BÜKME KALIPLARINDA S235JR MALZEMENİN GERİ ESNEME MİKTARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mustafa ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2011
ANKARA

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mustafa ÖZDEMİR

BÜKME KALIPLARINDA S235JR MALZEMENİN GERİ ESNEME MİKTARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa ÖZDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2011

ÖZET

Bükme işlemi sac metal kalıpçılığının önemli uygulama alanlarından bir tanesidir. Bükme işlemlerinde ürünün istenilen açıda elde edilmesi son derece önemlidir. Bükülen parçadaki arzu edilen açı ölçüsünü elde edebilmek için geri ve ileri esneme miktarlarının bilinmesi gerekmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada 3 grup deney yapılmıştır. Birinci olarak, farklı kalınlıklardaki (3, 4, 5 ve 6mm) S235JR sac malzemeler için 30°, 60° ve 90°'lik bükme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, her bir kalınlık ve açı değeri için malzemeler soğuk, menevişlenmiş ve normalize edilmiş olarak bükülmüştür. Bunun yanında, bükme işlemleri zımba parça üzerinde 30 s bekleyerek ve hiç beklemeden direk uzaklaştırılarak gerçekleştirilmiştir. İkinci olarak, 4 mm kalınlığındaki S235JR malzemeler beş farklı yarıçapa sahip 90º'lik zımba ile bükme işlemi yapılmıştır. Bu malzemeler soğuk, menevişlenmiş ve normalize edilmiş olarak bükme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Üçüncü olarak, 4 mm kalınlığındaki S235JR malzemeler 30 dak menevişleme süresinde bekletilmiştir. Bu malzemeler, yarıçapı 6 mm olan zımba ile büküldüğünde ileri ve geri esneme miktarlarında meydana gelen farklılıklar incelenmiştir.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, S235JR sac malzemelerin 30 dak menevişleme süresinde ideal büküm açısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bütün kalınlıklarda ve bükme açılarında normalize işlemi uygulanan malzemelerin ileri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir. Farklı zımba yarıçaplarında, S235JR malzemede, zımba uç yarıçapı arttıkça ileri esneme miktarı azalmaktadır. 30º'lik bükme işleminde sac kalınlığı artarken, ileri esneme miktarı artmaktadır. 60º ve 90º'lik bükme işlemlerinde sac kalınlığı artarken, ileri esneme miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : **708.3.028**
Anahtar Kelimeler : **Bükme Kalıpları, geri esneme, ileri esneme**
Sayfa Adedi : **105**
Tez Yöneticisi : **Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK**

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SPRINGBACK OF S235JR SHEET METALS WITHIN BENDING DIE

(M. Sc.Thesis)

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

January 2011

ABSTRACT

The bending process is one of the important process in sheet metal processings. Obtaining the product with desired angles in bending processes is very important. In order to obtain the desired angle value on the bent part, it is necessary to know the values of springback on springforward.

In this experimental study, firstly, 30º, 60º and 90º bending processes were caried out for S235JR materials with diffrent thicknesses (3, 4, 5 and 6 mm). The materials which were cold, tempered and normalized were bent for each angle and thickness. Moreover, bending processes were performed without waiting and with waiting the punch on the part 30 s Secondly, S235JR materials with 4 mm thickness were bent with five different punch radius. Moreover, materials which were cold, tempered and normalized were bent for 90º bending process. Thirdly, S235JR materials with 4 mm thickness were tempered in 30 min. After bending these materials with a punch having 6 mm radius, the differences between springback and springforward values were investigated.

At the end of the experiments, When tempering time of S235JR sheet metal increased, ideal bending angle was obtained. It was determined that normalisation process increased springforward for all thicknesses

and bending angles. Bending process were performed with punches having different and radius. When punch and radius increased, the springforward value decreased for S235JR material. When sheet metal thickness increased at the 30º bending process, was increased springforward values. In the 60º and 90º bending processing, When sheet metal thickness enhanced, springforward values decreasing was determined according to experimental results.

Scientific Code : 708.3.028
Key Words : Bending die, springback, springforward
Page Number : 105
Adviser : Asist. Prof. Dr. Hakan DİLİPAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanın Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'a, yine kıymetli bilgilerinden faydalandığım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e ve çalışmalarımda emeği geçen Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR'e, Yrd. Doç Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ'a, Doç. Dr. Bülent BOSTAN'a ve çalışmalarım esnasında deneyleri yapmış olduğumuz EFOR MAKİNA Sanayi ve Dış Tic. Ltd. Şti.ne, Şirket Müdürü Kasım YÜKSEL'e, Muammer YILMAZ'a ve tecrübelerinden yararlandığım fabrika müdürü Ali MÜFETTİŞOĞLU'na, Halit Kıvanç'a ve arkadaşlarım Sadullah UĞUR, Halit DEMİRBİLEK ve Abdulmecit YETİŞ'e, beni büyütüp bugünlere getiren anne ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.. ..... İv

ABSTRACT ..... Vİ

TEŞEKKÜR..... Viii

İÇİNDEKİLER ..... İx

ÇİZELGELERİN LİSTESİ..... xiii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiv

RESİMLERİN LİSTESİ..... xvi

SİMGELER VE KISALTMALAR xvii

1.GİRİŞ 1

2.LİTERATÜR TARAMASI..... 4

3. BÜKME VE BÜKME KALIPLARI..... 12

3.1. Bükme..... 12

3.2.Bükme Çeşitleri..... 12

3.2.1. Bükme..... 13

3.2.1. Kenar bükme..... 13

3.2.3. Katlama ve kenet bükme 13

3.2.4. Kıvırma bükme..... 14

3.2.5. Oluklama bükme..... 14

3.2.6. Kabartma bükme..... 14

3.3.Bükmede Uzama Gerilimleri 15

3.4. Basılma Gerilmeleri..... 16

Sayfa

3.5. Tarafsız (Nötr) Eksen 17
4. GERİ ESNEME 19
4.1. Bükmede Geri Esnemenin Nedenleri ve Çareleri 20
4.1.2. Geri esneme miktarına etki eden faktörler 20
4.2. Geri esneme miktarının giderilmesi 23
4.3. Bükülecek Parçanın Hadde Yönünün Önemi ve Belirlenmesi 24
4.4. Bükme Açısının Tespiti 25
4.4.1. Bükme yarıçapının belirlenmesi 26
4.4.2. Bükme boşluğun bulunması 27
4.3. Bükme Kuvvetinin Bulunması 27
5. ÇELİK MALZEME ÖZELLİKLERİ VE ISIL İŞLEMLER 29
5.1. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Çelikler 29
5.2. Karbon Çelikleri 29
5.2.1. Düşük karbonlu çelikler 30
5.2.2. Orta karbonlu çelikler 30
5.2.3. Yüksek karbonlu çelikler 31
5.3. Çeliklerin Tabi Tutulduğu Isıl İşlemler 31
5.4. Sertleştirme İşlemleri 32
5.5. Menevişleme İşlemi 32
5.6. Yumuşatma İşlemi 33
5.7. Gerilim Giderme İşlemi 33
5.8. Yüzey Sertleştirme işlemleri 33
5.8.1. Sementasyon işlemi 34

Sayfa

5.8.2. Nitrürleme işlemi 34
5.9. Özel Isıl İşlemler (Sıfır Altı İşlemi) 35
5.10. Sertleştirme ve Meneviş İşleminin Yapılış Amacı 35
5.11. Malzeme Soğutma Ortamları 35
5.11.1. Yağda soğutma 36
5.11.2. Suda soğutma 36
5.11.3. Havada soğutma 37
5.11.4. Gaz (Azot, Hidrojen, Helyum) 37
5.12. Alaşım Elementlerinin Çelik Yapısına Etkisi 38
6. MATERYAL VE METOT 44
6.1. Malzeme 44
6.1.1. Deney malzemesi 44
6.1.2. Deney malzemelerinin hazırlanması 44
6.1.3. Deneysel çalışmada kullanılan bükme kalıbı 46
6.2. Bükme Kalıbının Tasarımı ve Hesapları 47
6.2.1. Diğer kalıp elemanlarının hesabı 48
6.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Makine ve Cihazlar 50
6.3.1. Sac kesme makası 50
6.3.2. Sıcaklık ölçüm cihazı 50
6.3.2.Hidrolik pres 51
6.3.3.Tavlama fırını 52
6.4. Metot 53
7. DENEY SONUÇLARI 57

Sayfa

7.1. 30º'lik Bükme Deneyleri 57

7.2. 60º'lik Bükme Deneyleri 60

7.3. 90º'lik Bükme Deneyleri 62

7.4. Farklı Zımba Yarıçaplarıyla 90º Bükme Deneyleri.....63

7.5. R 6 mm Zımba Yarıçaplarıyla 90º Bükme Deneyleri 65

7.6. Değerlendirme 67

8. SONUÇ VE ÖNERİLER 71

8.1. Deney Sonuçları.....71

8.2. Öneriler 74

KAYNAKLAR…….....76

EKLER…….. 80

ÖZGEÇMİŞ…….. 105

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Malzeme cinsine ve kalınlığına göre bükme kavis yarıçaplarının en küçük değerleri 26

Çizelge 4.2. Tek taraflı kalıp boşluğu değerleri 27

Çizelge 5.1. Alaşım elementlerinin çelik yapısına faydaları 42

Çizelge 6.1. Sac malzemelerinin ağırlıkça kimyasal kompozisyonu.....44

Çizelge 6.2. S235JR sac malzemelerinin menevişleme süreleri.....45

Çizelge 6.3. Numunelerin HRB sertlik değerleri.....46

Çizelge 6.4. Makas Çeliğinin (Ç1390) Kimyasal Kompozisyonu.....46

Çizelge 6.5. S235JR sac malzemeler için hesaplanan bükme kuvvetleri.....47

Çizelge 6.6. Kalıp elemanlarına ait ölçüler.....48

Çizelge 6.7. Farklı kalınlıktaki sac malzemeler ve 4 mm için alınan zımba uç yarıçapları 49

Çizelge 6.8. Extech lazerli sıcaklık ölçme cihazının teknik özellikleri 50

Çizelge 6.9. Hidrolik presin genel özellikleri.....51

Çizelge 6.10. Bükme işleminde kullanılan parametreler 55

Çizelge 7.1. İleri esneme artış oranları 59

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Sac malzemede meydana gelen gerilmeler 7

Şekil 2.2.Pot çemberi ile sac malzemeye şekil verme işlemi 7

Şekil 3.1. Bükmeyle ilgili özellikler.....12

Şekil 3.2. Bükme İşleminin Sınıflandırılması 15

Şekil 3.3. Uzama ve Basma Kuvvetleri 16

Şekil 3.4. Gerilimlerin yönleri 16

Şekil 3.5. Bükme işlemi esnasında kesit değişimi. 17

Şekil 3.6. Kalıplanan parça ve tarafsız eksen 17

Şekil 3.7. Sac malzeme kalınlığına ve kavis yarıçapına bağlı olarak tarafsız eksenin yer değiştirmesi tarafsız eksen 18

Şekil 4.1. Geri esneme kuvveti ve geri esneme miktarı. 20

Şekil 4.2. Bükme işlemi operasyon sırası ve geri esneme 21

Şekil 4.3. Bükme kavis yarıçaplarının sac malzeme kalınlığına oranı ve geri esneme faktörü arasındaki bağıntı diyagramı 22

Şekil 4.4. Bükme açısını arttırma yöntemi.....23

Şekil 4.5. Germe ve ezme yöntemlerinin uygulanması 24

Şekil 4.6. Şerit malzemenin haddelenme yönü ve bükme esnasında dikkat edilecek bükme açısı.....24

Şekil 4.7. Haddeleme yönüne dikkat edilmeden bükülen parça üzerinde oluşan çatlaklar 25

Şekil 4.8. Bükme açılarının belirlenmesi. 25

Şekil 4.9. V bükme işlemi ve kuvveti 27

Şekil 6.1. 30º, 60º ve 90º'lik bükme işlemi için alınan yarıçap değerleri 49

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.1. Farklı kalınlıktaki ve ısıl işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş S235JR numunelerin, 30º'lik bükme işlemlerinde elde edilen ileri esneme miktarı 58

Şekil 7.2. Farklı kalınlıktaki, ısıl işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş S235JR numunelerin, 60º bükme işlemlerinde elde edilen ileri esneme miktarı.....60

Şekil 7.3. Farklı kalınlıktaki S235JR sac malzemenin 90º'de ısıl işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş numune bükme işlemlerinde elde edilen ileri esneme miktarı.....62

Şekil 7.4. Farklı zımba yarıçapları ile S235JR sac malzemenin 90º'de ısıl işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş numune bükme işlemlerinde elde edilen deneysel veri grafiği 64

Şekil 7.5. 4 mm, S235JR sac malzemelerin 90º'de yarıçapı 6 mm olan zımba ile 30 dak menevişleme süreside elde edilen ileri esneme miktarı.....66

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 6.1. Bükme işleminde kullanılan Hidrolik Pres 51

Resim 6.2.Ölçme işleminde kullanılan profilometre 52

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklama**
CuBe	Bakır Berilyum
C	Karbon
Si	Silisyum
Mn	Mangan
P	Fosfat
S	Kükürt
Mg	Magnezyum
Cr	Krom
Co	Kobalt
Ni	Nikel
Mo	Molibden
Cu	Bakır
Ti	Titanyum
V	Vanadyum
Nb	Niyobyum
W	Tungten
K	Geri esneme faktörü,
R_1	Parçanın bükme kavis yarıçapı, mm
R_d	Dişi kalıp kavis yarıçapı, mm
α	Parçanın bükme açısı, Derece
α_d	Dişi kalıp açısı, Derece
T	Sac malzeme kalınlığı, mm
P_b	V bükme kuvveti, N
P_e	Son bükme kuvveti, N

B	Sac malzeme genişliği, mm
S	Sac malzeme kalınlığı, mm
σ_b	Malzeme çekme mukavemeti, Mpa
W	Kalıp ağzı açıklığı, mm
C	W / T oranına bağlı bir katsayı
Ac3	Üst kritik sıcaklığı

Kısaltmalar

Bek.	Bekleyerek
CAE	Computer-Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Müh.)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
DNC	Direct Numerical Control (Doğrudan Sayısal Denetim)
FEM	Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
KYM	Kübik Yüzey Merkezli
Menev.	Menevişleme
Norm.	Normalizasyon
NY	New York
Univ.	University (Üniversite)
USA (ABD)	United States of America (Amerika Birleşik Devletleri)

1.GİRİŞ

Endüstriyel alanda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, özdeş olan pek çok sayıda ve seri halde üretilmesi gereken parçalar, kullanım alanlarına göre sac metal veya hacim kalıpları kullanılmak suretiyle üretilmektedir. Ülkemizde de kalıpçılığın önemi her geçen gün biraz daha artmaktadır.

Ekonomik yönden gelişmiş ülkelerle rekabet edebilmek için, günlük hayatta ve endüstrinin bütün alanlarında kullanılan ürünlerin, düşük maliyette üretilmesinde sac metal kalıpçılığının önemi büyüktür. Sac metal kalıplarıyla, talaş kaldırma işlemi yapılmadan sac malzemelerden istenilen boyutlarda ve profildeki parçalar seri olarak üretilebilmektedir.

Kalıpla üretilen bütün parçalar; endüstride mutfak eşyası, elektrik ve elektronik parçalar, otomotiv parçaları ve benzeri endüstriyel ürünlerde kullanılmaktadır. Endüstride, çatal, kaşık, kepçe, tabak, tencere, süzgeç ve benzeri tüm parçalar, sac metal kalıplarıyla üretilmektedir. Radyo, televizyon ve benzeri elektronik cihazların pek çok parçaları, elektrik ark kaynak makinesi, elektrikli ısıtıcılar, elektrik motoru sac paketleri ve benzeri parçalar, yine sac metal kalıplarıyla üretilmektedir. Otomotiv endüstrisinde kullanılan pek çok parçada yine sac metal kalıplarıyla üretilmektedir. Örneğin; bir otomobilin tüm kaporta işlemleri, ön ve arka tamponları, aynı ölçüler içerisinde kalıplanabilmekte ve aynı model otomobillere kolayca monte edilebilmektedir.

Sac metal kalıpçılığının en önemli uygulama alanlarında biriside bükme işlemleridir. Bükme, sac metal malzemelere işleme uygun bir kalıp aracılığıyla bir şekil verme işlemidir. Günlük hayatta kullanılan eşyalara bakıldığında bükme kalıpları ile sac malzemelere şekil verme işleminin ne kadar yaygın olarak kullanıldığını anlamak mümkündür. Örneğin; otomotiv endüstrisinde; şasi, krank mili, damper, akis kovanı yapımında, makine sanayisinde; makine gövdesi, sanayi tipi aspiratör, vagon yapımında, çelik yapılarda ise; çatı, köprü, kiriş vb. işlerde bükme kalıpları kullanılmaktadır.

Bükme işlemi soğuk ve sıcak bükme işlemi olmak üzere ikiye ayrılır. Metalik malzemeler soğuk olarak bükülebildiği gibi, sıcak olarak da bükülebilmektedir. Sıcak olarak bükülmüş malzemelerde görülen içyapılardaki kalıcı bozukluklar meydana gelmez. Çünkü, bükme işlemi için tavlanmış gerecin kristal yapısı direncini yitireceğinden bükme kuvvetlerine karşı çok büyük zorluk göstermez ve kristal grupları kolaylıkla yer değiştirebilir [1]. Bu yönüyle sıcak olarak iş parçalarının bükülmesi sıkça başvurulan bir işlemdir. Bir iş parçası tavlandıktan sonra bükülüyorsa, yapılan bu işlem sıcak bükme işlemi olarak adlandırılmaktadır.

Bükme işleminde malzemelerin elastikiyet sınırı aşılmakta ancak akma gerilmeleri aşılamamaktadır. Bu sebepten dolayı malzeme orijinal esnekliğinin bir kısmını muhafaza etmektedir. Malzeme üzerine uygulanan yük geri alındığı zaman malzeme eski halini almaya çalışmakta ve bükülen malzeme bir miktar esneyerek geriye doğru açılmaktadır. Malzemenin bükme işleminden sonra açılmasına geri esneme denilmektedir.

Sac metal endüstrisinde, özellikle sac bükme işleminde, geri esneme çok önemli bir etkiye sahiptir. Geri esnemede yükün kalkması esnasında elastik düzelmenin öneminden dolayı en büyük etken ölçü hassasiyetidir. Ayrıca, belirli şartlar altında son büküm açısı orijinal büküm açısından küçük olabilir. Bu durum açının büyümesi veya küçülmesi diye adlandırılmaktadır [2].

Bükmede geri ve ileri esneme çalışmaları incelendiğinde, farklı kalınlıktaki sac malzemelerin, farklı açılardaki geri ve ileri esneme miktarlarını veren grafiklerin yetersiz olduğu görülmektedir [3]. Bu yüzden kalıp tasarımcısı ve imalatçısı kalıba verilecek açıyı ya hesaplama ya da deneme yanılma yoluyla bulmaya çalışmaktadır. Bilindiği üzere bu yöntemler hem zaman kaybına, hem de maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Bükülecek malzemenin cinsine göre geri ve ileri esneme miktarlarının belirlenmesi, kalıp imalatı aşamasında bu geri esneme değerlerini büküm açısından çıkararak veya ileri esnemeyi bükme açısıyla toplayarak, uygun kalıp tasarımı ve imalatı yapılmasına yardımcı

olacaktır. Bu durum malzeme israfını azaltmakta ve deneme yanılma yöntemi ile geçen sürenin kazanılmasını sağlamaktadır.

Yapılan bu deneysel çalışma ile, geri ve ileri esneme konusundaki eksikliği gidermek amaçlanmıştır. Enerji sektöründe bükme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan S235JR (1.0038) sac malzeme; 4 farklı kalınlıkta, 3 farklı bükme açılarında ve 6 farklı zımba uç yarıçapında bükülmüş, geri ve ileri esneme grafikleri elde edilerek literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

Bükme işleminde kullanılan deneysel malzemeler, ısıl işlemsiz, normalizasyon ve menevişlenme işlemine tabi tutularak bükme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sonucunda geri esneme miktarlarının bükme parametrelerine göre değişimi deneysel olarak tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmanın yapılabilmesi için, 30º, 60ºve 90º′lik bükme kalıplarının tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bükme uçyarıçapının etkisinin belirlenebilmesi amacıyla, erkek zımba uç yarıçapı R 2 mm, R 3 mm, R 4 mm, R 5 mm ve R 6 mm olarak imal edilerek, bu uç yarıçaplarının geri ve ileri esnemeye olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada S235JR (1.0038) sac malzeme kullanılmış yaklaşık olarak 1070 adet deney yapılmıştır. Her bir seride 10'ar adet deney yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, bükme zımbasının, şekil verme işleminden sonra sac malzeme üzerinden bekletilmeden kaldırılması ve şekil verme işlemi esnasında sac malzeme üzerinde 30 s bekletilmesi neticesinde gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışma ile bükme işlemi sırasında, çalışma şartlarına bağlı olarak, geri ve ileri esneme miktarlarının tespit edilmesi, zımba açılarının hesaplanması ve istenilen açıda bükme işleminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

2.LİTERATÜR TARAMASI

Bükme işleminde geri esnemenin etkisini incelemek amacıyla bir kaynak taraması yapılmıştır. Kaynak taraması neticesinde son yıllarda bu konuda birçok araştırma yapıldığı, geri esnemenin sac metal endüstrisinde önemli bir yer tuttuğu, geri ve ileri esneme miktarının önceden tahmin edilmesi ürün hassasiyeti açısından son derece önemli olduğu tespit edilmiştir. Literatürde, geri esnemeyi tahmin edebilmek amacıyla çeşitli matematiksel modellerde geliştirilmiştir [4-8]. Bazı araştırmacılar da, geri ve ileri esneme değerlerini en aza indirebilmek için kalıp ve malzeme ikilisinin fonksiyonlarını ele almışlar ve en ideal kalıp ölçülerini ortaya çıkarmak için araştırmalar yapmışlardır [1,3,6]. Bazı araştırmalarda ise, geri ve ileri esnemeye etki eden bütün fonksiyonlar ortaya konmuş ve bunların nasıl elimine edileceği tespit edilmiştir [1,4,8].

Geri ve ileri esneme, uygun kalıp tasarımıyla en aza indirilebilmekte, ancak tamamen yok edilememektedir. Geri ve ileri esnemeyi en aza indirmek, kalıp tasarımında en önemli sorunlardan birisidir. Geri ve ileri esneme değerlerinin önceden tam olarak tahmin edilememesi, uygun şekillendirme parametrelerini sağlamak amacıyla pek çok deneme yapılmasını gerektirecektir. Bu durumda ise, zaman, malzeme israfı ve en önemlisi maliyet doğrudan artacaktır. Literatürde geri ve ileri esneme üzerine yapılan araştırmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Tekiner ve Özdemir, serbest bükme kalıplarında geri esnemenin deneysel olarak tespiti ve sonlu elemanlar yöntemi ile tahmini üzerine çalışma yapmıştır. Geri esneme miktarlarının belirlenebilmesi için modüler serbest V bükme kalıbı tasarlanıp imal edilmiştir. Dört kalınlık, sekiz farklı bükme açısı ve her açı da 3 farklı radyüs değerinde ve her bir numuneden en az 3 adet bükme işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretilen parçaların ölçü tamlığı optik projeksiyon cihazı ile elde edilerek geri esneme miktarlarının tespit edilmesi ve bu değerlerin bilgisayar destekli sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan Marc-Mentat programında yapılan çözümlemelerle karşılaştırılması yapılmıştır [4].

Tekaslan ve Şeker, yapmış oldukları deneysel çalışmada, bükme kalıplarında geri esnemenin tespiti hakkında bir çalışma yapmışlardır. Geri esneme miktarlarının belirlenebilmesi için, modüler bir “V bükme” kalıbı tasarlanarak, çok yaygın olarak kullanılan bakır, pirinç, paslanmaz çelik malzemelerin farklı bükme açılarındaki geri esneme miktarları tespit edilmiş ve bu özelliklere bağlı geri esneme grafikleri elde edilmiştir. Farklı bükme metotlarının geri esnemeye etkileri ve elde edilen grafiklerin kullanılabilirliği de tartışılmıştır. Ayrıca, zımbanın bükülen malzeme üzerinde bekletilmesinin geri esnemeyi azalttığı, artan malzeme kalınlığının ve bükme açısının geri esneme değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir [5].

Song ve arkadaşları, “kenar bükme işleminde geri esnemenin tahmin edilmesi üzerine etkili modeller” adı altında kenar bükme işlemi üzerine bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, analitik tahmin metodu, sayısal simülasyonlu sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ve mesh free yöntemi kullanılmıştır. Deney ile ilgili basit problemler hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Sayısal analizler göstermiştir ki; FEM 2 boyutlu katı modeldeki bilgiler ile 3 boyutlu meshfree’deki kodlardan tahmin edilen sayısal analizlerden daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Kinematik sertleşme kanunu tarafından tanımlanan malzeme özellikleri, izotropik sertleşme kanunun verdiği özelliklere göre, geri esnemenin tahmininde daha iyi sonuçlar vermiştir. En iyi metot olan meshfree yöntemi çok daha fazla çeşitlilik göstermesinden dolayı bu yöntemin kullanılması tercih edilmiştir [6].

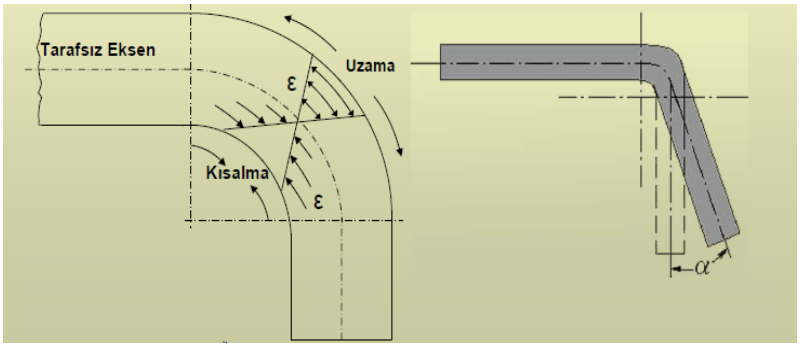
Bakhshi ve arkadaşları, CK67 (DIN 17222) malzeme üzerinde geri esnemeyi incelemek üzere deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. U ve V bükme kalıplarında deneyler yapılarak bükme parametrelerin etkisi araştırılmış ve sayısal simülasyon gerçekleştirilmiştir. CK67 sac malzeme, 0º, 45º ve 90º haddeleme yönünde kesilerek, bükme işlemi sonucunda meydana gelen ileri ve geri esneme miktarları incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, V bükme işleminde, zımba uç yarıçapı R 2 mm ve R 3 mm için ileri esneme meydana geldiği görülürken, zımba uç yarıçapı R 3 mm ve R 4 mm için geri esneme

meydana geldiği tespit edilmiştir. V ve U bükme işleminde CK67 (DIN 17222)'nin geri ve ileri esneme miktarı üzerinde zımba uç yarıçapı, sac anizotropisi ve sac kalınlıklarını kapsayan önemli parametrelerin etkisi sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir [2].

Thankia ve arkadaşları yapmış oldukları deneysel çalışmada, bükme işleminin başarılı ve doğru olmasına bağlı olarak, malzeme özellikleri kadar çalışma parametrelerinin de etkili olduğunu vurgulamıştır. Sac bükme işleminde geri esnemenin, gerilme sertleşmesinden kaynaklanan özelliklerinin fonksiyonu olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle, geri esnemeyi düşürmek için genellikle kullanılan deneme yanılma yöntemi bu çalışmalar için çok pahalı olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, V bükme işlemi üzerinde malzeme özelliklerinin etkilerini, bilgisayar algoritması ve malzeme özellikleri ile uygun bükme açısını elde etmek amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir [7].

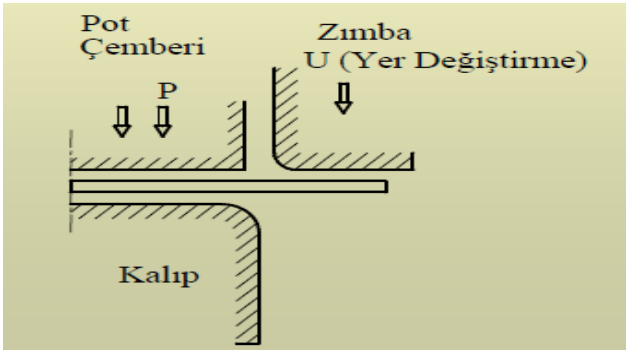
Tiryaki ve arkadaşları yapmış oldukları deneysel çalışmada, sac metalleri bükme işleminde geri esneme açısının yapay sinir ağları ile tahmini için sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS ile bir simülatör geliştirilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar matlab'da kullanılarak geri esneme açısının tahmini yapılmıştır. Çalışmalarında, bükme işleminde farklı geometrilerde oluşan geri esneme açısının yapay sinir ağı kullanılarak tahmini amaçlanmıştır [8].

Bükme işlemi uygulanan parçanın iç yüzeyinde basma, dış yüzeyinde çekme gerilimi meydana gelir. Bu gerilmelerden dolayı iç yüzeyde kısalma, dış yüzeyde ise uzama olur (Şekil 2.1). Çekme ve basma gerilimi bükülen parçanın tarafsız ekseni üzerinde sıfır (0) olmakta ve eksen civarında elastik bant oluşmaktadır. Saca uygulanan kuvvet kaldırıldığında elastik gerilmeler nedeniyle terse bir hareket oluşarak sacın bir miktar geri esnemesine neden olur [8].



Şekil 2.1. Sac malzemede meydana gelen gerilmeler [8]

Sonlu Elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS programında bükme işleminin benzetimi ve analizleri yapılarak elde edilen veriler YSA'nın eğitimi için kullanmışlardır. Bükme işleminde pot çemberi ile bastırılarak tutulan sac parçaya zımba ile şekil verilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2.Pot çemberi ile sac malzemeye şekil verme işlemi [8]

Thiprakmas ve arkadaşları; sonlu eleman metodu kullanılarak ileri esneme fenomeni üzerinde araştırmalar yapmıştır. Bu çalışmaya göre, bükme işlemi çoğu endüstride sac şekillendirmede kullanılır. Bükme işleminde esas problemlerden birisi sac malzeme üzerinde meydana gelen geri esneme ve ileri esnemedir. Birçok araştırmacı geri esneme problemi üzerinde çalışmıştır. Ancak, ileri esneme problemi nadiren araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada, ileri esneme fenomeni V bükme kalıplarda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. FEM simülasyon sonuçları göstermiştir ki, gerilim dağılımları ve

malzeme akış analizleri üzerinde, ileri esneme fenomenini araştırmıştır. Geri ve ileri esneme fenomeni arasındaki farklılıkları açıklamıştır [9].

Leu ve Hsieh yapmış oldukları deneysel çalışmada, V bükme işleminde geri esnemenin azalması için kuvvetin atılmasının etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Geri esneme, metal şekillendikten sonra meydana gelen bir elastik geri dönmedir. Bu durum zımba ucunu tam olarak etkilemesi kaçınılmazdır. Bu çalışmada, V kalıp bükme işlemlerinde geri esnemenin azalması üzerinde gücün atılmasının etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmanın vurguladığı, geometrik parametreler ve malzeme özellikleri birleşmesiyle elde edilen basit bir analiz üzerinde yük atılarak geri esnemenin düşmesine sebep olan miktarı tahmin etmek için geliştirmiştir. Büküm açısı, sürtünme katsayısı, kalıp genişliğiyle kalınlığının oranı, zımba yarıçapı, gerilim-serleşme katsayısı, anizotropik özelliklerin bir fonksiyonu olarak türetilmiş ve geri esnemenin azalmasını tahmin etmede bir ölçme olarak kullanılmıştır [9]

Chan ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada ‘’V bükme kalıplarında sac metal şekillendirme işleminde, geri esnemenin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi’’ üzerinde çalışmışlardır. Yapılan deneylere göre, geri esneme, dişi kalıbın V bölgesinde ve kalıp uç kısmında meydana gelmektedir. Farklı zımba parametreleri, örneğin zımba yarıçapı, zımba açısı ve kalıp uç yarıçapın geri esneme üzerinde etkileri üzerinde çalışılmıştır. Birde, geri esneme üzerinde zımba ölçüsünün etkisi üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yazılımlar; Patran, Abaqus/Standard ve Abaqus/CAE’dır. Patran kalıbın sert yüzeyleri ve sac metalin düğüm yerlerinin modellenmesinde kullanılmıştır. Abaqus/Standard zımba işleminin simülasyonlarında kullanılmıştır. Sonuçların analizinde ise, Abaqus/CAE kullanılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, zımba uç yarıçapı ve zımba açısının artması geri esneme miktarını azaltmaktadır. Geri esneme kalıp uç yarıçapı, zımba açısı ve zımba yarıçapına bağlı olduğu yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir [10].

Kwok ve Lee yapmış oldukları deneysel çalışmada, bükme işlemi esnasında esnek metal sac üretim sistemlerinde, malzemenin üretiminden kaynaklanan, mekanik özelliklerindeki farklılıkları hesaba katan zeki bükme makineleri ile ilgili bir araştırma yapmışlardır [11].

Bauer ve Khodayari'nin çalışmasında, CNC'li çekme makineleri ile bükme açısını değiştirerek deneyler yapmışlardır ve malzeme kalıp parametrelerinin bulunabilmesi için matematiksel bir model ortaya koymuşlardır. Bu makine bükme açısını izleme yeteneğine sahiptir [12].

Pourboghrat ve Chu yapmış oldukları çalışmada, geri esnemenin hesaplanabilmesi için sonlu elemanlar metodu kullanmıştır. Ayrıca ters yükleme için kinematik pekleştirme kanunlarından yararlanarak, düzeltilmiş elemanların bükme gerilimi hesaplanmıştır. Sacın şekli, kavisi, gerilmesi ve kalınlığının tahmini, çeşitli sonuçlarla mukayese etmek amacıyla dikkat edilecek ilk sac-s membrane kodları ile konik model kullanılmış ve çıkan sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır [13].

Shu ve Hung yapmış oldukları çalışmada, geri esneme ve değişenler arasındaki ilişkiyi analiz etmek için sonlu elemanlar metodunu kullanarak geri esneme üzerinde çalışmıştır. Daha sonra, geri esnemeyi azaltmak ve uygun şekillendirme parametrelerini bulmak için, sonlu eleman analizi ile optimizasyon tekniğini birleştirmişlerdir. Çalışmada elde edilen çözümler deneysel verilerle mukayese edilmiştir [14].

Yuan ve arkadaşları geri esnemenin tahmin edilmesi üzerine matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışma doğrultusunda, bükme işleminden sonra malzemenin geri gelmesi üretimde sık sık tolerans dışı malzemenin oluşmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu da montaj işlemlerinde sorun çıkarmaktadır. Geliştirilen matematiksel modelde, malzemeler plastik deformasyona maruz kaldıktan sonra, yükün bırakılmasıyla malzeme içindeki gerilmelerin tekrar elastiki dağılımıyla, geri esnemeyi azaltmaya çalışmıştır [15].

Devin, serbest bükme modelinin prosesleri hakkında çalışmıştır. Sacın serbest bükmedeki hallerini modellemiş ve sacın davranışını deneysel ve matematiksel olarak incelemiştir. Elde edilen sonuçları birbiriyle karşılaştırarak tablolar halinde kullanılabilirliğini tespit etmiştir [16].

Forcellese ve arkadaşları, A231 magnezyum alaşımının sıcak ve soğuk sekilendirilmiş malzemelerinin serbest bükmedeki geri esnemelerini tespit etmiştir. Elde ettiği sonuçları grafiklerle vermiştir [17].

Sousa ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, ‘’Genetik algoritma kullanarak U ve V bükme işlemlerinde en uygun tasarım’’ üzerinde çalışma yapmışlardır [18].

Imai ve arkadaşı, malzeme özelliklerinin gerçek zamanlı belirlenerek V bükme kalıplarında yüksek tamlığın elde edilmesi üzerine çalışma yapmışlardır [19].

Ragai ve arkadaşları yapmış oldukları deneysel çalışmada, sac kalınlığı, sac anizotropisi, malzeme özellikleri, sürtünme katsayısı, zımba ucu ve ölçüsünün ileri ve geri esnemeye olan etkilerini incelemek için deneysel bir çalışma yapmıştır [20].

Branko, Josip ve Dejan yapmış olduğu çalışmada, V bükme kalıplarında St1403 sac malzemenin geri ve ileri esneme miktarlarının deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, 0.75 mm kalınlığında St 1403 sac malzeme ve zımba uçyarıçapı R2 mm ve R4 mm kullanılmıştır [21].

Yenice yapmış olduğu çalışmada, Dp600, HSLA350, FEP04 malzemelerini 2 mm kalınlığında farklı açılarda, radyuslerle ve farklı haddeleme yönlerinde bükme işlemi sonucunda geri esneme miktarını deneysel olarak incelemiş, açılara göre radyüslerin, hadde yönlerinin nasıl etki ettiği, elde edilerek geri esneme miktarının grafiklerini elde etmiştir [22].

Arslan, V bükme işleminde alüminyum sacların benzetimini yapmak ve geri esneme miktarlarını belirlemek için sonlu elemanlar analizi kullanmıştır. Analizi yapılan alüminyum sac parçaların geri esnemeyle beraber oluşan formdaki değişikliklerini sunmuştur. Geri esneme miktarları, toplam eş değer plastik gerilimleri ve Von Misses gerilmeleri gibi sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir. Çeşitli kalınlıktaki bükülmüş alüminyum parçalar için, sonlu elemanlar analizi sonuçlarıyla deneysel sonuçların iyi bir uyum içinde olduğunu tespit etmiştir [23].

Moon ve arkadaşları, alüminyum sac malzemelerin geri esneme miktarlarını azaltmak için zımba ve kalıp sıcaklığının geri esnemeye olan etkisini araştırmak amacıyla deneyler gerçekleştirmişlerdir [24].

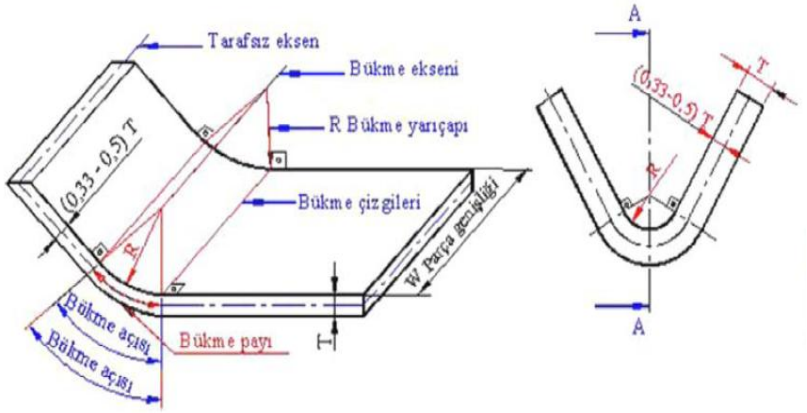
Li ve arkadaşları, V bükme kalıplarının serbest bükme işlemi sonucunda malzeme sertliğinin, geri esneme simülasyonlarına etkisi üzerine çalışma yapmıştır [25].

Yapılan çalışmalarda, sac metal kalıplarında meydana gelen geri ve ileri esneme konusunda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen bilgilerden yararlanılarak matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu matematiksel metotların amacı, uygun zımba bükme yarıçapı ve açısı bulunarak geri ve ileri esnemenin önüne geçebilmek için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bazı araştırmacılar ise, birkaç sac malzeme üzerinde geleneksel metotları kullanarak uygun zımba ve kalıp ölçüleri elde edilerek literatüre kazandırmışlardır. Bu çalışmaların ortak hedefi geri ve ileri esneme miktarlarını göz ardı edebilecek bir seviyeye indirmektir.

3. BÜKME VE BÜKME KALIPLARI

3.1. Bükme

Bükme, sac metal malzemenin belli bir eksen etrafında döndürülerek plastik deformasyona tabi olması prensibine dayanan bir şekillendirme işlemidir [6]. Diğer kalıplama işlemlerine oranla, bükme kalıplama işlemleri daha kolaydır. Bükme işlemine tabi tutulan parça, plâstik şekil değişimine uğrar. Parçanın bükme alanında üç boyutta da gerilmeler meydana gelir. Tarafsız düzlemde gerilimler sıfırdır. Tarafsız düzlemin içinde basılma dışında çekilme oluşur. Bu nedenle (W) parça genişliği içte artarken dışta azalır, tarafsız düzlemde ise sabit kalır. Bükme işleminde kalıcı plastik şekil değişimini sağlayabilmek için parça üzerindeki basma ve çekilme gerilimleri giderilmelidir. Şekil 3.1'de bükmeyle ilgili özellikler gösterilmektedir [26].



Şekil 3.1. Bükmeyle ilgili özellikler [26].

3.2.Bükme Çeşitleri

Sac malzemeye verilen şekle göre bükme;

i. Bükme,
ii. Kenar bükme,
iii. Katlama ve kenet bükme,
iv. Kıvırma bükme,

v. Olukama bükme,
vi. Kabartma bükme

işlemleri olarak gruplandırılır [26].

3.2.1. Bükme

Sac malzemelerden kesilen parçaya, istenilen şekli vermek veya dayanımını artırmak amacıyla yapılan kalıplama işlemidir. Ayrıca bükme işlemi en çok delinen, boşaltılan veya kanal açılan parçalar üzerindeki bu kısımların şekil değiştirmelerini önlemek ve yırtılmaya karşı dayanım kazandırmak amacıyla uygulanır [26].

3.2.1. Kenar bükme

Kenar bükmede, bükülen parçanın boyu uzar, buruşma ve yırtılma meydana gelebilir. Kenar bükmede meydana gelen buruşma ve yırtılma önlenebilir ancak, uzama kontrol altına alınamaz (Şekil 3.2) [26].

Kenar bükme genellikle;

i. Kenar bükme işlemine tabi tutulan parçanın kenar dayanımını artırmak,
ii. Kenar kısımlarında hafif kavis yapmak suretiyle parçanın dış görünüşünü güzelleştirmek,
iii. Nokta kaynağı veya benzeri birleştirmelerde meydana gelebilecek kaba görünümlü yüzeyleri ortadan kaldırmak amacıyla yapılır.

3.2.3. Katlama ve kenet Bükme

Katlama ve kenet bükme kalıplama işlemleri genellikle giyim eşyası sanayisinde kullanılan sac malzemeden yapılacak makine parçalarına uygulanır. Katlama, sac malzeme ucundaki çapağı giderme ve parçaya dayanım kazandırma amacıyla yapılır. Katlanan uç 180º döndürülür ve birbiri üzerine kalıplanır. Kenet

yapma ise iki ucu birleştirilecek silindir, kazan ve benzeri parçalara uygulanır (Şekil 3.2) [27].

3.2.4. Kıvırma bükme

Kalıplanan parçaların kenar dayanımım artırmak, kesmeden dolayı meydana gelen kesici çapakları gidermek ve ayrıca iki parçanın mafsallı olarak birleştirilmesinde uygulanan kalıplama işlemidir (Şekil 3.2) [27].

3.2.5. Oluklama bükme

Düz sac levhaların dayanımını artırmak ve biçimlendirildikten sonra sekil değiştirmesini önlemek amacıyla yapılan kalıplama işlemidir. Genellikle duvar panoları, çatı levhaları, hangar, gölgelik ve benzeri yerlerde kullanılan alüminyum ve galvanizli sac levhalarla, sac malzemelerden yapılması gereken makine parçalarına uygulanan kalıplama işlemidir (Şekil 3.2) [27].

3.2.6. Kabartma bükme

Flaş, kıvırma, katlama ve benzeri bükme işlemleri genellikle sac malzemelerin uç kısımlarına uygulanır. Kabartma bükme, sac malzemelerin kenar kısımlarından uzak olan yerlerde yapılan çökertme işlemidir. Ayrıca kabartma bükme işlemi, simetrik biçimde kalıplanmayan parça çevresine uygulanır (Şekil 3.2). Kabartma bükme işlemleri, kaburga ve kenar süsleme, ofset ve süsleme kalıplama olarak sınıflandırılmaktadır [27].

<u>Kaburga ve Kenar Süsleme</u>

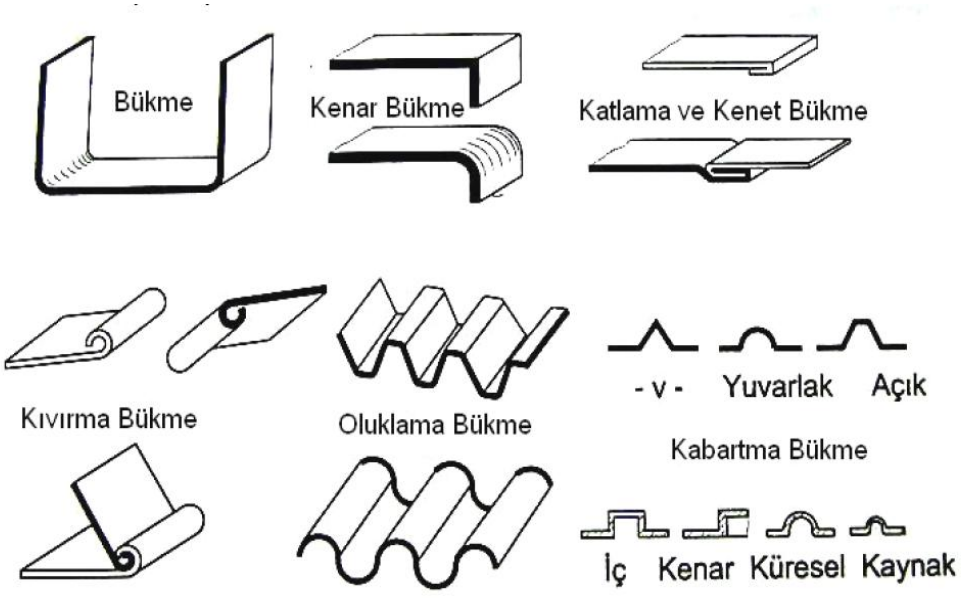
Sac malzemelerden kalıplanan dar uzun parçaların dayanımını artırmak ve kenar süsü vermek amacıyla yapılan bir çeşit bükme (çökertme) işlemidir. Ayrıca yağ karteri, flanş kaplar ve benzeri parçalarla otomotiv sanayinde kullanılan parçalara uygulanır [27].

Ofset Kalıplama

Kalıp tasarımcıları genellikle kaburga ve kenar süsleme yerine ofset kalıplama işlemlerini tercih ederler. Çünkü kalıplanan parçanın mukavemeti ve benzeri dayanımı ofset kalıplamayla sağlanabilmektedir. Bu nedenle kamyon, otomobil ve benzeri araçların kapılarındaki paneller ofset kalıplamayla yapılmaktadır [27].

Süsleme Kalıplama

Kabartma işlemi en çok süsleme kalıplama işleminde kullanılır. Ayrıca saç malzemelerden yapılmış isim levhaları, otomobil plâkası, arma ve benzen parçalar, süsleme kabartma kalıplarıyla üretilmektedir [27].

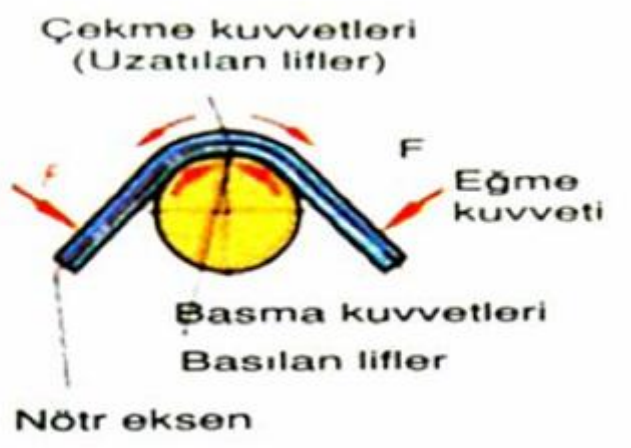


Şekil 3.2. Bükme işleminin sınıflandırılması [27].

3.3.Bükmede Uzama Gerilimleri

Dar ve kalın şeritlerin küçük kavislerle bükülmelerinde daha büyük şekil değişimleri vardır. Gerçek bükme işlemlerinde istenen kusursuz bükme profilini elde edebilmek için, gerilim-gerinim dağılımları önemlidir. Bükme, düz bir sacın kalıp üzerine yerleştirilmesi ve zımbanın kalıp içerisine girerken sacın zımba

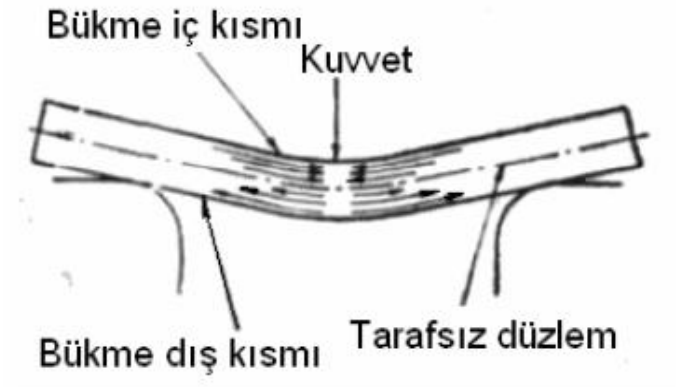
ucu etrafında kıvrılmasıdır. Bu esnada sac elastik geri dönmeyi ve geri esnemeyi aşar. Bükme anında sac, bir yüzeyinde yoğun bir şekilde basma, diğer yüzeyinde de çekme gerilmesine maruz kalır. Şekil 3.3'de uzama basma kuvvetleri gösterilmektedir [27].



Şekil 3.3. Uzama ve Basma Kuvvetleri [27].

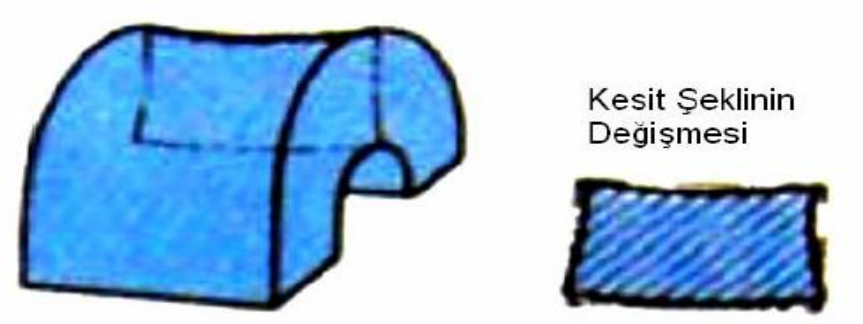
3.4. Bükmede Basma Gerilmeleri

Basılma gerilimleri iç yüzeylerde meydana gelir. Basılma gerilimlerinin olduğu yüzeyde kısalma olur**.** Şekil 3.4'de gerilmenin yönleri gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Basma Gerilmelerinin yönleri [27].

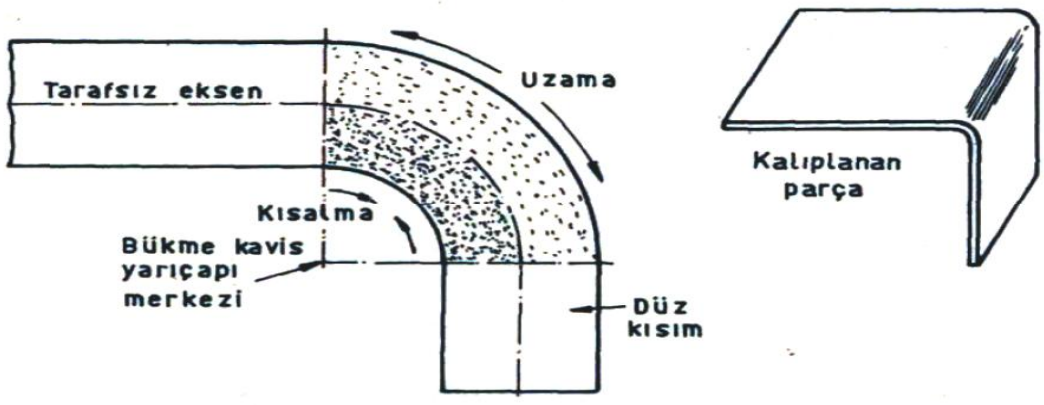
Uygulanan gerilimler sonucunda sac malzemede bükme işleminin gerçekleştirildiği bölgede kesit şeklinde değişiklikler de meydana gelmektedir. Şekil 3.5‘te bükme işlemi sonucunda kesit değişimi gösterilmektedir [26].



Şekil 3.5. Bükme işlemi esnasında kesit değişimi [26].

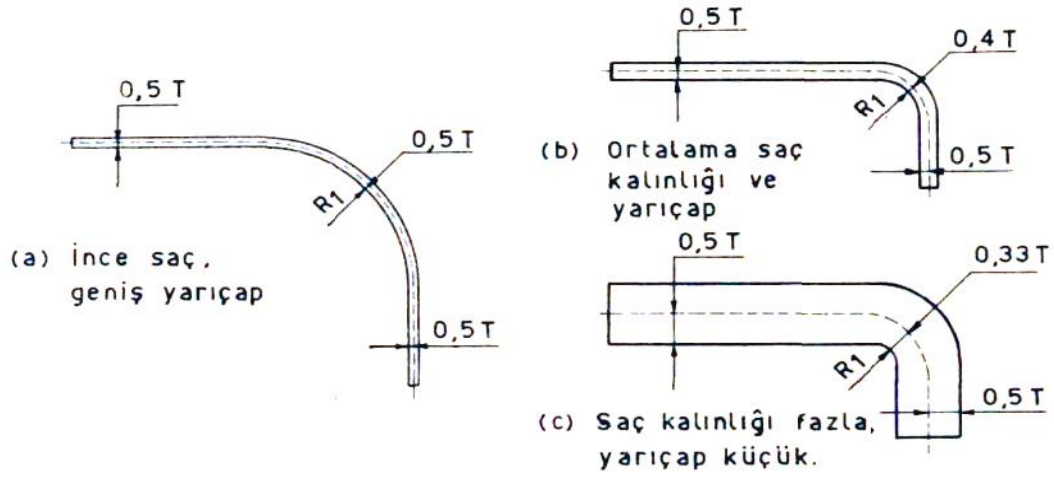
3.5. Tarafsız (Nötr) Eksen

Sac malzeme bükmeye zorlandığı zaman dış yüzeylerde çekilme, iç yüzeylerde basılma gerilimleri meydana gelir. Basılma geriliminin bulunduğu yüzeyde kısalma, çekilme geriliminin bulunduğu yüzeyde ise uzama meydana gelir. Basılma ve çekilme gerilimleri arasında kalan ve uzama veya kısalmaya uğramayan eksene tarafsız eksen denir. Şekil 3.6’da tarafsız eksen gösterilmektedir [26].



Şekil 3.6. Kalıplanan parça ve tarafsız eksen [26].

Bükme kavis yarıçapına bağlı olarak tarafsız eksen, bükme kavis yüzeyine doğru bir miktar yer değiştirir. Bu yer değiştirme miktar ve özellikleri Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Sac malzeme kalınlığına ve kavis yarıçapına bağlı olarak tarafsız eksenin yer değiştirmesi [27].

Bükme işlemine tabi tutulan sac malzemenin tarafsız ekseni, genellikle iç yüzeye doğru sac malzeme kalınlığının 4/10'ü kadar yer değiştirir. Bu yer değiştirme miktarı şu şekilde açıklanabilir [27].

i. Sac malzeme kalınlığı sabit, bükme kavis yarıçapı azalıyorsa, tarafsız eksen iç yüzeye doğru yer değiştirir.
ii. Bükme kavis yarıçapı sabit, sac malzeme kalınlığı artıyorsa, tarafsız eksen iç yüzeye doğru yer değiştirir.
iii. Sac malzeme kalınlığı ve bükme kavis yarıçapı sabit, bükme açısı artıyorsa, tarafsız eksen iç yüzeye doğru yer değiştirir.

4. GERİ ESNEME

Bütün malzemeler sınırlı bir elastikiyet modülüne sahip olduğundan, plastik deformasyon, uygulanan yük kaldırıldığı zaman, bir miktar elastik geri dönüş ile takip edilmektedir. Uygulanan yük geri çekildiği zaman, basılmaya çalışan taraftaki malzeme genişlemeye, çekilmeye çalışan taraftaki malzeme de basılmaya çalışmaktadır. Sonuç olarak malzeme ilk halini almaya çalışmakta ve bükülen malzeme bir miktar esneyerek açılmaya sebep olmaktadır. Malzemenin bu durumu “geri esneme” olarak adlandırılmaktadır. Burada, dikkat edilecek olursa, geri esnemeden sonraki son bükme açısı daha küçük ve son bükme yarıçapı öncekine göre daha büyüktür. Bükmedeki elastik kısım, bükme işleminden sonra elastikiyetini geri almaya çalışır ve bükme yarıçapı daha geniş olur [25,26].

Geri esneme;

i. Malzemenin kalınlığına,
ii. Malzemenin kimyasal yapısı ve işlem parametrelerine (sıcaklık vb.),
iii. Malzemenin cinsine (elastikiyet modülü, akma dayanımı, pekleşme üsteli, vb.),
iv. Zımba yükünün malzeme üzerinde kalma süresine
v. Kalıp ölçülerine,
vi. Uygulanan kuvvete,

bağlı olarak değişmektedir.

Bunun yanı sıra;

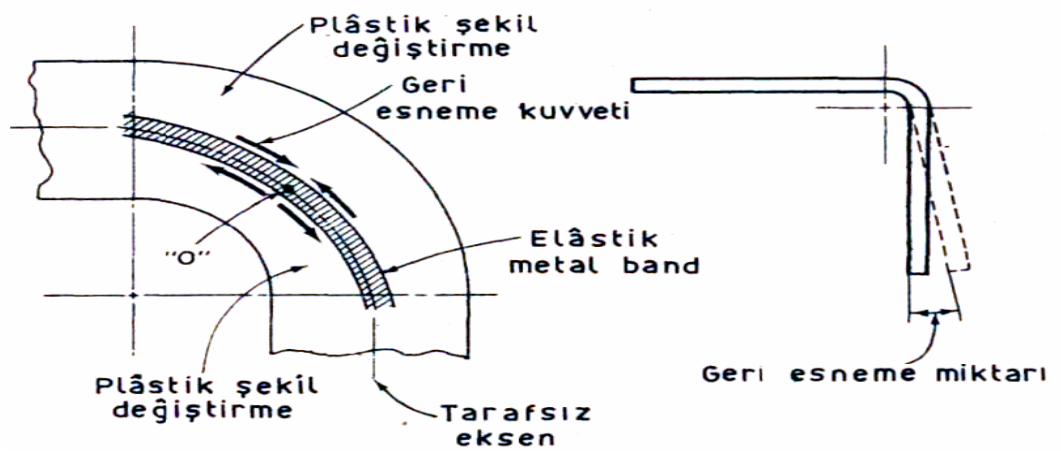
i. Bükme yarıçapı / malzeme kalınlığı (R/S) oranı büyükse, geri esneme değerinin buna bağlı olarak daha büyük olduğu,
ii. Daha geniş kalıp boşluğunun daha büyük bir geri esnemeye neden olduğu,
iii. Geri esnemenin bükme yarıçapıyla doğru orantılı olarak değiştiği,

iv. Bükme yarıçapı büyüdükçe geri esneme miktarının arttığı,

bilinmektedir [26,27].

4.1. Bükmede Geri Esnemenin Nedenleri

Değişken çekme gerilimi, bükülen parçanın bir miktar geri esnemesine neden olur. Geri esneme miktarı genellikle, bükme açısının kalıp açısına oranı ve sac malzemesinin normalleştirme tavına tabi tutulmasına bağlıdır. Şekil 4.1'de geri esneme kuvveti ve geri esneme miktarı gösterilmektedir [28].



Şekil 4.1. Geri esneme kuvveti ve geri esneme miktarı [28].

4.1.1. Geri esneme miktarına etki eden faktörler

Sac malzemelerde, bükme işlemi sonucunda meydana gelen geri esneme miktarı aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

i. Sertliği fazla olan sac malzemelerde elastik metal bant büyüktür ve geri esneme miktarını artırır,

ii. Küçük kavis yarıçaplı bükmelerde, geri esneme miktarı azalır ve bükme bölgesinde kırılma meydana gelir,

iii. Bükme açısından daha büyük bükmelerde, geri esneme elastikiyet bölgesi artar ve her bükme derecesindeki esneme miktarı azalır,

iv. Kalınlığı fazla olan sac malzemelerde elastik şekil değiştirme miktarı arttıkça, geri esneme miktarı azalır [28].

Geri esneme faktörü ‘’K’’ genellikle aşağıdaki ‘’Eş. 4.1’’ ile bulunur [28];

$$K = \frac{\alpha}{\alpha_d} = \frac{R_d + \frac{T}{2}}{R_1 + \frac{T}{2}} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte;

K : Geri esneme faktörü,

R_1 : Parçanın bükme kavis yarıçapı (mm),

R_d : Dişi kalıp kavis yarıçapı (mm),

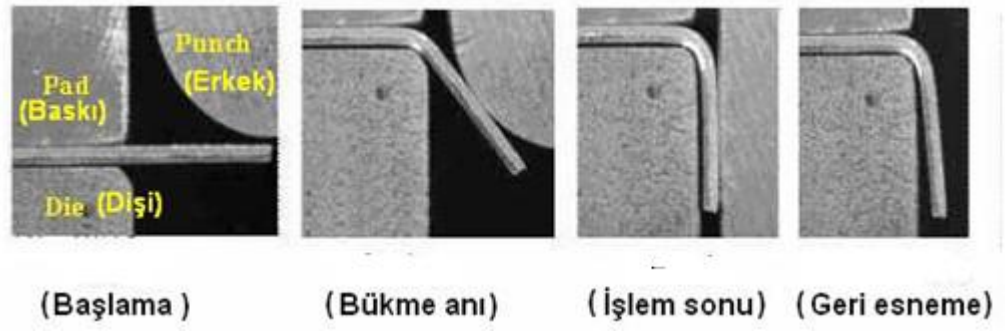
α : Parçanın bükme açısı (°),

α_d : Dişi kalıp açısı (°),

S : Sac malzeme kalınlığı (mm),

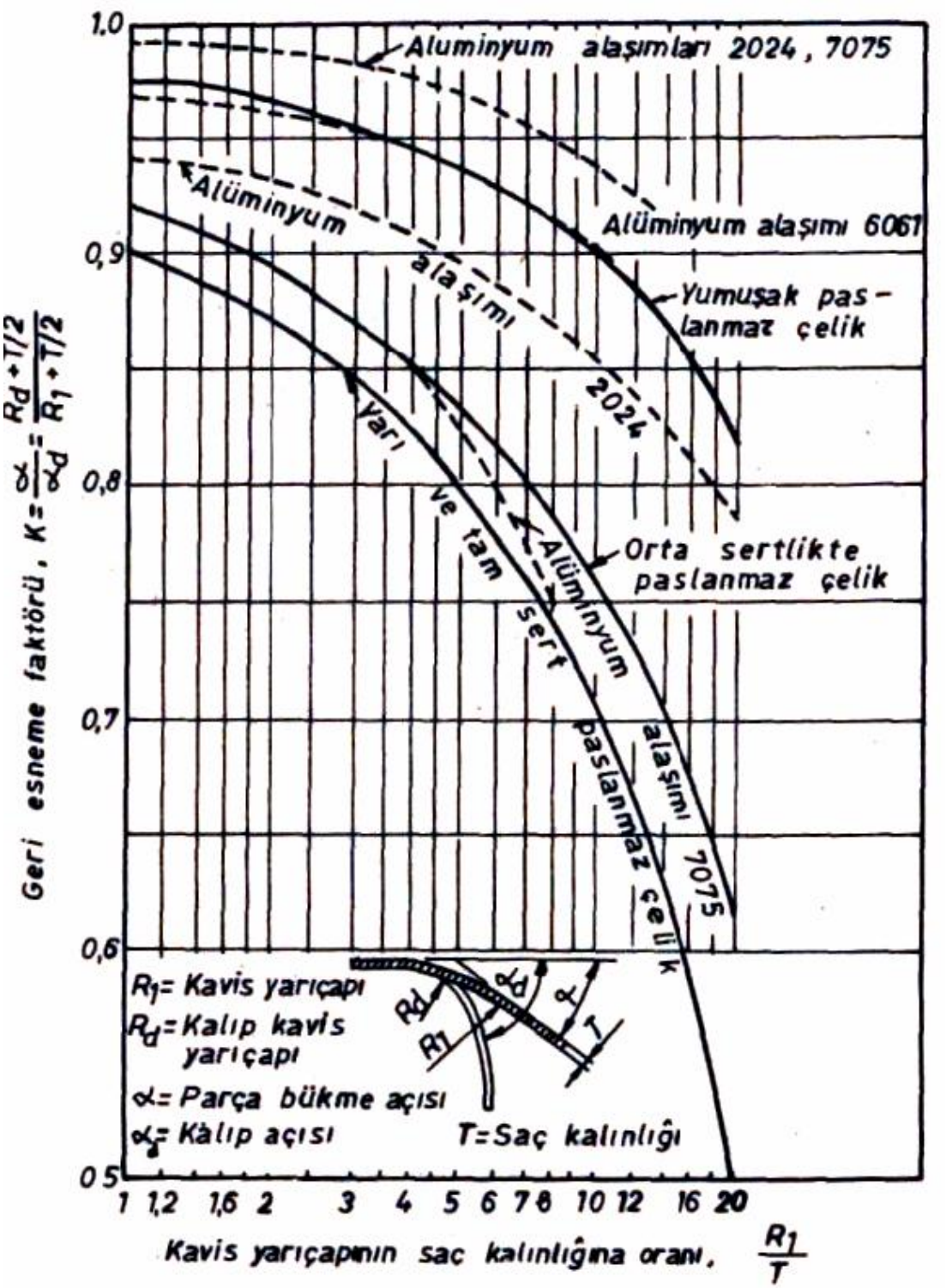
dır.

Kenar bükme işleminin aşamaları ve bükme işlemi sonrasında meydana gelen geri esneme Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Bükme işlemi operasyon sırası ve geri esneme [28].

Şekil 4.3’te bükme kavis yarıçapının sac malzeme kalınlığına oranı (R_1 / S) ve geri esneme faktörü (K) arasındaki bağıntı diyagramı gösterilmektedir.

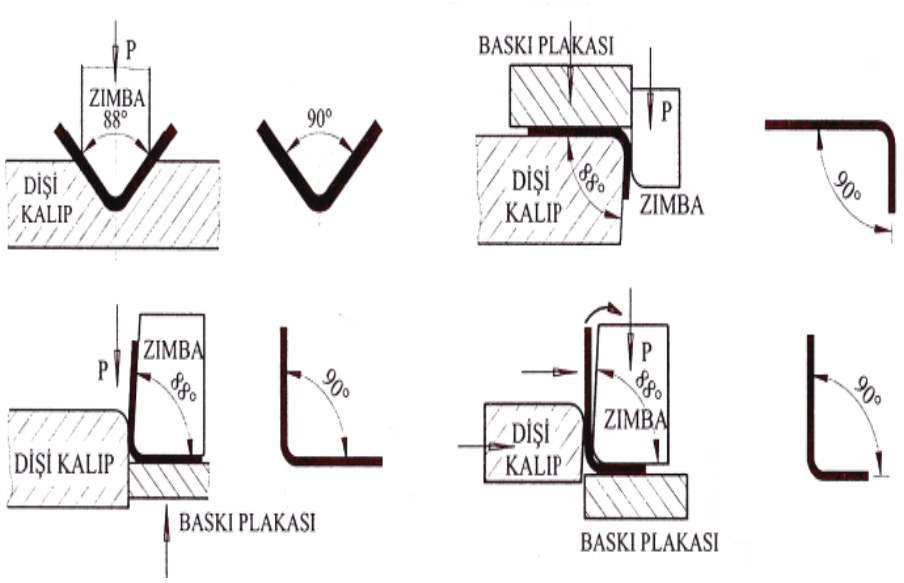


Şekil 4.3. Bükme kavis yarıçaplarının sac malzeme kalınlığına oranı ve geri esneme faktörü arasındaki bağıntı diyagramı [28].

4.2. Geri Esneme Miktarının Giderilmesi

Geri esnemenin önlenmesi için bir kaç değişik metot uygulanır [28].

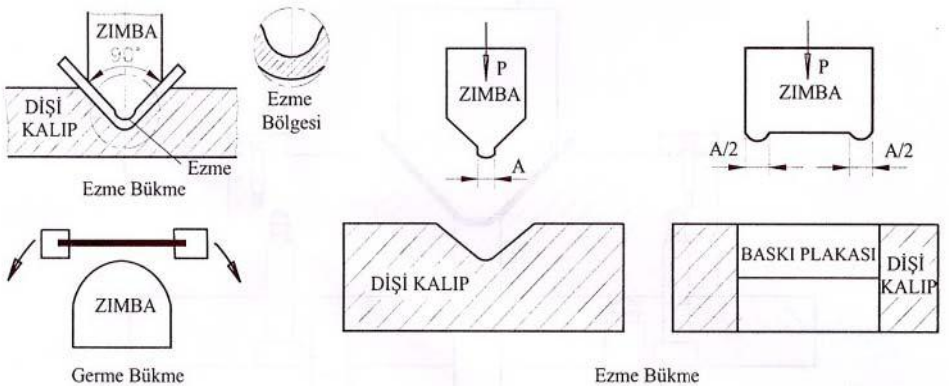
i. *Bükme açısı artırılır;* İstenilen açıdaki bükmenin yapılabilmesi için bükme açısı, geri esneme miktarı kadar artırılır. Bu tip bükme işleminde kam etkili ve tek taraflı kalıp boşluğu sac malzeme kalınlığından az kalıplar kullanılır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Bükme açısını arttırma yöntemi [28].

ii. *Taban (ezme) bükme;* Bükme bölgesi, şekil değiştirmeyecek biçimde zımba ve dişi kalıp arasında ezilir. Ancak bu tip bükme işleminde büyük tonajlı pres tezgâhı gerekmektedir. Ayrıca pres hareketli (vurucu) başlığının kurs boyu iyi ayarlanmalıdır. Bu şekilde yapılan bükme işlemine taban bükme denir (Şekil 4.4).

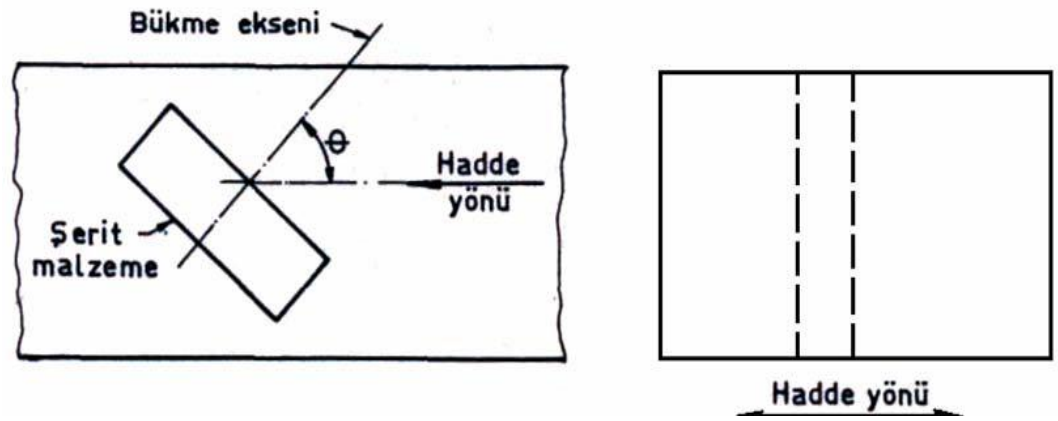
iii. *Germe (çekme) bükme;* Bu tip bükme işleminde bütün malzemelerin akma sınırına yaklaşıncaya kadar çekmeye tabi tutulur ve gergin hâldeki parça zımba üzerine bastırılır. Bu şekilde yapılan bükme işleminde parça bir miktar geri esner. Germe bükme işlemi, kavis yarıçapı büyük parçalara uygulanır (Şekil 4.5).



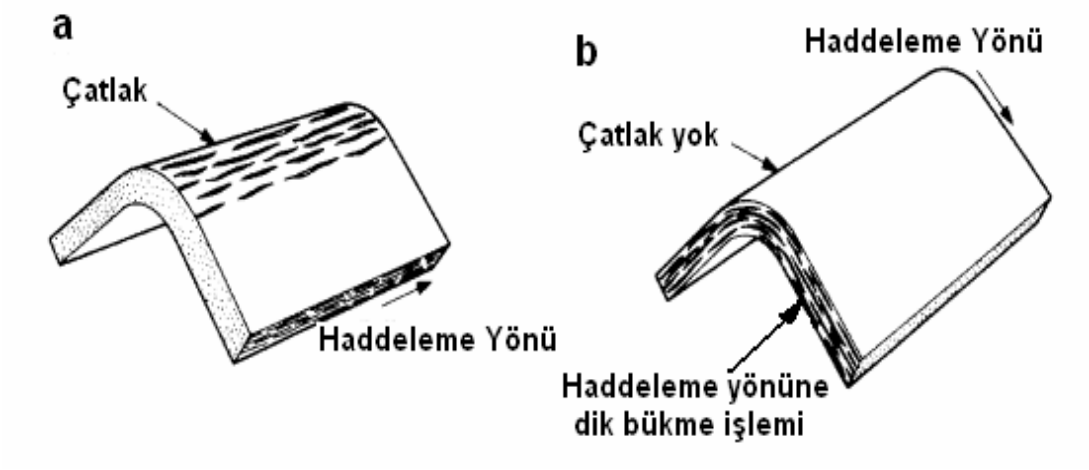
Şekil 4.5. Germe ve ezme yöntemlerinin uygulanması [28].

4.3. Bükülecek Parçanın Hadde Yönünün Önemi ve Belirlenmesi

Levha veya şerit malzemelerin hadde yönündeki bükme işleminde, bükme kavis yarıçapı (R) sınırlıdır. Hatalı bükmeyi önlemek için şerit malzeme, sac levha hadde yönüne göre belli bir eğim açısı altında kesilir. Hadde yönüne göre şerit malzeme eğim açısı θ büyütülebilir (Şekil 4.6). Genellikle hadde yönüne dik bükme en çok uygulananıdır, ancak bazı malzemelerde kavis yarıçapı küçük bükmelerde mümkün olmayabilir. Bükme işlemi esnasında haddeleme yönüne dikkat edilmezse, bükülen parça üzerinde çatlaklar oluşabilir (Şekil 4.7) [28].



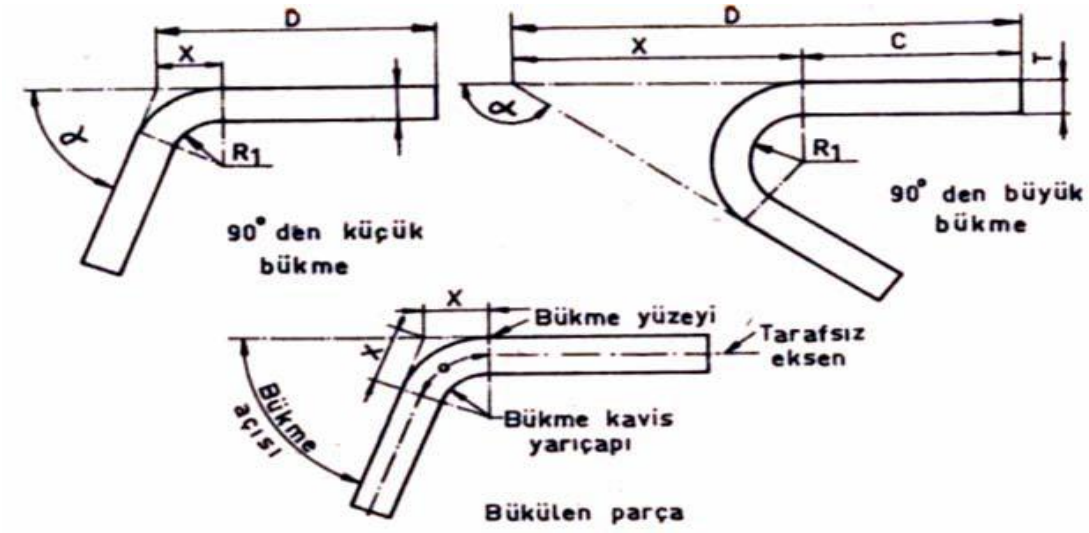
Şekil 4.6. Şerit malzemenin haddelenme yönü ve bükme esnasında dikkat edilecek bükme açısı [28].



Şekil 4.7. a. Haddeleme yönüne dikkat edilmeden bükülen parça
b. haddeleme yönüne dik olarak yapılan bükme işlemi [28].

4.4. Bükme Açısının Tespiti

Bükülerek üretilecek parçaların üretimi esnasında, ihtiyaca uygun bükme açıları tespit edilerek bükme işlemleri yapılmalıdır. Bükme açı 90º'lik dik açı, 90º'den küçük açıda ve 90º'den büyük açıda olmak üzere bir α açısı değerinde gerçekleştirilebilir (Şekil 4.8) [28].



Şekil 4.8. Bükme açılarının belirlenmesi [28].

4.4.1. Bükme yarıçapının belirlenmesi

Bükme kavis yarıçapı, sac malzemelerin cinsine ve kalınlığına göre değişmektedir (Çizelge 4.1). Genellikle, normal tavlama işlemi görmüş malzemeler için bükme kavis yarıçapı (R_1), sac malzeme kalınlığına eşit alınır. Bazen de bükme kavis yarıçapı sac kalınlığının yarısı (S/2) kadar alınabilir. Ancak bu durum, sac malzeme kalınlığı ve hadde yönüne bağlıdır. Ayrıca bükme genişliği de etki etmektedir. Bükme kavis yarıçapı sac kalınlığının 8 veya daha fazla katı olduğu zaman, minimum bükme kavis yarıçapına bükülen parça genişliği etki etmektedir. Bükme kavis yarıçapları tablolardan okunarak elde edilebilir [28].

Çizelge 4.1. Malzeme cinsine ve kalınlığına göre bükme kavis yarıçaplarının en küçük değerleri [28].

Malzemenin Cinsi	**Sac kalınlığı, (S) mm**											
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4
	Bükme Kavis Yarıçapı, ($R_{1)}$ mm											
Yumuşak Çelik	0,6	0,6	0,6	0,6	1	1	1,6	1,6	2,5	2,5	4	4
Orta Sert Çelik	1	1	1	1	1,6	1,6	2,5	2,5	4	4	6	10
Düşük Alaşımlı Çelik	1,6	1,6	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10
Pirinç	0,6	0,6	1	1	1,6	1,6	2,5	2,5	4	4	6	10
Saf Alüminyum	0,6	0,6	0,6	0,6	1	1	1,6	1,6	2,5	2,5	4	6
Al Cu Mg IPI	0,6	0,6	1	1	1,6	1,6	2,5	2,5	4	4	6	10
Al Cu Mg F46	1,6	1,6	1,6	2,5	4	4	6	6	10	10	16	16
AL Mg Si F3	1	1	1,6	1,6	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10
Mg Alaşımları	1,6	1,6	1,6	1,6	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10

4.4.2. Bükme boşluğun bulunması

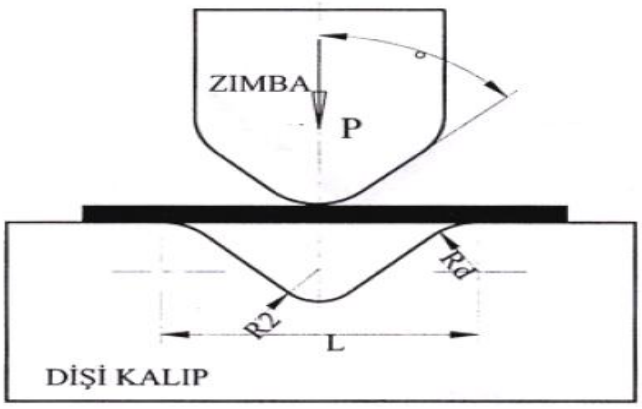
Kalıbı oluşturan hareketli elemanlar arasındaki kalıcı boşluk, kalıplanan parçanın ölçü ve biçimine göre değişir (Çizelge 4.2). Elemanlar arasındaki boşluk tek taraflı olarak kabul edilir [28].

Çizelge 4.2. Tek taraflı kalıp boşluğu değerleri [28].

Malzeme Kalınlığı S, mm	Kalıp boşluğu
0-0,50	(1,07-1,09) S
0,50-1,25	(1,08-1,10) S
1,25-3,25	(1,10-1,12) S
3,25 ve yukarısı	(1,12-1,14) S

4.3. Bükme Kuvvetinin Bulunması

Sac malzemelerin eğilme gerilimi, kirişlerdeki eğilme gerilimlerinin benzeridir. Bu nedenle, kirişlerdeki eğilme momenti formülü sac malzemelerin bükme kuvvetinde aynen uygulanabilir (Şekil 4.9). Bükme kalıplarında, parçaların bükülebilmesi için gerekli olan kuvvete *bükme kuvveti* denir.



Şekil 4.9. V bükme işlemi ve kuvveti [26].

V kalıplarda bükme kuvveti hesabı Eş. 4.2'e göre yapılmaktadır [26]

$$P_{v=} \frac{C * \sigma_b * W * S^2}{L} \text{ (Kg)} \qquad (4.2)$$

C:W/T' ye bağlı bir katsayı olup Eş. 4.3 ile hesaplanır:

$$C=1 + (4 * \frac{S}{W}) \qquad (4.3)$$

P_e, Emniyetli kalıplama kuvveti Eş. 4.4 ile bulunur:

$$P_e=P_b X2 \qquad (4.4)$$

Bu eşitliklerde;

P_b : '' V'' bükme kuvveti (N),

P_e : Son bükme kuvveti (N),

B : Sac malzeme genişliği (mm),

S : Sac malzeme kalınlığı (mm),

σ_b : Malzeme çekme mukavemeti (N/mm²),

W : Kalıp ağzı açıklığı (mm),

C : W / T oranına bağlı bir katsayı

dır.

5. ÇELİK MALZEME ÖZELLİKLERİ ve ISIL İŞLEMLER

Makine parçalarının ve kalıp elemanlarının yapımında en çok kullanılan çeliklerin birçok çeşidi vardır. Çelikler, Karbon ve alaşımlı, alaşımsız, yüksek hız, soğuk iş ve sıcak iş takım çelikleri olmak üzere, geniş bir kullanım alanına sahiptir [29].

Takım ve kalıp çeliklerinde aranılan özellikler,

i. Dayanım
ii. Sertlik, özlülük, tokluk
iii. Aşınmaya karşı dayanım
iv. Yüksek sıcaklıklara dayanım

şeklinde sıralanabilir.

5.1. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Çelikler

Sıcağa dayanıklı çelikler, genellikle 400ºC'nin üzerinde kullanılan alaşımsız ve alaşımlı çelikler olarak anılır. Sıcağa dayanıklı çelikleri, alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler, sıcağa dayanıklı krom çelikleri ve yüksek sıcaklığa dayanıklı östenitik çelikler olarak, üç ana gruba ayırmak mümkündür [30].

5.2. Karbon Çelikleri

Yapılarında az miktarda mangan, silisyum, kükürt ve fosfor gibi elementler içeren demir karbon alaşımlarıdır. Kullanım alanları yapı ve imalat sektörü olduğundan dolayı imalat çelikleri olarak da bilinirler. Karbonlu çeliklerin tüm özellikleri, içerdikleri karbon miktarına bağlı olarak, sahip oldukları yapılarla doğrudan ilişkilidir. Artan karbon miktarı ile çeliklerde sertlik, akma ve çekme dayanımı artarken, süneklik (% uzama ve % kesit daralması) ve darbe dayanım özellikleri azalmaktadır. Karbon miktarının artışı (bu özelliklere bağlı olarak) çeliklerin plastik şekil alma kabiliyetlerinde azaltıcı rol oynamaktadır. Buna karşın martenzitik dönüşümde çok önemli ve etkili bir element olarak, çeliklerin

su verme adını verdiğimiz mekanizma ile sertleştirebilmelerini mümkün kılmaktadır. Karbon miktarındaki artış çeliğin su alma kabiliyeti ile kaynak kabiliyeti üzerine ters etkide bulunmaktadır. Düşük karbonlu çelikler, karbon içeriğine göre üç grup içerisinde ayrıma tabi tutulabilmektedirler [39].

5.2.1. Düşük karbonlu çelikler

Bu gruba %0,20'ye kadar karbon içeren çelikler dahil edilebilirler. Mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak yumuşak çelikler olarak da tanınırlar. Düşük karbonlu çelikler dünya çelik üretiminin en büyük miktarını kapsarlar. Bilhassa yassı mamuller ile inşaat sektörü ve temel yapılarda kullanılan çelik çubuk ve profiller düşük karbonlu çelikler sınıfındadırlar. Düşük karbonlu çelikler, düşük karbon içeriklerinden dolayı, ısıl işlem ile kütlesel olarak yeterince sertleştirilemezler. Ancak, sementasyon, nitrasyon v.b. yüzey sertleştirme işlemleri yüzeyleri sertleştirilebilir [39].

5.2.2. Orta karbonlu çelikler

Bu gruptaki çelikler % 0,20-0,60 arasında karbon ihtiva eden çeliklerdir. Karbon miktarına bağlı olarak orta derecede mekanik özelliklere sahiptirler. Bu gruptaki çeliklerin en büyük özellikleri, ısıl işlemle yeteri derecede sertleştirilebilmeleridir. Bu bakımdan orta karbonlu çeliklerin kullanım sahaları özellik arz eder. Bilhassa makine imalat sanayinin tercih ettiği çeliklerdir. İşlenebilme ve şekil alabilme kabiliyetleri düşük karbonlu çeliklere nazaran daha düşüktür. Bu gruptaki çeliklerin kaynak kabiliyetleri de az karbonlu çeliklere nazaran düşüktür. Zira kaynak esnasında meydana gelen kontrolsüz ısıl etkiler çeliğin yapısal değişiminin de kontrolsüz olmasına sebebiyet verir. Bunun neticesinde malzemelerde hatalara sebep olabilir. Bu sebepten dolayı orta karbonlu çeliklerin bilhassa alaşım elementi ihtiva edenlerinin kaynak işlemlerinde özel itina göstermek gerekir [39].

5.2.3. Yüksek karbonlu çelikler

% 0,60'dan daha fazla karbon ihtiva eden çeliklerdir. Normal halde yüksek mukavemetli ve sünekliliği az olan çeliklerdir. Isıl işlemlerle sertleştirilmeleri sayesinde yüksek sertlik kazanırlar. Bu bakımdan aşınmaya dayanıklı ve kesici özelliğe sahiptirler. İşlenme ve şekil alabilme kabiliyetleri, düşük ve orta karbonlu çeliklere göre daha düşüktür. Kaynak kabiliyetleri de düşük olup daha özel tekniklerle kaynakları yapılabilir. Bu gruptaki çelikler daha ziyade takım üretiminde kullanılırlar. Yüksek karbonlu çeliklerin bileşiminde bulunan karbon miktarının sınırı, demir-karbon denge diyagramı gereğince % 2'ye kadar çıkabilirse de, tatbikatta bu değer % 1,2-1,4 ile sınırlıdır. Özellikle yüksek karbonlu çelikler, düşük ve orta karbonlu çeliklere göre daha kolay su alabilirler ve elde edilen martenzitik yapının sertliği de daha fazladır [39].

5.3. Çeliklerin Tabi Tutulduğu Isıl İşlemler

Bütün ısıl işlemlerin amacı, malzemenin özelliklerini istenilen şekilde değiştirmektir. Çeliğin içyapı özelliğini değiştirmek amacıyla yapılan, ısıtma ve soğutma işlemleriyle, yüzeye alaşım elementi verilmesi ya da çekilmesi işlemlerinin tümüne ısıl işlem adı verilir [36].

Çelik malzemenin yapısı; içindeki karbon ve diğer maddelerin oranı, bulunuş şekli, çeliğin elde edilme metodu, malzemenin çalışacağı yerdeki yapacağı göreve göre özellik kazandırılması gerekir. Bu özellikleri, şöyle sıralanabilir:

i. Çelik malzeme elde edildikten sonra, elde etme esnasında meydana gelen iç gerginlikleri giderme,
ii. Sertlik kazandırma ve yumuşatma,
iii. Dayanım artırma,
iv. İşlenebilirlilik,
v. Soğuk veya sıcak dövme işçiliğine elverişlilik,
vi. Darbelere ve dış etkilere karşı direnç,

vii. Çalıştığı ortama uyum,
viii. Korozyon direnci,
ix. Elektrik ve manyetik özellikler kazandırma
dır.

Bu özellikleri kazandırmak için çeliklere ısıl işlemler uygulanır. Isıl işlem kısaca malzemenin kristal yapısının değiştirilme işlemidir [37].

5.4. Sertleştirme İşlemleri

Takım çeliklerinin mümkün olan en yüksek sertlik derecesine ve aşınma dayanımına sahip olmaları istenir. Bu bakımdan serleştirme; çeliklerin daha önce belirlenmiş sertleştirme sıcaklıklarına kadar tavlanması, bunun ardından soğutulması ve son olarak da sert yapının istenilen düzeyde sünek hâle getirilmesi şeklinde yapılır. Dolayısıyla sertleştirme işlemi üç aşamadan meydana gelir [38].

i. Tavlama
ii. Soğutma
iii. Gerilimleri giderme

5.5. Menevişleme İşlemi

Çelik malzemelere uygulanan ısıl işlemlerden sonra malzemenin iç yapısında meydana gelen gerginlikleri gidermek ve iş parçasında oluşabilecek çatlamaları önlemek için yapılan ısıl işleme menevişleme denir. Bu işlem çelik malzemenin; vurma, sarsıntı ve darbe dayanımlarını artırır. Malzemelerin menevişleme sıcaklıkları 150–650ºC arasındadır ve amaca göre bu değerler arasından seçilir. Sertleştirilmiş çelik, sertlikle beraber kırılganlık da kazanır. Darbeli çalışmalarda kırılganlık istenmeyen bir durumdur. Menevişleme ile daha az sert, ancak özlü bir yapı elde edilir [29].

Menevişleme işlemi genel olarak sade karbonlu çeliklerde 100-300ºC, katkılı çeliklerde 200-400ºC, sıcaklıklar arasında gerçekleştirilir. Sertleştirme işleminden hemen sonra parça büyüklüğüne göre menevişleme sıcaklığına kadar ısıtılır. Malzeme özelliğine uygun süre menevişleme sıcaklığında tutulur. Menevişleme işlemi sonucunda, malzeme iç bünyesindeki gerilim alınmış, sertlik ve kırılganlık azalmış olur [29].

5.6. Yumuşatma İşlemi

İçerisinde %0,6 oranından fazla karbon bulunan çelik malzemelerin işlenmesi sırasında özellikle makine işçiliği için zorluklarla karşılaşılır. Makine işçiliği ile işleme veya doğrudan talaş kaldırma işçiliği için bu türdeki malzemeler içerisindeki karbon miktarına göre 680-750ºC arasında birkaç saat süreyle ısıtılarak kendi halinde soğutulmaya bırakılır. Bu sayede malzemenin dokusu değişir. Bu işleme yumuşatma tavı denir. İçerisinde karbon miktarı %0,6'dan az karbonlu çelikler genel olarak yumuşatma tavı görmüş olarak kullanıma sunulur [28].

5.7. Gerilim Giderme İşlemi

Çelik malzemelerden özellikle takım çelikleri talaş kaldırma işlemine elverişli hâle getirmek veya talaş kaldırma işleminden sonra içyapısında oluşan gerginlikleri gidermek için, parçaların 600–650ºC'de tavlanarak kendi halinde soğutma işlemine denir [28].

5.8. Yüzey Sertleştirme İşlemleri

Bu yöntemde sertleştirilecek parçanın tamamı sertleştirme sıcaklığına yükseltilmeyip yalnız sertleşmesi gereken bölgeler, yani parçaların üst yüzeyleri ısıtılır. Hemen arkasından, iş parçası birdenbire soğutularak kristal yapısındaki değişikliğin sabit kalması sağlanır. Böylece hem parçanın dış yüzeyi sertleşmiş

hem de içyapısı değişmeyerek gerilimsiz ve deformasyonsuz kalmış olacaktır [28].

Bu yöntem aşağıda sıralanan iş parçalarına uygulanır:

i. Bölgesel olarak aşınma ile karşı karşıya kalma
ii. Sertlik alanları arttığında ekonomik zararlara uğrama
iii. Düşük karbonlu çelikten iş parçaları yapma

Yüzey sertleştirme yöntemleri temelde ikiye ayrılır:

i. Yüzeyin kimyasal yapısını değiştirerek yüzey sertleştirme
ii. Yüzeyin kimyasal yapısını değiştirmeden yüzey sertleştirme

olmak üzere ikiye ayrılır [36].

5.8.1. Sementasyon işlemi

Sementasyon işlemi kısaca; düşük karbonlu çeliklerin yüzeylerine karbon emdirilerek sertleştirme işlemidir. Karbon emdirme yöntemine göre katı, sıvı, gaz sementasyon olarak sınıflandırılırlar [36].

5.8.2. Nitrürasyon işlemi

Çalışma sıcaklıkları 600ºC'yi geçmeyen kalıp ve takımlarda başvurulan, yüzeye azot (N) emdirme yoluyla yapılan yüzey sertleştirme işlemidir. 450ºC civarında yapıldığından kalıp veya takımlarda genellikle çarpılma olmaz [36].

Çeliğin üst yüzeyine, azot atomlarının meydana getirdiği nitrür katmanının oluşturulma işlemidir. Nitrürasyon işlemi parçaların 500–600ºC arasında ısıtılarak, amonyak gazının altında tutulması ile gerçekleştirilen bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Nitrür katmanı sertleştirilecek gerecin yaklaşık 0.5 mm derinliğine kadar işler ve bu noktalarda yüksek sertlik değerleri verir [36].

5.9. Özel Isıl İşlemler (Sıfır Altı İşlemi)

Sıfır altı işlem, metallerin aşınma dayanımlarını artırmak üzere uygulanan bir ısıl işlem çeşididir. Bu işlem sırasında parçalar -180ºC'ye kadar soğutulmaktadır. Sıfır altı işlem uygulayarak, ısıl işlem görmüş metallerin ısıl işlemi tamamlanmakta, parça ömrünü uzatıcı etki sağlanmaktadır [36].

Sıfır altı işlem görmüş parçalarda;

i. Parçaların aşınma dayanımı yükselir.
ii. Parçaların ömründe %100 ile %700 arasında uzama olur.
iii. Parçalarda boyutsal değişim olmaz.
iv. Isıl işlem sırasında zorunlu olarak oluşan austenit kalıntı yüzdesi düşüktür.

5.10. Sertleştirme ve Meneviş İşleminin Yapılış Amacı

Malzemeler, yüksek sertliğe ve bu sayede yüksek aşınma direncine sahip olması için sertleştirilir. Sertlik kazandırılan malzeme aynı zamanda kırılganlık da kazanır ki, bu istenmeyen bir durumdur. Malzemenin bu kırılganlığını gidermek için menevişleme yapılır. Menevişleme sayesinde malzemenin sertliği fazla düşürülmeden kırılganlığı azaltılmış olur. Bu iki işlem sonucunda hem sert hem de tok bir malzeme elde edilmiş olur [36].

5.11. Malzeme Soğutma Ortamları

Çeliklerde sertleştirme yolu ile değişik özellikler kazandırmanın önemli bir aşaması da soğutma işlemidir. Bu işlemin amacı çelik malzemenin yapısını istenilen özelliğe dönüştürmektir. Soğutma işlemi; yağ, su, hava ve gaz ortamında olmak üzere dört şekilde yapılmaktadır.

5.11.1. Yağda soğutma

Yağ malzemenin soğuma hızını düşürür. Yağın bu özelliği kritik soğuma hızı düşük olan çeliklerin yağda sertleştirilmesini gerekli kılar. Ayrıca yağda sertleştirme bütün çeliklerde en yüksek korozyon direncini sağlar. Yağ banyolarında en sağlıklı soğutma sıcaklıkları 40–60ºC'dir ve yağın soğutma işlemi sırasında karıştırılması gerekir.

Yağda serleştirilen parçalar tamamen yağa daldırılmalı, yağ sıcaklığına kadar bekletilmeli ve sonra meneviş fırınına alınmalıdır. Yağda soğutma sonucu daha az iç gerginlikler oluşur. Buna bağlı olarak da daha az çarpılma ve çatlama oluşur. Yağda su verme için bitkisel ve hayvani yağlardan daha ucuz ve yüksek ısılara dayanıklı makine yağları tercih edilmektedir. Yağlama yağlarının sıcaklıkları 30–50ºC arasında olur. Kullanılan yağın alevlenme sıcaklığı 150ºC'nin üzerinde olmalıdır. Kullanma sırasında sıcaklık 60ºC'yi aşmamalıdır [34].

5.11.2. Suda soğutma

Genel olarak en ucuz ve bol bulunan basit bir sertleştirme sıvısıdır. Çeliği büyük bir hızla soğutur. Soğutma hızı yağdan üç kat daha hızlıdır. Sade karbonlu çelikler için en uygun soğutma ortamıdır. Oluşacak olan buhar sertleşmeyi önleyeceğinden; suya, parça sekiz çizecek şekilde döndürülerek hareket verilmelidir. Hızlı soğumadan dolayı çatlaklar, iç gerginlikler ve çarpılmalar oluşur. Bunun önlemlerinin alınması gerekmektedir. Su ile sertleştirmede büyük parçalar için su sıcaklığı 10ºC, karışık şekilli parçalar için 27ºC civarında olmalıdır [34].

<u>Tuzlu su</u>

Ağırlık oranı bakımından %10 yemek tuzu karıştırılmış sudan ibarettir. Korozyona sebep olacağından tuzlu su kullanılması yaygın değildir. Su verme

işleminden sonra parça yıkanmalıdır. Tuz, suyun kaynama noktasını yükselttiğinden buharlaşmayı azaltır ve daha iyi sertleşme sağlar.

Özel bileşikler

%10 sodyum hidroksitli (NaOH) veya sülfürik asitli su banyolarıdır. Su verme banyolarının en hızlı soğutma yapanlarıdır. Çelik yüzeyinin parlak olmasını sağlar. Cilde yakıcı etkisi olduğundan dikkatli davranmak gerekmektedir. Potasyum hidroksit (KOH) eriyiği de kullanmak suretiyle sertleştirme yapılmaktadır. Sertleştirme sonunda çelik yüzeyi çok parlak olur ve yüzeyi temizlemeye gerek kalmaz [34].

5.11.3. Havada soğutma

Genellikle yüksek alaşımlı çelikler üzerine hava üflenerek veya açık havada kendi haline bırakılarak yapılan soğutma işlemidir. Soğutma hızı su ve yağa oranla çok yavaştır. Yüksek alaşımlı çeliklerde bu işlemin yapılma amacı, doku dönüşümünün tam sağlanmasıdır. Havada sertleştirme, soğuk işlem takım çelikleri ile yüksek karbonlu, çeliklere uygulanır. Parça tavlamadan sonra, durgun hava, fanla soğutma veya basınçlı hava ile soğutma, yöntemlerinden biriyle soğutulur. Havadaki oksijenden dolayı, havada soğutma parçanın korozyon direncini düşürür [34].

5.11.4. Gaz (Azot, Hidrojen, Helyum) ortamında soğutma

Çelikler fırın atmosferinde sertleştirilir. Fırın atmosferi sadece havadan meydana gelebildiği gibi bazı gazlar ilave edilerek de kullanılabilir. Bu durumda fırın atmosferine *‘’Koruyucu atmosfer’’* denir. Argon, helyum, azot ve hidrojen koruyucu atmosfer oluşumunda kullanılan gazlardır. Bu tür bir işlem yapılırken malzemenin korozyon dayanımını düşürmemesi için gazların kuru su buharından arındırılmış olması gerekir. Bu işlem ile sertleştirilen yüzeyler temiz ve parlak bir görünüm alır [34].

5.12. Alaşım Elementlerinin Çelik Özelliklerine Etkisi

Maksimum %2,11 karbon içeren demir karbon alaşımları çelik olarak adlandırılır. Çelikler halen günümüzde en yaygın kullanılan malzeme grubunu oluşturmaktadır. Çelikler yalın karbonlu olabileceği gibi, çeşitli özelliklerin geliştirilebilmesi için bazı alaşım elementleri içerebilirler. Çelik bünyesinde bulunan elementler; istenerek katılan alaşım elementleri ve bunların yanında uzaklaştırılmak istenen, özelliklere kötü yönde etkili elementlerdir. Çeliklerin alaşım elementleri ve etkileri şunlardır:

Karbon (C): Çeliklerin temel alaşım elementi olan karbon, çeliklerin üretim işlemleri sırasında yapıdaki yerini alır. Karbon miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktördür. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini azaltır. İşlenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır.

Düşük karbonlu yumuşak çeliklerin şekillendirilmesi sırasında meydana gelebilecek en önemli problem mavi gevrekliktir. Bu olay karbon (ve/veya azot) atomlarının küçük çaplı olması nedeniyle kolay yayınmalarından kaynaklanır ve işleme sırasında kırılganlık yaratır. Mavi Gevreklikte yumuşak çelikler 270-350ºC arasında şekillendirilirlerse küçük çaplı atomlar hızlı bir şekilde yayınır. Yayınan atomlar dislokasyonları kilitleyerek malzemenin akma sınırı noktasını yükseltir. Dolayısıyla malzeme daha gevrek davranır. Sözü edilen sıcaklıklar arasında çeliğin aldığı renk mavi olduğu için bu olaya mavi gevreklik adı verilir [37].

Mangan (Mn): Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bir elementtir ve çeliğin dayanımını arttıran etki gösterir. Bunun yanında sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de artırır, östenit kararlaştırıcı bir elementtir.

Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS bileşiği yapması ve demir kükürt FeS bileşiği oluşumunu engellemesidir. FeS sıcak kırılganlığa neden olur.

Silisyum (Si): Silisyum oksijen giderici olarak kullanıldığı için çelik içinde yer alır. Çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Çelik yapısındaki silisyum miktarı azaldıkça tufal yapma oranı artar.

Silisyum ucuz bir alaşım elementidir, yaygın olarak yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır. Ayrıca elektriksel akım kaybını önleyen bir elementtir. Silisyum miktarı fazla olan filmaşinlerin çok küçük çaplara indirilmeleri zordur. Çünkü silisyum, malzeme tel haline getirilirken teli sertleştirir ve kopmalara neden olur. Filmaşinlerde bu yüzden düşük silisyum tercih edeler.

Fosfor (P): Fosfor çeliğin akma ve çekme dayanımını arttırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini çok fazla kötüleştirir, soğuk kırılganlık yaratır ancak talaşlı şekillendirme kabiliyetini arttırır. Fosfor çelik içinde üretim işlemlerinden kalan bir elementtir ve istenmeyen özellikleri nedeniyle mümkün mertebe yapıdan uzaklaştırılır. Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum fosfor miktarı %0.045, asal ıslah çeliklerinde ise %0,035'dir [37].

Kükürt (S): Akma ve çekme mukavemetine etkisi yok denecek kadar azdır. Fakat malzemenin yüzde uzamasına ve tokluğuna etkisi çok fazladır. Kükürt malzemenin tokluğunu ve sünekliğini önemli ölçüde azaltır. Ayrıca kaynaklanabilirliği de kötü yönde etkiler. Kükürt demirle birleşerek FeS fazını oluşturur. Bu faz düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu için haddeleme sıcaklığında ergiyerek sıcak kırılganlığa sebep olur. Bu olumsuz etki kükürdün manganla birleşmesi sağlanarak önlenir.

Kükürt çelik içinde çeliğin üretiminden kalan bir elementtir ve yukarıda belirtilen istenmeyen özellikleri nedeniyle yapıdan mümkün mertebe uzaklaştırılır. Sadece talaşlı şekillendirilmeye uygun otomat çeliklerinde kükürt miktarı bir

miktar yüksek tutulur. Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum kükürt miktarı %0.045, asal ıslah çeliklerinde ise %0,035'dir.

Krom (Cr): Krom paslanmaz çeliklerin temel alaşım elementidir. Krom, korozyon ve oksidasyon direnci sağlar. Sertleşebilme kabiliyetini artırır. Yüksek karbonlu çeliklerde aşınma direncini yükseltir. Krom karbon ile tane sınırlarında biriken $Cr_{23}C_6$ bileşiğini oluşturur. Oluşan bu bileşik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarındaki krom miktarını paslanmazlık sınırı olan %12 nin altına çeker. Bu bileşik yüksek sıcaklıklarda karbon yayınımının hızlanması ile kolayca meydana gelir ve kaynaklı paslanmaz çeliklerde, kaynak dikişi yakınlarında kaynak bozulmalarına neden olur [37].

Nikel (Ni): Nikel darbe tokluğunu ve tavlanmış çeliklerde dayanımı artırır. Nikel; östenitik paslanmaz çeliklerde kromdan sonra en önemli ikinci alaşım elementidir. Östenitik paslanmaz çeliklerdeki nikel miktarı %7-20 arasındadır. Nikel östenit kararlaştırıcı bir elementtir ve östenitik paslanmaz çeliklerin, adından da anlaşılacağı gibi oda sıcaklığında bile kafes yapısı KYM'dir. KYM kafes yapısı östenitik paslanmaz çeliklere yüksek şekillendirilebilme özelliği kazandırır.

Molibden (Mo): Tane büyümesini önler, sertleşebilme kabiliyetini artırır. Meneviş gevrekliğini giderir. Meneviş sıcaklığından yavaş soğumalarda bazı alaşımların tane sınırlarında karbür çökelmesi meydana gelir, bu da kırılganlığa neden olur. Molibden bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırır. Ayrıca molibden çeliklerin sürünme ve aşınma direncini yükseltir. Alaşımlı takım çeliklerindeki önemli bir alaşımdır. Paslanmaz çeliklerde özellikle oyuklaşma korozyonunu engellediği için korozyon direncini önemli ölçüde artırır. Bazı mikro alaşımlı çeliklerde molibden nitrür veya karbonitrür oluşturan alaşım elementi olarakda kullanılır [37].

Kobalt (Co): Alaşımlı takım çeliklerinde kullanılan bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinin sıcak sertliğini muhafaza etmesi için kullanılır.

Tungsten (W): Aşınma direncini artıran, sıcak sertliğin muhafazasını sağlayan bir alaşım elementidir. Başta hız çelikler olmak üzere alaşımlı takım çeliklerinde yaygın olarak kullanılan bir alaşım elementidir.

Vanadyum (V): Tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını oldukça artırır. Ayrıca sertleşebilme kabiliyetini artırır, menevişleme ve ikinci sertleşmede olumlu etkileri vardır. Alaşımlı takım çeliklerinde yaygın kullanım yeri bulan bir alaşım elementidir.

Tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımı vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı etkisi ile mikro alaşımlı çeliklerde niyobyum ve titanyum ile birlikte kullanılan bir mikro alaşım elementidir. Mikro alaşımlı çeliklerde alaşım elementleri toplamı %0,25'i geçmez. Bu elementler tek, ikili ve üçlü kompozisyonlar halinde mikro yapı içerisinde oluşturdukları karbonitrür çökeltileri ile tane boyutunu inceltmelerinin yanı sıra çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla dayanımı artırırlar [37].

Titanyum (Ti): Vanadyum gibi tane küçültücü etkisi vardır ve bu etkisi vanadyumun etkisinden daha yüksektir. Mikro alaşımlı çeliklerde mikro alaşım elementi olarak kullanılır. Ayrıca paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini giderebilmek için karbür oluşturucu alaşım elementi olarak kullanılır.

Niyobyum (Nb): Mikro alaşımlı çeliklerde tane küçültme etkisi en yüksek olan mikro alaşım elementidir. Paslanmaz çeliklerde titanyumun yaptığı etkiyi yapar ve titanyumla birlikte veya tek başına kullanılır.

Alüminyum (Al): Oksijen gidermek için kullanılır. Akma dayanımını ve darbe tokluğunu arttırıcı etki gösterir. Yüksek alüminyum miktarı, sürekli dökümlerde nozul tıkanmalarına sebep olur. Ayrıca alüminyumun tane küçültücü etkiside vardır ve nitrasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir. Bazı mikro alaşımlı çeliklerde de nitrür ve karbonitrür oluşturan mikro alaşım elementi olarak da kullanılır [37].

Kalay (Sn): Akma ve çekme dayanımlarını pek etkilemez ve sıcak haddelemelerde sorunlar yaratır. Kalay düşük ergime sıcaklığına sahip bileşikler yaparak haddeleme sırasında kopmalara neden olur.

Bakır (Cu): Akma ve çekme dayanımını arttırır, yüzde uzamayı ve şekillenebilirliği azaltır. Soğuk çekilebilirliği kötü yönde etkiler. Bu yüzden filmşinlerde ki bakır oranın olabildiğince düşük olması istenir. Korozyon dinencini yükselten etki gösterir.

Kurşun (Pb): Haddelenebilirliği azaltır. Haddeleme esnasında kopmalara neden olur, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Sürekli dökümlerde sorunlara sebep olur. Bunun yanı sıra kurşun, çeliklerin talaşlı şekillendirme kabiliyetine artırır, bu yüzden otomat çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılır.

Azot (N): Azot kırılganlığına neden olduğu için istenmeyen bir elementtir ve eğme özelliklerini çok kötüleştirir.

Hidrojen (H): Hidrojen gevrekliğine neden olur ve azottan bile daha tehlikelidir. Malzemenin elastikiyetini azaltır [37].

Alaşım elementlerinin çeliğin özelliklerine genel faydaları Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Alaşım elementlerinin çelik yapısına faydaları [38]

Alaşım Elementi	**Olumlu/ olumsuz etkileri**
Karbon	Mukavemet ve sertleşme kabiliyeti
Krom	Sertleşme derinliği, ısıl mukavemet, korozyona dayanıklılık
Nikel	Sertleşme derinliği, süneklik, ısıl genleşme
Manganez	Sertleşme derinliği, süneklik, sementit oluşumu
Silisyum	Yüksek sıcaklığa dayanıklılık, manyetik özellikler, grafit oluşturma

Çizelge 5.1. (Devam) Alaşım elementlerinin çelik yapısına faydaları

Molibden	Isıl mukavemet, temper gevrekliği, korozyona dayanıklılık
Vanadyum	Isıl mukavemet, temperlenmeye dayanıklılık
Tungsten	Isıl sertlik, temperlenmeye dayanıklılık, aşınma mukavemeti
Kobalt	Isılı mukavemet, manyetik özellikler, aşınma mukavemeti
Alüminyum	Tavlanmaya karşı dayanıklılık

6. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan iş parçası malzemesi, Sıcaklık ölçme cihazı, bükme tezgâhı ve bükme parametreleri ve uygulanan yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

6.1. Malzeme

6.1.1. Deney malzemesi

Bükme işleminde kullanılan, S235JR (1.0038) (3, 4, 5, 6 mm) sac malzemelerin kimyasal analiz raporları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Malzemeler hidrolik makas tezgâhında 30x60 mm boyutlarında kesilerek deney numuneleri olarak hazırlanmıştır. S235JR (1.0038) sac malzemeleri sertifikalı olarak temin edilmiş olup bu malzemelere ait sertifikalar EK-1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Sac malzemelerinin ağırlıkça kimyasal kompozisyonu

%	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr
	0,059	0,263	0,702	0,017	0,004	0,0005	0,021
Co	Ni	Mo	Cu	Ti	V	Nb	W
0,007	0,037	0,005	0,06	0,002	0,002	0,001	0,005

6.1.2. Deney malzemelerinin hazırlanması

Deney numuneleri haddeleme yönünde, 30x60 mm boyutlarında, hidrolik makas tezgâhında kesilerek hazırlanmıştır. Kesme sonucunda malzeme yanaklarında meydana gelen kesim izlerini gidermek için freze tezgâhında numunelerin yan kenarları işlenerek malzeme üzerindeki olumsuzluklar giderilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan ısıl işlem yöntemlerinden birisi olan normalize işleminde ötektoidaltı çeliklere Ac3 sıcaklığının 30-40ºC üzerindeki östenitleme sıcaklığında su verildiğinden dolayı S235JR sac malzemeler 920ºC'ye kadar ısıtılmış ve daha sonra serbest havada soğumaya bırakılmıştır [26,27]. Deney malzemeleri oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra hidrolik pres tezgahında bükme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

S235JR sac malzemeler üzerine uygulanan ikinci yöntem (menevişleme işlemi) için ise, S235JR sac malzemeler Ac3 sıcaklığı olan 880ºC'ye kadar ısıtılmış, sıcaklığı 20-40ºC olan saf su içerisine daldırılmıştır [26,27]. Su verilen parçanın tamamen soğuması beklendikten sonra yapılan menevişleme işleminin çatlamaya sebep olması sebebiyle, numuneler 60-80°C sıcaklığa düştükten sonra, menevişleme işlemi için tav fırınına yerleştirilmiştir. 400ºC sıcaklığındaki tav fırınında, kalınlıklarına göre numuneler menevişleme sürelerinde (Çizelge 6.2) bekletilerek tav fırınından alınmış ve soğumaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğuyan numunelerle bükme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.2. S235JR sac malzemelerinin menevişlenme süreleri

Malzeme Cinsi	**Sac kalınlığı S, mm**	**Menevişleme Süresi t, dak**
S235JR	3	7
	4	10
	5	12
	6	14

Üçüncü yöntemde ise, 4 mm kalınlığındaki S235JR (1.0038) sac malzemeler, 30 dakika tav fırınında 400ºC sıcaklıkta bekleme işlemi uygulandıktan sonra tav fırınından alınarak soğumaya bırakılmıştır.

Normalize ve menevişleme işlemi sonucunda sac malzeme içerisindeki kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişiklik olup olmadığı malzeme analizleri yapılarak kontrol edilmiştir. Yapılan malzeme analizleri sonucunda kimyasal bir değişme olmadığı görülmüştür. Yapılan bu analizler Ek-2'de verilmiştir.

Isıl işlemsiz, normalize ve menevişleme işlemi uygulandıktan sonra numunelerde meydana gelen sertlik değerleri Çizelge 6.3'te verilmektedir.

Çizelge 6.3. Numunelerin HRB sertlik değerleri

Sac Kalınlığı, S, mm	**Isıl işlemsiz**	**Normalize İşlemi**	**Menevişleme İşlemi**
3	86,14	67,66	86,7
4	75,77	70,57	74,24
5	82,24	78,34	80,05
6	80,1	67,04	76,81

6.1.3. Deneysel çalışmada kullanılan bükme Kalıbı

Deneysel çalışmada kullanılan bükme kalıbının erkek zımbası ve dişi kalıbı Ç1390 makas çeliğinden, CNC freze tezgâhında hassas olarak yapılmıştır. Makas çeliğinin kimyasal analizi yapılarak elde edilen kimyasal analiz raporu Çizelge 6.4'de verilmiştir. Bükme kalıplarında, darbeden dolayı çatlama ve kırılma meydana gelebileceğinden dolayı, malzemenin içyapısındaki gerilimleri gidermek için menevişleme işlemi uygulanmıştır.

Çizelge 6.4. Makas Çeliğinin (Ç1390) Ağırlıkça Kimyasal Analiz Raporu

C %	**Mn %**	**Si %**	**P %**
0,8	1,53	0,18	0,04

6.2. Bükme Kalıbının Tasarımı ve Hesapları

Deneysel çalışmada kullanılan bükme kalıbının komple ve detay resimleri EK-3'de verilmiştir. Kalıp tasarımında ve elemanlarının hesabında, sac metal kalıpçılığında yaygın olarak kullanılan ve Bölüm 3'te anlatılan ampirik eşitliklerden faydalanılmıştır.

S235JR (1.0038) sac malzemeler için Microsoft Excel programının yardımıyla hesaplanan 30º, 60º ve 90º 'lik bükme işlemleri için 3, 4, 5 ve 6 mm sac kalınlığına göre hesaplanan bükme kuvvetleri Çizelge 6.5'de toplu olarak gösterilmektedir.

Çizelge 6.5. S235JR sac malzemeler için hesaplanan bükme kuvvetleri

Malzeme Cinsi	**Büküm Açısı º**	**S, mm**	$\sigma_{b,}\ ^{N}/_{mm^2}$	**b, mm**	**C**	**W, mm**	P_b **, N**
S235JR	30 º	3	370	30	1.26	45.97	26874.5
		4	370	30	1.35	45.97	51073.5
		5	370	30	1.44	45.97	84953.5
		6	370	30	1.52	45.97	129750.5
	60 º	3	370	30	1.32	37.05	35006.5
		4	370	30	1.43	37.05	67308.9
		5	370	30	1.54	37.05	113100
		6	370	30	1.65	37.05	174283
	90 º	3	370	30	1.37	32.23	41714
		4	370	30	1.5	32.23	80865
		5	370	30	1.62	32.23	136830
		6	370	30	1.74	32.23	212125

6.2.1. Diğer kalıp elemanlarının hesabı

Deneysel çalışmanın yapılabilmesi amacıyla tasarlanan kalıpta dişi kalıp ve zımba için belirlenen ölçüler Çizelge 6.6'da verilmektedir. Kalıp tasarımındaki hesaplamalar yaygın olarak kullanılan kabuller ve eşitliklerden faydalanılarak oluşturulmuştur [2,26,27].

Çizelge 6.6. Kalıp elemanlarına ait ölçüler [3]

S	R_b	R	R_k	R_m	H	h	W
3 mm	4.5 mm	4.5 mm	0	4.5 mm	20 mm	10 mm	Çiz.6.4
4 mm	4.5 mm	4.5 mm	0	4.5 mm	20 mm	12 mm	Çiz.6.4
5 mm	4.5 mm	4.5 mm	0	4.5 mm	20 mm	14 mm	Çiz.6.4
6 mm	4.5 mm	4.5 mm	0	4.5 mm	20 mm	18 mm	Çiz.6.4

1) R_b=1,5*S

2) R_m=R_b

3) R_k=R+S

4) W= $\frac{R_b}{0.15-0.25}$

R_b : Zımbaya verilmesi gereken yarıçap, (mm)

W : Kalıp Açıklığı, (mm)

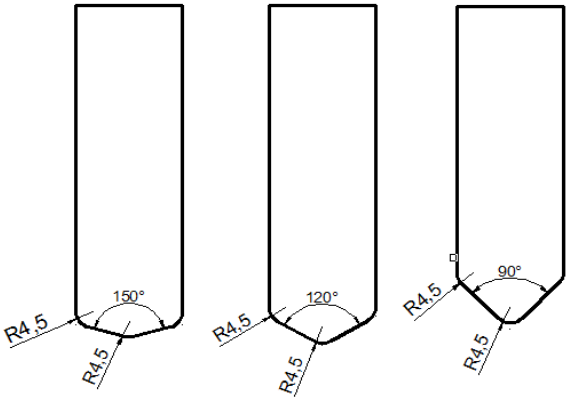
R_m : Kalıp köşelerine verilen yarıçap, (mm)

R_k : Dişi kalıp yarıçap, mm

H : Dişi kalıp plaka kalınlığı, mm

h : Dişi kalıp kanal derinliği, mm

Bükme kalıplarının tasarım aşamasında 3, 4, 5 ve 6 mm sac malzemeler bükületeceği için erkek zımba uç yarıçapı 0,5≤S≤1,5 değerleri arasında olması gerekir [26]. Bükülen parçalar farklı kalınlıkta olduğu için, 3, 4, 5 ve 6 mm sac malzemelerinin 30º, 60º ve 90º'lik bükme açılarında için zımba uç yarıçaplarının farklı imal edilmesi gerekmektedir. Bu durum maliyeti arttıracağından 0,5≤S≤1,5 değerleri arasında 3, 4, 5 ve 6 mm sac malzemeler için ortak bir değer seçilmiştir. Alınan farklı yarıçap değerleri ve katsayılar Çizelge 6.7'de imalatı yapılmış olan zımba yarıçapları Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. 30º, 60º ve 90º'lik bükme işlemi için alınan yarıçap değerleri

Endüstride yaygın olarak kullanılan 90º'lik bükme işleminde farklı zımba yarıçap değerlerinin 4 mm kalınlığındaki S235JR (1.0038) sac malzemelerde geri esnemeye olan etkilerini araştırmak amacıyla R 2 mm, R 3 mm, R 4 mm, R 5 mm ve R 6 mm değerleri için 6 adet erkek zımba imalatı yapılmıştır. Belirlenen yarıçap değerleri 0,5≤S≤1,5 değerleri arasından ''R_b =1,5.S'' eşitliği kullanılarak [26] elde edilen zımba yarıçap değerleri Çizelge 6.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. Farklı kalınlıktaki sac malzemeler ve 4 mm için alınan zımba uç Yarıçapları

Sac kalınlığı (mm)	**Bükme Açısı, Derece,º**	**0.5≤S≤1.5**	**Zımba Uç Yarıçapı, R_b**	**Zımba Köşe Yarıçapı, R_m**
3	30,60,90	1,5	4,5 mm	4,5 mm
4	30,60,90	1,125	4,5 mm	4,5 mm
5	30,60,90	0,9	4,5 mm	4,5 mm
6	30,60,90	0,75	4,5 mm	4,5 mm
4	90	0,5	2 mm	2 mm
	90	0,75	3 mm	3 mm
	90	1	4 mm	4 mm
	90	1,25	5 mm	5 mm
	90	1,5	6 mm	6 mm

6.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Makine ve Cihazlar

6.3.1. Sac kesme makası

Sac malzemelerin 30x60 mm ebatlarında kesilmesinde Baykal HNC Serisi Hidrolik Giyotin Makas kullanılmıştır. Baykal HNC Serisi Hidrolik Giyotin Makasın genel özellikleri aşağıda verilmektedir.

- Statik ve dinamik rijitliği sağlanmış, kaynaklı sac konstrüksiyon gövde,
- "Ayarlanabilir kesme açısı" prensibine uygun tasarım,
- Kullanımı kolay dijital kontrollü makine ayar ve fonksiyonları,
- Ekstra derinlikte (350 mm) devamlı şerit kesmeye yarayan ayak boğaz derinliği,
- Bilyalı miller üzerinde hareket eden arka dayama sistemi,
- Arka dayama geri-çekilme özelliği,
- Ayarlanabilir kesme-strok uzunluğu,
- Az bakım gerektiren, kompakt, hidrolik donanım,
- Kesme anında sacın kaymasını önleyen hidrolik baskı sistemidir.

6.3.2. Sıcaklık ölçüm cihazı

Deneysel çalışmada; normalizasyon ve menevişleme işlemleri esnasında malzeme sıcaklığını ölçmede Extech marka (infrared) lazerle sıcaklık ölçme cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Extech lazerli sıcaklık ölçme cihazının teknik özellikleri

Ölçüm Aralığı	-50….. + 1000 C°
Hassasiyet	± 2 %
Optik	50:1
Ağırlık	290 gr
Ebat	100x56x230 mm
Çözünürlük	0,1

Deneysel çalışmada kullanılan, tek nokta lazer işaretlemeli sıcaklık ölçme cihazı, hızlı ölçümler için ideal bir cihazdır. Yapılan ölçümlerde seri bir şekilde sonuç görüntülenmektedir. Parlak (alüminyum), yüzeyler hariç her sektörde rahatlıkla sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadır.

6.3.3. Hidrolik pres

Sac bükme işleminde kullanılan 100 ton'luk hidrolik pres Resim 6.1'de gösterilmektedir. Hidrolik presin kısımları; kollu ve motorlu kumanda, basınç saati, güvenlik valfi, çelik konstrüksiyon ve ayarlanabilen tabla yüksekliğidir. Çizelge 6.9'da hidrolik presin genel özellikleri verilmiştir.



Resim 6.1. Bükme işleminde kullanılan Hidrolik Pres

Çizelge 6.9.Hidrolik presin genel özellikleri

KAPASİTE	**BİRİM**
Yükseklik (mm)	2000
Boy (mm)	1500
En (mm)	480
İki sütun arası (mm)	920
İki sütun arası (En) (mm)	300
Tabla aşağıdayken iş alma kapasitesi (mm)	900
Piston basınç stroku (mm)	400
Zımba inme hızı (m/s)	20

6.3.4. Tavlama fırını

Menevişleme işlemi için BMK-10 marka Dijital Termostatlı max. Sıcaklığı 400º C olan tavlama fırını kullanılmıştır. BMH-10 fırının genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

1. Max. ısıtma derecesi 0-400º C arasında,
2. Çalışma gücü 3800 watt,
3. Çalışma voltajı 380 V,
4. Çalışma Akımı 16 amper,
5. Ebatlar / Ağırlık; H-102cm x Y-67 cm x D-45 cm / 80,
6. 1000 çubuk kapasiteli,
7. Çekmeceli raflıdır.

6.3.5. Ölçme işleminde kullanılan cihazlar

Bükme işlemi sonunda elde edilen parçalar, açı ölçerle ön bir ölçme işlemine tabi tutulmuş ve daha sonra her bir parça ‘’1 dakika hassasiyetindeki’’ optik bir ölçü aleti olan Mitutoyo marka Profilometre kullanılarak (Resim 6.2) hassas olarak ölçülmüştür. Bu sayede ölçmede meydana gelebilecek hata en aza indirilmiş ve sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır.



Resim 6.2.Ölçme işleminde kullanılan profilometre

6.4. Metot

Malzeme özellikleri ve işlem parametreleri geri esnemenin tahmin edilmesini zorlaştıran etkenlerdir. S235JR (1.0038) malzemelerin farklı bükme parametrelerinde şekillendirilebilirliği araştırmak amacıyla sekiz farklı deney serisi kullanılmıştır. V dip bükme tekniği kullanılarak aşağıdaki deneysel prosedür gerçekleştirilmiştir.

I. Birinci deney serisi olan soğuk bükme işleminde; zımba ve kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmiş ve zımba sac malzeme üzerinde sadece zımbanın geri dönmesi kadar bir süre ile bekletilmiş ve zımba en son derinliği iner inmez sac malzeme üzerindeki yük kaldırılmıştır. 30º, 60º ve 90º'lik bükme işlemlerinde, yarıçapı R 4,5 mm olan zımba kullanılmıştır. Ayrıca, uygulanan bükme kuvvetleri Çizelge 6.4'te elde edilen hesaplara göre uygulanmıştır. Diğer yöntemlerde de aynı zımba yarıçapı ve bükme kuvvetleri kullanılmıştır.

II. İkinci deney serisi olan soğuk bükme işleminde; zımba ve kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmiştir. Zımba kalıp arasındaki boşlukla kesitinde ezilmesi sac malzemenin bükme kesitinde ezilmesi önlenmiştir. Bu deney serisinde zımba sac malzeme üzerinde 30 s bekletildikten sonra malzeme üzerindeki yük zımbanın geri alınması ile kaldırılmıştır.

III. Üçüncü deney serisinde, malzemeler üzerine normalize işlemi uyguladıktan sonra zımba ve kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmiştir. Zımba en son derinliği iner inmez sac malzeme üzerindeki yük kaldırılmıştır

IV. Dördüncü deney serisinde, malzemeler üzerine normalize işlemi uyguladıktan sonra zımba ve kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmiştir. böylelikle sac malzemenin bükme kesitinde ezilmesi ve geri esnemeyi etkilemesi önlenmiştir. Bu deney serisinde zımba sac malzeme üzerinde 30 s bekletildikten sonra malzeme üzerindeki yük zımbanın geri alınması ile kaldırılmıştır.

V. Beşinci deney serisinde, malzemeler üzerine menevişleme işlemi uyguladıktan sonra zımba ve kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmiş ve zımba sac malzeme üzerinde sadece hidrolik presin silindirinin geri dönmesi kadar bir süre ile bekletilmiştir. Zımba en son derinliği iner inmez sac malzeme üzerindeki yük kaldırılmıştır.

VI. Altıncı deney serisinde, malzemeler üzerine menevişleme işlemi uyguladıktan sonra zımba ve kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmiş ve böylelikle sac malzemenin bükme kesitinde ezilerek geri esnemeyi etkilemesi önlenmiştir. Bu deney serisinde zımba sac malzeme üzerinde 30 s bekletildikten sonra, malzeme üzerindeki yük zımbanın geri alınması ile kaldırılmıştır.

VII. Yedinci deney serisinde, zımba yarıçapı R 2 mm, R 3 mm, R 4 mm, R 5 mm ve R 6 mm olacak şekilde imal edilerek S235JR (1.0038), 4 mm sac malzemelerde soğuk büküm, normalizasyon işlemi ve menevişleme işlemi sonrasında direk bükme ve zımbanın numune üzerinde 30 s bekleyerek yapılan bükme işleminde zımba yarıçapının etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

VIII. Sekizinci deney serisinde, 4 mm kalınlığındaki S235JR (1.0038) sac malzemeler zımba yarıçapının (R 6 mm) ve 30 dak menevişleme süresinde ileri esneme üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmada, hazırlanan deney numuneleri ısıl işlemsiz olarak, normalizasyon işlemi uygulayarak ve menevişlenerek bükülmüştür. Farklı parametrelerin kullanıldığı bu çalışmada, toplam 1070 adet deney yapılmıştır. Çalışmada, elde edilen değerlerin güvenirliğini sağlamak amacıyla her bir deney 10 defa tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan bükme parametreleri Çizelge 6.10'da gösterilmektedir. Isıl işlemsiz, normalize ve menevişleme işlemi sonrasında, zımbanın kalıp üzerinde bekletilmeden ve 30 sn bekletilerek kaldırıldığı uygulamalar için farklı kalınlıklardaki sac malzemelerin geri esneme grafikleri oluşturulmuştur.

Çizelge 6.10. Deneysel çalışmada kullanılan bükme parametreleri

Malzeme Cinsi	**Bükme Parametreleri**	**Zımba bekleme süresi, t**	**Sac kalınlığı, s, mm**	**Bükme Açısı, α,°**	**Zımba uç yarıçapı, Rm**	**Deney Sayısı**
S235JR	Isıl işlemsiz	Direk 30 s bek.	3 4 5 6	30 60 90	R4,5	240
	Normalize	Direk 30 s bek.		30 60 90	R4,5	240
	Menevişlenmiş	Direk 30 s bek.		30 60 90	R4,5	240
	Isıl işlemsiz	Direk 30 s bek.	4	90	R2 R3 R4 R5 R6	100
	Normalize	Direk 30 s bek.	4			100
	Menevişlenmiş	Direk 30 s bek	4			100
	30 dak Menevişleme süresi	Direk 30 s bek.	4	90	R6	50
		Çalışmada yapılan toplam deney sayısı				**1070**

Deneysel çalışmalar, ideal (toz, ışık, sıcaklık uygun) laboratuar ortamında yapılmıştır. Her bir deney parçası bükme kalıbına titizlikle yerleştirilmiş ve bükme gerçekleştirilmiştir. Profilometre ile açı ölçme işlemlerinde de aynı titizlik gösterilmiştir.

Bükülen her bir parçanın ölçme işlemlerinde, açıölçerle ön kontroller yapılmıştır. Daha sonra ölçme laboratuarında, bir dakika hassasiyetindeki profilometre ve optik açıölçerle hassas ölçümler gerçekleştirilmiştir. Örnekleme yöntemiyle bazı seriler de ölçüm tekrarları yapılarak sonuçların doğruluğu teyid edilmiştir. Ölçümlerde bir dakikadan daha büyük bir bükme hatasına rastlanmamıştır. Bu sayede ölçme hatalarının en aza indirilmesi hedeflenmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler Microsoft Excel programının yardımı ile çizelge ve grafiklere dönüştürülmüştür. Bu çizelge ve grafiklerin tamamı Ek-4 ve Ek-5'de sunulmuştur. Ölçümler neticesinde, elde edilen verilerin ortalamaları ''derece'' ve ''derece-dakika'' cinsinden otomatik olarak alınmıştır. Herhangi bir değerin değişmesi durumunda ortalama değerde değişmektedir. Çizelgelerdeki derece ve dakika cinsinden olan geri ve ileri esneme değerleri alınarak hedeflenen grafik ve denklemler elde edilmiştir. Her bir grafiğin eğim çizgileri alınarak ''Polinom Eğri Denklemleri'' çıkarılmıştır. Polinom eğri denklemi ikinci dereceden bir denklem olması ve hesaplamaların daha kolay yapılmasından dolayı tercih edilmiştir. Grafikler sonucunda elde edilen R^2 değerlerinin bire yakın çıkmasından dolayı formüllerin doğruluğunu göstermektedir. Ede edilen sonuçlar, bilimsel çalışmalarda kullanılabilir olacağını göstermektedir.

7. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

Gerçekleştirilen çalışmada yapılan deneyler 3 kategoride ele alınmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde, bükme yöntemlerinin geri ve ileri esneme üzerine etkileri araştırılmıştır.

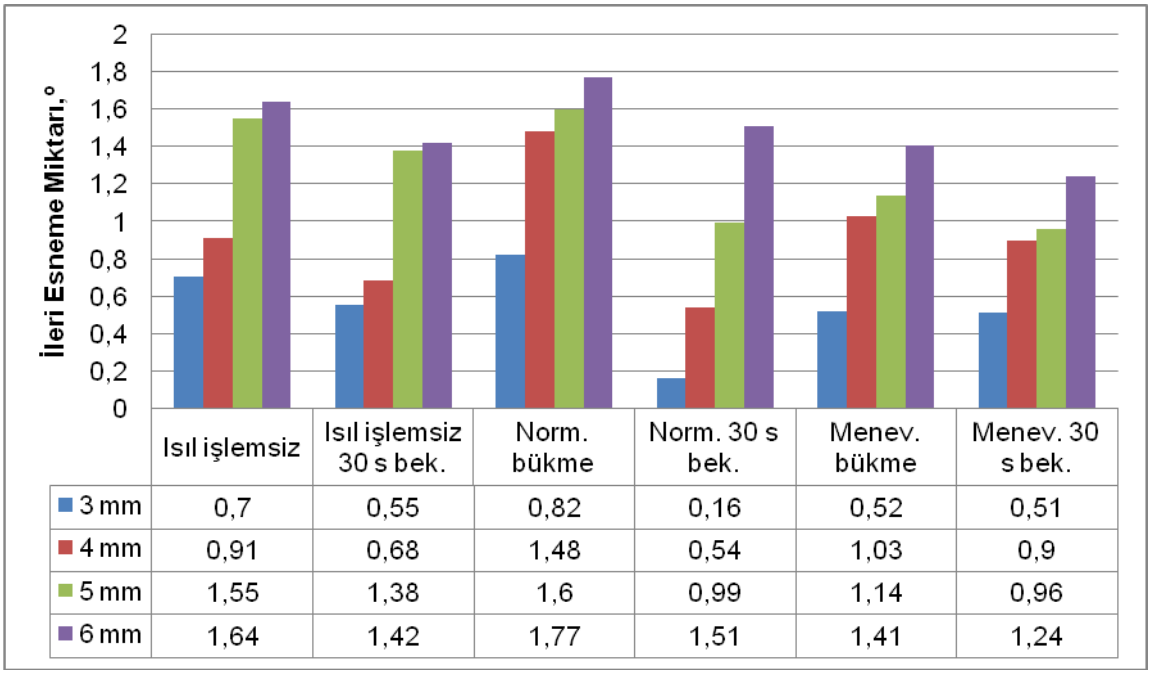
İlk olarak, 3, 4, 5 ve 6 mm kalınlıklarında S235JR (1.0038) sac malzemeler bükme işlemine tabi tutulmuştur. Farklı kalınlıklardaki bu malzemeler, ısıl işlemsiz, normalize ve menevişleme işlemi uygulanarak bükülmüşlerdir. Bükme işlemleri, 30º, 60º ve 90º'lik zımbalar, malzeme üzerinde bekletilmeden ve zımba malzeme üzerinde 30 s bekletilmek suretiyle gerçekleştirilmiştir.

İkinci olarak, zımba radüsünün bükme işlemi üzerindeki etkilerini belirleyebilmek amacıyla, 4 mm kalınlığındaki S235JR (1.0038) sac malzemelere, ısıl işlemsiz, normalize ve menevişleme işlemi sonrası bükme işlemine tabi tutulmuştur. Zımba radüslerinin geri ve ileri esnemeye etkileri 2, 3, 4, 5 ve 6 mm yarıçap değerine sahip zımbalar kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Üçüncü olarak, 4 mm kalınlığındaki S235JR (1.0038) sac malzemelerin menevişleme süresi 30 dak yapılmış ve yarıçapı 6 mm olan zımba ile bükülmüştür. Bükme işlemi neticesinde meydana gelen geri ve ileri esneme miktarları incelenmiştir.

7.1. 30º'lik Açıyla Bükme Deneyleri

3, 4, 5 ve 6 mm kalınlığındaki S235JR (1.0038) sac malzemelerinin 30º'lik bükülmesi sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 7.1'deki grafiklerde verilmiştir.



	Isıl işlemsiz	Isıl işlemsiz 30 s bek.	Norm. bükme	Norm. 30 s bek.	Menev. bükme	Menev. 30 s bek.
3 mm	0,7	0,55	0,82	0,16	0,52	0,51
4 mm	0,91	0,68	1,48	0,54	1,03	0,9
5 mm	1,55	1,38	1,6	0,99	1,14	0,96
6 mm	1,64	1,42	1,77	1,51	1,41	1,24

Şekil 7.1. Farklı kalınlıktaki ve ısıl işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş S235JR numunelerin, 30º'lik bükme işlemlerinde elde edilen ileri esneme miktarı

Sac malzemeler üzerine uygulanan şekillendirme işlemi esnasında, yükün malzeme üzerinden kaldırılması neticesinde, sac malzemenin bükme açısı artmaktadır. Bükme açısının artması neticesinde, ileri esneme meydana gelmektedir. Şekil 7.1'de 3, 4, 5 ve 6 mm kalınlığındaki S235JR sac malzemelerin, 30º'lik bükme işlemi sonucunda, sac kalınlığı arttıkça ileri esneme miktarının arttığı görülmektedir. En küçük ileri esneme miktarı, 3 mm kalınlığındaki normalize edilmiş malzemenin 30 s bekletilerek bükülmesiyle 0,16° olarak ölçülmüştür. En büyük ileri esneme miktarı ise, 6 mm kalınlığındaki normalize edilmiş malzemenin direk olarak bükülmesiyle 1,77° olarak ölçülmüştür.

Normalize edilmiş malzemenin 30 s bekletilmek suretiyle bükülmesi neticesinde, en küçük ileri esneme değerleri elde edilmiştir. Yine, normalize edilmiş malzemenin direk olarak bükülmesiyle de en büyük ileri esneme miktarları elde edilmiştir. Deney numunelerinin sertliği ölçüldüğünde (sertlik değerleri bölüm 6'da verilmiştir), normalize işlemi görmüş malzemenin sertlik değerinin düştüğü

belirlenmiştir. Deney numuneleri arasında en düşük sertliğe sahip olan bu malzeme grubu, 30 s bekleyerek büküldüğünde; bekleme süresine bağlı olarak, malzemenin zımba temas alanına uygulanan yükün homojen olarak dağıtılması ve buna bağlı olarak kalıntı gerilmelerdeki homojenleşmede etkili olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla, iç gerilmesi azalan malzemenin, büküm derecesine yakın açı değerinde kaldığı düşünülmektedir. Buna karşı, normalize edilmiş (düşük sertlikteki) bu malzeme grubu direk olarak büküldüğünde; plastik değişikliğe uğrayan malzeme, kuvvetin hemen kaldırılmasıyla, büküm açı değeri doğrultusunda bir miktar daha şekil değişikliğine uğradığı düşünülmektedir. Dolayısıyla buda ileri esneme miktarında bir miktar artışa neden olmuştur.

Menevişleme işlemi görmüş ve işlem görmemiş malzemelerin, direk olarak bükülmesi ve 30 s bekleyerek bükülmesi arasında fazla bir fark olmadığı görülmektedir. Menevişleme işleminin, mikro yapı dönüşümüne bağlı olarak homojen dağılımlı, tok, nispeten sünek malzeme etkileri gözlemlenmektedir. Bu etki klasik gerilim giderme ve menevişleme tavrıdır [30].

Menevişleme işlemi neticesinde, tokluğu artan malzemelerin, işlem görmemiş malzemelere oranla daha az ileri esneme meydana geldiği tespit edilmiştir.

Direk olarak yapılan bükme işlemleri, 30 s bekleyerek yapılan bükme işlemiyle karşılaştırıldığında, malzeme kalınlığına bağlı olarak esneme değerlerinin oransal olarak arttığı görülmektedir. Bu artış Çizelge 7.1'de verilmiştir.

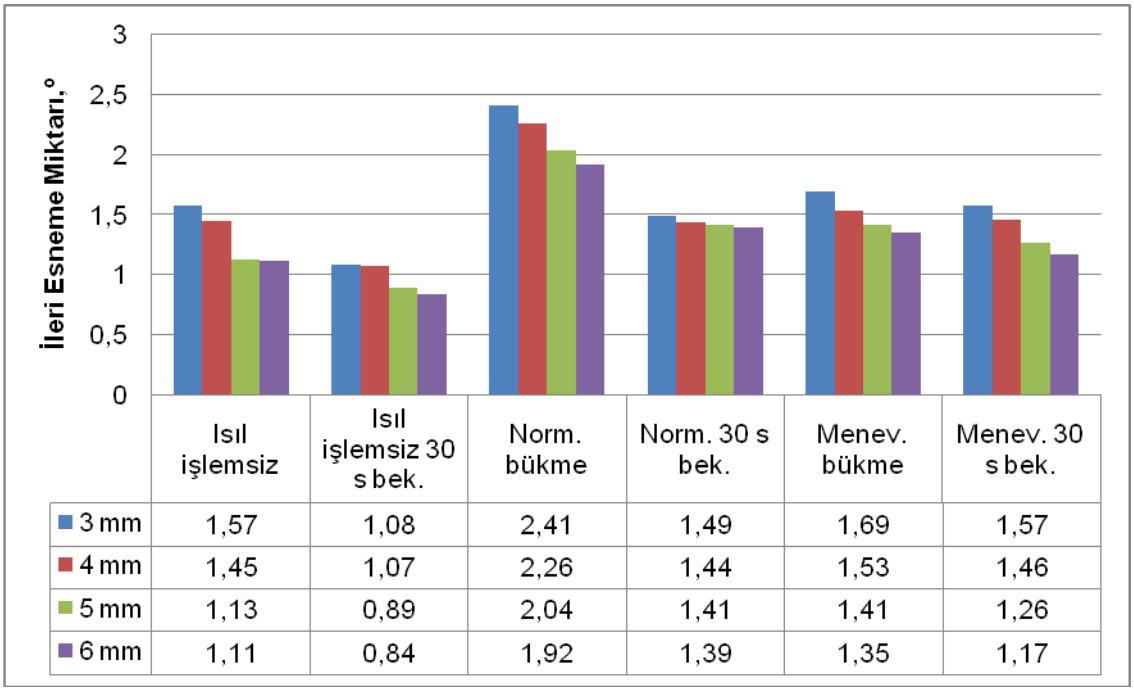
Çizelge 7.1. Beklemeden ve 30 s bekleyerek bükme işlemleri arasındaki ileri esneme artış oranları

Malzeme Kalınlığı, S, mm	Menevişlenmiş (%)	Normalize (%)	İşlem Görmemiş (%)
3	2	11	85
4	13	10	64
5	16	11	46
6	12	13	36

Çizelge 7.1'e göre, menevişleme işlemi yapılmış malzemelerde; zımba malzeme üzerinde beklemeden yapılan bükme işlemlerinde, 30 s bekleyerek yapılan bükme işlemlerine göre; 3 mm'de %2, 4 mm'de %13, 5mm'de, %16 ve 6 mm kalınlığındaki malzemeler için %12 oranında daha fazla ileri esneme olmuştur.

7.2. 60º'lik Bükme Deneyleri

3, 4, 5 ve 6 mm kalınlığındaki S235JR sac malzemelerinin 60º'lik bükülmesi sonucu elde edilen grafik Şekil 7.2'de verilmiştir.



	Isıl işlemsiz	Isıl işlemsiz 30 s bek.	Norm. bükme	Norm. 30 s bek.	Menev. bükme	Menev. 30 s bek.
3 mm	1,57	1,08	2,41	1,49	1,69	1,57
4 mm	1,45	1,07	2,26	1,44	1,53	1,46
5 mm	1,13	0,89	2,04	1,41	1,41	1,26
6 mm	1,11	0,84	1,92	1,39	1,35	1,17

Şekil 7.2. Farklı kalınlıktaki, ısıl işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş S235JR numunelerin, 60º bükme işlemlerinde elde edilen ileri esneme miktarı

3, 4, 5 ve 6 mm kalınlığındaki S235JR malzemelerin 60º'lik bükme işleminde, sac kalınlığı arttıkça ileri esneme miktarının azaldığı görülmektedir. Bükme parametrelerine göre karşılaştırıldığında ise, en iyi sonucun, ısıl işlemsiz bükme işleminde zımba numune üzerinde 30 s bekletilmek suretiyle yapılan numunelerde elde edildiği görülmektedir. En az ileri esneme miktarı, 6 mm kalınlığında, ısıl işlemsiz, zımba 30 s beklemek şartıyla yapılan bükme

işleminde 0,84º elde edilmektedir. En fazla ileri esneme miktarı, 3 mm kalınlığında normalize işlemi uygulanmış malzemede, zımba bekletilmeden yapılan bükme işleminde 2,41º olduğu tespit edilmiştir.

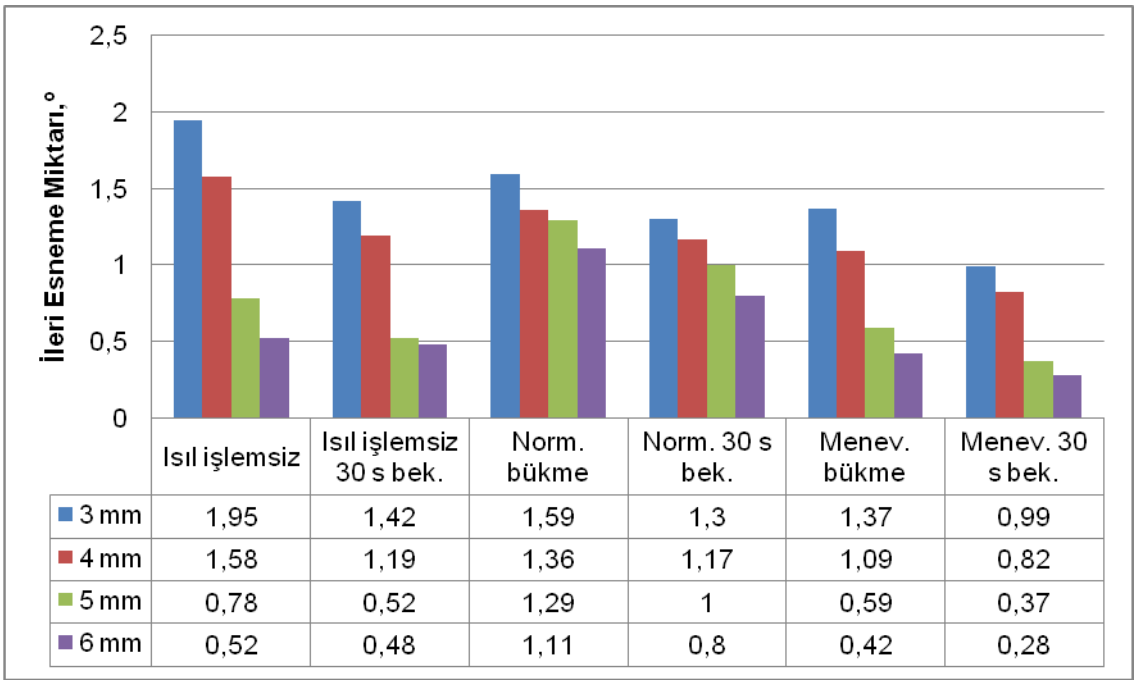
Şekil 7.2 incelendiğinde, ileri esneme miktarının en az olduğu grubun ısıl işlemsiz bükmelerde, zımba malzeme üzerinde 30 s beklemek şartıyla yapılan deneylerde olduğu görülürken, normalize işlemi yapılmış malzemelerde, zımba bekletilmeden yapılan bükme işlemlerinde fazla olduğu görülmektedir.

Normalize işlemi uygulanmış sac malzemelerin, sertlik değerlerinin soğuk bükme ve menevişlenmiş malzemelere göre daha az olduğu yapılan ölçümler doğrultusunda tespit edilmiştir. Normalizasyonlu malzeme bükme işlemlerinde sac malzemelerin sertliğinin düşük olması nedeniyle, ileri esneme miktarlarının arttığı düşünülmektedir. Zımba 30 s bekletilmesi neticesinde, numunenin bükme bölgesinde plastik deformasyona sebep olmaktadır. Bu nedenle, iç gerilimleri dağılan numune ileriye doğru esneme miktarında zımbanın etkisi ile bükme bölgesinde oluşturduğu plastik deformasyondan dolayı numunenin ileri doğru esnemesinde etkili olan iç gerilmeleri yayılmıştır. İç gerilmelerin dağılmasından dolayı numunelerin ileri esneme miktarları azalmaktadır.

Menevişleme işlemi uygulanan malzemelerin sertlik değerlerinin, ısıl işlemsiz malzemelerin sertliği ile karşılaştırıldığında az miktarda düşük olduğu tespit edilmiştir. Menevişlenmiş malzeme bükme işlemleri, ısıl işlemsiz malzemeleri bükme işlemine göre, ileri esneme miktarının fazla olduğu görülmektedir. Menevişleme işlemi, malzemelerin işlenebilirliğinin artmasının yanı sıra, malzemelerin içyapısında meydana gelen iç gerilmeleri gidermek, çeliğin süneklik ve tokluğunu artırmaktadır. Çelikler menevişlendiklerinde süneklilikleri artar, buna karşılık sertlik ve mukavemetleri azalmaktadır [31]. Zımba numune üzerinde bekletildiğinde malzeme içyapısında oluşan iç gerilmeleri azaltmaktadır.

7.3. 90º' lik Açıyla Bükme Deneyleri

Farklı kalınlıklardaki, S235JR sac malzemelerin 90º'lik açıyla bükülmesi sonucunda elde edilen ileri esneme grafikleri Şekil 7.3'de verilmiştir.



	Isıl işlemsiz	Isıl işlemsiz 30 s bek.	Norm. bükme	Norm. 30 s bek.	Menev. bükme	Menev. 30 s bek.
3 mm	1,95	1,42	1,59	1,3	1,37	0,99
4 mm	1,58	1,19	1,36	1,17	1,09	0,82
5 mm	0,78	0,52	1,29	1	0,59	0,37
6 mm	0,52	0,48	1,11	0,8	0,42	0,28

Şekil 7.3. Farklı işlemlerin, farklı kalınlıktaki S235JR sac malzemede 90º'lik açıyla bükülmesi sonucunda elde edilen ileri esneme miktarları

S235JR sac malzemelerin 90º'lik bükme işlemi sonucunda, sac kalınlığı arttıkça ileri esneme miktarının azaldığı Şekil 7.3'deki grafikte de görülmektedir. Grafik incelendiğinde, ileri esneme miktarının en az olduğu, menevişleme işlemi uygulanmış, 6 mm kalınlığındaki malzemenin, 30 s bekletilmesi sonucunda 0,28º olduğu görülmektedir. İleri esneme miktarının en fazla olduğu bükme yönteminin, normalize işlemi yapılmış, 3 mm kalınlığındaki malzemede zımba beklemeden yapılan deneyler sonucunda 1,69º olarak tespit edilmiştir.

Şekil 7.3'de görüldüğü gibi ileri esneme miktarının en fazla olduğu bükme parametresinin normalize işlemi uygulanmış malzemelerde zımba beklemeden yapılan bükme işleminde olduğu tespit edilmiştir. Normalize işlemi sonucunda

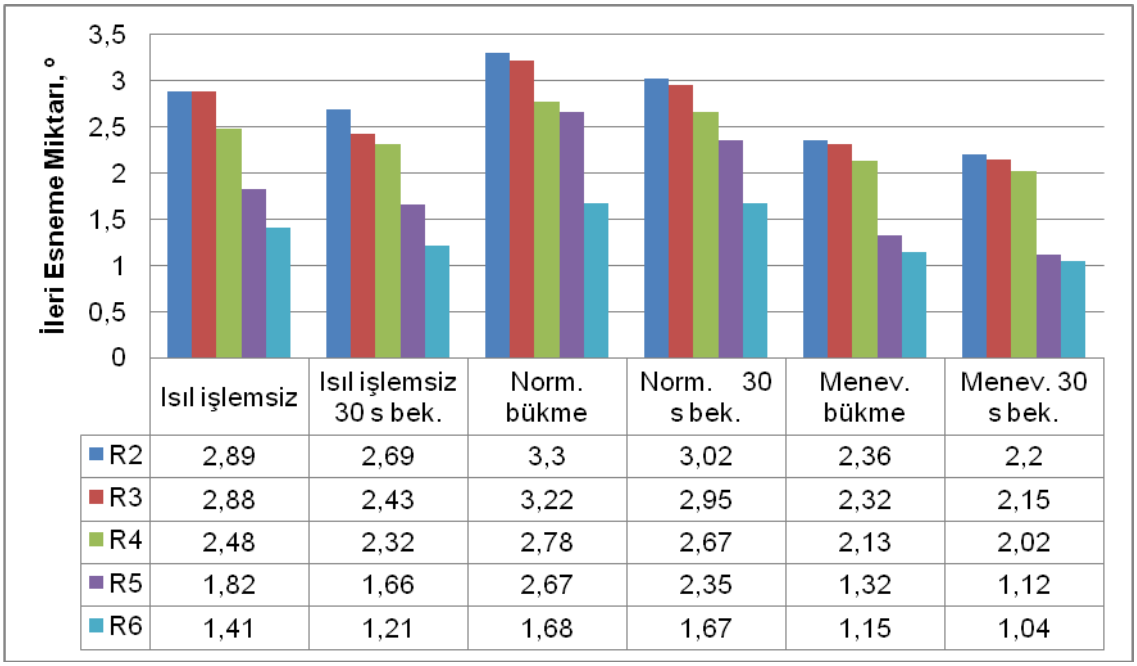
malzemelerin sertlik değerlerinin düşmesi nedeniyle, ileri esneme miktarları artmıştır. Zımba malzeme üzerinde bekletilmesi neticesinde, içyapıda meydana gelen gerginliklerin azalmasından dolayı ileri esneme miktarı düşmüştür. Yapılan ısıl işlemler, ısıl işlem sıcaklığına, süresine, atmosfer kontrolüne bağlı olarak malzemelerde dekarbürizasyon sıklıkla görülen bir durumdur. S235JR sac malzemede yüzey alanına ve kesit miktarına bağlı olarak dekarbürizasyondan söz edilebilir. Ancak, herhangi bir mikro yapı, karbon ilişkisi araştırılmadığından dolayı bunun başka sebepleride olabilir. Başlangıçta kullanılan ısıl işlemsiz S235JR sac malzemenin üretim esnasında kendi bünyesinde bulunan sertlik değerlerinin yüksekliği klasik normalizasyon sonrası beklenen sertlik değerlerine ulaşmamıştır. Eğer malzememiz, tam tavlama gibi bir ısıl işleme tabi tutulsaydı, sertlik değerlerindeki değişim normalize ısıl işleminin farklılığını göstereceği düşünülmektedir.

90º'lik bükme işleminde en iyi sonucun menevişlenmiş numunede zımba numune üzerinde 30 s bekletilmek şartıyla yapılan bükme deneyinde en az ileri esnemenin oluştuğu gözlemlenmiştir. Menevişleme işlemi sonucunda malzemelerin süneklik ve tokluğunun artmasından dolayı, ileri esneme miktarları azalmıştır. Zımba numune üzerinde bekletildiğinde bükme bölgesinde plastik deformasyon oluşmaktadır. Bu plastik deformasyondan dolayı malzeme içyapısında oluşan iç gerilmeler dağılmaktadır. Bu nedenle malzemede meydana gelen ileri esneme miktarlarını da azalttığı düşünülmektedir.

7.4. Farklı Zımba Yarıçaplarıyla 90º'lik Açıyla Bükme Deneyleri

Endüstride yaygın olarak kullanılan 4 mm kalınlığındaki S235JR numunelerinin Şekil 7.4'de 90º bükme işleminde, 5 farklı zımba yarıçap değerlerinin ileri esnemeye olan etkilerini araştırmak amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada, S235JR malzemelerde zımba yarıçap miktarı arttıkça ileri esneme miktarının azaldığı görülmektedir. Zımba uçlarının numune bükme alanında nüfuz ettikleri alanlarda meydana getirdikleri plastik deformasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. Zımba uç yarıçapı 2 mm'de ileri esneme

miktarının 3,3º olduğu görülürken, en az ileri esnemenin ise, zımba uç yarıçapı 6 mm'de menevişleme işleminde, zımba 30 s beklemesi sonucunda 1,04º olarak tespit edilmiştir.



	Isıl işlemsiz	Isıl işlemsiz 30 s bek.	Norm. bükme	Norm. 30 s bek.	Menev. bükme	Menev. 30 s bek.
R2	2,89	2,69	3,3	3,02	2,36	2,2
R3	2,88	2,43	3,22	2,95	2,32	2,15
R4	2,48	2,32	2,78	2,67	2,13	2,02
R5	1,82	1,66	2,67	2,35	1,32	1,12
R6	1,41	1,21	1,68	1,67	1,15	1,04

Şekil 7.4. Farklı zımba yarıçapları ile, ısıl işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş S235JR malzemelerin, 90º bükme işlemi sonucunda elde edilen ileri esneme miktarları

Grafikteki verilere göre menevişleme işlemi yapılmış numunede zımba 30 s bekleyerek elde edilen verilerde, R 2 mm (2,2º), R 3 mm (2,15º), R 4 mm (2,02º), R 5 mm (1,12º), R 6 mm (1,04º) ileri esneme miktarlarının az olduğu görülmektedir. Menevişleme işleminde S235JR numunenin, tokluk ve sünekliğin artmasının yanında numunenin sertliği düşmektedir. Bu yüzden, sertliği düşen numunede ileri esneme miktarı düşmektedir. Menevişleme işleminde, zımba 30 s bekleyerek yapılan bükme işleminde, zımba numune üzerinde beklemeden yapılan deneysel çalışmaya göre, ileri esneme miktarının az olduğu görülmektedir. Malzemenin içyapısında meydana gelen iç gerilmelerin dağılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

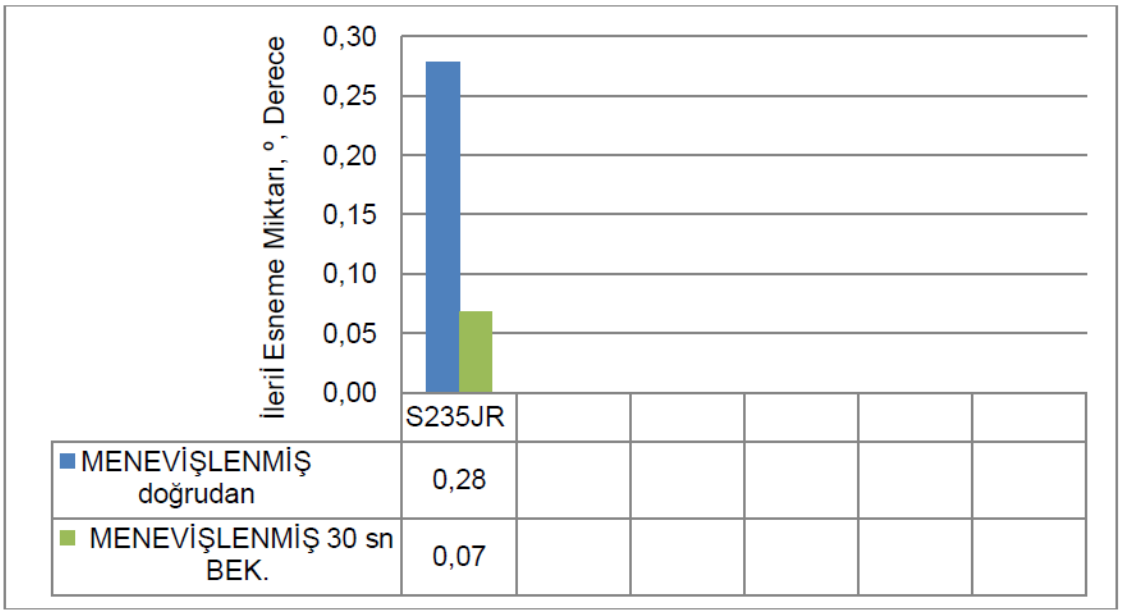
Farklı zımba uç yarıçapları ile bükme işlemlerinde, malzemelerde meydana gelen deformasyon etkileri uygulandığı kesit alanıyla doğrudan ilişkilidir. Artan kesit alanı uygulanan yük miktarını etkin bir şekilde transfer edeceğinden dolayı, kesit alanı arttıkça kalıntı gerilmeler düşüş gösterecektir. Deformasyon hızı ve uygulanan yük miktarının sabit olduğu düşünülürse, artan bükme açısının deformasyon sırasında oluşabilecek kalıntı gerilmelerin homojen dağılmasında yahut birim alana düşen miktarının azalmasında etkin olacağı düşünülmektedir.

Bükme parametrelerine göre karşılaştırıldığında ise, normalize malzemeleri bükme işleminde, ileri esneme miktarının en fazla olduğu görülmektedir. Normalize işlemi yapılan malzemelerin sertlik değerlerinin ısıl işlemsiz ve menevişlenmiş malzemelere göre daha az olduğu yapılan ölçümler sonucunda tespit edilmiştir. Normalize işlemi yapılan numunenin sertliğinin azalmasından dolayı ileri esneme miktarlarının arttığı düşünülmektedir. Isıl işlemsiz bükme işlemlerinde ise, menevişleme işlemi uygulanan malzemelerden sonra ileri esneme miktarının az olduğu görülmektedir. Bu durum malzemenin anizotropik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, 4 mm kalınlığındaki S235JR malzemelerin 5 farklı zımba yarıçaplarında Isıl işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş numune bükme parametrelerinde zımba sac malzeme üzerinde beklemeden ve 30 s bekleyerek deneyler yapılmıştır. Şekil 7.4'de gösterilen deney sonuçlarına göre zımba yarıçap miktarı arttıkça ileri esnemenin azaldığı görülmüştür. Numune üzerine uygulanan normalizasyon işleminde, numunelerin ileri esneme miktarını artırdığı, yapılan menevişlenme işleminin ise, numuneler üzerinde ileri esneme miktarlarını azalttığı gözlemlenmiştir.

7.5. S235JR Sac Malzemenin Yarıçapı 6 mm olan Zımbayla 90º Bükme İşleminde 30 Dak Menevişleme Süresinde Bükme Deneyleri

4 mm kalınlığındaki S235JR sac malzemelerinin menevişleme süresinin arttırılmasıyla, 6 mm yarıçapında zımba ile 90º bükme işlemi sonucunda elde edilen grafik Şekil 7.5'de verilmektedir.



Şekil 7.5. 4 mm kalınlığındaki, S235JR malzemelerin 90º bükme işleminde, yarıçapı 6 mm olan zımba ile 30 dak menevişleme süresinde elde edilen deneysel veri grafiği

S235JR malzemelerin, menevişleme süreleri arttığında geri ve ileri esneme miktarlarında meydana gelen değişmeler Şekil 7.5'de gösterilmektedir. S235JR sac malzemeler, Ac3 sıcaklığı olan 880ºC'ye kadar ısıtılmış, sıcaklığı 20-40 ºC olan saf su içerisine daldırılmıştır. Su verilen parçanın tamamen soğuması beklendikten sonra yapılan menevişleme işleminin çatlamaya sebep olabilecek olması nedeniyle, numuneler 60-80°C sıcaklığa düştükten sonra, menevişleme işlemi için tav fırınına yerleştirilmiştir. 400ºC sıcaklığındaki tav fırınında malzemeler 30 dak bekletilerek tav fırınından alınmış ve soğumaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığına gelen numuneler üzerinde bükme deneyi gerçekleştirilmiştir. Numuneler üzerine yapılan bükme işleminde, S235JR numunede zımba numune üzerinde beklemeden ve 30 s bekleyerek yapılan deneyler sonucunda ileri esneme miktarının en az olduğu bükme yöntemi, zımba numune üzerinde 30 s bekleyerek yapılan deneysel çalışmada elde edildiği görülmüştür. S235JR malzemelerin menevişleme süresi arttığında, ileri esneme miktarının azaldığı görülmektedir. Malzemelere bükme işlemleri uygulanmadan önce uygun menevişleme süresi uygulandığında ideal büküm açısı elde edilebileceği düşünülmektedir.

S235JR malzemeler üzerine yapılan menevişleme işleminde, malzemeler direk ve 30 s bekleyerek deneyler yapılmıştır. Şekil 7.5'den S235JR sac malzemede, zımba 30 s bekleyerek yapılan deneylerde ileri esneme miktarının göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, menevişlenme süresinin artması, numunenin sertlik değerini artırmıştır. Malzemenin sertlik değerinin artması ile ileri esneme miktarının azaldığı düşünülmektedir.

7.6. Değerlendirme

30°, 60° ve 90°'lik bükme işlemleri incelendiğinde, 30°'lik bükme işleminde sac kalınlığı arttıkça ileri esneme miktarı artmaktadır. 60° ve 90°'lik bükme işlemlerinde sac kalınlığı arttıkça ileri esneme miktarının azalması yönünde olmuştur. 45°'lik bükme işlemlerinde 3, 4, 5 ve 6 mm kalınlıklarda ileri esneme miktarlarının eşitleneceği düşünülmektedir. 45°'den büyük bükmelerde ileri esneme miktarı sac kalınlığına bağlı olarak tavır değiştirdiği Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te görülmektedir.

Büyük bükme açılarında (90° ve üstü) deformasyon etkisi malzeme türüne bağlı olarak, mikro çatlaklara hatta gözle görülebilir ayrılmalara neden olabilir. 90°'lik bükmeler yaklaşık %50 deformasyon miktarına karşılık geldiğinden bu değerin aşılması durumunda malzemede ısıl işlemlerle giderilemeyecek mikro yapısal değişikliklere neden olabilir.

Malzemelerde meydana gelen deformasyon etkileri uygulandığı kesit alanıyla doğrudan ilişkilidir. Artan kesit alanı uygulanan yük miktarını etkin bir şekilde transfer edeceğinden dolayı kesit alanı arttıkça kalıntı gerilmeler düşüş gösterecektir. Deformasyon hızı ve uygulanan yük miktarının sabit olduğu düşünülürse, artan bükme açısının deformasyon sırasında oluşabilecek kalıntı gerilmelerin homojen dağılmasında yahut birim alana düşen miktarının azalmasında etkin olacağı düşünülmektedir.

Menevişlenmiş malzemelerin tümünde mikro yapısal homojenliğin getirmiş olduğu alternatif kayma düzlemleri ve diğer işlemlere göre iç gerilmelerdeki ikincil işlem etkinliğinin azlığı homojenizasyonu oluşturmuştur. Bu homojenlik, malzemeye uygulanan yüke bağlı olarak meydana gelen deformasyonun tüm bölgelere eşit olarak dağılmasını sağlamakta olup, uygulanan yükün 30 s bekletilmesiyle, ileri esneme miktarlarına çok fazla etkili olmadığı görülmektedir.

Malzeme bükme işlemleri esnasında, imalatı yapılacak zımbanın zımba büküm açısı hesaplanırken, ileri ve geri esnemeyi de hesaba katmak gerekmektedir. Örneğin, soğuk bükme işlemi yapılacak 3 mm kalınlığındaki S235JR sac malzemenin 30º'lik bükme işleminde kullanılacak, uygun zımba bükme açısını tespit etmek için Şekil 7.1'den, geri esneme değeri 0,9º olarak alınmaktadır. Bu değer, Çizelge Ek 4.1'den veya Şekil Ek 5.1'den bulunabilmektedir. Buradan, erkek zımbaya verilmesi gereken açı miktarı hesabı aşağıda verilmiştir.

Erkek zımbaya verilmesi gereken açı = Bükülecek açı+ileri esneme açısı

$\alpha = 150º+0,9º=150,9º$ olmaktadır.

3 mm kalınlığındaki, S235JR menevişlenmiş malzemelerin 60º'lik bükme işleminde, meydana gelen ileri esneme miktarı için, zımba bükme açısı, $\alpha=120º+1,69º=121,69º$ elde edilmektedir.

Diğer sac kalınlıkları ve bükme parametreleri için Çizelge EK-4 ve 5 üzerinden değerler alınarak imalatı yapılacak bir zımbadan uygun bükme sonuçları elde edilebilmektedir. Dolayısıyla, zımba imalatı yapılırken, ileri esnemenin açı üzerine ilave edilmesiyle istenilen açıda bükme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Çalışmada kullanılan malzemelerin geri ve ileri esneme miktarları hazırlanan tablolar yardımıyla kolay bir şekilde bulunabilmektedir. Fakat araştırmada kullanılmayan sac kalınlıkları, zımba yarıçap değerleri ve bükme açıları için ileri ve geri esneme miktarlarını bulmak kolay değildir. Bu değerlerin kolay bir şekilde bulunabilmesi için, polinom eğri denklemleri türetilmiştir. Bu denklemler,

kalınlık, bükme açısı, zımba uç yarıçapları sonucunda meydana gelen geri ve ileri esneme miktarlarını derece ve derece-dakika cinsinden hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır.

Grafiklerde denenen açılar için geri ve ileri esneme miktarları bulunmaktadır. Ayrıca ara değerler ve denenen değerlerin üstündeki açılar içinde geri esneme değerlerini bulmak oldukça kolaydır. Örneğin, 2 mm kalınlığındaki menevişlenmiş S235JR sac malzemenin 90º'de zımba bekletilmeden yapılan bükme işlemi için geri esneme değerini hesaplayarak veya grafik yardımıyla bulabiliriz. Şekil Ek 5.35'deki grafikte geri esneme eğrisine bir dik çizgi çizelim. Daha sonra kestiği yerden yataya paralel olarak geri esneme miktarlarının bulunduğu eksene kadar ikinci bir çizgi çizelim. Çizginin kestiği yerdeki değer bize yaklaşık geri esneme miktarını verecektir. 2 mm sac kalınlığını grafikte elde edilen denklemde yerine koyarsak bize 90º'deki ileri esneme miktarını verecektir.

2 mm kalınlığındaki S235JR sac malzeme üzerine menevişleme işlemi yapılarak, 90º bükme işlemi sonucunda elde edilecek ileri esneme miktarı;

$y = 0{,}0275*x^2 – 0{,}4725*x + 1{,}8425$
$y = 0{,}0275*2^2 – 0{,}4725*2 + 1{,}8425$
$y= 2{,}8975$º olarak bulunmaktadır.

Diğer açı değerleri ve kalınlıklar polinom eğri denkleminde elde edilen denklemlerde Şekil Ek 5'te yerlerine yazılarak istenilen geri ve ileri esneme miktarları kolay bir şekilde bulunabilmektedir.

Sonuçta kullanıcı, tablodan, çizim yoluyla grafiklerden veya denklem yardımı ile hesaplayarak geri esneme miktarlarını bulabilmektedir. Tasarımcı bulduğu değere göre uygun kalıp tasarımını gerçekleştirecektir.

Bu çalışmada amaç, farklı kalınlık ve özellikteki sac malzemelerin geri ve ileri esneme miktarlarının daha farklı bükme açılarında incelenmek üzere planlanmıştı. Ancak zaman ve maliyet ikilisinin olumsuz etkilerinden dolayı bükmede yaygın olarak kullanılan 3, 4, 5, 6 mm kalınlıktaki S235JR sac malzemeler 30º, 60º ve 90º'lik bükme açılarında ısıl işlemsiz, normalize ve menevişleme işlemi sonucunda zımba bekletilmeden ve 30 s bekletilmesi sonucunda deneyler yapılmıştır. 4 mm kalınlığındaki S235JR sac malzemeler, beş farklı zımba yarıçapında ve zımba yarıçapı R 6 mm olan zımba ile menevişleme süresi arttırılarak menevişleme süresinin geri ve ileri esnemeye olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Edinilen tecrübelerden yararlanılarak, ''V'' bükme işlemlerinde sac malzemeler üzerinde ileri ve geri esneme görülmektedir. Bu özellikler, sac malzemenin anizotropik özellikleri, zımba bükme açısı, haddeleme yönü, uygulanan kuvvet, zımba bekleme süresi ve sac malzeme üzerine uygulanan ısıl işlem türlerine göre farklılıklar göstermektedir.

Sac malzemelerde karşılaşılan problemlerden ve ölçmeyi engelleyen en önemli faktör ''bel bağlama'' diye tabir edilen bölgenin oluşmasıdır. Bu bölge, bükme işlemi esnasında dişi kalıp kenar radüslerinin etkisiyle oluşmaktadır. Bu durum sac malzemelerin bükülmesi sonucu meydana gelen geri esneme miktarlarının artmasına sebep olmaktadır.

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, ‘’V’’ bükme kalıplarında bükme işlemi sonucunda oluşan geri ve ileri esneme miktarını incelemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan literatür taramasında bükmede geri ve ileri esneme konusunda birçok araştırmalar yapıldığı görülmektedir. Bu araştırmaların büyük çoğunluğu geri esnemenin önemi ve nasıl önleneceği üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bazı araştırmacılar ise, bükmede ileri esneme konusu üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Sac malzemelerin anizotropik özelliklerinden dolayı bükme işlemi sonucunda bazı malzemeler geri esnerken bazıları ise ileri esnemektedir. Bükme işlemi neticesinde oluşan geri ve ileri esneme miktarlarını incelemek amacıyla 3, 4, 5 ve 6 mm kalınlığındaki S235JR sac malzemeler üzerine 30º, 60º ve 90º’lik bükme işlemleri uygulanmıştır. Bu çalışmada, sac malzemeler üzerine herhangi bir ısıl işlem uygulanmadan, normalize ve menevişleme işlemi uygulanarak, bu işlemlerin geri ve ileri esnemeye olan etkileri araştırılmıştır. Zımba malzeme üzerinde bekletilmeden ve 30 s bekletilerek bükme işlemleri tekrarlanmıştır.

8.1. Deney Sonuçları

S235JR sac malzemelerin 30º bükme işleminde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Sac kalınlığı arttıkça ileri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir.
- Isıl işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş malzeme bükme işlemlerinde zımba 30 s bekletilerek yapılan deneylerde ileri esneme miktarının azaldığı görülmüştür.
- Normalize bükme işlemi sonucunda, zımba sac malzeme üzerinde bekletilerek yapılan deney sonuçlarında ileri esneme miktarının, ısıl işlemsiz ve menevişlenmiş malzeme ile yapılmış bükme işlemine göre fazla olduğu belirlenmiştir.

- Normalize malzemelerin 30º'lik bükme işleminde zımba 30 s bekletildiğinde, en az ileri esneme miktarı görülmektedir.
- Zımba sac malzeme üzerinde bekletilmeden yapılan deneylerde, menevişlenmiş malzemelerde ileri esneme miktarının en az olduğu belirlenmiştir.
- Normalizasyonlu bükme işleminde, zımba 30 s bekleyerek yapılan deneylerle, menevişlenmiş malzeme bükme işleminde zımba 30 s bekleyerek yapılan deneyler karşılaştırıldığında, normalize işleminin 30º'lik bükümlerde daha uygun olduğu görülmüştür.

S235JR sac malzemelerin 60º bükme işlemi sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Sac kalınlığı arttıkça ileri esneme miktarının azaldığı tespit edilmiştir.
- Isıl işlemsiz, normalizasyonlu ve menevişlenmiş malzeme bükme işlemlerinde, zımba 30 s bekletilerek yapılan deneylerde ileri esneme miktarının azaldığı görülmüştür.
- 60º bükme işleminde özellikle soğuk bükme işleminde zımba 30 s bekletilerek yapılan deneylerin, normalize ve menevişlenmiş malzeme bükme işlemlerine göre ileri esneme miktarının daha az olduğu belirlenmiştir.
- Zımba sac malzeme üzerinde bekletilmeden yapılan deneylere göre karşılaştırıldığında ise, normalizasyonlu bükme işleminde ileri esneme miktarının en fazla olduğu görülürken en az ileri esnemenin ise soğuk bükme işlemi sonucunda elde edildiği görülmüştür.
- Menevişlenmiş numunelerde, zımba bekletilmeden ve 30 s bekletilerek yapılan deneylerle karşılaştırıldığında ise ileri esneme miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir.
- Normalizasyonlu malzeme bükme işleminde zımba 30 s bekletilerek yapılan deneylerin, ısıl işlemsiz bükmede zımba bekletilerek yapılan

deneyler ile karşılaştırıldığında ise, ileri esneme miktarının fazla olduğu görülmektedir.

S235JR sac malzemelerin 90º bükme işleminde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Sac kalınlığı arttıkça ileri esneme miktarının azaldığı görülmüştür.
- Zımba sac malzeme üzerinde bekletilmesi sonucu ileri esneme miktarında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Bu deneyler sonucunda ileri esnemenin en fazla olduğu bükme yönteminin normalizasyonlu malzeme bükme işleminde gerçekleştirildiği görülürken, en az ileri esneme miktarının ise, menevişlenmiş malzeme bükme işleminde gerçekleştiği görülmüştür.
- Isıl işlemsiz bükme işleminde ise, menevişlenmiş malzeme bükme işleminden sonra ileri esneme miktarının az olduğu tespit edilmiştir.
- Isıl işlemsiz bükme işleminde meydana gelen ileri esneme miktarı, sac malzemenin anizotropik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Zımba 30 s beklemek koşuluyla yapılan bükme işleminde, en fazla ileri esneme miktarı normalizasyonlu malzemelerde gerçekleşirken, en az ileri esneme miktarı ise menevişlenmiş malzemede ortaya çıkmıştır.
- Menevişleme işlemi sonucunda sac malzemenin sertliği düşmekte, tokluk ve sünekliği artmaktadır.
- Normalizasyon işleminde sertlik azalmaktadır. Sertlik azaldıkça ileri esneme miktarı azalırken, sertlik arttıkça ileri esneme miktarının azalacağı düşünülmektedir.

4 mm kalınlığındaki S235JR sac malzemenin 90º bükme işleminde beş farklı zımba uç yarıçapına göre meydana gelen ileri esneme miktarlarının incelenmesi üzerine ısıl işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş malzeme bükme işlemlerinde zımba bekletilmeden ve 30 s bekletilerek deneyler yapılmıştır. Bu deney sonuçlarına göre elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Zımba uç yarıçapı arttıkça ileri esneme miktarının azaldığı tespit edilmiştir.
- Malzeme üzerine yapılan menevişleme işleminin ileri esneme miktarını azalttığı görülmüştür.
- Malzeme üzerine menevişleme işlemi yapıldığında, sertliğinin azalmasından dolayı ileri esneme miktarı azalırken, normalizasyon işlemi sonucunda, sertliğin artmasından dolayı ileri esneme miktarı arttığı tespit edilmiştir.
- Isıl işlemsiz bükme işleminde, sac malzemenin anizotropik özelliklerinden dolayı ileri esneme miktarları meydana geldiği görülmektedir.

4 mm kalınlığındaki S235JR sac malzemelerin zımba yarıçapı 6 mm olan zımbayla 90º bükme işleminde menevişleme süresinin artması sonucunda geri ve ileri esneme miktarlarındaki değişmelerin incelenmesi üzerine deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- S235JR sac malzemenin menevişleme süresinin artmasıyla malzemenin sertliğinin düştüğü ve malzemenin içyapısında yumuşama meydana geldiği düşünülmektedir.
- Bükme işleminde malzeme üzerinde ileri esneme miktarının göz ardı edilebilecek miktara düştüğü görülmüştür.
- S235JR malzemelerde zımba sac malzeme üzerinde 30 s bekletilmesi sonucunda, iç gerilmelerin dağılmasından dolayı ileri esneme miktarlarının azaldığı görülmektedir.

8.2. Öneriler

Bükme işlemi ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmayı daha da detaylandırmak için aşağıdaki çalışmaların yapılması önerilebilir.

- Farklı kalınlıkta ve aynı özellikteki malzemelerin bükülmesiyle meydana gelen ileri ve geri esneme miktarları araştırılabilir.
- Aynı özellikteki malzemeler farklı açılarda bükülmesiyle geri ve ileri esneme miktarlarının değişimi gözlenebilir.
- Zımbanın malzeme üzerinde kalma süresi değiştirilerek geri ve ileri esneme üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Kalıp parametrelerinin, azaltılması veya artırılmasının geri ve ileri esnemeye olan etkileri araştırılıp literatüre kazandırılabilir.
- Birim hacimlere düşen yük miktarları hesaplanarak yük-deformasyon ilişkileri incelenebilir. Aynı şekilde mikroyapı ve deformasyon etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Endüstriyel Teknik Öğretim Kitapları, ‘’Sıcak Şekillendirme’’, http://www.gupilya.freeservers.com/main_dosyalar/Page1651.htm (2010).

2. Bakhshi, J., Rahmani, B., Daeezade, V., Gorji, A., ‘’The study of spring-back of CK67 steel sheet in V-die and U-die bending processes’’, Faculty of Mechanical Engineering, Babol University of Technology, ***Materials and Design***, Iran, 1-10 (2008).

3. Tekaslan, O., Şeker, U., Gezer, N., “V Bukme Kalıplarında Pirinç Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti”, ***Gazi Univ. Müh. Mim. Fak. Der.***, 23 (1): 201-238 (2008).

4. Tekiner, Z., ‘’An experimental study of the examination of spring-back of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies’’, ***J. Mater Process Technol.***, 109–17 (2004).

5. Tekaslan, O., Şeker, U., Gezer, N., “V Bukme Kalıplarında Bakır Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti”, ***Gazi Univ. Müh. Mim. Fak. Der.***, 23 (1): 201-238 (2008).

6. Song, N., Dong Q., Jian C., Wing, K. L., Shaofan, L.,’’ Effective models for prediction of springback in flanging’’, ***International Journal of Materials and Product Technology,*** University of California, Berkeley, CA 94720, 12-45 (2006).

7. Thankia, S.J., Ravalb, H.K., Daveb, A.K., ‘’Prediction of the punch reversal position under V-plate bending using real material (power-law) behavior’’, ***Journal of Materials Processing Technology***, Gujarat, India, 227–232 (2001).

8. Tiryaki, A., Şahin, Ş., Kazan, R., Fırat, M., ‘’Sac Metalleri Bükme İşleminde Geri Esneme Açısının Yapay Sinir Ağları ile Kestirimi’’, ***11th. Conference for Computer-Aided Engineering and System Modeling, Metal Forming***, 8-16 (2006).

9. Thipprakmas, S., Rojananan S., ‘’Investigation of spring-go phenomenon using finite element method’’, ***Materials and Design***, 29 (8): 1526-1532 (2008)

10. Chan, W., M., Chew, H.,P., Lee, B. T.,’’ Finite element analysis of spring-back of V-bending sheet metal forming processes’’, Institute of High Performance Computing, Singapore 117528, ***Journal of Materials Processing Technology*** 148: 15–24 (2004).

11. Kwok, S. K., Lee, W. B., ‘’The development of a machine vision system for adaptive bending of sheet metals’’, ***Journal of Materials Processing Technology***, Hong Kong Polytechnic, Hung Hom, Hong Kong, 48 (1-4): 43-49 (1995).

12. Bauer, D., Khodayari, G., ‘’Rohrrueckfederung beim Biegen prozessbegleitend kompensieren., in -process compensation of tube springback during bending’’, ***Materials and Design***, Univ. Gesamthochschule-Siegen, German., 33 (7): 27-37 (1992).

13. Pourboghrat, F., Chu, E., ‘’Prediction of spring-back and side-wallcurl in 2-D draw bending’’, ***Journal of Materials Processing Technology***, ,Alwninum Co. of America, Alcoa Center, PA, U.S.A, 50 (1-4): 361-374 (1995).

14. Shu, J., Hung, C., ‘’Finite element analysis and optimization of springback reduction, the double-bend technique’’, ***International Journal of Machine Tools Manufacture***, Natl. Chiao Tung Univ., Hsinchu, Taiwan, 36 (4): 423-434 (1996).

15. Yuan, W. Y. D., ‘’Generalized solution for the prediction of springback in laminated strip’’, ***Journal of Materials Processing Technology***, Port Kembla, Lab, Port Kembla, Aust., 61 (3): 254-264 (1996).

16. Devin, J., “Curvature prediction in air bending of metal sheet”, ***Journal of Materials Processing Technology***, 100: 257-261 (2000).

17. Forcellese, A., Gabrielli, F., Runi, R., “Ect of the training set size on springback control by neural network in an air bending process”, ***J. Mater. Process Tech.***, 80-81: 493–500 (1998).

18. Sousa, L., Castro, C., Antonio, C., ‘’Optimal design of V and U bending processes using genetic algorithms’’, ***Journal of Materials Processing Technology***, 172: 35–41 (2006).

19. Imai, K., Koyama J., Jin, Y., ‘’High-accuracy V-bending system by real time identifying material property’’, ***Advanced Technology Development Department, journal of Materials Processing Technology***, Kanagawa, Japan,193–197 (2008).

20. Ragai, L., Lazim, D., Nemes, A., ‘’Anisotropy and spring-back in draw-bending of stainless steel‘’, experimental and numerical study’’, ***Mater Process Technol***, 166: 116-127 (2005).

21. Branko, G., Josip, C., Dejan, G., ‘’Effect of spring-back and spring forward in V-die bending of St1403 sheet metal plates’’, ***Journal for Theory and Application in Mech. Engineering***, 52: 181-186 (2010).

22. Yenice, M., “Bükme ile şekillendirilen saclarda geri yaylanma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Bursa, 26-31 (2006).

23. Arslan, B., “Geri esnemenin sac parçaların bicim tamlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi uygulamaları ile değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 3-12 (2004).

24. Moon, Y.H., Kang, S.S., Cho, J.R., Kim, T.G., ‘’Effect of tool temperature on the reduction of the spring-back of aluminum sheets’’, ***Mater Process Technol***, 132: 365–8 (2003).

25. Li X., Yang Y., Wang Y., Bao J., Li S.,’’Effect of the material-hardening mode on the spring-back simulation accuracy of V-free bending’’, J Mater Process Technol, 123: 209–11 (2002).

26. Ataşimşek, S., ‘’Sac Kalıpları’’, ***M.E.B.***, Bursa, 232-337 (1979).

27. Uzun, İ., Erişkin, Y., ‘’Sac Metal Kalıpçılığı’’***, M.E.B.***, Ankara, 253-286 (1983).

28. MEGEP, ‘’Makine Teknolojisi, Bükme Kalıpları’’, ***M.E.B.***, Ankara, 3-40 (2006).

29. Koçak, H., ‘’Takım Çelikleri El Kitabı’’, ***Yonca Ajans, Ofset Matbaacılık***, VII. Baskı, İstanbul, 20-86 (2006).

30. Topbaş, Prof. Dr. A., “Elik ve Isıl İşlem El Kitabı”, ***M.E.B.***, İstanbul, 42-96 (1998).

31. TEKİN, Doç. Dr. Erdoğan, “Mühendisler İçin Çelik Seçimi”, ***M.E.B.***, Ankara, 86-123 (1986).

32. Yüksel, M.C., König, R., “Bilim Günleri, 5-6-7 Mayıs’’ ***Makine Mühendisleri Odası Denizli Şubesi***, 28-46 (1999).

33. Yüksel, M., “Malzeme Bilgisi”, Cilt I, ***TMMOB***, Ankara, (2001)

34. Tekin, A., “Çeliklerin Metalürjik Dizaynı, ***Doyuran Matbaası***, İstanbul, (1981).

35. Anık, S., Anık, E., M., VURAL, S., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, ***Birsen Yayınevi***, İstanbul, 86-123 (2000).

36. MEGEP, ‘’Metal Teknolojisi, Isıl İşlemler’’, ***M.E.B.***, Ankara, 8-20 (2006).

37. Katalog, ***MKE***, ‘’Çelik Türleri ‘’, Ankara, 95-100 (2004).

38. Donald, R., Pradeep, P., ‘’Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, ***Brooks / Cole-Thomson Learning***, U.S.A., 765-864 (2003).

39. İnternet: Cömert Çelik, “Karbon Çelikleri” http://comertcelik.com/urunler.asp?code (2010).

EKLER

EK-1. Malzeme Sertifikaları

mauri	S235JR Non-alloy steel for structural purposes	(W. NR. 1.0038)

CHEMICAL COMPOSITION: (heat analysis according to the EN 10025-2 standard)

	C % For thicknesses in mm ≤16	>16 ≤40	>40	Si %	Mn %	P %	S %	N %	Cu %
FROM	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TO	0,17	0,17	0,20	-	1,40	0,035	0,035	0,012	0,55

*MECHANICAL FEATURES: (according to the EN 10277-2 standard)

Thickness mm	Rolled + peeled rolled (+SH)		Cold drawn (+C)		
	hardness HB	Rm (MPa)	$Rp_{0,2}$ minimum values (MPa)	Rm (MPa)	A_5 % minimum values
≥5≤10			355	470 - 840	8
>10≤16			300	420 - 710	9
>16≤40	102 - 140	340 - 470	260	390 - 690	10
>40≤63	102 - 140	340 - 470	235	380 - 630	11
>63≤100	102 - 140	340 - 470	215	340 - 600	11

* Delivery condition: as rolled.

PROPERTIES :

Weldability:

This steel grade is generally suitable to welding.

Notes:

CORRESPONDENCE WITH OTHER STANDARDS (purely as an indication) :

EN 10025:90	DIN 17100	BS 4360
Fe 360 BFN	RSt 37-2	40B

Şekil 1.1. S235JR sac malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri

EK-1. (Devam) Malzeme Sertifikaları

Quality	S235JR (Fe 360 BFN)						
According to standards	EN 10025-2: 2004						Lucefin Group
Number	1.0038						

Chemical composition

C% max	Si%	Mn% max	P% max	S% max	N% max	Cu% max	
0,17 [c]	--	1,40	0,035	0,035	0,012 [a]	0,40	Cast analysis
0,19 [c]	--	1,50	0,045	0,045	0,014 [b]	0,45	Product analysis

Metod of deoxidation FN rimming steel not permitted
[c] for nominal thickness > 40 mm to 100 mm max 0.20 of ladle / 0.23 of the product.
[c] for nominal thickness > 100 mm the C content by agreement
[a] the max value does not apply if the chemical composition shows a minimum total Al content of 0.020%
[b] the max value does not apply if the chemical composition shows a minimum total Al content of 0.015%

S235JR n° 1.0122
P% - S% max 0.040
cast analysis

Temperature °C

Hot forming	Normal treatment	Soft annealing	Isothermal annealing
1200-850	natural	690–720 furnace (HB max 140)	--

Temperature values are valid for analysis close to:

C%	Mn%	Si%
~ 0.10	~ 0.50	~ 0.20

In some cases the piece can be normalized and tempered or quenched and tempered

Normalizing and Tempering	Quenching and Tempering	Stress relieving	End quench hardenability
920 air	920 water	50 under the	--
540-650 air	540-665 air	temperature of tempering	

Preheating welding: not demanded

Stress relieving after welding: slow cooling

Ac1	Ac3	Ms	Mf
725	880	480	260

Mechanical properties

Hot formed – hot rolled - rod EN 10025-2: 2004 S235JR

Testing at room temperature

size mm over	size mm to	R N/mm²	size mm over	size mm to	R_{eH} N/mm² min	size mm over	size mm to	A% L min	A% T min	HB for information
	3	360-510		16	235	3	40	26	24	104-154
3	100	360-510	16	40	225	40	63	25	23	104-154
100	150	350-500	40	63	215	63	100	24	22	103-152
150	250	340-490	63	80	215	100	150	22	22	100-149
--	--	--	80	100	215	150	250	21	21	

Mod. of elasticity N/mm²						Kv L + 20 °C [a] J min	
E long.	G tang.	over	to	over	to		
198000	76000	200	250	175	150	250	27

[a] for thickness > 100 mm the values shall be agreed. The impact properties are verified only when specified of the order

Cold drawn +C EN 10277-2: 2008 S235JRC 1.0122

Testing at room temperature (longitudinal)

size mm over	size mm to	R [b] N/mm²	Rp 0.2 [b] N/mm² min	A% min	HB for information
5 [c]	10	470-840	355	8	141-250
10	16	420-770	300	9	125-231
16	40	390-730	260	10	114-224
40	63	380-670	235	11	110-203
63	100	360-640	215	11	104-198

Hot rolled – Peeled- Reeled +SH

Testing at room temperature (longitudinal)

R N/mm²	Rp 0.2 N/mm² min	A% min	HB
--	--	--	--
--	--	--	--
360-510	--	--	102-140
360-510	--	--	102-140
360-510	--	--	102-140

[b] for flats and special sections yield point can be – 10% and tensile strenght can be ± 10%
[c] for thickness below 5 mm mechanical properties can be agreed before order placement. Values valid also +C+SL and +SH+SL

Cold drawn Temperature	Mod. of elasticity N/mm² E long.	G tang.
20 °C	170000	65000

Forged normalized EN 10250-2: 2001 S235JRG2 n° 1.0038 (Fe 360 BFN)

Tensile test at room temperature Kv at room temperature

size over	size to	R N/mm² min	Re N/mm² min	A% L min	A% T min	Kv L + 20 °C J min	Kv T + 20 °C J min	HB min
	100	340	215	24	--	35	--	100
100	250	340	175	23	17	30	20	100
250	500	340	165	23	17	27	15	100

EUROPE EN ITALY UNI CHINA GERMANY DIN FRANCE AFNOR U.K. B.S. RUSSIA USA AISI/SAE

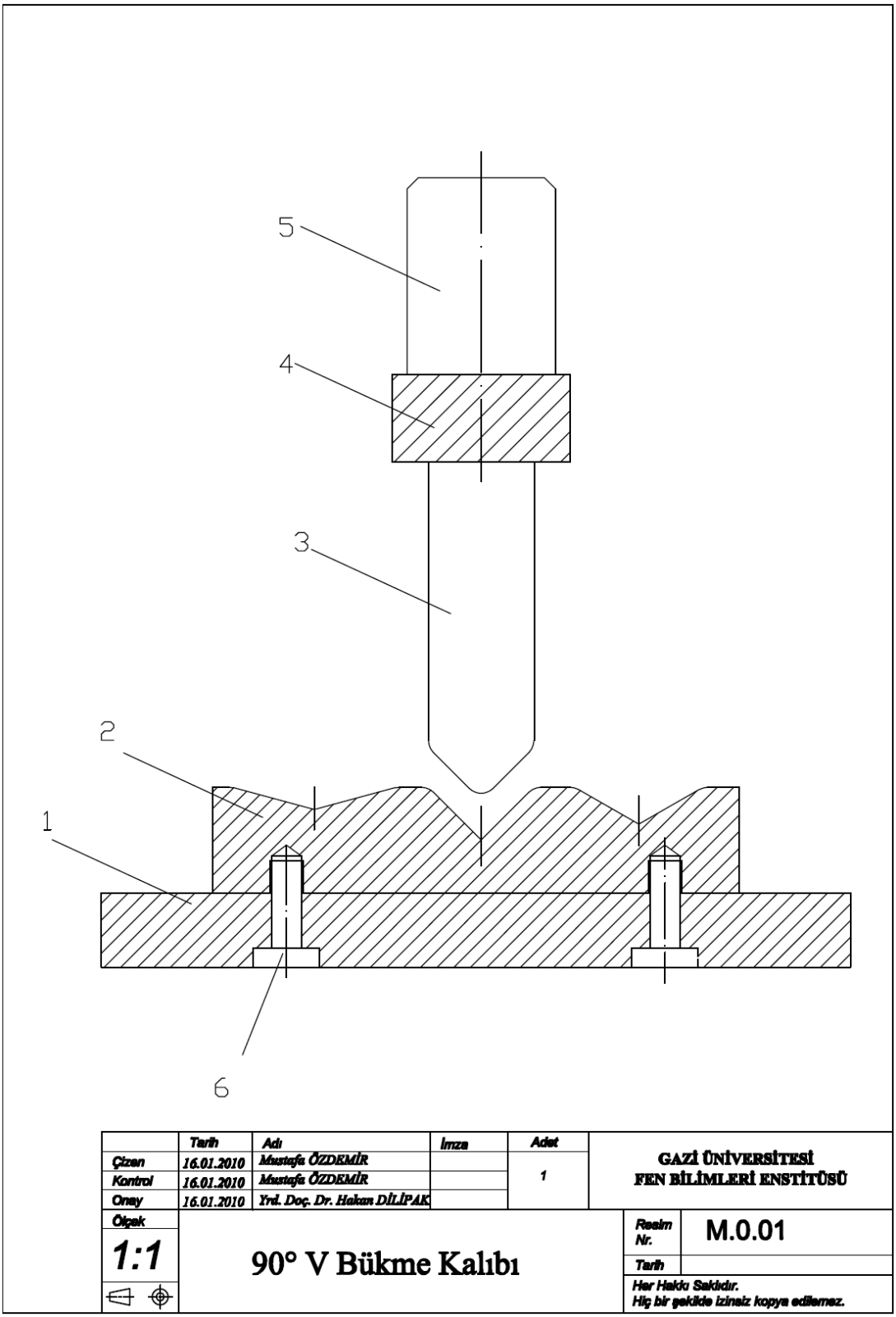
Şekil 1.2. S235JR sac malzemenin sertifikası

EK-2. Analizler

Çizelge 2.1. S235JR sac malzemelerin, normalizasyon ve menevişleme işlemleri sonucunda spektral malzeme analiz sonuçları

Bükme Param.	S, mm	Fe	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	V	Nb	W	Co
S235JR Normalizasyon	3	44903	0,066	0,159	0,460	0,010	0,010	0,0002	0,028	0,022	0,005	0,022	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,003
	4	45559	0,068	0,155	0,459	0,010	0,010	0,0002	0,027	0,021	0,005	0,018	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	0,003
	5	44430	0,091	0,190	0,714	0,020	0,010	0,0003	0,043	0,056	0,005	0,038	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,006
	6	43809	0,088	0,185	0,690	0,013	0,007	0,0002	0,040	0,070	0,005	0,059	0,001	<0,002	<0,001	0,010	0,008
S235JR Menevişleme	3	43759	0,104	0,227	0,692	0,010	0,009	0,0004	0,055	0,079	0,008	0,077	0,001	<0,001	<0,001	0,011	0,008
	4	42562	0,088	0,228	0,693	0,009	0,009	0,0005	0,057	0,079	0,010	0,090	0,002	0,008	<0,001	0,012	0,008
	5	47878	0,067	0,014	0,357	0,011	0,008	0,0004	0,037	0,044	0,007	0,041	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,006
	6	45153	0,051	0,017	0,359	0,011	0,008	0,0003	0,038	0,047	0,009	0,059	<0,001	<0,003	<0,001	0,011	0,006

EK-3. Bükme işleminde kullanılan V bükme kalıbının komple ve detay resimleri

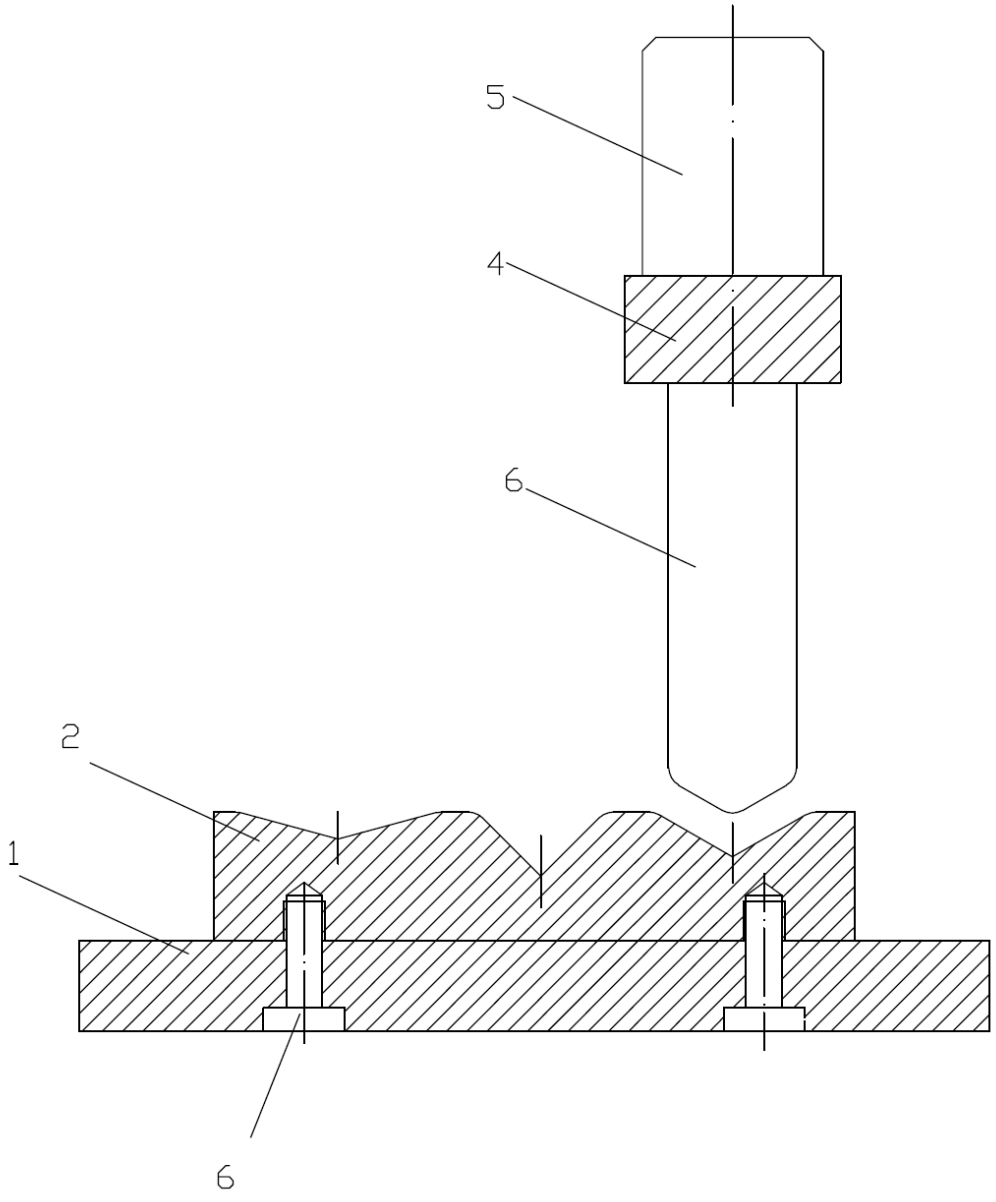


	Tarih	Adı	İmza	Adet	GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR		1	
Kontrol	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR			
Onay	16.01.2010	Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK			

Ölçek	90° V Bükme Kalıbı	Resim Nr.	M.0.01
1:1		Tarih	

Her Hakkı Saklıdır.
Hiç bir şekilde izinsiz kopya edilemez.

EK-3. (Devam) Bükme işleminde kullanılan V bükme kalıbının komple ve detay resimleri

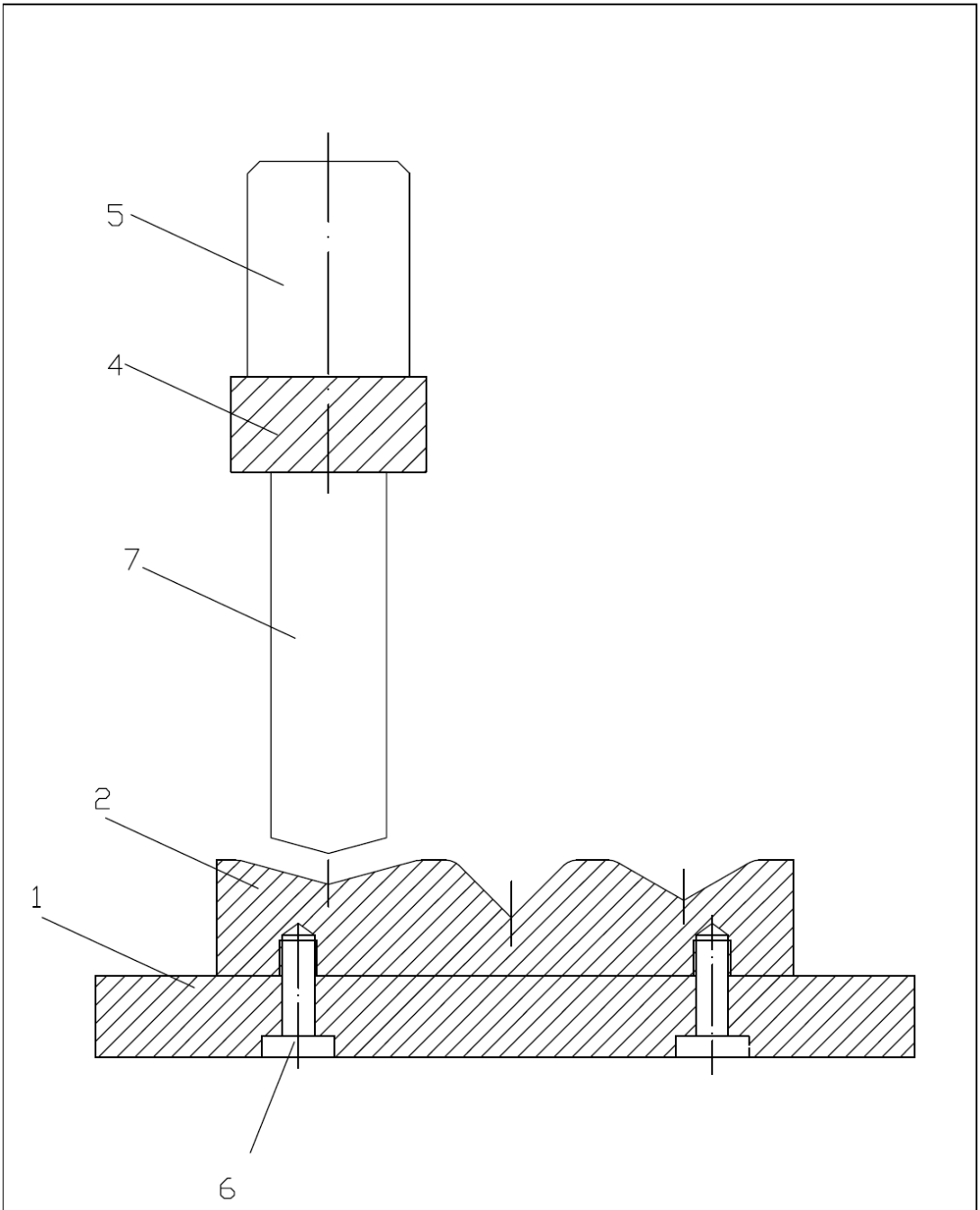


	Tarih	Adı	İmza	Adet	
Çizen	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR		1	GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kontrol	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR			
Onay	16.01.2010	Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK			

Ölçek		Resim Nr.	M.0.02
1:1	60° V Bükme Kalıbı	Tarih	

Her Hakkı Saklıdır.
Hiç bir şekilde izinsiz kopya edilemez.

EK-3. (Devam) Bükme işleminde kullanılan V bükme kalıbının komple ve detay resimleri

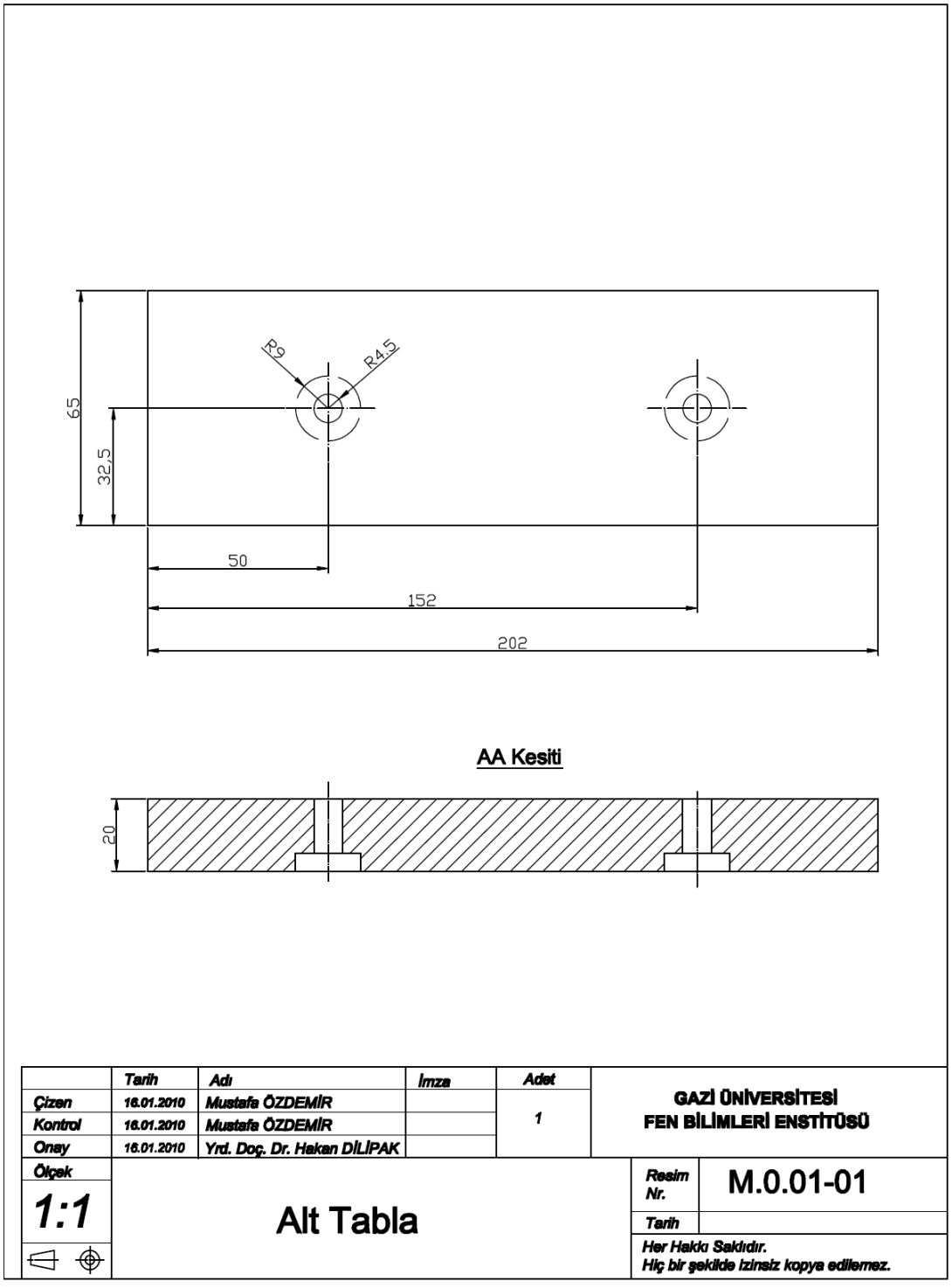


	Tarih	Adı	İmza	Adet	GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR		1	
Kontrol	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR			
Onay	16.01.2010	Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK			

Ölçek	30° V Bükme Kalıbı	Resim Nr.	M.0.03
1:1		Tarih	

Her Hakkı Saklıdır.
Hiç bir şekilde izinsiz kopya edilemez.

EK-3. (Devam) Bükme işleminde kullanılan V bükme kalıbının komple ve detay resimleri

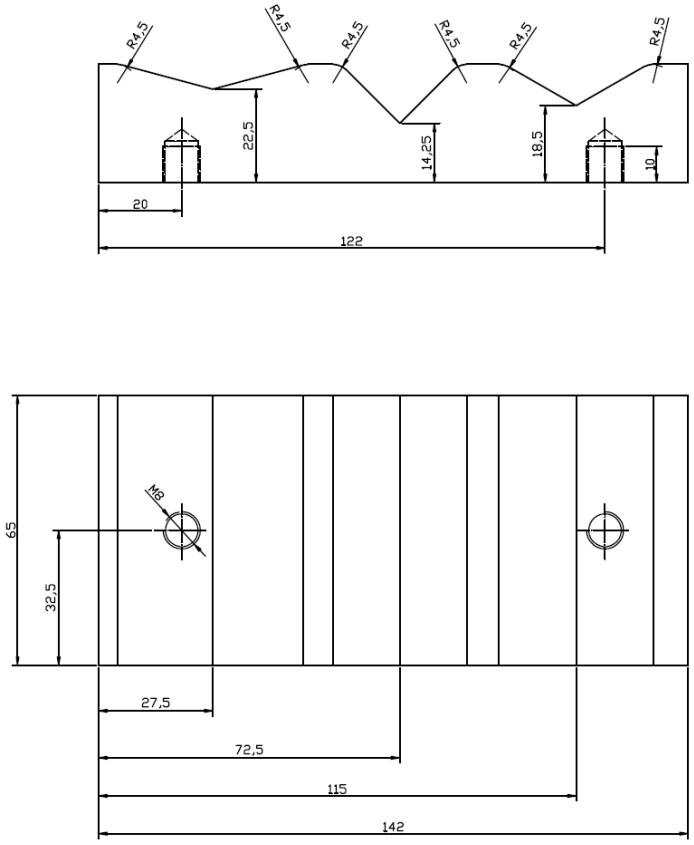


	Tarih	Adı	İmza	Adet	GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR		1	
Kontrol	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR			
Onay	16.01.2010	Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK			

Ölçek	Alt Tabla	Resim Nr.	M.0.01-01
1:1		Tarih	

Her Hakkı Saklıdır.
Hiç bir şekilde izinsiz kopya edilemez.

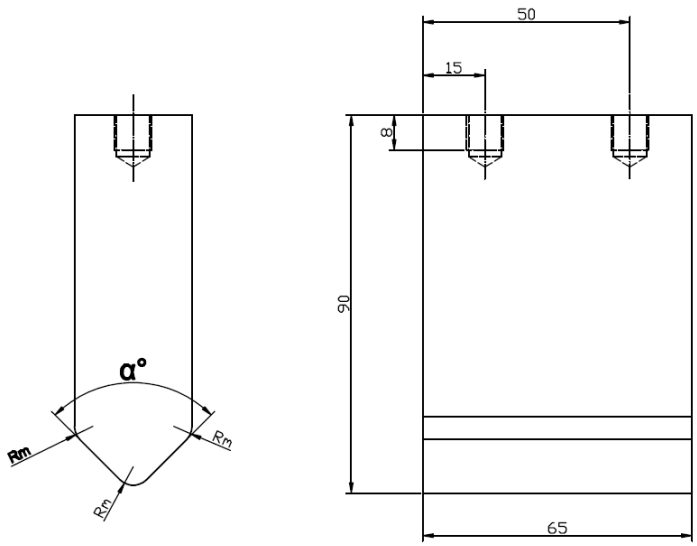
EK-3. (Devam) Bükme işleminde kullanılan V bükme kalıbının komple ve detay resimleri



	Tarih	Adı	İmza	Adet	GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR		1	
Kontrol	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR			
Onay	16.01.2010	Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK			
Ölçek 1:1	Dişi Kalıp			Resim Nr.	M.0.01-2
				Tarih	

Her Hakkı Saklıdır.
Hiç bir şekilde izinsiz kopya edilemez.

EK-3. (Devam) Bükme işleminde kullanılan V bükme kalıbının komple ve detay resimleri

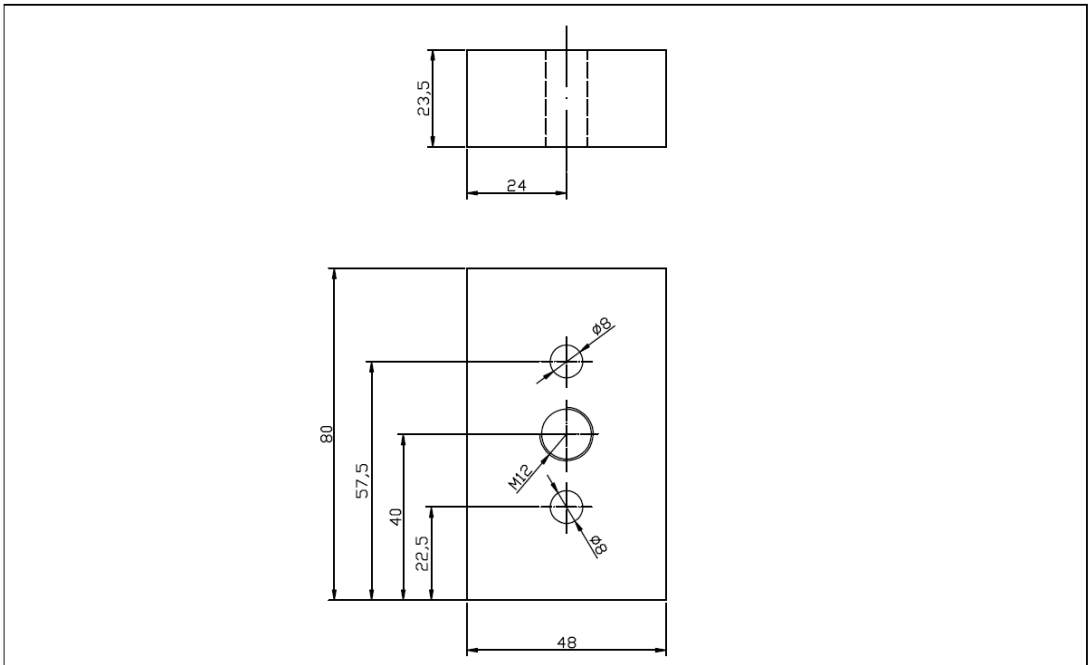


	Tarih	Adı	İmza	Adet	GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR		1	
Kontrol	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR			
Onay	16.01.2010	Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK			

Ölçek	Zımba	Resim Nr.	M.0.01-3
1:1		Tarih	

Her Hakkı Saklıdır.
Hiç bir şekilde izinsiz kopya edilemez.

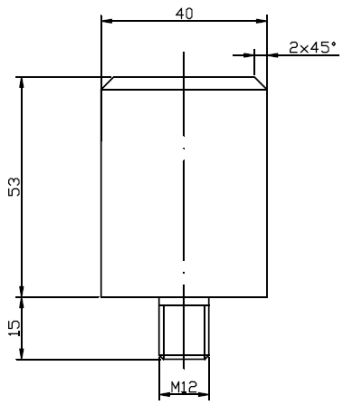
EK-3. (Devam) Bükme işleminde kullanılan V bükme kalıbının komple ve detay resimleri



Çizen	Tarih	Adı	İmza	Adet	
Çizen	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR		1	GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kontrol	16.01.2010	Mustafa ÖZDEMİR			
Onay	16.01.2010	Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK			
Ölçek 1:1	Kalıp Sapı				Resim Nr. M.0.01-5 Tarih

Her Hakkı Saklıdır. Hiç bir şekilde izinsiz kopya edilemez.

Çalışma No	Ölçek	Sayı	Adı	Çizen	Resim No.
Ç1390	1/1	1	ZIMBA TUTUCU PLAKASI	Mustafa ÖZDEMİR	M.01-4
Gereç	Ölçek	Sayı	Adı	Çizen	Resim No.



EK-4. Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme tabloları

Çizelge 4.1 S235JR sac malzemelerin bükme parametrelerine göre, 30º'lik bükme işlemi sonucunda elde edilen aritmetik ortalamaları ve geri esneme miktarları

Sac Kalınlığı, mm	**Bükme Parametreleri, ileri esneme miktarları, º, derece**					
	Isıl işlemsiz bükme	Isıl işlemsiz 30 s bek.	Normalizasyonlu bükme	Normalizasyonlu 30 s bek.	Menevişlenmiş bükme	Menevişlenmiş 30 s bek.
3	0,7	0,55	0,82	0,16	0,52	0,51
4	0,91	0,68	1,48	0,54	1,03	0,9
5	1,55	1,38	1,6	0,99	1,14	0,96
6	1,64	1,42	1,77	1,51	1,41	1,24

Çizelge 4.2. S235JR sac malzemelerin bükme parametrelerine göre, 60º'lik bükme işlemi sonucunda elde edilen aritmetik ortalamaları ve geri esneme miktarları

Sac Kalınlığı, mm	**Bükme Parametreleri, ileri esneme miktarları, º, derece**					
	Isıl işlemsiz bükme	Isıl işlemsiz 30 s bek.	Normalizasyonlu bükme	Normalizasyonlu 30 s bek.	Menevişlenmiş bükme	Menevişlenmiş 30 s bek.
3	1,57	1,08	2,41	1,49	1,69	1,57
4	1,45	1,07	2,26	1,44	1,53	1,46
5	1,13	0,89	2,04	1,41	1,41	1,26
6	1,11	0,84	1,92	1,39	1,35	1,17

EK-4. Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme tabloları

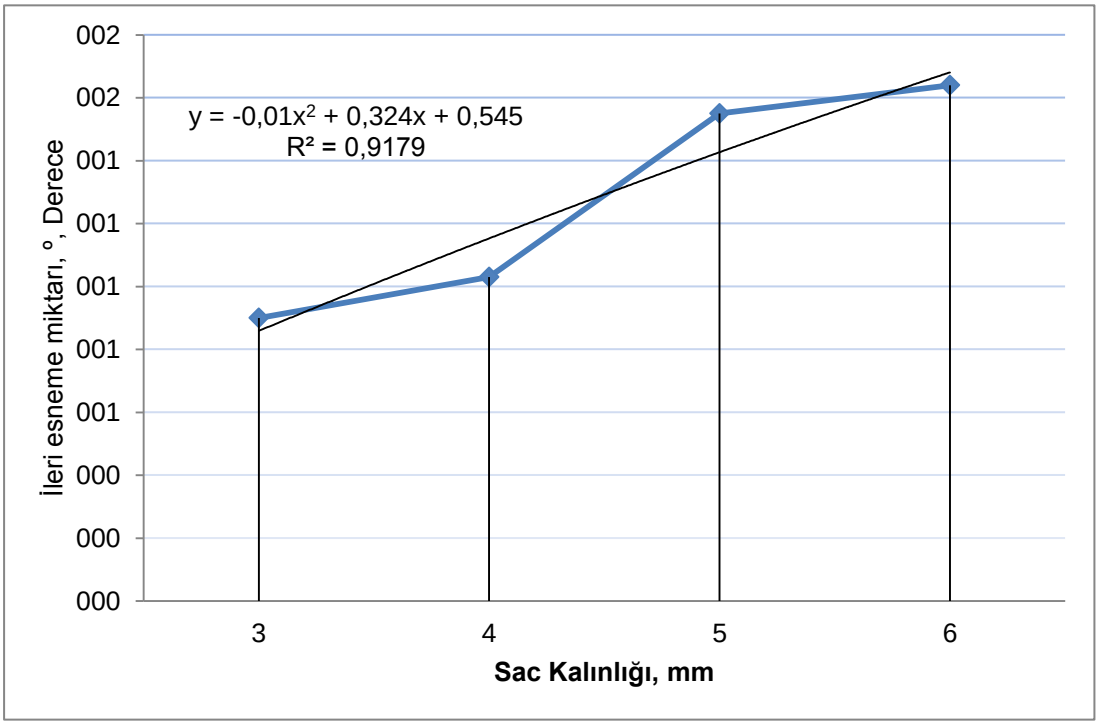
Çizelge 4.3. S235JR sac malzemelerin bükme parametrelerine göre, 90º'lik bükme işlemi sonucunda elde edilen aritmetik ortalamaları ve geri esneme miktarları

Sac Kalınlığı, mm	**Bükme Parametreleri, ileri esneme miktarları, º, derece**					
	Isıl işlemsiz bükme	Isıl işlemsiz 30 s bek.	Normalizasyonlu bükme	Normalizasyonlu 30 s bek.	Menevişlenmiş bükme	Menevişlenmiş 30 s bek.
3	1,95	1,42	1,59	1,3	1,37	0,99
4	1,58	1,19	1,36	1,17	1,09	0,82
5	0,78	0,52	1,29	1	0,59	0,37
6	0,52	0,48	1,11	0,8	0,42	0,28

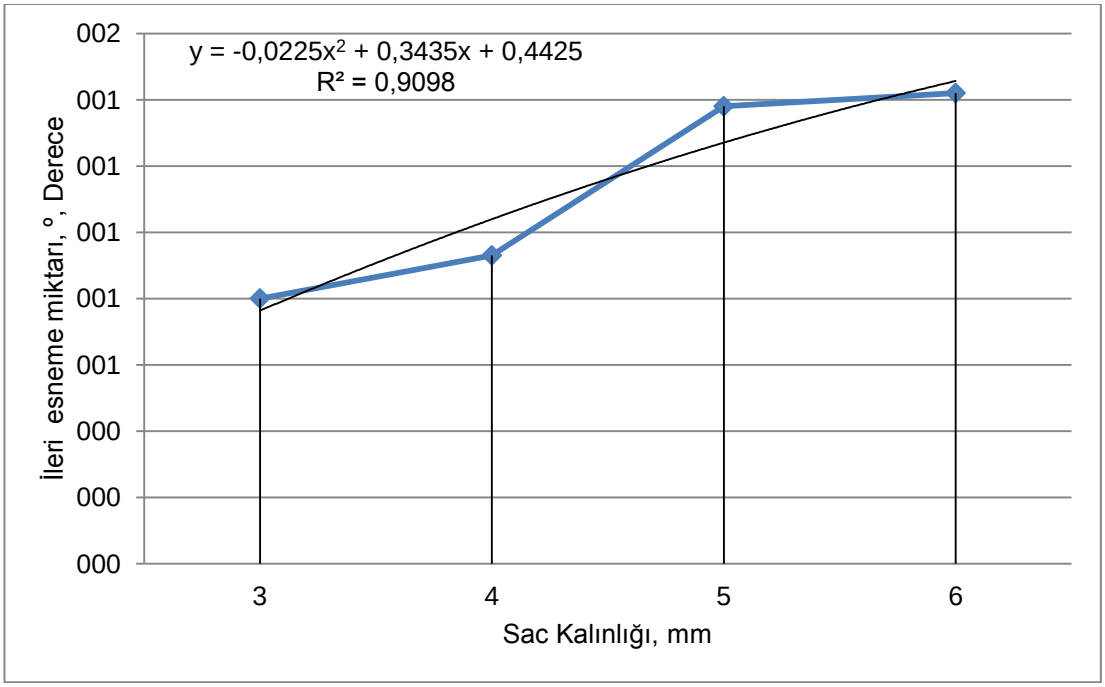
Çizelge 4.7. 4 mm kalınlığındaki S235JR sac malzemenin beş farklı zımba yarıçapı ile bükme parametrelerine göre, 90º'lik bükme işlemi sonucunda elde edilen aritmetik ortalamaları ve geri esneme miktarları

Zımba yarıçapı, mm	**Bükme Parametreleri, ileri esneme miktarları, º, derece**					
	Isıl işlemsiz bükme	Isıl işlemsiz 30 s bek.	Normalizasyonlu bükme	Normalizasyonlu 30 s bek.	Menevişlenmiş bükme	Menevişlenmiş 30 s bek.
R2	2,89	2,69	3,3	3,02	2,36	2,2
R3	2,88	2,43	3,22	2,95	2,32	2,15
R4	2,48	2,32	2,78	2,67	2,13	2,02
R5	1,82	1,66	2,67	2,35	1,32	1,12
R6	1,41	1,21	1,68	1,67	1,15	1,04

EK-5. Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

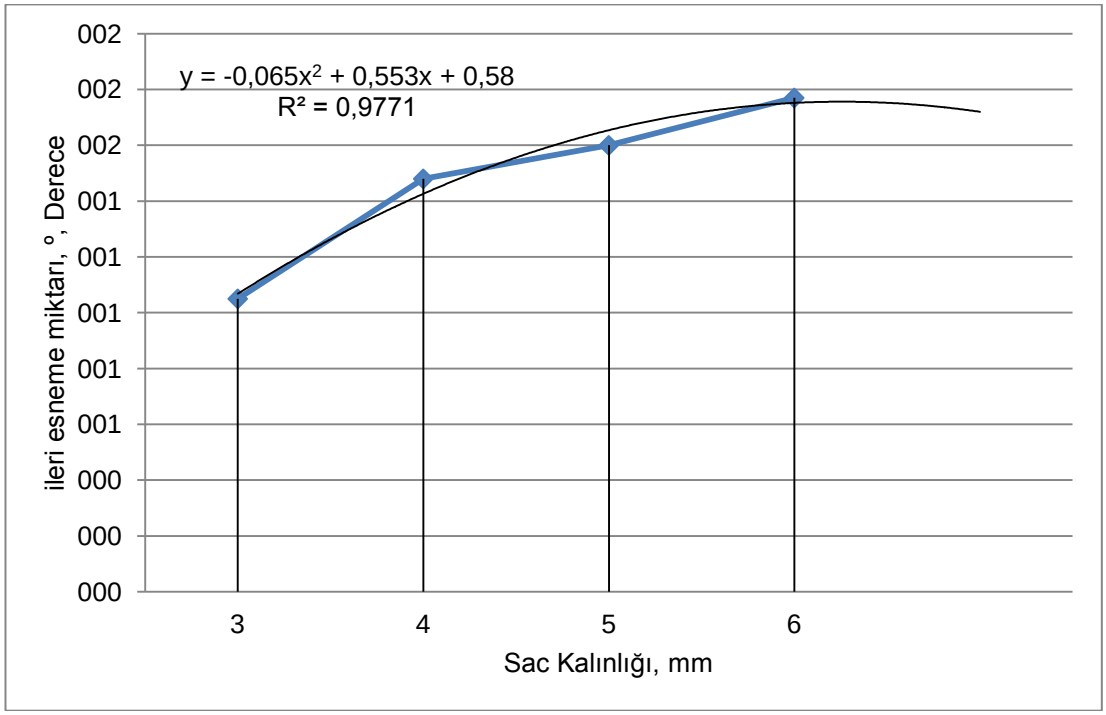


Şekil 5.1. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 30° ısıl işlemsi zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

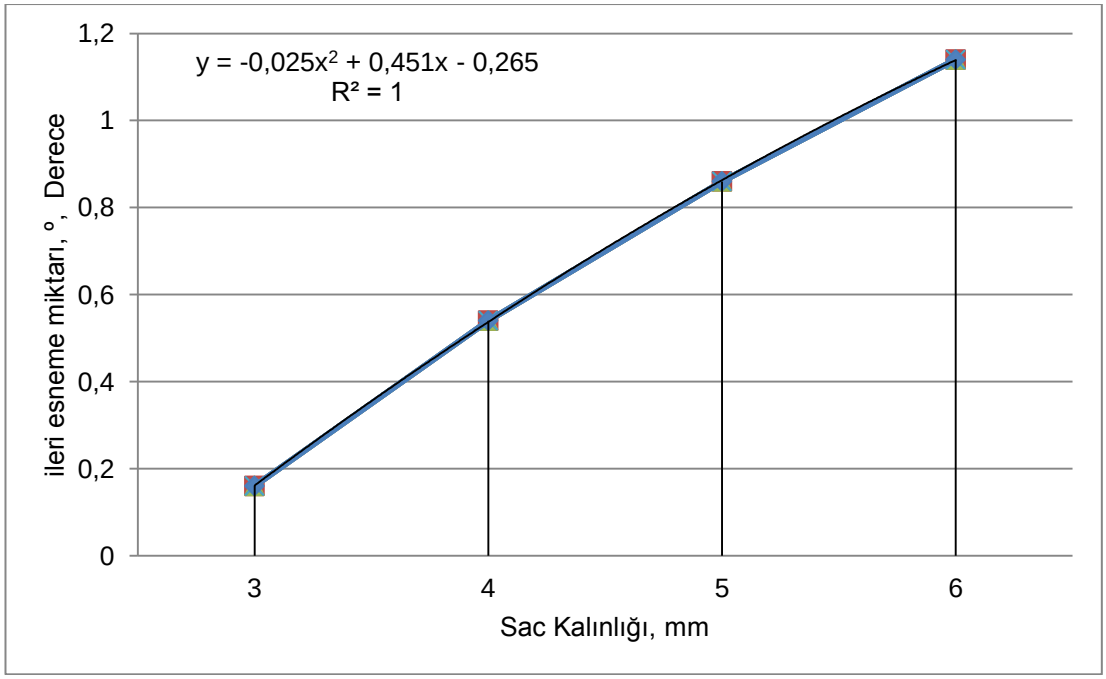


Şekil 5.2. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 30° ısıl işlemsiz, zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

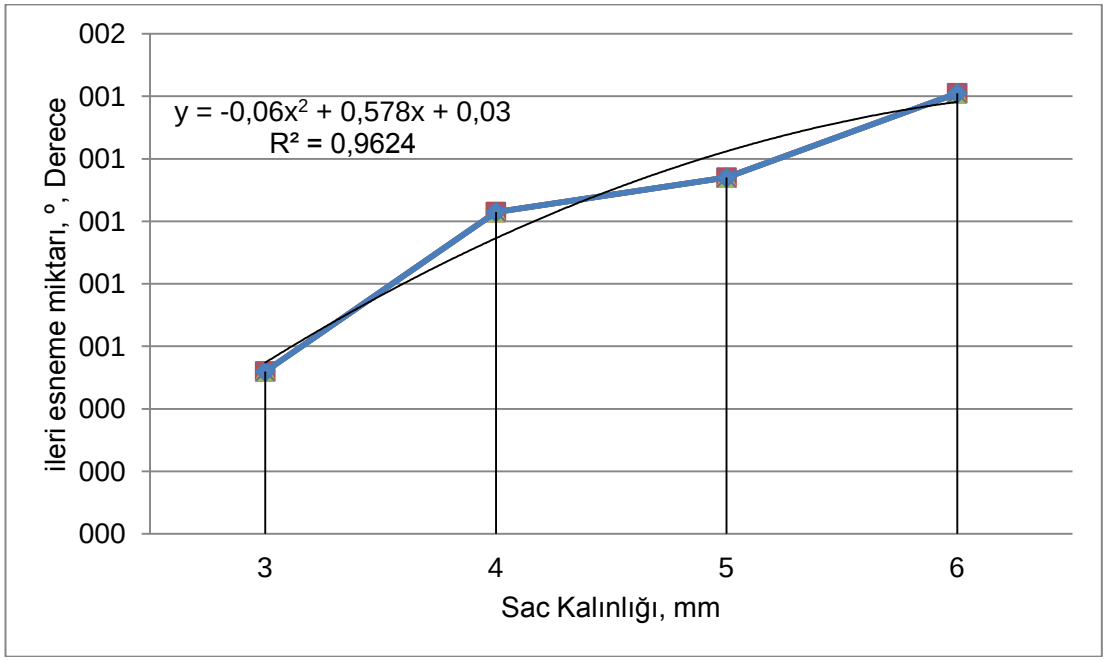


Şekil 5.3. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 30º normalizasyonlu malzeme bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

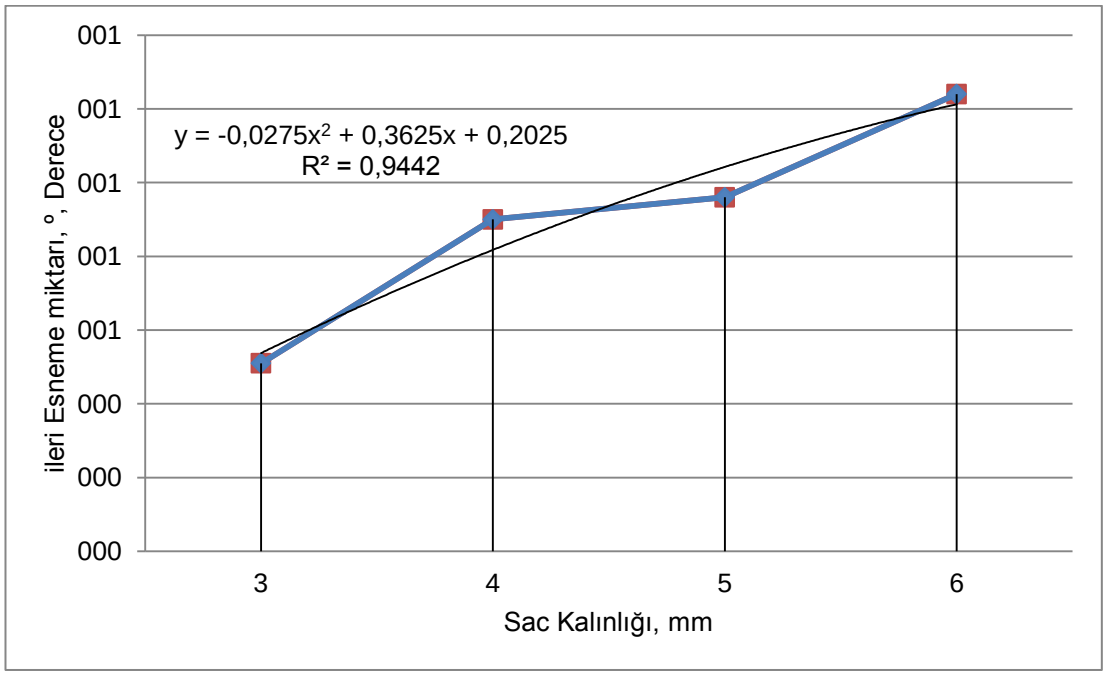


Şekil 5.4. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 30º normalizasyonlu malzeme bükme işleminde zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

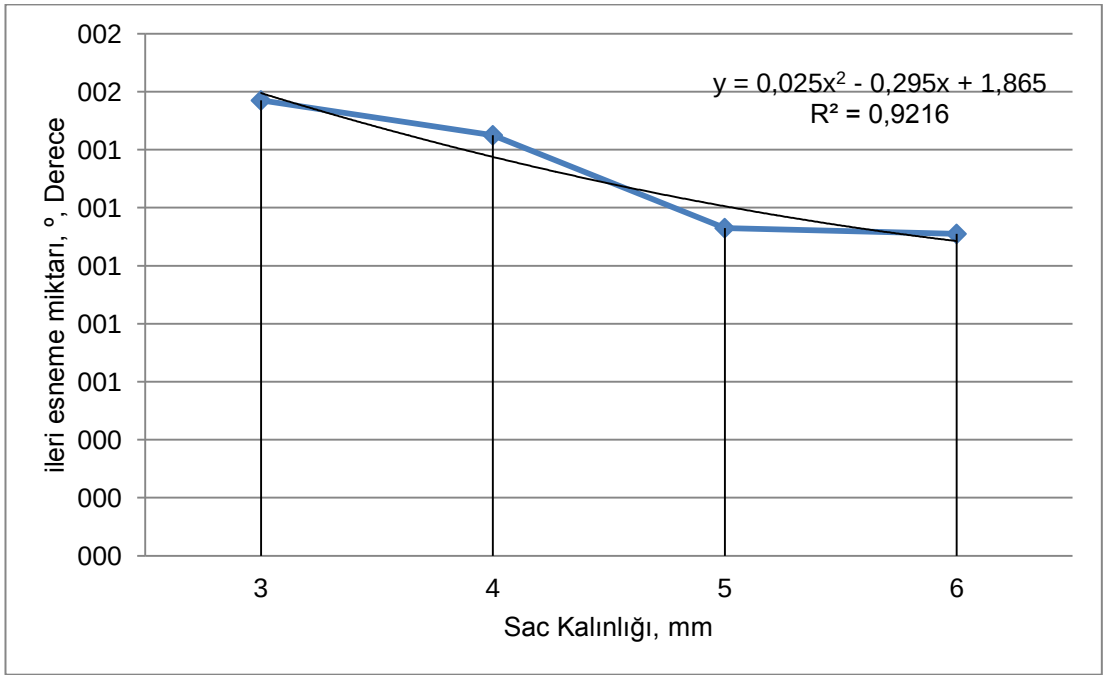


Şekil 5.5. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm Sac malzemelerin 30º menevişlenmiş malzeme bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

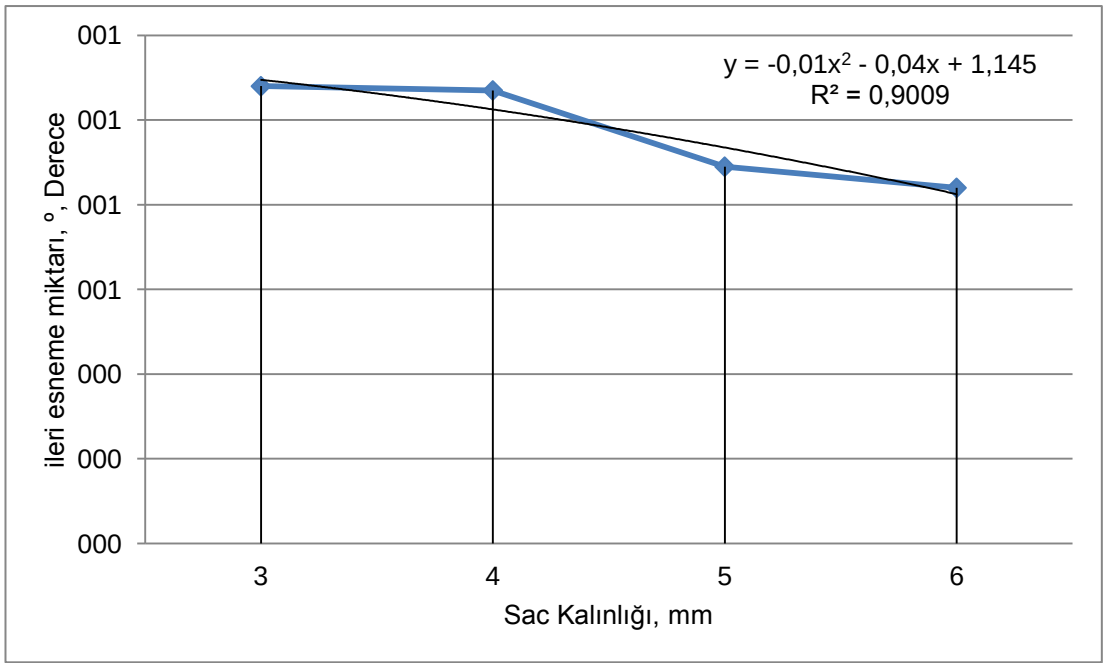


Şekil 5.6. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm Sac malzemelerin 30º menevişlenmiş malzeme bükme işleminde zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

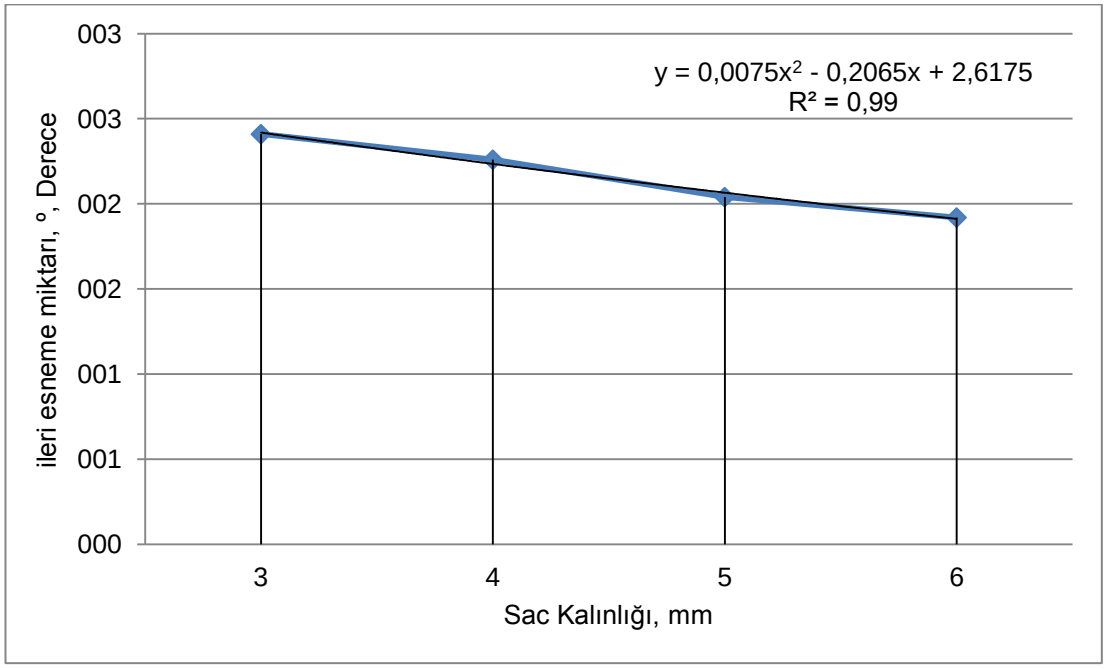


Şekil 5.7. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 60º ısıl işlemsiz bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

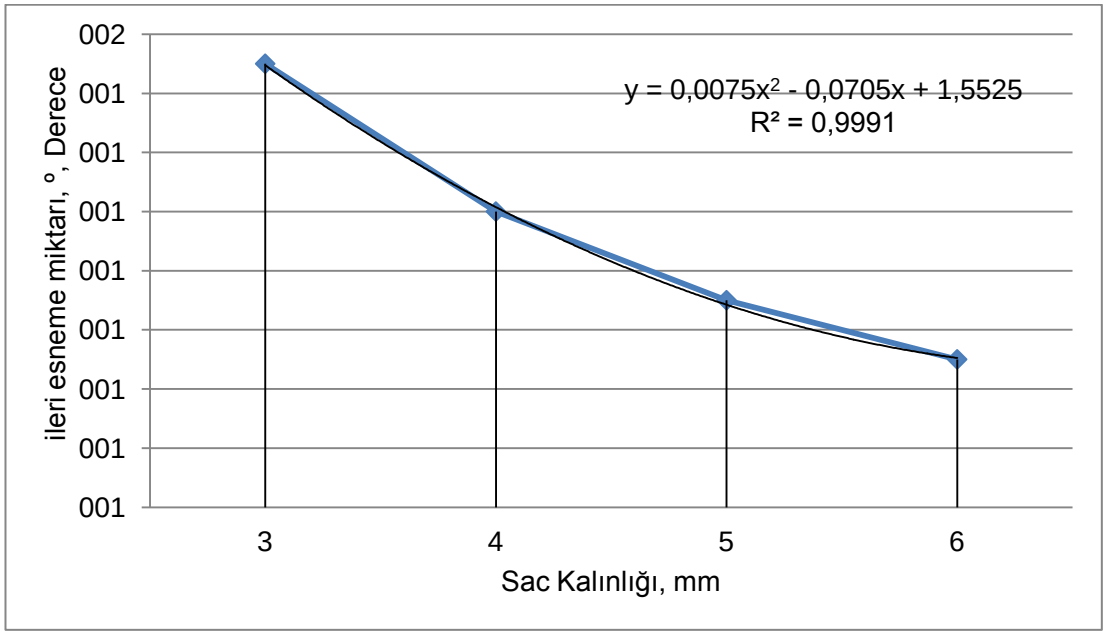


Şekil 5.8. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 60º ısıl işlemsiz bükmede zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

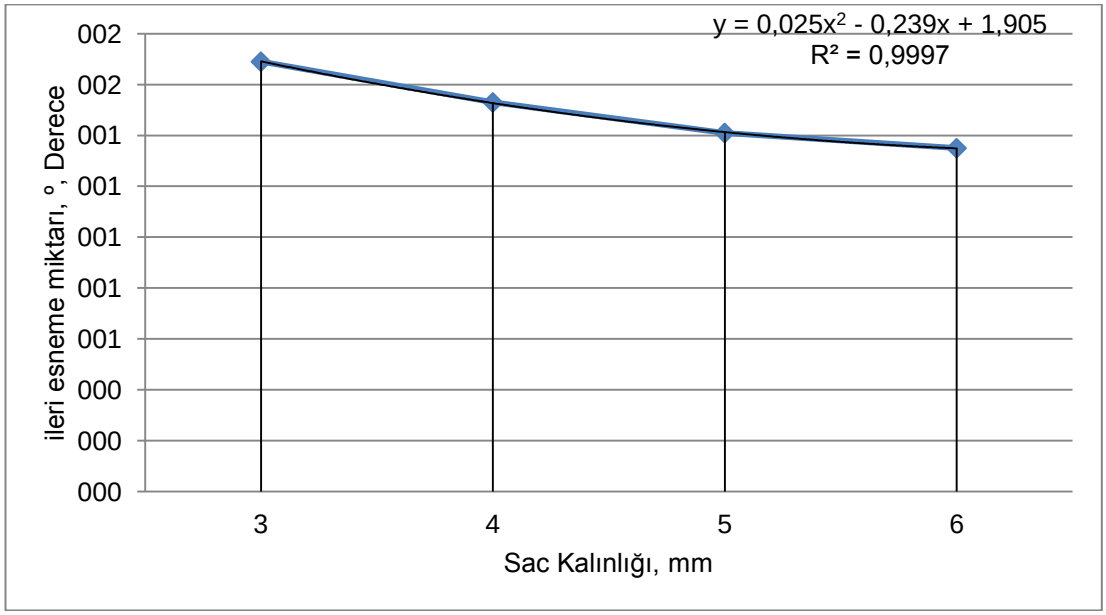


Şekil 5.9. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 60° normalizasyonlu malzeme bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

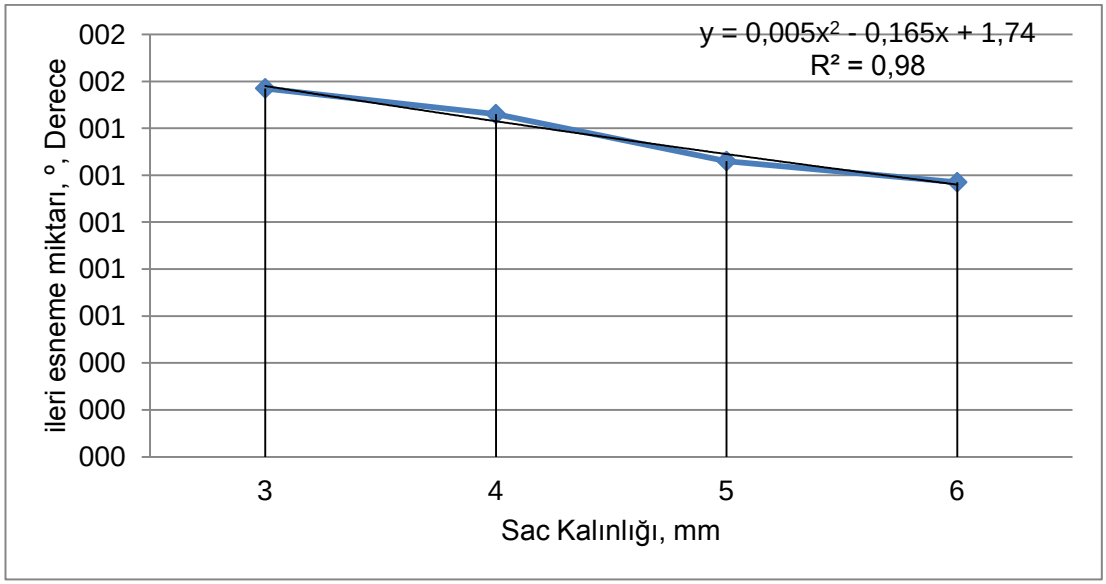


Şekil 5.10. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 60° normalizasyonlu malzeme bükme işleminde zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

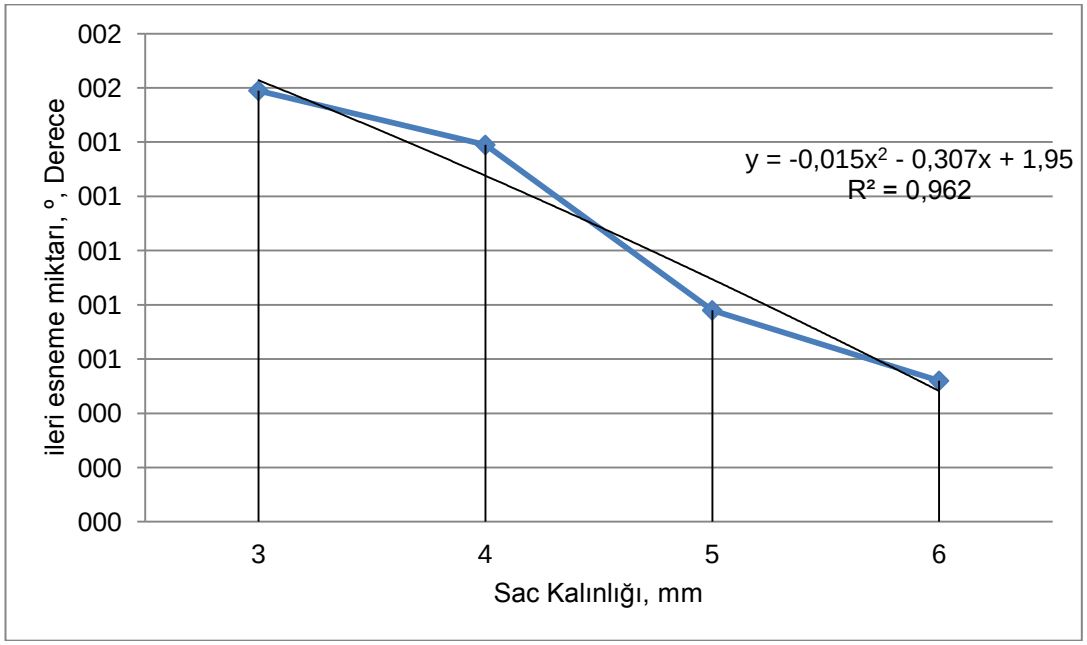


Şekil 5.11. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 60º menevişlenmiş malzeme bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen

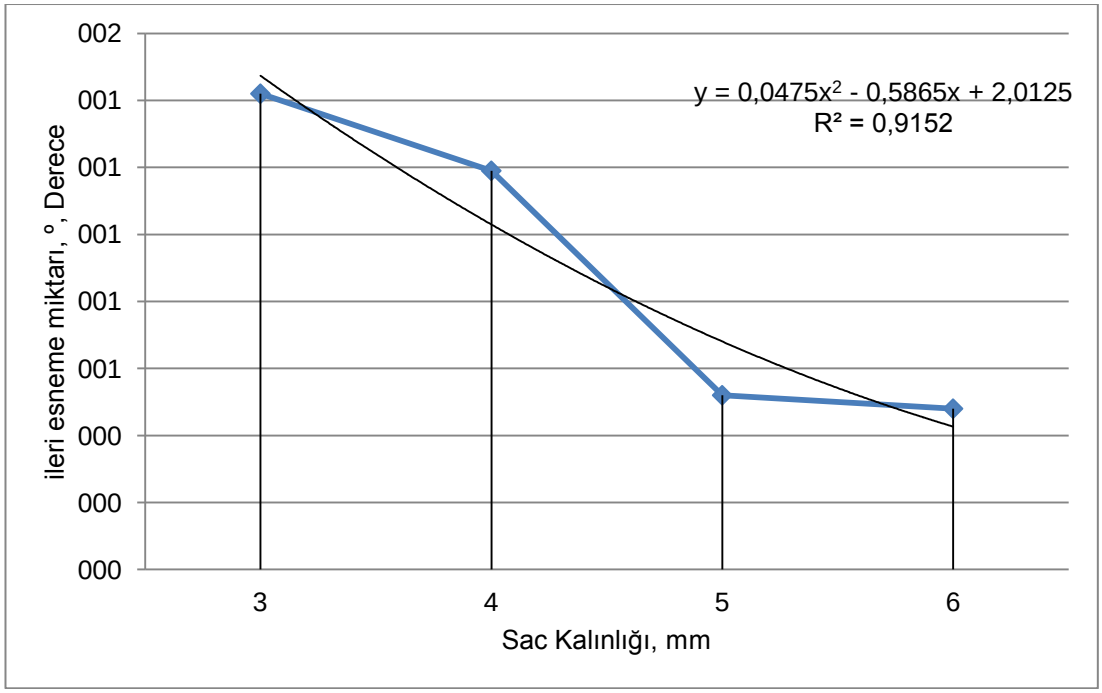


Şekil 5.12. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 90º menevişlenmiş malzeme bükme işleminde zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

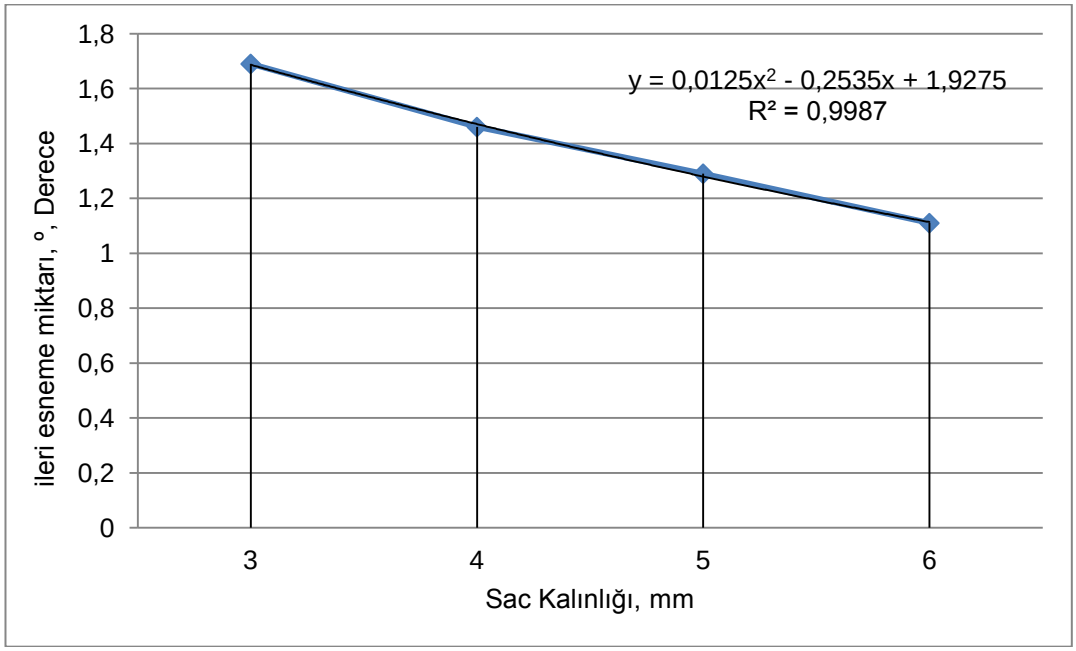


Şekil 5.13. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 90º Soğuk bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

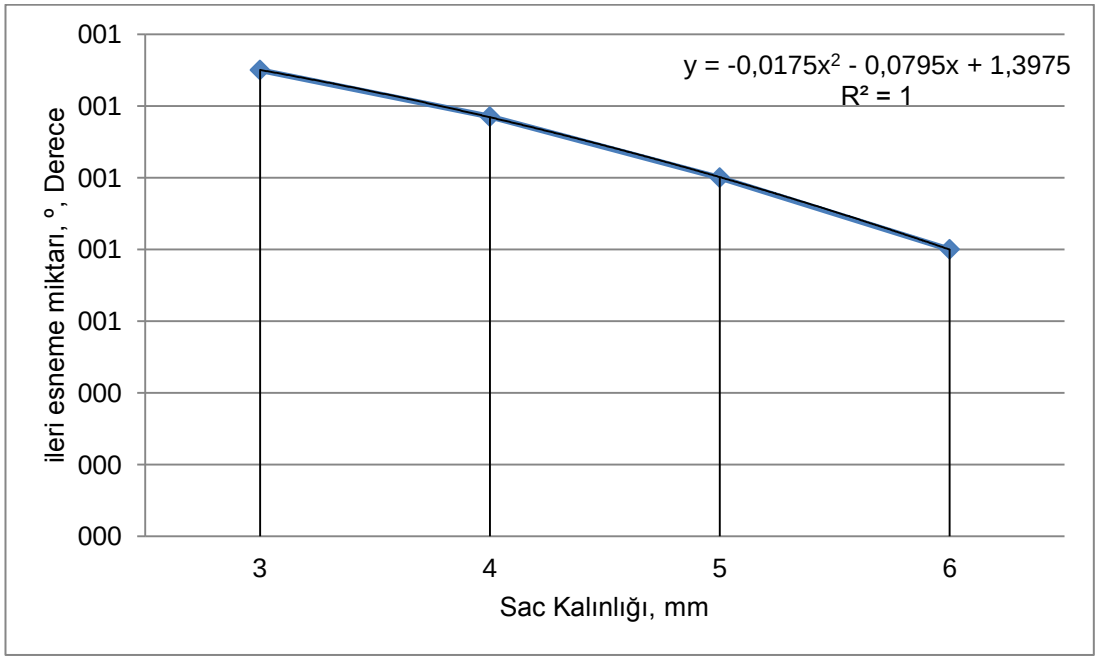


Şekil 5.14. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 90º ısıl işlemsiz bükme işleminde zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

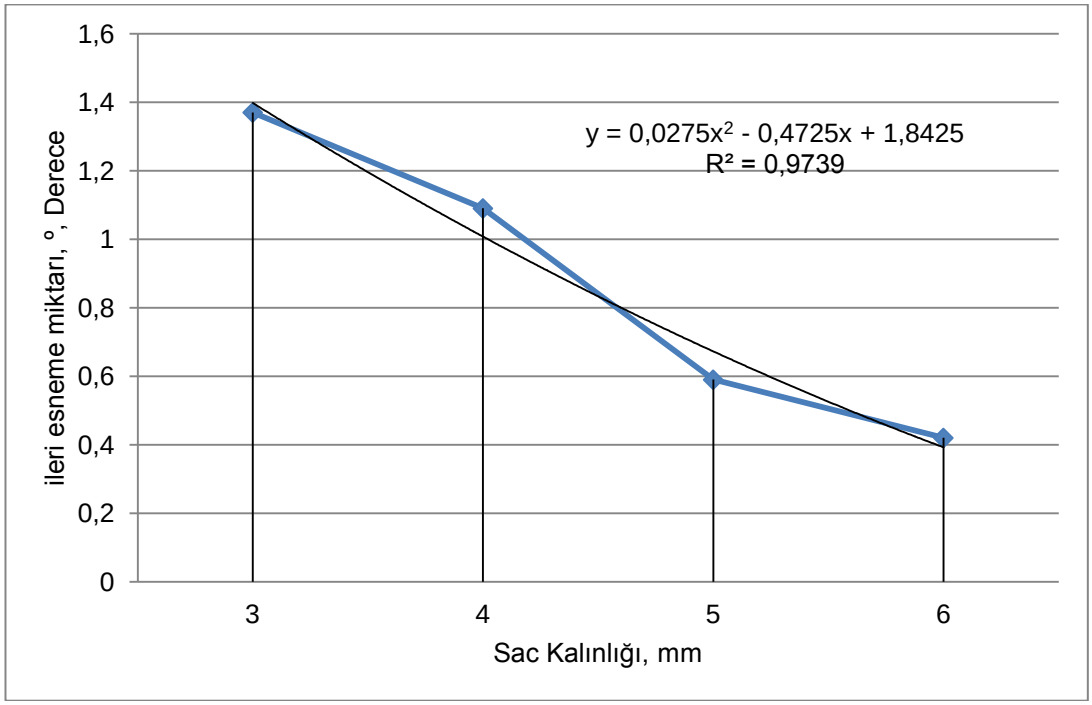


Şekil 5.15. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 90º normalizasyonlu malzeme bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

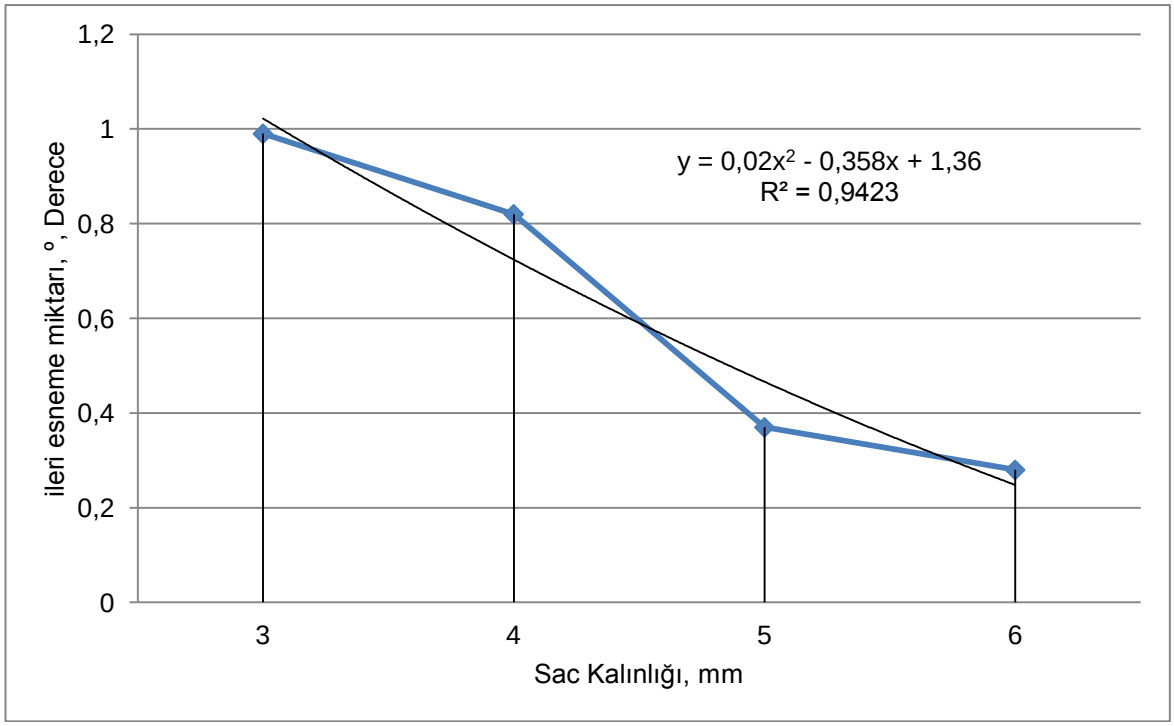


Şekil 5.16. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 90º normalizasyonlu malzeme bükme işleminde zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

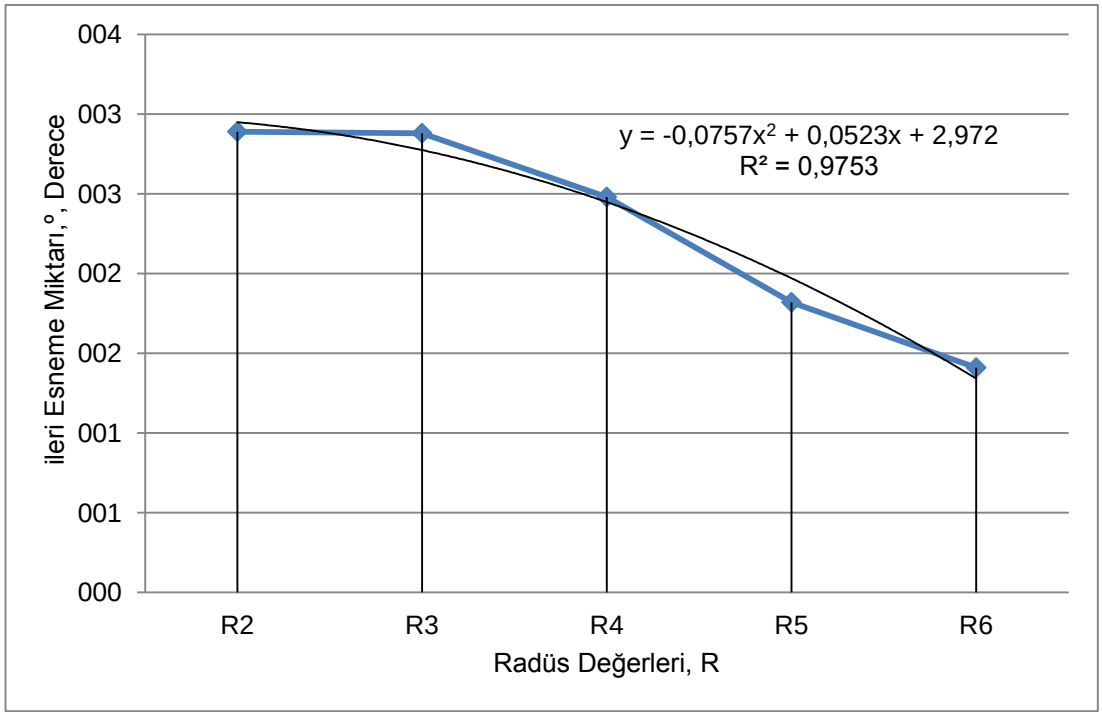


Şekil 5.17. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 90° menevişlenmiş malzeme bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

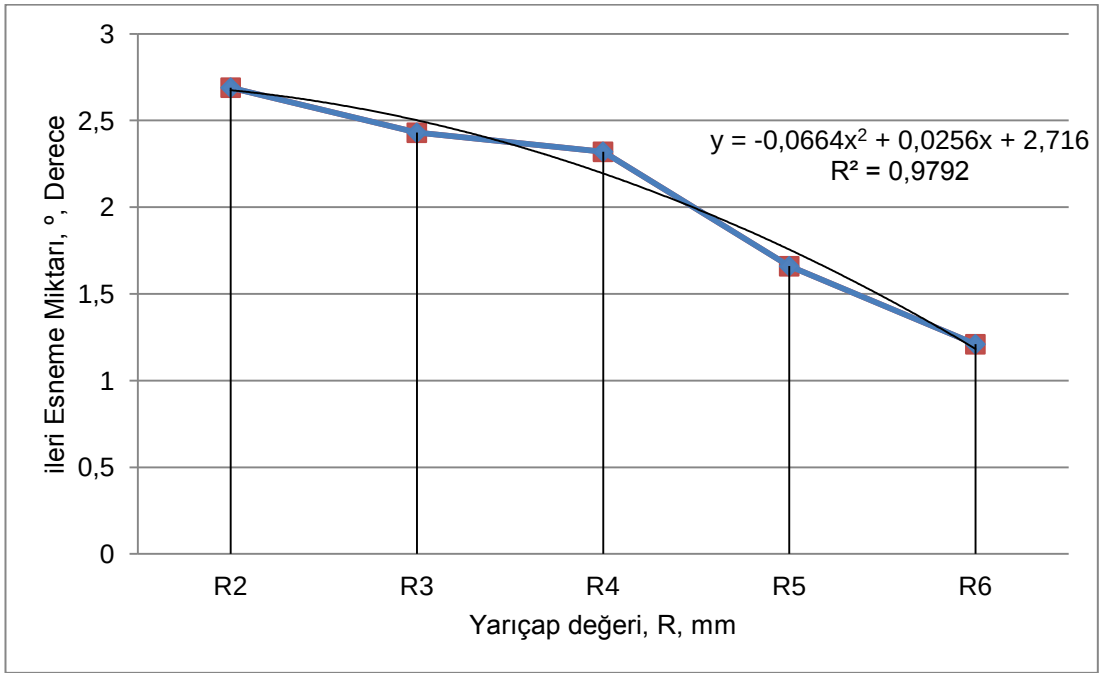


Şekil 5.18. S235JR, 3-4-5 ve 6 mm sac malzemelerin 90° menevişlenmiş malzeme bükme işleminde zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

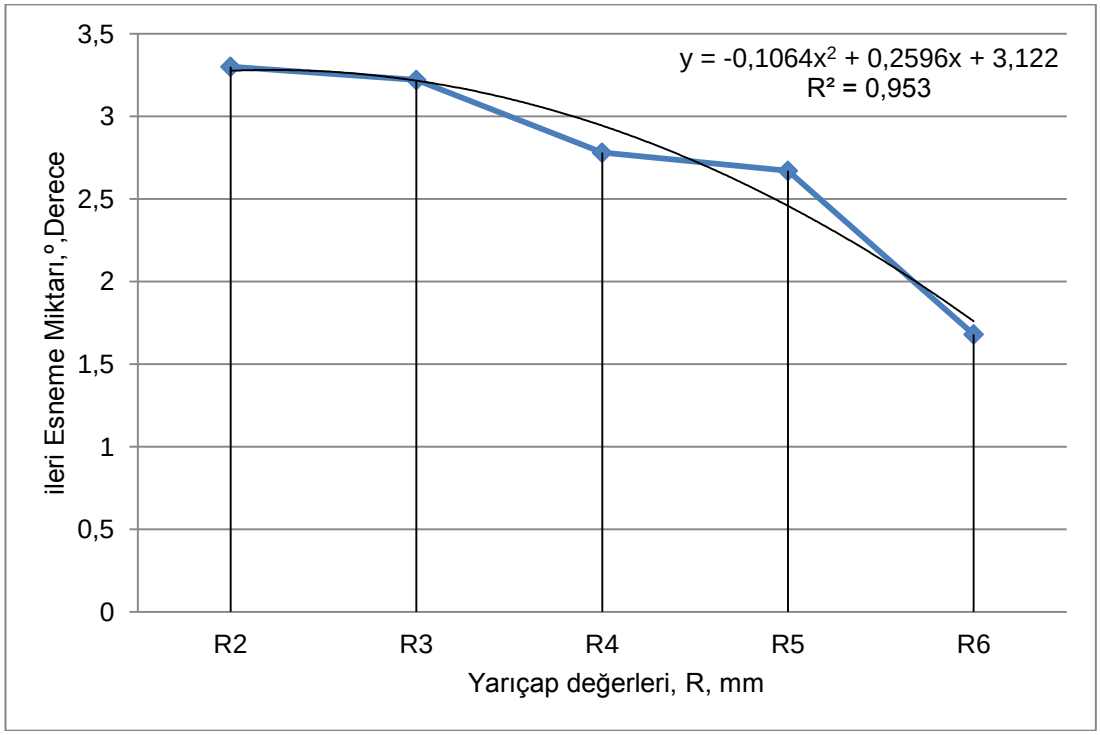


Şekil 5.19. S235JR, 4 mm sac malzemenin 90° ısıl işlemsiz bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

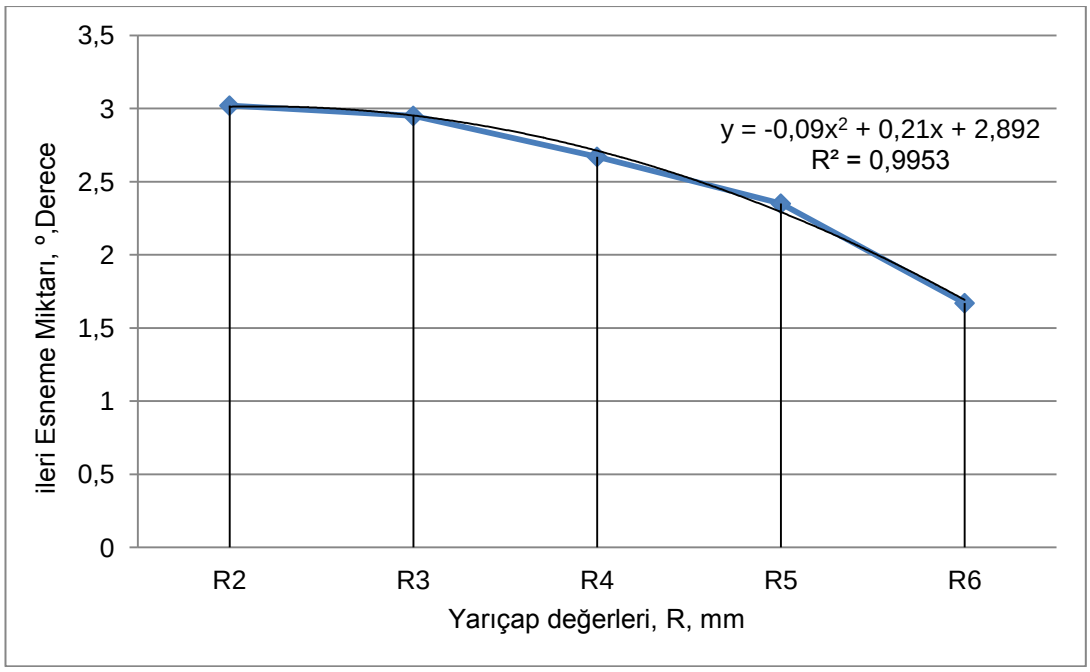


Şekil 5.20. S235JR, 4 mm sac malzemenin 90° ısıl işlemsiz bükme işleminde zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri

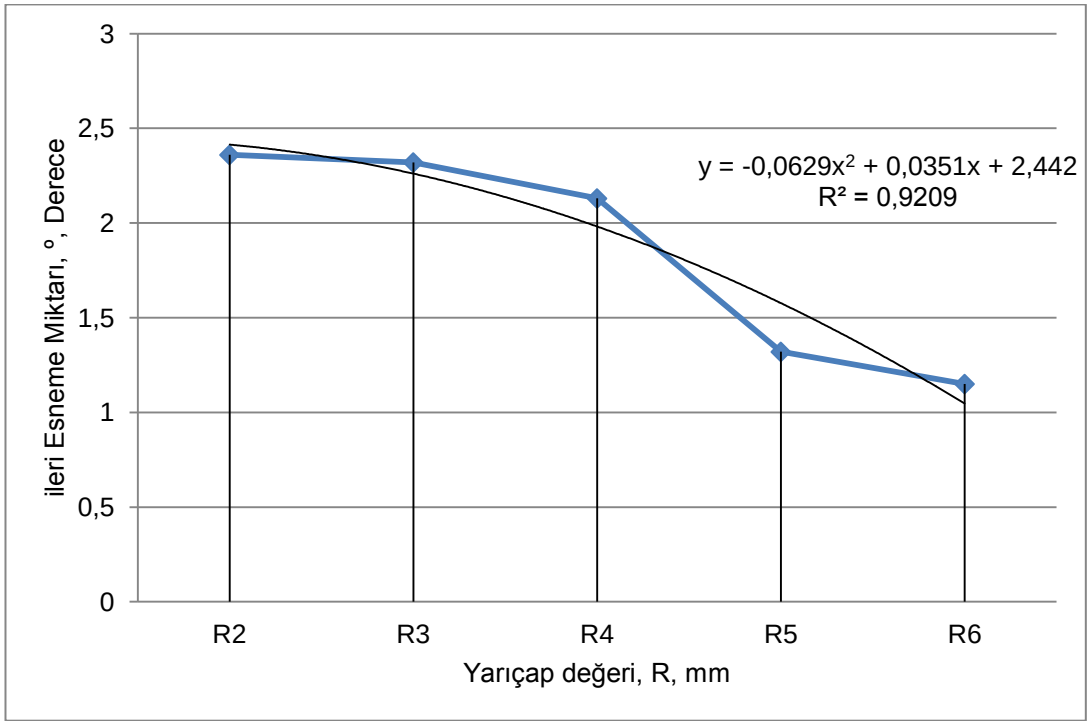


Şekil 5.21. S235JR, 4 mm sac malzemelerin 90° normalizasyonlu malzeme bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

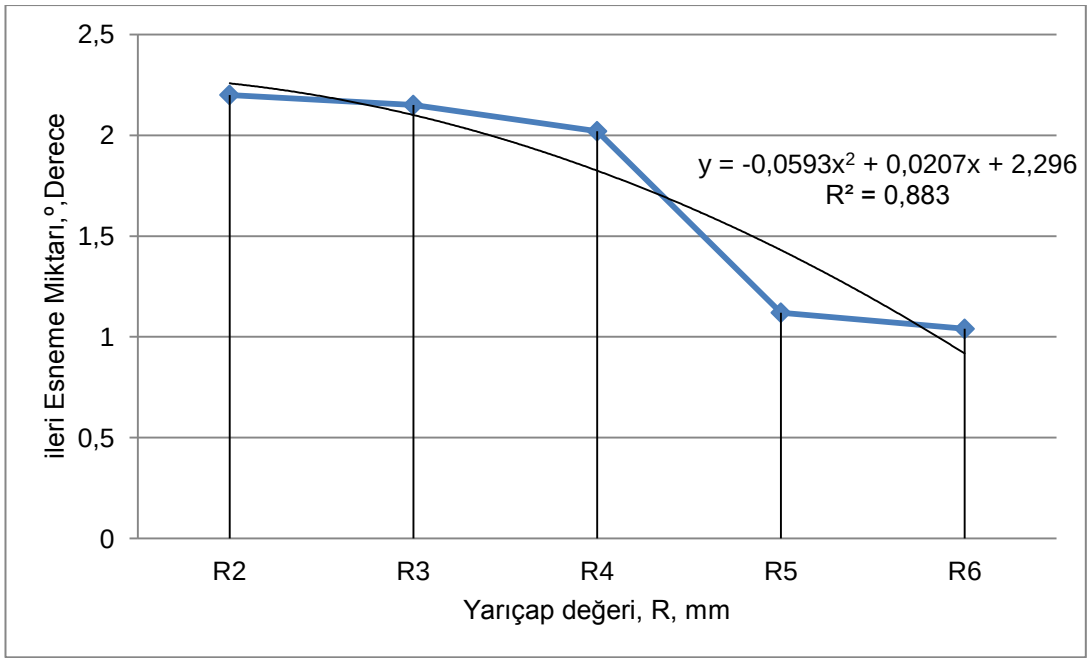


Şekil 5.22. S235JR, 4 mm sac malzemenin 90° normalizasyonlu malzeme bükme işleminde zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

EK-5. (Devam) Deney sonuçlarını gösteren geri ve ileri esneme grafikleri



Şekil 5.23. S235JR, 4 mm sac malzemelerin 90º menevişlenmiş malzeme bükme işleminde zımba beklemeden elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi



Şekil 5.24. S235JR, 4 mm sac malzemelerin 90º menevişlenmiş malzeme bükme işleminde Zımba 30 s bekleyerek elde edilen ileri esneme grafiği ve Türetilen Polinom Eğri Denklemi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Mustafa ÖZDEMİR
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1984 Sivas
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 536 259 58 92
e-mail : ozdemir.mustafa@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitimi Bölümü	201?
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitimi Bölümü	2011
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Eğitimi Bölümü	2007
Lise	Sivas Teknik Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007	EFOR MAKİNA	Tasarım ve İmalat Sorumlusu
2009	EFOR MAKİNA	Project Manager Assistance
2010	EFOR MAKİNA	İmalat Mühendisi / İmalat Müd. Yrd
2010	A.M.Y.O	Öğretim Görevlisi (Sözleşmeli)

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar, İnternet, Futbol, Masa tenisi