasal özellikleri	30
Çizelge 3.7. Yağ teknik özellikleri.....	30
Çizelge 3.8. Değişken parametreler	32
Çizelge 3.9. Sabit parametreler	32
Çizelge 4.1. Lazer markalama cihazı teknik bilgileri	55
Çizelge 4.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik bilgileri	60
Çizelge 4.3. Sıcaklık ölçer teknik bilgileri.....	65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Metal Şekillendirme (MŞ) yöntemleri	1
Şekil 1.2. CAD/CAM tabanlı ASŞ işlemleri	2
Şekil 2.1. ASŞ ile derin çekme yönteminin kıyaslanması	5
Şekil 2.2. Tek nokta ASŞ yönteminin temel elemanları ve işlem adımları	6
Şekil 2.3. Leszak'ın patentli ASŞ makinesinin şematik gösterimi	7
Şekil 2.4. Matsubara'nın patentli iki nokta ASŞ makinesinin şematik gösterimi	8
Şekil 2.5. Tek nokta ASŞ farklı uygulamaları	9
Şekil 2.6. İki nokta ASŞ farklı uygulamaları	9
Şekil 2.7. Kinematik ASŞ farklı uygulaması	10
Şekil 3.1. Akış şeması	19
Şekil 3.2. AHSS çeliklerin karşılaştırılması	20
Şekil 3.3. Çekme testi sonuçları	22
Şekil 3.4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	23
Şekil 3.5. Hidrolik devre şeması	27
Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan geometrilerin ölçüleri	31
Şekil 3.7. Takım yolu gösterimi a) Kare form takım yolu, b) Dairesel form takım yolu	31
Şekil 3.8. Parametrelerin gösterimi	33
Şekil 4.1. 0,7 mm, 60° daireseel form et kalınlığı değışimi grafiğı	39
Şekil 4.2. 1,0 mm, 60° daireseel form et kalınlığı değışimi grafiğı	39
Şekil 4.3. 1,5 mm, 60° daireseel form et kalınlığı değışimi grafiğı	40
Şekil 4.4. 0,7 mm, 45° daireseel form et kalınlığı değışimi grafiğı	41
Şekil 4.5. 1,0 mm, 45° daireseel form et kalınlığı değışimi grafiğı	41
Şekil 4.6. 1,5 mm, 45° daireseel form et kalınlığı değışimi grafiğı	42

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. 0,7 mm, 60° kare form et kalınlığı değişimi grafiği.....	43
Şekil 4.8. 1,0 mm, 60° kare form et kalınlığı değişimi grafiği.....	44
Şekil 4.9. 1,5 mm, 60° kare form et kalınlığı değişimi grafiği.....	44
Şekil 4.10. 0,7 mm, 45° kare form et kalınlığı değişimi grafiği.....	45
Şekil 4.11. 1,0 mm, 45° kare form et kalınlığı değişimi grafiği.....	46
Şekil 4.12. 1,5 mm, 45° kare form et kalınlığı değişimi grafiği.....	46
Şekil 4.13. 1,0 mm, 60° dairesel form CAD Datadan sapma değişimi grafiği	48
Şekil 4.14. 1,5 mm, 60° dairesel form CAD Datadan sapma değişimi grafiği	49
Şekil 4.15. 0,7 mm, 45° dairesel form CAD Datadan sapma değişimi grafiği	49
Şekil 4.16. 1,0 mm, 45° dairesel form CAD Datadan sapma değişimi grafiği	50
Şekil 4.17. 1,5 mm, 45° dairesel form CAD Datadan sapma değişimi grafiği	50
Şekil 4.18. 1,0 mm, 60° kare form CAD Datadan sapma değişimi grafiği.....	51
Şekil 4.19. 1,5 mm, 60° kare form CAD Datadan sapma değişimi grafiği.....	52
Şekil 4.20. 0,7 mm, 45° kare form CAD Datadan sapma değişimi grafiği.....	52
Şekil 4.21. 1,0 mm, 45° kare form CAD Datadan sapma değişimi grafiği.....	53
Şekil 4.22. 1,5 mm, 45° kare form CAD Datadan sapma değişimi grafiği.....	53
Şekil 4.23. 53 ve 56 no' lu parçaların gerçek gerinim (εt) değerlerinin karşılaştırması.	56
Şekil 4.24. 8 ve 9 no' lu parçaların gerçek gerinim (εt) değerlerinin karşılaştırması.....	57
Şekil 4.25. 1 ve 2 no' lu parçaların gerçek gerinim (εt) değerlerinin karşılaştırması.....	58
Şekil 4.26. Dönüş yönüne göre yüzey pürüzlülük değişimi	61
Şekil 4.27. Yüzey Pürüzlülüğü – Takım Malzemesi ilişkisi.....	62
Şekil 4.28. Yüzey Pürüzlülüğü - Basınç ilişkisi	63
Şekil 4.29. Yüzey Pürüzlülüğü – İlerleme Hızı ilişkisi	64
Şekil 4.30. Takımın sıcaklığı	66

Şekil**Sayfa**

Şekil 4.31. Yağın sıcaklığı	66
-----------------------------------	----

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. ASŞ ile üretilmiş parçalar	2
Resim 1.2. Yapılan ön çalışmalardan bazı örnekler	3
Resim 2.1. ASŞ ile üretilmiş çeşitli parçalar	6
Resim 2.2. ASŞ yönteminde kullanılan tezgahlar	11
Resim 2.3. ASŞ yönteminin biyomedikal uygulama örnekleri	11
Resim 3.1. Deney düzeneği ve elemanlarının genel Görünüm.....	19
Resim 3.2. DP malzeme yapısı	21
Resim 3.3. Çekme testi numuneleri	22
Resim 3.4. Deney düzeneğinin genel görünümü	23
Resim 3.5. Bağlama Aparatı	24
Resim 3.6. Hidrolik sistemi elemanları.....	25
Resim 3.7. Elektrik sistemi elemanları	26
Resim 3.8. Hidrolik akışkan hatları	27
Resim 3.9. Tezgah.....	28
Resim 3.10. Denenen takımlar.....	29
Resim 3.11. Deneylerde kullanılan geometrilerin CAD modelleri.....	31
Resim 4.1. Faro marka üç boyutlu lazer tarama cihazı.....	35
Resim 4.2. Parlak yüzeylerde optik ve lazer tarama sistemlerinin karşılaştırılması.....	35
Resim 4.3. Deney parçalarının önden ve arkadan görünüşü.....	36
Resim 4.4. Deney parçalarının üç boyutlu lazer taraması	36
Resim 4.5. Değer alınan yükseklikler	37
Resim 4.6. 1,2 ve 3 no'lu parçalar ve yırtılma yükseklikleri.....	38
Resim 4.7. Örtüştürme yapılan konik yüzeylerin gösterimi	47

Resim	Sayfa
Resim 4.8. Renk skalası	47
Resim 4.9. Markalama yapılmış bir deney parçası	54
Resim 4.10. Lazer markalama cihazı	54
Resim 4.11. Parça üzerinden alınan ölçümler	55
Resim 4.12. 53 ve 56 no' lu ön çalışma parçaları	56
Resim 4.13. 8 ve 9 no' lu deney parçaları	57
Resim 4.14. 1 ve 2 no' lu deney parçaları	58
Resim 4.15. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	59
Resim 4.16. Dönme yönünün etkisi	61
Resim 4.17. Takım malzemesinin etkisi	62
Resim 4.18. Basıncın etkisi (0,7 mm, 45° dairesel form)	63
Resim 4.19. Basıncın etkisi (0,7 mm, 60° dairesel form)	63
Resim 4.20. İlerleme hızının etkisi	64
Resim 4.21. Sıcaklık ölçer	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

°C	Santigrat Derece
bar	Bar
dev/dk	Devir/Dakika
ϵt	Gerçek gerinim
gr	Gram
gr/cm ³	Gram/santimetreküp
Hz	Hertz
kg	Kilogram
kW	kilowatt
m/s	Metre/Saniye
mm	Milimetre
mm/dk	Milimetre/Dakika
mm ² /sn	Milimetrekare/Saniye
V	Volt

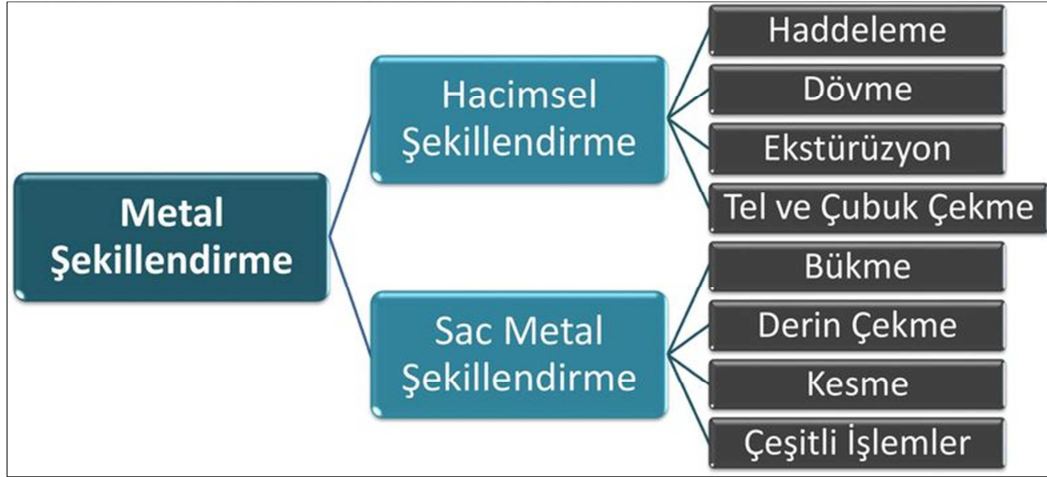
Kısaltmalar

Açıklamalar

AHSS	Advanced High Strenght Steel
ASŞ	Artımlı Sac Şekillendirme
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
DP	Dual Phase
FLD	Forming Limit Diagram
GYMÇ	Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelik
MŞ	Metal Şekillendirme

1. GİRİŞ

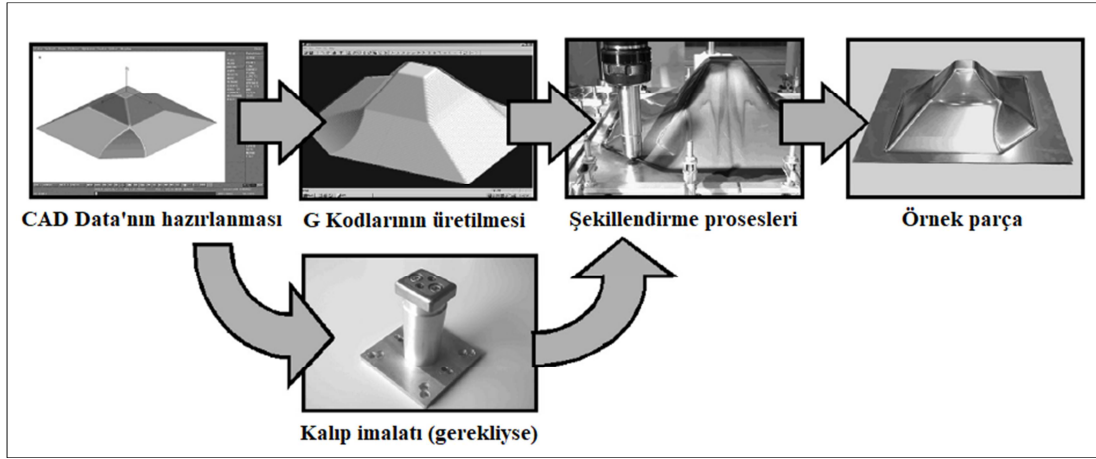
İnsanların kullanımına sunulacak ürünler; zaman, maliyet ve kalite gibi üretimin temel sac ayakları göz önünde bulundurularak bir çok farklı imalat tekniğiyle üretilmektedir. Bunlardan birisi de “Plastik Şekil Verme Teknikleri” içerisinde yer alan Metal Şekillendirme (MŞ)’ dir. MŞ yöntemlerinin en önemli ortak özelliği; kütlenin sabit kalıp sadece biçimin değişmesidir. Maliyet etkinliği, gelişmiş malzeme özellikleri, esnek üretim, yüksek verimlilik ve malzeme tasarrufu gibi konularda avantajları dolayısıyla tercih edilmektedir.



Şekil 1.1. Metal Şekillendirme (MŞ) yöntemleri

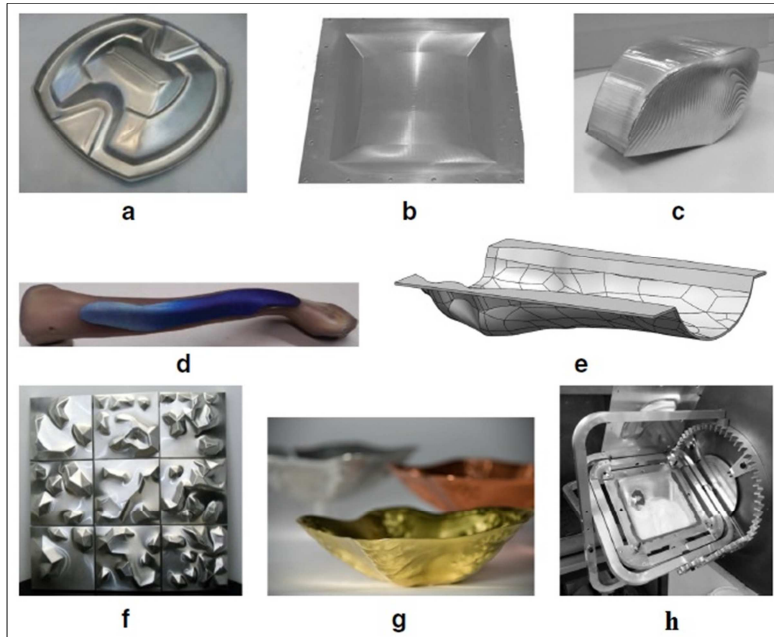
Bu çalışmada, MŞ imalat yöntemlerinden birisi olarak kabul edilen “Artımlı Sac Şekillendirme (ASS)” yöntemi kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda otomotiv endüstrisinde kullanımı yaygın olan DP600 sac malzeme tercih edilmiştir. Sac malzeme kalınlığı, duvar açısı ve basınç değişken parametre olarak seçilmiştir. Deneyler dairesel ve karesel formlarda uygulanarak tekrarlanmıştır. Sac malzemenin altından hidrolik akışkan desteği sağlanmıştır.

ASS yöntemi, CNC veya robot tezgahlara bağlanan şekillendirme uçlarının (takımların), CAM (Bilgisayar Destekli İmalat, BDI) (G-kodları) ile hazırlanan takım yolunu takip ederek sacın yardımcı ekipmanlar ile sabitlendikten sonra esnetilmesi suretiyle şekil verilmesi işlemlerinin tümüdür (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. CAD/CAM tabanlı ASŞ işlemleri [1]

ASŞ yöntemi ile prototip parça üretimi özellikle otomotiv sektöründe geniş bir uygulama alanına sahiptir. Son yıllarda ise havacılık ve biyomedikal gibi farklı sektörlerde de kullanılmaya başlanmıştır (Resim 1.1.).



Resim 1.1. ASŞ ile üretilmiş parçalar [2] a) Çamaşır makinesi kapısı bileşeni, b) Araba çamurluk paneli, c) Bisiklet tankı, d) Klavikle kırılma tespit plakası, e) Kol döküm değişirme, f) Mimari panel montajı, g) Bakır kaseler, h) Rotasyonel sac kalıplama

Tasarlanan deney düzeneğiyle, DP600 sac malzemenin prototip üretim esnasında daha önceki çalışmalarda benzerine çok az rastlanılan bir hidrolik akışkan sistemi ile basınçlandırıldığında, basınçsız üretime kıyasla, et kalınlığı değişiminin homojenleştirilmesi, CAD datadan sapma değerlerinin iyileştirilmesi ve yüzey düzgünlüğünün artırılması amaçlanmıştır.

Deneylerde kullanılacak sabit ve değişken deney parametrelerinin belirlenmesi için farklı duvar açıları, et kalınlıkları, malzeme, takım çapları, takım malzemeleri, takım çalışma ve ilerleme hızları ve yağlayıcılar kullanmak suretiyle ön çalışmalar yapılmıştır (Resim 1.2.).



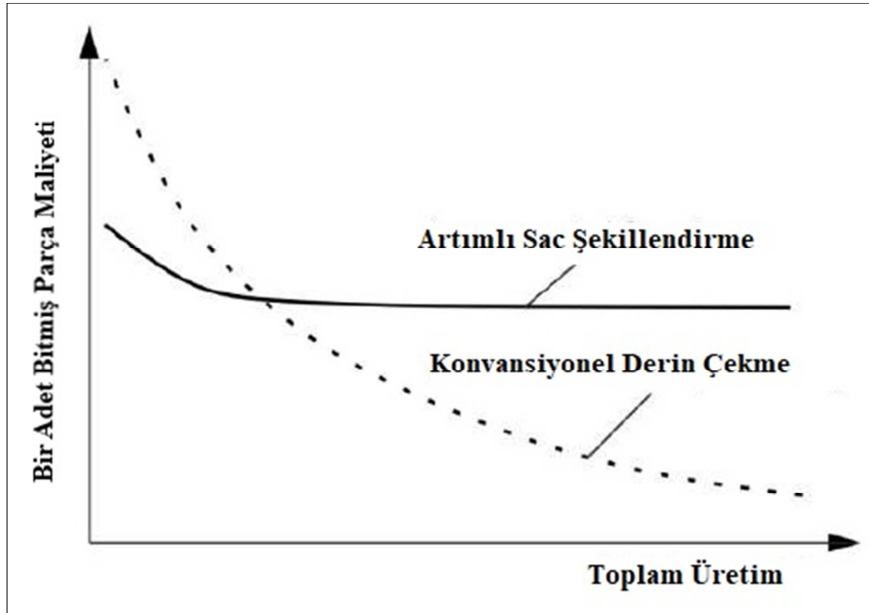
Resim 1.2. Yapılan ön çalışmalardan bazı örnekler

Tek nokta ASŞ yöntemiyle basınçlı ve basınçsız yapılan çalışmalar sonucunda DP600 sac malzemenin şekillendirilebilme davranışının ortaya çıkarılması, bu malzemeyi kullanan firmalara bundan sonraki prototip üretimleri için kullanılabilir veriler sunacaktır. Ayrıca bu çalışma araştırmacılar açısından hidrolik akışkan destekli sistemin araştırılması için referans bir çalışma olma özelliği taşıyacaktır.

Bu tez çalışması ile incelenen parametrelerin, et kalınlığı değişimi, CAD datadan sapma ve yüzey pürüzlülüğü değerleri gibi sonuçların iyileştirilmesi yönünde faydalı bir modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Üretilcek parçaların seri imalat öncesi tasarlanan parçaların prototiplerinin yapılması, imalat süreçlerinin olmazsa olmazıdır. Ancak bu aşamada parça üretmek, esnek yöntemler tercih edilmediği takdirde maliyetli olabilmektedir. Örneğin derin çekme yöntemi, sac metal parçaların seri imalatı için uygun maliyetlidir. Ancak kalıpların yüksek maliyet ve şekillendirme sürelerinden ötürü düşük adetli, prototip ve kompleks geometrili geniş sacların üretimi için ekonomik bir yöntem değildir [1]. Şekil 2.1.’ de ASŞ’ nin konvansiyonel derin çekme yöntemi ile maliyet ve miktar kriterleri açısından grafik üzerinde kıyaslanması görülmektedir.

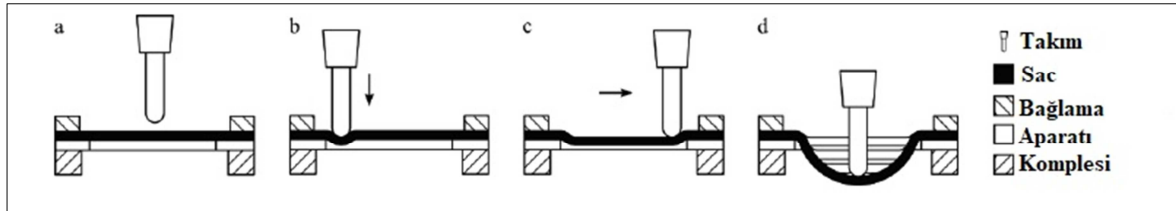


Şekil 2.1. ASŞ ile derin çekme yönteminin kıyaslanması [3]

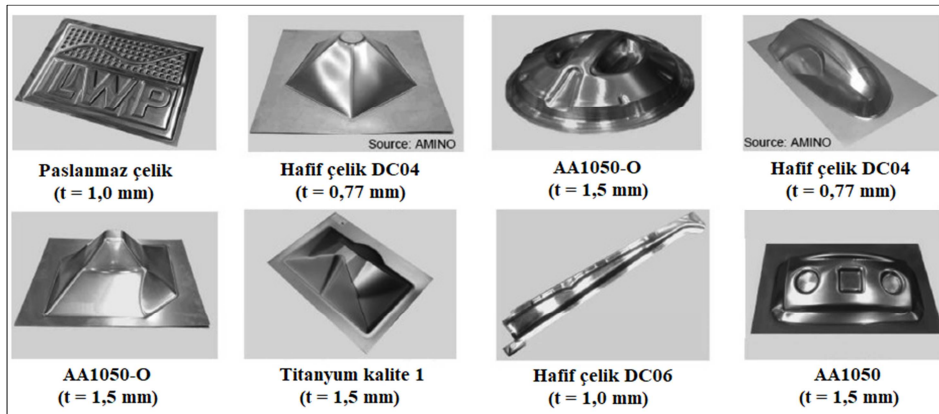
Prototip sac parça üretimi için günümüze kadar çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan birisi de “Artımlı Sac Şekillendirme (ASŞ)” yöntemidir. Bu yöntem ile kalıp maliyetleri en aza indirilerek tasarımda esneklikler sağlanmaktadır. Ayrıca presleme yöntemi de dahil diğer MŞ yöntemlerine nazaran şekillendirilebilirlik limitleri oldukça yüksektir. Bu sebeplerden ötürü ASŞ yöntemi son on beş yıl içinde giderek artan bir ilgi görmektedir [4].

2.1. Tanım

ASŞ yöntemi temel olarak; belirli bir et kalınlığındaki sacın bir bağlama aparatı ile sabitlendikten sonra şekil verme ucunun (takım) saca baskı uygulamak suretiyle sacı lokal plastik deformasyonla şekillendirme esasına dayanır. 100 mikrondan birkaç milime kadar geniş bir et kalınlığı aralığında simetrik ve asimetrik geometrilerin oluşturulmasında kullanılabilir [5]. Bu işlemler için farklı tezgahlar kullanılabilmektedir. Şekil 2.2.’ de ASŞ yöntemlerinden birisi olan “Tek Nokta Artımlı Sac Şekillendirme” yönteminin temel elemanları ve işlem adımları görülmektedir.



Resim 2.1.’ de ASŞ yöntemiyle farklı malzeme ve et kalınlıklarından üretilmiş parçalar görülmektedir.



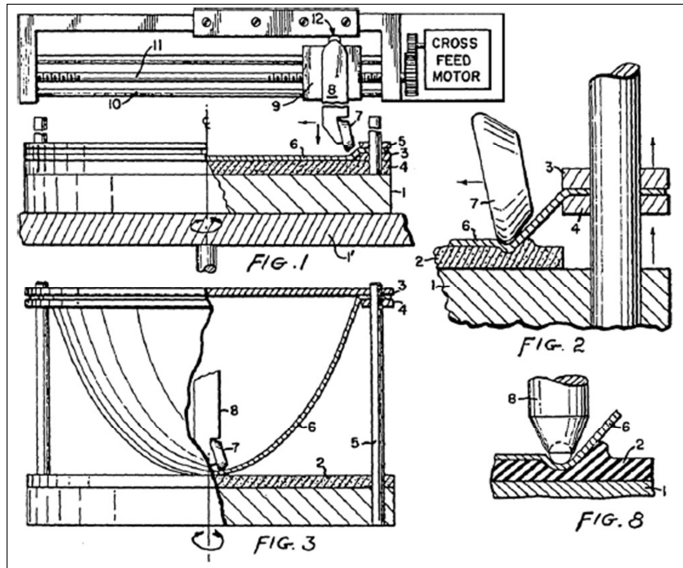
Resim 2.1. ASŞ ile üretilmiş çeşitli parçalar [6]

2.2. Kısa Tarihçe

Araştırmacılara göre ASŞ yöntemlerinin bugüne kadar ki gelişimi üç döneme ayrılmaktadır [4];

İlk dönem (1968 - 1996 arası)

Bu dönemde ASŞ' nin temelleri atılmış ve yalnızca tek nokta ASŞ yöntemiyle çalışmalar yapılmıştır. Bilinen ilk çalışma 1967 yılında Leszak' a aittir. CNC mantığının yaygın olmadığı zamanlarda kendisi tarafından geliştirilen bir düzenek (Şekil 2.3.) ile sac malzemeyi tek noktadan esneterek şekillendirmiştir.

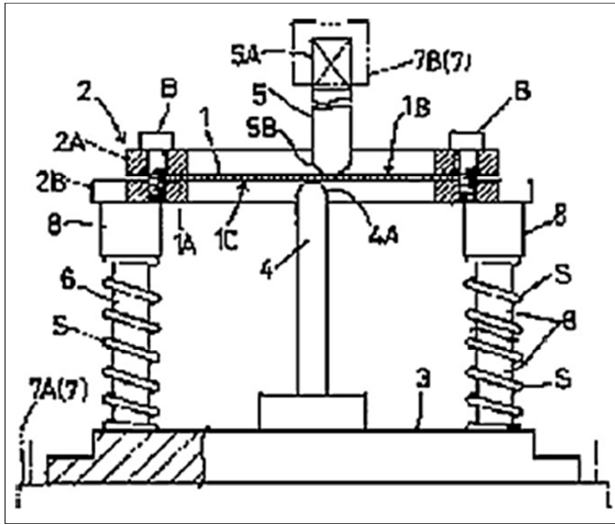


Şekil 2.3. Leszak' ın patentli ASŞ makinesinin şematik gösterimi [4]

1978 yılında Mason ve Appleton tarafından asimetrik ASŞ' nin ilk tanımı yapılmıştır. Geliştirdikleri yöntemle bir sac metal parçayı yarı küresel takım ve bir üç eksen CNC tezgah kullanarak esnek olarak şekillendirebilmişlerdir.

İkinci dönem (1993 – 2000 arası)

Bu dönemde ASŞ ile ilgili sadece Japon araştırmacıların çalışmaları ve patentleri mevcuttur. Patentlerin çoğu özellikle otomotiv sektöründen TOYOTA, HONDA, vb. firmalara aittir. İki nokta ASŞ yöntemi ilk defa 1994 yılında Matsubara tarafından denenmiştir. Şekil 2.4.' de görülen düzeneğin patenti Matsubara' ya aittir.



Şekil 2.4. Matsubara' nın patentli iki nokta ASŞ makinesinin şematik gösterimi [4]

Üçüncü dönem (2000' den günümüze kadar)

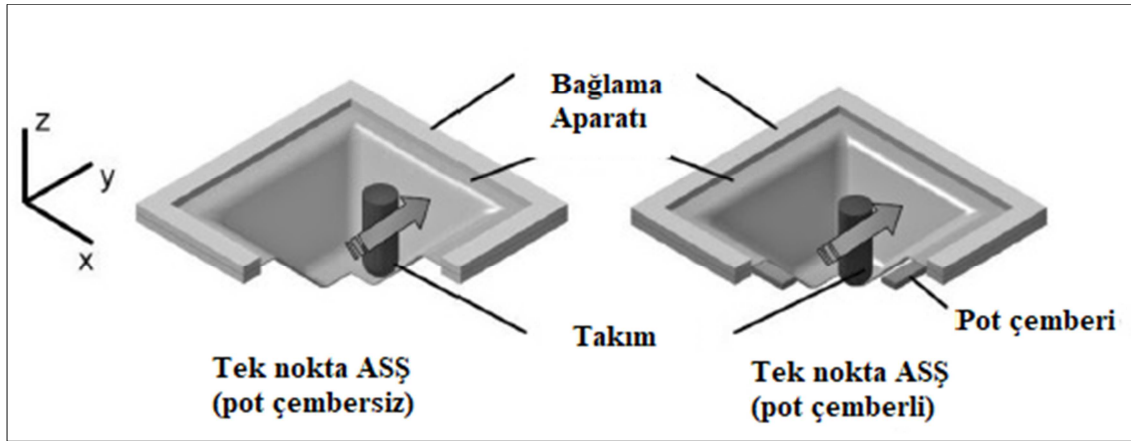
2000' li yıllardan sonra ASŞ yöntemiyle ilgili yapılan çalışmaların yoğunluğu uzak doğudan batı dünyasına doğru kaymaya başlamıştır. Ancak Japonya' da ki gelişim döneminin fark edilmediği açıktır. ASŞ yöntemi, batı dünyasının ilgisini ilk defa 1997 yılında düzenlenen bir CIRP toplantısında çekmiştir. Bu toplantıya katılan birkaç batılı araştırmacı ASŞ yönteminin basit ve uygulanabilirliğinden etkilenmişlerdir.

2.3. Temel ASŞ Yöntemleri

Kalıp kullanılıp kullanılmamasına veya şekillendirme esnasında kullanılan takım adet ve şekline göre farklı yöntemler geliştirilmiştir. Temel olarak üç yöntem vardır. Diğer ASŞ yöntemlerinin esası bu üç yönteme dayanmaktadır.

2.3.1 Tek nokta ASŞ yöntemi

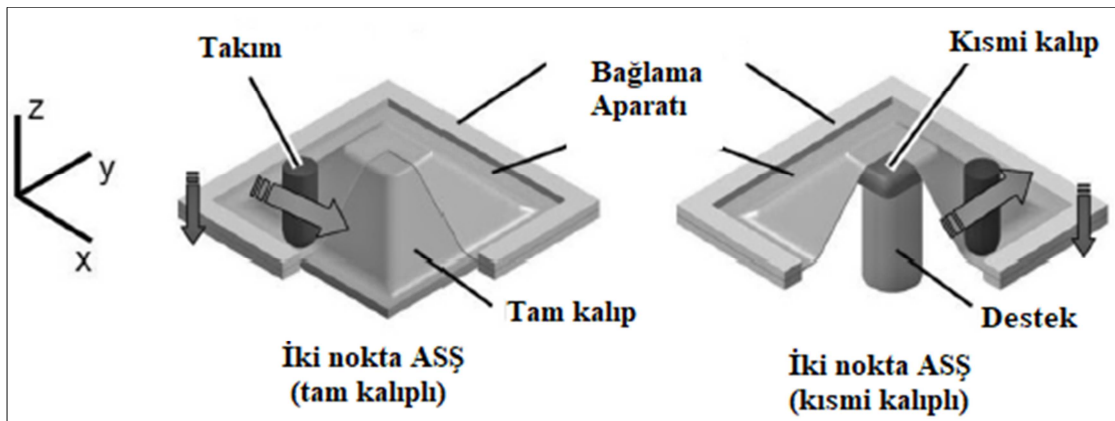
Kalıpsız şekillendirme olarak da bilinen tek nokta ASŞ yönteminde takım saca tek noktadan temas ederek şekillendirme yapılmaktadır (Şekil 2.5.). Şekil 2.5.' deki sağdaki uygulamada sacın akmaya başladığı kenar bölgeleri pot çemberiyle desteklenmektedir. Böylelikle sacın esnemesi kısıtlanmaktadır. Bu yöntem kalıpsız metal şekillendirme yöntemi olarak da bilinir [6].



Şekil 2.5. Tek nokta ASŞ farklı uygulamaları [6]

2.3.2 İki nokta ASŞ yöntemi

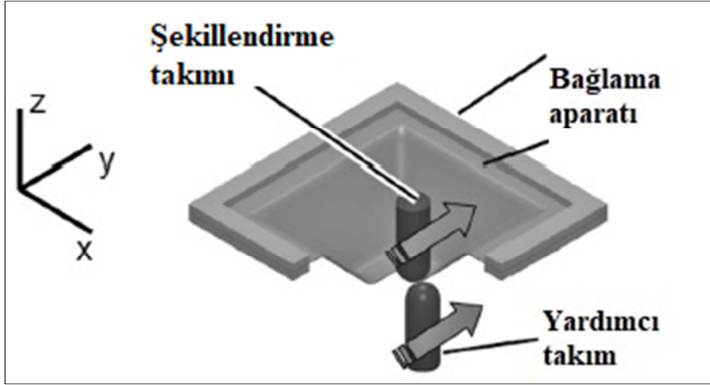
Geometrinin farklılığını artırabilmek veya geometrik doğruluğu yakalayabilmek için tam veya kısmi kalıplar kullanılabilmektedir (Şekil 2.6.). Özellikle geri esnemeyi azaltabilmek için bu tür kalıplı uygulamalar tercih edilmektedir.



Şekil 2.6. İki nokta ASŞ farklı uygulamaları [6]

2.3.3 Kinematik ASŞ yöntemi

Kinematik ASŞ yönteminde Şekil 2.7.' de görüldüğü üzere iki takımın birlikte senkronize olarak çalışmasıyla şekillendirme yapılır. Böylelikle yardımcı takım destek görevi görerek geometrik doğruluğun sağlanmasına yardımcı olur [6].



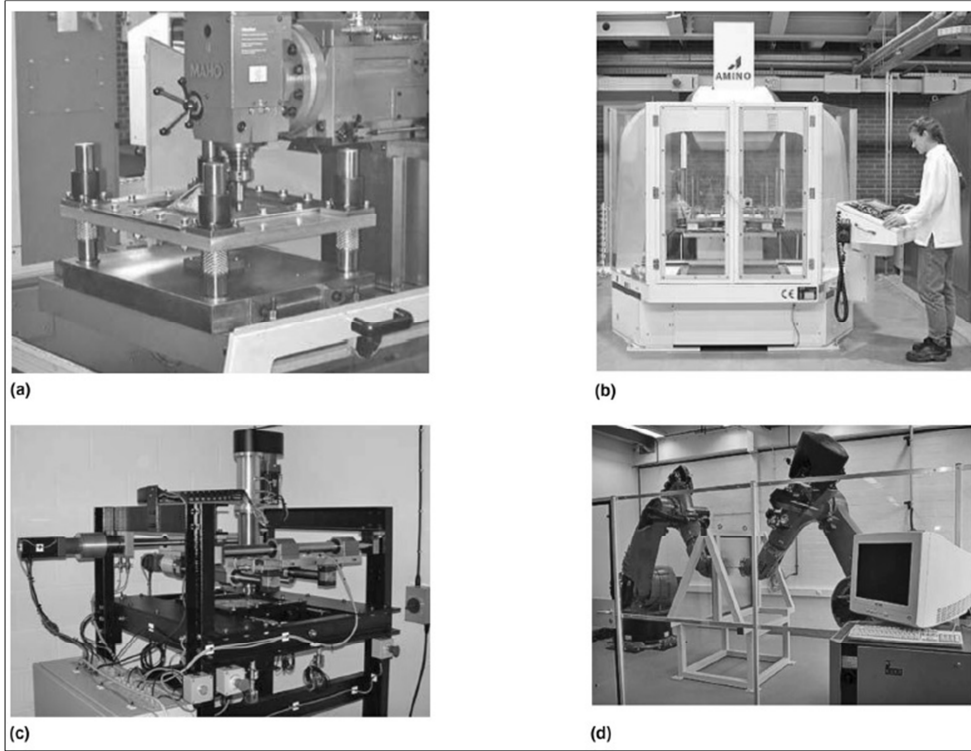
Şekil 2.7. Kinematik ASŞ farklı uygulaması [6]

2.4. Kullanılan Tezgahlar

Prensip olarak herhangi bir bilgisayar kontrollü tezgahta, belirlenen takım yolu boyunca şekillendirme yapan bir takım ile ASŞ yöntemleri kullanılabilir. Aşağıda sıralanan tezgahlar en çok tercih edilenlerdir [1].

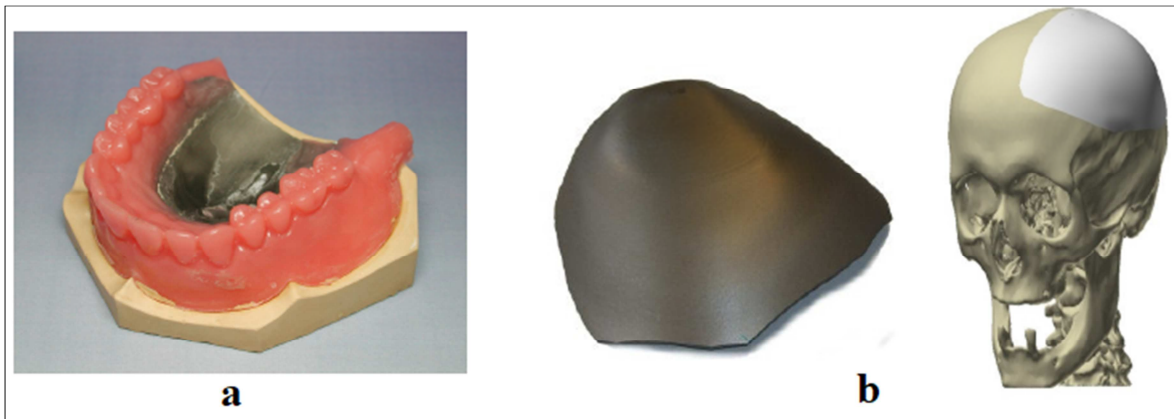
- Üç eksen CNC dik işleme merkezleri,
- Endüstriyel robotlar,
- Altıayaklılar,
- Özel tasarım tezgahlar.

Tezgah tipi seçiminde kullanılabilirlik, hız, çalışma hacmi, sağlamlık ve maliyet gibi kilit faktörler vardır. Bir çok firmada bulunması ve ASŞ yöntemlerinin kolay adapte edilebilmesinden dolayı en çok tercih edilen tezgahlar üç eksen CNC dik işleme tezgahlarıdır. Ancak parçanın ebatları ve üretimin esnekliği söz konusu olunca sadece bu yöntemlere özel tezgahlarda geliştirilmektedir. Resim 2.2.' de farklı tezgahlar görülmektedir [1].



2.5. Uygulama Alanları

Özellikle otomotiv sektöründe kendisine daha çok yer bulan ASŞ yöntemleri farklı alanlarda da tercih edilmektedir. Son yıllarda biyomedikal (Resim 2.3.) ve havacılık sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır.



2.6. Avantajları ve Dezavantajları

ASŞ yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir [9];

Avantajları

- CAD data ile uygun tezgahta üretime hemen başlanabilir,
- CNC dik işleme veya freze tezgahlarında uygulanabilir,
- Erkek ve dişi kalıplara gerek yoktur veya maliyeti düşük kısmi kalıplarla çalışılabilir,
- Tasarım esnekliğine imkan tanır,
- Konvansiyonel yöntemlere göre şekillendirilebilirlikte artış sağlanır,
- Takım dalma derinliğinin küçük yapılması ile ortaya çıkacak kuvvetler azaltılabilir,
- İyi bir yüzey kalitesi elde edilebilir.

Dezavantajları

- Konvansiyonel yöntemlere göre daha fazla şekillendirme sürelerine sahiptir,
- Uzun şekillendirme sürelerinden ötürü seri imalat için uygun değildir,
- Parça ebatları tezgahın limitlerine bağlıdır,
- Dik açılı yüzeyler oluşturabilmek için çoklu-kademeli ASŞ yöntemleri tercih edilmek zorundadır,
- Geri esneme oluşmasını önlemek için ekstra önlemler alınmalıdır,
- Radyus ve büküm yerlerinde geometrik doğruluk azalmaktadır.

2.7. Önceki Çalışmalar

Günümüze kadar artımlı sac şekillendirme (ASŞ) yöntemleriyle ilgili çok fazla araştırma yapılmıştır. Çünkü bu kadar esnek üretim imkanı sağlayan bir yöntemin, endüstride etkin olarak kullanılabilmesi ve özellikle şekil verebilme sınırlarının iyi anlaşılması için bir çok değişkenin araştırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı sac malzemelerin farklı parametrelerle, tek noktalı, iki noktalı ve kinematik ASŞ yöntemleriyle şekillendirildiği görülmektedir.

Ham ve Jeswiet, ASS yönteminde şekillendirmeyi etkileyen kritik parametrelerin formüle edilmesi ve etki oranlarının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Yapılan çalışmada AA 3003-O Alüminyum sac malzemesi kullanmışlardır. Duvar açısı, form derinliği, devir sayısı, takım dalma derinliği ve duvar açısının şekillendirmeyi etkileyen parametreler olduğu tespit edilmiştir. Form derinliği ve form çapının ise şekillendirme üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür. Ayrıca malzeme kalınlığı ve takım çapının, takım dalma derinliği kıyasla duvar açısı üzerinde daha etkili olduğu anlaşılmıştır [12].

Afonso ve arkadaşları, tünel tip parçaların şekillendirilmesinde ASS yöntemini kullanmıştır. Çalışmada tam ve yarım tünel formu şekillendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Malzeme olarak 2,0 mm kalınlığında 1050-H111 alüminyum sac kullanılmıştır. Takım çapı 10 mm, her adımda takım dalma derinliği 0,5 mm ve ilerleme hızı 1500 mm/dk olarak seçilmiştir. Sonuçlar form doğruluğu ve en yüksek duvar açısına göre değerlendirilmiştir. 68° duvar açısına kadar istenilen form ± 5 mm yakınlığında elde edilebilmiştir [13].

Sakin ve Durgun, araç torpidosu üzerinde bulunan kaplama parçasının imalatı ile ilgili ASS yöntemi kullanarak bir CNC dik işleme tezgahında kullanmışlardır. Malzeme olarak 3,0 mm kalınlıklarında polietilen (PE) ve poliamit (PA) levhalar üzerinde çalışmışlardır. Deney parametreleri olarak 2500 mm/dk ilerleme hızı, 500 dev/dk takım çalışma hızı, 0,2 mm takım dalma derinliği ve “Z level profile optimized” takım yolu stratejisi seçmişlerdir. Ürettikleri parçaları ATOS GOM cihazı ile optik olarak tarayarak CAD data ile arasında oluşan geometrik sapmaları analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, PE ve PA levhaların geometrik doğruluk bakımından farklı özelliklere sahip olduğunu göstermişlerdir. Geometrik sapma değerlerinin yüksek olmasından dolayı bu malzemelerin test parçası gerekliliklerini karşılamadığını ortaya koymuşlardır [14].

Moayedfar ve arkadaşları, artımlı sac şekillendirme esnasında şekillendirme parametrelerinin etkisini, bir CNC torna tezgahında konik bir parça şekillendirerek gözlemlemişlerdir. Malzeme olarak 316 paslanmaz çelik bir sac kullanmışlardır. Ayrıca takım çalışma ve ilerleme hızları, takım malzemesi ve sıcaklığın etkilerini de araştırmışlardır. Sonuçlarında sacın esnetilmesinde; iş mili hızı, ilerleme hızı ve sıcaklığın direk , takım malzemelerinin ise dolaylı olarak etkili olduğunu göstermişlerdir [15].

Manco ve Ambrogio, et kalınlığının şekillendirilebilirlik üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Malzeme olarak 6082-T6 alüminyum alaşım kullanmışlardır. Aslında Sinüs Yasası yardımı ile sac malzeme et kalınlığı değişimi kolay yoldan tahmin edilebilmektedir. Ancak bu yasa sadece başlangıç et kalınlığı ve duvar açısı parametrelerini kullanır ve diğer parametreleri ihmal eder. Bu sebepten ötürü diğer proses parametrelerinin de et kalınlığına olan etkisini ANOVA analizi ile çalışmışlardır. Farklı et kalınlıkları, duvar açıları, takım çapları ve takım dalma derinlikleri ile yirmi yedi adet deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda istatistiksel olarak et kalınlığı değişiminin farklı parametrelere göre tahmin edilebilmesi için bir model geliştirmişlerdir. Bu modele göre malzemenin et kalınlığı değişiminin öncelikle ilk kalınlık ve çalışılan duvar açısından etkilendiğini belirlemişlerdir. Ancak takım çapı ve takım dalma derinliğinin çok fazla etkili olmadığını gözlemlemişlerdir. Bu arada sinüs yasasının ortalama olarak et kalınlığı tahmininin de doğruya yakın sonuçlar sağladığını göstermişlerdir. Sonuç olarak gerçeğe çok yakın bir şekilde farklı bölgelerdeki minimum et kalınlığını tahmin edebilen bir model önermişlerdir [16].

Durgun, tek nokta ASS yöntemi kullanarak 1,0 mm kalınlığındaki AA6016 alüminyum alaşımı malzemeyi şekillendirmiştir. 15 mm çapında takım kullanmıştır. Geniş kısmı 172 mm, dar kısmı 79 mm ve derinliği 80 mm olan kesik koni bir parça üretmiştir. Yırtılma olmadan üretilen bu parçanın boyutsal ölçümünü ATOS cihazı ile tarayarak gerçekleştirmiştir. Ölçüm sonuçlarını CAD data ile farklı tolerans aralıklarında değerlendirerek vermiştir. Tarama sonuçlarına göre sapmanın en yüksek olduğu bölgenin sacın ilk deformasyona uğradığı geniş tabanının olduğunu belirlemiştir. Geri esneme durumunun da gözlemlendiği ölçüm sonuçlarına göre takım çapı, ilerleme hızı ve takım dalma derinliği gibi parametrelerin değiştirilmesi ile bu durumun optimize edilebileceğini belirtmiştir [17].

Mugendiran ve Gnanavelbabu, kesik piramit ve koni geometrileri şeklinde hazırladıkları sac malzemeler ile AA 5052 alüminyum alaşımının şekillendirilebilme davranışını incelemişlerdir. Her iki geometrik şekil için FLD ve et kalınlığı değişiminin tahmin edilip karşılaştırmasını çalışmışlardır. 100 x 100 üst ve 50 x 50 taban ölçülerine sahip kesik piramit ve 100 mm dış ve 50 mm iç çap ölçülerinde kesik koni geometrileriyle 1,0 mm sac malzemeyi, 45° duvar açısı, 1500 dev/dak takım çalışma hızı, 50 mm/dk ilerleme hızı ve 0,5 mm takım dalma derinliği olacak şekilde CNC kontrollü bir tezgahda tek nokta ASS

yöntemi ile çalışma yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda konik parçanın şekillendirilebilirliğinin piramit parçadan daha fazla olduğunu FLD diyagramlarını karşılaştırmak suretiyle göstermişlerdir [18].

Bastos ve arkadaşları, çalışma hızının arttırılmasının etkilerini araştırmışlardır. Tek nokta ASŞ yöntemi ile kullanarak AA 1050, DP600, DP780 ve DP1000 olmak üzere dört farklı kalite malzeme üzerinde çalışmışlardır. Deneylerini Stewart platformu diye adlandırılan beş serbestlik dereceli bir tezgahta yapmışlardır. Takım dalma derinliği, takım çapı, et kalınlığı ve yağlama gibi parametreleri sabit tutmuşlardır. Yağlama malzemesi olarak alüminyum için SAE30, çift faz çelikler için ise Finarol B5746 tercih etmişlerdir. 16 mm takım çapı, 1,0 mm et kalınlığında sac malzeme ve 1500, 2500, 3500 ve 12.000 mm/dk olmak üzere dört farklı ilerleme hızı çalışmışlardır. Değişken açılı kesik bir koni geometri ile farklı açı değerlerindeki sonuçları incelemeyi amaçlamışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmaların neticesinde net olarak ilerleme hızının arttırılmasının şekillendirilebilirliği azalttığını ve çift faz malzemelerin yüzey kalitesini de bozduğunu görmüşlerdir. En iyi yüzey kalitesi değerine 1500 mm/dk çalışma hızında rastlanmıştır. Fakat alüminyum malzemenin yüzey kalitesinin çalışma hızı değişimlerinden fazla etkilenmediğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak üretim zamanını azaltmak için ilerleme hızının arttırılmasının şekillendirilebilirlik ve yüzey düzgünlüğü gibi konularda olumsuz etkilerinin olduğunu tespit etmişlerdir [19].

Azevedo ve arkadaşları, yağlamanın özellikle alüminyum 1050 ve DP780 malzemeler üzerindeki etkisini üretilen parçalardaki yüzey düzgünlüğü üzerinden araştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında hepsi birbirinden değişik karakteristik özelliklere sahip beş farklı yağ malzemesi kullanmışlardır. 1,0 mm kalınlığındaki sac malzemeleri tek nokta ASŞ yöntemiyle şekillendirmek için kendi üniversitelerinde tasarladıkları ve altı serbestlik derecesine sahip robotik bir tezgah kullanmışlardır. Kesik koni geometrilerinde işlenen parçaların yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçlarına göre SAE 30 ve AL-M gres özelliğindeki yağların alüminyum 1050 üzerinde yüzey kalitesini arttırmaya olumlu etkisi görülürken Finarol B5746 ve AS-40 yağlarının da DP780 malzeme üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu gözlemlemişlerdir [20].

Durgun ve arkadaşları, konvansiyonel bir CNC dik işleme merkezinde tek nokta ASŞ yöntemi kullanarak deneysel çalışmalar yapmışlardır. Şekillendirme işlemi için 10 mm çapında küresel karbür takım kullanmışlardır. Form olarak üç duvarı dik açılı bir geometri seçmişlerdir. Üç boyutlu katı model üzerinden HyperMill programı yardımıyla duvar temizleme algoritması ile G-kodlarını üretmişlerdir. Farklı takım yolu stratejileri denemek suretiyle deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, dik açılıya yakın duvar açılarının yırtılmadan şekillendirilebilmesi için kademeli ASŞ yönteminin daha uygun olacağını belirtmişlerdir [21].

Ham ve Jeswiet, tek nokta ASŞ yönteminin ölçüsel doğruluğunu Box-Behnken dizayn analizi kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında beş değişkeni incelemişlerdir. Bunlar malzeme tipi, malzeme kalınlığı, form tipi, takım çapı ve takım dalma derinliğidir. Toplamda kırk altı adet deneysel çalışma yapmışlardır. Malzeme olarak 5754, 6451 ve 5182 olmak üzere üç farklı alüminyum alaşım; form olarak da konik, piramit ve kubbe şekillerini tercih etmişlerdir. Lazer tarama ile ölçülen parçaları CAD çizimleri ile karşılaştırarak geometrik doğruluk sonuçlarını üç boyutlu grafikler halinde sunmuşlardır. Sonuç olarak, karşılaştırmalar neticesinde sapmaların birçoğunun 0 ve 1 mm arasında ve ortalama sapmanın 0,13 mm olduğunu göstermişlerdir [22].

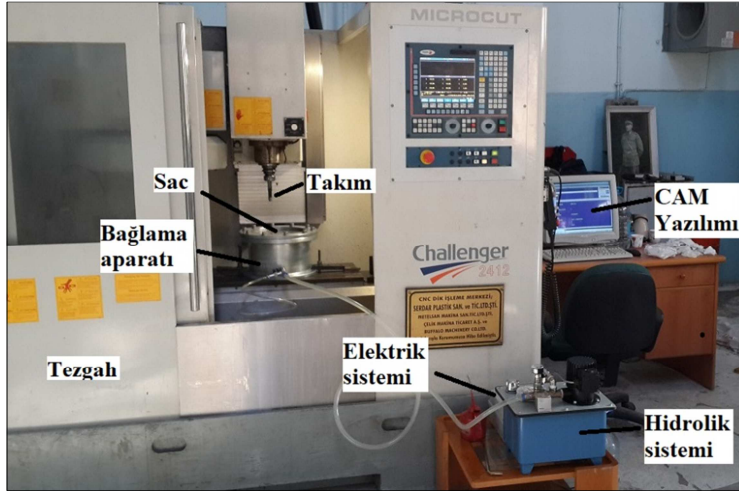
Tamer ve arkadaşları, kesik koni ve kesik kare piramit geometrili parçaları ASŞ yöntemi ile üretilen aynı takım yolu kullanarak sayısal analizler yapmışlardır. Sonlu elemanlar yönteminin doğruluğunu anlamak için çıkan sonuçları karşılaştırmışlardır. İmalat ve analiz için malzeme olarak FEP04 çelik sac kullanmışlardır. 5, 10 ve 15 mm çaplarında takımlar kullanmışlardır. Ürettikleri parçaların üç boyutlu koordinat ve optik deformasyon ölçümlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Sayısal analizleri hem açık adım için hem de kapalı adım için yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda kapalı adım yöntemi ile elde edilen değerlerin optik sonuçlar ile çok yakın olduğunu göstermişlerdir. Ancak kapalı adım analiz süresinin uzun olmasından dolayı et kalınlığı değişimi gibi kritik bir tasarım için bu yöntemin kullanılmasının daha uygun olduğunu ve analiz süresinin kısa olmasından dolayı geometrik tolerans karşılaştırmaları için ise açık analiz yönteminin kullanılabileceğini belirtmişlerdir [23].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde sac malzemenin alt tarafından akışkan basıncı desteği uygulanarak yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca çift fazlı malzeme üzerine yapılan çalışmaların yetersiz olduğu görülmüştür.

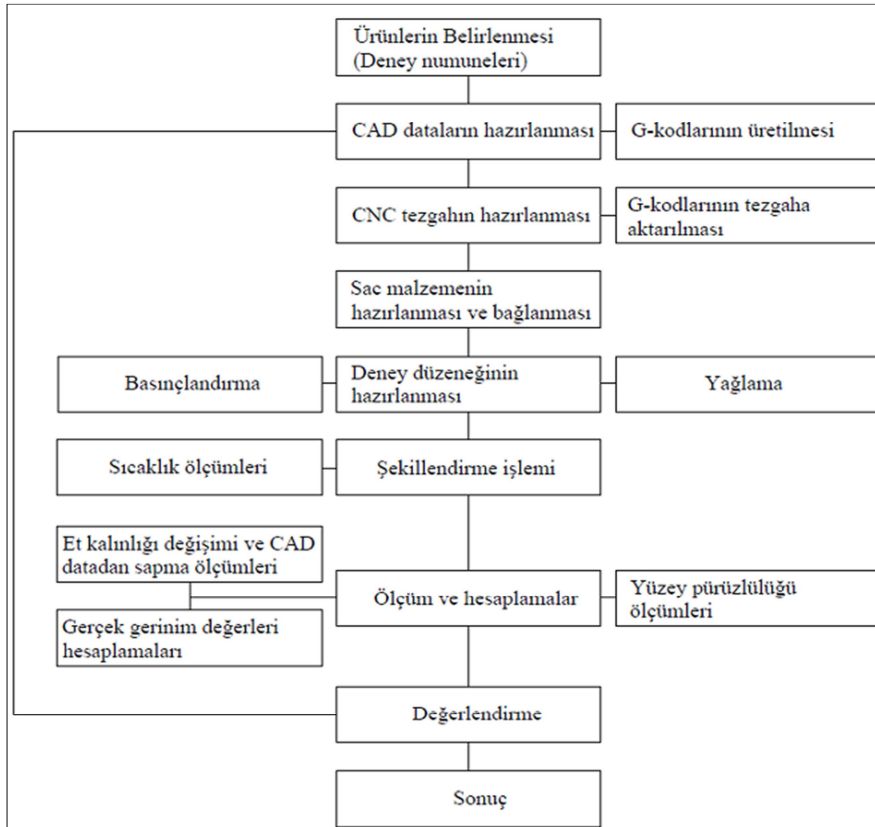
Bu çalışmada tek nokta artımlı sac şekillendirme yöntemiyle farklı değişken parametreleri kullanarak, DP600 sacının alttan bir akışkan basıncı desteği sağlanarak, kare ve dairesel formlarda şekillendirilmesiyle ilgili deneysel çalışmalar.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmaların tamamı Gazi Üniversitesi atölyelerinde yapılmıştır. Resim 3.1.' de deney düzeneği ve diğer deney elemanlarının çalışma esnasında yerleşimleri görülmektedir. Yapılan tüm deneyler Şekil 3.1.' deki akış şemasına göre yapılmıştır.



Resim 3.1. Deney düzeneği ve elemanlarının genel görünümü

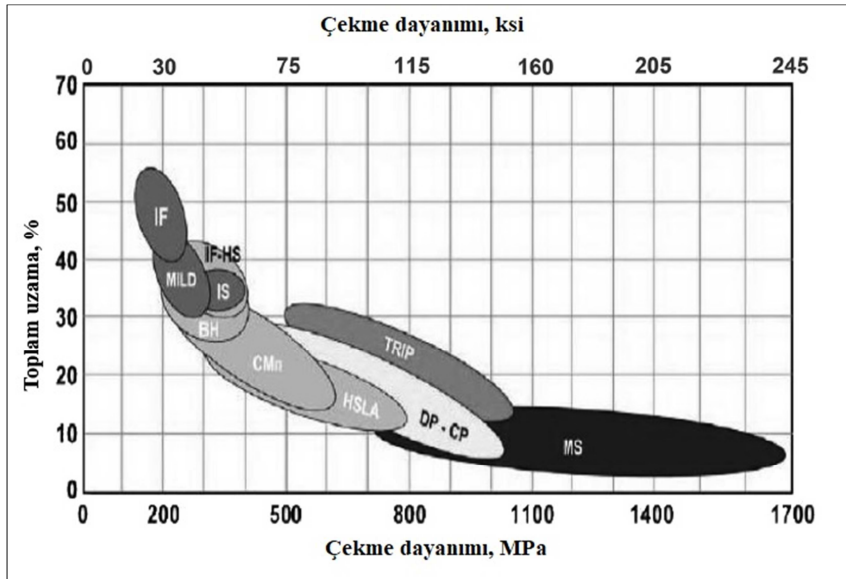


Şekil 3.1. Akış şeması

Bu bölümde öncelikle malzeme karakterizasyonu yapılmıştır. Daha sonra deney düzeneği, yardımcı ekipmanlar (tezgah ve takımlar), yağlama, takım yolu ve deneyin planlanması hakkında bilgiler sunulmuştur. Yapılan ön çalışmalar (bkz. Resim 1.2.) seçilen malzemenin özellikleri ve deney şartlarının tanımlanmasında yardımcı olmuştur.

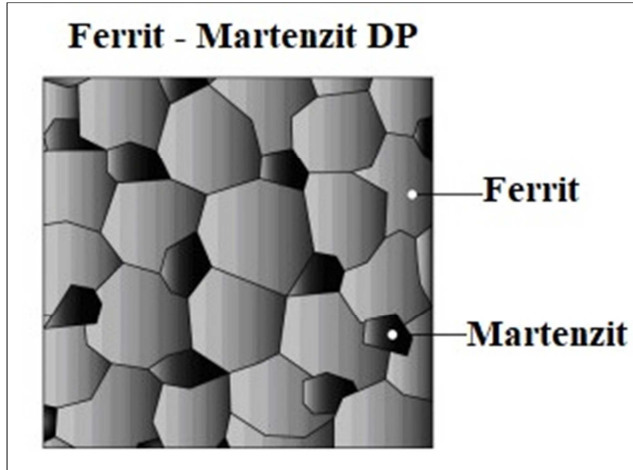
3.1. Malzeme Karakterizasyonu

Otomotiv endüstrisinde güvenlikten ödün verilmeden ağırlık azaltılabilmesi için gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerin (GYMÇ) kullanımları artmaya başlamıştır. GYMÇ akma dayanımı 550 Mpa' dan yüksek olan çelikler olarak karakterize edilir [12]. İçerisinde martenzit, beyrit ve/veya östenit fazlara sahip çoklu faz çeliklerdir. GYMÇ' nin çok farklı çeşitleri vardır. Bunlar çift-faz, TRIP, MS, kompleks faz, sıcak şekillendirme ve TWIP çelikleridir. Şekil 3.2.' deki muz eğrisinde bu çeliklerin toplam uzama ve çekme dayanımı olarak karşılaştırmaları görülmektedir.



Şekil 3.2. AHSS çeliklerin karşılaştırılması [10]

GYMÇ çelikleri temel olarak çoklu faz çelikleridir. Bu malzemelerin performans ve mekanik davranışlarında mikroyapıları önemli bir rol oynar. Daha yüksek dayanıma ve düşük sünekliliğe sahiptirler. Şekillendirilebilirlikleri sınırlıdır. GYMÇ içerisinde yer alan çift faz çelikler ise ada şeklinde bir martensitik ve ikinci faz olarak da ferritik bir matris yapıdan oluşurlar (Resim 3.2.) [11].



Resim 3.2. DP malzeme yapısı [11]

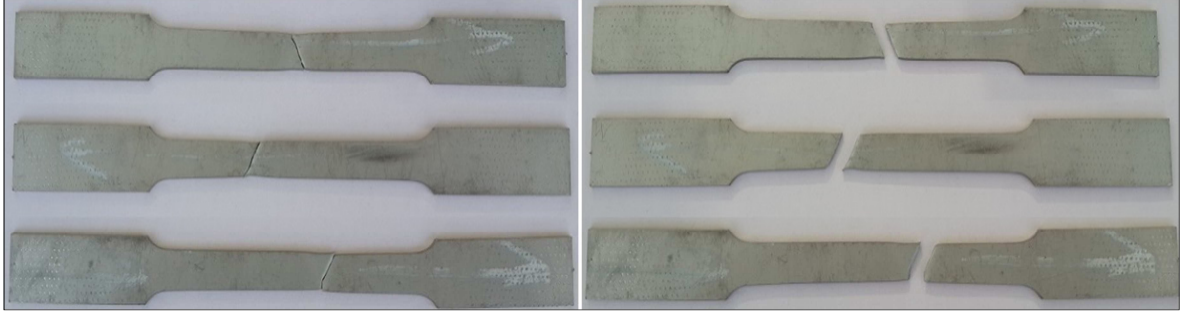
Son yıllarda özellikle otomobil üretiminde yüksek dayanımlı çeliklerin kullanımı bir hayli artmıştır. Araçların güvenlikten ödün vermeden yakıt tasarrufu sağlayacak bir biçimde hafif olarak üretilibilmeleri için bu tür malzemelerin kullanılması gerekmektedir.

Deneyisel çalışmalar için yüksek mukavemetli çelik sınıfında yer alan DP600 malzeme uygun görülmüştür. Malzemeler ERDEMİR A.Ş. bünyesinde üretilen 3660 kalite (DP600) rulo saclardan tedarik edilmiştir. Malzemeye ait kimyasal içerik analizleri yaptırılmış ve sonuçlar Çizelge 3.1.' de gösterilmiştir.

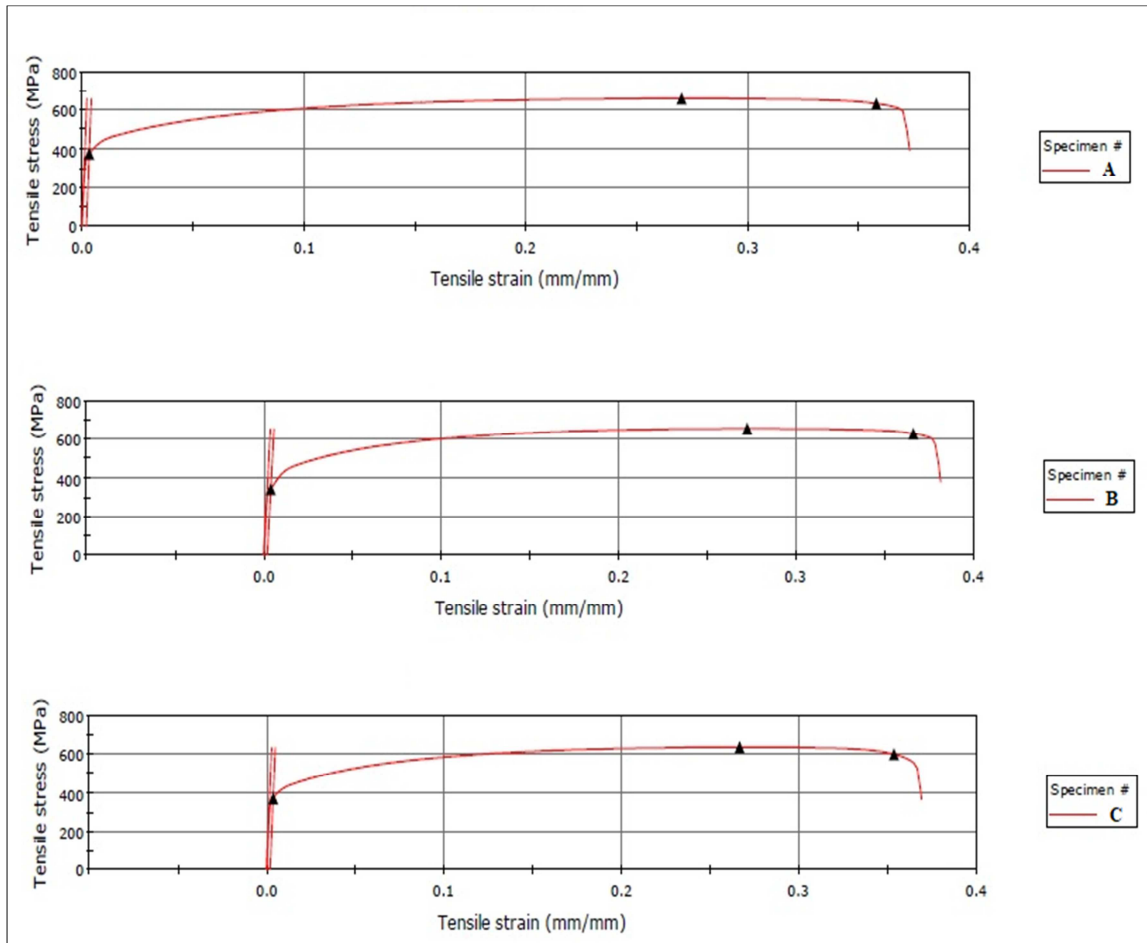
Çizelge 3.1. DP600 malzeme kimyasal kompozisyonu

Karbon (C)	Mangan (Mn)	Silisyum (Si)	Krom (Cr)	Alüminyum (Al)	Nikel (Ni)	Fosfor (P)	Bakır (Cu)
0,116	1,545	0,289	0,634	0,042	0,041	0,029	0,019

Malzemenin şekillendirilmesi esnasında önemli olan plastik şekil alma davranışının belirlenmesi amacıyla tek eksenli çekme testleri gerçekleştirilmiştir. En uygun sonuçların elde edilebilmesi amacıyla çekme testleri üç tekrar olarak yapılmıştır. Çekilme testine tabii tutulmuş parçalara ait görseller Resim 3.3.' de, çekme testi sonuçları ise Şekil 3.3.' de sunulmuştur.



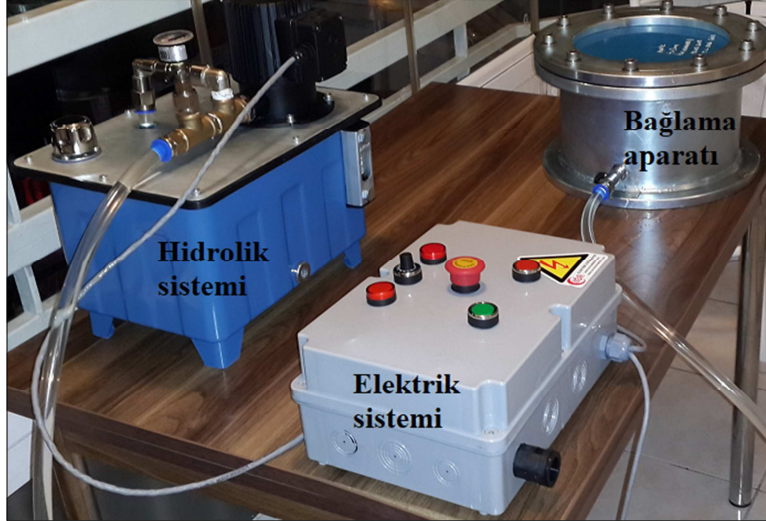
Resim 3.3. Çekme testi numuneleri



Şekil 3.3. Çekme testi sonuçları

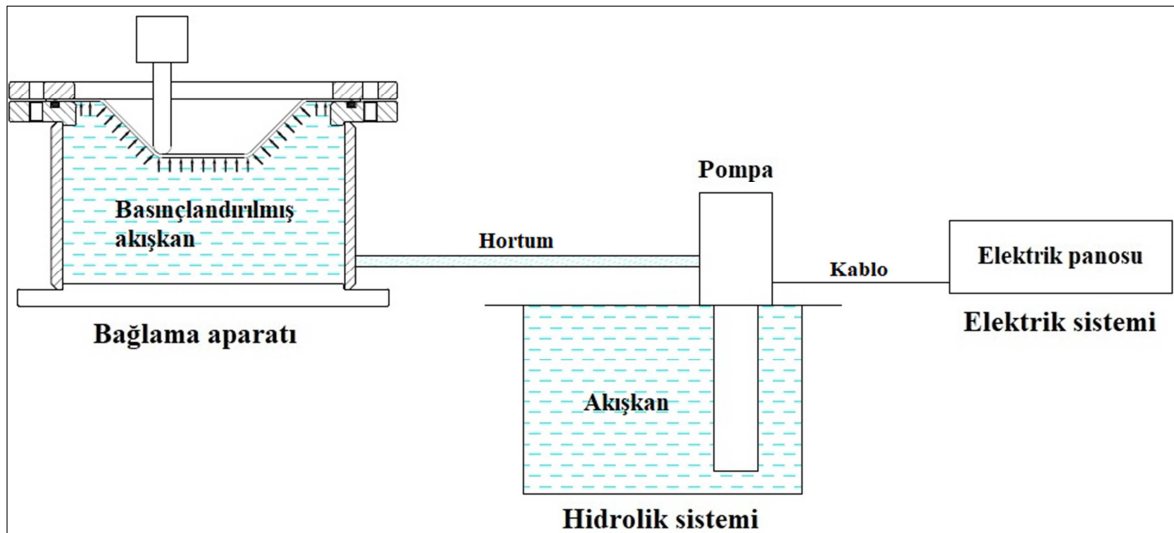
3.2. Deney Düzeneği

Deney düzeneği, bağlama aparatı, hidrolik ve elektrik sistemlerinden oluşmaktadır. (Resim 3.4.)



Resim 3.4. Deney düzeneğinin genel görünümü

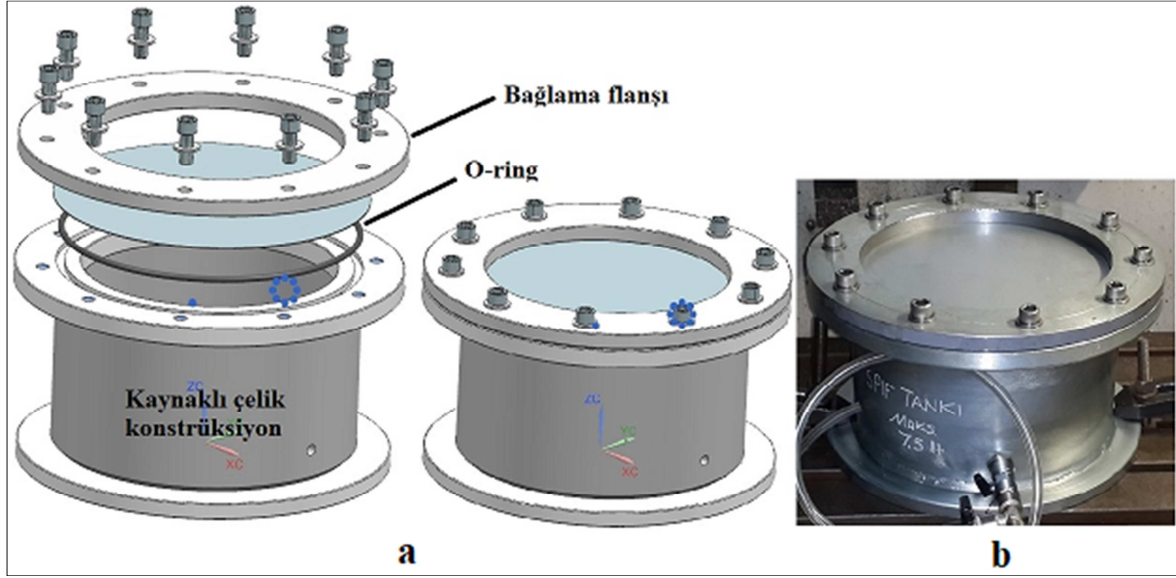
şekil 3.4.' de deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi verilmiştir.



şekil 3.4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

3.2.1. Bağlama aparatı

Bağlama aparatı temel olarak kaynaklı elik konstrüksiyon, bağlama flanşı ve o-ring elemanlarından oluşmaktadır (Resim 3.5.). Bağlama aparatına ait imalat teknik resimleri EKLER bölümünde sunulmuştur.



Resim 3.5. Bağlama aparatı a) CAD data modeli, b) İmal edilmiş hali

Resim 3.5.' de görülen CAD model ve imalat resimlerinin tamamı Siemens NX 12.0 programı kullanılarak bilgisayar ortamında çizilip imalatı yaptırılmıştır.

Sac mazleme, bağlama flanşı ve cıvatalar yardımıyla çevresinden sıkıştırılmak suretiyle aparat üzerinde sabitlenmektedir. Standart boyutlarda o-ring elemanı ile de basıncı şartlarında sızdırmazlık sağlanmaktadır.

3.2.2. Hidrolik sistemi

Hidrolik sistem; pompa, akışkan tankı ve hidrolik devre elemanlarından oluşmaktadır (Resim 3.6.).



Resim 3.6. Hidrolik sistemi elemanları

Akışkan tankı

12 litre kapasiteli alüminyum gövdeli akışkan tankının ebatları 260 x 350 x 180 mm' dir. Resim 3.6.' da görüldüğü şekilde pompa ve bazı devre elemanları akışkan tankının üzerine monte edilmiştir. Tankın üzerinde boşaltma tapası ve seviye göstergesi bulunmaktadır.

Pompa

Özellikleri Çizelge 3.2.' de verilen Miksan marka düşük basınçlı soğutma suyu pompası kullanılmıştır. Pompanın en önemli özelliği fanlı pompa olmasından dolayı yüksek basınç oluşturmamasıdır. Bu sayede hidrolik sistemi elemanları aşırı basınçta zarar görmemektedir.

Çizelge 3.2. Pompa teknik bilgileri

Miksan BP/17 Pompa Teknik Bilgiler	
Güç	0,09 kW
Gerilim	230/400 V
Frekans	50 Hz
Akım	0,48/0,28 A
Devir	2830 d/d
Basınç	0,6 bar
Dalma Derinliği	170 mm
Ağırlık	4 kg

Hidrolik devre elemanları

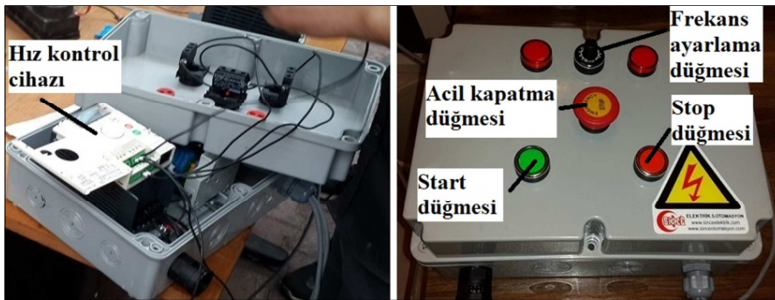
Hidrolik sistemde kullanılan tüm devre elemanları Çizelge 3.3.' de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Hidrolik devre elemanları

Parça No	Parça İsmi	Miktar
1	Manometre (1 Bar)	1 Adet
2	3/8 Metal Mini Vana (Dişi - Erkek)	3 Adet
3	1/2 - 3/8 Kuyruklu Dirsek	1 Adet
4	3/8 Dirsek (Dişi)	1 Adet
5	3/8 Dişi TE	3 Adet
6	3/4 - 3/8 Nipel	1 Adet
7	1/2 - 3/8 Nipel	2 Adet
8	3/8 - 3/8 Nipel	3 Adet
9	3/8 - 1/4 Nipel	1 Adet
10	1/2 - 1/4 Lüle	1 Adet
11	1/4 - 1/8 Lüle	1 Adet
12	3/8 - 3/8 Manşon	2 Adet
13	3/8 - 1/2 Redüksiyon	1 Adet
14	3/8 - 16 PN Rekor	3 Adet
15	1/4 - 7,5 Hortum Rekoru	1 Adet
16	16/11 Poliüretan Şeffaf Hortum	2,5 m
17	10/6,5 Poliüretan Şeffaf Hortum	1 m

3.2.3. Elektrik sistemi

Elektrik sistemi; hız kontrol cihazı, pano kutusu ve diğer elektrik elemanlarından oluşmaktadır (Resim 3.7.).

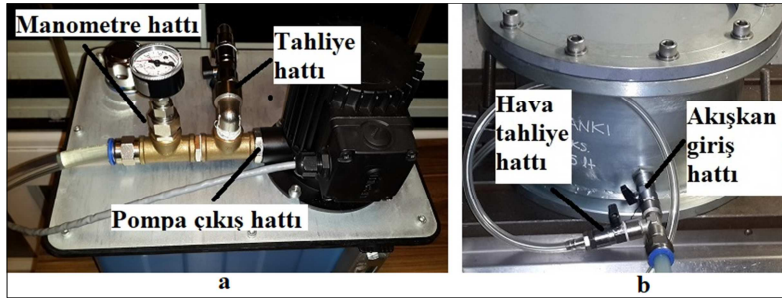


Resim 3.7. Elektrik sistemi elemanları

Hız kontrol cihazı yardımıyla pompanın frekansı ve frekansla doğru orantılı olarak devri değiştirilebilmektedir. Bu sayede sisteme verilen basınç hassas olarak ayarlanabilmektedir.

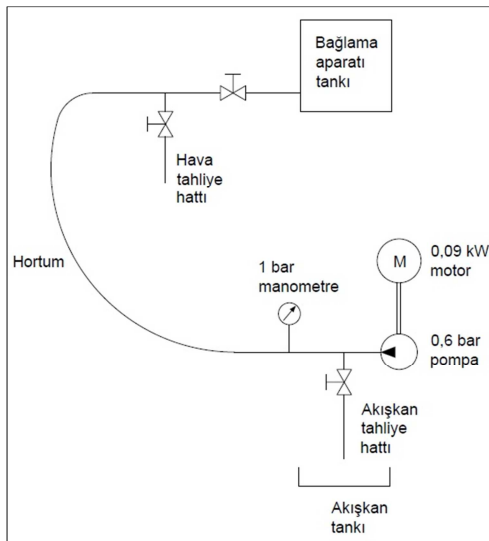
3.2.4. Deney düzeneğinin çalıştırılması

Pano kutusu üzerindeki yeşil start düğmesi (bkz. Resim 3.7.) ile çalıştırılan pompa, akışkan tankı içerisindeki bor yağ - su karışımını (Resim 3.8.a), bağlama aparatı içerisine göndermektedir (Resim 3.8.b). Bu esnada akışkan tankında biriken hava bağlama aparatına girmeden önce hava tahliye hattından atılmaktadır (Resim 3.8.b). Sistemin basıncı akışkan tankı üzerindeki manometreden okunmaktadır. İstenilen basınç değeri elde edilene kadar yine pano üzerinde bulunan siyah frekans ayarlama düğmesi (bkz. Resim 3.7.) yardımı ile pompanın frekansı ve dolayısıyla devri ayarlanabilmektedir. Pompa özelliği gereği sisteme en fazla 0,6 bar basınç sağlayabilmektedir. Ancak istenildiği takdirde hız kontrol cihazında yapılacak ayar ile pompa iki kat devre ulaştırılıp yaklaşık 1,2 bar basınç sağlayabilir. Deneyler esnasında 0,2 ve 0,4 bar basınçta çalışılmıştır.



Resim 3.8. Hidrolik akışkan hatları

Sistemin hidrolik devre şeması Şekil 3.5.' de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.5. Hidrolik devre şeması

3.3. Yardımcı Ekipmanlar

Bu bölümde deneysel çalışmalar esnasında kullanılan tezgah, takımlar ve sıcaklık ölçer cihazı hakkında teknik bilgiler sunulacaktır.

3.3.1 Tezgah

Tüm çalışmalar Resim 3.9.' de görülen MICROCUT Challenger 2412 üç eksen CNC dik işleme tezgahında yapılmıştır. Çizelge 3.4.' de tezgaha ait teknik bilgiler görülmektedir.



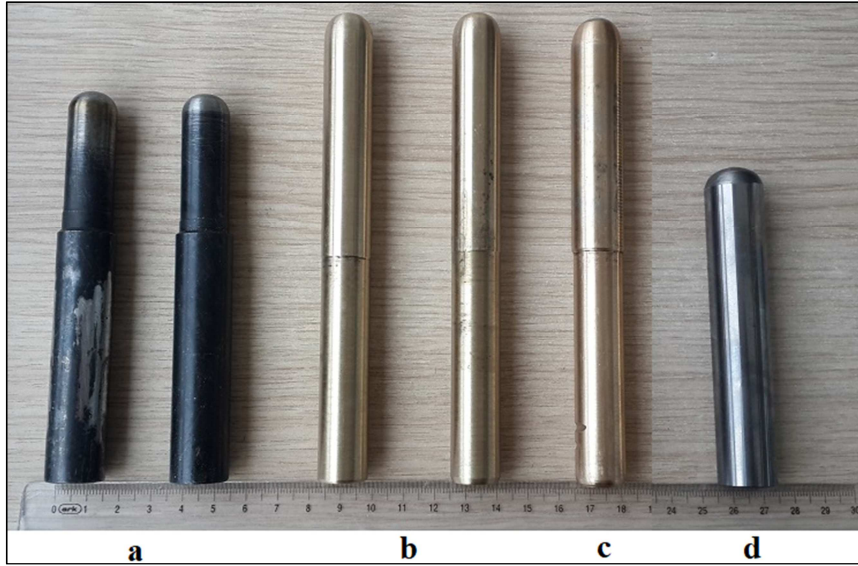
Resim 3.9. Tezgah

Çizelge 3.4. Tezgah teknik bilgileri

MICROCUT Challenger 2412 Tezgah Teknik Bilgiler	
Tabla Ölçüleri	760 x 360 mm
Tabla Ağırlığı	350 kg
X - hareketi	610 mm
Y - hareketi	355 mm
Z - hareketi	510 mm
Çalışma Hızı	10 000 mm/dk
İş Mili Çalışma Hızı	8000 dev/dk
İş Mili Motor Gücü	7,5 kW
Kontrol Ünitesi	Fanuc
Ağırlık	2500 kg
Üretici Firma	Buffalo Machinery
Üretim Yılı	2004

3.3.2. Takımlar

Deneyler öncesinde çapları 15 ila 18 mm arasında değişen takımlar (Resim 3.10.) ile denemeler yapılmıştır.



Resim 3.10. Denenen takımlar a) Cıva çeliği (sertleştirilmiş), b) SAE 430B, c) Rg7, d) Karbür

Yapılan bu ön çalışmalar neticesinde yüksek mukavemetli mangan bronz alaşımı olan SAE430B (C86300) malzeme tercih edilmiştir. Takım seçimi, dayanıklı olması, kolay işlenebilmesi, düşük maliyeti ve işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğü kriterlerine göre yapılmıştır. Takım malzemelerinin birbirleriyle kıyaslamaları Çizelge 3.5.' de yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Takım malzemeleri kıyaslaması

	Cıva Çeliği (Sertleştirilmiş)	SAE 430B	Rg7	Karbür
Sertlik (HRC)	50	20	7	55
İşlenebilirlik	Orta	Çok iyi	Çok iyi	Zayıf
İşlenen Parça Yüzey Düzgünlüğü	Zayıf	İyi	Orta	Çok iyi
Maliyet	Çok iyi	İyi	İyi	Zayıf

SAE 430B (Mangan bronz) ve Rg7 (Kızıl Bronz) malzemeleri birer bronz alaşımları olup içerisindeki diğer maddelere göre özellikleri farklılaşmaktadır. Kızıl bronz diye bilinen Rg7' nin aşınma dayanımı düşüktür. Diğerinin ise mangandan ötürü aşınma dayanımı yüksektir. Çizelge 3.6.' da bronz malzemelerin kimyasal özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.6. Bronz malzemelerin kimyasal özellikleri [24,25]

	Al	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	Pb	Sn	Diğerleri
SAE 430B (Min. %)	5,0	2,0	-	2,5	60	22	-	-	-
Rg7 (Min. %)	-	-	-	-	81	3	5	6	-

3.4. Yağlama

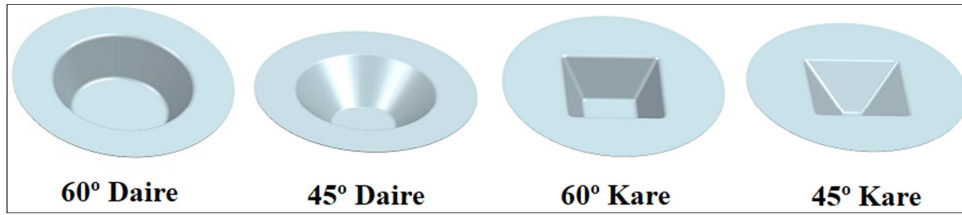
ASS’ de sürtünmeye bağlı olarak oluşan aşınmanın azaltılması, ısının düşürülmesi ve takım ömürlerinin uzatılması için yağlama önemli bir işlemdir. Deneylere geçilmeden önce farklı yağ malzemeleri ile deneme çalışmaları yapılmıştır. İlk çalışmalarda viskozitesi yüksek olan SNC OIL TOWER AW 68 marka mineral bazlı hidrolik yağ kullanılmıştır. DP600 sac ile yapılan ön çalışmalarda bu yağın kullanımının şekillendirme esnasında ciddi ısınmaya ve yüzey bozukluklarına neden olduğu görülmüştür. Literatür Araştırması bölümünde yağlama ile ilgili yapılan çalışmalardan da görüleceği üzere özellikle DP serisi malzemeler için önerilen yağların ortak özelliği viskozitelerinin düşük olmasıdır [20]. Bu sebepten ötürü viskozitesi daha düşük olan ester bazlı bir metal kesme yağı ile çalışmalara devam edilmiştir. Yağlama malzemesi olarak CONDAT Condalu 200 marka bir yağ tercih edilmiştir. Şartları aynı tutabilmek için her bir deneyde yaklaşık 100 ml bu yağdan kullanılmıştır. Kullanılan yağın teknik özellikleri Çizelge 3.7.’ de belirtilmiştir.

Çizelge 3.7. Yağ teknik özellikleri

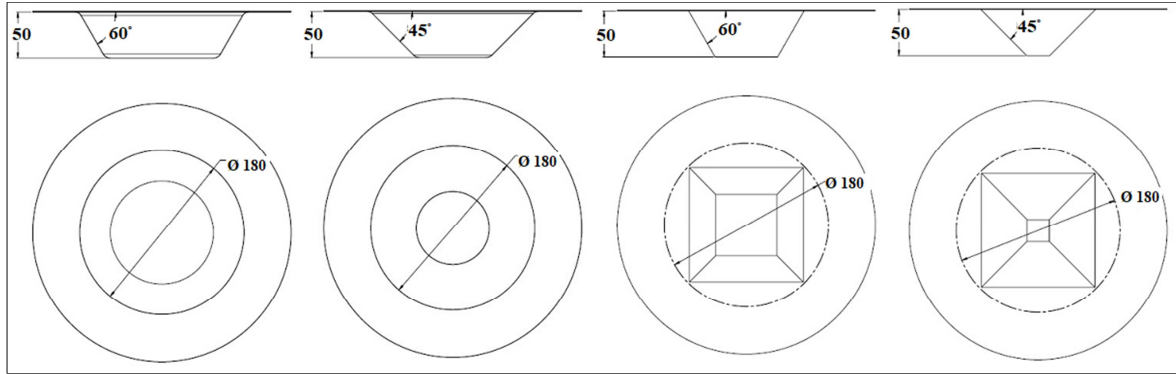
CONDAT Condalu 200 Yağ Teknik Özellikler	
Yoğunluk	0,92 gr/cm ³
Viskozite	6 mm ² /sn
Viskozite Sıcaklığı	40 °C
Parlama Noktası	310 °C
Çözünürlük (Su)	Çözünmez
Üretici Firma	CONDAT

3.5. Takım Yolu

Üretilcek parçaların katı modelleri (Resim 3.11.) SolidWorks programında çizildikten sonra Mastercam programında CAD datalar üzerinden takım yolları oluşturulmuştur. Deney parçası boyutları 60° ve 45° dairesel formlar için tepe çapı 180 mm ve derinliği 50 mm, 60° ve 45° kare formlar için ise başlangıç kare şekli 180 mm çapında daireye teğet ve derinliği 50 mm olarak seçilmiştir (Şekil 3.6.).

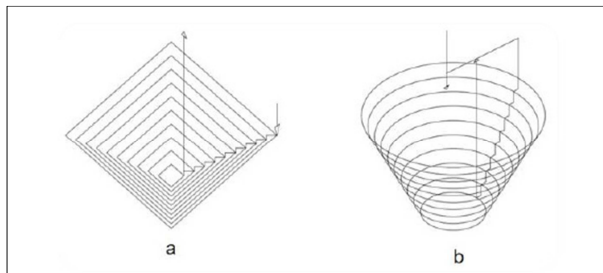


Resim 3.11. Deneylerde kullanılan geometrilerin CAD modelleri



Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan geometrilerin ölçüleri

Takım yolları CNC dik işleme merkezine G-kodları olarak aktarılmıştır. Takım yollarının gösterimi aşağıdaki gibidir (Şekil 3.7.). Deney çalışmalarında düz takım yolu tercih edilmiştir.



Şekil 3.7. Takım yolu gösterimi a) Kare form takım yolu, b) Dairesel formu takım yolu

3.6. Deneylerin Planlanması

Çalışma kapsamında gerekli sabit ve değişken şekillendirme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla ön çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda farklı malzeme ve et kalınlığı, takım malzemesi ve çapı, duvar açıları, takım dalma derinliği, çalışma hızları ve yönleri, takım yolu ve yağlama malzemesi denenmiştir. Bu ön çalışmalardan alınan sonuçlar ile literatürde aynı parametre değerleri ile ortaya konulan sonuçlar birlikte değerlendirilerek uygun şekillendirme parametreleri belirlenmiştir (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9).

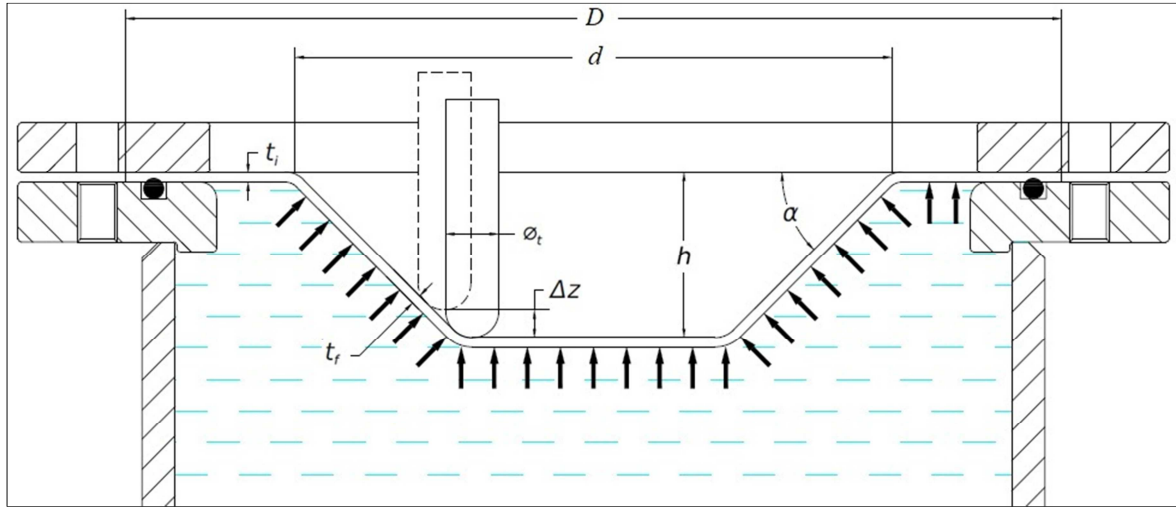
Çizelge 3.8. Değişken parametreler

Geometri	Kesik Koni	Kesik Kare Prizma	
Duvar Açısı (α)	45°	60°	
Et Kalınlığı (ti)	0,7 mm	1,0 mm	1,5 mm
Basınç Durumu	Basıncsız	0,2 bar	0,4 bar

Çizelge 3.9. Sabit parametreler

Sac Malzeme	DP600 (ERDEMİR 3660)
Sac Malzeme Çapı (D)	283 mm
Form Çapı (d)	180 mm
Form Yüksekliği (h)	50 mm
Takım Malzemesi	SAE 430B Bronz
Takım Tipi	Yarı Küresel
Takım Çapı (d)	16,2 mm
Takım Dalma Derinliği (Δz)	0,5 mm
İlerleme Hızı	1000 mm/dk
İlerleme Yönü	Saatın dönme yönü
Takım Çalışma Hızı	800 dev/dk
Takım Dönüş Yönü	Saatın dönme yönü
Takım Yolu	Düz
Yağ Malzemesi	CONDAT Condalu 200

Yukarıdaki çizelgelerde belirtilen parametrelerin gösterimi Şekil 3.8.' de yapılmıştır.



Şekil 3.8. Parametrelerin gösterimi

3.6.1. Malzemenin belirlenmesi

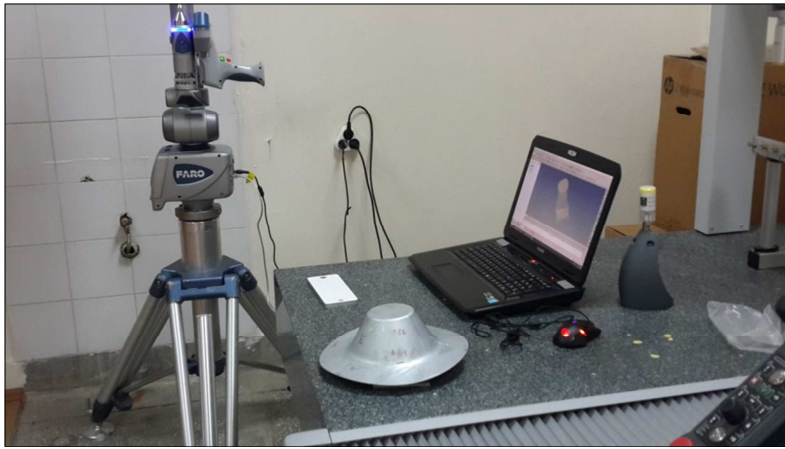
Literatürde fazla çalışılmamış ve otomotiv sektöründe tercih edilen bir malzeme olmasından ötürü malzeme olarak çift fazlı bir çelik olan DP600 seçilmiştir. DP780 veya DP1000 gibi daha yüksek kalitelerin tercih edilmeme sebebi bunların şekillendirilebilirlik duvar açılarının düşük olmasından ötürüdür. DP600 için bile yaklaşık 65 ila 55 dereceleri arasında şekillendirilebilme zorlaşmaktadır. Daha yüksek çift faz çeliklerinde bu değerler daha da düşmektedir [19].

3.6.2. Çalışma hızının belirlenmesi

Özellikle çift faz (DP) malzemeler için ilerleme hızının artırılmasının şekillendirilebilirliğe ve yüzey düzgünlüğüne olan olumsuz etkilerinden literatür araştırması bölümünde bahsedilmiştir. Hatta yapılan çalışmada en iyi sonuçlar düşük ilerleme hızı için bulunmuştur [19]. Ayrıca ön çalışmalarda da bu sonuçları destekleyecek neticeler gözlemlendiği için çalışma hızı olarak 1000 mm/dk seçilmiştir.

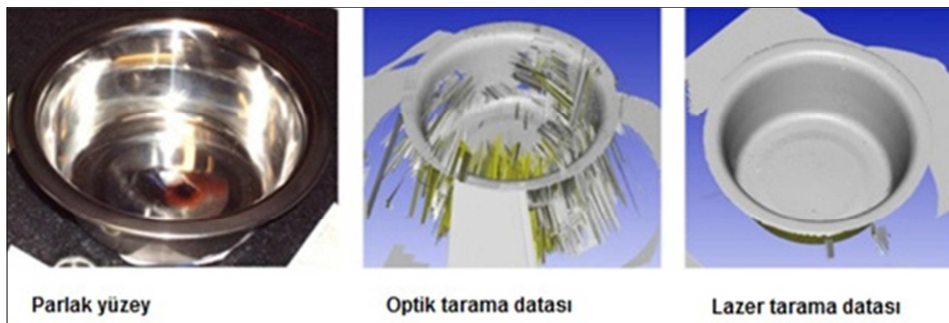
4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

“Üretilen deney parçalarının ölçümü Faro Marka robot kollu 3 boyutlu lazer tarama cihazı (Resim 4.1.) ile yapılmıştır. Üç boyutlu lazer tarama teknolojisi temelde bir lazer ve bu lazer ışığının algıladığı alanı algılayan kamera teknolojisi çalışma prensibi ile 3 boyutlu nokta bulutu elde eden sistemlerdir. Lazer tarama sistemleri lazer ışının parça üzerine yansımaları ve bu ışının geri yansımaları sonucu kameranın lazer ışının üzerinde düşürdüğü noktaların koordinatlarının belirlenmesi ile datayı elde eder” [26]



Resim 4.1. Faro marka üç boyutlu lazer tarama cihazı

“Üç boyutlu lazer tarama teknolojileri parça yapısından çok az etkilenmektedir. Günümüz teknolojisinde lazer tarama parlak ve koyu renkli yüzeylerde optik tarama teknolojilerine göre daha verimli sonuçlar verebilmektedir (Resim 4.2.). Buna karşın lazer tarama sistemlerinin çözünürlük değerleri henüz optik tarama sistemleri kadar verimli değildir.” [26].



Resim 4.2. Parlak yüzeylerde optik ve lazer tarama sistemlerinin karşılaştırılması [26]

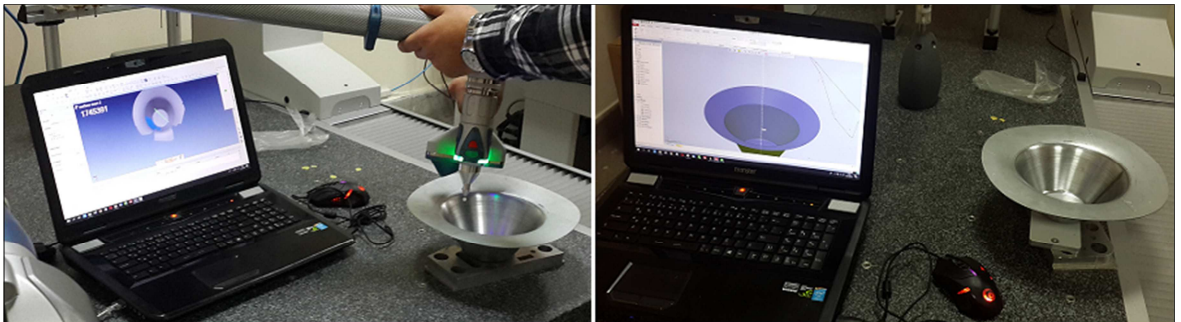
“Üç boyutlu lazer tarama sistemlerinin avantajları ;

- Düz yüzeylerde daha hızlı tarama imkânı verir.
 - Parlak parçalarda ve koyu renkli parçalarda yüzeye herhangi bir işlem yapmadan tarama yapılabilir.
 - Üç boyutlu kollu sistemler ile kullanıldığında kol mesafesine göre istenilen bölge taranabilir.
 - Eş zamanlı tarama imkânı verir.
 - Üç boyutlu kollu sistemler ile kullanıldığında hem lazer tarama hem de prop ile ölçme imkânı verir.
 - Spreyleme gibi yüzey matlaştırma işlemine ihtiyaç duymaz. (şeffaf parçalar hariç)”
- [26]

Deneylerde üretilen 36 adet parçanın (Resim 4.3.) ölçümleri lazer tarama ile yapılmıştır (Resim 4.4.). Bu ölçümlerden parçaya ait et kalınlığı ve CAD datadan sapma değerleri tespit edilmiştir. Tespit edilen değerler grafiklere yerleştirilmek suretiyle birbirleriyle karşılaştırılmışlardır. Bu sayede deney parametrelerinin değişmesiyle ortaya çıkan farklılıklar değerlendirilebilmiştir.



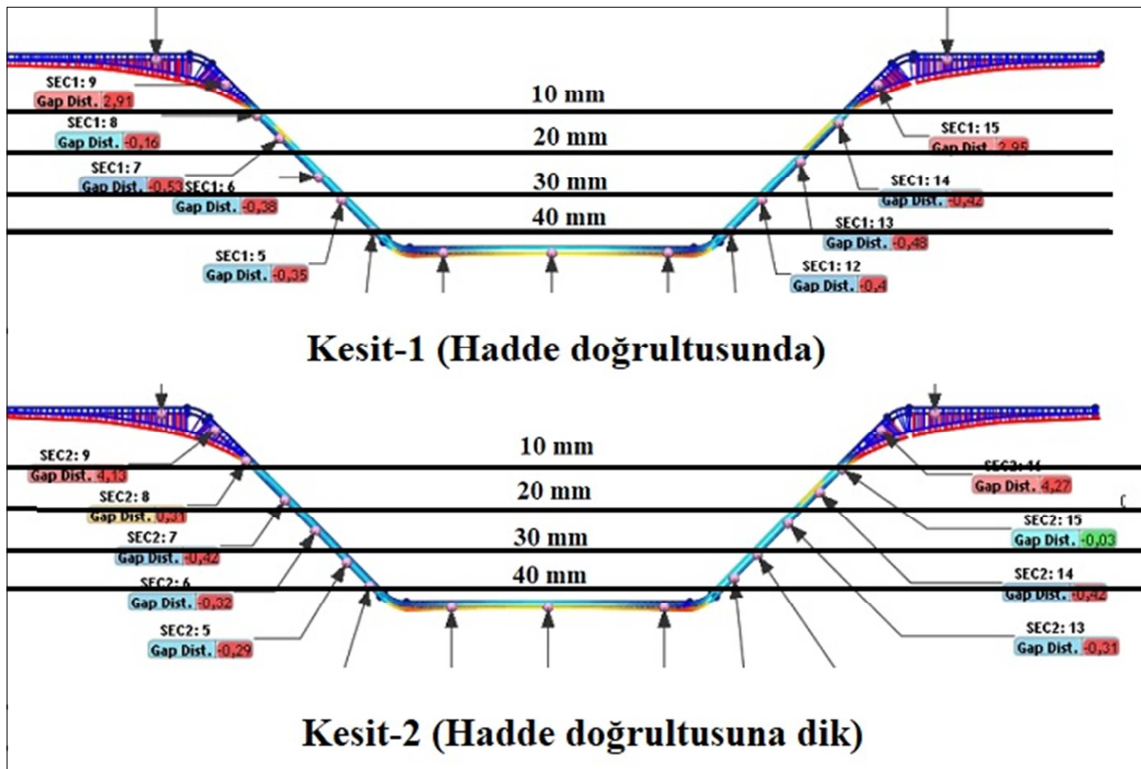
Resim 4.3. Deney parçalarının önden ve arkadan görünüşü



Resim 4.4. Deney parçalarının üç boyutlu lazer taraması

Lazer tarama sonrası oluşturulan bulut yüzeyler Geomagic Verify™ programında işlenmişlerdir. Hem taranan parçaların CAD datalar ile kıyaslanması hem de et kalınlığı değerlerinin ölçümü bu program üzerinden yapılmıştır.

Et kalınlığı değişimi ve CAD datadan sapma değerleri Resim 4.5.' de gösterildiği gibi 10' ar mm arayla yukarıdan aşağıya doğru olacak şekilde belirlenmiştir. Hadde yönü ve hadde yönüne dik doğrultularda alınan iki ayrı kesitteki değerler kullanılmıştır. Dört ayrı noktadan aynı yüksekliklerde alınan değerlerin ortalaması grafiklere veri olarak girilmiştir. Bu şekilde, üretilen parçanın eşit yükseklikte farklı kesitlerinden alınan değerler ile et kalınlığı değişimi ve CAD datadan sapma verileri homojen olarak elde edilmeye çalışılmıştır.



Resim 4.5. Değer alınan yükseklikler (Ölçüm raporundan)

Bu bölümde et kalınlığı değışimi, CAD datadan sapma, gerçek derinim, yüzey pürüzlülük ve sıcaklık değeri yorumlanacaktır.

4.1. Et Kalınlığı Değişimi

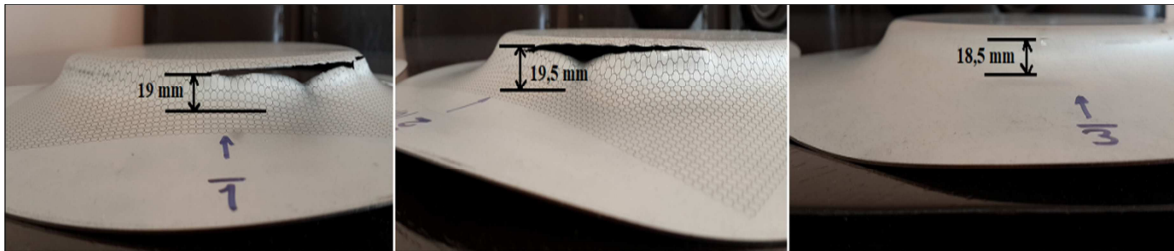
Deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen şekillendirilmiş sac malzemeler üzerinden lazer tarama yöntemi kullanılarak et kalınlığı değışimleri ve CAD datadan sapma ölçümleri yapılmıştır. Lazer tarama yöntemi ile elde edilen sonuçlar 0,01 mm hassasiyetinde değeri vermektedir. Deneysel çalışmalar sonrasında çoğu parça başlangıçta belirlenen form yüksekliğine (50 mm) kadar şekillendirilebilmiş ancak bazı parçalar ise belirlenen yüksekliğe ulaşmadan yırtılmışlardır. Yırtılan parçalar üzerinde şekillendirme işlemine devam edilmemiştir. Yırtılma yüksekliğindeki et kalınlığı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde her bir form grubu dairesel ve kare formlar olarak önce kendi içerisinde değeriendirilecektir. Daha sonra form gruplarının değeriendirmelerinin karşılaştırılması paragraf sonlarında yapılacaktır.

4.1.1. Dairesel formlar

Deneysel çalışmalar esnasında 0,7 , 1,0 ve 1,5 mm kalınlıklarında saclardan 45° ve 60° duvar açılarında, basınçsız, 0,2 ve 0,4 bar basınç değeriğinde farklı parametreler ile 18 adet dairesel form çalışılmıştır.

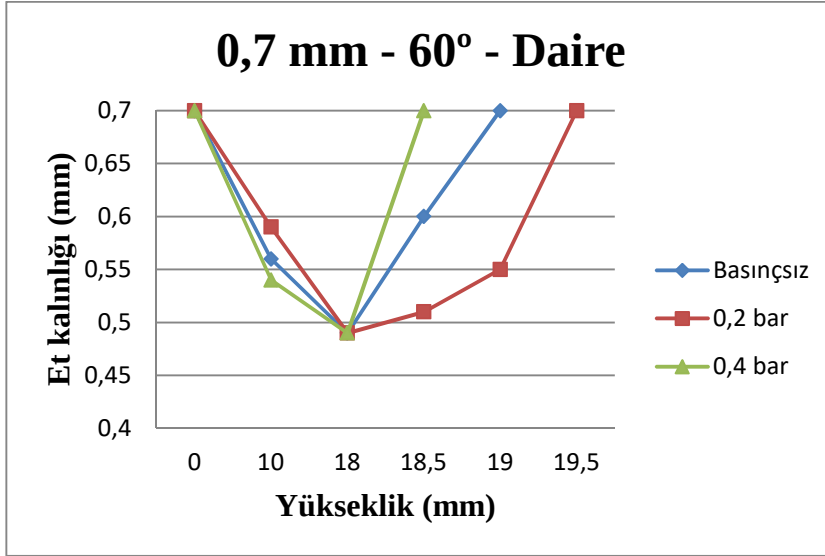
60° Dairesel form

0,7 mm sac malzemenin 60° duvar açısı ile şekillendirilmesinde basınçlı ve basınçsız olarak uygulanan tüm deneylerde sac malzeme üzerinde yırtılma görülmüştür (Resim 4.6.).



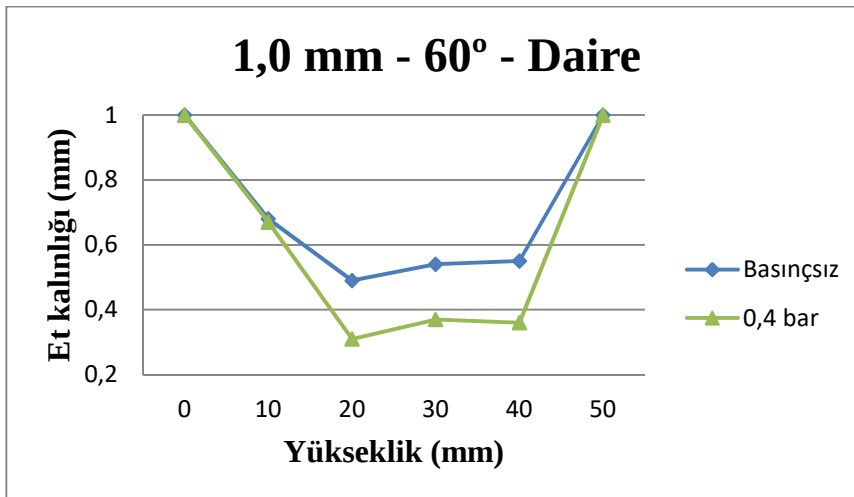
Resim 4.6. 1,2 ve 3 no' lu parçalar ve yırtılma yükseklikleri

Et kalınlığı değişimlerinin ve şekillendirme yüksekliklerinin basınçlı ve basınçsız uygulamalarda çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. En büyük şekillendirme yüksekliği 0,2 bar basınçta yapılan deneyde elde edilmiştir (Şekil 4.1.).

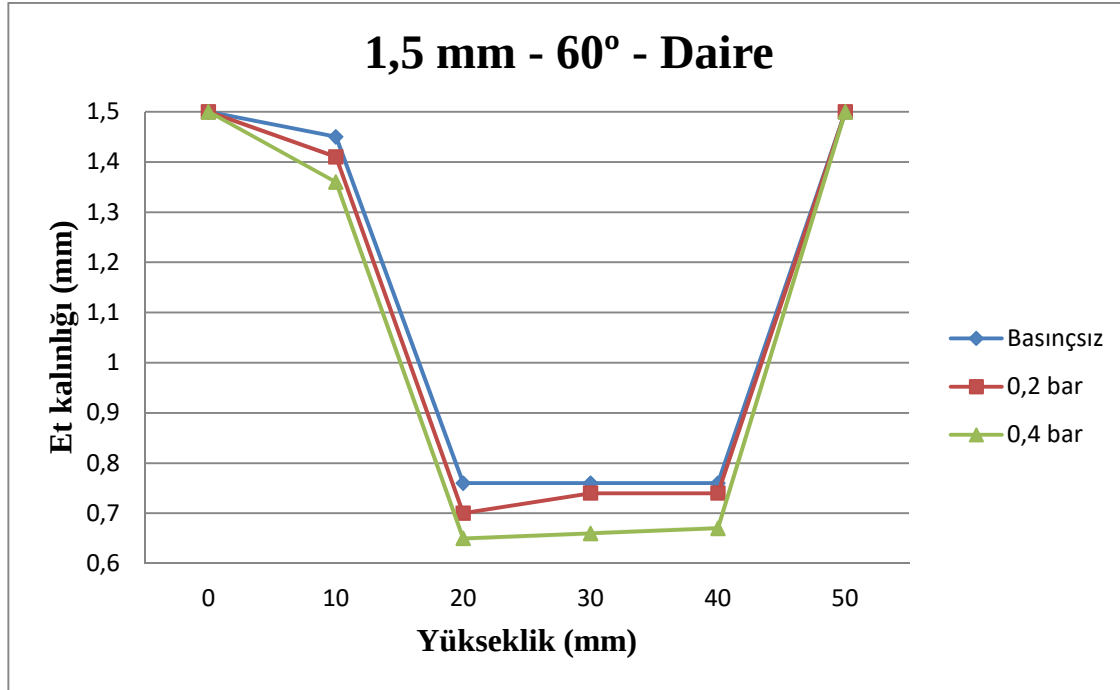


Şekil 4.1. 0,7 mm, 60° dairesel form et kalınlığı değişimi grafiği

Şekil 4.2. ve Şekil 4.3' de 1,0 ve 1,5 mm sac malzemelerin 60° şekillendirilmesi sonrasında ölçülen et kalınlığı değişimleri verilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda yırtılma olmamıştır. Deneysel çalışma sonuçlarında dairesel formda 60° şekillendirme işlemlerinde 0,2 bar ve 0,4 bar basınçla elde edilen deney numunelerinden ölçülen et kalınlığı değerleri çok yakın çıkmıştır. Bu nedenle grafiklere sadece basınçsız ve 0,4 bar basınçlı değerler yerleştirilmiştir.



Şekil 4.2. 1,0 mm, 60° dairesel form et kalınlığı değişimi grafiği



Şekil 4.3. 1,5 mm, 60° dairesel form et kalınlığı değişimi grafiği

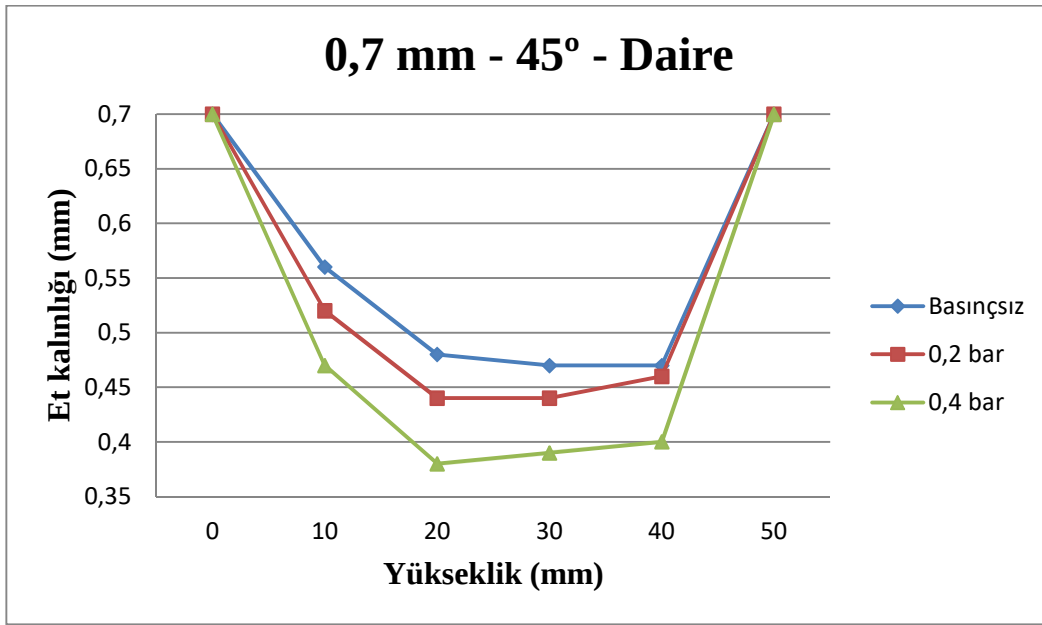
Grafikler incelendiğinde, her iki kalınlık değerinde de basınçlı uygulamalarda daha düşük et kalınlığı değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, en yüksek duvar açısına (60°) sahip olan çalışmalarda basınçlı uygulamaların şekillendirilebilirliği iyileştirdiğini göstermiştir.

1,0 mm sac malzeme için basınçlı ve basınçsız uygulamalar sonucu elde edilen ürünlerin, duvar bölgesinden alınan sonuçlara göre et kalınlıkları değişimleri ortalama olarak % 25 olarak tespit edilmiştir. 1,5 mm kalınlığındaki malzemelerin şekillendirilmesi sonucunda basınçlı ve basınçsız deneylerden elde edilen et kalınlığı değişimi ortalama olarak % 10 elde edilmiştir. Bu değerlere göre uygulama sabit basınç değerlerine bağlı olarak, et kalınlığı arttıkça sıvı basıncı etkisinin azaldığını göstermektedir.

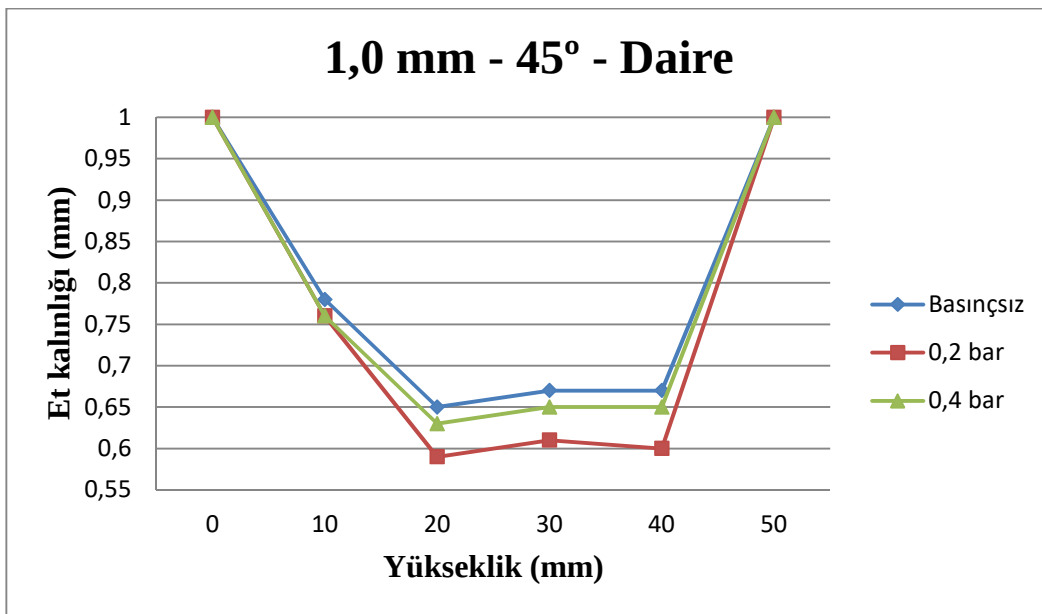
Şekillendirilmiş numunelerin test düzeneğine bağlanan üst kısımlarında ve şekillendirme sonrası en altta kalan taban bölgelerinde ise et kalınlıklarında herhangi bir değişim gözlenmemiştir.

45° Dairesel form

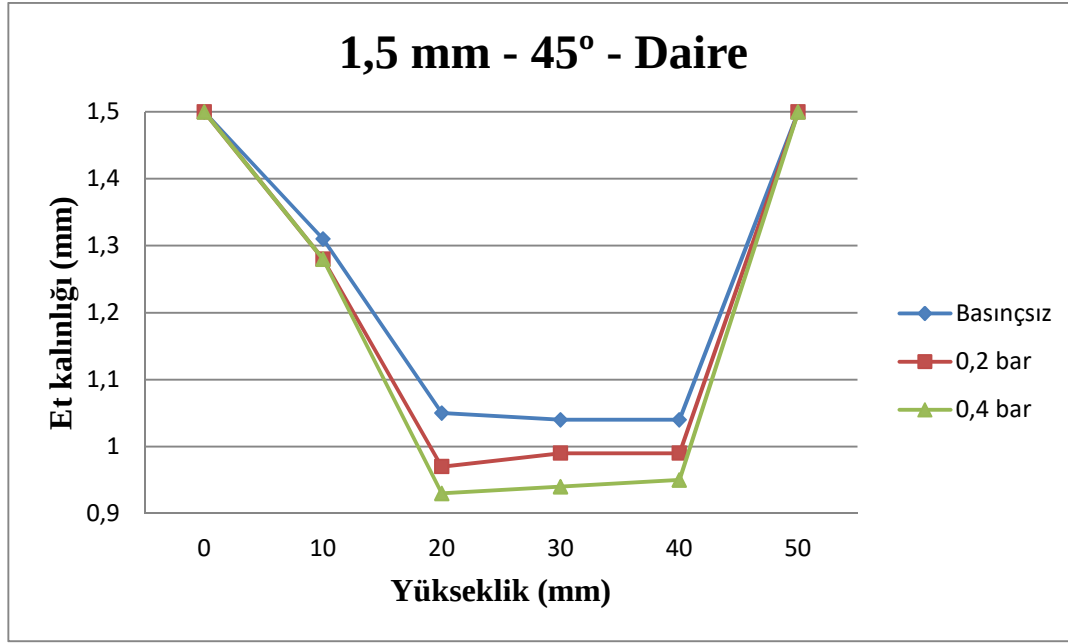
45° dairesel formda yapılan şekillendirme işlemlerinde, bütün deneysel çalışmalarda uygulanan 50 mm derinliğe kadar şekillendirme sorunsuz gerçekleştirilmiştir. (Şekil 4.4-6.) Kullanılan bütün sac kalınlıklarında uygulanan basınç desteğinin şekillendirmeyi olumlu yönde geliştirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. 0,7 mm, 45° dairesel form et kalınlığı değişimi grafiği



Şekil 4.5. 1,0 mm, 45° dairesel form et kalınlığı değişimi grafiği



Şekil 4.6. 1,5 mm, 45° dairesel form et kalınlığı değişimi grafiği

0,7 ve 1,0 mm sac kalınlıklarında uygulanan deneysel çalışma sonuçlarına göre, basınçsız ve 0,2 bar basınçla yapılan şekillendirmelerden elde edilen et kalınlığı değerlerinin birbirine yakın olduğu, 0,4 bar basınçta ise et kalınlığındaki azalmanın daha fazla olduğu görülmüştür. 1,5 mm sac kalınlığı ile yapılan deneysel çalışmalarda ise 0,2 ve 0,4 bar basınç sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Basıncılı uygulamaların, basınçsız olarak yapılanlara göre et kalınlığındaki incelmeyi arttırdığı görülmektedir.

0,7 mm' de basınçlı ve basınçsız şekillendirme arasında yapılan ölçümlere göre et kalınlığı değişiminin ortalama olarak % 17, 1,0 mm sac malzemeler için % 7,6 ve 1,5 mm sac malzemeler için % 7,7 olarak hesaplanmıştır. Et kalınlığı arttıkça sıvı basıncı etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir.

60° ile 45°' nin karşılaştırılması

Dairesel form deneylerinde 60° duvar açısıyla yapılan çalışmalarda yırtılmalar gözlemlenirken 45° açıda ise tüm parçaların istenilen ölçülerde şekillendirildiği görülmektedir. Duvar açısının artması şekillendirilebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir.

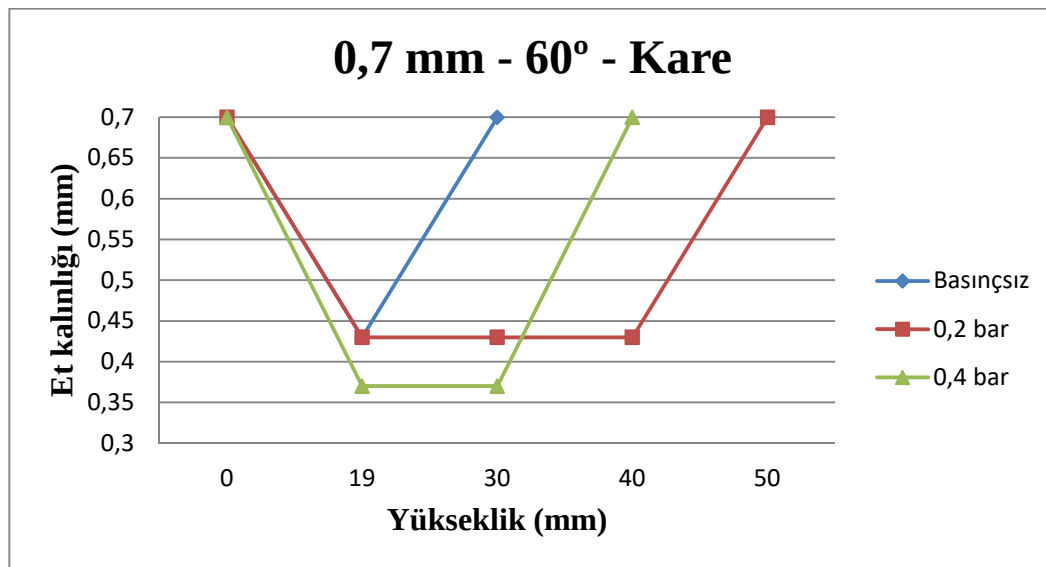
Et kalınlığı değişiminin ortalama değerlerinin karşılaştırması sonucunda 45° dairesel formlardaki değişimin 60° deki parçalara göre daha az olduğu belirlenmiştir. Duvar açısının azalması ile et kalınlığı değişimi daha da azalmaktadır.

4.1.2. Kare formlar

Deneysel çalışmalar esnasında 0,7 , 1,0 ve 1,5 mm kalınlıklarında saclardan 45° ve 60° duvar açılarında, basınçsız, 0,2 ve 0,4 bar basınç değerlerinde farklı parametreler ile 18 adet kare form çalışılmıştır.

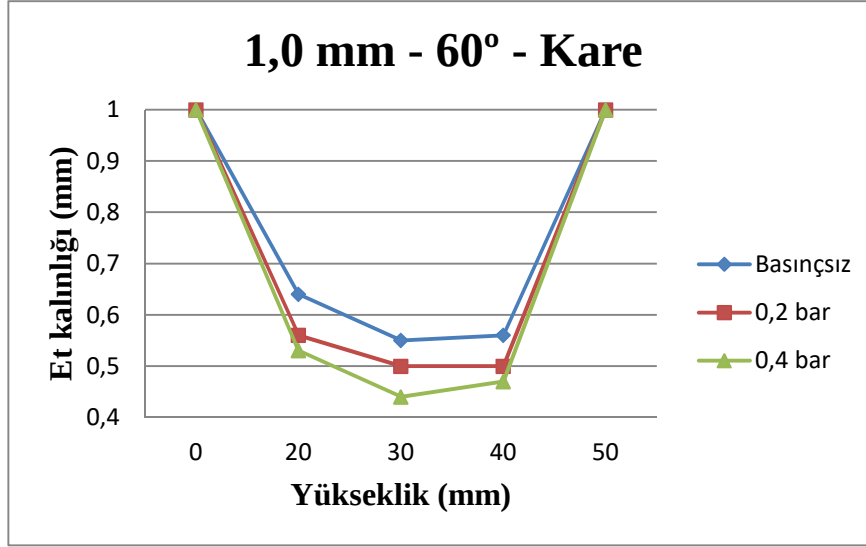
60° kare form

60° kare form ile yapılan şekillendirme deneyleri sonuçlarına göre 0,7 mm sac malzeme için en iyi şekillendirilebilirlik 0,2 bar basınçta elde edilmiştir (Şekil 4.7.). 0,2 bar basınçta yapılan deneysel çalışmalarda uygulanan en büyük yükseklik olan 50 mm yüksekliğine ulaşılmıştır. Ancak basınçsız ve 0,4 bar basınçta yapılan ASŞ işleminde ise sırasıyla 20,0 mm ve 21,5 mm’ de yırtılma görülmüş ve işlem durdurulmuştur. Et kalınlığı değişimleri dikkate alındığında et kalınlığındaki en yüksek incelme oranı 0,4 bar basınçta elde edilmiştir. Ancak bu basınç değerinde yırtılma gözlemlendiği için 0,4 bar basıncın 0,7 mm et kalınlığındaki malzemeleri şekillendirme için fazla olduğu kanaatine varılmıştır.



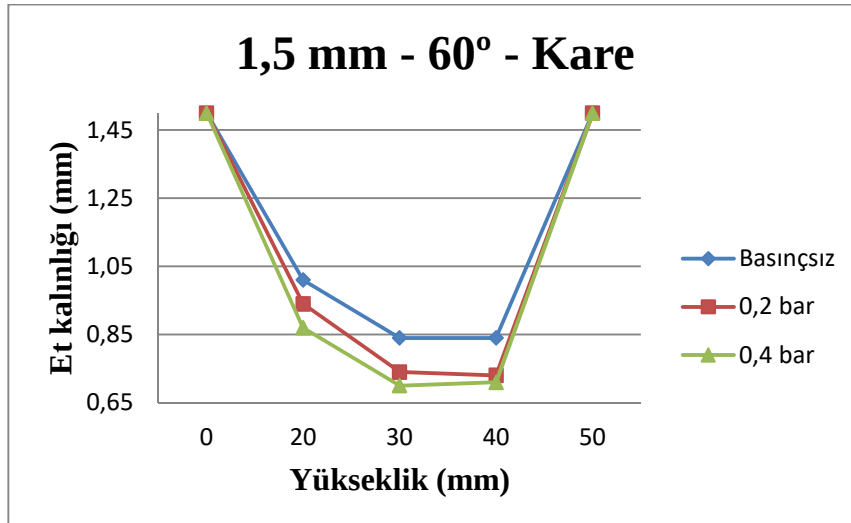
Şekil 4.7. 0,7 mm, 60° kare form et kalınlığı değişimi grafiği

1,0 mm sac kalınlığı için et kalınlığı ölçüm sonuçları incelendiğinde, basınçsız, 0,2 ve 0,4 bar basınçlı çalışmaların hepsinde de 50 mm maksimum yüksekliğe ulaşılmıştır (Şekil 4.8.). Basınçlı uygulamalarda daha yüksek incelleme değerlerine ulaşılmıştır. En fazla incelleme değerleri 0,4 bar basınçta yapılan deneyde elde edilmiştir.



Şekil 4.8. 1,0 mm, 60° kare form et kalınlığı değişimi grafiği

1,5 mm sac kalınlığı için de et kalınlığı ölçüm sonuçları incelendiğinde, basınçsız, 0,2 ve 0,4 bar basınçlı çalışmaların hepsinde maksimum yüksekliğe ulaşılmıştır (Şekil 4.9.). Basınçlı ve basınçsız uygulamalardan ortaya çıkan grafik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. En düşük et kalınlıklarının basınçlı şartlarda yapılan deneylerde olduğu belirlenmiştir. Sac kalınlığının arttıkça basınç etkisinin de azaldığı görülmüştür.

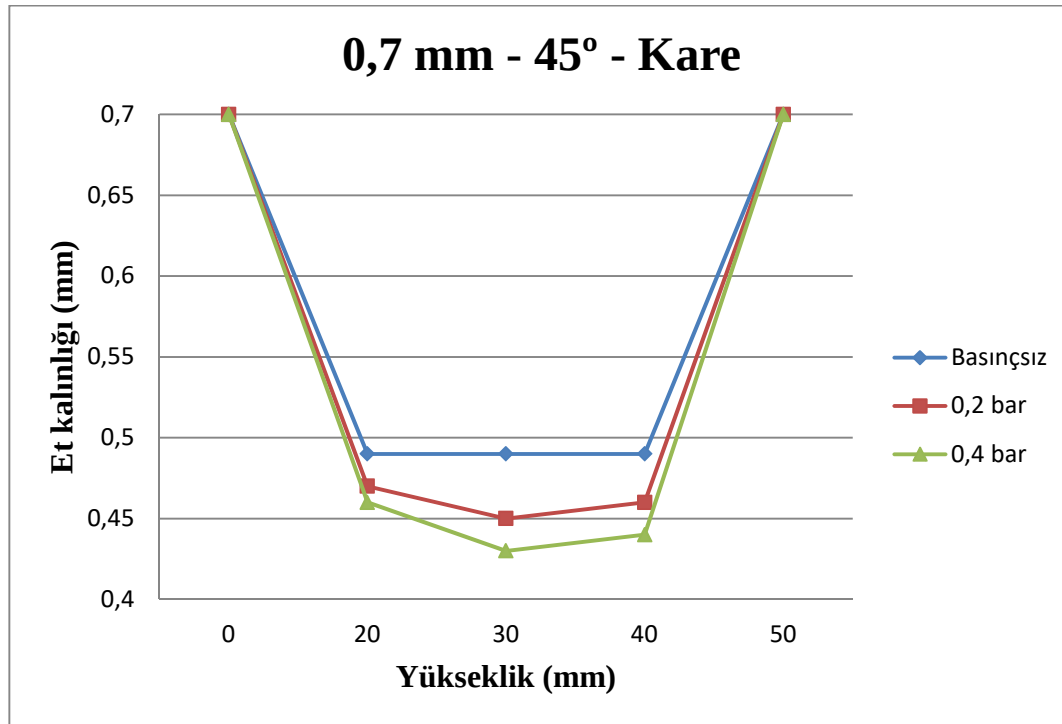


Şekil 4.9. 1,5 mm, 60° kare form et kalınlığı değişimi grafiği

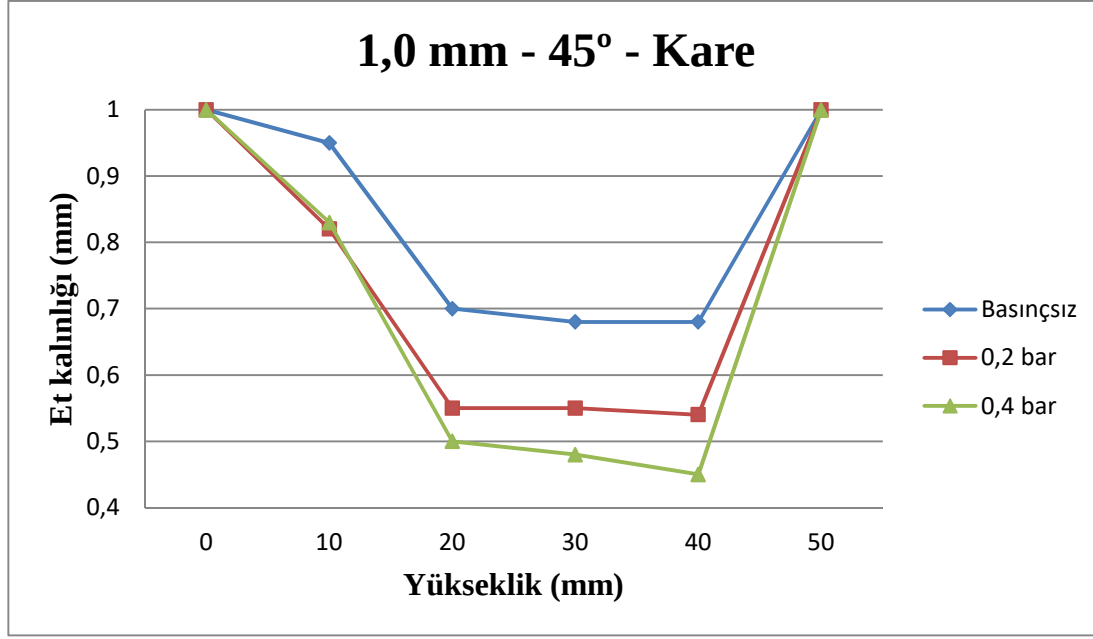
1,0 mm sac malzeme 60° kare form için basınçlı ve basınçsız uygulamalar sonucu elde edilen ürünlerin, duvar bölgesinden alınan sonuçlara göre et kalınlıkları değişimleri ortalama olarak % 18 iken 1,5 mm için ise % 15 olarak elde edilmiştir.

45° Kare form

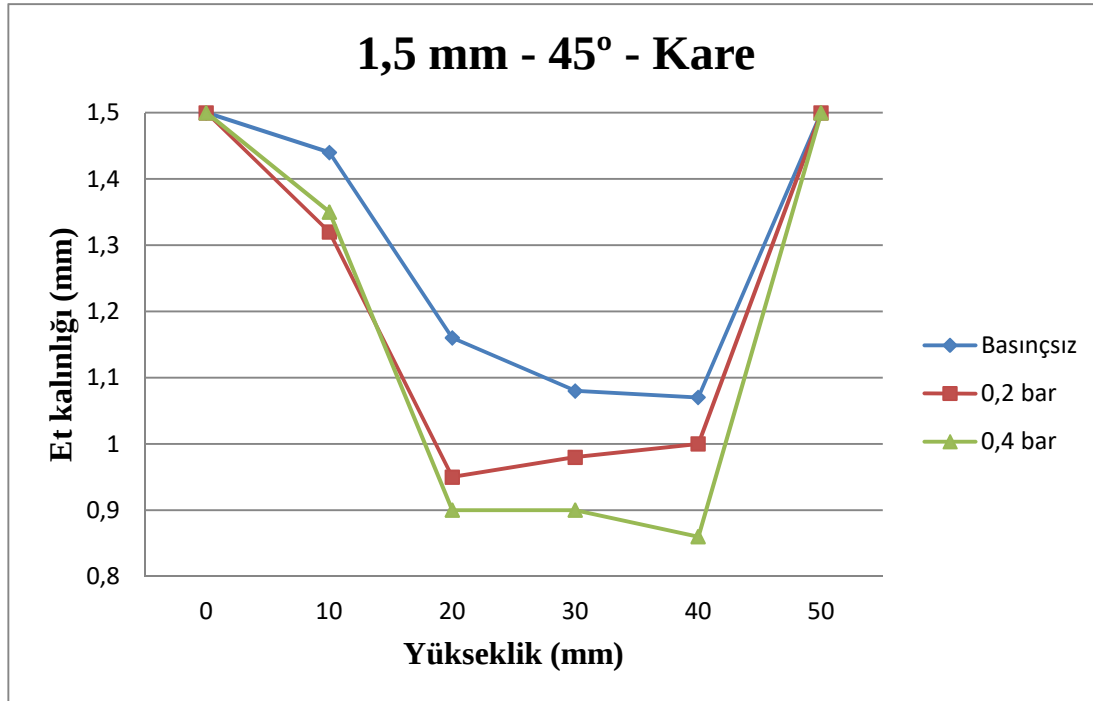
45° kare form şekillendirme işlemleri için yapılan deneysel çalışma sonuçları Şekil 4.10-12’ de verilmiştir. 45° kare form için yapılan şekillendirme işlemlerinin tamamında şekillendirme yüksekliğine (50 mm) ulaşılmıştır. Et kalınlığı ölçümleri dikkate alındığında uygulanan basınç desteğinin, sac malzemedeki incelme oranları dolayısıyla şekillendirilebilirliği arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4.10. 0,7 mm, 45° kare form et kalınlığı değişimi grafiği



Şekil 4.11. 1,0 mm, 45° kare form et kalınlığı değişimi grafiği

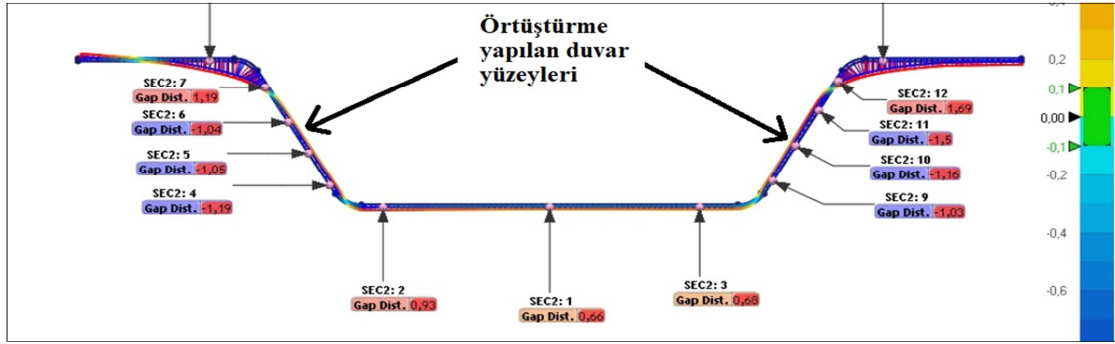


Şekil 4.12. 1,5 mm, 45° kare form et kalınlığı değişimi grafiği

0,7 mm sac malzeme 45° kare form için basınçlı ve basınçsız uygulamalar sonucu elde edilen ürünlerin, duvar bölgesinden alınan sonuçlara göre et kalınlıkları değişimleri ortalama olarak % 9,5 iken 1,0 mm için % 25 ve 1,5 mm için ise % 16 olarak elde edilmiştir.

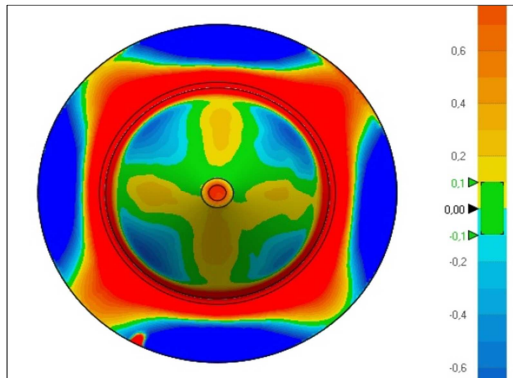
4.2. CAD Datadan Sapma Değerleri

Lazer tarama sonrası bilgisayar ortamına aktarılan her bir parça, Geomagic Verify™ programında “Best Fit Alignment” yöntemiyle, CAD datalarla sadece duvar yüzeylerinden örtüştürülmüştür (Resim 4.7.). Şekillendirilen kısmın duvar yüzeyleri olmasından ötürü en sağlıklı sapma değerleri bu yüzeyden karşılaştırmalarda görülmüştür. Böylelikle üretilen parçaların orijinal geometri ile arasındaki sapmalar belirlenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar Microsoft® Excel programında oluşturulan grafikler üzerinden karşılaştırılmıştır. Tam yüksekliğe ulaşamadığı ve yanıtıcı olabileceği için yırtılan parçalar (1, 2, 3, 19 ve 21) bu karşılaştırmalara dahil edilmemiştir.



Resim 4.7. Örtüştürme yapılan konik yüzeylerin gösterimi (Ölçüm raporundan)

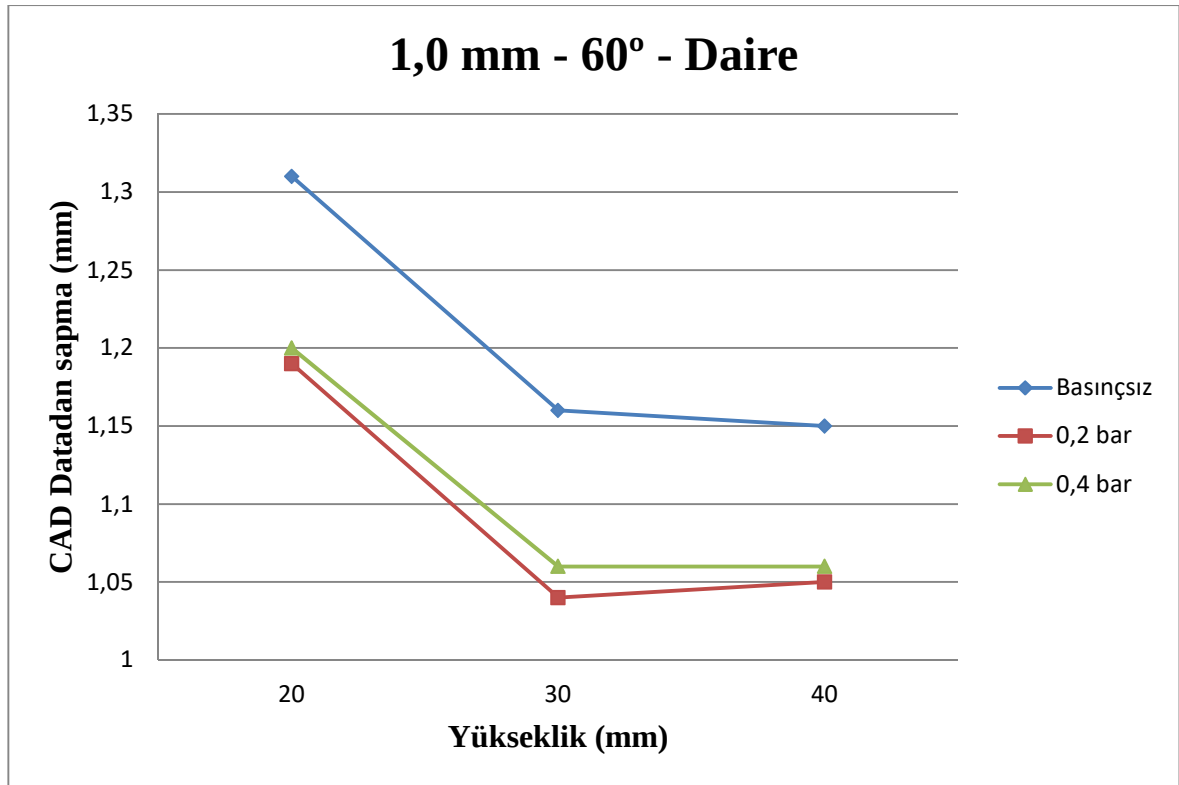
Örtüştürülen yüzeylerin renklendirilmiş ölçeklendirme ile birlikte görüntüsü de üretilen parçanın içerde veya dışarda kalma durumu hakkında bilgi vermektedir (Resim 4.8.). Resim 4.8.'deki mavi renk grubundaki eksi değerler parçanın CAD dataya göre içerde kaldığını, sarı renk grubundaki parçalar ise dışarda kalma durumunu göstermektedir.



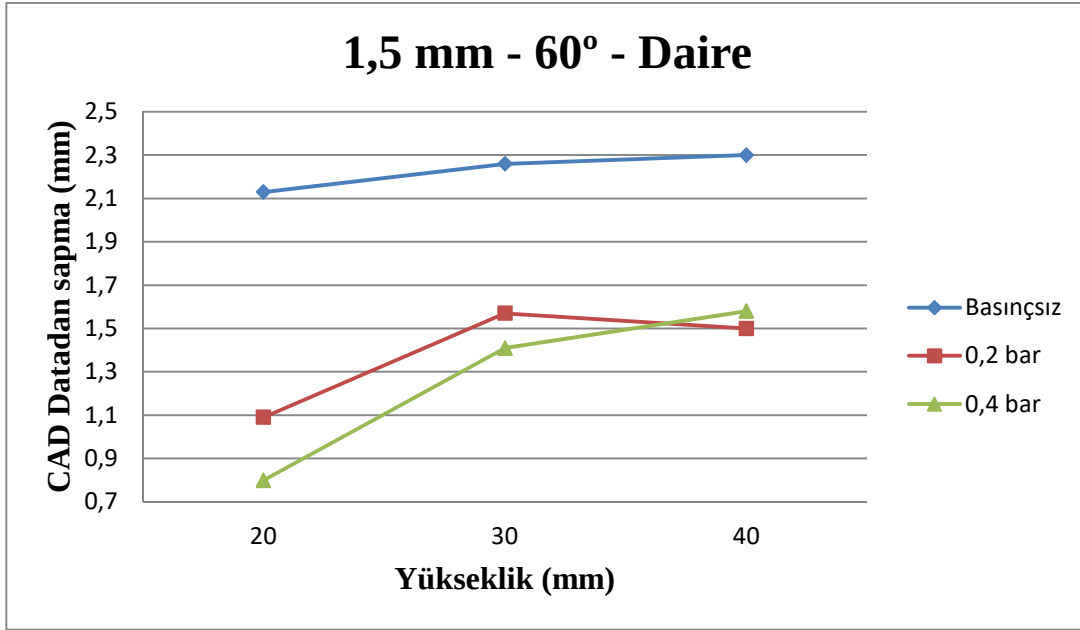
Resim 4.8. Renk skalası (Ölçüm raporundan)

4.2.1. Dairesel formlar

0,7 mm 60° kare formda sadece 0,2 bar basınçta şekillendirme sağlanmıştır. 1,0 ve 1,5 mm sac kalınlıklarında ise her iki formda da şekillendirme işlemleri başarı ile tamamlanmıştır. 1,0 ve 1,5 mm sac kalınlıklarında CAD datadan sapmalar incelendiğinde basınçlı uygulamalardan elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Dairesel şekillendirme işlemlerinde uygulanan basınç desteğinin takımın sac malzemeye dikey yönde uyguladığı kuvvetin etkisini azalttığı ve bundan dolayı da ölçüsel sapmaların daha az gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 4.13. ve 4.14.).

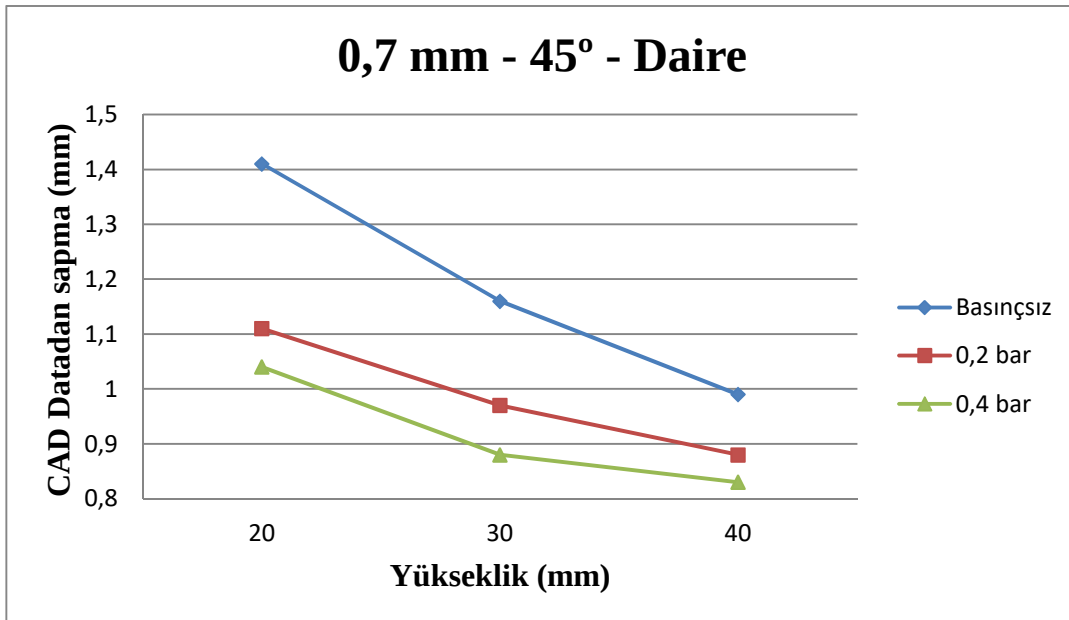


Şekil 4.13. 1,0 mm, 60° dairesel form CAD Datadan sapma değişimi grafiği

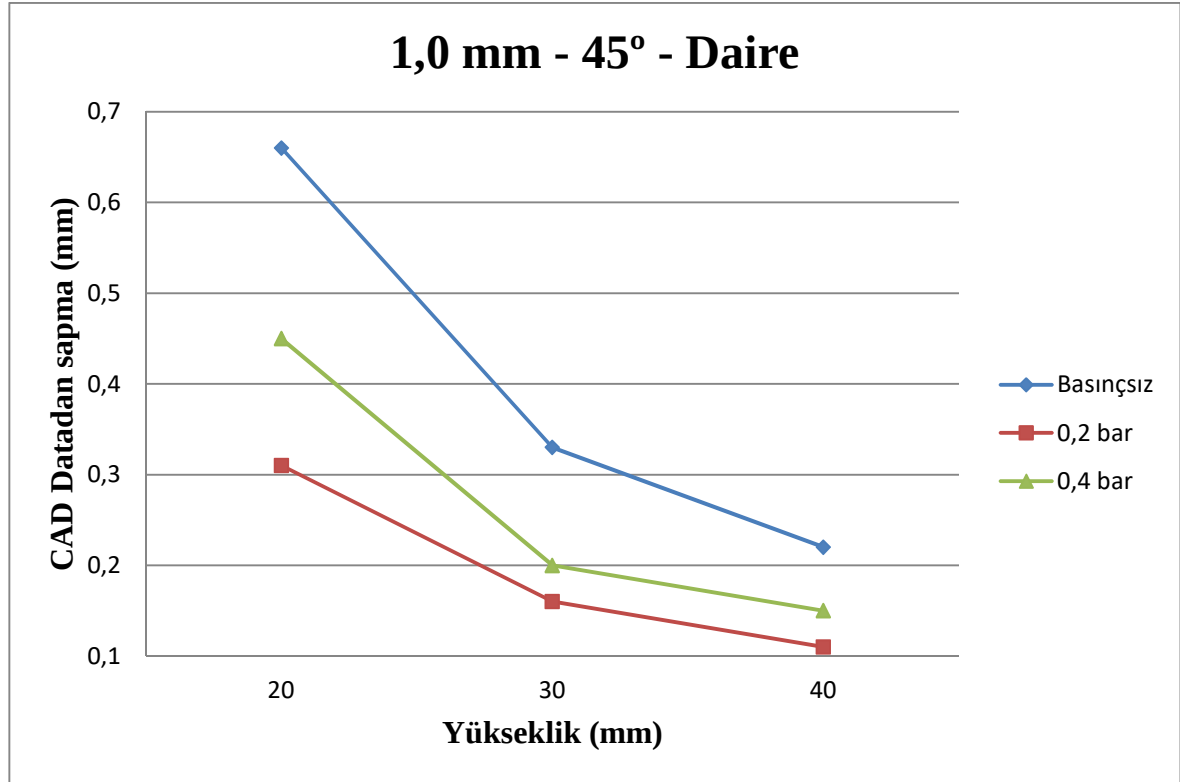


Şekil 4.14. 1,5 mm, 60° dairesel form CAD Datadan sapma değişimi grafiği

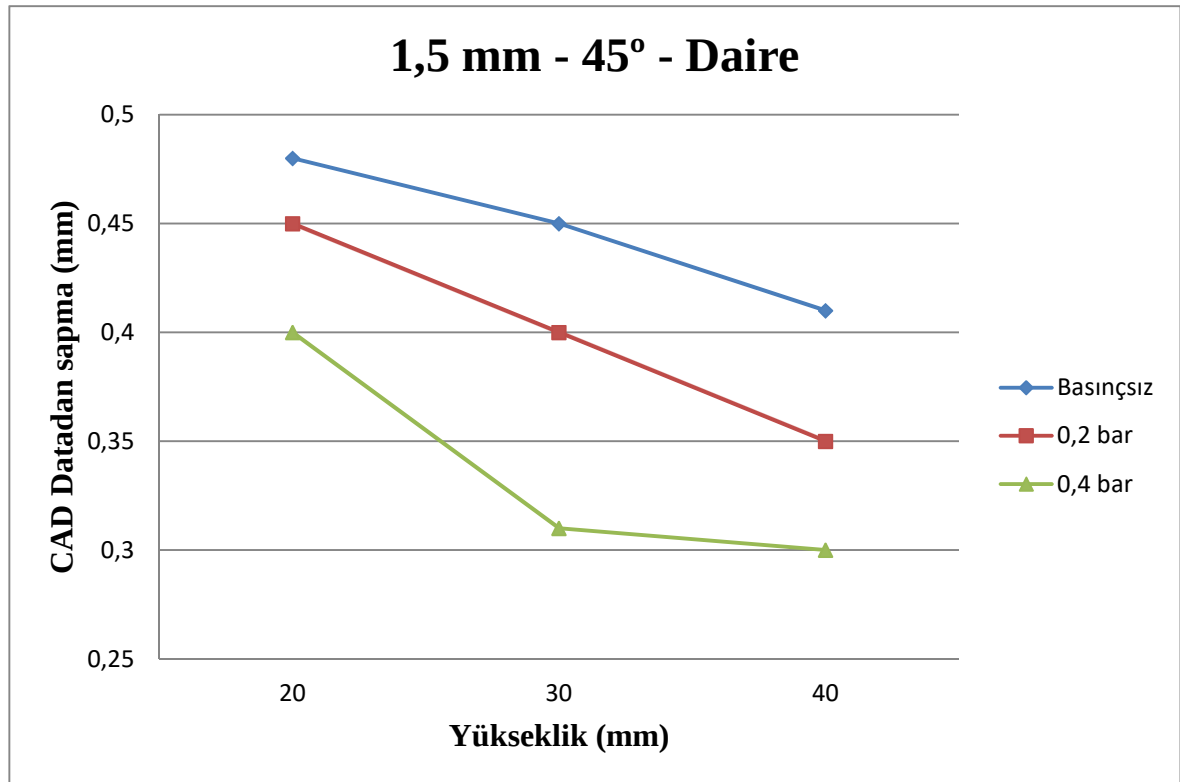
45° duvar açısı ile yapılan deneysel çalışma sonuçlarında da ölçüsel sapmalar incelendiğinde artan basınç değerlerinin daha yüksek geometrik doğrulukta ürünler elde edilmesini sağladığı görülmüştür (Şekil 4.15- 17.).



Şekil 4.15. 0,7 mm, 45° dairesel form CAD Datadan sapma değişimi grafiği



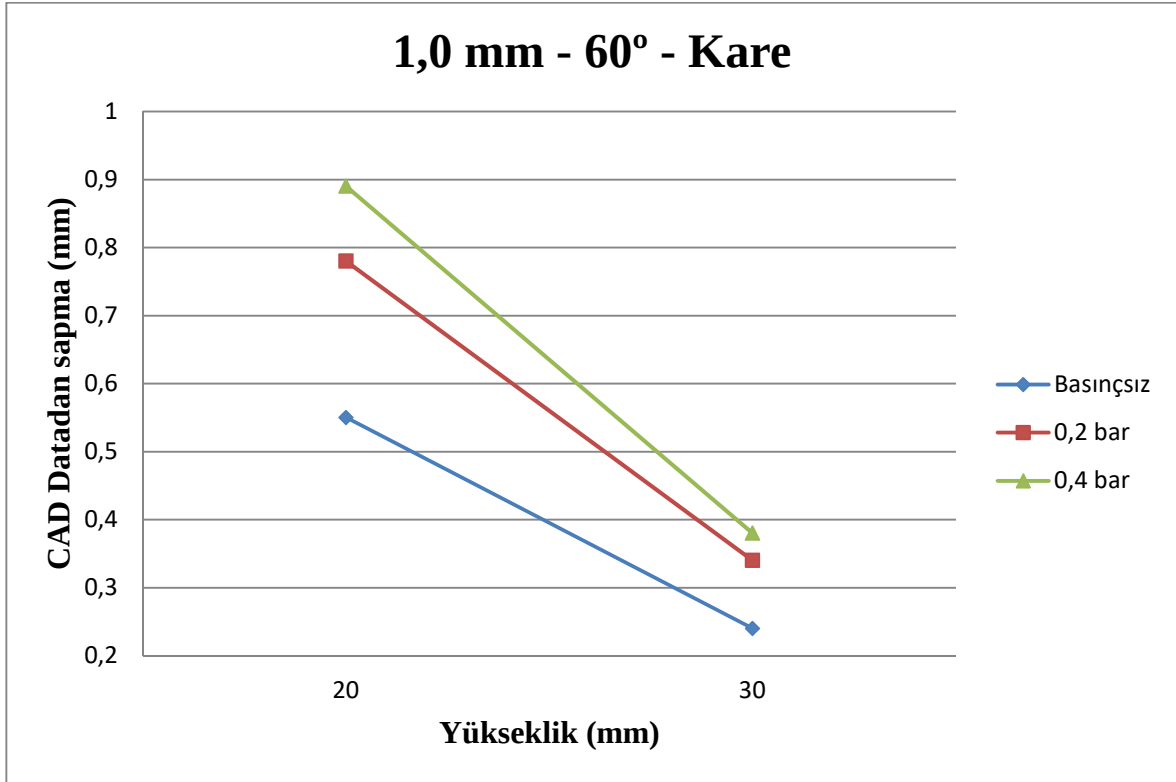
Şekil 4.16. 1,0 mm, 45° dairesel form CAD Datadan sapma değişimi grafiği



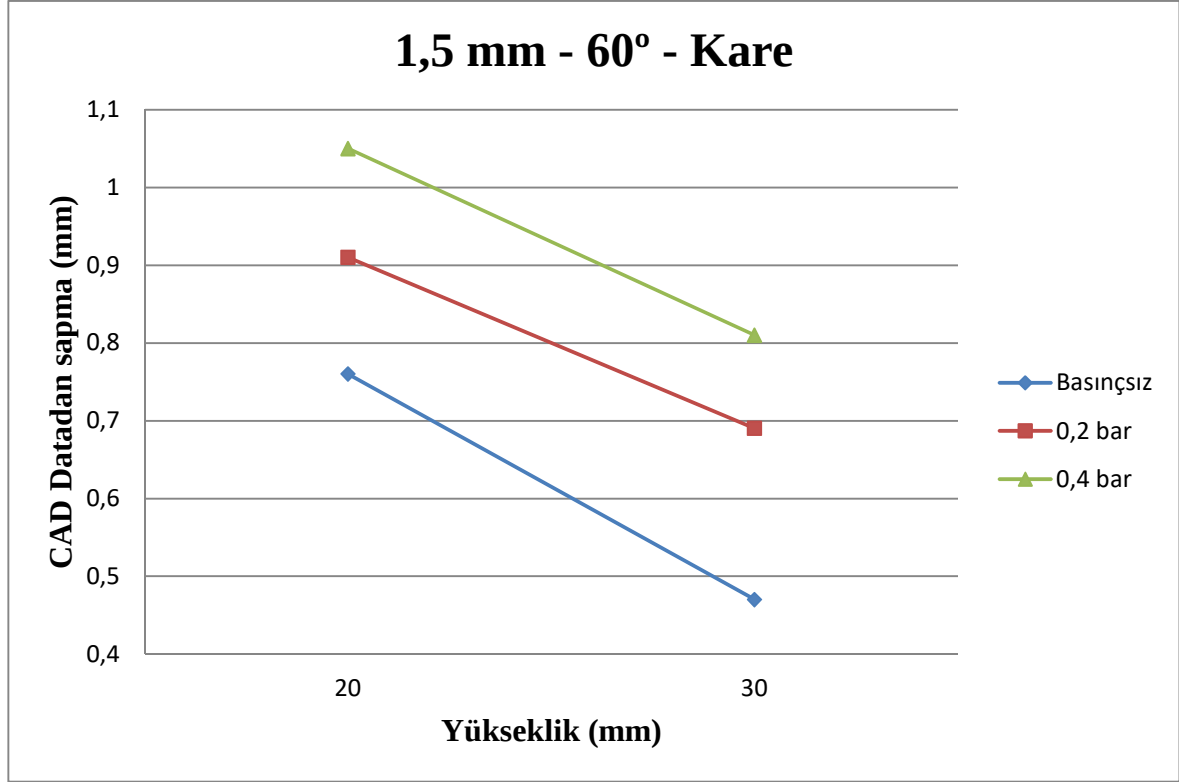
Şekil 4.17. 1,5 mm, 45° dairesel form CAD Datadan sapma değişimi grafiği

4.2.2. Kare formlar

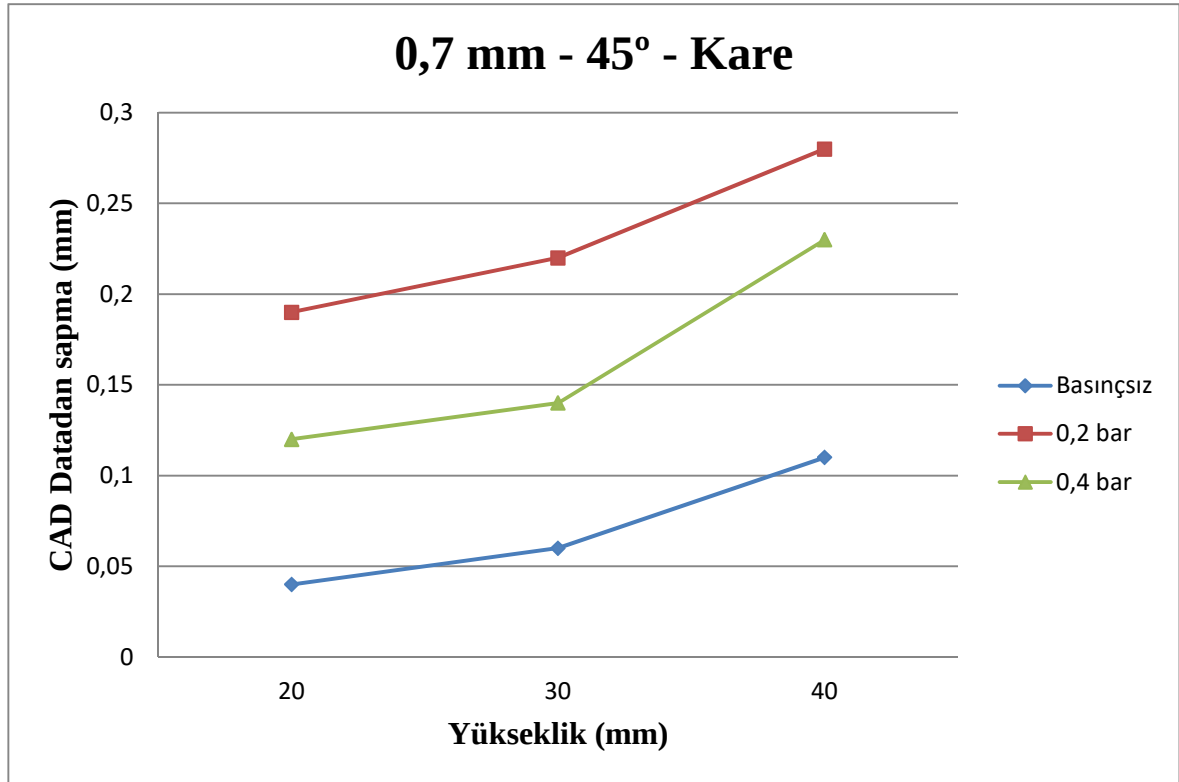
Kare şekilli form verme işlemlerinde ise uygulanan sıvı basıncının her iki duvar açısında da (45° ve 60°) CAD datadan sapmayı olumsuz yönde etkilediği görülmüştür (Şekil 4.18.-22.). Ölçüsel sapmalardaki en yüksek değerler uygulanan yüksek basınç değerlerinde (0,4 bar) elde edilmiştir. Bunun sebebi uygulanan kare prizma şeklindeki formun şekillendirme sonucu oluşan düz yüzeylerinin sıvı basıncı ile şekillendirme yönünde deforme olmasıdır.



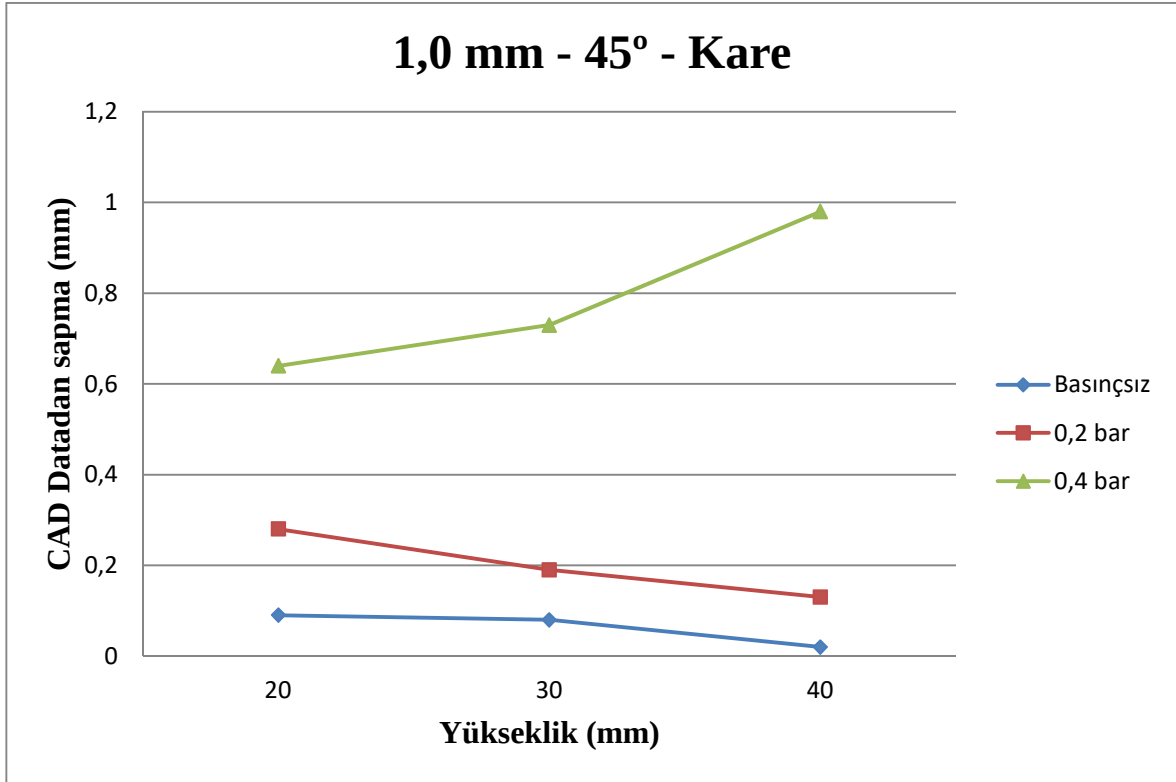
Şekil 4.18. 1,0 mm, 60° kare form CAD Datadan sapma değişimi grafiği



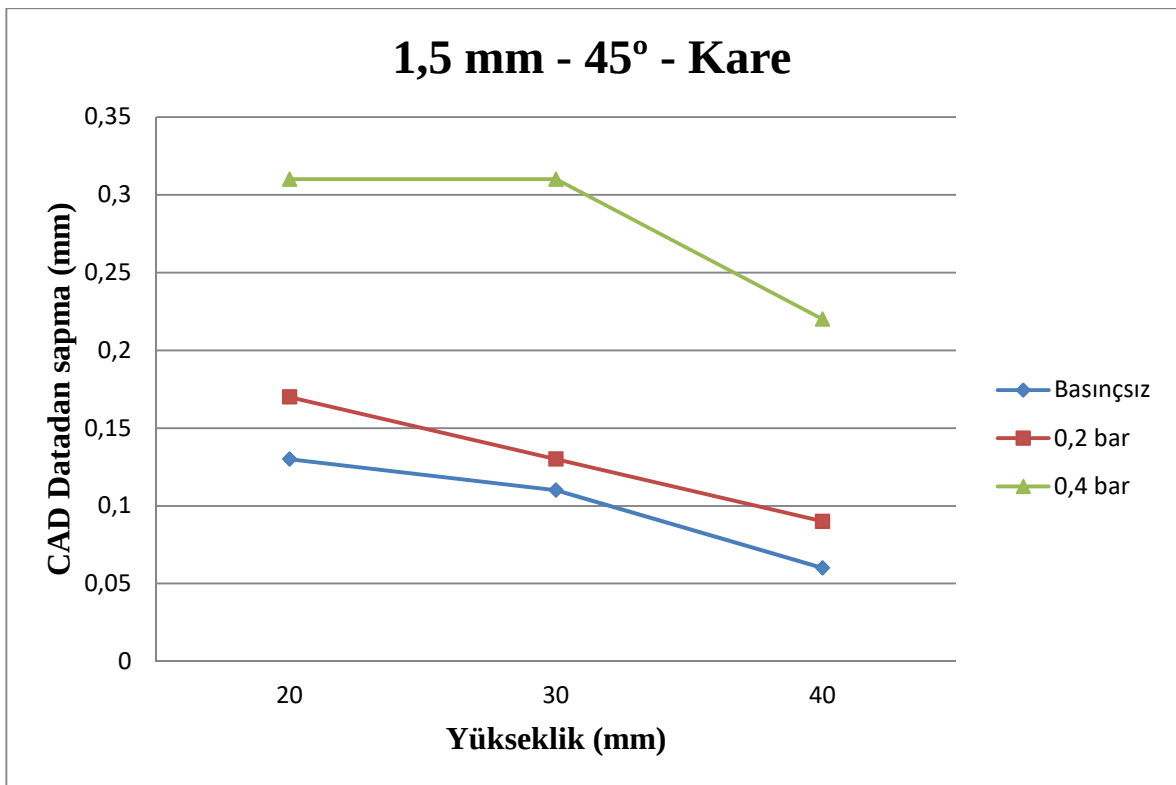
Şekil 4.19. 1,5 mm, 60° kare form CAD Datadan sapma değişimi grafiği



Şekil 4.20. 0,7 mm, 45° kare form CAD Datadan sapma değişimi grafiği



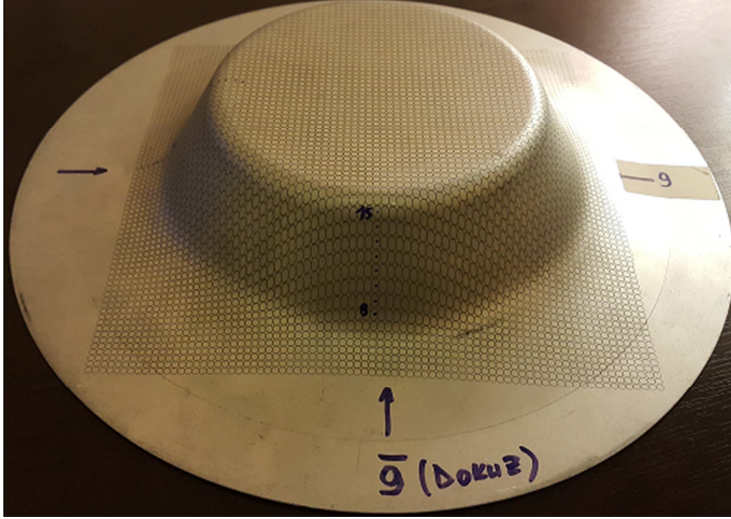
Şekil 4.21. 1,0 mm, 45° kare form CAD Datadan sapma değişimi grafiği



Şekil 4.22. 1,5 mm, 45° kare form CAD Datadan sapma değişimi grafiği

4.3. Gerçek Gerinim (ϵ_t) Değerleri

Gerçek gerinim (ϵ_t) değerlerinin elde edilebilmesi için deney öncesinde belirli sacların şekillendirme bölgelerine (190 x 190 mm) lazer markalama yöntemi ile 2,0 mm çapında daireler çizilmiştir (Resim 4.9.).



Resim 4.9. Markalama yapılmış bir deney parçası

Lazer markalama için TurcMark F20 marka lazer markalama cihazı (Resim 4.10.) kullanılmıştır.



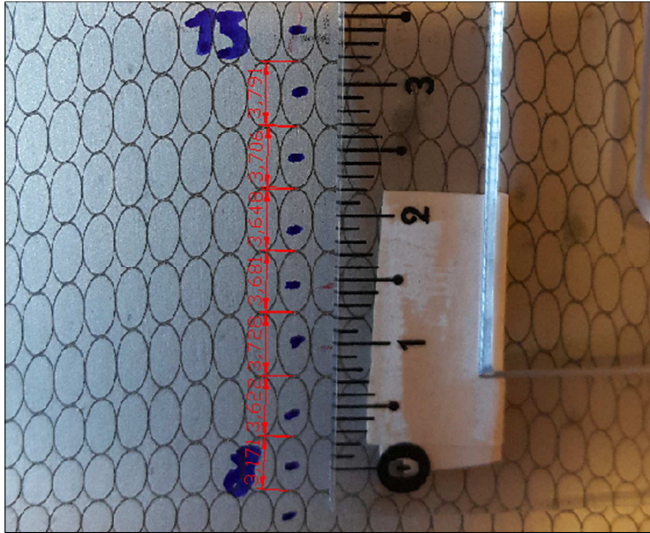
Resim 4.10. Lazer markalama cihazı

Lazer markalama cihazının teknik bilgileri Çizelge 4.1.' de verilmiştir.

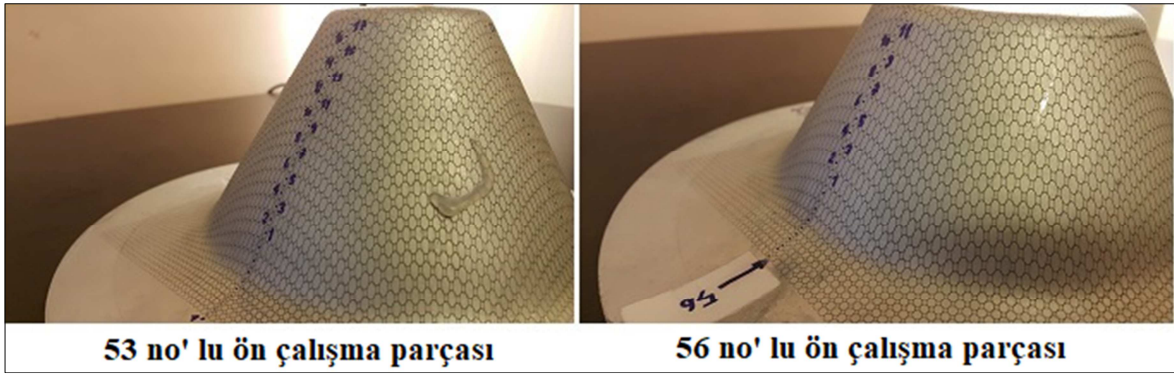
Çizelge 4.1. Lazer markalama cihazı teknik bilgileri

TurcMark F20 Lazer Markalama Cihazı Teknik Bilgiler	
Lazer Kaynağı	Yb: Fiber - SPI
Çıkış Gücü	20 W
Lens Odak Yüksekliği	160 mm
Lens Markalama Alanı	200x200 mm
Markalama Hızı	1000 karakter/saniye
Soğutma Sistemi	Hava Soğutma

Şekillendirme sonrasında bir ekseninde genişleyen dairelerin majör çapları ölçüldükten sonra (Resim 4.11.) gerçek gerinim değerleri $\epsilon_t = \ln(l/l_0)$ formülünden hesaplanmıştır. Burada l ; şekillendirme sonrası bir ekseninde genişleyen dairenin majör çapı, l_0 ise dairenin başlangıç çapıdır (2 mm). Ölçümler sadece konik duvar üzerinden taban ve tavandaki radyuslara denk gelmeyen düz yüzeydeki elipslerden alınmıştır.

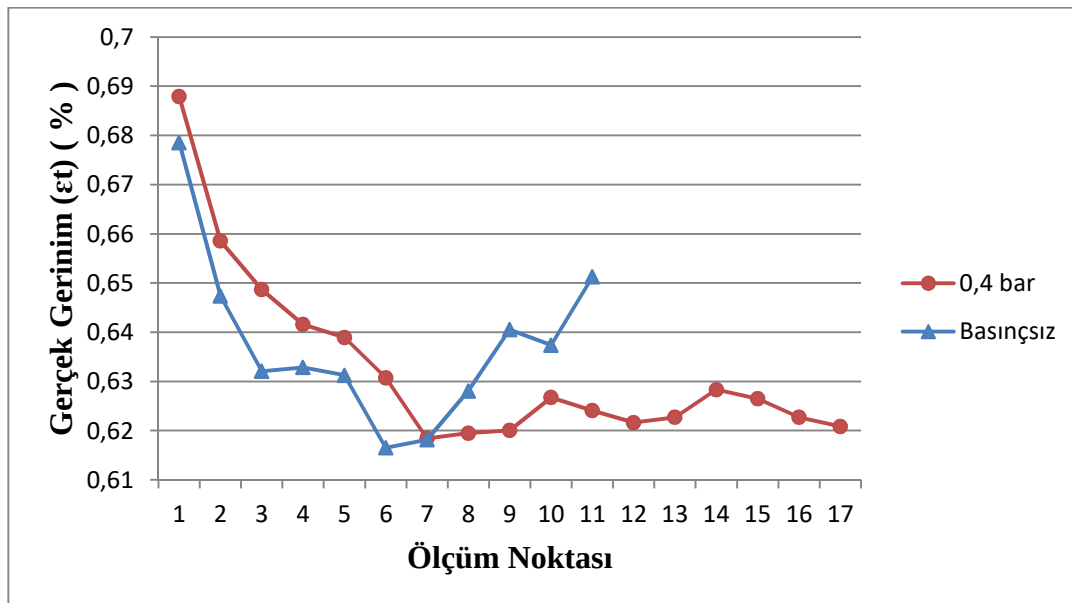


1,5 mm et kalınlığında, 60° duvar açısı ile dairesel formda, 0,4 bar basınçla (53 no' lu parça) ve basınçsız (56 no' lu parça) olarak şekillendirilen iki adet parçanın üzerinden Resim 4.12.' de görülen noktalardan ölçümler alınmıştır. Bu parçalar basınçlı ve basınçsız durumlarda maksimum şekillendirme yüksekliğinin tespit edilebilmesi için yapılmış ön çalışmalardandır. 53 no' lu parça 0,4 bar basınçta 101 mm yüksekliğe ulaşırken, 56 no' lu parça ise basınçsız şartlarda ancak 76 mm yüksekliğe kadar şekillendirilebilmiştir. Ancak her iki parça da 125 mm başlangıç yüksekliğine ulaşmadan yırtılmıştır. Gerçek gerinim (ϵ_t) değerlerinin hesaplanması için her iki parçadan da konik duvar yüzeylerinden sırasıyla 17 (101 mm) ve 11 (76 mm) adet noktadan ölçümler alınmıştır.



Resim 4.12. 53 ve 56 no' lu ön çalışma parçaları

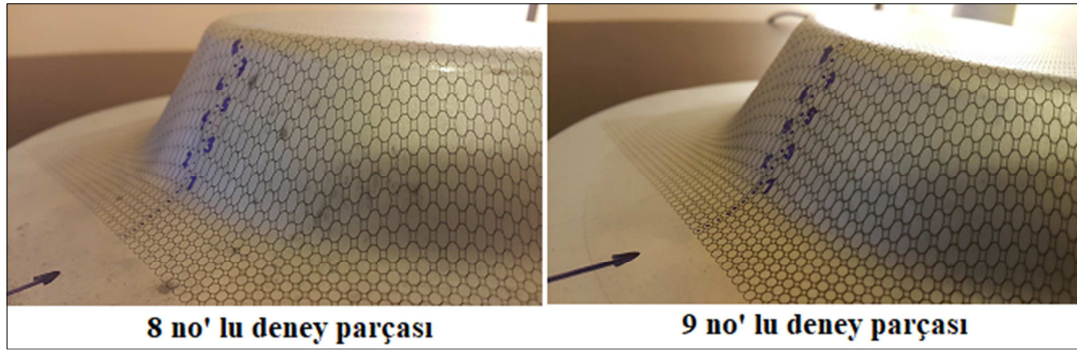
Gerçek gerinim (ϵ_t) değerlerini gösteren grafik Şekil 4.23.' de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. 53 ve 56 no' lu parçaların gerçek gerinim (ϵ_t) değerlerinin karşılaştırması

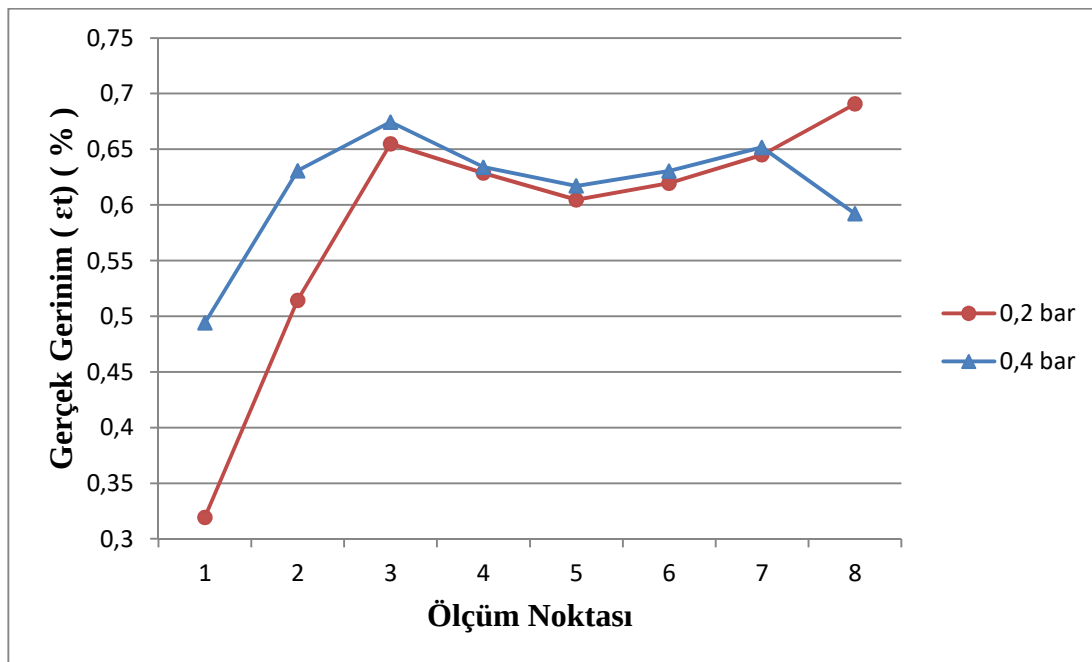
Grafik (Şekil 4.x.) incelendiğinde 0,4 bar basınçta şekillendirilen parçanın gerçek gerinim (ϵ) değerleri basınçsızla göre üst bölgede kalmaktadır. Buradan basınçlı sistem ile yapılan şekillendirmede sac malzemenin daha fazla esnetilebildiği anlaşılmaktadır.

1,5 mm et kalınlığında, 60° duvar açısı ile dairesel formda, 0,2 bar (8 no' lu parça) ve 0,4 bar (9 no' lu parça) basınçla şekillendirilen iki adet parçanın üzerinden Resim 4.13.' de görülen 8 adet noktadan ölçümler alınmıştır. 8 ve 9 no' lu parçalar deney parçalarıdır. Her iki parça da başlangıç yüksekliği olan 50 mm yüksekliğe yırtılmadan şekillendirilmişlerdir.



Resim 4.13. 8 ve 9 no' lu deney parçaları

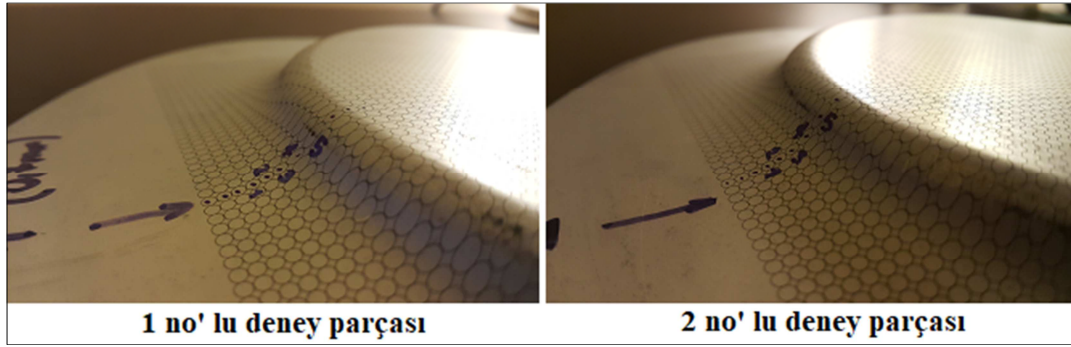
Gerçek gerinim (ϵ) değerlerini gösteren grafik Şekil 4.24.' de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. 8 ve 9 no' lu parçaların gerçek gerinim (ϵ) değerlerinin karşılaştırması

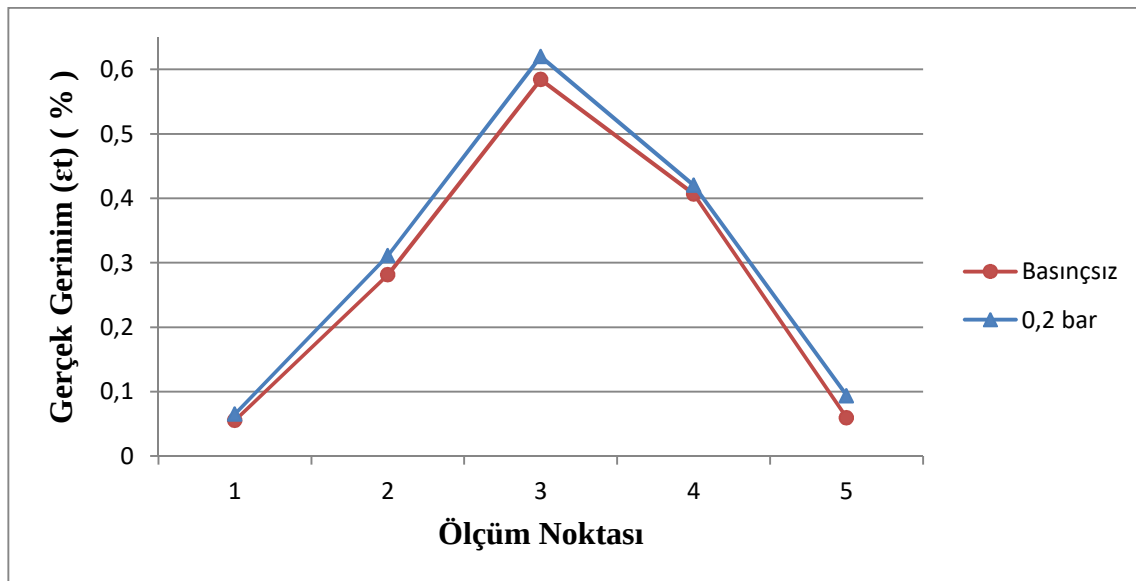
0,4 bar basınçla yapılan deney sonrası elde edilen gerçek gerinim değerleri (ϵ_t) grafiğinin (bkz. Şekil 4.24.) üst tarafında kalmaktadır. Dolayısıyla basıncın artmasıyla sacın şekillendirilmesinde artış sağlandığı görülmektedir. Benzer sonuçlar et kalınlığı değişimi bölümünde bu parçalara ait grafiklerden de görülebilmektedir (bkz. Şekil 4.3.).

0,7 mm et kalınlığında, 60° duvar açısı ile dairesel formda, basınçsız (1 no' lu parça) ve 0,2 bar (2 no' lu parça) basınçla şekillendirilen iki adet parçanın üzerinden Resim 4.14.' de görülen 5 adet noktadan ölçümler alınmıştır. 1 ve 2 no' lu parçalar da deney parçalarıdır. Ancak her iki parça da başlangıç yüksekliği olan 50 mm' ye ulaşmadan yırtılmışlardır.



Resim 4.14. 1 ve 2 no' lu deney parçaları

Gerçek gerinim (ϵ_t) değerlerini gösteren grafik Şekil 4.25.' de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. 1 ve 2 no' lu parçaların gerçek gerinim (ϵ_t) değerlerinin karşılaştırması

1 ve 2 no' lu parçaların karşılaştırması neticesinden basınçlı yapılan şekillendirmenin gerçek gerinim değerleri basınçsız nazaran grafiğin üzerinde yer almıştır. Dolayısıyla sacın alttan bir akışkan ile desteklenmesi, malzemenin daha fazla esnetilebilmesini sağlamaktadır.

Her üç grafikte de gerçek gerinim (ϵ_t) değerlerinin farklı et kalınlığına ait ve farklı basınç şartlarında yapılan deney sonuçları göstermektedir ki; basınçlı şartlarda yapılan şekillendirmelerde malzemenin şekillendirme esnekliği artmaktadır.

4.4. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

Kare ve dairesel formlar üzerinde basınçsız, 0,2 ve 0,4 bar basınçlı yapılan çalışmalardan yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri sadece 45° duvar açısı olan numunelerden alınmıştır. İlerleme dönme yönü, saatin dönme yönü ve saatin dönme yönü tersi alınarak yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Takım malzemesinin etkilerini görebilmek amacıyla farklı takım malzemeleri ile elde edilen formların yüzey pürüzlülükleri de ölçülmüştür. Ayrıca sıvı basıncının etkilerinin anlaşılabilmesi için de ölçümler yapılmıştır. Takım ilerleme hızı olarak ise 500, 1000 ve 1500 mm/dk hızlarda yapılan şekillendirme işlemlerinden yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü değerleri olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümü (R_a) kabul edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için Resim 4.15.' de görülen Mahr Perthometer M1 marka cihaz kullanılmıştır.



Resim 4.15. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

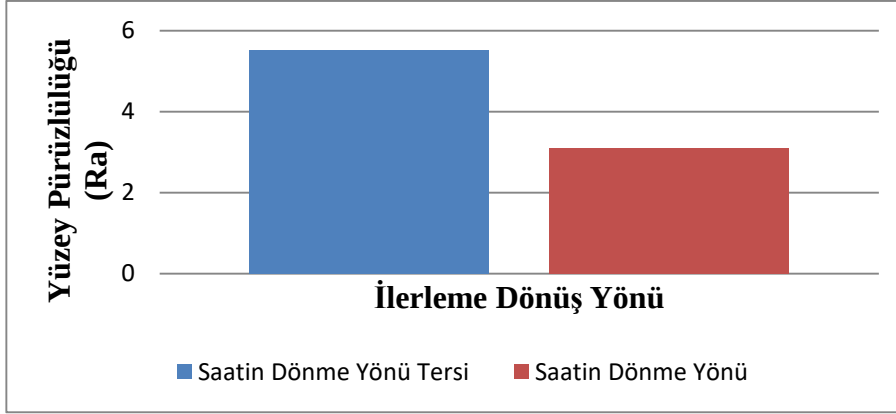
Cihaza ait teknik özellikler Çizelge 4.2.' de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik bilgileri

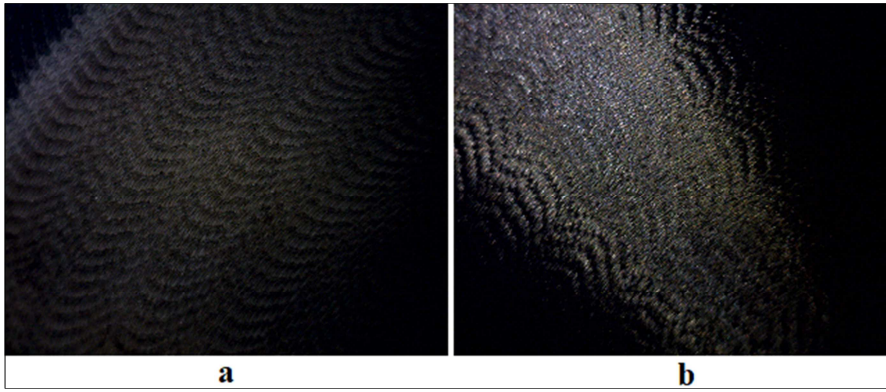
Mahr Perthometer M1 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı Teknik Bilgiler	
İğne uç yarıçapı	2 μm
Ölçme aralığı	100–150 μm
Tarama hızı	0,5 m/s
Tarama kuvveti	0,75 mN
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gaussian
Ölçülebilen parametreler	Ra, Rz, Rmax
Örnekleme uzunluğu	0,25 – 0,8 – 2,5 mm
Ölçme uzunluğu	1,75 – 5,6 – 17,5 mm

4.4.1. Takım ilerleme yönünün etkisi

Yapılan çalışmalarda takım dönüş yönü ile ilerleme yönlerinin birbirlerine göre durumlarının etkisinin görülebilmesi amacıyla ilerleme yönüne, saat ibresi yönünde ve saat ibresi tersi yönünde hareket verilerek şekillendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Takım dönüş yönü ise daima saat ibresi yönünde seçilmiştir. Yapılan işlemlerde takım ilerleme yönü haricindeki diğer parametreler sabit tutulmuştur. (Hız, malzeme, duvar açısı, şekil, yağlama, basınç vb.) Deneysel sonuçlara göre elde edilen yüzey pürüzlülük ölçümleri saat ibresi yönündeki takım ilerlemesinin yüzey pürüzlülüğünü olumlu olarak etkilediği ve saat ibresi tersi yönünde ise daha büyük yüzey pürüzlülük değerleri ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 4.26.). Dolayısıyla dönüş ve ilerleme yönlerinin aynı yönde olması yüzey kalitesini arttırmaktadır. Burada düz ve ters yönlü frezeleme işlemine benzer bir yaklaşımın ortaya çıktığı görülmektedir. Parçaların yüzeyinden dijital mikroskopla çekilmiş 40x görüntüler Resim 4.16.' da gösterilmiştir.



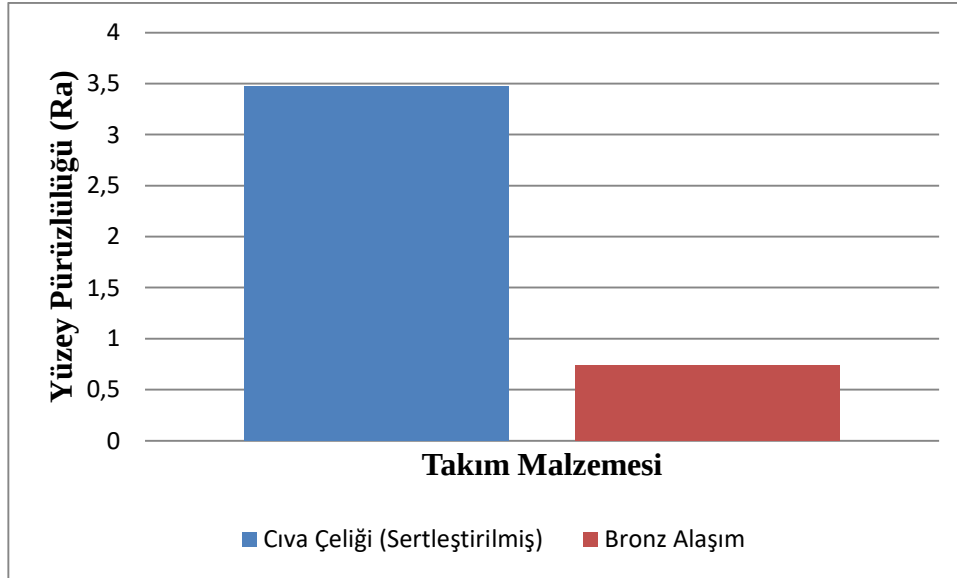
Şekil 4.26. Dönüş yönüne göre yüzey pürüzlülük değişimi



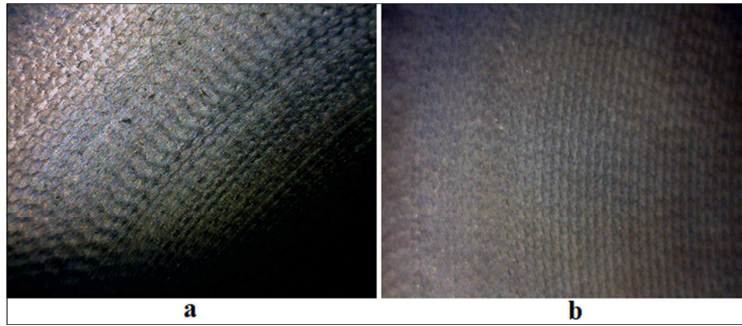
Resim 4.16. Dönme yönünün etkisi a) Saatin dönme yönü tersi b) Saatin dönme yönü

4.4.2. Takım malzemesinin etkisi

Takım malzemesi olarak bronz alaşım ile sertleştirilmiş cıva çeliği malzemelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi karşılaştırılmıştır. Takım malzemesi dışındaki tüm parametreler sabit tutulmuştur. Bronz alaşım takım ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerinin sertleştirilmiş cıva çeliği malzemesinin ortaya çıkardığı değere nazaran çok daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.27.). Bu sonuçlara göre deneyler esnasında daha iyi yüzey pürüzlülüğü sonuçları elde edildiği için bronz alaşım takım tercih edilmiştir. Parçalara ait 40x dijital mikroskop görüntüleri Resim 4.17.' de görülmektedir.



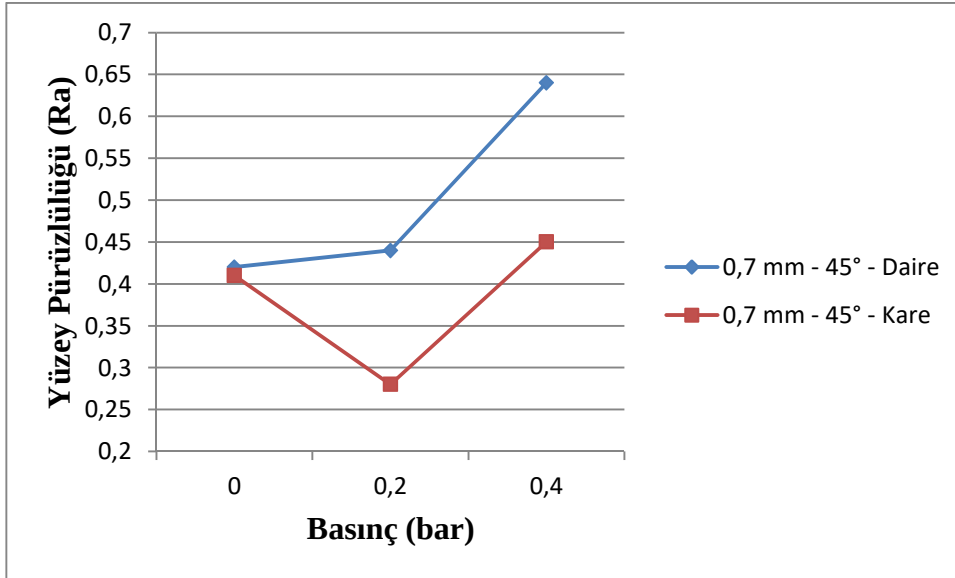
Şekil 4.27. Yüzey Pürüzlülüğü - Takım Malzemesi ilişkisi



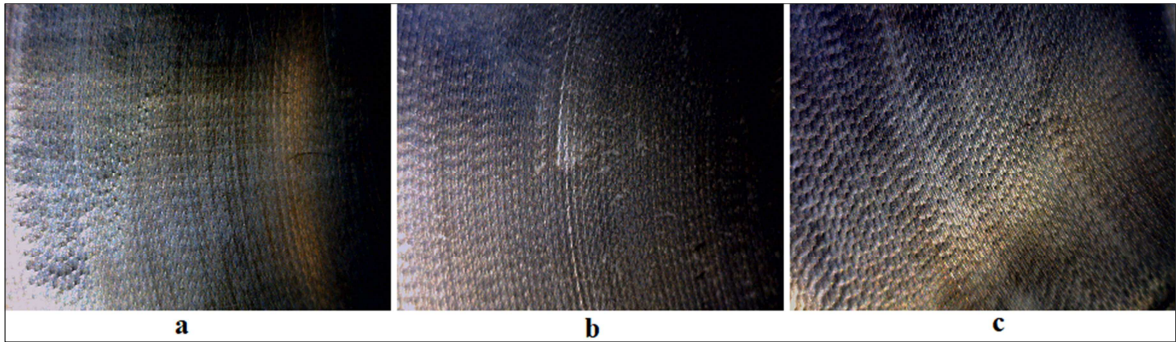
Resim 4.17. Takım malzemesinin etkisi a) Bronz alaşım, b) Cıva çeliği (sertleştirilmiş)

4.4.3. Sıvı basıncının etkisi

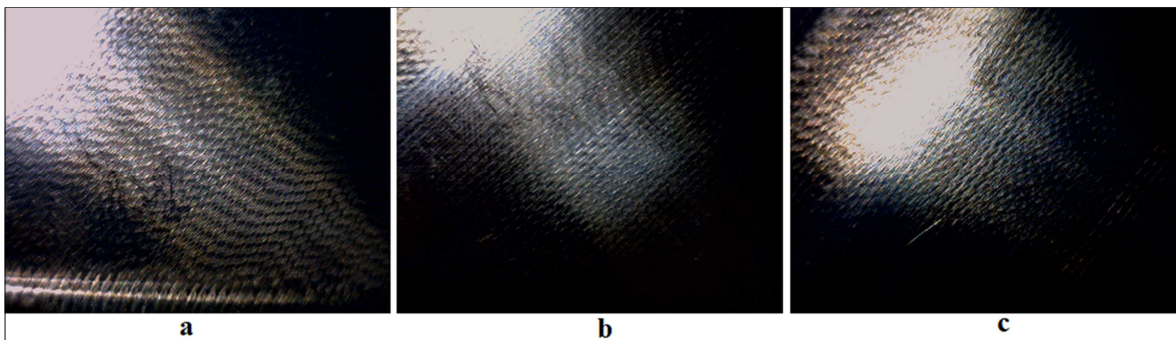
0,7 mm sac malzemenin 45° duvar açısında ve basınçsız, 0,2 ve 0,4 bar basınç şartlarında üretilen deney parçalarından yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Sıvı basıncının etkisinin anlaşılabilmesi için diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur. Dairesel ve kare formlarla yapılan çalışmalar neticesinde genel olarak uygulanan sıvı basıncının yüzey pürüzlülüğü değerlerini arttırdığı görülmektedir. Basınçsız olarak uygulanan deneysel çalışmalarda birbirine yakın yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilirken basınçlı uygulamalarda dairesele formlarda yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve dairesele formdaki yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kare forma göre fazla olduğu da görülmüştür. (Şekil 4.28.). Parçalara ait dijital mikroskop görüntüleri Resim 4.18. ve Resim 4.19.' de sunulmuştur.



Şekil 4.28. Yüzey Pürüzlülüğü - Basınç ilişkisi



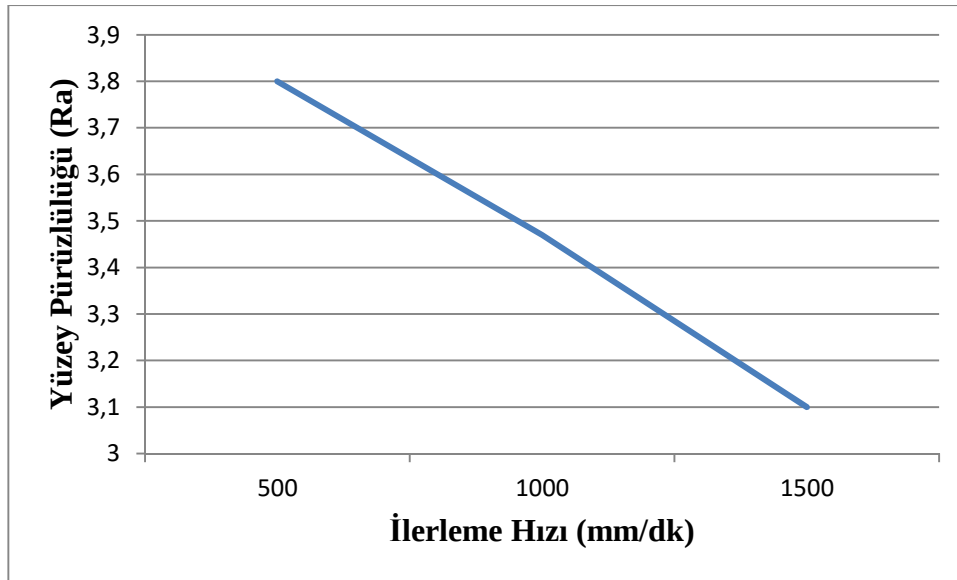
Resim 4.18. Basıncın etkisi (0,7 mm 45° dairesel form) a) Basıncısız, b) 0,2 bar, c) 0,4 bar



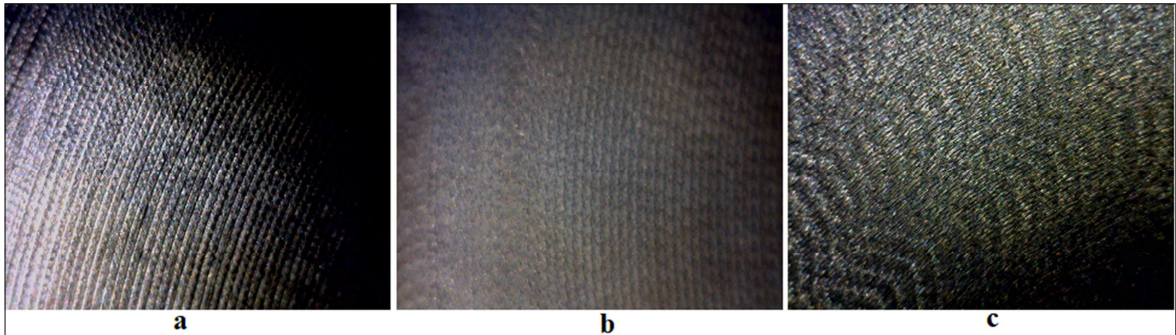
Resim 4.19. Basıncın etkisi (0,7 mm 60° dairesel form) a) Basıncısız, b) 0,2 bar, c) 0,4 bar

4.4.4. İlerleme hızının etkisi

500, 100 ve 1500 mm/dk ilerleme hızlarında yapılan şekillendirme işlemleri neticesinde hızın yüzey kalitesine önemli derecede etki ettiği görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 1500 mm/dk hızda elde edilmiştir (Şekil 4.29.). Ancak 1500 mm/dk ilerleme hızında tezgah rijitliğinin sağlanamadığı ve kullanılan tezgahın veri aktarım hızının yetersiz kaldığı görülmüştür. Bundan dolayı yapılan çalışmalar 1000 mm/dk ilerleme hızında devam ettirilmiştir. Parçalara ait 40x dijital mikroskop görüntüleri Resim 4.20.' de gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Yüzey Pürüzlülüğü – İlerleme Hızı ilişkisi



Resim 4.20. İlerleme hızının etkisi a) 500 mm/dk, b) 1000 mm/dk, c) 1500 mm/dk

4.5. Sıcaklık Değerleri

Takımın esnetme işlemi esnasındaki saca olan temasından kaynaklı yağdaki ve takımındaki sıcaklık değişimlerini gözlemlemek için Resim 4.21.' de görülen ve teknik özellikleri Çizelge 4.3.' de belirtilen TROTEC BP21 marka kızılötesi bir sıcaklık ölçer kullanılmıştır.



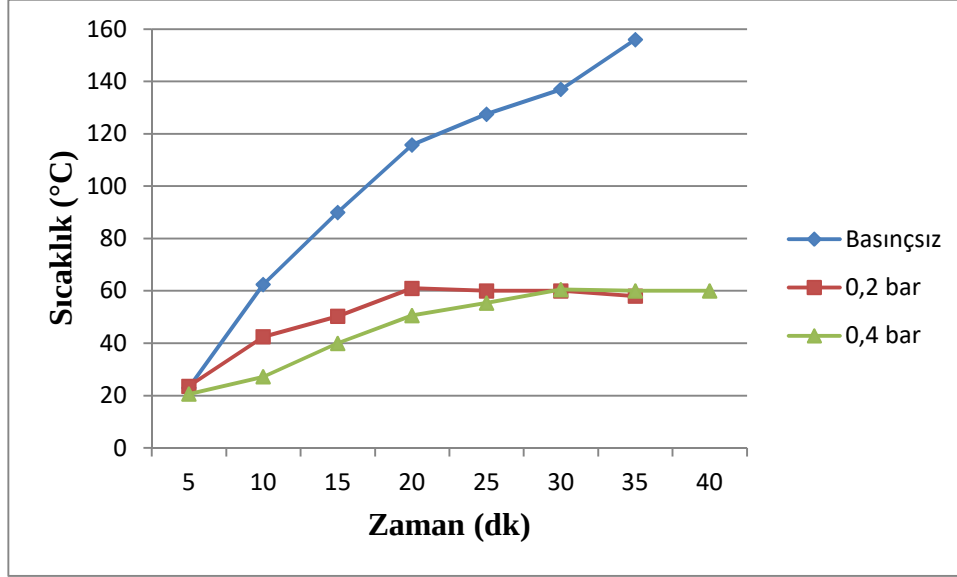
Resim 4.21. Sıcaklık ölçer

Çizelge 4.3. Sıcaklık ölçer teknik bilgileri

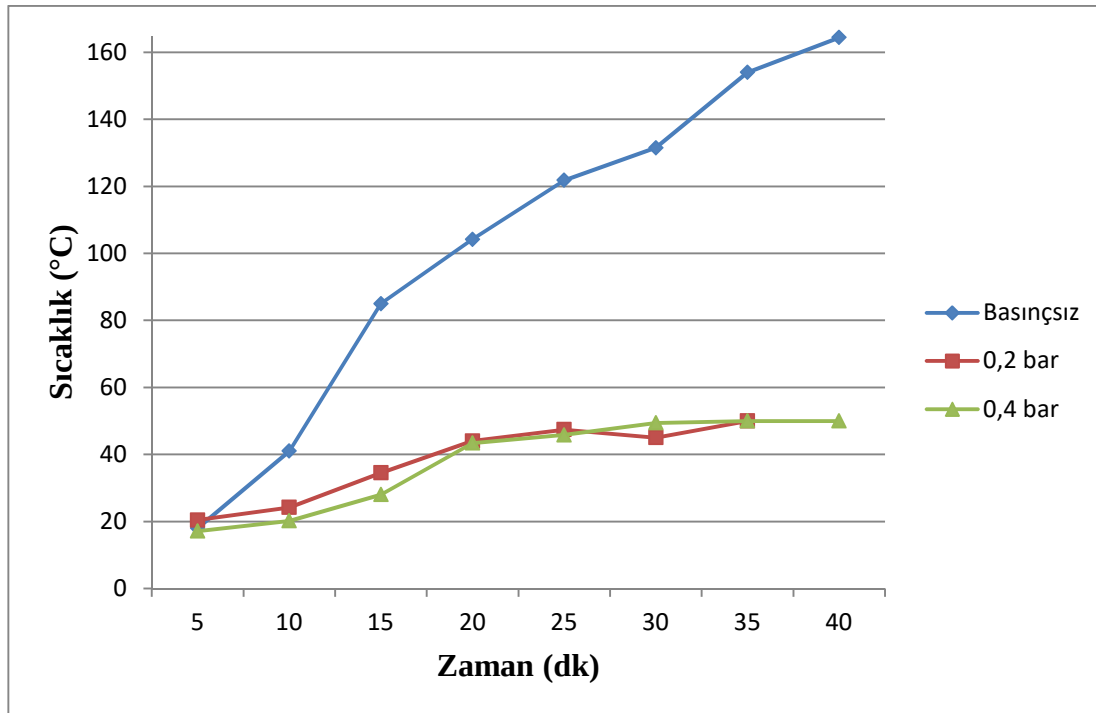
TROTEC BP21 Sıcaklık Ölçer Teknik Bilgiler	
Sıcaklık Aralığı	-35°C ila +800°C
Emisyon Aralığı	0,1 ila 1,0
Doğruluk	maks. $\pm 2^{\circ}\text{C}$
Çözünürlük	0,1 $^{\circ}\text{C}$
Reaksiyon Süresi	0,3 saniye
Elektrik Kaynağı	9V blok batarya
Ebatlar (U x G x Y)	108 x 45 x 150 mm
Ağırlık	177 gr
Üretici Firma	TROTEC

Sıcaklığın olası etkilerini anlayabilmek için yaklaşık her beş dakikada bir hem yağın hem de takım ucunun sıcaklıkları kaydedilmiştir. Sıcaklıklar sadece dairesel parçalar şekillendirilirken ölçülmüştür. Basınçlı yapılan çalışmalarda sıcaklık değerlerinin basınçsız yapılan çalışmalara nazaran zamana göre daha az arttığı görülmektedir (Şekil 4.30. ve 4.31.). Bunun nedeni basınçlı çalışmalarda akışkan ile sacın direk temas etmesidir.

Sıcaklığın etkisinin azaltılması şekillendirme esnasında takımın aşınmasını ve yağlama malzemesinin özelliğini korumasını sağlamıştır.



Şekil 4.30. Takımın sıcaklığı



Şekil 4.31. Yağın sıcaklığı

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan tüm deneysel çalışmalar sonucunda, literatürde benzerine çok az rastlanan bir uygulama olan akışkan basıncıyla sacın şekillendirme esnasında alttan desteklenmesinin, olumlu sonuçlar ortaya çıkardığı görülmüştür. Bu sonuçların değerlendirilmesi neticesinde farklı et kalınlıklarındaki DP600 sac malzemeleri basıncın etkisindeki davranışlarının anlaşılması sağlanmıştır.

Tüm et kalınlığı değişimi grafikleri incelendiğinde göstermektedir ki basıncın etkisiyle sacın şekillendirilebilirliği artmaktadır. Ancak et kalınlığı değişimi oranları hesaplandığında bu artışın sac kalınlığı ve basıncın artmasıyla azaldığı görülmektedir. Genel olarak, uygulanan sıvı basıncı desteğinin sac malzemede meydana gelen incelleme oranlarını artırdığı görülmüştür. Artan basınç değerleri ile birlikte incelleme oranları da artmıştır. Bu sebepten ötürü seçilen et kalınlığı için en iyi şekillendirmenin sağlanacağı basınç değerinin farklı basınç değerlerinin denenmesi ile tespit edilmesi bundan sonraki araştırma konuları içerisinde yer alabilir. Ayrıca duvar açısının azalmasının basıncın faydalı etkisini daha fazla ortaya çıkardığı sonucuna ulaşılmıştır.

CAD datadan sapma grafikleri incelendiğinde ise iki farklı sonuç ortaya çıkmaktadır. İlk olarak uygulanan sıvı basıncı desteğinin dairesel parçalarda ölçüsel sapmaları azalttığı ve geometrik doğruluğu iyileştirdiği görülmektedir. Ancak kare şekilli formlarda ise uygulanan akışkan basıncı desteğinin her iki duvar açısında da olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Bunun sebebi kare form üzerinde bulunan düzlemsel yüzeylere uygulanan sıvı basıncının, sacın bu bölgelerinde ölçüsel sapmalar meydana getirmesi ile açıklanabilir.

Gerçek gerinim (ϵ) grafikleri değerlendirildiğinde; basınçlı sistemin etkilerinin basınçsız göre DP600 malzemenin şekillendirilmesinde olumlu katkılarının olduğunu gözlemlenmektedir.

Kare form gibi düz duvarlara haiz geometrilerde basıncın olumlu etkisini görebilmek için pot çemberi gibi bir aparatın kullanımı sayesinde sacın serbest olarak akmasının engellenmesi sağlanabilir. Böylelikle basıncın şişirmeye çalışma etkisi azaltılabilir.

Aslında sadece kare formlarda değil dairesel formlarda da pot çemberi kullanımının sonuçlarının araştırılması uygun olacaktır.

0,7 mm' de basınçlı ve basınçsız şekillendirme arasında yapılan ölçümlere göre et kalınlığı değişiminin ortalama olarak % 17, 1,0 mm sac malzemeler için % 7,6 ve 1,5 mm sac malzemeler için % 7,7 olarak hesaplanmıştır. Sac malzemenin alt tarafından uygulanan basınç desteğinin sac malzemenin daha kolay şekillendirilebilmesine yardımcı olduğu anlaşılmıştır. Ancak, seçilen 0,2 ve 0,4 bar basınç değerlerinin 1,0 ve 1,5 mm kalınlığındaki sac malzemelere etkisi çok yakın oranlarda çıkmıştır. Farklı basınç değerleri ve değişken basınç değerlerinin uygulanması sac malzemelerin şekillendirilebilirliğine olumlu etki yapabilir.

Deneyisel çalışmalarda takım dönme yönü saat ibresi yönünde alınmıştır. Takım ilerleme yönü ise saat ibresi yönünde ve saat ibresinin tersi yönünde uygulanmıştır. Saat ibresi yönünde yapılan şekillendirme işleminin, şekillendirilmiş yüzey kalitesini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Bu etki ters ve düz yönlü frezeleme işlemlerinde meydana gelen plastik deformasyona benzer bir yaklaşım göstermektedir.

500, 100 ve 1500 mm/dk ilerleme hızlarında yapılan şekillendirme işlemleri neticesinde hızın yüzey kalitesine önemli derecede etki ettiği görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 1500 mm/dk hızda elde edilmiştir. Artan ilerleme hızlarının takım-malzeme arasındaki temas süresini azalttığı ve daha düzgün yüzeyler elde edilmesine yardımcı olduğu görülmüştür [19]. Artan devir sayısı değerlerinin takım-malzeme arasındaki sürtünmeyi ve buna bağlı olarak da ısıyı artırdığı görülmüştür. ASŞ işleminde mümkün olan en düşük devir sayısının kullanımının daha iyi şekillendirme sağladığı görülmüştür. Ancak, çok düşük devir sayısı seçimi, şekillendirme esnasında tezgah iş miline çok fazla kuvvet gelmesine sebep olacaktır. Bu bakımdan şekillendirilecek olan sac malzemenin özelliğine göre en uygun devir sayısının belirlenmesi önem arz etmektedir.

Farklı yağlayıcılarla yapılan deneyisel çalışma sonuçları incelendiğinde, DP600 malzeme için, düşük viskozite değerlerine sahip olan yağlayıcıların kullanımı ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edilebildiği görülmüştür.

Artımlı sac şekillendirme işleminde sürtünme takım ve sac malzeme arasında gerçekleşmektedir. Bu bakımdan kullanılan şekillendirme takımının formu ve malzemesi de çok önemlidir. Yapılan çalışmalarda cıva çeliği (sertleştirilmiş), karbür, kızıl bronz (Rg7) ve mangan bronz (SAE 430 B) malzemelerden üretilmiş şekillendirme takımları kullanılmıştır. Takımın şekillendirilebilmesi, deney parçası yüzey pürüzlülüğü ve takım maliyeti kriterleri göz önünde bulundurulduğunda en uygun olanın mangan bronz malzemedan yapılmış olan takım olduğu belirlenmiş ve tüm deneylerde mangan bronz (SAE 430 B) takım kullanılmıştır. Genel olarak bronz alaşımlarının sürtünme katsayısının düşük olması, aşınma ve ısıl dayanımlarının da yüksek olmasından dolayı ASŞ işlemlerinde iyi sonuçlar verdiği literatür çalışmalarında da görülmektedir [27].

Tek nokta ASŞ işleminde yüksek duvar açıları sac malzemenin daha çabuk yırtılmasına yol açmaktadır. Yapılan çalışmalarda DP600 sac malzeme için duvar açısı sınırının 68° ile 55° olduğu görülmüştür [19]. Bu değerlerin üzerinde uygulanan çalışmalarda kademeli şekillendirme işlemi tercih edilebilir.

Çalışmalarda kullanılan 0,2 ve 0,4 bar basınç değerlerinin dışında daha yüksek basınç değerleri kullanılarak Bauschinger etkisine bakılabilir. Ayrıca bu çalışmada seçilen DP600 malzemenin dışında da farklı malzemelerin basınç etkisindeki davranışlarının incelenmesi bundan sonraki çalışmalara konu olabilir.

En uygun basıncın bulunabilmesi için takımın kuvveti ve alttan uygulanan akışkan basıncının farklı et kalınlıklarındaki sacların mekanik davranışlarının üzerindeki etkilerinin araştırılması gerekmektedir.

ASŞ yönteminde şekillendirme işleminin başarısını etkileyen çok sayıda değişken bulunmaktadır. ASŞ işleminde kullanılan değişken parametreler ve bunların birbiri ile etkileri üzerine yeni çalışmalar gerçekleştirilebilir.

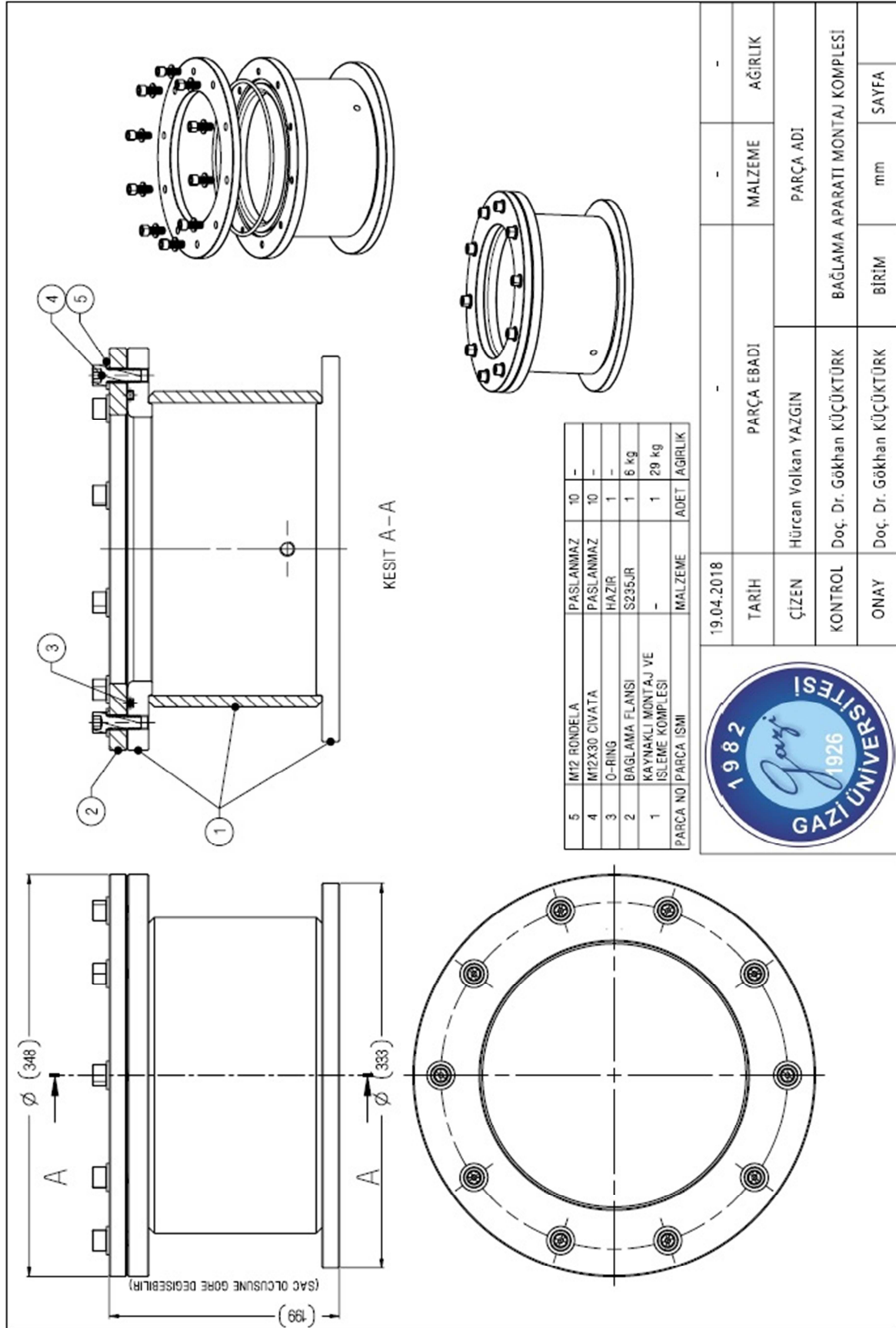
KAYNAKLAR

1. Hirt, G. ve Bambach, M. (2012). Incremental sheet forming. *Sheet Metal Forming-Processes and Applications*, 273-287.
2. Afonso, D., Sousa, R.A. ve Torcato, R. (2017). Integration of design rules and process modelling within SPIF technology-a review on the industrial dissemination of single point incremental forming. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94 , 4387–4399.
3. Trzepieciniski, T., Krasowski, B., Kubit, A. ve Wydrzynski, D. (2018). Possibilities of Application of Incremental Sheet-Forming Technique in Aircraft Industry, *Mechanika, RUTMech*, 87-100.
4. Emmens, W.C., Sebastiani, G. ve Van Den Boogard, A.H. (2010). The Technology of Incremental Sheet Forming-a Brief Review of the history, *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 981-997.
5. Vollertsen, F., Schulze Niehoff, H., Wielage, H. ve Hu, Z. (2007). *Sheet Metal Micro Forming*, 6th International Conference on Industrial Tools and Material Processing Technologies, 7-12.
6. Bambach, M. (2008). Process Strategies and Modelling Approaches for Asymmetric Incremental Sheet Forming, *Umform-technische Schriften*, 1-19.
7. Tanaka, S., Nakamura, T., Hayakawa, K., Nakamura, H., ve Motomura, K. (2005). *Incremental sheet metal forming process for pure titanium denture plate*, ICTP.
8. Verbert, J., Belkassam, B., Henrard, C., Habraken, A. M., Gu, J., Sol, H., Lauwers, B., ve Duflou, J. R. (2008). Multi-Step toolpath approach to overcome forming limitations in single point incremental forming, *International Journal of Material Forming*, 1, 1203-1206.
9. Jadhav, S., Goebel, R., Homberg, W. ve Kleiner, M. (2003). *Process Optimization and Control for Incremental Forming Sheet Metal Forming*. Proceeding of the International Deep Drawing Research Group Conference, IDDRG, 165-171.
10. Al-Nasser, A. (2012). Forming of Advanced High-Strength Steels (AHSS). *Sheet Metal Forming-Processes and Applications*, 107-132.
11. İnternet : <https://www.worldautosteel.org/steel-basics/steel-types/dual-phase-dp-steels/>, Son Erişim Tarihi : 19.07.2019
12. Ham, M. ve Jeswiet, J (2006). *Single Point Incremental Forming and the Forming Criteria for AA3003*, CIRP Annals, 55, 241-244.
13. Afonso, D., Sousa, R.A. ve Torcato, R. (2017). Incremental forming of tunnel type parts. *Procedia Engineering*, 183, 137-142.
14. Sakin, A. ve Durgun, İ. (2013). Sayısal Kontrollü Artımlı Şekillendirme Tekniği ile Plastil Parça Üretimi, *Mühendis ve Makina*, 650 , 23-28.

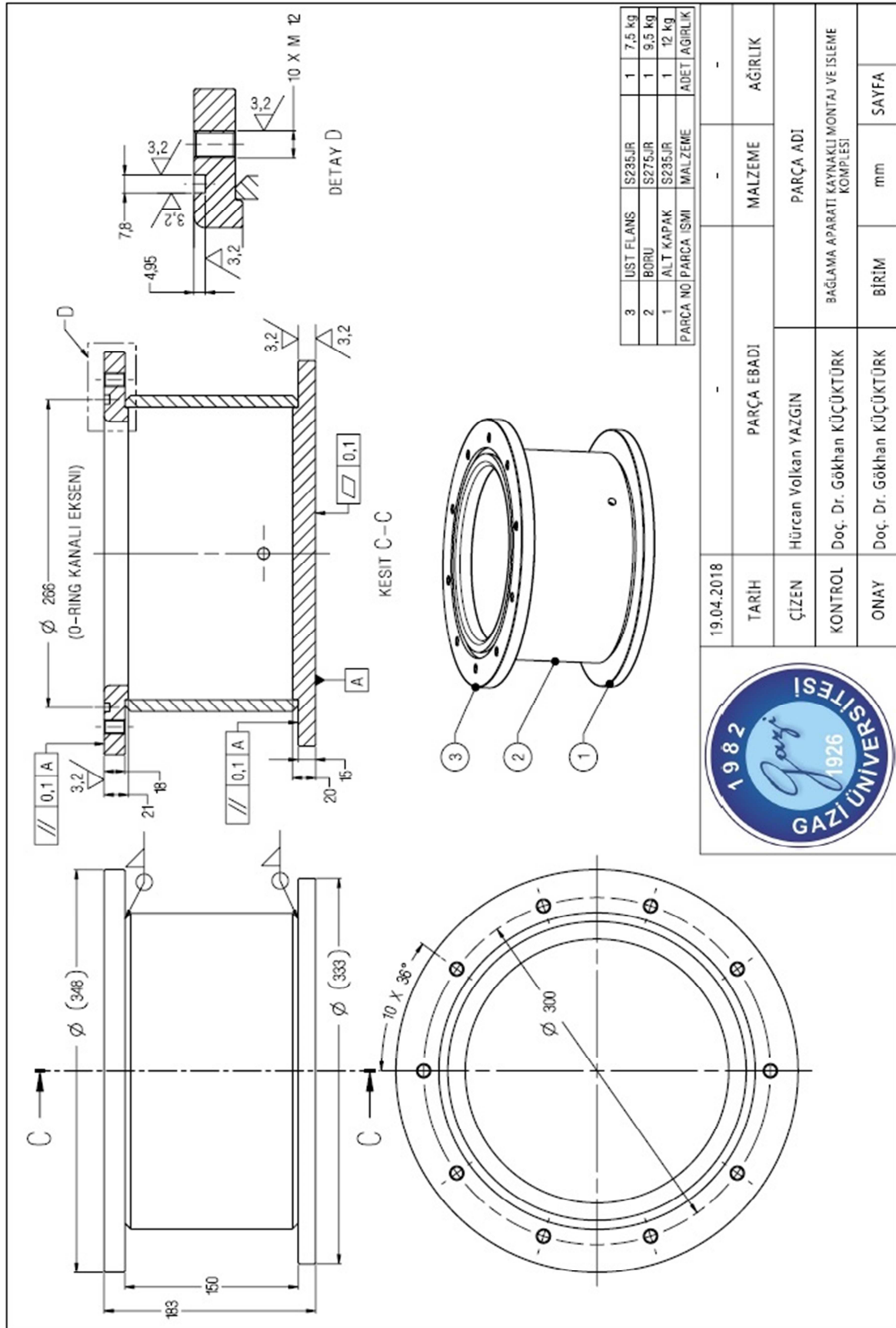
15. Moayedfar, M., Leman, Z. ve Baharudin, B.T.H.T. (2014). Incremental Sheet Forming (ISF) of AISI 316 Stainless Steel Sheet Using CNC Milling Machine, *Advanced Materials Research*, 939, 322-327.
16. Manco, G.L. ve Ambrogio, G. (2010). Influence of Thickness on Formability in 6082-T6, *International Journal of Material Forming*, 1, 983-986.
17. Durgun, İ. (2017). *Artımsal Şekillendirme Yöntemi ile Alüminyum Parçaların Şekillendirilmesi*, 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science.
18. Mugendiran, V. ve Gnanavelbau, A. (2014). Comparison of FLD and thickness distribution on AA5052 aluminium alloy formed parts by incremental forming process, *Procedia Engineering*, 97, 1983-1990.
19. Bastos, R.N.P., Afonso, D., Sousa, R.A. ve Ferreira, J.A.F. (2015). Enhancing time efficiency on single point incremental forming processes, *International Journal of Material Forming*, 9, 653-662.
20. Azevedo, N.G., Farias, J.S., Bastos, R.N.P., Teixeira, P., Davim, J.P. ve Sousa, R.A. (2015). Lubrication Aspects during Single Point Incremental Steel and Aluminum Materials, *Engineering and Manufacturing*, 3, 589-595.
21. Tamer, M.E., Music, O., Özdemir, İ., Sakin, A. ve Durgun, İ. (2013). *Artımlı Şekillendirme Tekniği ile Prototip Sac Parça Üretimi*, Makina İmalat Teknolojileri Kongresi, 179-187.
22. Ham, M. ve Jeswiet, J. (2008). Dimensional Accuracy of Single Point Incremental Forming, *International Journal of Material Forming*, 1, 1171-1174.
23. Tamer, M.E., Music, O., Özdemir, İ., Baranoğlu, B., Sakin, A. ve Durgun, İ. (2013). *Artımlı Sac Şekillendirme Yönteminin Sayısal Analizinde Açık Adım ve Kapalı Adım Sonlu Eleman Yöntemi Çözümlerinin Karşılaştırmalı Analizi*, XVIII. Ulusal Mekanik Kongresi, 589-598.
24. İnternet : <https://www.avivametals.com/products/c86300-manganese-bronze-sae-430-b>, Son Erişim Tarihi : 19.07.2019
25. İnternet : <http://www.aryametal.com/Rg-7-kizil-bronzlar.html>, Son Erişim Tarihi : 19.07.2019
26. İnternet:<https://www.poligonmuhendislik.com/blog/2016/08/01/3-boyutlu-lazer-tarama-teknolojisi/>, Son Erişim Tarihi : 19.07.2019
27. Moayedfar, M., Leman, Z., Mirabi, H. ve Baharudin, B.T.H.T. (2013). The Effect of Forming Parameters on the Sheet Stretch in Incremental Sheet Forming (ISF) process on CNC Lathe Machine, *Advanced Materials Research*, 634-638, 2894-2898.

EKLER

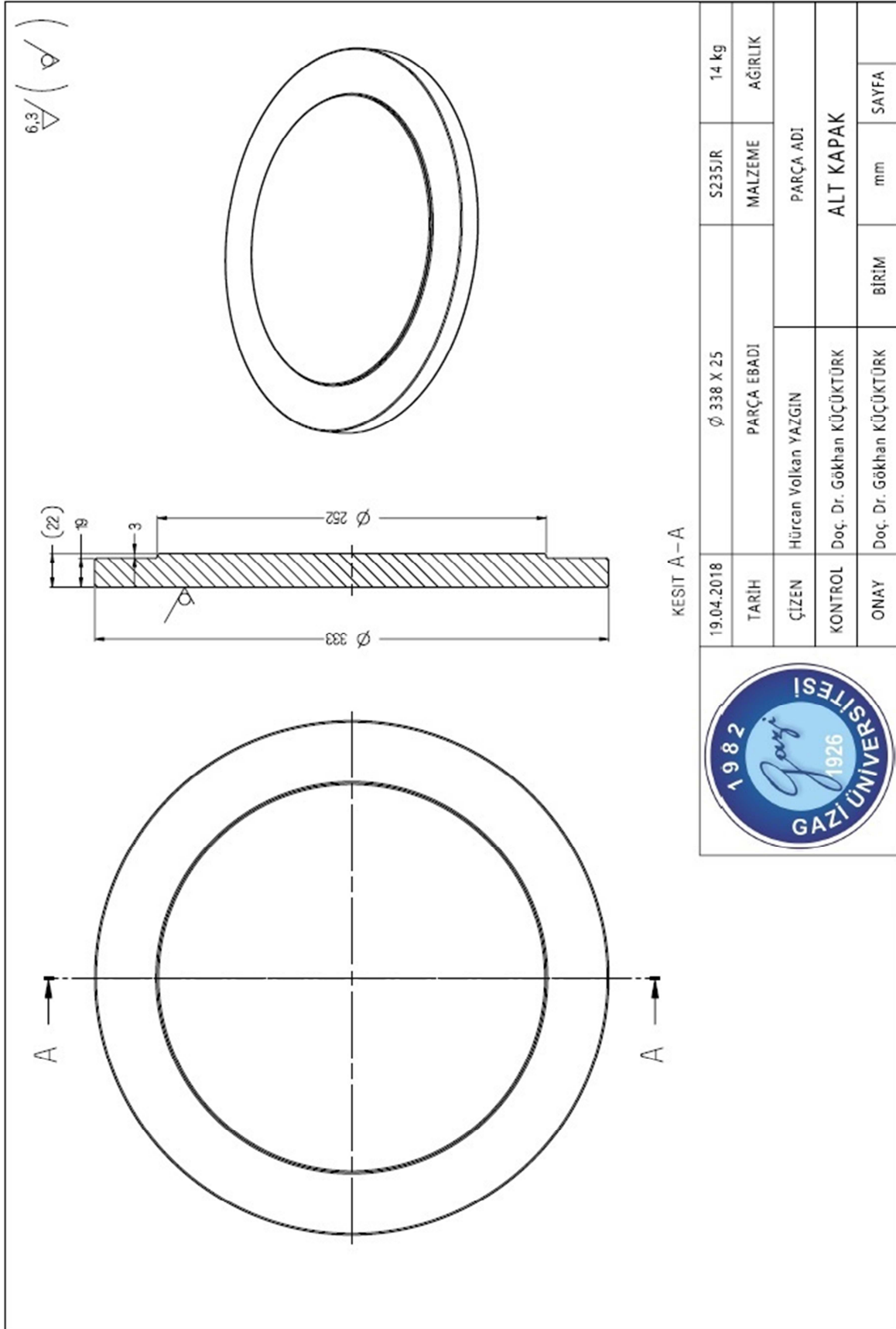
EK-1. Bağlama aparatı imalat resimleri



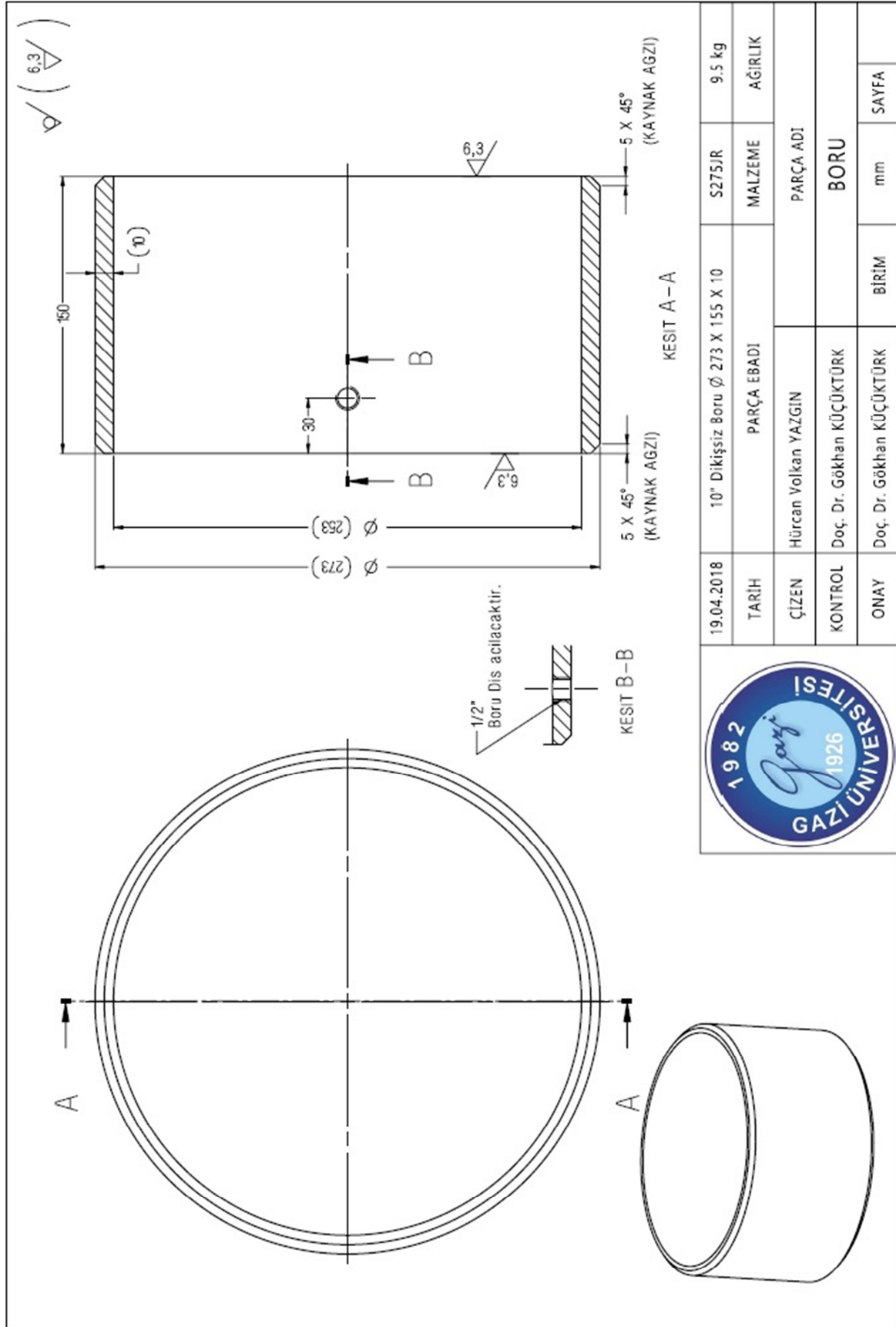
EK-1. (devam) Bağlama aparatı imalat resimleri



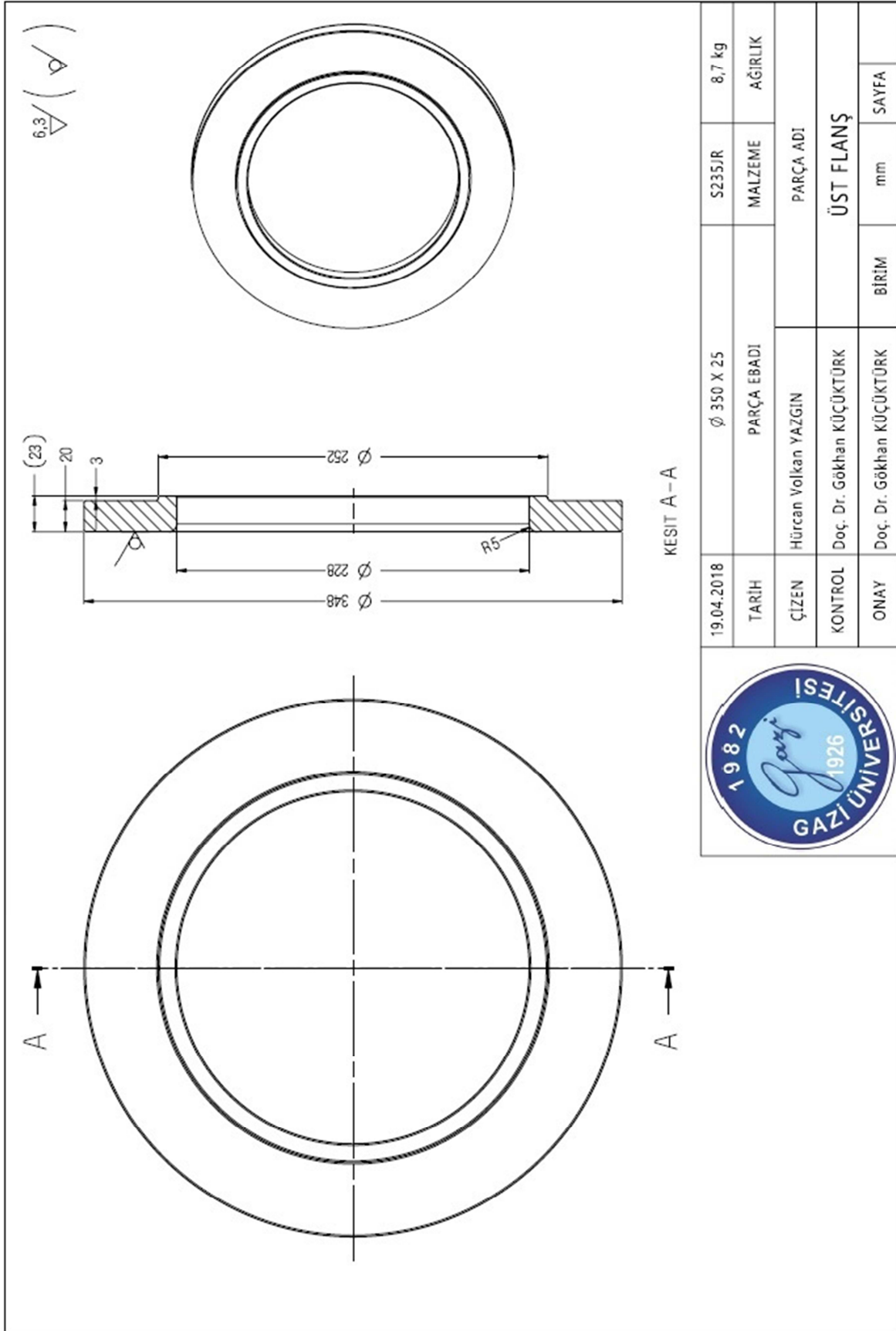
EK-1. (devam) Bağlama aparatı imalat resimleri



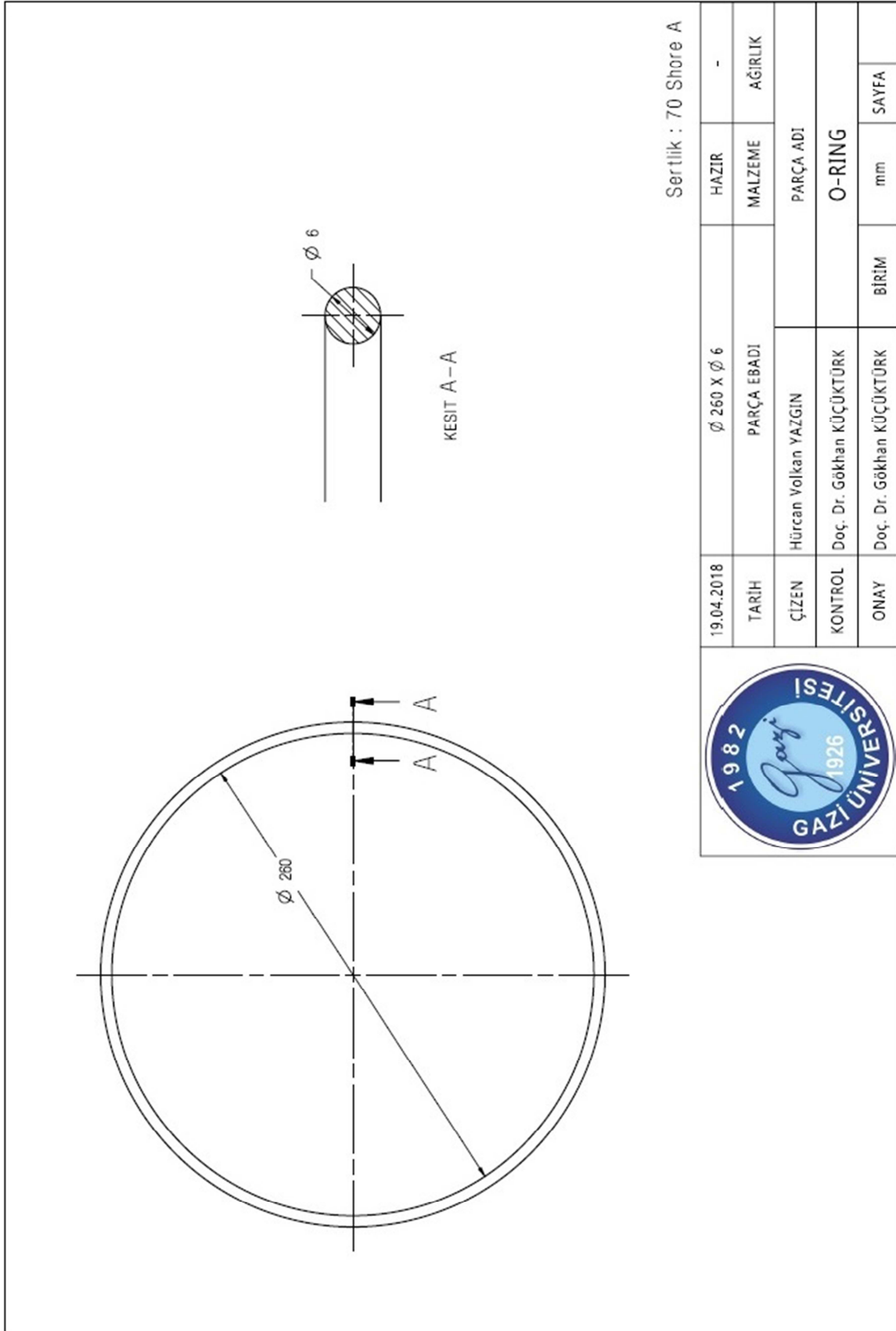
EK-1. (devam) Bağlama aparatı imalat resimleri



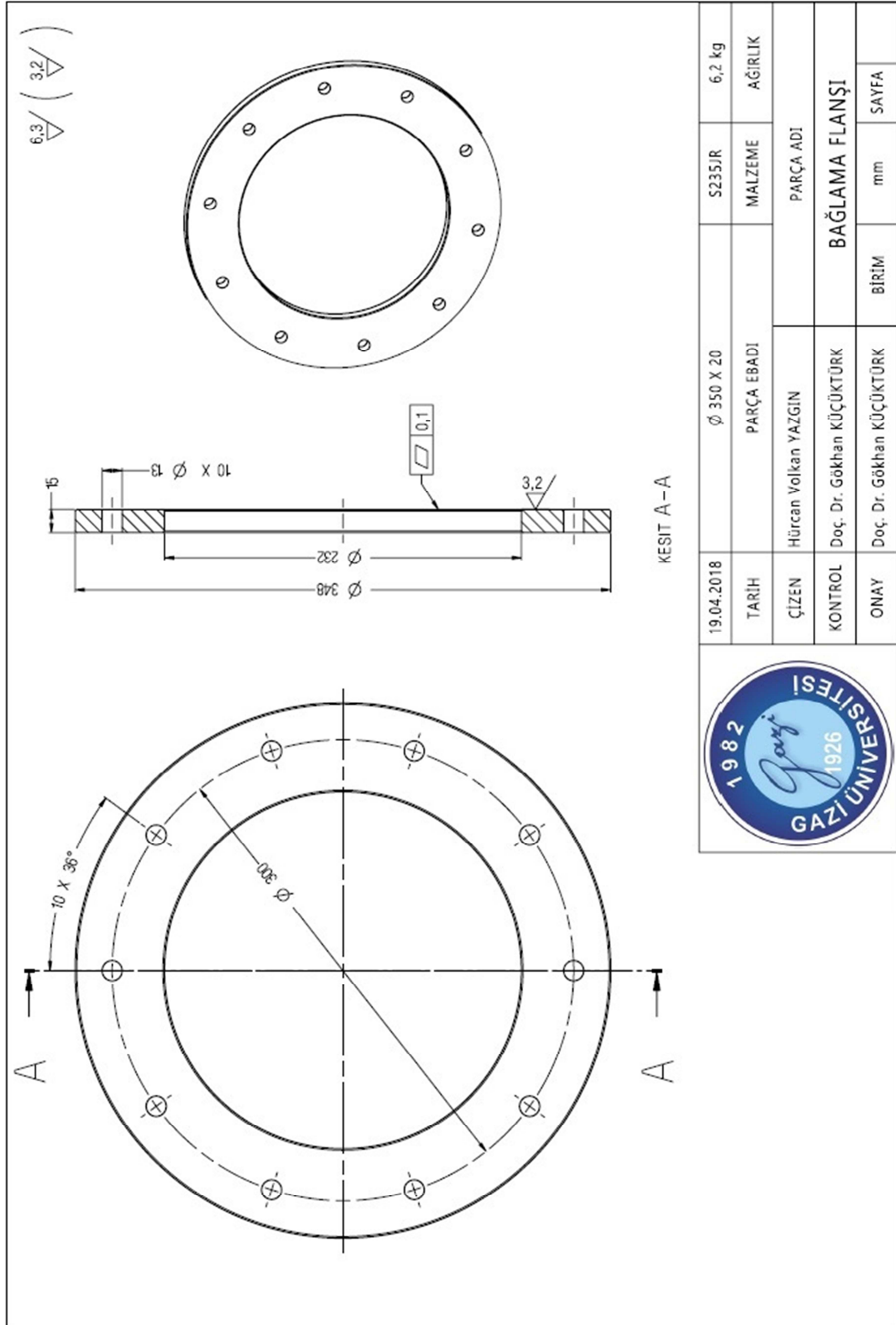
EK-1. (devam) Bağlama aparatı imalat resimleri



EK-1. (devam) Bağlama aparatı imalat resimleri



EK-1. (devam) Bağlama aparatı imalat resimleri



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YAZGIN, Hürcan Volkan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 12.01.1981, Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (506) 903 11 75
E-mail : hurcanvyazgin@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2005
Lise	Cumhuriyet Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016 - Halen	Pİ MAKİNA	Uzman Ar-Ge Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Klasik gitar, Kick-Boks.



GAZİ GELECEKTİR...