

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÜKME İLE ŞEKİLLENDİRİLEN SACLARDA GERİ YAYLANMA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

M.Mustafa YENİCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA ANA BİLİM DALI

BURSA 2006

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÜKME İLE ŞEKİLLENDİRİLEN SACLARDA GERİ YAYLANMA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

M.Mustafa YENİCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA ANABİLİM DALI

Bu Tez tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy
çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Reşat ÖZCAN
(Danışman)

.....

.....

ÖZET

Sac malzemelerin şekillendirilmesinde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi de geri yaylanmadır. Günümüzde, avantajlarından dolayı kullanımı iyice yaygınlaşan geliştirilmiş yüksek mukavemetli saclar için bu problem üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada en sık kullanılan şekillendirme yöntemlerinden birisi olan V-bükme operasyonunda elde edilen deney parçaları için, kalıp ve malzeme değişkenlerine bağlı olarak geri yaylanma davranışı incelenmiştir. Kalıp değişkeni olarak kalıp V açısı, erkek kalıp uç yarıçapı alınmıştır. Deneyleerde malzeme değişkeni olarak üç tip sac malzemedden, üç ayrı hadde yönünde numuneler kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler:

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli saclar, V-bükme, soğuk şekillendirme, geri yaylanma.

ABSTRACT

One of the biggest problem in sheet metal forming is springback. Usage of advanced high strength steels (AHSS) rises gradually because of their advantages but springback problems are higher than other class of sheet materials so that working on this problem continue. In this study springback behaviour of V-bended parts have been observed. Die V angle and punch radius have been used as a die factor and three types of material and three types of rolling angle have been used as material factor.

Keywords:

Advanced high strength steels, V-bending, cold forming, springback

İÇİNDEKİLER

1- GİRİŞ	:1
2- KONUYLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR	:2
3- MATERYAL VE YÖNTEM	:4
3.1.Sac Malzemeler	:4
3.2.Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Sacların Avantajları	:18
3.3.Sac Metal Şekillendirme Metotları	:20
3.3.1.Bükme	:24
3.4.Geri Yaylanma	:26
3.5.Şekillendirmeyi Etkileyen Faktörler	:29
3.5.1.İşlem Değişkenleri	:29
3.5.2.Malzeme Değişkenleri	:31
3.6.Analiz Programında Malzeme Tanımlaması	:34
3.6.1.Elastik Malzeme Davranışı	:34
3.6.2.Akış Eğrisi	:35
3.6.3.“r” Değeri	:39
3.6.4.Akma Yüzeyi Ve Çift Eksenli Gerilim Faktörü	:40
3.6.5.Yüksek Gerilim Eğrisi	:43
3.6.6.Uzama Limitleri Eğrisi Ve Diyagramı	:44
4- DİKDÖRTGEN ŞEKLİNDEKİ LEVHANIN V BÜKME SONRASINDA GERİ YAYLANMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ	:48
4.1.Deney Çalışmaları	:48
4.2.Ölçüm Çalışmaları	:51
4.3.Sonuçlar	:53
5- TARTIŞMA	:81
6- KAYNAKLAR	:92
7- TEŞEKKÜR	:94
8- ÖZGEÇMİŞ	:95

SEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.1: Yüksek mukavemetli çeliklerin tarihçesi (ThyssenKrupp Steel)	:5
Şekil 3.1.2: Sac malzemelerin çekme mukavemet değerlerine göre gruplandırılması	:6
Şekil 3.1.3: Yüksek mukavemetli sacların prosesleri (AutoForm Engineering)	:10
Şekil 3.1.4: Çift fazlı sacın mikro yapısı (ULSAB AVC, TTD6)	:11
Şekil 3.1.5: Isıl işlem sırasında malzeme iç yapısındaki değişim (ULSAB AVC, TTD6)	:11
Şekil 3.1.6: Farklı malzeme türlerinin gerilim - gerinim grafikleri	:12
Şekil 3.1.7: GYMÇ ve YMÇ'lerin fırında sertleşebilirlikleri	:13
Şekil 3.1.8: Dönüşümle oluşturulan plastisite sacların mikro yapısı	:14
Şekil 3.1.9: TRIP ve HSLA malzemelerinde delik uzamasının karşılaştırılması	:15
Şekil 3.1.10: Farklı Malzeme Türlerinin Gerilim - Gerinim grafikleri	:15
Şekil 3.1.11: Martensit yapıli malzemenin karbon oranı çekme mukavemeti ilişkisi	:17
Şekil 3.2.1: Farklı malzemelerin enerji emme miktarlarının karşılaştırılması	:18
Şekil 3.3.1: Bükme operasyonları	:20
Şekil 3.3.2: Form kalıbının bölümleri	:21
Şekil 3.3.3: Gererek şekillendirme	:22
Şekil 3.3.4: Eğirme (spinning) şekillendirme yöntemleri (a) manuel (b) otomatik	:22
Şekil 3.3.5: Döndürerek akıtma (flow-turning) şekillendirme yöntemleri	:23
Şekil 3.3.6: Dönen tekerlekler ile şekillendirme yöntemi	:23
Şekil 3.3.1.1: Bükmede gerilme ve şekil değişiklikleri	:24
Şekil 3.3.1.2: Kalın malzemelerin küçük kavisle bükülmesi	:25
Şekil 3.3.1.3: Kalın malzemelerin küçük kavisle bükülmesi	:25
Şekil 3.4.1: Geri yaylanma davranışı	:27
Şekil 3.4.2: Gerilme(stress)-gerinim(strain) diyagramı	:27
Şekil 3.4.3: Bükmenin sebep olduğu molekül hareketleri	:28
Şekil 3.4.4: Bükmede oluşan gerilmeler	:28
Şekil 3.5.1.1: Uzama limitleri diyagramı üzerinde yağlamanın etkisi	:31
Şekil 3.5.2.1: Hadde yönüne bağlı olarak yapılan çekme test sonuçları	:33
Şekil 3.6.1.1: Poisson oranının şematik gösterimi	:34
Şekil 3.6.2.1: Çekme testi ile gerilim-gerinim eğrisinin elde edilmesi	:35
Şekil 3.6.2.2: Akış eğrisine yaklaşım	:37

Şekil 3.6.3.1: Hadde yönü	:39
Şekil 3.6.4.1: Hill 48 modelindeki akma mukavemetleri	:41
Şekil 3.6.4.2: Hill 79 modelindeki akış yüzeyi ve biaxial mukavemet faktörü	:42
Şekil 3.6.5.1: Gerilim oranının fonksiyonu olarak maksimum mukavemet katsayısı	:43
Şekil 3.6.5.2: Farklı gerilim oranlarındaki akış eğrileri, farklı akış eğrileri gerilimleri	:44
Şekil 3.6.6.1: Major temel gerilmenin(σ_{max}) ve Minör temel gerilmenin Ölçülmesi	:45
Şekil 3.6.6.2: Uzama limit eğrisi	:46
Şekil 4.1.1: Deney kalıbı bölümleri	:48
Şekil 4.1.2: Kalıp değişkenleri	:49
Şekil 4.1.3: Kalıp açıları ve kalıp yarıçapları	:49
Şekil 4.1.4: Malzeme değişkeni, hadde yönü	:50
Şekil 4.2.1: Ölçüm yöntemi	:51
Şekil 4.2.2: Ölçüm ile elde edilen açısal sapma	:52
Şekil 4.2.3: Sonuçlarda incelenen kesitler ve isimlendirilmesi	:52
Şekil 4.3.1: Geri yaylanma sonuçlarının bağlı olduğu değişken eşleşmesi	:53
Şekil 4.3.2: DP600 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yaylanma değerleri	:54
Şekil 4.3.3: DP600 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yaylanma değerleri	:55
Şekil 4.3.4: Fee355 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yaylanma değerleri	:57
Şekil 4.3.5: Fee355 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yaylanma değerleri	:58
Şekil 4.3.6: FeP04 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yaylanma değerleri	:60
Şekil 4.3.7: FeP04 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yaylanma değerleri	:61
Şekil 4.3.8: DP600 malzemenin kalıp açılarına göre geri yaylanma değerleri	:63
Şekil 4.3.9: DP600 malzemenin kalıp açılarına göre geri yaylanma değerleri	:64
Şekil 4.3.10: Fee355 malzemenin kalıp açılarına göre geri yaylanma değerleri	:66
Şekil 4.3.11: Fee355 malzemenin kalıp açılarına göre geri yaylanma değerleri	:67
Şekil 4.3.12: FeP04 malzemenin kalıp açılarına göre geri yaylanma değerleri	:69
Şekil 4.3.13: FeP04 malzemenin kalıp açılarına göre geri yaylanma değerleri	:70
Şekil 4.3.14: DP600 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri	:72
Şekil 4.3.15: DP600 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri	:73
Şekil 4.3.16: Fee355 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri	:75
Şekil 4.3.17: Fee355 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri	:76
Şekil 4.3.18: FeP04 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri	:78

Şekil 4.3.19: FeP04 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri	:79
Şekil 10.1: Sacların kalıp açısı ve hadde yönüne bağlı "1.kesit" indeki geri yaylanmalar	:83
Şekil 10.2: Sacların kalıp açısı ve hadde yönüne bağlı "2.kesit" indeki geri yaylanmalar	:84
Şekil 10.3: Sacların kalıp açısı ve hadde yönüne bağlı "3.kesit" indeki geri yaylanmalar	:85
Şekil 10.4: Sacların kalıp açısı ve yarı çapına bağlı "1.kesit"indeki geri yaylanmalar	:86
Şekil 10.5: Sacların kalıp açısı ve yarı çapına bağlı "2.kesit"indeki geri yaylanmalar	:87
Şekil 10.6: Sacların kalıp açısı ve yarı çapına bağlı "3.kesit"indeki geri yaylanmalar	:88
Şekil 10.7: Sacların hadde yönü ve yarı çapına bağlı "1.kesit"indeki geri yaylanmalar	:89
Şekil 10.8: Sacların hadde yönü ve yarı çapına bağlı "2.kesit"indeki geri yaylanmalar	:90
Şekil 10.9: Sacların hadde yönü ve yarı çapına bağlı "3.kesit"indeki geri yaylanmalar	:91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 3.1.1: Farklı kalitelerde yüksek mukavemetli sacların fiziksel özellikleri	:6
Tablo 3.1.2: HSL350, DP600 ve Trip800 saclarına ait fiziksel özellikler	:12
Tablo 3.1.3: Çift fazlı sacların kimyasal bileşimi	:13
Tablo 3.2.1: Farklı çekme mukavemet değerlerine sahip sacların parça ağırlığına etkisi	:19
Tablo 3.5.2.1: Çeşitli malzemelerin hadde yönüne bağlı fiziksel özellikleri	:33
Tablo 3.6.1.1: Çelik ve alüminyum malzeme için E ve ν değerleri	:34
Tablo 3.6.3.1: Çeşitli malzemeler için r değerleri	:40
Tablo 4.1.1: Kullanılan malzemeler ve çekme testleri ile elde edilen fiziksel özellikleri	:49
Tablo 4.1.2: Deneilerde kullanılan kalıp ve malzeme değişken tablosu	:50

SİMGELER DİZİNİ

E	:Elastiklik
K	:Dayanım sabiti
e_1	:Mühendislik büyük birim şekil değişimi
e_2	:Mühendislik küçük birim şekil değişimi
n	:Pekleşme sabiti
m	:Deformasyon hızına duyarlılık üsteli
r	:Plastik anizotropi faktörü
r	:Düsey anizotropi faktörü
D_r	:Düzlemsel anizotropi faktörü
t	:Sac kalınlığı
e_1	:Gerçek büyük birim şekil değişimi
e_2	:Gerçek küçük birim şekil değişimi
σ_{SAK}	:Akma dayanımı
σ_C	:Çekme dayanımı
e	:Efektif birim şekil değişimi
s	:Efektif gerilme
d	:Çift eksenli basınç faktörü
ν	:Poisson Oranı

1.GİRİŞ

Şekillendirilmiş sac metal levha kullanımının endüstrideki yaygınlığını görebilmek için çevremize göz gezdirmemiz yeterli olur. Araçların gövdelerinde, mutfak eşyalarında, beyaz eşyalarda ve hatta kalemde dahi şekillendirme yöntemleri farklı olsa da, farklı malzemeler kullanılsa da sac metal levha kullanımı gözükmemektedir. Endüstrinin bazı kollarında oluşan taleplerin karşılanabilmesi için geliştirilen yeni metal levha malzemeleri ise şekillendirmede bazı zorluklar getirmekle birlikte ihtiyaçlara cevap verebilir niteliklere sahiptir. Geliştirilmiş yüksek mukavemetli sacların otomotiv endüstrisinde kullanılmaya başlaması, farklı ülkelerden ve çeşitli endüstri kuruluşlarının gerçekleştirdiği ortak projeler sonrasında gerçekleşmiştir.

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli sacların otomotiv endüstrisinde kullanılması ile daha hafif, daha güvenli ve çevreye daha az zarar veren araçlar üretilebilmektedir. Bunun yanında şekil verilebilirlik sırasındaki yüksek kuvvet gereksinimi ve karşılaşılan şekil alma ve kalite problemleri dezavantaj olarak gösterilebilir.

2. KONUYLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Sac levhaların şekillendirilmesi ile ilgili çalışmalara, endüstride kaleminden uçak gövdesine kadar her alanda rastlanabilmektedir. Özellikle teknolojinin üst seviyede kullanıldığı uçak ve rekabetin hızla arttığı otomotiv sektöründe yeni malzemeler ve bu malzemeler için şekillendirme yöntemleri de geliştirilmektedir. Geliştirilmiş yüksek mukavemetli sacların otomotiv endüstrisinde kullanılmasıyla ilgili çalışmalar, araç güvenliğini arttırmak ve ağırlığını düşürmek ve böylece egzoz emisyon değeri düşük çevreye daha az zarar veren, daha az yakıt tüketen araçları hedeflemektedir.

Otomotiv endüstrisinde geliştirilmiş yüksek mukavemetli sacların kullanılması ile ilgili ilk çalışma, 1995 yılında 18 ülkeden 35 endüstri kuruluşunun ortak çalışması olan ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body) projesidir. Bu projenin ardından sırasıyla 2000 yılında ULSAC (Ultra Light Steel Auto Closure), ULSAS (Ultra Light Steel Auto Suspensions) ve 2002 yılında ULS-AVC (Ultra Light Steel – Advanced Vehicle Concept) gerçekleştirilmiştir ve proje sonuçları sanayi kuruluşlarının kullanımı için “Advanced High Strength Steels Guidelines” adıyla Uluslararası Demir ve Çelik Enstitüsü tarafından rapor olarak yayınlamıştır. (<http://www.worldautosteel.org>)

Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çeliklerin otomotiv endüstrisinde kullanımıyla ilgili olarak “The Use Of Advanced High Strength Steel Sheets In The Automotive Industry” başlıklı makale Roma 1. Uluslararası Yüksek Mukavemetli Çelikler kongresinde yayınlanmıştır.(Federici, C., Maggi, S., Rigoni, S , 2005)

Isıl işlem yapılmış ve yapılmamış çeliklere çekme ve germe işlemlerine tabi tutularak uygun ısıl işlem metodunun araştırılması “Çift Fazlı Çelik Saclarda Şekil Alabilirlik” başlıklı makale DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisinde yayınlamıştır. (Çetinel, H.,2004)

Sac levhaların bükme ile şekillendirilmesi, özellikle otomotiv ve uçak sanayinde geniş uygulama alanı olan şekillendirme yöntemidir. Sac levhalara form verilmesi sırasında bükme, uzama, ters bükme gibi işlemler bir arada gerçekleşmektedir (Gau ve Kinzel, 2001). Endüstrideki bu ve benzeri uygulamalarda geri yaylanma için gerçeğe yakın yaklaşım büyük önem taşır (L.J. de Vin ve ark, 1996). Sac levhaların bükme ile şekillendirilmesinde ana problem ise geri yaylanmadır. Geri yaylanma, form verme

kuvvetleri kaldırıldığında parçada gözlenen ilave şekil değişimi olarak tanımlanabilir. Yapılan çalışmalar, geri yaylanmaya etki eden üç ana değişkenin parça şekli, imalat prosesi ve kullanılan malzeme olduğu şeklinde görüş birliği olduğunu göstermektedir. Yüksek mukavemetli sacların kullanımının artmasıyla, geri yaylanma problemleri de artmıştır (Zhang ve Shi, 1999). V-bükmede erkek kalıbın şekillendirme hareketi sırasında malzeme negatif ve pozitif geri yaylanma davranışı sergileyebilir.

Geçmişte sac levhaların bükme ile şekillendirilmesi, tasarımcıların tecrübelerine bağlıydı ve arzu edilen sonuçlara ulaşabilmek için deneme-yanılma çalışmaları gerekiyordu (S.J. Thanki ve ark, 2001). Deneme-yanılma yöntemi ile malzemedeki değişimleri ve beklenmeyen faktörleri telafi etmek için kalıp elemanlarında ve proseste ayarlamalar yapmak gerekmektedir (M.Yang ve ark, 1996).

Bükme işleminde geri yaylanma ile ilgili yapılan birçok çalışmada ileri sürülen analitik modeller basit çubuk veya düzlem bükme teorilerini kullanır (A. Forcellese ve ark, 1996). Bu modeller basitleştirilmiş yaklaşımlar kullanır ve serbest hata tahminini sağlamazlar. Son zamanlarda bilgisayar teknolojisinin de ilerlemesiyle, sac metal şekillendirme yöntemleri tecrübe edinmeden önce sonlu elemanlar metodu kullanarak analiz edilebilmekte. Hsu ve Shien derin çekme işleminde meydana gelen geri yaylanmayı önceden belirleyebilmek için sonlu elemanlar yöntemini kullandılar (T.C. Hsu, I.R. Shien, 1997). Lee ve Yang, çekmeli U bükme operasyonunda oluşan büyük geri yaylanmayı, sonlu elemanlar metodu kullanarak değerlendirdi (S.W. Lee, D.Y. Yang, 1998).

Biz bu çalışmada üç ayrı sınıf sac malzeme olan düşük, yüksek ve geliştirilmiş yüksek mukavemetli saclarda, hadde yönünde, hadde yönüne 45° ve hadde yönüne dik olarak serbest V-bükme sonrasında oluşan geri yaylanma davranışını ve kalıp açısı ile bükme yarıçapındaki değişimin geri yaylanmaya olan etkisini deneysel çalışmalar ve ile incelendi. Yapılan çalışmalar kalıp açısı ve bükme yarıçapının geri yaylanmada daha fazla etkili olduğunu göstermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Sac Malzemeler

Bu bölüm sac veya sac malzeme olarak geçen tüm tanımlar çelik malzeme olarak algılanmalıdır. Örnek olarak, ingilizcede “Dual Phase Steels” olarak geçen tanımın tam olarak Türkçe karşılığı “Çift Fazlı Çelikler” olsada bu dökümanda “Çift Fazlı Saclar” anlamında kullanılmaktadır.

Sac malzemelerin sınıflandırılmasında tüm dünyada kabul gören ve kullanılan bir sistem bulunmamaktadır.

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan metod, sac malzemelerin metallurjik özelliklerine göre yapılan sınıflandırma metodudur.

IF : Intersititial – Free Steels	Arayer Atomsuz Saclar
MILD : Mild Steels	Yumuşak Saclar
BH : Bake Hardenable Steels	Fırında Sertleşebilen Saclar
IS : Isotropic Steels	İzotropik Çelikler
IF-HS : High Strength Intersititial – Free Steels	Yük. Mukavemetli Arayer Atomsuz Saclar
CMn : Carbon Manganese Steels	Karbon Manganezli Saclar
HSLA : High Strength Low Alloy Steels	Yüksek Muk. Düşük Alaşımli Saclar
TRIP : Tranformation Induced Plasticity Steels	Dönüşümle Oluşturulan Plastisite Sacları
DP : Dual Phase Steels	Çift Fazlı Saclar
CP : Complex Phase Steels	Kompleks Fazlı Saclar
MART : Martensitic Steels	Martensitik Saclar

İkinci sınıflandırma metodu sacların mukavemet değerlerine göre yapılır.

LSS : Low Strength Steels – Düşük Mukavemetli Saclar (DMS)

Çekme Mukavemet değer aralığı yaklaşık 150 – 300 MPa dır

IF, MILD

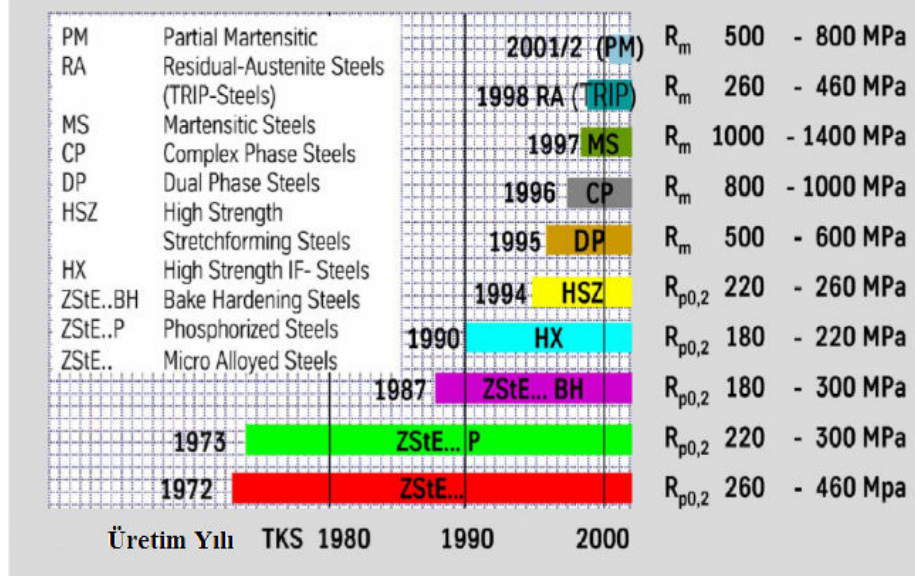
HSS : High Strength Steels – Yüksek Mukavemetli Saclar (Konvaniyonel) (YMS)

Çekme Mukavemet değer aralığı yaklaşık 250 – 800 MPa dır

BH, IS, IF-HS, CMn, HSLA

AHSS : Advanced High Strength Steels – Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Saclar (GYMS)

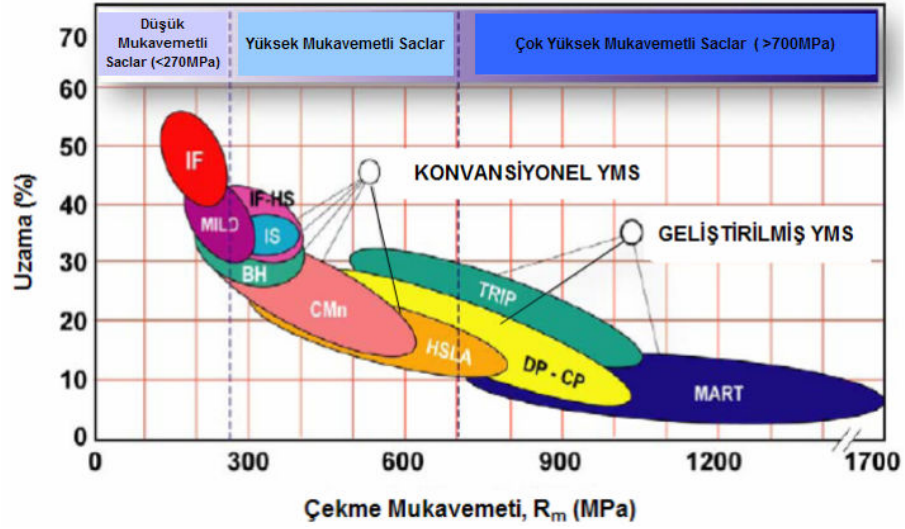
Çekme Mukavemet değeri 450 – 1700 MPa dır. TRIP, DP, CP, MAR



Şekil 3.1.1 Yüksek mukavemetli çeliklerin tarihçesi (ThyssenKrupp Steel)

Her sac üreticisinin patentli malzemeleri bulunmaktadır, bu malzemeler de belirtilen sınıflar içerisinde dahil edilebilir. Örnek olarak Avrupanın en önemli sac üreticilerinden Arcelor Firmasının GYMS sınıfına giren Usibor ve Ferrit – Beynit kaliteleri olarak adlandırılan ürünleri vardır. Bir başka sac üreticisi firma olan SSAB (Swedish Steel) ise bu ürünlerini Docol olarak adlandırmaktadır. Şekil 3.1.1’de ise bir başka üretici olan ThyssenKrupp’un hazırladığı yüksek mukavemetli sacların tarihçesi gösterilmektedir.

Sac malzemelerin çekme mukavemet değerlerine göre gruplandırılması Şekil 3.1.2’de gösterilmiştir, sac çekme mukavemet değeri arttıkça önemli bir form verilebilirlik kriteri olan uzama değeri hızla düşmektedir. En yüksek uzama değerleri düşük mukavemetli saclarda elde edilebilmektedir, konvansiyonel yüksek mukavemetli sacların (HSLA) maksimum 800 MPa çekme mukavemet değerlerinde kullanılmaları (daha yüksek mukavemet değerlerinde form verilebilirlikleri çok düşüktür) dikkat çekicidir, aynı çekme mukavemet değerine sahip HSLA, DP ve TRIP sacları incelendiğinde DP ve TRIP sacları için uzama değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1.2 Sac malzemelerin çekme mukavemet değerlerine göre gruplandırılması

Tablo 3.1.1’de farklı kalitelere yüksek mukavemetli sacların özellikleri verilmiştir. Mavi renkte gösterilenler konvansiyonel yüksek mukavemetli saclar, yeşil renkli olanlar ise Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli saclardır. (ULSAB AVC TTD6)

Tablo 3.1.1 Farklı kalitelere yüksek mukavemetli sacların fiziksel özellikleri

Sac Malzeme	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Akma / Çekme Mukavemeti	Uzama	n - Değeri	r - Değeri	K - Değeri
	(MPa)	(MPa)		(%)	(5-15%)		(MPa)
BH 210/340	210	340	0,62	34-39	0.18	1.8	582
BH 260/370	260	370	0,70	29-34	0.13	1.6	550
DP 280/600	280	600	0,47	30-34	0.21	1	1,082
IF 300/420	300	420	0,71	29-36	0.2	1.6	759
DP 300/500	300	500	0,60	30-34	0.16	1	762
HSLA 350/450	350	450	0,78	23-27	0.14	1.1	807
DP 350/600	350	600	0,58	24-30	0.14	1	976
DP 400/700	400	700	0,57	19-25	0.14	1	1,028
TRIP 450/800	450	800	0,56	26-32	0.24	0.9	1,69
DP 500/800	500	800	0,63	14-20	0.14	1	1,303
CP 700/800	700	800	0,88	10-15	0.13	1	1,38
DP 700/1000	700	1000	0,70	12-17	0.09	0.9	1,521
Mart 950/1200	950	1200	0,79	5-7	0.07	0.9	1,678
Mart 1250/1520	1250	1520	0,82	4-6	0.065	0.9	2,021

Düşük Mukavemetli Saclar – DMS

Çekme Mukavemet değer aralığı yaklaşık 200 – 300 MPa dır

Sac Kaliteleri : IF, MILD

Malzeme kısa tanımlarında belirtilen değerler minimum akma mukavemet değerleridir. Örnek olarak IF 300 arayer atomsuz sacının minimum akma mukavemeti 300 MPa'dır.

Yumuşak Saclar (Mild Steels)

Yumuşak saclar ferritik yapıdadırlar. Yüksek normal anizotropi değerine (r_m) sahip olduklarından dolayı derin çekmeye uygundurlar. Akma mukavemetleri 100 MPa seviyelerinde olan yumuşak sac kaliteleri mevcuttur, bunlar özellikle çekilmesi çok zor olan parçalarda kullanılırlar. Çekme mukavemetleri ise 400 MPa seviyelerine ulaşmaktadır.

Örnek Sac Malzeme Kaliteleri : XES, DC04, St12

Arayer Atomsuz Saclar (IF Steels)

Çok az arayer atomu içeren saclar, düşük akma mukavemetleri, yüksek uzama ve iyi derin çekilebilirlik özellikleri nedeniyle çok iyi şekil verilebilirlik özellikleri gösterirler. Bu tür saclar vakum gaz giderme ekipmanları yardımıyla üretilirler. Karbonitür oluşturu elementler ilavesi ile derin çekilebilirlik ve yaşlanmama özellikleri daha da geliştirilebilir. Bu amaçla katılan niobyumun (Nb) etkisi, düzlemsel anizotropiyi geliştirme ve kulaklanma olayını azaltma yönündedir. Bunun nedeni soğuk haddeme işleminden daha önce sıcak haddelenmiş yapının küçük tane boyutlu olmasıdır. Niobyumun etkisini artırmak amacıyla malzemeye titanyum (Ti) ilavesi de yapılabilir.

Arayer atomsuz sacların akma mukavemetlerini artırmak için fosfor (P) kullanılabilir, fosfor genel olarak bilenen en etkili katı – eriyik sertleşmesine (solid – solution hardening) yol açan elementtir. Bu malzemeler fosforlu IF sacları olarak adlandırılırlar. IF sacları fosfor elementinin de eklemesi ile 260 MPa'lık bir akma mukavemetine ulaşabilir.

Örnek Sac Malzeme Kaliteleri : IF 180, IF 220, IF 300

Yüksek Mukavemetli Saclar (Konvasiyonel)

Çekme Mukavemet değer aralığı yaklaşık 270 – 700 MPa dır

Sac Kaliteleri : BH, IS, IF-HS, CMn, HSLA

Malzeme kısa tanımlarında belirtilen değerler minimum akma mukavemet değerleridir. Örnek olarak Arcelor 300BH fırında sertleşebilen sacın minimum akma mukavemeti 300 MPa'dır, HSLA 400 yüksek mukavemetli düşük alaşımlı sacın minimum akma mukavemeti 400 MPa'dır.

Alternatif olarak kısa malzeme tanımında minimum akma ve çekme mukavemet değerleri beraber de verilebilir, örnek olarak, HSLA 350/450 sacı için minimum akma mukavemet değeri 350 MPa, minimum çekme mukavemet değeri ise 450 MPa'dır.

Fırında Sertleşebilen Saclar (BH Steels)

Fırında sertleşebilen saclar, otomotiv imalatçılarının preslerinde kolayca şekil verilebilen ve düşük mukavemetli çeliklerdir. Vakumla gazı giderilmiş sac malzemeler özel yaşlanma (bir çeşit akma mukavemetinde artış) karakteristikleri olan ürünler verir. Bu otomotiv sac ürünleri fırında sertleşebilir sac olarak bilinirler. Sac malzemeler preslerde form verilerek otomotiv gövdesi parçaları haline getirilmeden önce normal depolama sırasında yaşlanmaya dirençli olarak dizayn edilirler. Bununla beraber şekil vermede yaşlanmaya başlarlar ve boya pişirme fırınlarında ısıtıldıktan sonra malzeme tamamen yaşlanır. Orjinal sac özelliklerine göre yaklaşık 34 – 70 MPa'lık bir akma mukavemeti artışı nihai parçada elde edilir. Bu tür sac malzemeler form verilebilirlikten ödün verilmeden ezilmeye dirençli (dent resistance) parçaların üretilmesini sağlarlar.

Örnek Sac Malzeme Kaliteleri : Arcelor 160BH, Arcelor 300BH

İzotropik Saclar (IS)

İzotropik saclar ferritik mikroyapıdadırlar. Düzlemsel anizotropi değeri 0 olduğu için çekme operasyonu sırasında kulaklanma riski çok küçüktür. Gererek ve çekilerek form verilebilirlik değerleri yüksektir.

Düzlemsel anizotropi, Δr , çekme prosesinde oluşabilecek kulaklanma (earing) ile ilintilidir. Yüksek Δr değeri kulaklanma riski artışı anlamına gelir.

$\Delta r > 0$ kulaklanma 0^0 ve 90^0 yönünde

$\Delta r < 0$ kulaklanma 45^0 yönünde

$\Delta r = 0$ kulaklanma oluşmaz : izotropik yapı

Örnek Sac Malzeme Kaliteleri : Isotropic E220i, Isotropic E260i

Yüksek Mukavemetli Arayer Atomsuz Saclar (IF-HS Steels)

IF saclarının akma mukavetleri genellikle düşüktür, akma mukavemetleri 150 MPa, çekme mukavetleri ise 300 MPa civarındadır. IF saclarına fosfor, silikon ve mangan eklenerek mukavemetleri artırılmıştır. Çekme ve akma mukavemet değerleri IF saclarından yüksek olduğu için şekil verilebilirlikleri IF'ye göre daha düşüktür fakat diğer yüksek mukavemetli saclara göre oldukça yüksektir.

Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Saclar (HSLA Steels)

280 – 550 MPa arası yüksek akma mukavemet değerlerine Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli (YMDA) saclar ile ulaşabilmek mümkündür. Bu sac grubu küçük taneli ferrit yapıya sahiptir, sacın sertleşme mekanizması genel olarak, kimyasal yapılarında içerdikleri mikroalaşım elementlerinin (Ti, V, Nb,...), karbon (C) ve/veya azot (N) ile oluşturduğu çökeltilerdir. Yüksek mukavemet değerlerine ulaşılabilmesini sağlayan alaşım elementleri olduğu için , bu saclara “mikro alaşımli saclar” da denir. Kimyasal yapı içerisine mangan (Mn), fosfor (P) veya silikon (Si) eklemek mukavemet değerini daha da artırır fakat yüksek mukavemet değerlerinin düşük formverilebilirlik anlamına da geldiği unutulmamalıdır.

Örnek Sac Malzeme Kaliteleri : HSLA 240, HSLA 400, HSLA 500, HSLA 700

Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Saclar (GYMÇ ~ GYMS)

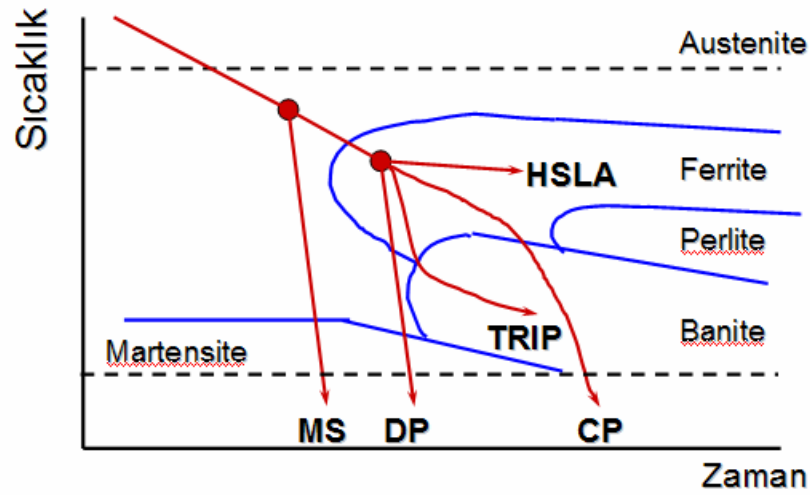
Çekme Mukavemet değer aralığı yaklaşık 450 – 1700 Mpa'dır. Sac Kaliteleri; DP, TRIP, CP, Mart

Malzeme kısa tanımlarında belirtilen değerler minimum çekme mukavemet değerleridir. Örnek olarak DP 600 çift fazlı sacın sacın minimum çekme mukavemeti 600 MPa'dır, TRIP 800 dönüşümle oluşturulan plastisite sacının minimum çekme mukavemeti 800 MPa'dır. Alternatif olarak kısa malzeme tanımında minimum akma ve çekme mukavemet değerleri beraber de verilebilir, örnek olarak, DP 350/600 sacı için

minimum akma mukavemet değeri 350 MPa, minimum çekme mukavemet değeri ise 600 MPa'dır.

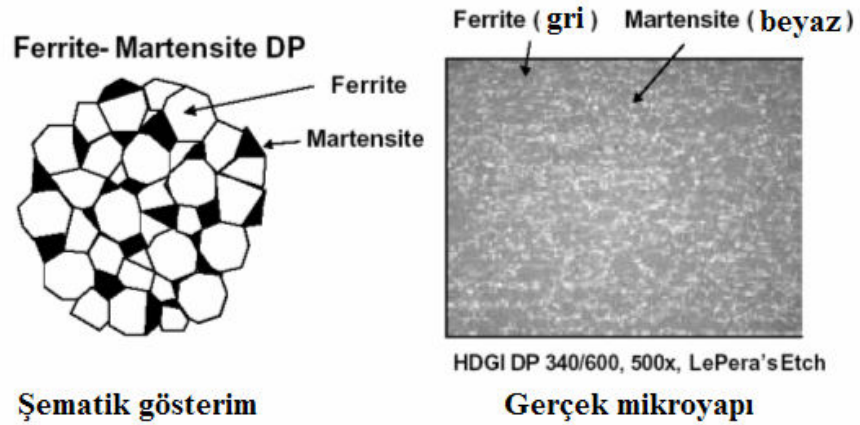
Çift Fazlı Saclar (DP Steels)

Günümüzde çift fazlı sacların kullanım oranları diğer geliştirilmiş yüksek mukavetli saclarla oranla çok daha fazladır ve yeni uygulamalar ile de giderek artmaktadır, bu sebep ile bu sac türü daha detaylı anlatılacaktır.



Şekil 3.1.3 Yüksek mukavemetli sacların prosesleri, alaşım elementlerinin sınırlardaki hareketleri (AutoForm Engineering)

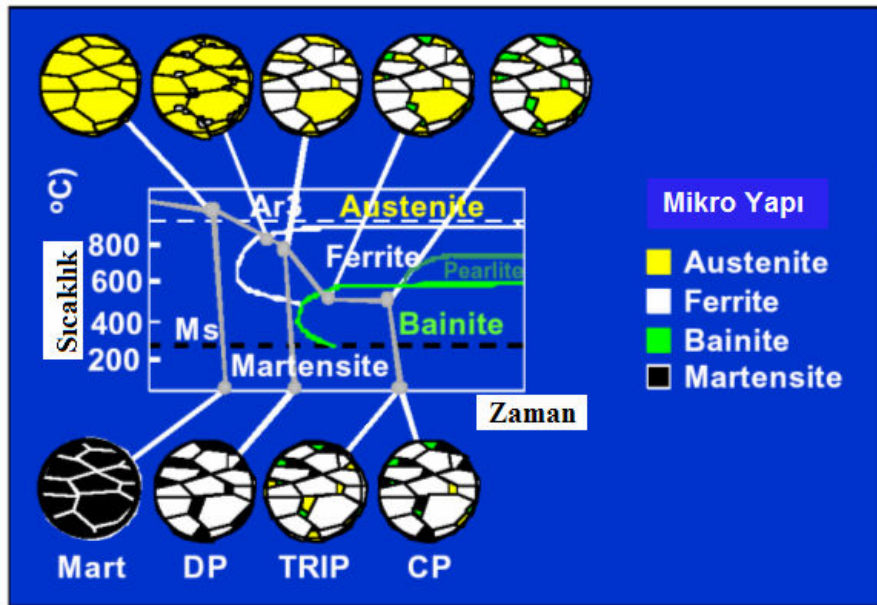
Çift fazlı saclar ferritik (yumuşak) bir yapı içerisinde, ikincil bir yapı olan sert martensit adacıkları içerirler. İkincil bir faz olan martensit tüm yapının yaklaşık 20 %'sini oluştururlar. Bu oran, çift fazlı sacların mukavemet değerlerini belirleyen en önemli etkidir. Martensit oranı arttıkça sacın mukavemeti artarken form verilebilirlik özelliği düşer (Anonim 2005). Şekil 3.1.3'de ısıtım sırasında oluşan fazlar ve yüksek mukavemetli sacların prosesleri gösterilmektedir.



Şekil 3.1.4 Çift fazlı sacın mikro yapısı (ULSAB AVC, TTD6)

Yapı içerisinde ferrit ve martensit ile birlikte düşük oranlarda kalıntı östenit ve malzemenin kenarlarına yakın bölgelerinde malzemenin yırtılmadan uzayabilme (gerilebilme) direncini artıran beynit fazları da bulunabilir, özellikle delik kenarlamalarda ve kesilen kenarların iç bükey bölgelerinde kenar uzama yeteneği çok önemlidir.

Çift fazlı sacın yapısı Şekil 3.1.4'te gösterilmiştir. Yumuşak ferritik yapı yüksek mukavemet değerlerine rağmen mükemmel sayılabilecek bir form verilebilirliği sağlarken, martensitik yapı ise hem malzemenin yüksek mukavemet özelliğinin hem de yüksek deformasyon sertleşebilirliğinin ana kaynağıdır.

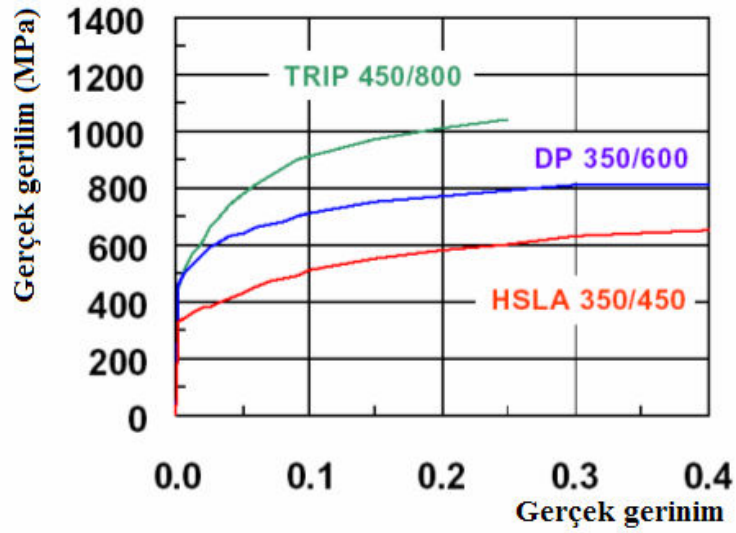


Şekil 3.1.5 Isıl işlem sırasında malzeme iç yapısındaki değişim (ULSAB AVC, TTD6)

Yüksek deformasyon sertleşmesi ve yüksek deforme edilebilirlik (uzama yeteneği) özelliklerinin birleşimi konvansiyonel yüksek mukavemetli saclara oranla daha yüksek akma değerlerine ulaşılabilmesini olası kılar.

Tablo 3.1.2 HSL350, DP600 ve Trip800 saclarına ait fiziksel özellikler

	Rp0,2	Rm	A80	r-bar	n-bar
HSLA	350	450	0,23-0,27	1,1	0,14
DP	350	600	0,24-0,30	1,0	0,14
TRIP	450	800	0,26-0,32	0,9	0,24



Şekil 3.1.6 Farklı malzeme türlerinin gerilim - gerinim grafikleri

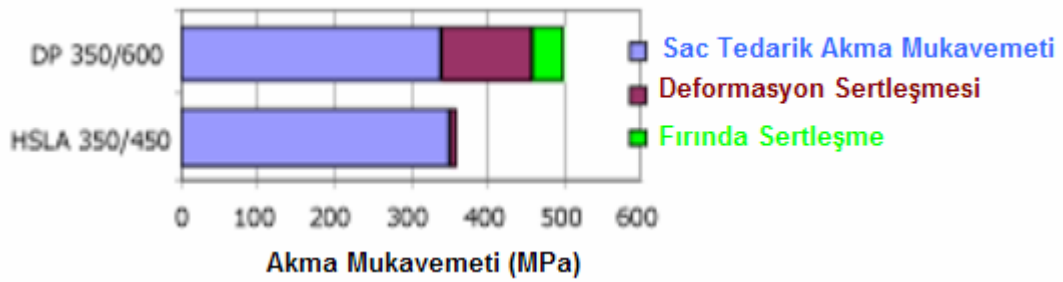
Şekil 3.1.6'da aynı akma mukavemet değerlerine sahip çift fazlı bir sac ile (DP), konvansiyonel bir sert kalite olan yüksek mukavemet düşük alaşımlı bir sacın (HSLA) gerilim – gerinim grafikleri verilmiştir. Her iki sacında akma mukavemet değeri aynı olmasına rağmen çift fazlı sacın çekme mukavemet değeri daha fazladır.

Bir sac malzeme için akma/çekme mukavemet oranı ne kadar düşükse form verilebilirlik de o kadar yüksektir, bu oranın çift fazlı sac için daha küçük olduğu görülmektedir.

DP ve HSLA saclarının, kalıpta form verme sırasında gösterdikleri deformasyon sertleşmesi karakteristikleri farklıdır. HSLA sacı için, kalıpta form verme başladığı andan itibaren sacın formverilebilirlik özelliği düşmeye başlar. DP sacının içerdiği

yumuşak ferrit yapısı sayesinde, saca form verme esnasında uzun süre formverilebilirlik karakterinde bir değişim olmaz ve yüzeyde daha iyi bir gerinim dağılımı gözlenir.

Çift fazlı ve diğer geliştirilmiş yüksek mukavemetli sacların konvansiyonel sert saclara karşı bir üstünlükleri de fırında sertleşebilme özelliklerinin olmalarıdır. Bu özellik zaten yüksek olan deformasyon sonrası akma mukavemet değerini daha da artırır, akma mukavemet değerinin yüksek olması özellikle araç güvenlik parçaları için çok önemlidir, bakınız Şekil 3.1.7 (Shaw 2001)



Şekil 3.1.7 GYMÇ ve YMÇ'lerin fırında sertleşebilirlikleri

Çift fazlı sacların günümüzde kullanılan tipik kimyasal bileşimleri Tablo 3.1.3'de verilmiştir. Genel olarak bu saclar 0.1 %'den daha az karbon içerirler ve bu sayede punta kaynak edilebilme kabiliyetlerine sahip olurlar. Sacın üretimi sırasında, tavlamaı takip eden hızlı soğutma sonucunda mikroyapıdaki martensitin 20 %'si oluşur. 1 ile 1.4 % arasındaki manganez, hızlı soğutmada martensitin oluşmasını sağlar. Konvansiyonel sert saclarınkine benzer bir uygulama ile, silisyum, katı eriyik sertleşmesi amacı ile ilave edilirken, vanadyum, niobyum, titanyum gibi alaşım elementleri çökelme sertleşmesi ve/veya tane boyutu kontrolü için ilave edilebilir.

Tablo 3.1.3 Çift fazlı sacların kimyasal bileşimi

Üretim Yöntemi	Bileşim, %						
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	N
Sürekli tavlama, soğuk haddelenmiş	0.11	1.43	0.61	0.12	0.08	0.06	0.01
Sürekli tavlama, sıcak haddelenmiş	0.11	1.20	0.40	-	-	-	-
Kuru tavlama	0.12	2.10	1.40	-	-	-	-
Haddelenmiş halde	0.06	0.90	1.35	0.50	0.35	-	-

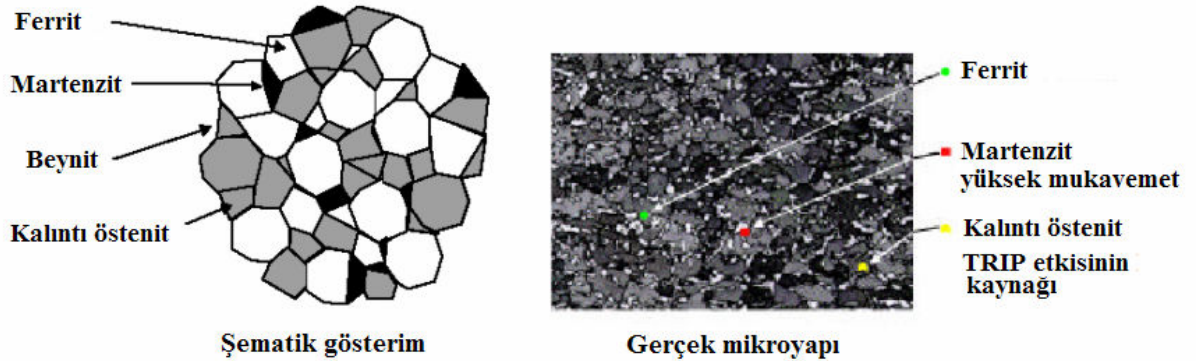
Kimyasal bileşimi değiştirerek ve kritik sıcaklıktan soğutma hızını kontrol ederek çift fazlı saclarda çok sayıda farklı mukavemet değerlerinde malzeme elde edilebilir. (Anonim 2005)

Aynı akma mukavemet değeri için, Çift Fazlı DP sacının çekme mukavemet değeri Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşım HSLA sacının mukavemet değerinden daha büyüktür, bunun anlamı Çift Fazlı DP sacının enerji emme kapasitesinin diğer bir ifade ile DP kalitesi kullanılan aracın çarpışma performansının daha yüksek olacağıdır. Aynı araç çarpışma performansı için HSLA yerine DP kullanımı sac kalınlığında yaklaşık 10% azalma anlamına gelir. (Fekete 2001)

Otomotivde kullanım alanlarına örnek olarak tampon takviyeleri, kriko destekleri, alternatör fanları, iç ve dış kapı panelleri verilebilir.

Dönüşümle Oluşturulan Plastisite Saclar (TRIP Steels)

Dönüşümle oluşturulan plastisite sacları, ferrit bir yapının içerisinde minimum 5 % kalıntı östenit ile sert yapılara sahip martensit ve beynitin oluşturduğu saclardır. TRIP sacının şematik gösterimi Şekil 3.1.8’de verilmiştir.

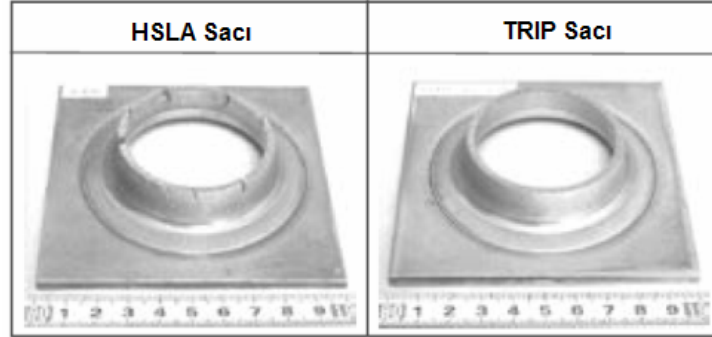


Şekil 3.1.8 Dönüşümle oluşturulan plastisite sacların mikro yapısı (ULSAB AVC, TTD6)

Plastik deformasyon esnasında (parçaya form verilmesi), çift fazlı saclarda olduğu gibi, yumuşak yapı içerisindeki ikincil sert fazlar yüksek miktarlarda deformasyon sertleşmesine neden olurlar. Fakat çift fazlı saclarda görülmeyen özellik, malzemedeki deformasyon ile beraber kalıntı östenit yapının martensite dönüşümü ile elde edilen deformasyon sertleşmesidir (Anonim 2005).

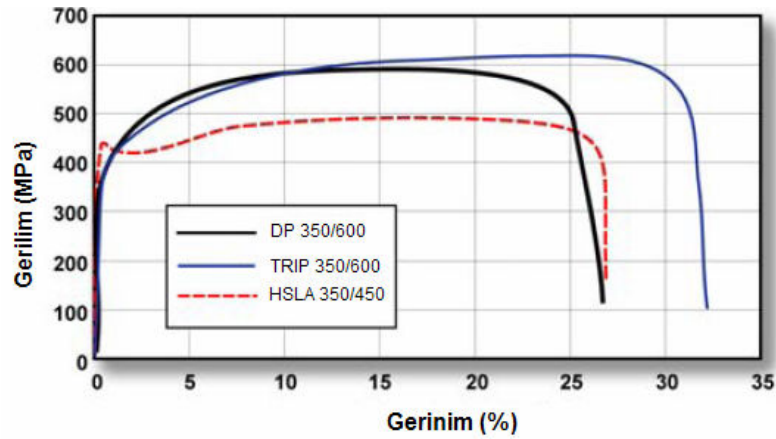
DP sacı için belirtilen, beynit yapının kesilen kenarlardaki uzama kapasitesini artırıcı etkisi TRIP sacları için çok daha fazladır. Yapıdaki beynit oranı artırılarak

kesme kenar uzama kapasitesi artırılır, bakınız şekil 3.1.9. Yüksek ferrit – beynit içeren TRIP sacları kullanılarak form verilen parçalar, döküm ve dövme ile üretilen parçalara alternatif olmuşlardır. (Schaeffler 2005)



Şekil 3.1.9 TRIP ve HSLA malzemelerinde delik uzamasının karşılaştırılması

Aynı akma mukavemet değerlerine sahip 3 farklı sacın gerilim – gerinim grafikleri Şekil 3.1.10’da gösterilmiştir. Görüleceği üzere en küçük deformasyon sertleşmesi HSLA’da gözlenmiştir. TRIP sacının başlangıç deformasyon sertleşme değeri DP’den küçüktür, fakat deformasyonun ilerki safharında özellikle kalıntı ösnetin martensite dönüşümü ile TRIP daha yüksek deformasyon sertleşebilirliği gösterirken DP’de düşüş gözlenmektedir.



Şekil 3.1.10 Farklı malzeme türlerinin gerilim - gerinim grafikleri

Kısaca özetlemek gerekirse, TRIP saclarının deformasyon sertleşebilirliğinin, benzer akma mukavemet değerlerine sahip, konvansiyonel yüksek mukavemetli saclara oranla oldukça yüksek olması malzemenin gerek şekil verilebilme ve form verilebilirlik özelliklerinin yüksek olmasını sağlar.

TRIP sacları, martensit oluşum sıcaklığını oda sıcaklığının altına çekerek östenit fazı oluşturabilmek için bileşimlerinde DP saclarına oranla daha fazla karbon içerirler. Silikon ve alüminyum kullanımı ise beyrit bölgelerinde çökelti karbürlerin oluşumunu önler.

Kalıntı östenit yapının martensite dönüşümünün deformasyonun (uzamanın) hangi safhasında başlayacağı bileşimdeki karbon oranı ile belirlenir. Düşük karbon oranlarında bu dönüşüm deformasyonun ilk safhalarında başlar ve deformasyon sürdükçe malzemede deformasyon sertleşmesine neden olur. Yüksek karbon oranlarında, kalıntı östenit çok daha stabil yapıdadır, deformasyonun daha ileri aşamalarında martensite dönüşmeye başlar, form verilmiş parçada dahi martensite dönüşmemiş kalıntı östenit oranları yüksek olabilir. Bunun amacı kaza anında deforme olan parçanın deformasyon sertleşebilirliğini yükselterek çok yüksek miktarlarda enerji absorbe edebilmesidir. Yüksek karbon seviyesinin en önemli dezavantajı ise kaynak edilebilme yeteneğinin ciddi miktarda düşmesidir fakat kaynak parametreleri üzerinde çalışılarak bu sorun giderilebilir.

Kompleks Fazlı Saclar (CP Steels)

CP sacları genel olarak TRIP ve DP sacları ile çok daha yüksek mukavemet değerlerine sahip MART sacları arasında bir geçiş pozisyonundadır. CP saclarının yapıları DP ve TRIP saclarına benzerdir, ikincil sert faz oranı daha yüksek ve az oranlarda niobyum, titanyum ve/veya vanadyum içerirler, bu elementler mukavemet artışını sağlayan düzenli çökelti oluşumunu sağlarlar. Aynı çekme mukavemetine sahip DP ve TRIP saclarına göre akma mukavemetleri biraz daha yüksektir, bunun sonucu olarak deforme edilebilirlikleri daha az fakat deformasyon sertleşebilirlikleri daha fazladır. Ana kullanım alanları, enerji emme kapasitelerinin çok yüksek olması ve form verilebilirlik değerlerinin sınırlı olması nedeniyle, basit formu, güvenlik parçalarıdır.

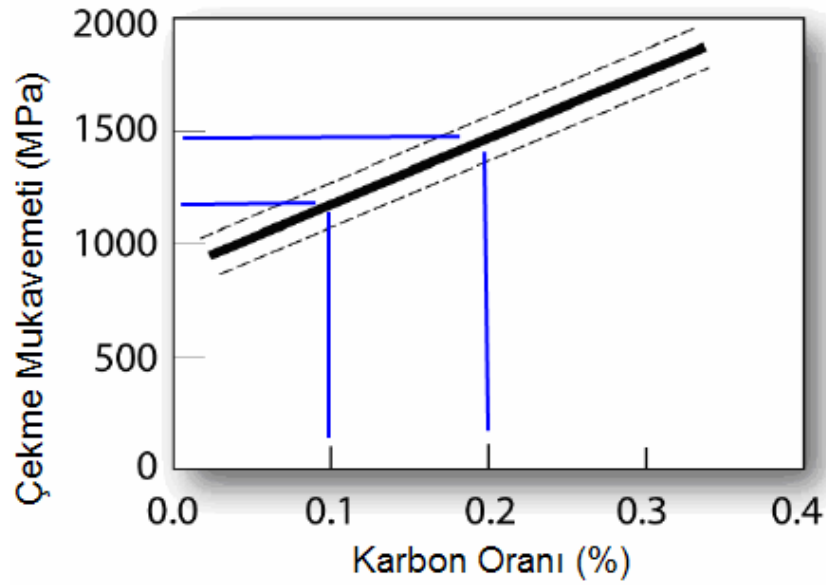
Martensitik Saclar (MART Steels)

MART saclar, sıcak haddeleme veya tavlama sırasında mevcut olan östenit yapının hızlı soğutulması ile çok büyük oranda martensite dönüşmesi ile oluşurlar. Bu

yapı genelde çok sert olduğu için ek bir meneviş operasyonundan geçirilerek formverilebilirliği artırılır.

MART saclarının çekme mukavemet değerleri 2000 MPa'a kadar çıkabilmektedir. Mukavemet seviyeleri bu denli yüksek olmasına rağmen yine de orta seviyede de olsa formverilebilir malzemelerdir, örnek olarak 1500 MPa çekme mukavemet değerine sahip bir MART sacı yaklaşık 4 – 6 % uzama değer seviyelerine ulaşılır.

Bileşime eklenen karbon malzemenin sertleşebilirliğini ve oluşan martensit yapının sertleşmesini sağlar. Şekil 3.1.11'de menevişlenmemiş martensit yapı malzemenin karbon miktarının çekme mukavemeti ile ilişkisi verilmiştir. Farklı oranlarda ve varyasyonlarda bileşime eklenen mangan, silikon, krom, molibden, boron, vanadyum ve nikel özellikle malzemenin sertleşebilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.



Şekil 3.1.11 Martensit yapı malzemenin karbon miktarının çekme mukavemeti ile ilişkisi

Ana kullanım alanları kompleks fazlı (CP) saclar ile benzerdir, enerji emme kapasitelerinin çok yüksek olması ve form verilebilirlik değerlerinin sınırlı olması nedeniyle, basit formlu, güvenlik parçaları uygulama alanlarındandır.

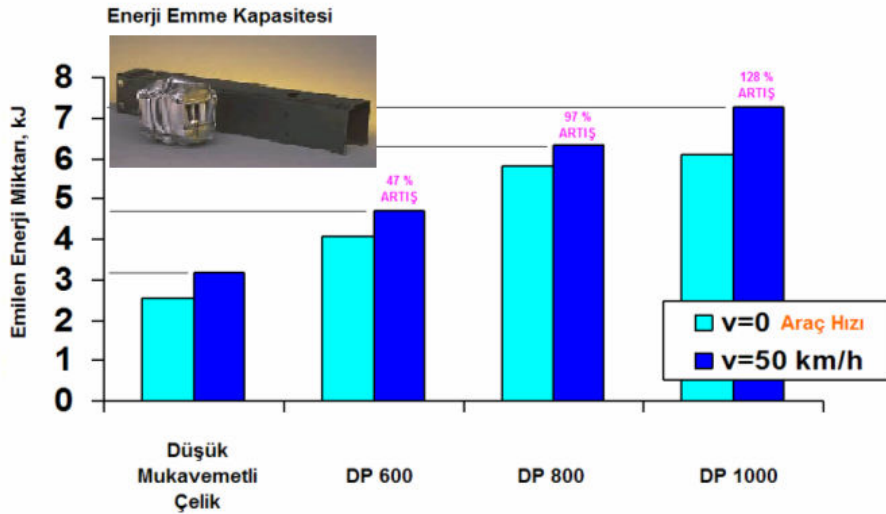
3.2 Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Sacların Avantajları

Araç Güvenliği

Araç güvenlik parçalarının daha fazla enerji emme kapasitesine sahip olmaları, kaza anında yolcu güvenliğinin artması anlamına gelir. Bir malzemenin enerji emme kapasitesini belirleyen en önemli kriterler, o malzemenin form verilmiş durumdaki çekme mukavemeti ve deformasyon ile sertleşebilme yeteneğidir.

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli sacların gerek deformasyon sertleşebilirlikleri gerekse form verilmiş durumda sahip oldukları çekme mukavemet değerleri çok yüksektir.

Şekil 3.2.1’de düşük mukavemetli çelik sac malzeme ile geliştirilmiş yüksek mukavemetli sac malzemelerin enerji emme kapasiteleri verilmiştir. Açıkça görüleceği üzere sac malzeme mukavemeti arttıkça absorbe edilebilen enerji miktarı da artmaktadır.



Şekil 3.2.1 Farklı malzemelerin enerji emme miktarlarının karşılaştırılması

Çevresel Nedenler

Kyoto protokolüne uyum çerçevesinde 2008-2012 yılları arasında gelişmiş ülkelerin egzost gaz emisyonu değerlerinde %5.2, Avrupa Birliği için ise %8’ lik azalma olması gerekmektedir. Her araç üreticisi ülke bu oranları sağlamak zorundadır. Egzost gaz emisyonlarının azaltılması ve yakıt sarfiyatının düşürülmesinin bir yolu araç

ağırlıklarının azaltılmasıdır. Araç ağırlığının azalması ile beraber aracın belirli tasarım isteklerini ve güvenlik şartlarını sağlaması gerekir. Çelik hammadde imalatçıları araç üreticilerinden gelen istekler sonucu daha dayanıklı çelikler üretmektedirler. Bu nedenle yüksek mukavemetli çeliklerin yeni araç modellerinde kullanım oranının gittikçe arttığı görülmektedir. (Federici 2005)

Yukarda belirtilen hedef için üzerinde çalışılan çözümlerin başında, araç motorlarının sürekli geliştirilerek yakıtın daha verimli kullanılabilmesi ve araç üretiminde yeni, teknolojik malzemeler kullanılarak araç ağırlıklarının azaltılması, bunun sonucunda da daha az yakıt kullanımı sağlanmasıdır.

Araç gövde parçalarının yüksek mukavemetli malzemelerden üretilmesi, kullanılan sac malzemenin kalınlık değerini, bunun sonucunda ise araç ağırlıklarının azaltılmasını sağlayacaktır. Kullanılan sac malzeme çekme mukavemetinin parça ağırlığına etkisi tablo 3.2.1’de verilmiştir.

Tablo 3.2.1 Farklı çekme mukavemet değerlerine sahip sacların parça ağırlığına etkisi

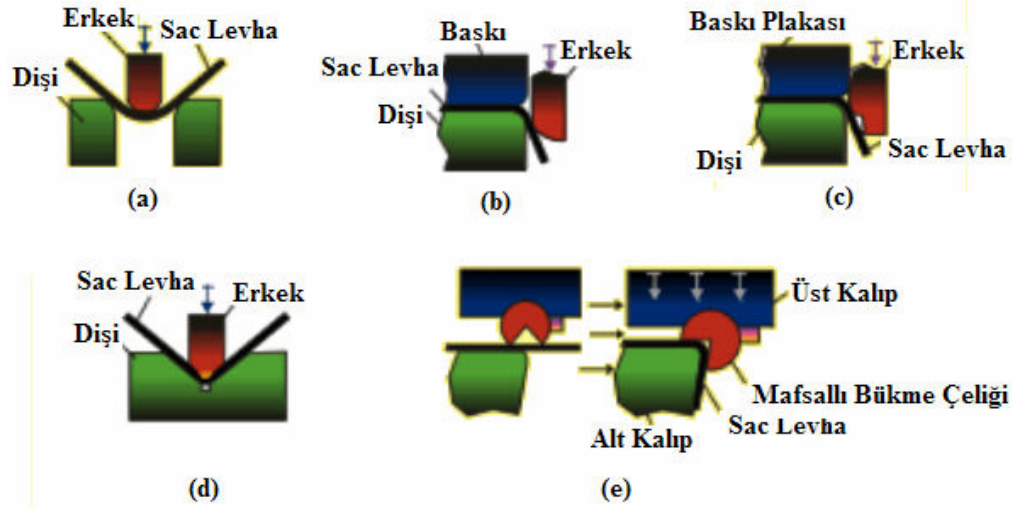
Sac Malzeme Çekme Mukavemeti (MPa)	Parça Ağırlığında Azalma (%)
250	-
400	15 - 25
700	35 - 45
900	45 - 50
1100	50 - 55

Araç Maliyeti

Her ne kadar geliştirilmiş yüksek mukavemetli sac malzeme maliyetleri düşük mukavemetli saclara göre yüksek olsada, form verilmiş parçanın olması gereken kalınlığının düşmesi sonucu kullanılan sac malzeme miktarının azalması, farklı parçaların tek bir parça olarak üretilebilmesi potansiyeli ve yeni teknolojilerin kullanımı ile araç toplam maliyetlerinde azalmalar elde edilmiştir.

3.3. Sac Metal Şekillendirme Metotları

Bükme, en yaygın kullanılan sac metal şekillendirme yöntemlerinden birisidir. Sac parçanın şekline, malzeme özelliklerine ve üretim adedi gibi çeşitli değişkenlere bağlı olarak bükme operasyonları da çeşitlilik göstermektedir.



Şekil 3.3.1 Bükme operasyonları a) Serbest bükme b) Kenar bükme c) Çift etkili bükme d) Ezerek bükme e) Döndürerek bükme

Serbest bükmede parçanın şeklini erkek kalıp hareket mesafesi ve dişi kalıp açıklığı belirler. Dişi kalıp sabit, erkek kalıp ise hareketlidir (Şekil 3.3.1-a). Havada bükme olarak da bilinir.

Kenar bükme de bir form verme operasyonudur, öyle ki parçanın bir kenarı doğru boyunca aşağı doğru bükülür (Şekil 3.3.1-b). Diğer kenar ise baskı plakası altında, pot kuvveti ile tutulur. Bükülen kenar uzunluğu kolaylıkla kontrol edilebilir ve bükme açısı erkek hareket mesafesinin değiştirilmesiyle kolaylıkla kontrol edilebilir.

Bükme operasyonlarında geri yaylanma etkisini azaltmak ve bükme açısını kontrol edebilmek için kullanılan en yaygın yöntemler çift etkili bükme, ezerek bükme ve döndürerek bükmedir. Çift etkili bükme, arka arkaya etki eden iki serbest bükme gibi düşünülebilir (Şekil 3.3.1-c). Geri yaylanmayı azaltmada etkili bir yöntemdir.

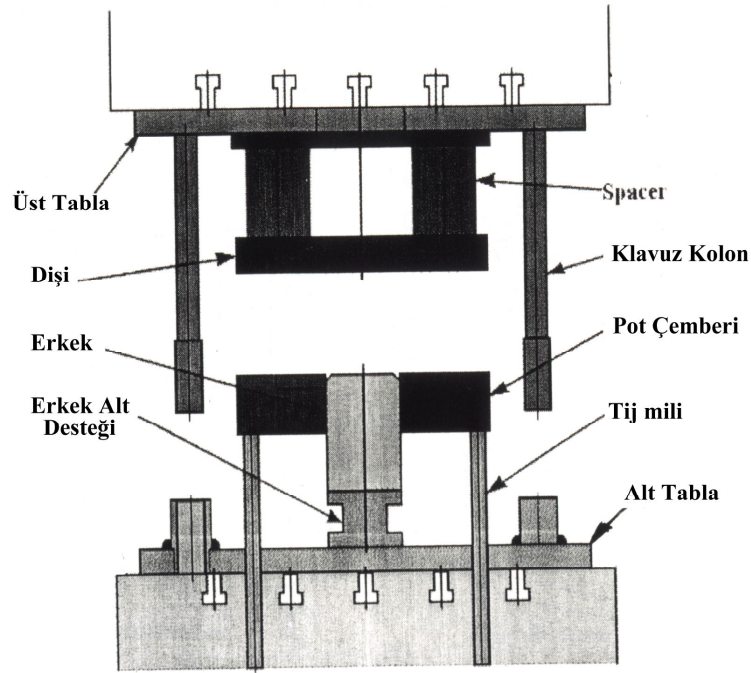
Ezerek bükme operasyonunda dişi ve erkek kalıbın bükmeyi gerçekleştiren bölgeleri bası gerilmesi altında parçayı bir miktar ezer (Şekil 3.3.1-d). Geri yaylanmayı azaltmakla birlikte ezme işleminden dolayı daha fazla kuvvet gerektirir.

Döndürerek bükme işleminde kullanılan döner bükme çeliği, parçayı tutar ve aynı zamanda da bükür (Şekil 3.3.1-e). Döner bükme çeliği parçaya bir baskı plakası

gibi basar, sıkıca tutarak 90°'den daha fazla bükerek, böylece geri yaylanma da telifi edilebilir. Bu operasyon 90°'den küçük açılardaki parçaları bükerek oluşturma işleminde daha etkili olarak kullanılır ve erkek kalıp kuvvetini de azaltır.

Diğer yaygın kullanımı olan şekillendirme yöntemi de “derin çekme” operasyonudur. Şekil 3.3.2’de derin çekme kalıbının bölümleri gösterilmektedir. Pot baskısı tarafından sıkıştırılan sac malzemenin erkek tarafından dişinin içerisine sıvanması esasına dayanan bir işlemdir. İşlem sonucunda elde edilen parçanın sac malzeme kalınlığı işlem başında giren sac malzeme kalınlığına oldukça yakındır. Oluşan parça sac malzemeye göre oldukça mukavemetlidir.

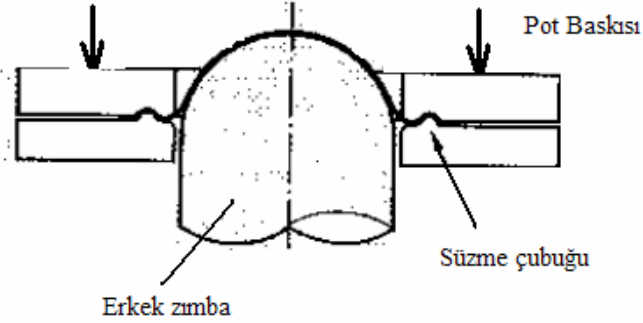
Endüstride derin çekme işleminin oldukça yaygın bir kullanımı vardır. Hatta bu işlem vasıtasıyla derin olmayan sığ parçaları bile üretmek mümkündür. Genel olarak üretilen parçalar içecek kutuları, derin kaplar, tencereler, tepsilere, koruyucu kaplar ve otomobil gövde parçalarıdır.



Şekil 3.3.2 Form kalıbının bölümleri

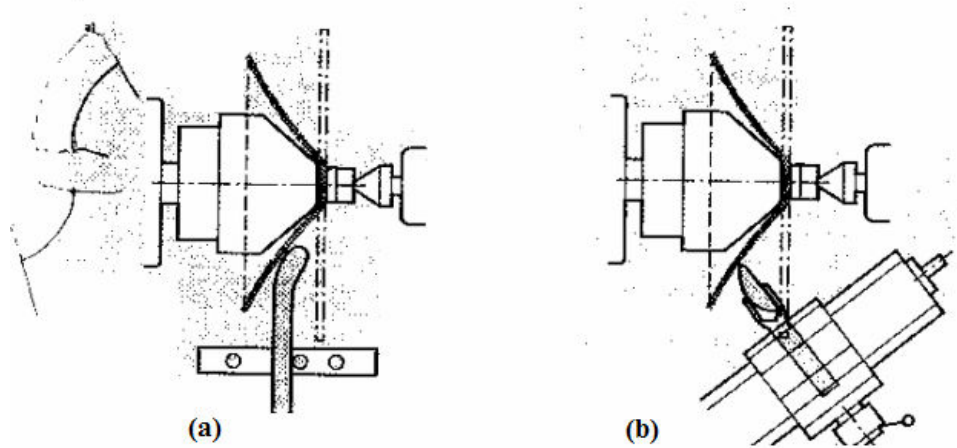
Gererek şekillendirme (Strech forming) işlemi ise havacılıkta en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. Şekil 3.3.3’de şematik gösterimi bulunan bu yöntemde sac levha çok yüksek baskı kuvveti ile pot çemberi tarafından tutulur ve tek eksenli gerilme şeklinde gerdirilir, malzeme kalınlığı bir miktar düşer. Malzemenin

kaymasını engellemek amacıyla gerekli görüldüğü takdirde süzme çubukları kullanılır. Daha sonra malzeme erkek kalıba sıvanır.



Şekil 3.3.3 Gererek şekillendirme

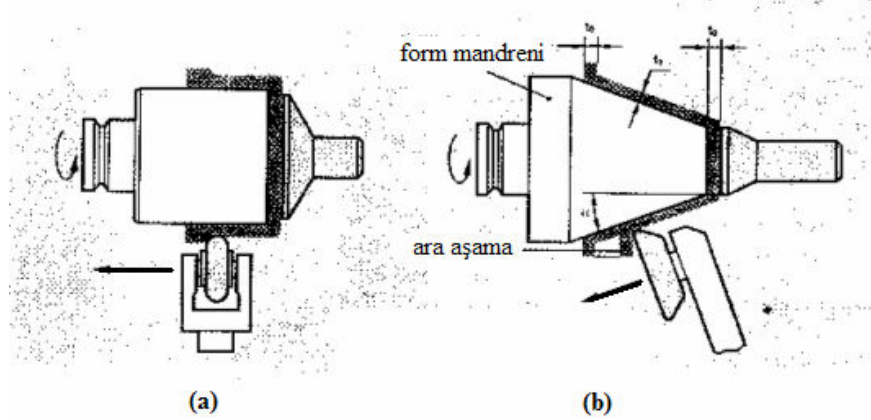
Diğer bir şekillendirme metodu ise eğirme (spinning) ve döndürerek akıtma (flow-turning) yöntemleridir. Eğirme, silindirik kapların üretimi için kullanılan en yaygın ve basit yöntemlerden birisidir. Önceleri el ile uygulanan bu yöntem daha sonraları iyileştirici ve basitleştirici uygulamalar ile geliştirilmiştir. Şekil 3.3.4'te eğirme yöntemi gösterilmektedir. Konik yüzeylere sahip kapların elde edilmesinde çekme yöntemine göre daha basit ve ucuzdur, kalıp yatırımı gerektirmez. Sadece dairesel simetrik parçaların üretimine elverişlidir.



Şekil 3.3.4 Eğirme (spinning) şekillendirme yöntemleri (a) manuel (b) otomatik

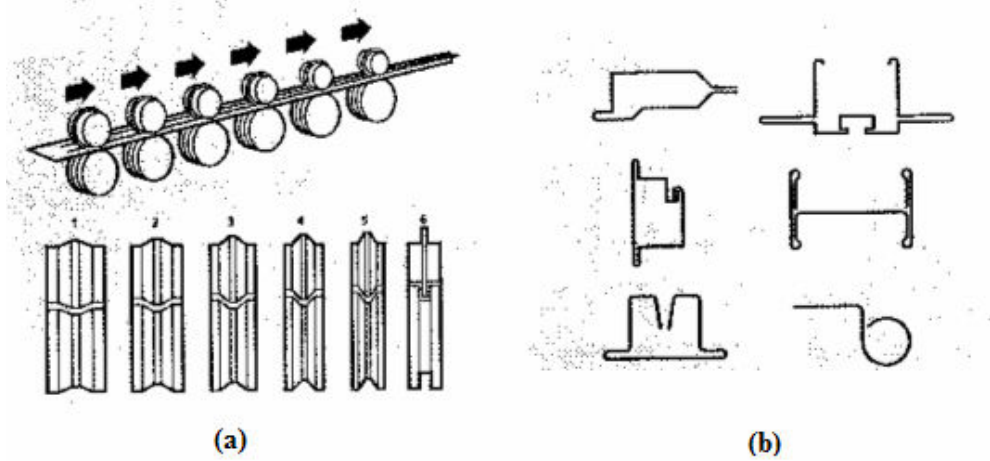
Döndürerek akıtma (flow turning) yöntemi ise soğuk haddeleme operasyonuna benzer. Çekme ile yarı ürün haline getirilmiş malzemeyi uzatarak-akıtarak son şekline getirmek için kullanılır. Malzemeyi akıtarak uzattığı için, çekmeden çıkan ve döndürerek akıtma operasyonuna girecek malzemenin hacim hesaplamalarının doğru

yapılması gerekir. Şekil 3.3.5-(a)'da hacimsel şekil değişimine örnek gösterilmektedir, Şekil 3.3.5-(b)'de ise çekmede kısa etekli konik bir malzemenin şekillendirilmesi görülmektedir. Bir veya birden fazla adımda gerçekleştirilebilir. Çok adımda yapılan çalışmalarda son adım yüzey pürüzlülüğünü giderici yani malzeme kalitesini artırma amaçlı olabilir.



Şekil 3.3.5 Döndürerek akıtma (flow-turning) şekillendirme yöntemleri (a) malzemenin uzatılarak şekillendirilmesi (b) konik malzemenin üretimi

Dönen tekerlekler ile şekillendirme metodu da yaygın olarak kullanılan form verme yöntemlerinden biridir. Bu yöntemin uygulaması ile ilgili örnek şekil 3.3.6-(a)'da gösterilmiştir, elde edilebilecek parça kesitleri de şekil 3.3.6-(b)'deki gibidir. Bu şekilde üretimi yapılan parçalar genelde yüksek üretim adetli parçalardır.

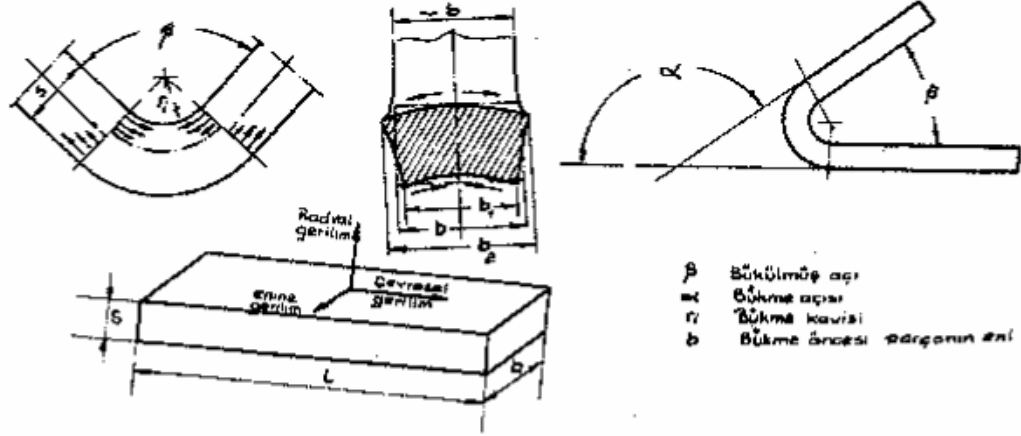


Şekil 3.3.6 Dönen tekerlekler ile şekillendirme yöntemi (a) ardışık tekerlekli şekillendirme (b) bu yöntem ile elde edilen parça kesitleri

3.3.1. Bükme

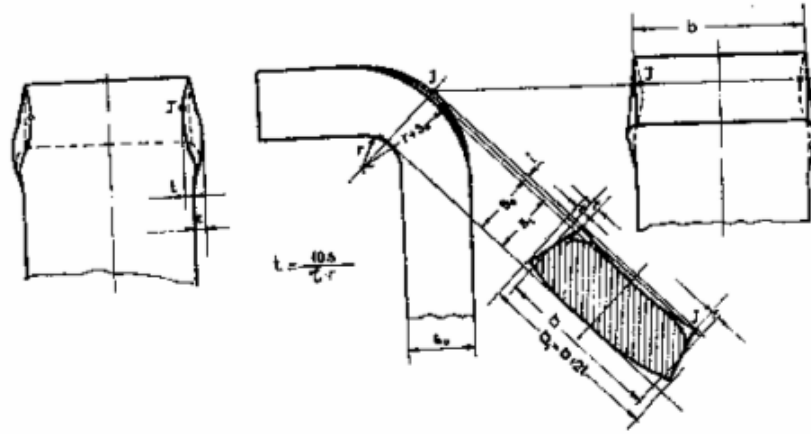
Bükme ile ilgili çeşitli operasyonlardan daha önce genel olarak bahsetmiştik. Bu kısımda ise bükmenin mekaniğine değinilecek.

Bükme olayında bükülen malzemenin bükme bölgesinde parça ölçülerine, bükme kavisi ve ölçülerine bağlı olarak çeşitli şekil değışimleri olmaktadır.



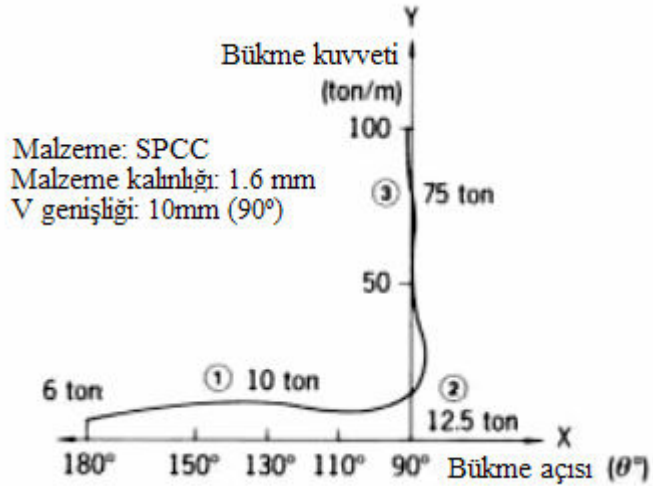
Şekil 3.3.1.1 Bükmede gerilme ve şekil değışiklikleri

Malzeme dayanımının sınırlı olması bu şekil değışimini belirli sınırlar içinde tutma zorunluluğunu doğurur. Şekil 3.3.1.1'de "s" kalınlığında ve "b" genişliğinde bir şeridin " r_1 " yarı çapı ile " α " açısı kadar bükülmesi görülmektedir. Bükme olayında bükülmüş bölgedeki malzemenin iç taraftaki lifleri çevresel gerilimlerden ötürü sıkışmakta, dış taraftaki lifleri ise uzamaktadır. Malzeme iç tarafta basıya, dış tarafta çekiye zorlanmaktadır. Bu gerilmelerin en büyük değerlerine parçanın iç ve dış yüzeylerinde erişilmektedir. Bu gerilmelerin olmadığı ara bölgeye "tarafsız eksen" ismi verilir.



Şekil 3.3.1.2 Kalın malzemelerin küçük kavisle bükülmesi

Dar ve kalın sacların küçük kavislerle bükülmelerinde daha büyük şekil değişimleri meydana gelir. Şekil 3.3.1.2’de dar kavisle bükülen kalın bir parça gözükmemektedir. Malzeme kalınlığı bükme bölgesinde bir miktar azalmakta, bükmeden önce prizmatik şekilde olan parça kesiti iç bükey trapez şeklini almaktadır. Bükme öncesi (b) genişliğinde olan malzeme bükme sonrası (b+2t) genişliğine erişmektedir. Bu durumun, menteşe gibi birbiri içinde çalışacak parçaların ölçülerinin belirlenmesinde dikkate alınması gerekir.



Şekil 3.3.1.3 Bükme kuvvetinin bükme açısına bağlı değişimi

Şekil 3.3.1.3’de soğuk haddelenmiş karbon çeliğine (SPCC) ait eğri gösterilmiştir. Bir metre boyundaki iş parçasını bükmek için gerekli olan tonaj veya

kuvvet Y-ekseni, bükme açısı θ ise X-ekseni olarak değerlendirilmiştir. Bükme sırasında kuvvet 6 tondan başlayarak artarak 90° 'de dikey artışla 100 tona ulaştığı gözlenir. Dikey tırmanışın nedeni malzemenin elastik bölgeden kurtulup, kalıcı deformasyonun sağlandığı plastik deformasyon bölgesine girmesini sağlamaktır. Malzemenin özelliğine bağlı olarak şekillendirme işleminde sonra parçanın eski şekline geri dönme eğilimi “geri yaylanma” olarak tarif edilir.

Bükmede kalıcı şekil değişikliği söz konusudur. Malzemede kalıcı şekil değişimi meydana getirmek çeşitli gerilmelerin ortaya çıkmasına neden olur. Bükmenin sağlıklı yapılabilmesi, meydana gelecek gerilmeleri belirli sınırlar içerisinde tutmayı zorunlu kılar. Parça tasarımı açısından bükme kavisinin iyi belirlenmesi gerekir öyle ki malzeme bükülen bölgesinde elastik sınırı aşmalı fakat kopma noktasına yaklaşmamalıdır. Bükme açısı büyüdükçe dış tabakalardaki uzamalar da artacağından yırtılma olasılığı fazlalaşır. Bu bakımdan uygulanacak en küçük bükme kavisinin belirlenmesinde bükme açısının da dikkate alınması gerekir. Bükme açısı büyüdükçe daha büyük bükme kavisini kullanılmalıdır.

3.4. Geri Yaylanma

Sac metal levhaların şekillendirilmesinde istenilen form uygun bir şekillendirme operasyonunda ve yeterli kuvvetler altında malzemeye uygulanır. Elde edilen parça elastik ve plastik deformasyonun karışımı ile oluşur. Parça üzerinden kuvvetler kaldırıldığında bir miktar eski haline dönme eğilimi gösterir ki bu davranışa “geri yaylanma” denir.

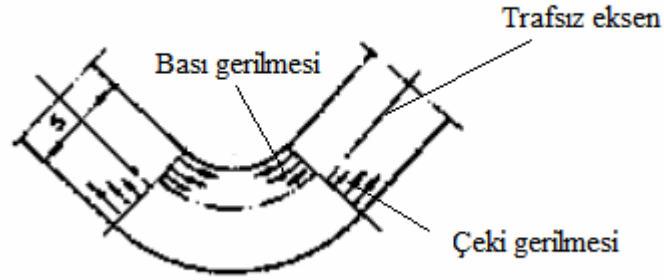
Bükme operasyonunda geri yaylanma malzemenin cinsine, malzeme kalınlığına, bükme açısına, bükme yarıçapına, dişi ve erkek kalıp arasındaki kalıp boşluğuna, yağlama koşulları gibi birçok etkene bağlıdır.

Şekil 3.4.1'de geri yaylanma davranışının gözlemlendiği V bükme operasyonunda parçada elde edilmek istenen bükme açısı θ ve bükme operasyonu sonunda (kesik çizgili) oluşan bükme açısı θ' olarak gösterilmiştir. V bükme işleminin dar açıda, dik açıda (90°) veya geniş açıda olması durumlarında değer olarak farklı olmakla birlikte geri yaylanma meydana gelmektedir.



Şekil 3.4.3 Bükmenin sebep olduğu molekül hareketleri

Şekil 3.4.3’de 90° ve geniş açı ile bükülmüş düz levha resmedilmiştir. Şekilde parçanın iç kısımlarında basma, dış kısımlarında ise çekmenin meydana geldiği gözükmemektedir. Şekil 3.4.4’de gösterildiği gibi parçanın ortasında ise, bası veya çeki gerilmelerinin oluşmadığı bir tabaka vardır ki “tarafsız eksen” olarak adlandırılır.



Şekil 3.4.4 Bükmede oluşan gerilmeler

Parça büküldüğünde, iç ve dış yüzeyine sırayla bası ve çeki gerilmelerine maruz kalır. Genelde malzemede bası yönündeki gerinim, çeki yönündeki gerinimden daha büyüktür. Uygulanan kuvvet ile parçanın dış kısmı deforme olur fakat iç kısmı henüz akma noktasına ulaşmamıştır. Parçanın iç kısmı eski haline geri dönme eğilimi gösterir. Parçayı eski konumuna getirmeye çalışan bası gerilmesi geri yaylanmayı meydana getirir.

3.5. Şekillendirmeyi Etkileyen Faktörler

3.5.1. İşlem Değişkenleri

Kalıp ve zımba geometrileri, konfigürasyonları, kalıp iş parçası arasındaki boşluklar, pot basıncı süzdürme uygulamaları gibi değişkenler sac şekillendirme işlemlerini etkileyen önemli parametrelerdir. Bu faktörler aynı zamanda şekillendirme işlemlerinin sınırlarını belirlemede önemli rol oynamaktadır. Bu parametreler arasında kalıp ve zımbaların köşe radyusları (çekme radyusu genellikle karmaşık parçalar için sabit değildir) bölgesel şekil değişimlerde çok etkin olmalarından dolayı oldukça önemlidir. Tasarımcılar tarafından keskin hatlara sahip karmaşık şekilli parçalar için küçük radyuslu zımbalar kullanmak zorunda kalmaktadır. Bu gibi durumlarda çekme radyusu ya bu hattın dışından geçmeli yada çekme operasyonunda bu değer büyütülüp kalibre operasyonunda istenilen değere düşürülmelidir. Küçük çekme radyuslarının oluşturduğu büyük yerel şekil değişimlerden dolayı imalatta büyük zorluklar çıkarmaktadır. Radyus üzerindeki bölgesel şekil değişimleri deformasyonun diğer bölgelere yayılmasını önleyerek hasar olasılığını artırır. Bu tür parçalarda yumuşak geçişlerin olmayışı, işlem sırasında kalıbın deformasyonunu takip edememesi problemini de meydana getirebilir. Ayrıca montaj sırasında zımba kalıp grubundaki eksen kaçıklıklarında şekillendirme sırasında sac üzerinde oluşan farklı doğrultulardaki kuvvet bileşenlerini değiştirecektir. Genellikle imalat sırasında çekme kalıpları için plaka tipi yataklamalar kullanılmaktadır. Bu yataklar için paralellik toleransı ± 0.1 mm dir.

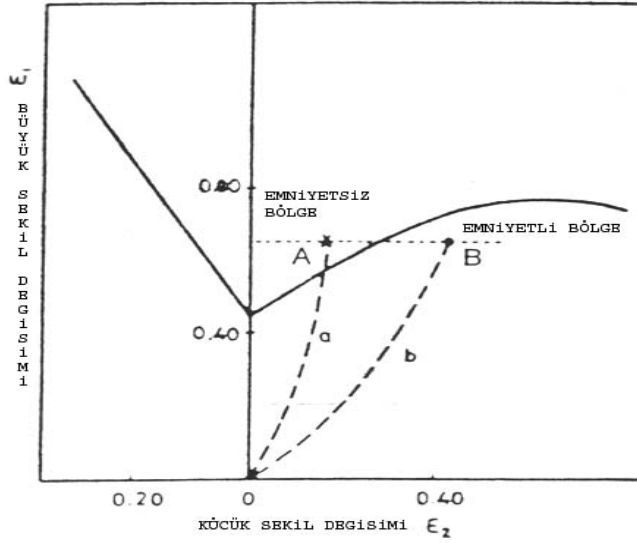
Baskı plakası basıncı şekillendirme sırasında germe ve derin çekme miktarlarını etkilemektedir. Baskı plakası basıncındaki artış derin çekmeye nazaran germe şekil değişimlerini arttıracaktır. Baskı plakası basıncı çok büyükse belirli bölgelerde baskı plakası ile dişi arasındaki sac kalınlık miktarını azaltacağından yırtılma, çok küçükse sacdaki kırışma isteğini engelleyemeceğinden kırışma meydana gelecektir. Sac üzerinde gerilme istendiğinde pot basıncını gereğinden fazla arttırmak yerine bu bölgelere süzdürme uygulanmalıdır.

Birden fazla şekil değiştirme işlemlerinde, ilk aşamada germe şekil değişimine uğrayan bölgeler bir sonraki aşamada derin çekme şekil değişimine uğrayabilir. Yükleme sırasındaki bu tür değişimler farklı malzemeler üzerinde önemli etkilere sahip olabilir. Örneğin, konteyner imalatı için üretilen derin çekilmiş kaplarda ütüleme yöntemi kullanılarak çekme ve basma gerilimlerinin beraberce etkimesi ile sac

kalınlıkları olabildiğince azaltılmaktadır. Optimum şartlarda yerine getirilen bu teknikler, derin çekme sırasında meydana gelen buruşuklukların giderilmesinde oldukça etkili olmaktadır.

Düşük sünekliliğe sahip yüksek dayanımlı malzemelerin germe ve bükme şekillendirme işlemlerinde genel olarak elastik kaplar kullanılır. Şekillendirme işlemi sırasında , elastik kaplar dişi kalıp görevi görürler. Zımbanın hareketi ile sac malzeme elastik kalıp içerisinde şekillendirilir ve zımbanın formunu alır. İşlem sırasında sac malzemeye elastik kalıp tarafından tüm doğrultularda aynı basınç uygulanır. Üniform bir basınç dağılımı söz konusu olduğundan basma gerilmeleri daha üniform bir incelmeye sağlar ve küçük radyuslar üzerindeki bölgesel şekil değişimleri ve bükme bölmelerindeki şekil değişimlerini azaltır. Şekillendirilmesi zor parçalar sık sık bu tür sac şekillendirme yöntemleri ile üretilmektedir. Şekillendirme sırasında metal akışı metal ile zımba – kalıp grubu arasındaki sürtünme kuvvetleri tarafından kontrol edilir. Bu kuvvetler şekil değiştirme hızına duyarlıdır. Bu artan şekil değişim hızı metalin sünekliliğini etkileyerek azaltılabilir ve sacın gerilerek hasara uğramasına neden olabilir. Buna karşın artan hız kalıp ile sac arasındaki sürtünmeyi azaltarak daha üniform bir incelmeye meydana getirebilir. Ayrıca bir pres(mekanik pres) tam olarak üniform bir hız sağlayamamakta, sinüzoidal bir değişim göstermektedir. Bu nedenle artan hız ile malzeme üzerindeki bölgesel ısınmalar malzeme davranışlarının değişmesinde etkili olabilir. Sonuç olarak farklı deformasyon hızlarında farklı malzeme duyarlılığı elde edilebilmekte bu da şekillendirme özelliği üzerinde etkili olabilmektedir.

Yağlama, kalıp ile sac arasındaki sürtünmeyi azaltarak şekillendirme sırasında daha üniform şekil değişimlerinin meydana gelmesinde rol oynar. Yağlama şartlarının iyileştirilmesi ile deformasyon sırasındaki şekil değişim oranlarında değişmekte, şekil 3.5.1.1’de görüldüğü gibi hasar bölgesinde olan A noktası yağlamanın geliştirilmesi ile emniyetli bölgedeki B noktasına kaydırılabilmektedir.



Şekil 3.5.1.1 Uzama limitleri diyagramı üzerinde yağlamanın etkisi
 a) Yağlama kullanılmamış b) Yağlama kullanılmış

3.5.2. Malzeme Değişkenleri

Üretim açısından sacların en önemli malzeme özellikleri dayanımları ile şekillendirilebilme yetenekleri olmakla birlikte, bunlar içinde şekillendirilebilme yetenekleri daha baskın kabul edilmektedir. Bu özellikler malzemenin kimyasal birleşimi döküm tekniği ve soğuk-sıcak haddeleme ile uygulanan ısı işlemlerden oluşan termo-mekanik geçmişi tarafından kontrol edilmektedir. Malzemenin bu özelliklerini belirlemek ve analiz edebilmek için aşağıdaki özelliklerin saptanması gerekmektedir.

Akma Dayanımı

Belirgin bir üst akma noktası , katılma sırasında N, O, H, C gibi arayer atomlarının dislokasyon boşluklarına yerleşerek dislokasyonun hareketini önlediği basit karbonlu sakınletirilmemiş çelik gibi malzemelerde görülür. Bir parçanın tüm bölgelerinde kalıcı ve homojen bir şekil değişimi elde edebilmek için bu üst akma gerilmesi aşılmalıdır. Bu sebeple sac şekillendirme işlemlerinde malzemenin belirgin akma göstermesi istenmez.

Elastiklik Modülü

Malzemenin elastik davranışını belirleyen en önemli faktördür. Özellikle akma dayanımı ile birlikte bükme işlemlerinde karşılaşılan problemlerin analizinde önemli rol oynamaktadır. Geri yaylanmayı kontrol eden elastik şekil değişimleridir.

Deformasyon Hızına Duyarlılık Üsteli

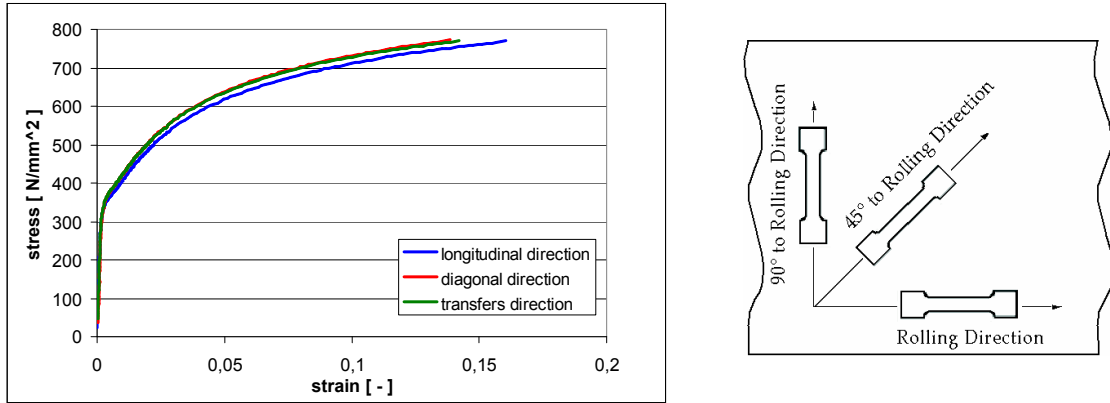
Metal malzemelerde deformasyon hızı ile malzemenin akma gerilmesi arasında $\sigma = C \cdot \dot{\epsilon}^m$ şeklinde tanımlanan bir ilişki mevcuttur. Burada $\dot{\epsilon}$ birim şekil değişim hızı, m deformasyon hızına duyarlılık üsteli ve C ise bir malzeme sabitidir. Malzemedeki şekil değiştirme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

Şekillendirme işlemlerinde, şekil değiştirme miktarı ve şekil değiştirme hızındaki artışlar çoğunlukla sürtünmeli ve geometrik sınırlamalardan dolayı meydana gelmektedir. Hem pekişme üsteli, hemde deformasyon hızına duyarlılık üsteli, uniform olmayan yerel boyun vermenin azalmasında ve hasara kadar olan şekil değişim miktarının artmasında önemli rol oynamaktadır.

Plastik Anizotropi

Sac malzemedden hazırlanan bir deney parçasına çekme deneyi uygulandığında plastik şekil değişimi çekme eksenini boyunca uzama, buna dik olarak uzanan kalınlık ve genişlik doğrultularında ise kısalma şeklinde meydana gelmektedir. Hacim sabitliği uzama birim şekil değişiminin toplamının kısalma birim şekil değişimlerinin toplamına eşit olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ancak bu kalınlık ve genişlik yönlerindeki birim şekil değişimlerinin birbirine eşit olmasını gerektirmemektedir. Genişlik yönündeki birim şekil değişimi ϵ_w nin kalınlık yönündeki birim şekil değişimi ϵ_t ye oranı ϵ_w/ϵ_t , r değeri olarak tanımlanmaktadır. Plastik anizotropi değeri r , şekil 3.7 de görüldüğü gibi sacın farklı doğrultuları için elde edilebilmektedir. Bu amaçla çekme eksenini sacın haddeleme yönüne 0° , 45° ve 90° doğrultularda olacak şekilde hazırlanan deney parçalarından yararlanılır. Malzemenin izotrop olması durumunda $\epsilon_w = \epsilon_t$, dolayısı ile $r=1$ olmakta ve bu değer haddeleme yönüne bağlı olarak değişmemektedir. Ancak gerçekte bu şartlar sağlanamamakta ve r değeri hem 1 den farklı değerler almakta (normal veya düşey anizotropi), hemde bu değerler haddeleme doğrultusuna bağlı olarak değişmektedir (düzlemsel anizotropi). Düşey anizotropinin ölçüsü olarak aşağıdaki gibi tanımlanan r değerinden yararlanılmaktadır.

Buna göre üç doğrultudaki r değerinin bir ağırlıklı ortalaması olarak görülebilecek bu değer bir den büyük olması durumunda kalınlık doğrultusunda malzemenin incelmeye (boyun verme) karşı direncinin büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bu aynı zamanda malzemeye ait şekillendirme kabiliyetinin iyi olduğunun bir işaretidir. Benzer şekilde düzlemsel anizotropi değerinin Δr değerinden yararlanılmaktadır.



Şekil 3.5.2.1 Çeşitli numunelerin hadde yönüne bağlı olarak yapılan çekme test sonuçları

Tablo 3.5.2.1 Çeşitli malzemelerin hadde yönüne bağlı fiziksel özellikleri

Test n	Hadde yönü	t mm	Re N/mm ²	Re N/mm ²	Rp0,2 N/mm ²	R N/mm ²	A50 _m %	A80 _m %	r e 13%)	n interval e 10-13%
C58373	0°	1,62			352	656	29	24	1,00	0,18
C58373	45°	1,61			362	673	26	22	0,80	0,18
C58373	90°	1,61			365	669	28	23	1,30	0,16

3.6. Analiz Programında Malzeme Tanımlaması

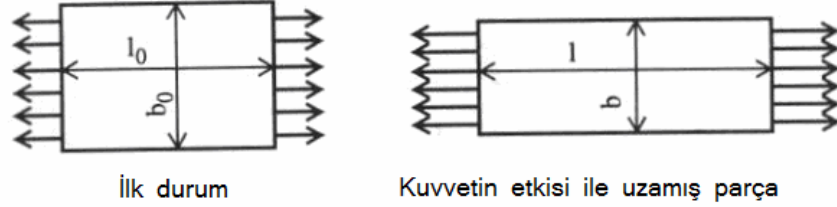
Bu bölümde Young Modülü(E), Poisson Oranı(V), Akış Eğrisi(r)değeri, çift eksenli basınç faktörü (α), maksimum basınç eğrisi ve uzama limitleri diyagramı (Forming Limit Diagram = FLD) incelenecektir.

3.6.1. Elastik Malzeme Davranışı (Elastic Material Behavior)

Elastik bölge içerisinde malzeme davranışı Young Modülü(E) ve Poisson oranı ile karakterize edilebilir.

Young modülü (E) tek eksendeki basınç ve gerilme arasındaki ilişkiyi vermektedir.

Poisson oranı (ν) uygulanan yöndeki gerilme ile enine gerilme arasındaki ilişkiyi vermektedir. Şekil 3.6.1.1 bunu göstermektedir.



Şekil 3.6.1.1 Poisson oranının(v) şematik gösterimi

Poisson oranı şu şekilde tanımlanır.

$$\nu = \frac{b - b_0}{l - l_0}$$

E ve ν için tipik değerler, aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.6.1.1 Çelik ve alüminyum malzeme için E ve ν değerleri

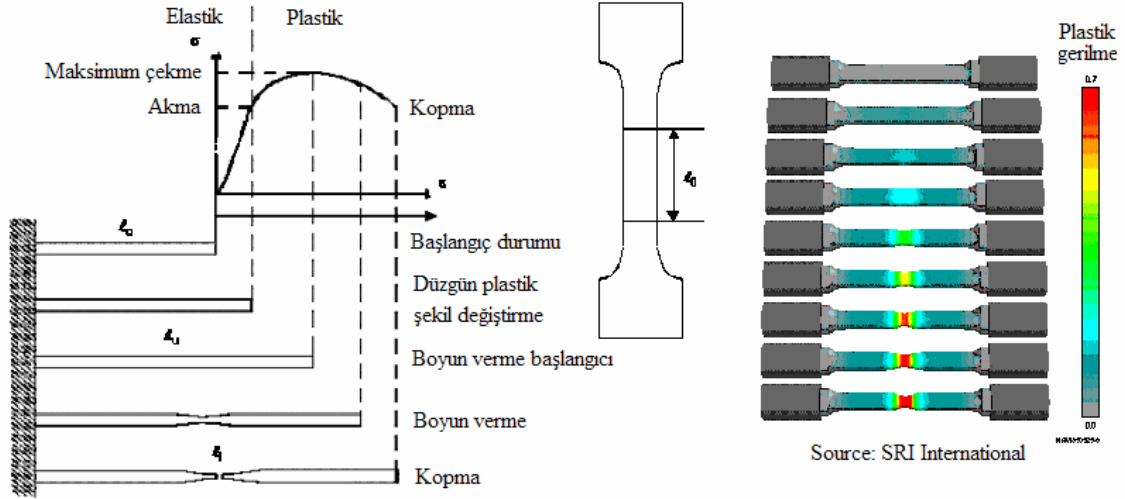
Material	Young's modulus E [N/mm ²]	Poisson's ratio ν [-]
Steel	205'000	0.3
Aluminum	73'000	0.33

3.6.2. Akış Eğrisi (The Flow Curve)

Form prosesi aşamasında sac malzemenin plastik şekil değiştirme kabiliyeti, sacın elastik karakteristiğinden daha önemlidir.

Akış eğrisi malzemenin tek eksenli gerilme testindeki gerilme basınç davranışını vermektedir. Şekil 3.6.2.1, yumuşak malzemeler için tipik akış eğrisini göstermektedir. Buradaki akış eğrisi sacın çapraz kesit alanına bağlı olarak toplam gerilimi boştaki genişliğindeki deformasyona bağlı olarak göstermektedir.

Akış eğrisi deformasyon oranına bağlıdır. Yavaş deformasyon proseslerinde hızlı deformasyon proseslerine oranla daha küçük gerginlikler gözlenir. Oranın etkisi over-stress eğrisi tarafından sağlanır. (Anonim 2002)



Source: OHIO State University

Şekil 3.6.2.1 Çekme testi ile gerilim-gerinim eğrisinin elde edilmesi

Malzemenin akış eğrisi şekil 3.6.2.1'de görüldüğü gibi çekme deneyinden tanımlanabilmektedir. Şu şekilde hesaplanabilir:

F kuvvet , L çene ara mesafesindeki değişim, A kesit alanı olarak deney safhasında hesaplanır. Deneye parça kopana kadar devam edilir.

Logaritmik genlik ϵ_{pl} deneyin herhangi bir aşamasında çene ara mesafesi ve toplam elastik gerginlik ϵ_{el} ile şu şekilde hesaplanır:

$$\epsilon_{pl} = \ln (l/l_0) - \epsilon_{el}$$

Elastik gerginlik ϵ_{el} plastik deformasyonun başlangıcında ölçülen toplam gerginliktir. Birçok deforme edilebilir malzeme için 0,002'dir. Gerçek elastik gerginlik plastik deformasyon sırasında artışlar gösterebilir bu değerdeki artış ihmal edilebilir ve

$$\epsilon_{el} = \epsilon_{el}(0) \quad \text{eşitliği yazılabilir.}$$

Gerçek mukavemet(gerginlik) σ , uygulanan yöndeki kuvvet F ve elastik deformasyon ihmal edilerek;

$$\sigma = F/A = F/A_0 \cdot e^{-\epsilon_{pl}} \quad \text{olarak hesaplanır}$$

σ : Gerçek mukavemet

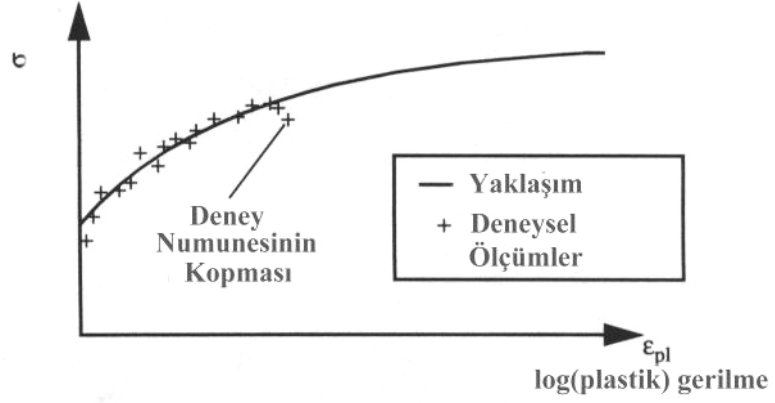
A: Belirlenen zamandaki kesit alan

A_0 :Başlangıçtaki kesit alan

Kullanılan simülasyon programında sacın ilerleme yönünün (rolling direction) belirlenebilmesi için akış eğrisine ihtiyaç duyulur. Yön , akış eğrisinden ve r değeriyle tanımlanan deformasyon davranışından bağımsızdır.

Akış Eğrisine Yaklaşım Metodları

Malzeme davranışına bağlı olarak numune, plastik gerginlik ϵ_{pl} de 0.15 veya 0.35 oranlarında kopar. Çift eksenli gerilmelerde , kopma mukavemetindeki artışa denk gelebilen değere sacın deformasyonu esnasında rastlanabilir. Bu yüzden akış eğrisinin ekstrapolas- yonuna deneysel olarak tanımlanan en yüksek mukavemet değerine(şekil 3.6.2.2'nin gösterdiği gibi ϵ_{pl} nin 1.0 olduğu) ihtiyacı vardır.



Şekil 3.6.2.2 Akış eğrisine yaklaşım.

Akış eğrisine yaklaşımın standart metodlarından birkaçı şu şekilde tanımlanır. Buradaki σ gerçek gerilmeyi, ϵ_{pl} logaritmik plastik genliği, A,B,C, parametreleri ve n ise deneysel datalardan çıkarılan yaklaşım eğrisine uygun katsayıdır.

- **Ludwik:**

$$\sigma = A * (\epsilon_{pl})^n$$

Ludwik eşitliği akış eğrisine en basit yaklaşımdır. Bu nedenle yaklaşım çok gerçekçi değildir. Buradaki n değeri malzeme özelliğine bağlı bir değerdir. Ve bu denklemden çıkarılabilir.

- **Swift(Krupkowski):**

$$\sigma = A * (B + \epsilon_{pl})^n$$

- **Chosh:**

Chosh denklemi çeliklerde kullanım için tavsiye edilmektedir.

$$\sigma = A * (B + \epsilon_{pl})^n - C$$

- **Voce:**

$$\sigma = B - (B - A) * e^{-m \epsilon_{pl}}$$

- **Hocket-Sherby:**

$$\sigma = B - (B - A) * e^{-m(\epsilon_{pl})^n}$$

Hocket-Sherby denklemi alüminyumlar için tavsiye edilmektedir.

Yukarıdaki denklemlerde:

A:Başlangıç akış gerilimini gösterir.

B:Maksimum akış gerilimini göstermektedir.

Ludwik,Swift ve Chosh denklemleri maksimum akış gerginliğini göstermez Bu yüzden de çelikler için daha uygundur.

Voce ve Hocket-Sherby yaklaşımları alüminyumlar için daha uygundur. Deneysel yaklaşımlar için parametreler , gerginlik ve basınç değerleri, gerekli logaritmik gerginlik değeri 1'e kadar olan denklemlerden hesaplanabilirler. 0'dan 1'e kadar olan logaritmik gerginlik değerleri oranı gerçek basıncı tanımlamak için denklemleri kullanabilir. Bu değerde, uygun olan deneysel ölçümlerin gerginlik oranını kapsamaktadır. Bu ise deneysel hataların(ölçüm datalarından oluşan) ortadan kaldırmasına yardım eder.

Geçmişte gerçek basınç ve gerçek gerginlik değeri, logaritmik plastik değerinin 1 olduğu durumda hesaplamayı gerektirmekteydi. Eğer simülasyon döneminde yüksek eşdeğer genliğe rastlanırsa , simülasyon programı lineer şekilde ekstrapole edecektir. Ve de gerçek basınç değeri ϵ_{pl} 'nin 1 olduğu durum değerlendirilecektir. Bu eğrinin eğimi (bu geçen iki gerginlik değeri için) lineer olarak ekstrapole edilir. Bu eğri üzerinden 10 veya 20 nokta işlem için yeterlidir. Seçilen bu noktalar eğrinin başlangıcından ($\epsilon_{pl} = C$) sonuna kadar ($\epsilon_{pl} = 1$) olan arada seçilmelidir. Akış eğrisi malzemenin form alabilirliği hakkında oldukça iyi fikirler verir. Bu eğrinin altında olması malzemenin form alabilirliğini gösterir.

3.6.3. “r” Değeri (r-values)

r değeri akma yüzeyinin formunu oluşturmak için kullanılır(Akma yüzeyi ve çift eksenli basınç faktörü). Bu değer çekme deneyinden deney numunesinin boyu ölçülerek hesaplanabilir.($\epsilon_1=1$ burada ϵ_{pl} ye eşit alınabilir).Çekme yönünde (uzunluğa dikeylik= ϵ_2) ve kalınlık yönünde(ϵ_3). Logaritmik gerginlik değeri r faktörünün kullanılması ile bulunur.

$$\epsilon_1 = \ln(l/l_0) \quad \epsilon_2 = \ln(w/w_0) \quad \epsilon_3 = \ln(s/s_0)$$

Yukarıdaki denklemlerde;

L :uzunluğu

w :genişliği

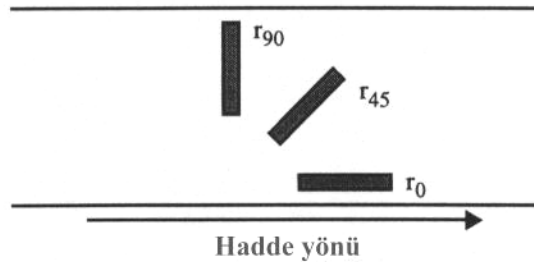
s :deney numunesinin sac kalınlığını göstermektedir.

r değeri şu denklemlerden bulunabilir.

$$r = \epsilon_2 / \epsilon_3 = \epsilon_2 / (\epsilon_1 + \epsilon_2)$$

Kullanılan simülasyon programında r değeri sabit alınmaktadır. Bundan dolayı r değeri çekme deneyindeki gerginliğin fonksiyonu olarak değişebilir.

Değişik r değerleri sac numune parçanın farklı yönlerde gerilmesi ile değişebilir. Bu nedenle çekme deneyi 0° , 45° , 90° (hadde yönü) doğrultularında yapılmalıdır ve farklı r değerleri değerlendirilmelidir. Değişik malzeme tipleri bu r değerlerine bağlı olarak tanımlanabilir.



Şekil 3.6.3.1 Hadde yönü

Isotropik	$r_0 = r_{45} = r_{90} = 1$
Normal anisotropik	$r_0 = r_{45} = r_{90} < 1$
Planer anisotropik	$r_0 < r_{45} < r_{90}$

Eğer bütün r değerleri birbirinden farklı ise yuvarlak konturlu bir sac, çekme işleminden sonra yuvarlak kalmayacaktır. Bu değerlerin birbirlerinden farkları büyükse çekme işlemi esnasında sacı kontrol etmek zorlaşacaktır ve kırılma eğilimi artacaktır. Bazen r_{90} en yüksek değere sahip olukun r_{45} minimum değerde olabilmektedir.

Ortalama r değeri;

$$r_m = (r_0 + 2r_{45} + r_{90}) / 4$$

Bu r_m değeri sacın form alabilirliği konusunda oldukça ipucu vermektedir. Bu değer ne kadar büyükse sacın o kadar form alabileceğini göstermektedir.

Tipik r değerleri şöyledir.

Tablo 3.6.3.1 Çeşitli malzemeler için r değerleri

Material	r_m
Deep draw quality steel	~ 2
High strength steel	~ 1
Aluminum	~ 0.5

Özet olarak form vermek için uygun bir sac şöyle tanımlanabilir.

- ortalama r_m değeri büyük ve
- r_0 , r_{45} ve r_{90} arasında küçük farklar olarak gösterilebilir.

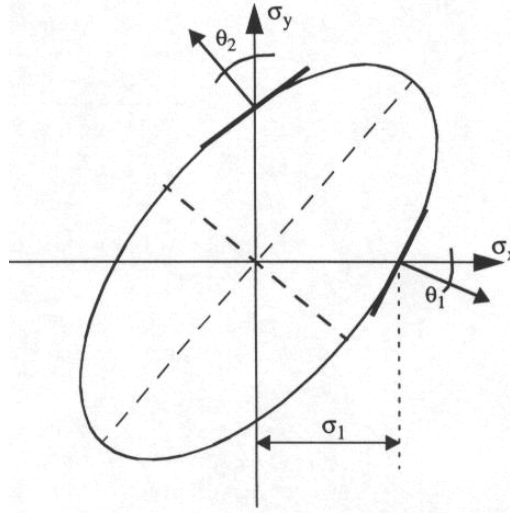
Dikkat: Eğer kullanılacak malzemenin hadde yönü bilinmiyorsa r_0 , r_{45} , r_{90} değerleri malzeme hakkında hiçbir bilgi vermez. Bu durumda ortalama r_m değeri kullanılmalıdır.

3.6.4. Akma Yüzeyi ve Çift Eksenli Gerilim Faktörü (Yield Surface and Biaxial Stress Factor)

Basınç bileşenleri içinde akma yüzeyi malzeme akışı durumunu tanımlar. Kullanılan simülasyon programı için değişik akma yüzeyleri kullanılabilir. En çok tercih edilen yöntem r_0 , r_{45} , r_{90} değerlerinden yararlanılarak seçilir. Ayrıca çift eksenli basınç faktörünü de kullanmaktadır. En sık kullanılan yöntem Hill yöntemidir.

- **Hill 48 Modeli**

Bu model gerilim uzayından formüle edilir. Akış yüzeyi quadratik (gerilim uzayında eliptik fonksiyon) alınır ve r_0 , r_{45} , r_{90} değerleri ve malzemenin akış gerilimi kullanılarak tanımlanır.



Şekil 3.6.4.1 Hill 48 modelindeki akma mukavemetleri (hadde ve hadde yönüne dik doğrultudaki)

Hill 48 modelindeki akış yüzeyi (hadde yönündeki ve hadde yönüne dik yöndeki gerilim) θ_1 ve θ_2 açıları r_0 ve r_{90} kullanılarak şu şekilde hesaplanabilir.

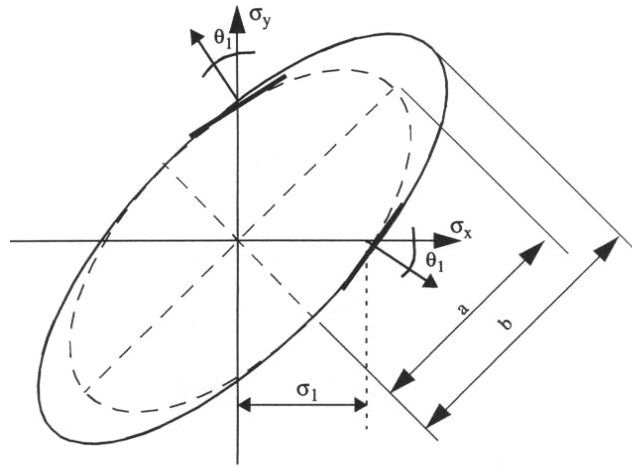
$$\tan(\theta_1) = r_0 / (1+r_0) \quad \text{ve}$$

$$\tan(\theta_2) = r_{90} / (1+r_{90})$$

Hill metodunun her üç r değeri içinde avantajları vardır ve bundan dolayı malzemelerin planar anisotropik olanları bu hesaplan çıkarılırlar. Burada sadece üç r değeri r_0 , r_{45} , r_{90} (fakat çift eksenli gerilim faktörü yoktur) girdi datası olabilir. Kullanılan programın Hill modeli gibi gerilim uzayında olmayan basit bir metod kullanmaktadır. Eğer r değeri belirtilmediyse program tarafından isotropik kabul edilmektedir.

- **Hill 79 Modeli**

Hill 79 modeli, non quadratik fonksiyonu esas alan bir akma yüzeyi oluşturur. Fakat burada her üç r değeride eşit olarak kabul edilir ($r_0, r_{45}=r_{90}$). Bu göstermektedir ki akma yüzeyi eksen boyunca uzanan bir elipsten meydana gelir.



Şekil 3.6.4.2 Hill 79 modelindeki akış yüzeyi ve biaxial mukavemet faktörü

Bu modelin avantajı, çift eksenli gerilim altında malzeme akış şartlarını kullanmasıdır. Ayrıca bu modelde sadece ortalama r değeri (r_m) kullanılır.

Benzer bir model germe alanında formüle edilen simülasyon programı için uygulanabilir. Bu model çift eksenli gerilim α boyunca üç ayrı r değeri girdisi olduğunda seçilir. Bu çift eksenli gerilim faktörü direkt olarak gerilim alanındaki elips alanının uzamasını kontrol eder $\alpha = b/a$ Çift eksenli gerilim faktörünün özellikleri sac basımında kullanılan birçok malzeme için gerekli değildir. Bazı alüminyum alaşımlarında çift eksenli gerilim faktörü büyüklüğünün $\alpha = 1,1$ (α yaklaşık 1,1) özellikleri simülasyon sonuçlarını geliştirir. Gerilim faktörünün anlamlı değerleri 0,8 ile 1,2 ranjı arasındadır.

- **Hill 48 ve Hill 79 Modellerinin Birleşimi**

Hill 90 modeli Hill 48 ve Hill 79 modellerinin birleşimidir. Bu model farklı r değeri r_0, r_{45}, r_{90} özelliklerinin çift eksenli gerilim sisteminde ,yüzey elipsinde uzamasına izin verir. Benzer bir model germe yüzeyinde formüle edilerek simülasyon programında kullanılabilir. Bu model üç farklı r değerinin çift eksenli gerilim faktörü girdisi olarak kullanıldığında uygulanabilir.

- **Katılaştırma Modeli**

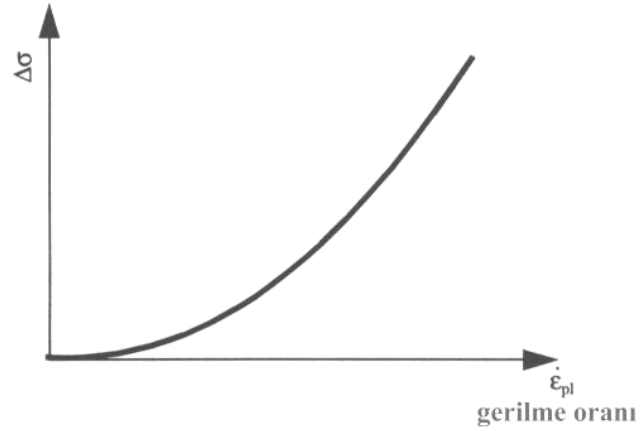
Simülasyon programı, birleşimdeki anisotropik akma yüzeyini isotropik katılaştırma eğrisi ile kullanır. Örneğin plastik deformasyonunda akma yüzeyi katılaştırma eğrisi üstündeki plastik gerilme oranına dönüştürülür.

3.6.5. Yüksek Gerilim Eğrisi (The Overstress Curve)

Bazı malzemeler için eğri akışı, deformasyon oranına bağlıdır. Deformasyondaki oran ne kadar yüksekse gerilim akış değeri de o kadar yüksek olur. Simülasyon programı hesaplamalarda ,germe oranı eşitliği $\Delta\sigma$ fonksiyonunda yüksek gerilim eğrisi özelliklerinin kullanılmasını sağlar. (örnek :birim zamandaki eşit plastik gerilimi)

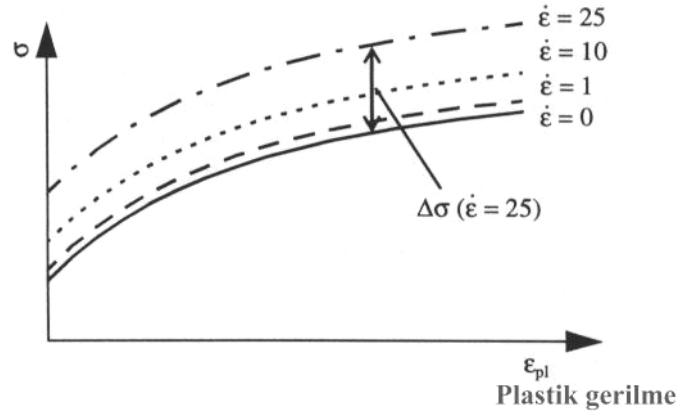
$$\Delta\sigma = f(\dot{\varepsilon}_{pl}) \quad \dot{\varepsilon}_{pl} = d\varepsilon_{pl}/dt$$

Simülasyon programı verilen gerilim oranında yüksek gerilim faktörü girdisinin eklenmesi ile akış gerilimini artırır. Akış eğrileri, farklı gerilim oranlarında deneysel olarak tespit edilmelidir. (Bu gerilim oranlarında, gerilim testlerinin uygulanması ile) Böylelikle $\Delta\sigma$ değeri tespit edilir.



Şekil 3.6.5.1 Gerilim oranının(deformasyon oranı) fonksiyonu olarak maksimum mukavemet katsayısı

Eşit plastik gerilim oranı fonksiyonu olarak yüksek gerilim eğrisini göstermektedir. Şekil 3.6.5.1 gerilme oranı fonksiyonu olarak yüksek gerilim katsayısı (deformasyon oranı) ve şekil 3.6.5.2 farklı gerilim oranlarındaki birçok akış eğrisini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 3.6.5.2 Farklı gerilim oranlarındaki akış eğrileri, farklı akış eğrileri gerilimleri arasındaki $\Delta\sigma$ farklılıkları, yüksek gerilim eğrisi veya yüksek gerilim fonksiyonu olarak gösterilebilir.

3.6.6. Uzama Limitleri Eğrisi ve Diyagramı (The Forming Limit Curve & Diagram = FLC & FLD)

Deformasyon analizleri malzemelerin uzama sınır eğrileri karşılaştırması esasına dayanır. Sac metallere form verilmesi aşamasında potansiyel başarısızlıkları tespit edebilmek için çok önemlidir.

Şekil verilen sac malzemenin deformasyon durumu major, ana gerilim değeri veya minör ana gerilim değeri ile karakterize edilebilir. Bu sebeple deformasyon durumu plan üzerinde nokta ile temsil edilebilir. Bu noktada x-ekseni minör ana gerilimi, y-ekseni ise major ana gerilimini gösterir. Bir çok deneysel gözlemlerde görülmüştür ki, malzemelerin form alma limitleri plandaki bu eğri ile açıklanabilir. Malzemelerdeki deformasyon durumu bu eğriye ulaşırsa başarısızlığa uğrar ve yırtılır. Bu eğri uzama sınır eğrisi olarak adlandırılır. Bu sebeple malzeme noktasının deformasyonunun hesaplanması bu FLC boyunca uzanıyorsa sacın bu noktada başarısızlığa uğraması beklenir. Daha ileriki bölümlerde major ve minör ana gerilimlerin tespit edilmesi ve malzemelerin uzama limit eğrisinin kurulması anlatılmaktadır. Sacın üstündeki major ve minör ana gerilim noktaları aşağıda açıklandığı gibi tespit edilmiştir:

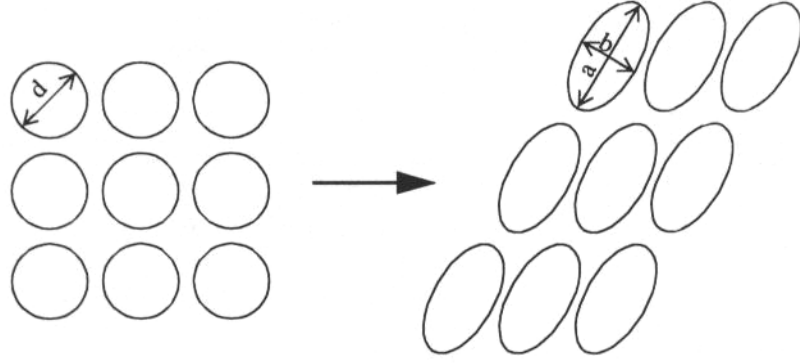
1-Sabit yarıçap(d) lı küçük dairelerin aralıkları deforme edilmemiş sac üstüne işaretlenir.

2-Daha sonra sac deforme edilir. Deformasyon sonucu işaretlenmiş daireler uzayarak elipse dönüşür.

3-Elips üzerindeki major ve minör eksenler ölçülür. Deforme edilmiş sac üzerindeki noktada major ve minör ana gerilmeler bu noktadaki dairenin deformasyonundan hesaplanır.

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{\max} = \ln (a/d) \text{ (major temel gerilme)}$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{\min} = \ln (b/d) \text{ (minör temel gerilme)}$$



Şekil 3.6.6.1 Major temel gerilmenin (ε_{\max}) ve minör temel gerilmenin (ε_{\min}) ölçülmesi

Uzama Limit Eğrisinin Kurulması

Test edilerek belirlenir. Bütün testler kopma (tam deformasyon) sırasında major ve minör ana gerilmeleri belirlemeye olanak sağlar. Bu kopma noktaları bir veya daha fazla olarak uzama limit eğrisi üzerinde görülür. Bütün bu testler sırasında gerilmenin lineer olarak sürdürülmesi önemlidir.

$$\varepsilon_1 = \text{const} \cdot \varepsilon_2$$

✓ Çekme Deneyi

Deney numunesi tek eksenle gerilir. Numune bu doğrultuda uzatılır ve bu doğrultuya dik olan doğrultuda büzülür.

Örnek: ε_1 pozitifken, ε_2 negatiftir.

✓ Burkulma Deneyi

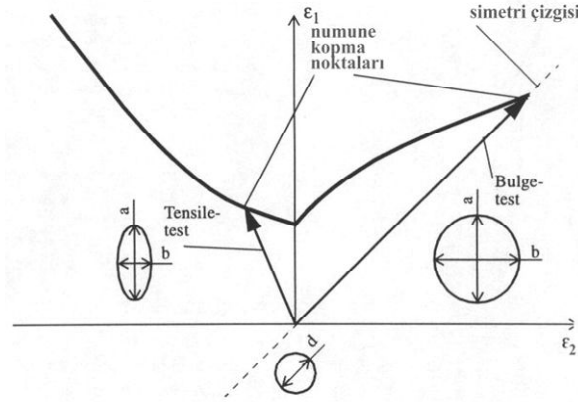
Sac numune bütün yönlerde gerilir. Bu nedenle simetrik olarak genişler. Örneğin ε_1 ve ε_2 her ikisinde pozitiftir. (planer anizotropi bu test için ikincil öneme sahiptir.)

✓ Nakazima Testi

Nakazima testinde değişik genişlikteki şeritler kullanılır. Bu şeritler yarım küre şeklindeki erkek tarafından yırtılma başlangıcına kadar gerilir. Uzama limit eğrisindeki farklı noktalar değişik genişlikteki şeritlerden sağlanabilir.

✓ Uzama Limit Eğrisinin Simetrliliği

Major gerilme değerinin büyüklüğü ϵ_1 tanımlama dolayısıyla 0'dan büyüktür. Bu nedenle FLD üzerindeki noktaların absis (major gerilme ϵ_1), y ekseninin pozitif kısmı ile sınırlandırılırlar. Dahası tanımlamadan gelen major gerilme minör gerilmeden (ϵ_2) daha büyüktür. Sac üzerindeki gerilme durumu pozitif ϵ_2 bağlı olarak şekil 7.15 görüleceği üzere her zaman simetri ekseninin üzerinde bulunur. $\epsilon_1 > \epsilon_2$



Şekil 3.6.6.2 Uzama limit eğrisi

Uzama Limitleri Eğrisini Belirlemedeki Zorluklar

Herhangi bir malzeme için uzama limit eğrisinin şu gerçekler ışığında tam olarak belirlenmesinin imkansız olduğu unutulmamalıdır.

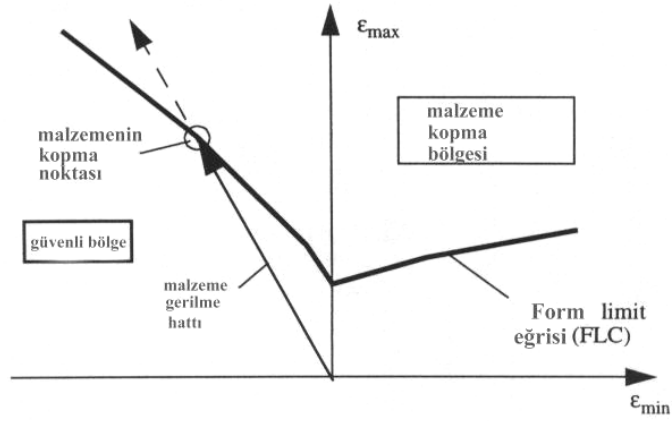
*sürtünme etkisi (örneğin nakazima testindeki)

*major ve minör gerilme gerçek ölçüm değerleri özellikle deney numunesinin kıvrılmış bölgesi içerisinde yer almaktadır.

Bunun yanında uzama limit eğrisi, sac kalınlığına ve ürünler arasındaki farklılıklara bağlıdır.

Uzama limit eğrisinin genel kullanımı

FLD genellikle şekil 7-16 görüleceği üzere malzemedeki bozulmayı belirlemek için kullanılır. Teorik olarak bu sadece lineer deformasyon bölgesi altında giden malzemeler için kullanılır. Bu varsayım nedeni ile uzama limit eğrisi tecrübi tanımlama temellerine göre şekillendirilirler. Pratik olarak halen diğer noktalara göre olan tahminde FLD ye bağlıdır. Sac metallere form verme prosesinde gerilme bölgesi nadiren lineerdir.



Şekil 3.6.6.3 Malzeme kopma tahminleri için FLD 'nin kullanılması

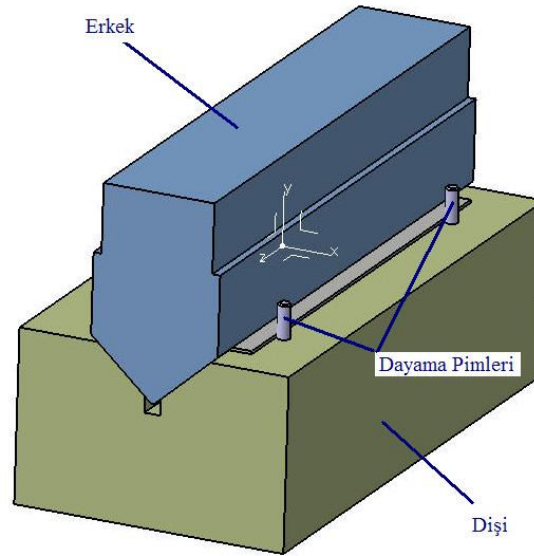
4. DİKDÖRTGEN ŞEKLİNDEKİ LEVHANIN V BÜKME SONRASINDA GERİ YAYLANMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Bükme ile şekillendirme sırasında parçada oluşan geri yaylanma davranışını incelemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deney çalışmaları sırasında her bir durum için üç adet numune deneye tabi tutulmuş ve sonuçlar, bu üç numunenin ortalaması olacak şekilde alınmıştır.

4.1. Deney Çalışmaları

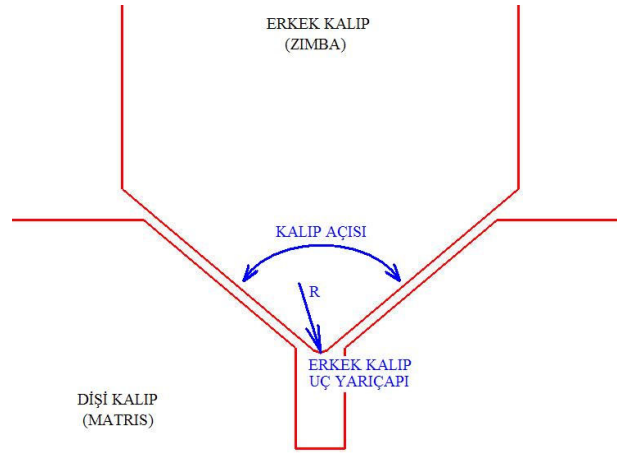
Bükme ile şekil verme işlemi sırasında geri yaylanmayı etkileyen faktörlerden işlem değişkeni olarak kalıp V açısı ve erkek kalıp uç yarıçapı, malzeme değişkeni olarak farklı kalitede saclar ve hadde yönü alınmıştır. Sonuçların sağlıklı yorumlanabilmesi için aynı şartları sağlayan malzeme ve kalıp değişkeni ile üç adet deney yapılmış ve elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.

- Deney Kalıp Değişkenleri

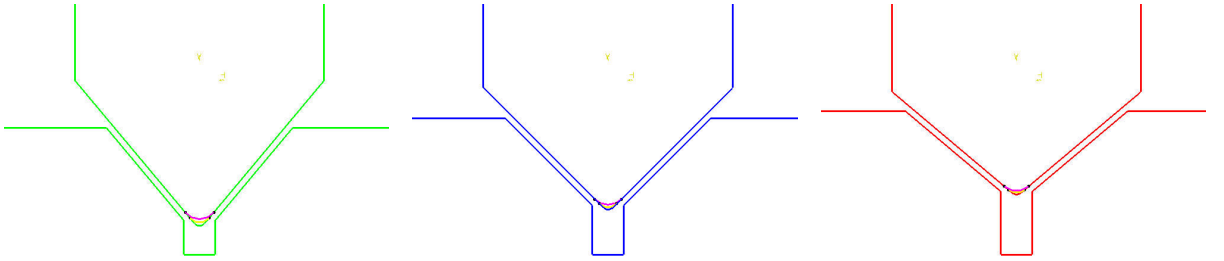


Şekil 4.1.1 Deney kalıbı bölümleri

Deney kalıp elemanları, St37 kütük malzemeden işlenerek oluşturulmuştur. Kalıp açısı 100° , 90° ve 80° olarak üç farklı açıda işlenmiştir. Erkek kalıp uç yarıçapı (bükme yarıçapı) 2mm, 4mm ve 6mm olmak üzere üç farklı değerde incelenmiştir.



Şekil 4.1.2 Kalıp değişkenleri



Şekil 4.1.3 Soldan sağa 80° , 90° ve 100° kalıp açılmasına sahip kalıplar. Herbir kalıpta bükme yarıçapı 2mm, 4mm ve 6mm.

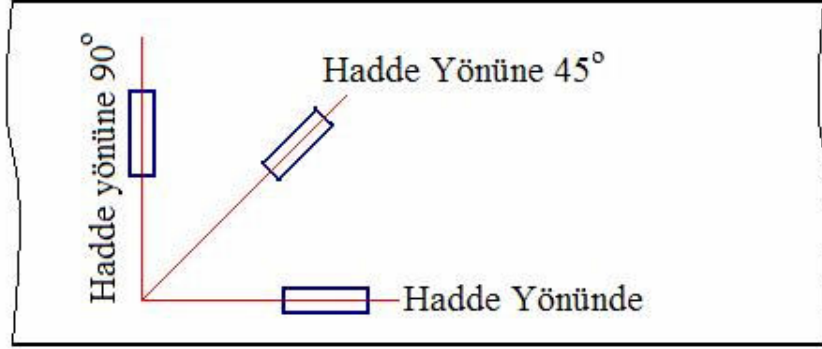
- **Deney Malzeme Değişkenleri**

Deneyleerde 2mm kalınlığında üç farklı sınıf sac kullanılmıştır. Yumuşak sac (mild steel) olan DC04 (FeP04), yüksek mukavemetli sac (konvansiyonel) olan HSLA 350 ve çift fazlı sac (dual phase steel) olan DP600. Deneyleerde 300 x 50 ölçülerinde dikdörtgen levha kullanılmıştır.

Tablo 4.1.1 Deneyleerde kullanılan malzemeler ve çekme testleri ile elde edilen fiziksel özellikleri

Malzeme	Akma(N/mm ²)	Çekme(N/mm ²)	% Uzama	r	n
DP 600	434.6	667.1	18.4	0.99	0.12
HSLA350	380.3	448.7	25	0.98	0.15
FeP04	175	290.3	37.93	1	0.19

Kullanılan her sınıf sac malzeme 0°, 45° ve 90° olmak üzere üç farklı hadde yönünde numuneler alınarak deneylere tabi tutulmuştur.



Şekil 4.1.4 Malzeme değişkeni, hadde yönü

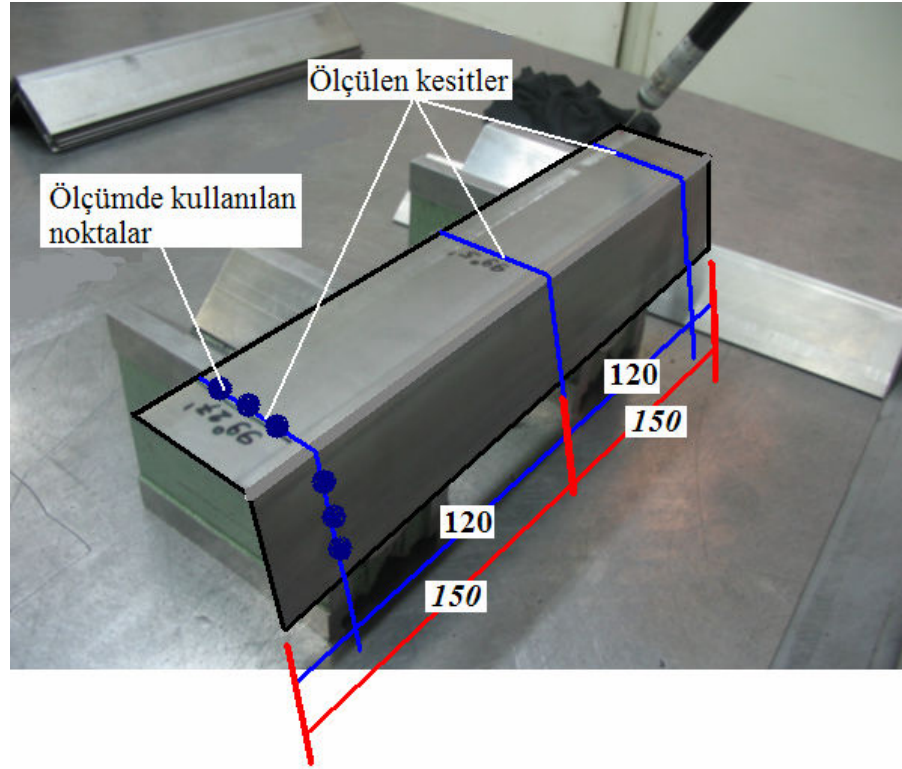
Tablo 4.1.2 Deneylerde kullanılan kalıp ve malzeme değişken tablosu

DP600		HSLA350		FeP04	
Kalıp Açısı		Kalıp Açısı		Kalıp Açısı	
100°	90°	100°	90°	100°	90°
Kalıp Erkek Yarıçapı	Kalıp Erkek Yarıçapı	Kalıp Erkek Yarıçapı	Kalıp Erkek Yarıçapı	Kalıp Erkek Yarıçapı	Kalıp Erkek Yarıçapı
2	2	2	2	2	2
4	4	4	4	4	4
6	6	6	6	6	6
Hadde Yönü	Hadde Yönü	Hadde Yönü	Hadde Yönü	Hadde Yönü	Hadde Yönü
0°	0°	0°	0°	0°	0°
45°	45°	45°	45°	45°	45°
90°	90°	90°	90°	90°	90°
DP600 toplam numune		HSLA350 toplam numune		FeP04 toplam numune	
81		81		81	

Tablo 4.1.2'deki deney matrisinde de belirtildiği gibi, tüm malzeme ve kalıp değişkenleri kullanarak 81 farklı durum için yapılan deneyler üçer defa tekrarlanmış ve $3 \times 81 = 243$ adet deney numunesi elde edilmiştir.

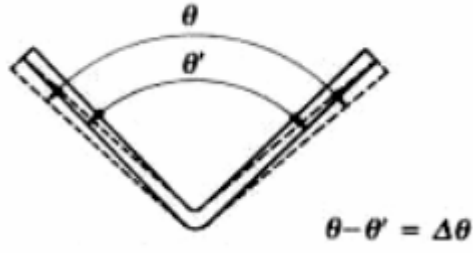
4.2. Ölçüm Çalışmaları

Deneyler sonunda elde edilen 243 adet parça, DEA-BETA 3D üç boyutlu otomatik ölçüm cihazı ve eş çalışan PcDimis yazılımı kullanılarak oluşturulan program ile arka arkaya yapılmıştır.



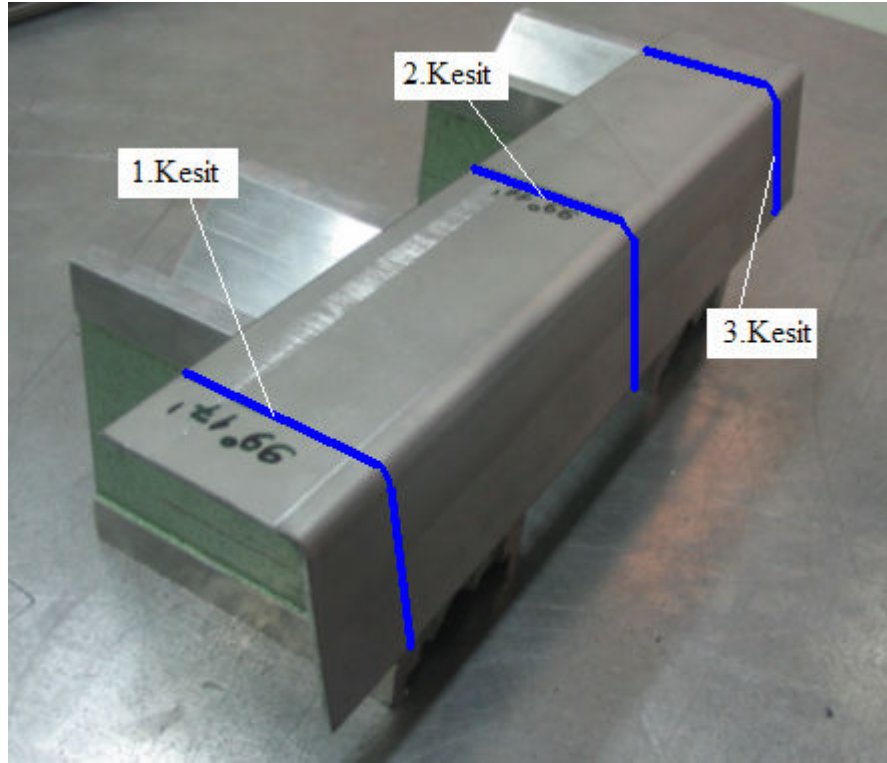
Şekil 4.2.1 Ölçüm yöntemi

Ölçüm, şekil 4.2.1'de gösterildiği gibi, parçanın ortasından ve ortaya 120mm mesafedeki iki kesitten olmak üzere toplam 3 kesitinden yapılmıştır. Her bir kesit için ölçüm cihazının ucu, 3 noktaya dokunarak yazılım vasıtasıyla bir doğru oluşturuldu ve aynı işlem diğer kenar için de tekrarlandı. Daha sonra PcDimis yazılımı yardımıyla oluşturulan iki doğru arasındaki açı ölçüldü ve kalıp açısına olan farkı dosya halinde alındı.



Şekil 4.2.2 Ölçüm ile elde edilen açısal sapma

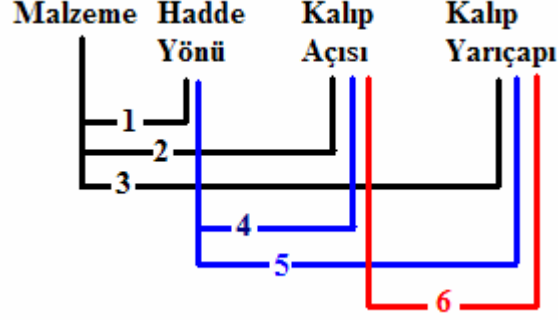
Her parça için üç ayrı $\Delta\theta$ değeri elde edildi ve sonuçlar da “1.kesit” ve “3.kesit” kenarlardan, “2.kesit” ise ortadan alınan açısal sapma değerleri olarak isimlendirildi.



Şekil 4.2.3 Sonuçlarda incelenen kesitler ve isimlendirilmesi

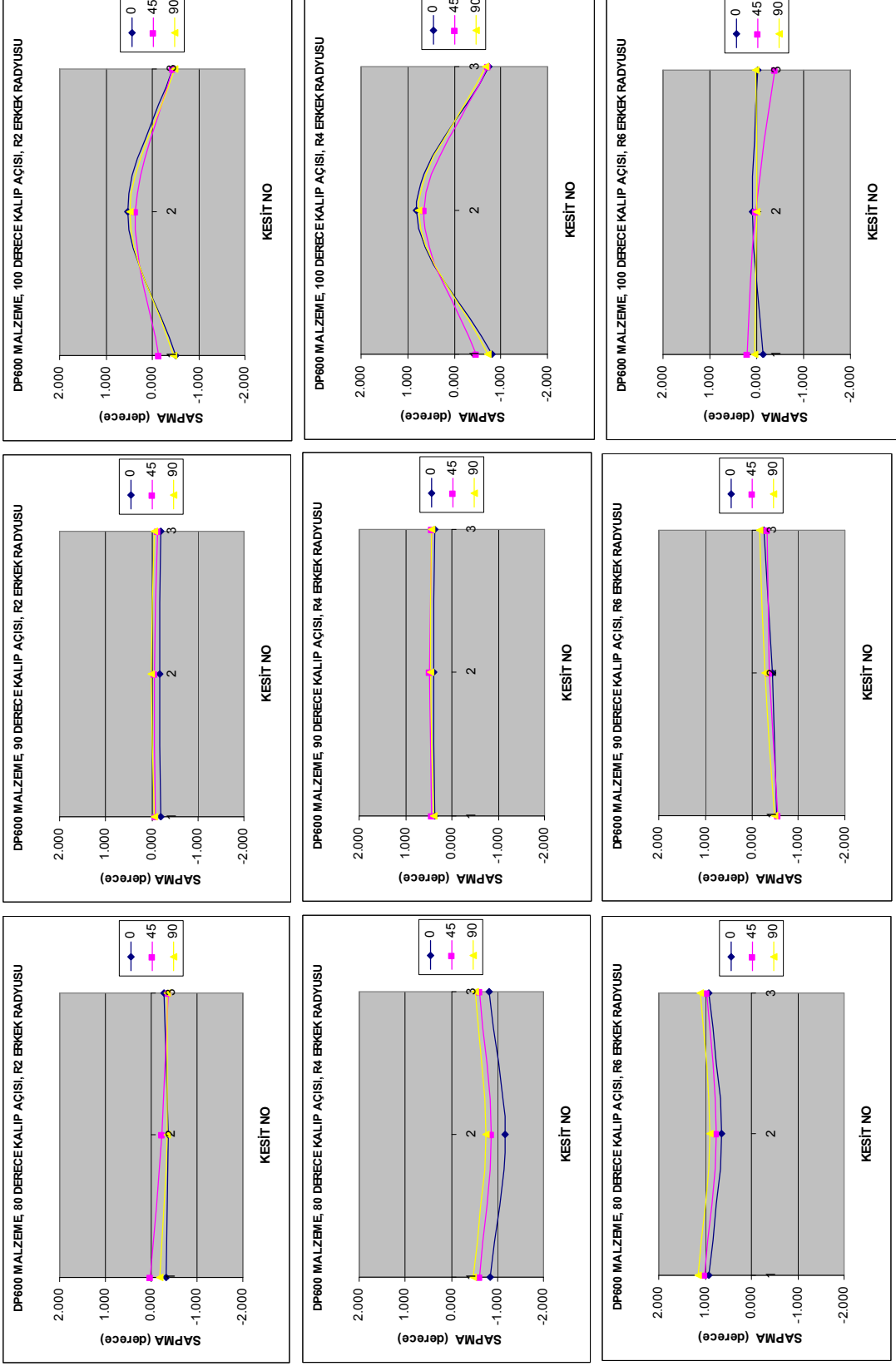
4.3. Sonuçlar

Geri yaylanma ölüm sonuçları, tüm değişkenler için Şu Şekilde değerlendirilmiştir;

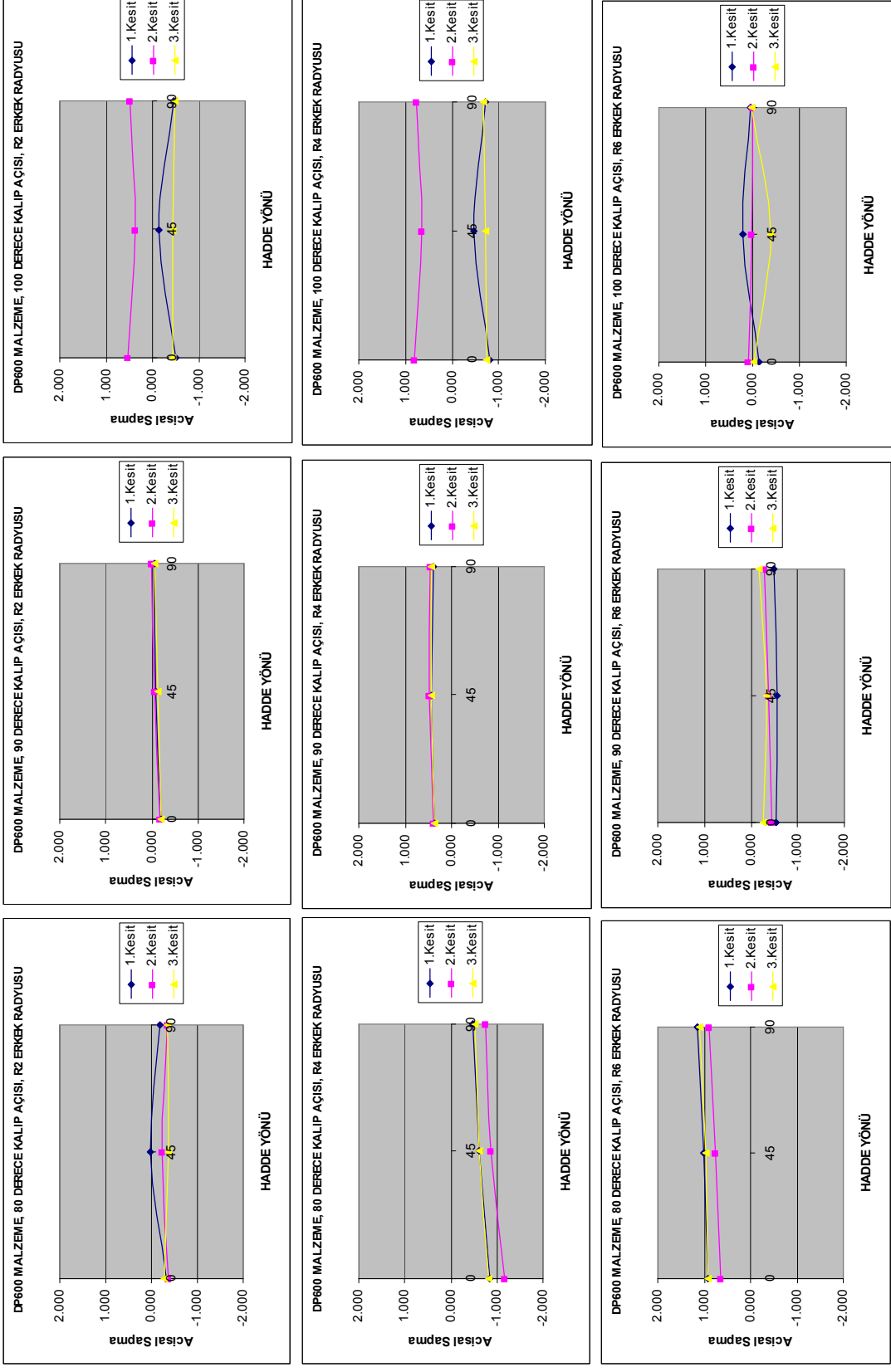


Şekil 4.3.1 Geri yaylanma sonuçlarının bağlı olduğu değişken eşleşmesi

Her bir malzemenin (3 çeşit malzeme kullanılmıştır) hadde yönüne, kalıp açısına ve kalıp yarı çapına (radyusuna) bağlı olarak geri yaylanma değişimi grafikler oluŐturularak incelenmiştir (1-2 ve 3 numaralı bağlantı). Bunun yanında yine malzemelerin her bir kesiti için (lmler 3 farklı kesitten alınmıştır) hadde yönünün kalıp açısına ve kalıp yarıçapına bağlı geri yaylanma değişimi incelenmiştir (4 ve 5 numaralı bağlantı). Son olarak malzemelerin her bir kesiti için kalıp açısının kalıp yarıçapına bağlı geri yaylanma değerleri irdelenmiŐtir (6 numaralı bağlantı). Şekil 4.3.1’de bu durum Őematize edilmiştir.

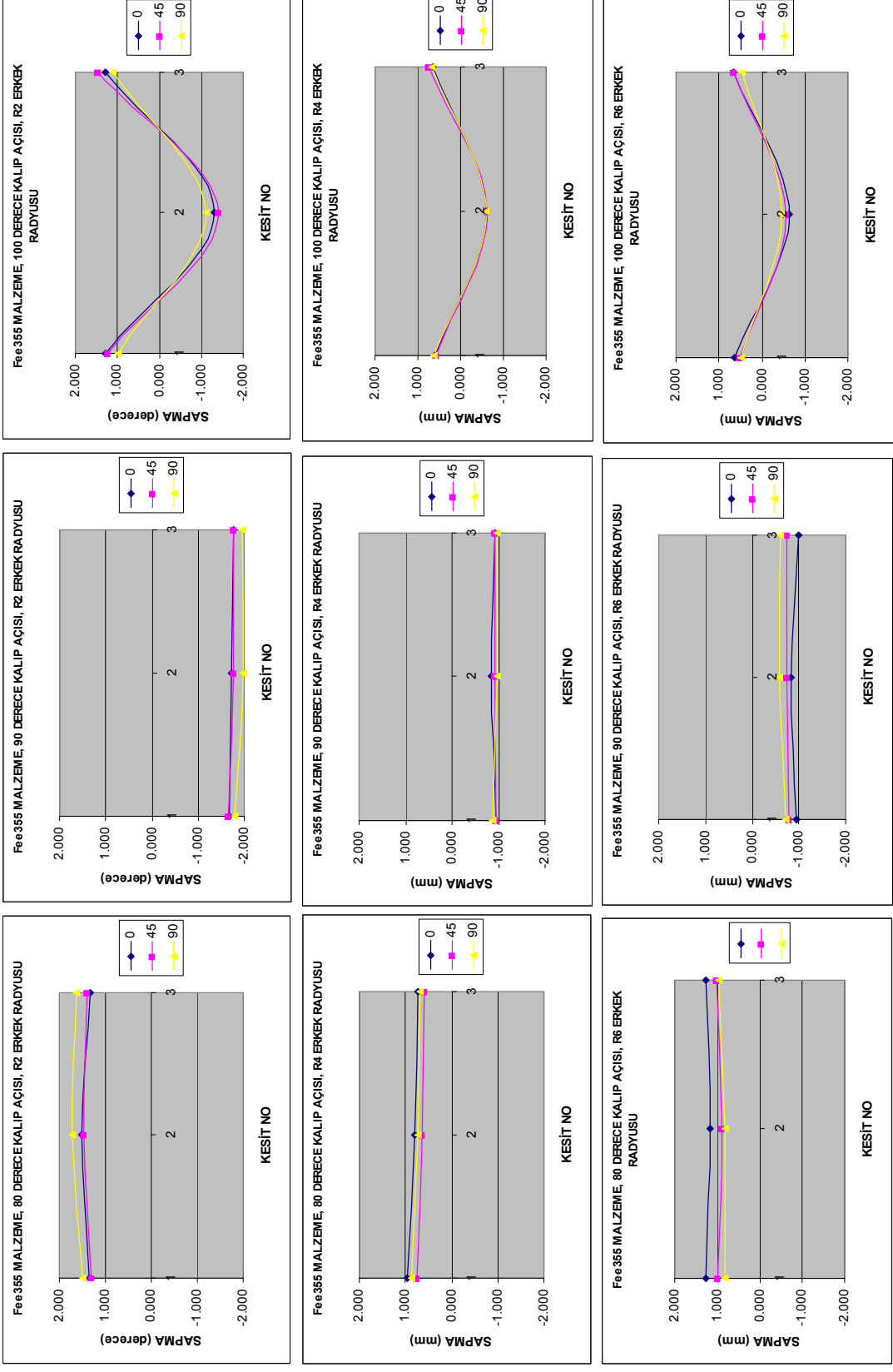


Şekil 4.3.2 DP600 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yaylanma değerleri

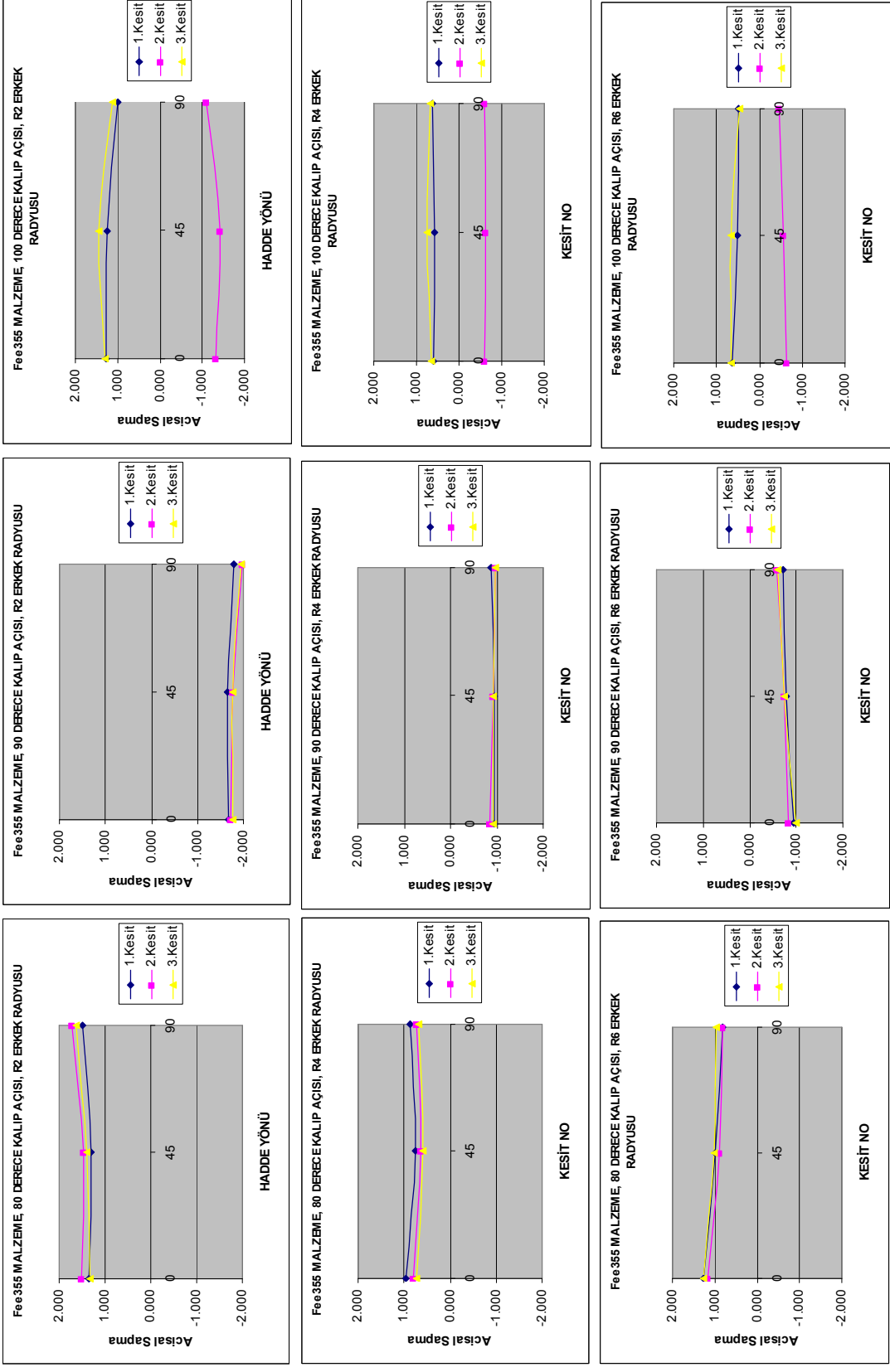


Şekil 4.3.3 DP600 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yaylanma değerleri

DP600 malzemeye ait geri yaylanma değerleri Şekil 4.3.2 ve Şekil 4.3.3'deki grafikler incelendiğinde, 90° kalıp aırlarında hadde yönüne bağlı olarak çok küçük değişme gösterdiği fakat bu değişim 100° ve 80° kalıp aırlarında daha fazla olduğu görüldü. 100° kalıp açısında, 2mm ve 4mm kalıp yarıçapı ile bükülen numunelerde, uç kısımlarda (1. ve 3. kesit) “-“ değerde yani kapanma eğilimi, ortada ise (2. kesit) “+” değerde geri yaylanma eğilimi yani açılma gözlemlenmiştir.

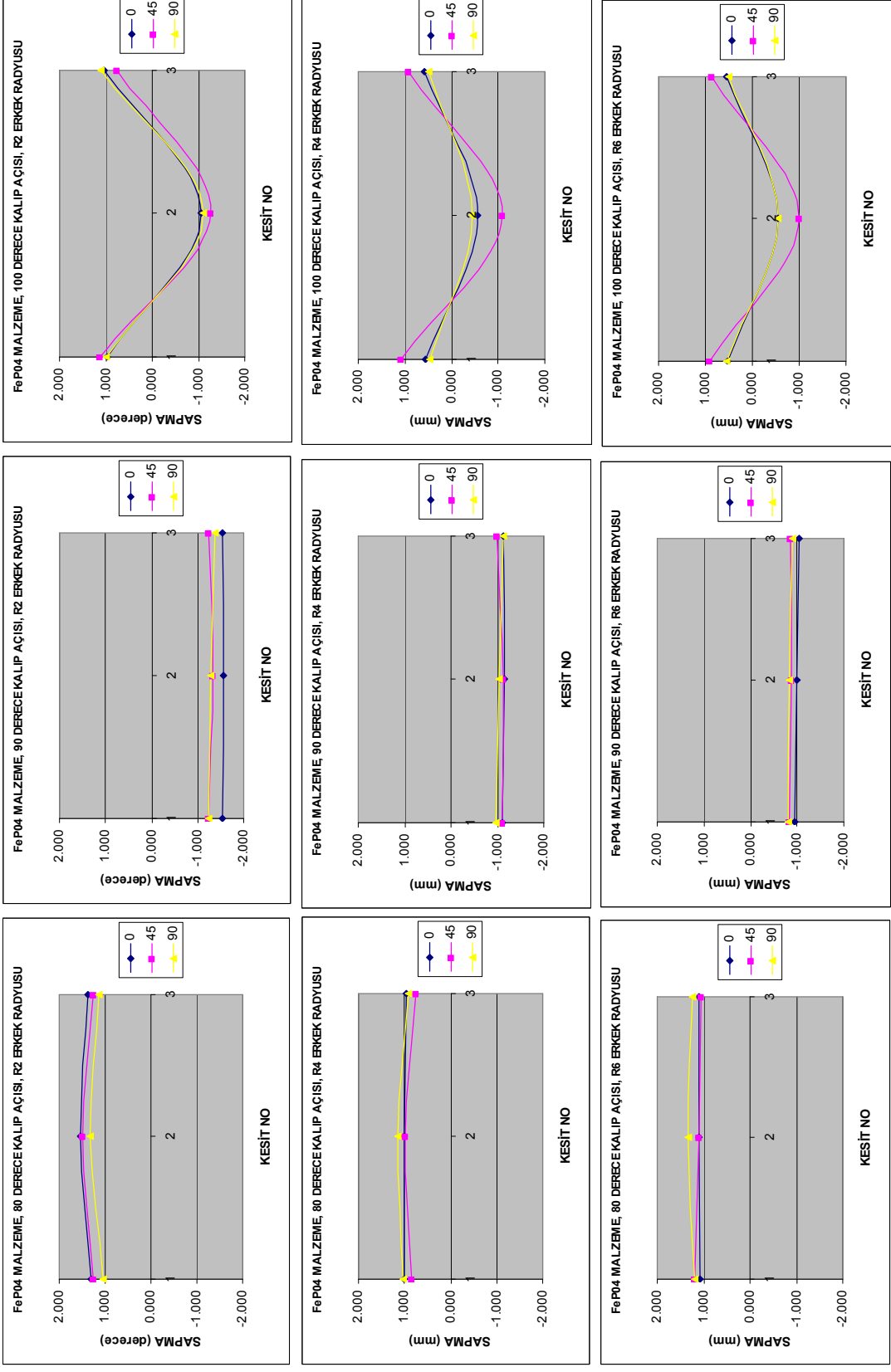


Şekil 4.3.4 Fe355 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yaylanma değerleri

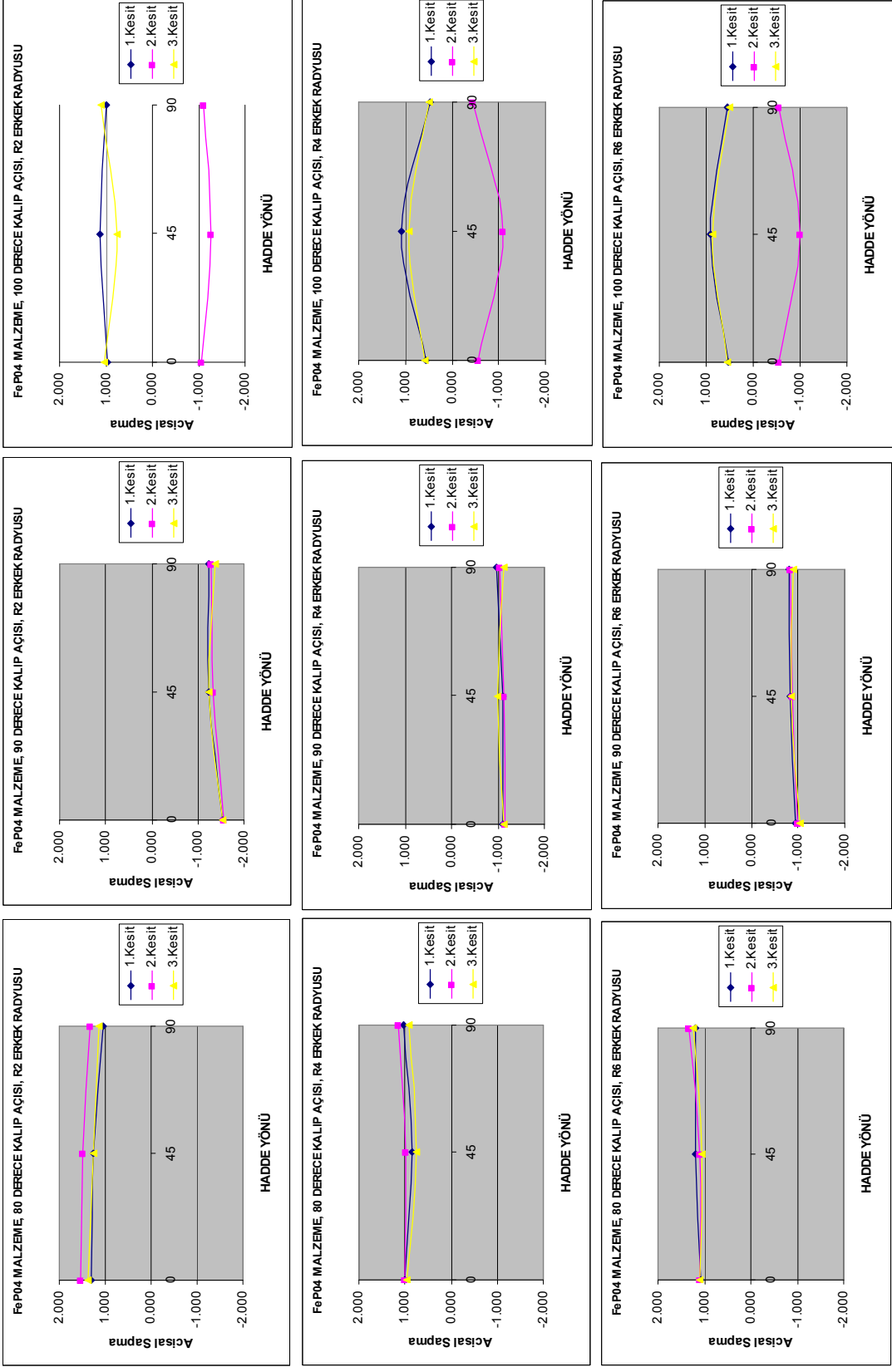


Şekil 4.3.5 Fe355 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yayılma değerleri

Fee350 malzemeye ait geri yaylanma değerleri Şekil 4.3.4 ve Şekil 4.3.5'deki grafikler incelendiğinde, tüm kalıp aı ve yarıçaplarında geri yaylanma değerlerinin hadde yönüne bağlı deęiŐmedięi söylenebilir. 80° kalıp açısında ve tüm kalıp yarıçaplarında geri yaylanma değeri “+” yani açılma eğilimi, 90° kalıp açısında ve tüm kalıp yarıçaplarında geri yaylanma değeri “-” yani kapanma eğilimi gözlenmektedir. 100° kalıp açısında ise 1. ve 3. kesitler (uç kısımlar) “+” yani açılma eğilimi, 2. kesit (orta bölge) ise “-” yani kapanma eğilimi gözlenmiştir.

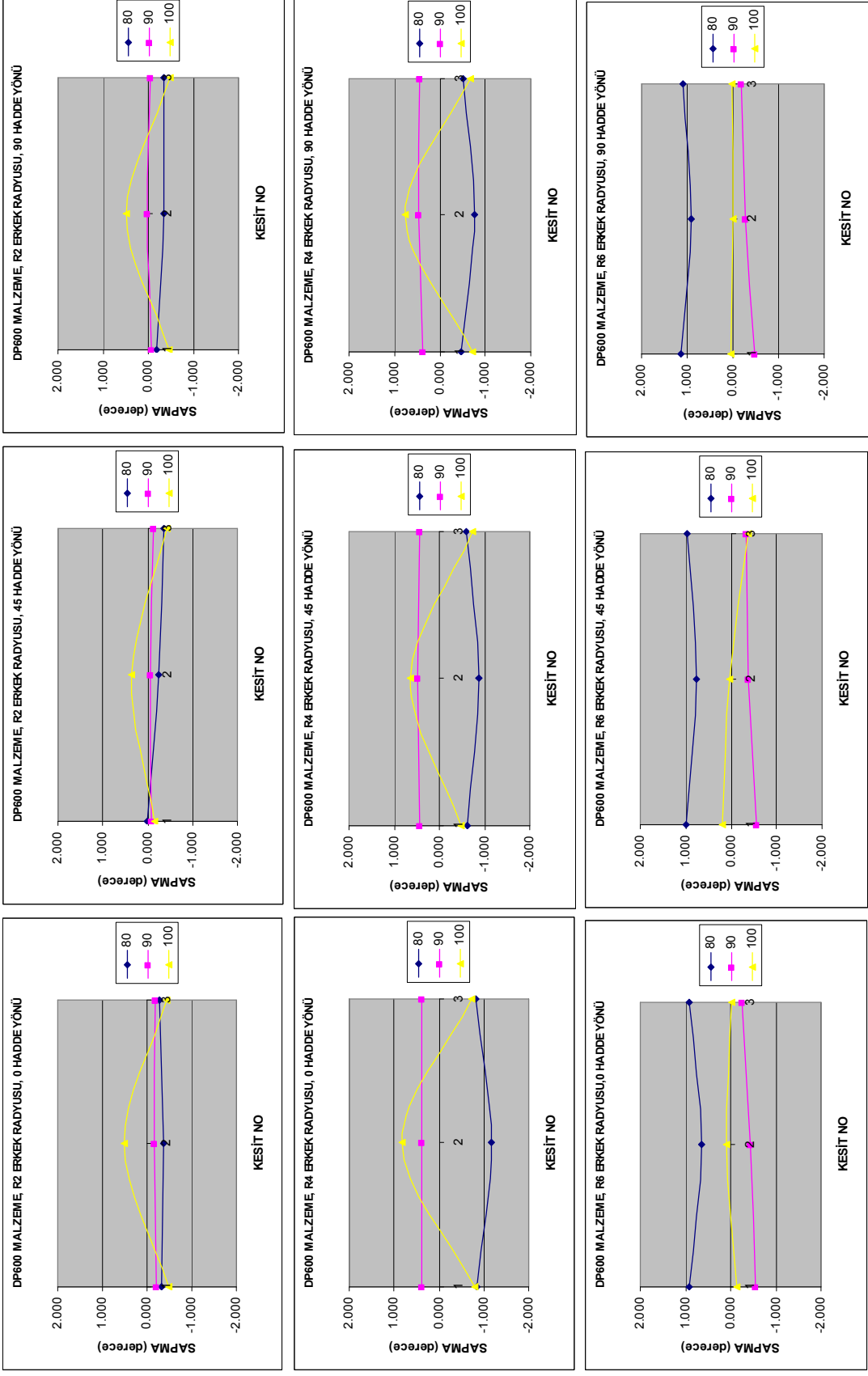


Şekil 4.3.6 FeP04 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yaylanma değerleri

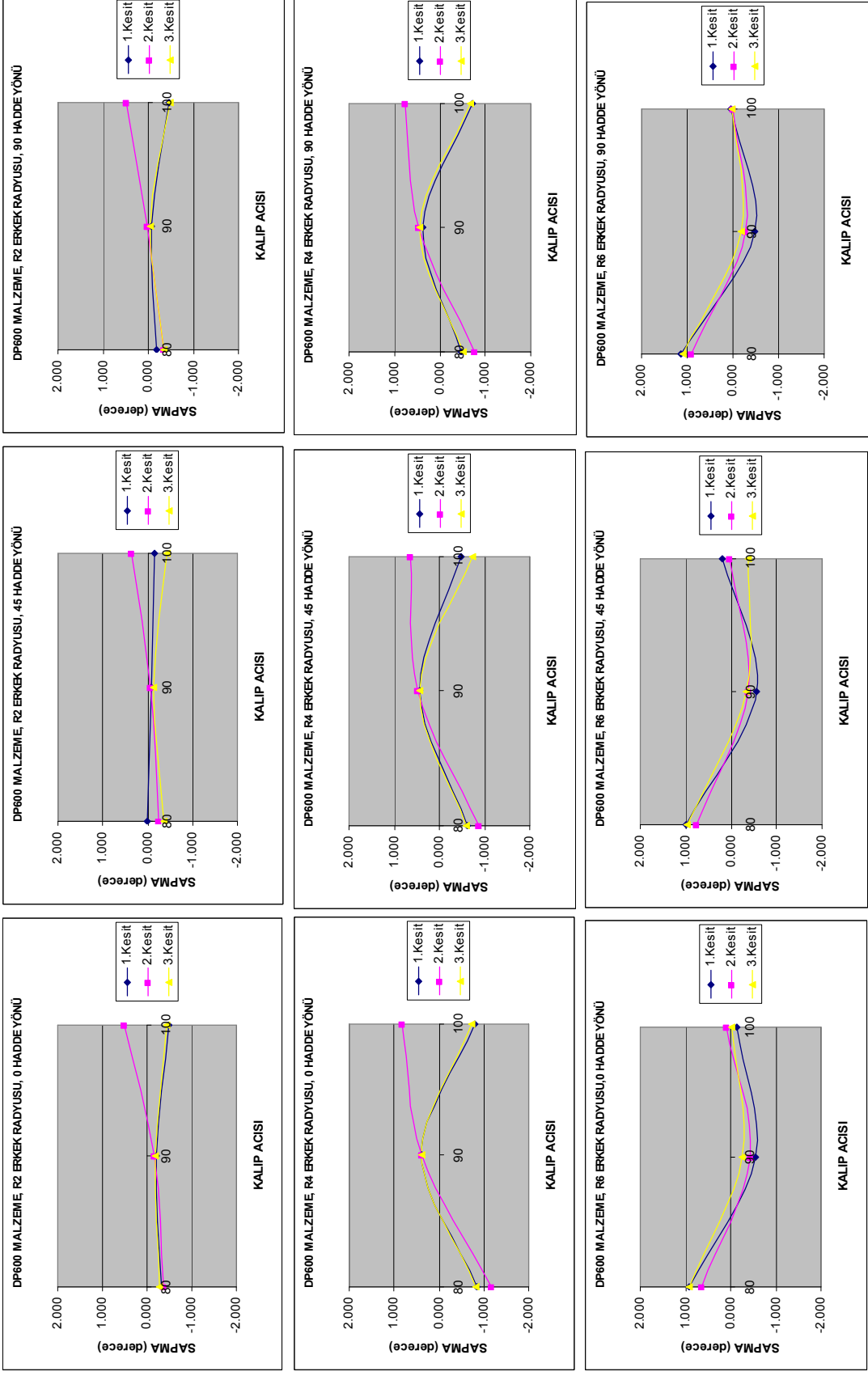


Şekil 4.3.7 FeP04 malzemenin hadde yönüne bağlı geri yayılma değerleri

FeP04 malzemeye ait geri yaylanma değerleri Şekil 4.3.6 ve Şekil 4.3.7'deki grafikler incelendiğinde, genel olarak hadde y6n6n6n geri yaylanmaya etkisinin Fee355 malzemeye g6re daha etkili olduğu g6r6nmektedir. 100° kalıp açısında, 45° hadde y6n6nden alınan numunenin geri yaylanma değeri, 0° ve 90° hadde y6nlerindeki numunenin geri yaylanma değerinden daha b6y6k olduğu g6z6kmektedir. FeP04 malzemenin geri yaylanma y6n6, Fee355 malzemenin geri yaylanma y6n6 ile aynıdır (80° kalıp açısında ve t6m kalıp yarıçaplarında geri yaylanma değeri “+” yani açılma eğilimi, 90° kalıp açısında ve t6m kalıp yarıçaplarında geri yaylanma değeri “-” yani kapanma eğilimi g6zlenmektedir. 100° kalıp açısında ise 1. ve 3. kesitler (uç kısımlar) “+” yani açılma eğilimi, 2. kesit (orta b6lge) ise “-” yani kapanma eğilimi g6zlenmiŐtir.).

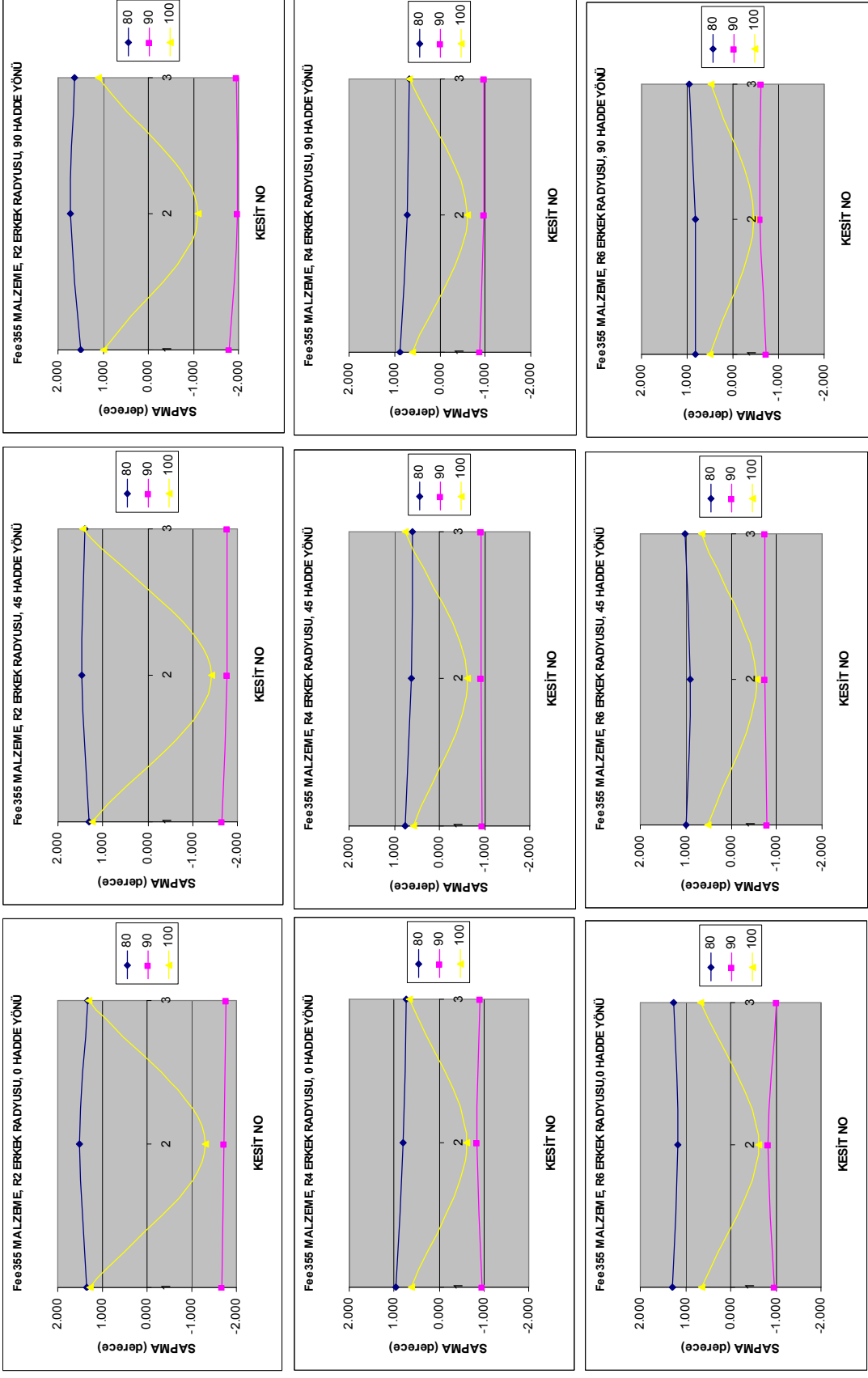


Şekil 4.3.8 DP600 malzemenin kalıp açlarına göre geri yayılma değerleri

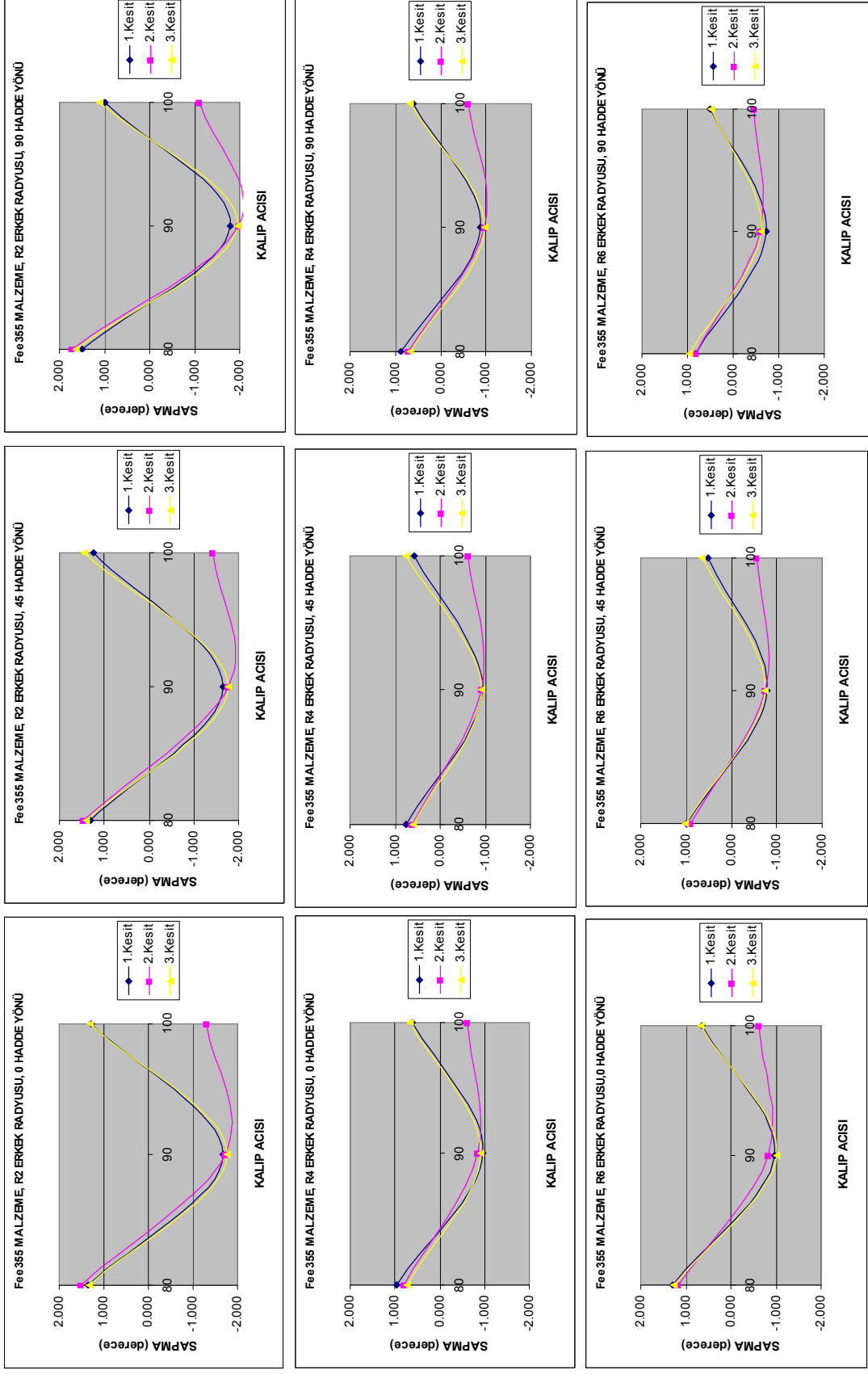


Şekil 4.3.9 DP600 malzemenin kalıp açılımlarına göre geri yayılma değerleri

Şekil 4.3.8 ve Şekil 4.3.9'deki grafikler incelendiğinde, DP600 malzemenin geri yaylanma yön ve değerlerinin kalıp açısı ve yarıçapına bağlı olarak çok fazla değiştiği görülmektedir. 100° kalıp açısında 2mm ve 4mm yarıçap değerleri için geri yaylanma uç kesitlerde “-” yani kapanma eğilimi, orta kesitte ise “+” yani açılma eğilimi şeklinde olduğu görülmektedir. DP600 malzeme, 90° kalıp açısı ve 4mm erkek kalıp yarıçapı ile geri yaylanma değeri “+” yani açılma eğiliminde, 6mm erkek kalıp yarıçapı ile geri yaylanma değeri “-” yani kapanma eğiliminde olduğu görülür. 80° kalıp açısında ise tam tersi durum gözlenir, yani 4mm erkek kalıp yarıçapı ile geri yaylanma değeri “-” yani kapanma eğiliminde, 6mm erkek kalıp yarıçapı ile geri yaylanma değeri “+” yani açılma şeklinde olduğu görülmüştür.

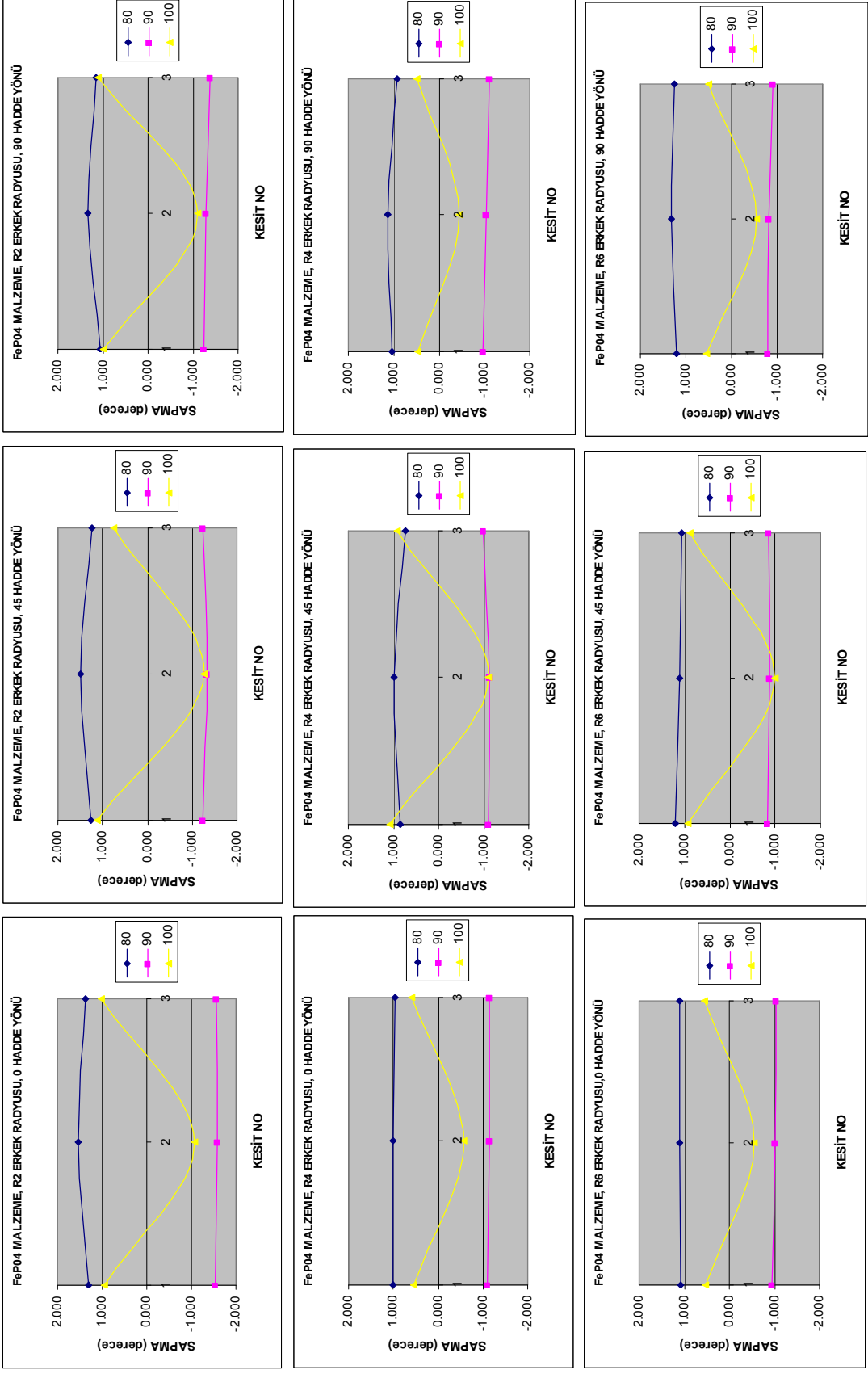


Şekil 4.3.10 Fee355 malzemenin kalıp açlarına göre geri yaylanma değerleri

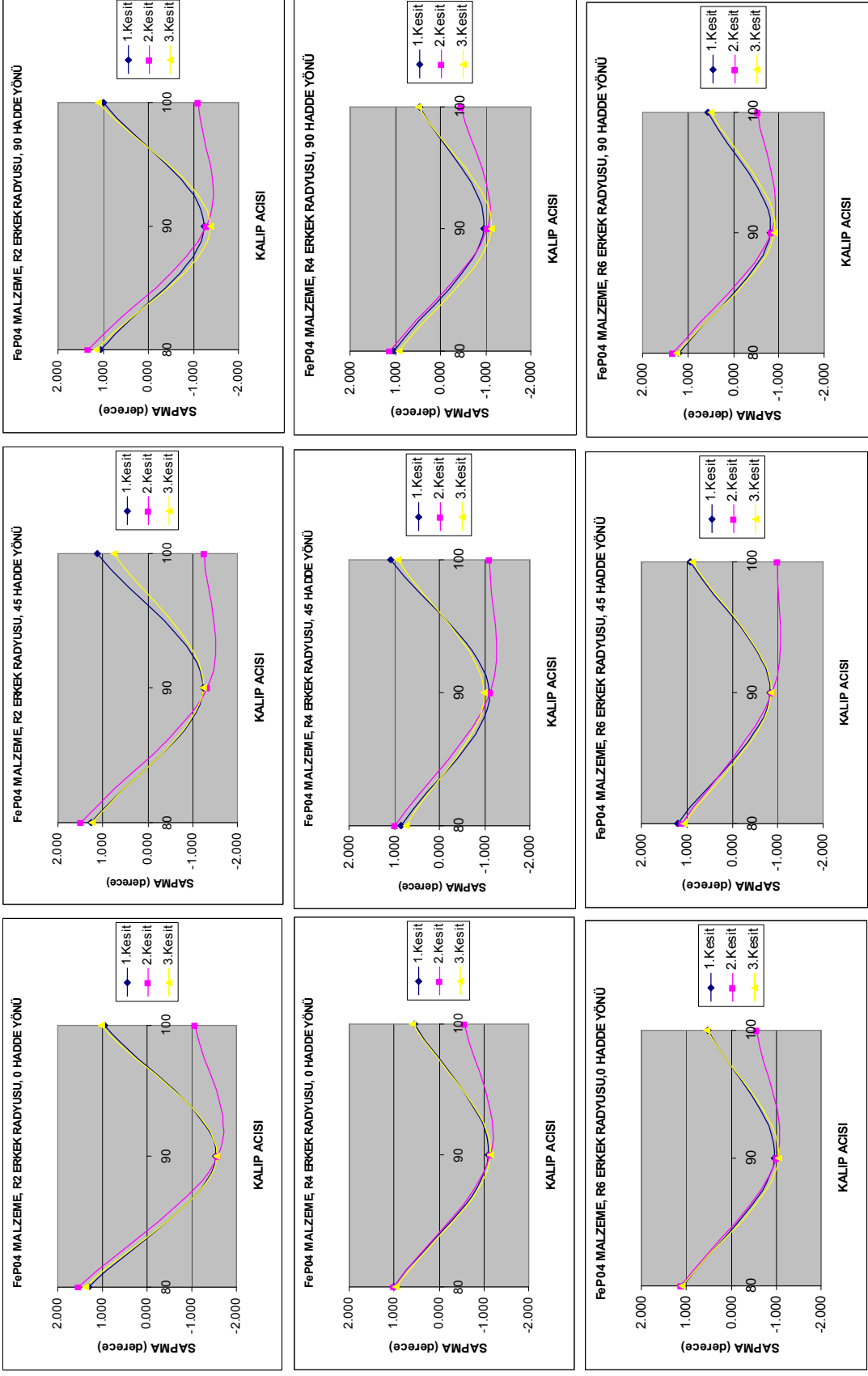


Şekil 4.3.11 Fee355 malzemenin kalıp açlarına göre geri yaylanma değerleri

Şekil 4.3.10 ve Şekil 4.3.11'deki grafikler incelendiğinde, Fee350 malzemenin 100° kalıp açısında ve tüm yarıçap değerleri için orta kesitte “-” yönde, uç kesitlerde ise “+” yönde geri yaylanma oluşmaktadır. 80° kalıp açısında ve bütün yarıçap değerlerinde tüm kesitlerde “+” yönde geri yaylanma, 90° kalıp açısında ve bütün yarıçap değerlerinde tüm kesitlerde “-” yönde geri yaylanma olduğu görülmektedir.

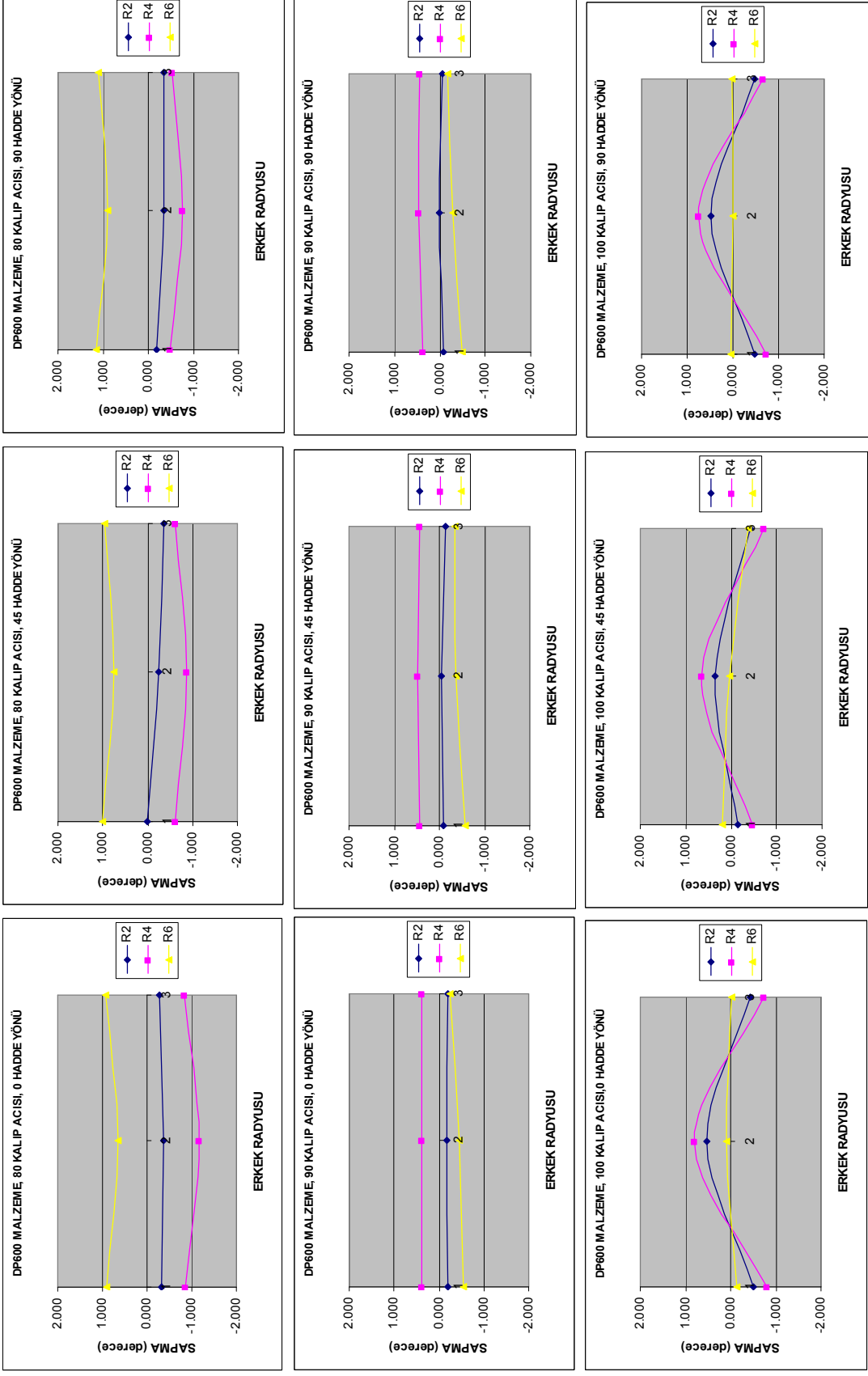


Şekil 4.3.12 FeP04 malzemenin kalıp açlarına göre geri yaylanma değerleri

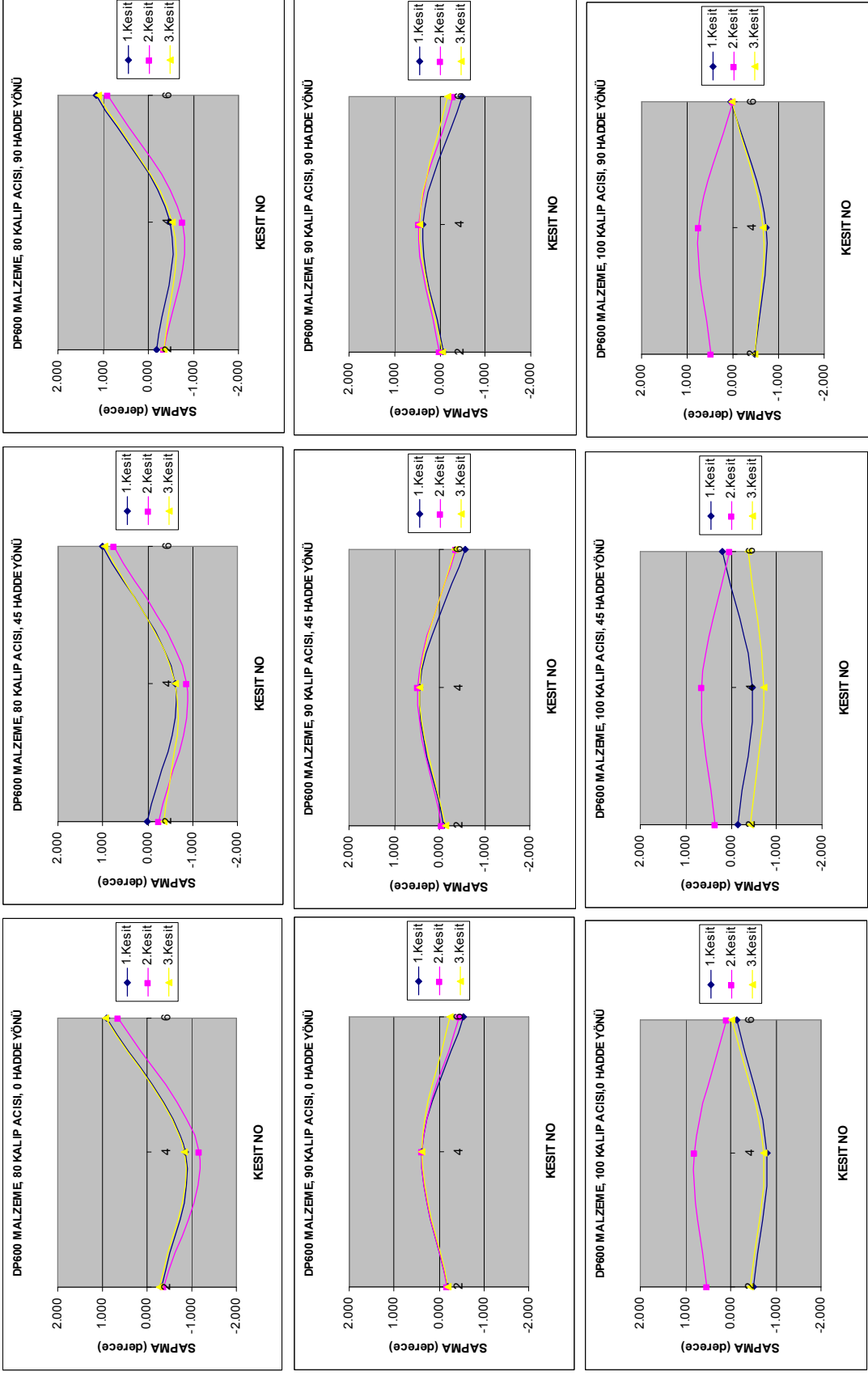


Şekil 4.3.13 FeP04 malzemenin kalıp açlarına göre geri yayılma değerleri

Şekil 4.3.12 ve Şekil 4.3.13'deki grafikler incelendiğinde, FeP04 malzemenin kalıp açısına bağlı geri yaylanma yönlerinin, Fee350 ile aynı olduğu görülmektedir (100° kalıp açısında ve tüm yarıçap değerleri için orta kesitte “-” yönde, uç kesitlerde ise “+” yönde geri yaylanma oluşmaktadır. 80° kalıp açısında ve bütün yarıçap değerlerinde tüm kesitlerde “+” yönde geri yaylanma, 90° kalıp açısında ve bütün yarıçap değerlerinde tüm kesitlerde “-” yönde geri yaylanma olduğu görülmektedir.).

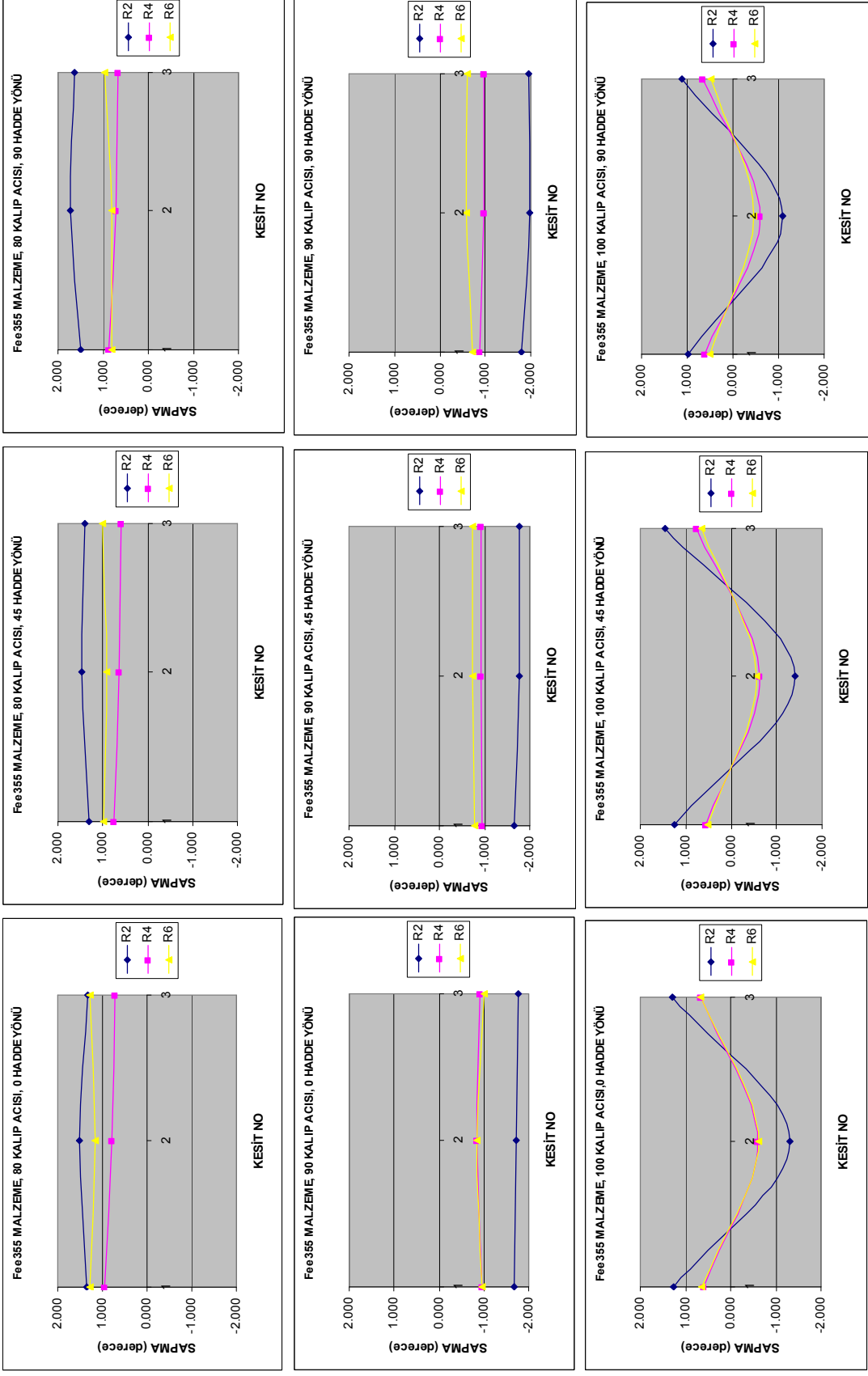


Şekil 4.3.14 DP600 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri

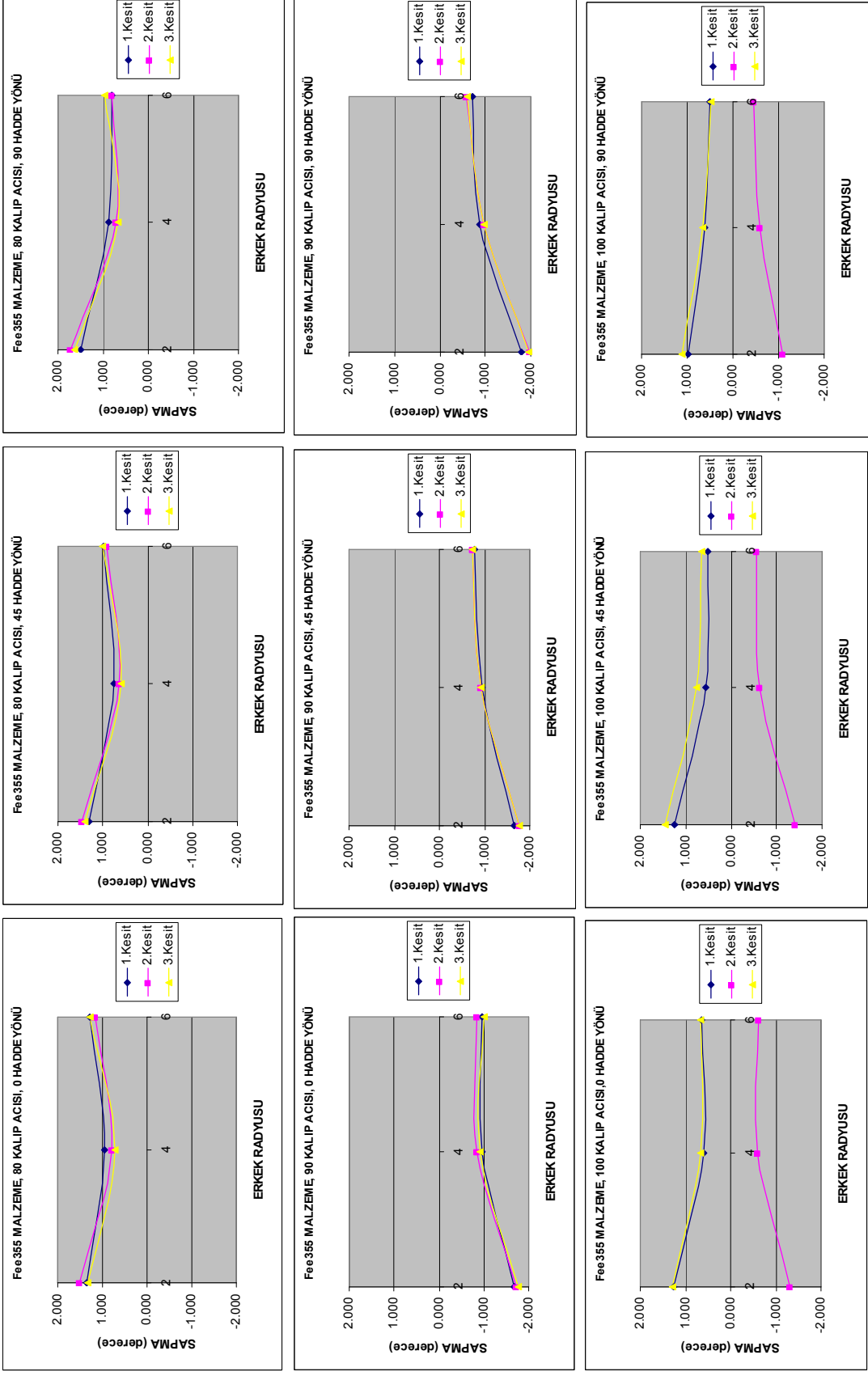


Şekil 4.3.15 DP600 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri

Şekil 4.3.14 ve Şekil 4.3.15'deki grafikler incelendiğinde, DP600 malzemenin 80° kalıp açısında ve 4mm kalıp yarıçapında geri yaylanma değerleri tüm kesitlerinde “-” yönde iken, 90° kalıp açısında geri yaylanma değerlerinin “+” yönde olduğu, yani yön olarak tam tersine döndüğü görülmektedir. Aynı şekilde 6mm kalıp yarıçapında 80° kalıp açısıyla basılan parçanın geri yaylanma değerleri tüm kesitlerinde “+” yönde iken, 90° kalıp açısında geri yaylanma değerlerinin “-” yönde olduğu görülmektedir. 100° kalıp açısında 2mm ve 4mm kalıp yarıçapında orta kesitte “+” yönde geri yaylanma olurken, uç kesitlerde “-” yönde geri yaylanma gözlenir, 6mm kalıp yarıçapında ise geri yaylanma değerleri “0” değerine yaklaşmıştır.

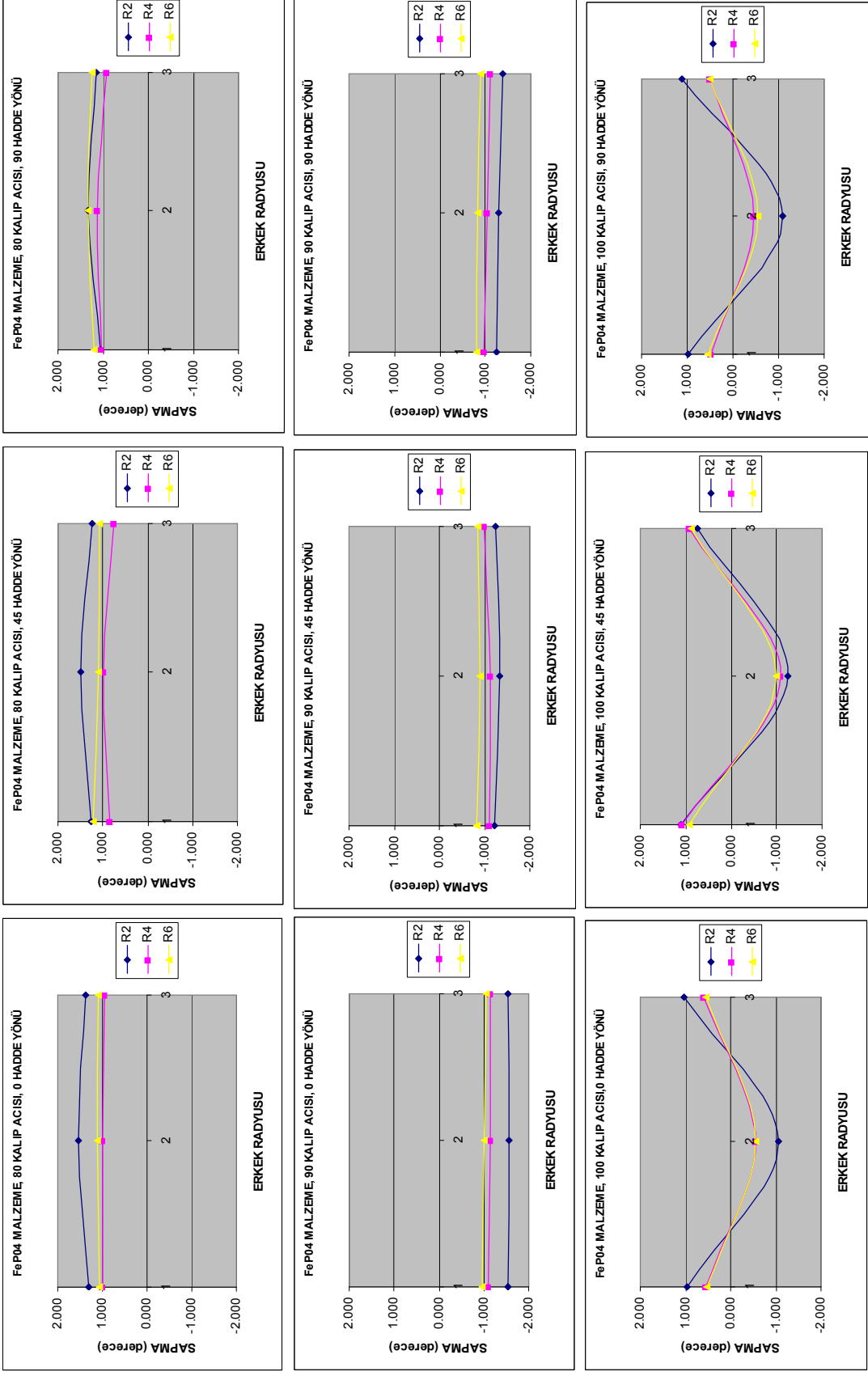


Şekil 4.3.16 Fee355 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri

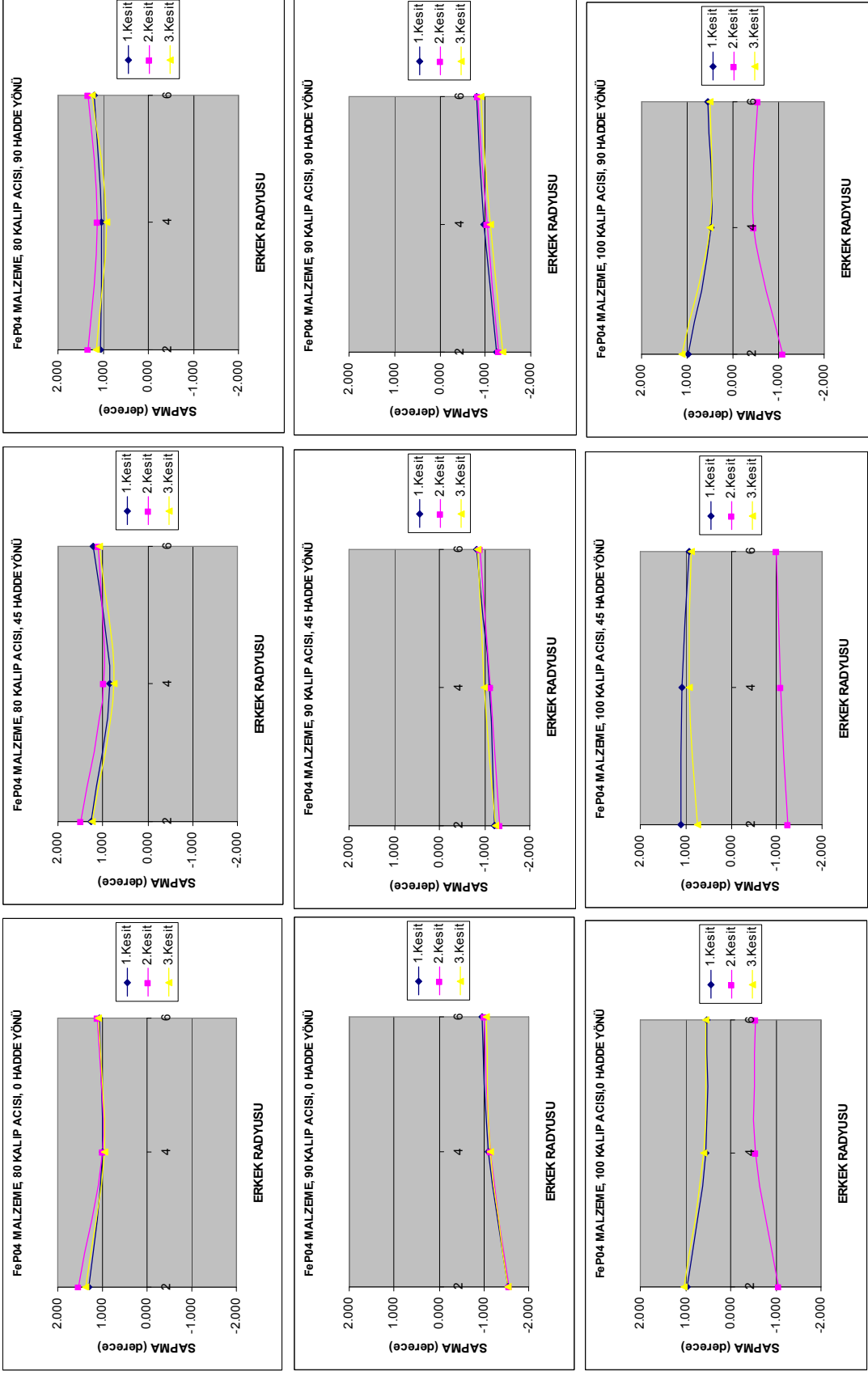


Şekil 4.3.17 Fee355 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri

Şekil 4.3.16 ve Şekil 4.3.17'deki grafikler incelendiğinde, Fee355 malzemenin 80° kalıp açısında tüm kesitlerdeki geri yaylanma değerlerinin her bir yarıçap değerinde birbirine yakın ve yön olarak “+” yönde olduğu gözükmektedir. 80° kalıp açısında değer olarak geri yaylanma en az 4mm kalıp yarıçapında görünmektedir. 90° kalıp açısında tüm yarıçap değerleri için geri yaylanma “-” yönde çıkmıştır. Özellikle 90° kalıp açısında ve 2mm kalıp yarıçapında basılan parçaların geri yaylanma değerinin, 4mm ve 6mm'ye oranla daha fazla olduğu açıkça gözlenebilir. 100° kalıp açısında ise orta kesit “-” yönde, uç kesitler “+” yönde geri yaylanma davranışı sergilemektedir ve değer olarak 2mm kalıp yarıçapındaki geri yaylanma, 4mm ve 6mm'ye göre daha büyüktür.



Şekil 4.3.18 FeP04 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri



Şekil 4.3.19 FeP04 malzemenin kalıp yarıçaplarına bağlı geri yaylanma değerleri

Şekil 4.3.18 ve Şekil 4.3.19'daki grafikler incelendiğinde, FeP04 malzemenin kalıp yarıçapına bağlı geri yaylanma yönlerinin, Fee355 ile çok büyük benzerlik gösterdiği göze çarpmaktadır. 80° kalıp açısında ve tüm kesitlerde geri yaylanma yönü “+”, 90° kalıp açısında ve tüm kesitlerde geri yaylanma yönü “-” olduğu gözükmektedir. 100° kalıp açısında ortadaki kesitte “-” yönde geri yaylanma, uç kesitlerde ise “+” yönde olduğu ve değer olarak bu kalıp açısında en büyük değere 2mm yarıçap değerinde ulaşıldığı gözükmektedir.

5. TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar için üç farklı malzeme tipi kullanılmıştır. Her malzeme için üç farklı kalıp açısı ve üç farklı kalıp erkek yarıçapı kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan çıkarılabilecek sonuçlar aşağıdaki gibidir:

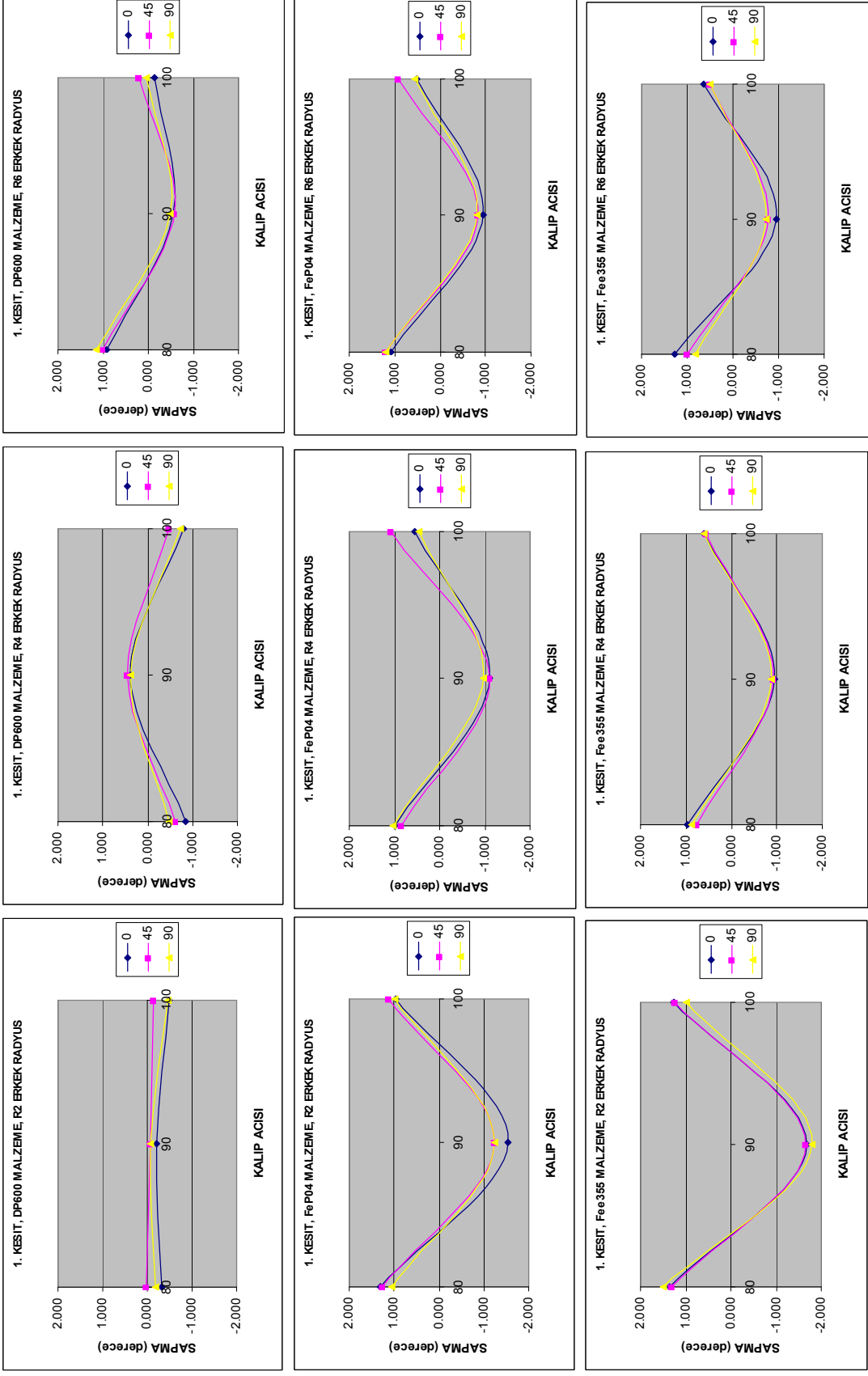
- 1- Bükülen parçaların kenar ve ortalarındaki geri yaylanma davranışları farklıdır. 80° ve 90° kalıp açılarında kenar ve ortalarındaki geri yaylanma değerleri birbirlerine çok yakın iken, kalıp açısının 100° olduğu örneklerde DP600 sac için kenarlarda negatif yönde, ortalarda ise pozitif yönde geri yaylanma gözlemlenmektedir. Fee355 ve FeP04 saclarda ise DP600 saca göre ters yönde geri yaylanmalar gözlenmiştir.
- 2- Fee355 ve FeP04 sacların kalıp açısına göre geri yaylanma davranışları benzerlik göstermektedir. Bu sacların kenarlarının, 90° kalıp açısında negatif yönde, 80° ve 100° kalıp açılarında ise pozitif yönde geri yaylandığı görülmüştür. Ortasının ise 100° kalıp açısında uçlardan farklı yönde yani negatif yönde, 80° ve 90° kalıp açılarında uçlarla aynı yönde geri yaylandığı gözlemlenmiştir. DP600 saclarda geri yaylanma davranışı sadece kalıp açısına bağlı kalmayıp, erkek kalıp yarıçaplarına bağlı olarak da değişkenlik göstermektedir. 2mm yarıçaplı kalıplarda yapılan şekillendirmede kenarlardaki geri yaylanmanın yaklaşık olarak sıfır olduğu, ortalarda ise 80° kalıp açısında negatif, 100° kalıp açısında pozitif ve 90° kalıp açısında yaklaşık sıfır olduğu görülmektedir. 4mm yarıçaplı kalıplarda yapılan şekillendirmede kenarlarda ve ortada 80° kalıp açısı için negatif, 90° kalıp açısı için pozitif geri yaylanmalar görülmektedir. Kalıp açısının 100° olduğu durumda ise kenarlarda negatif, ortada pozitif geri yaylanma oluşmaktadır. 6mm yarıçaplı kalıplarda yapılan şekillendirmede ise kenarlarda ve ortada 80° kalıp açısı için pozitif, 90° kalıp açısı için negatif ve 100 derece kalıp açısında ise sıfıra yakın geri yaylanmalar görülmektedir.

Kalıp açısına bağlı olarak DP600 malzemenin davranış biçiminin mevcut numuneler ile tespiti mümkün olmamıştır. Kalıp açısının değişim basamakları

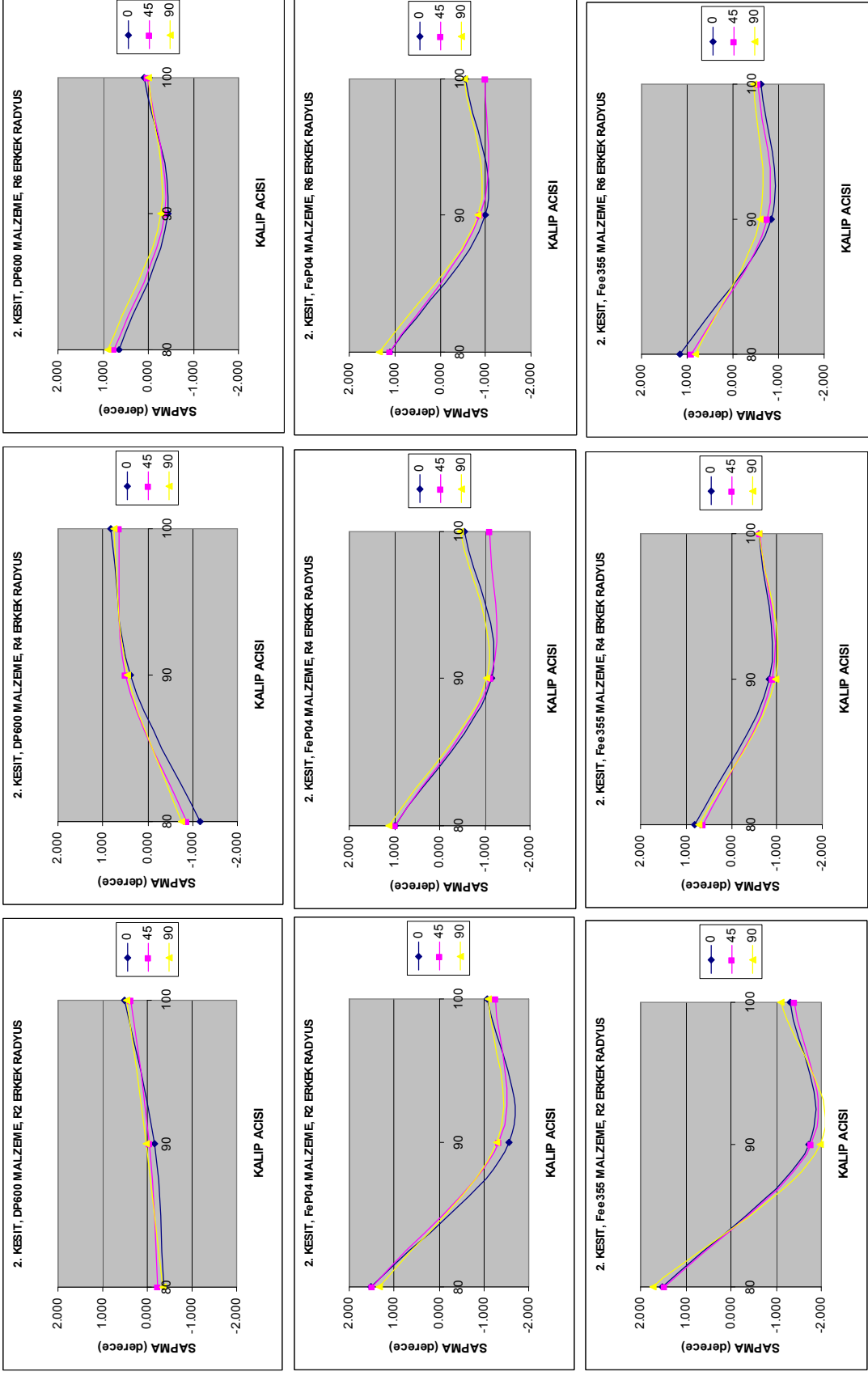
arttırılarak daha fazla sayıda deney numunesi kullanıp davranış biçiminin daha net ortaya konulması gerekmektedir. DP600 malzemenin çift fazlı olmasından kaynaklandığı tahmin edilen bu durum, diğer iki sac malzemede görülmemektedir. Fee355 ve FeP04 saclarda 80° kalıp açısında yapılan şekillendirmede kenar ve ortalarda pozitif geri yaylanma görülürken, 90°'de negatif geri yaylanmalar görülmektedir. 100° kalıp açısında yapılan şekillendirmede kenarlarda pozitif, ortada ise negatif geri yaylanma gözlenmiştir.

- 3- Kalıp yarıçaplarına bağlı olarak numunelerde gözlenen geri yaylanma değerleri malzemelere göre değişkenlik göstermektedir. DP600 malzemede 2mm yarıçaplı kalıplarda şekillendirilmiş numunelerde kenar kısımlarda sifira yakın geri yaylanmalar gözlenmektedir. Ortalarda ise 80° kalıp açısında negatif, 100° kalıp açısında pozitif geri yaylanma görülürken, 90° kalıp açısındaki geri yaylanma değeri sıfır civarındadır. FeP04 ve Fee355 saclarda 2mm, 4mm ve 6mm kalıp yarıçaplarında geri yaylanma davranışları benzerlik göstermektedir. Orta ve kenarda en fazla geri yaylanma değerlerinin 2mm yarıçaplı kalıplarda şekillendirilen kalıplarda olduğu görülmektedir. Orta ve kenarda en az geri yaylanma davranma değerlerinin 6mm yarıçaplı kalıplardaki numunelerde olduğu görülmüştür.
- 4- Hadde yönüne bağlı olarak numunelerde gözlemlenen geri yaylanma davranışları benzerlik göstermektedir.

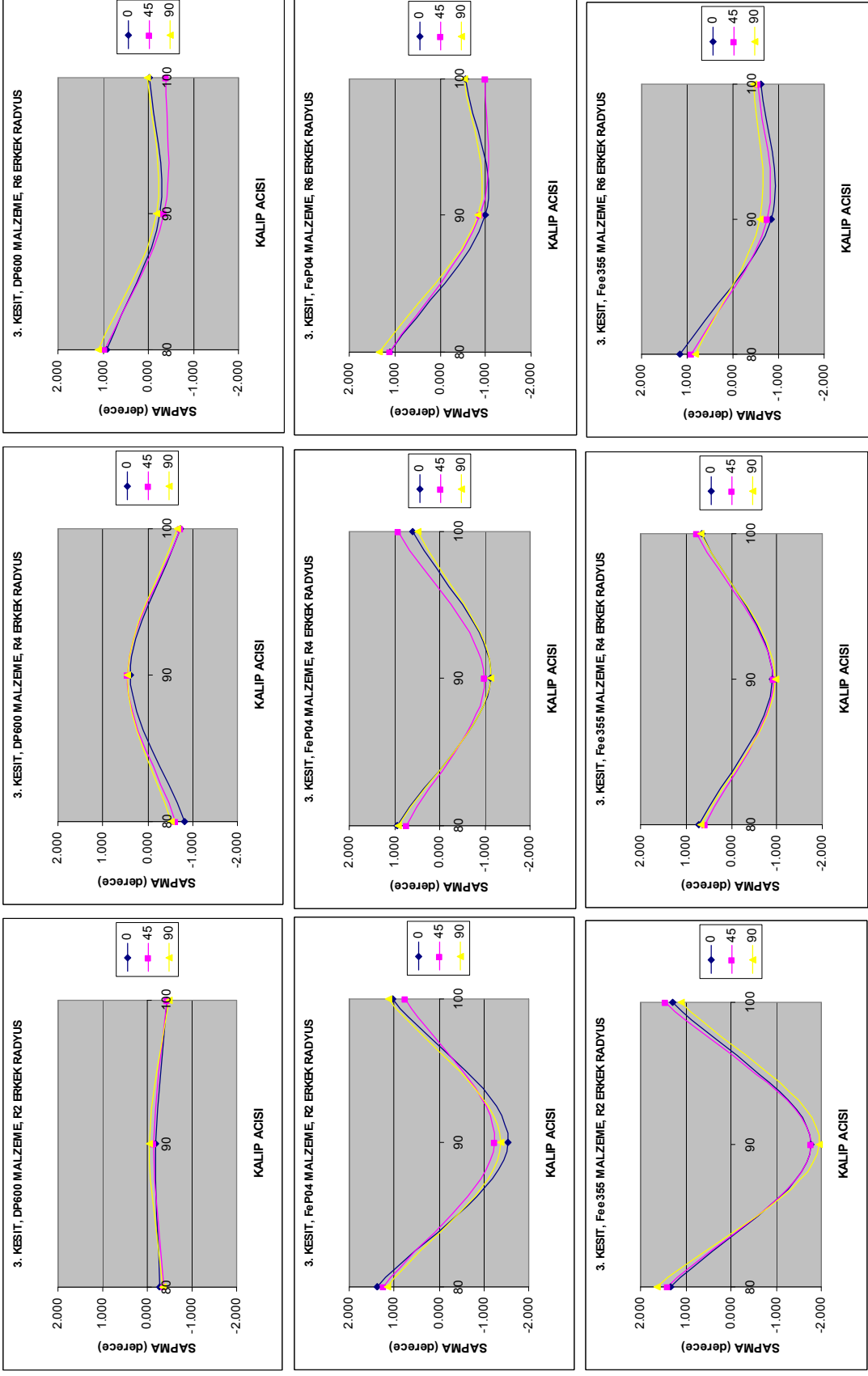
Yapılan çalışmada DP600 sac malzemesinin aşırı değişkenlik göstermesinden dolayı, çift fazlı çeliklerin daha detaylı incelenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Değişken adımları arttırılarak daha fazla sayıda numuneler elde edip çift fazlı sac malzemelerin davranış biçimlerinin belirlenmesinin uygun olacağı görülmektedir.



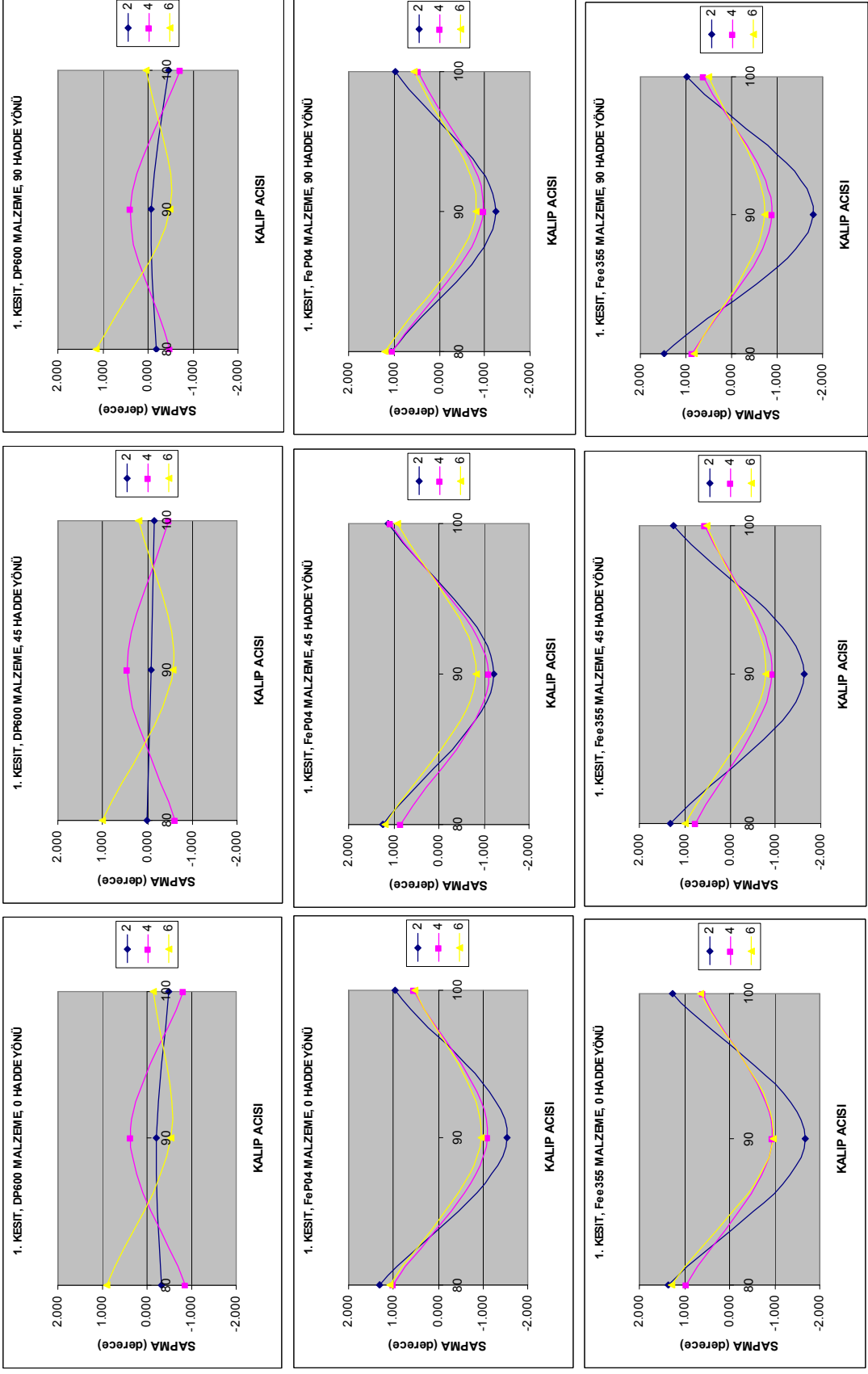
Şekil 10.1 Sacların kalıp açısı ve hadde yönüne bağlı “1.kesit” indeki geri yaylanmalar



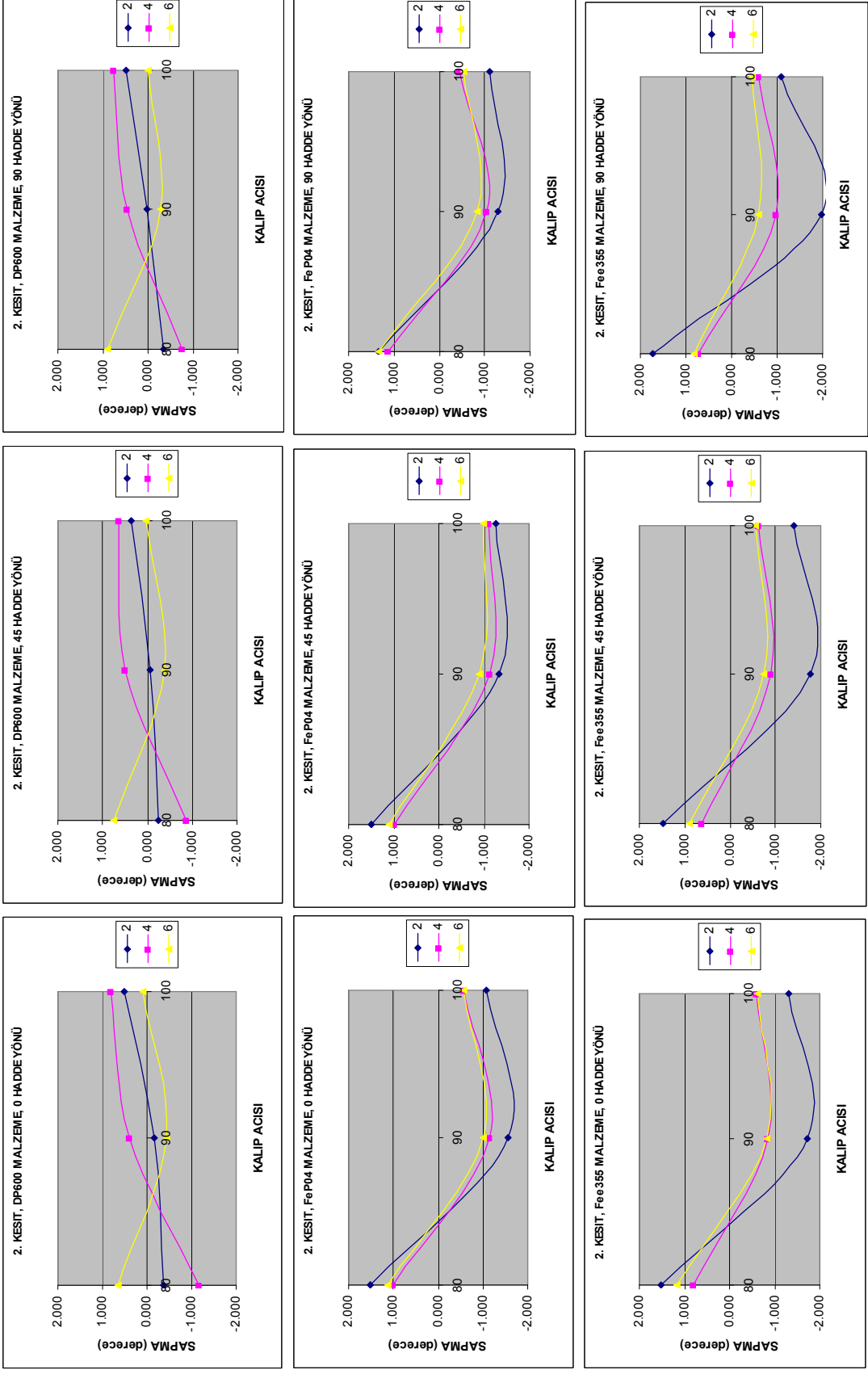
Şekil 10.2 Sacların kalıp açısı ve hadde yönüne bağlı “2.kesit” indeki geri yaylanmalar



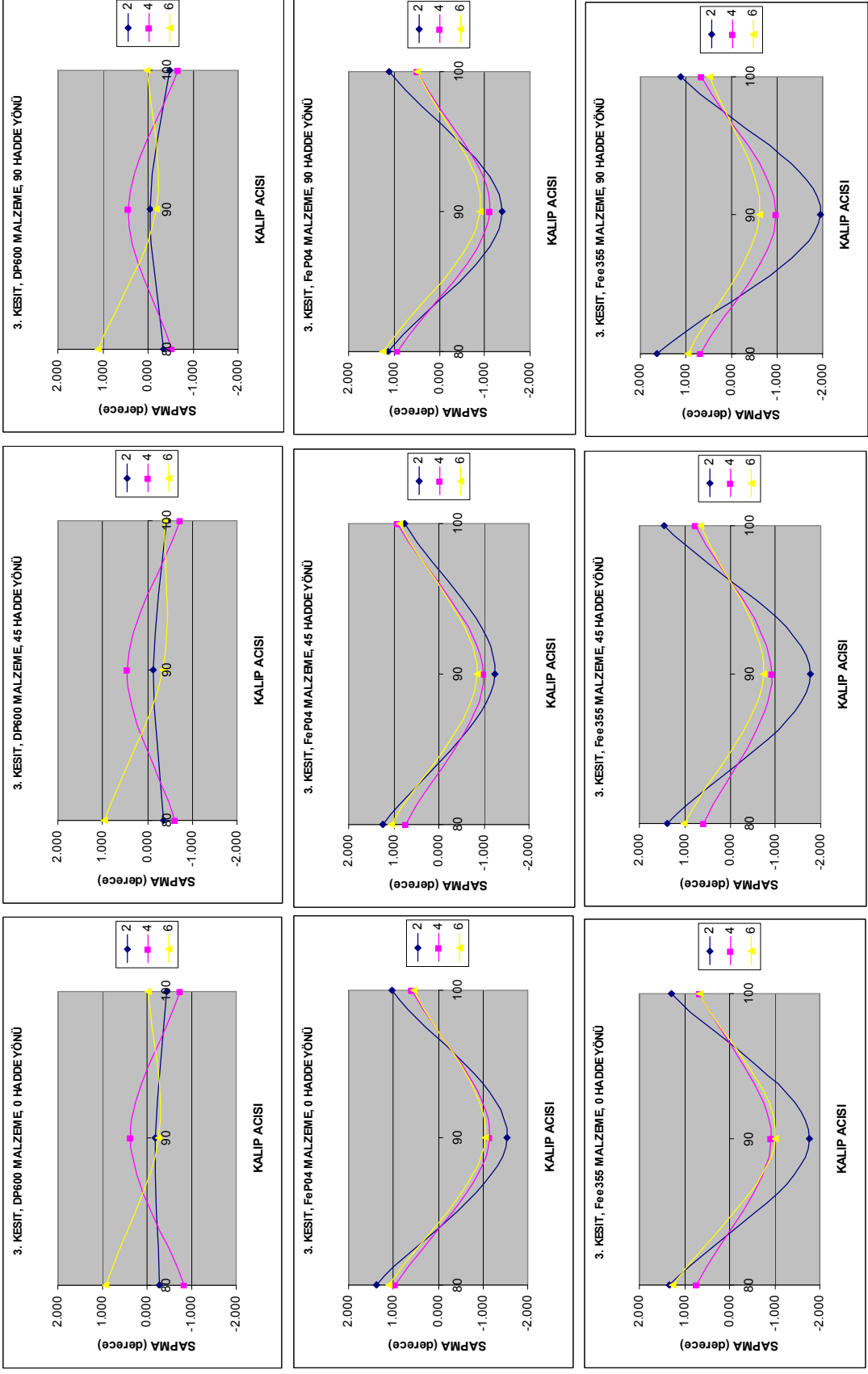
Şekil 10.3 Sacların kalıp açısı ve hadde yönüne bağlı “3.kesit” indeki geri yaylanmalar



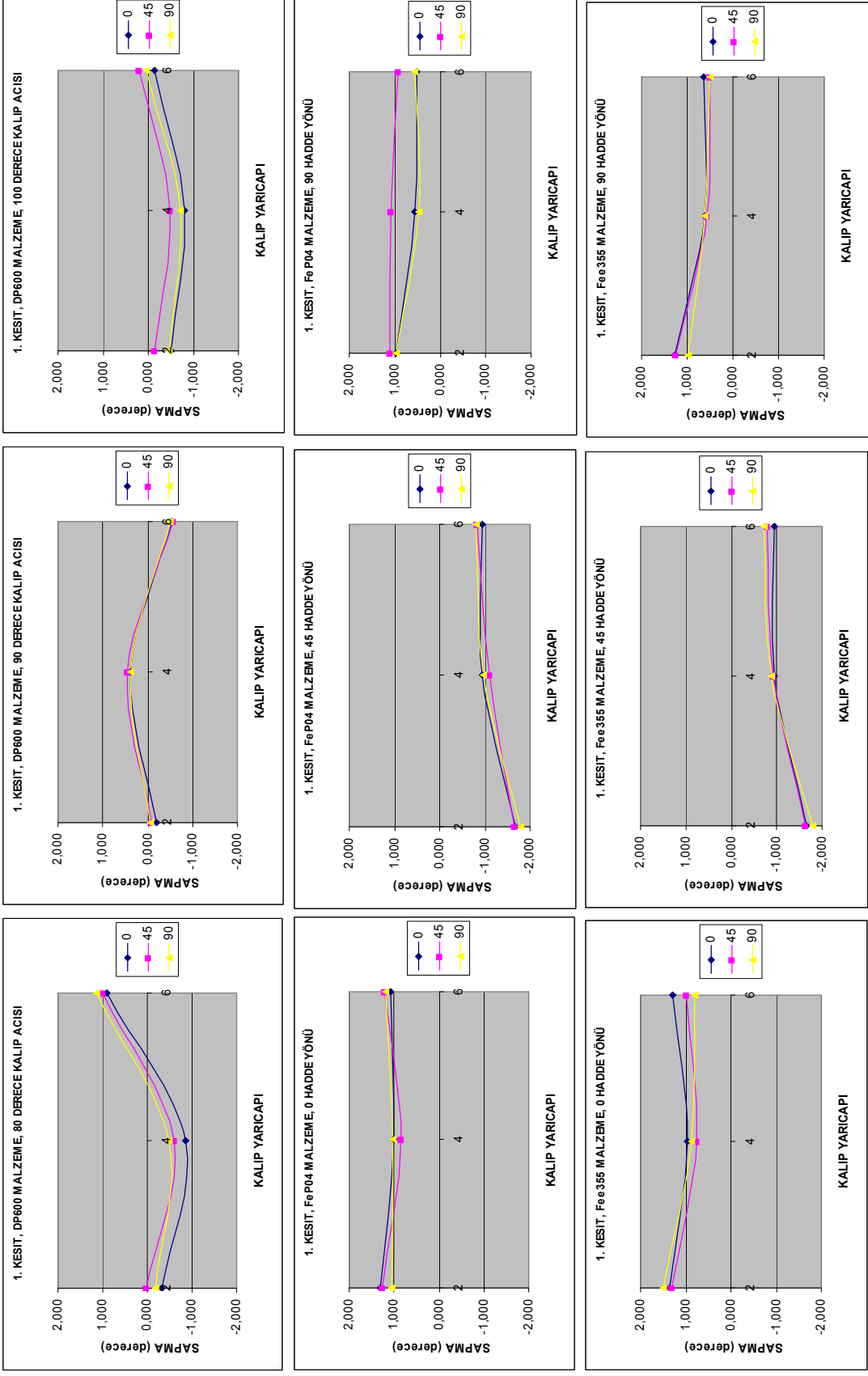
Şekil 10.4 Sacların kalıp açısı ve kalıp yarı çapına bağlı "1.kesit"indeki geri yaylanmalar



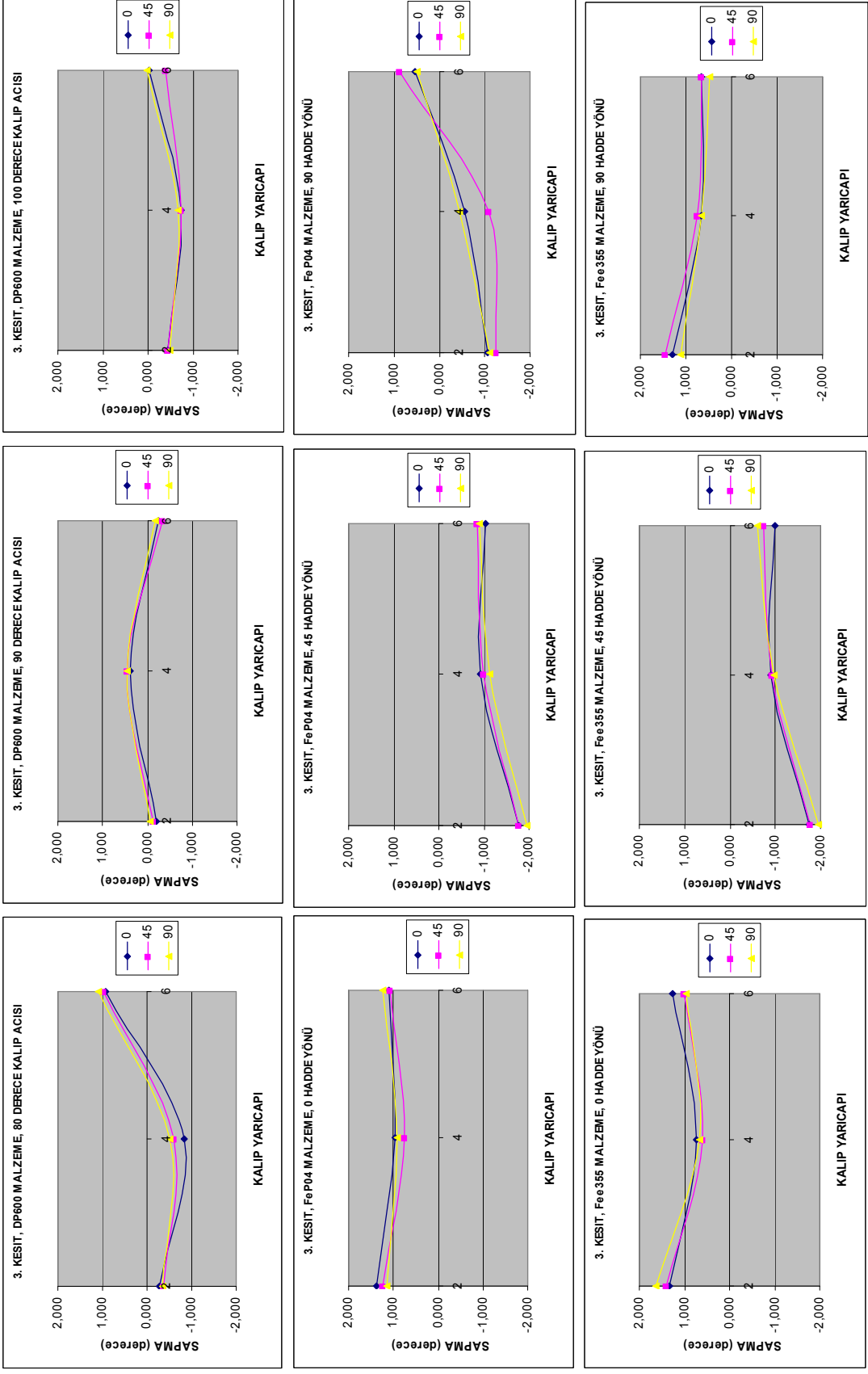
Şekil 10.5 Sacların kalıp açısı ve kalıp yarı çapına bağlı "2.kesit"indeki geri yaylanmalar



Şekil 10.6 Sacların kalıp açısı ve kalıp yarı çapına bağlı "3.kesit"indeki geri yaylanmalar



Şekil 10.7 Sacların hadde yönü ve kalıp yarı çapına bağlı "1.kesit"indeki geri yaylanmalar



Şekil 10.9 Sacların hadde yönü ve kalıp yarı çapına bağlı “3.kesit”indeki geri yaylanmalar

6. KAYNAKLAR

Autoform 3.2 User Manual, 2002

Advanced High Strength Steel Application Guidelines, International Iron and Steel Institute-Committee on Automotive Applications, January 2005

Carlson, B., Choice of Tool Materials for Punching and Forming of Extra- and Ultra High Strength Steel Sheets, 3rd SSAB International Conference

Federici, C., Maggi, S., Rigoni, S., “The Use of Advanced High Strength Steel Sheets in the Automotive Industry”, 1st International Conference Super-High Strength Steels, 2-4 Kasım, 2005, Roma

Forcellese, L. Fratini, F. Gabrielli, F. Micari, Computer aided engineering of the sheet bending process, *J. Mater. Process. Technol.* 60 (1996) 225–232.

J. Mater. Process. Technol. 60 (1996) 249–254.

J.-T. Gau, G.L. Kinzel, An experimental investigation of the influence of the Bauschinger effect on springback predictions, *J. Mater. Process. Technol.* 108 (2001) 369–375.

L.J. de Vin, A.H. Streppel, U.P. Singh, H.J.J. Kals, A process model for air bending, *J. Mater. Process. Technol.* 57 (1996) 48–54.

M. Yang, K.-I. Manabe, H. Nishimura, Development of real-time process control system for precision and flexible V-bending with an on-line database,

M. Yang, K.-I. Manabe, H. Nishimura, Development of real-time process control system for precision and flexible V-bending with an on-line database, *J. Mater. Process. Technol.* 60 (1996) 249–254.

Nonaka, T., Development of Ultra-High-Strength Cold-Rolled Steel Sheets for Automotive Use, NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 88

S.W. Lee, D.Y. Yang, An assessment of numerical parameters influencing springback in explicit finite element analysis of sheet metal forming process, *J. Mater. Process. Technol.* 80/81 (1998) 60–67.

S.D. Benson, Press Brake Technology— A Guide To Precision Sheet Metal Bending, Dearborn, Mich: Society of Manufacturing Engineers, 1997).Dutton, R., Edwards, R.

S.J. Thanki, H.K. Raval, A.K. Dave, Prediction of the punch reversal position under V-plate bending using real material (power-law) behavior, *J. Mater. Process. Technol.* 114 (2001) 227–232.

Schaeffler, D., Introduction to Advanced High Strength Steels, <http://www.thefabricator.com/MetalsMaterials>

T.C. Hsu, I.R. Shien, Finite element modeling of sheet forming process with bending effects, *J. Mater. Process. Technol.* 63 (1997) 733–737.

ULSAB-AVC Engineering Report, October 2001

Wallentowitz, H., Leyers, J., Parr, T., “Materials for Future Automotive Body Structures” , *Global Automotive Manufacturing And Technology*, Touch Briefings, 2003

Zhang, L., Shi, M.F., 1999. Issues concerning material constitutive laws and parameters in springback simulations. SAE 1999-01-1002.

<http://www.worldautosteel.org/ulsab-avc/>

7.TEŞEKKÜR

- Bu konuda bana çalışma fırsatı veren ve her türlü desteği sağlayan danışman hocam Prof.Dr. Reşat ÖZCAN'a
- Yapılan çalışmalara ait maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim, sac metal Şekillendirme konusunda Türkiye'nin önde gelen firması olan Coşkunöz A.Ő'de yardımlarını esirgemeyen tüm mesai arkadaşlarıma,
- Her zaman yanımda olan eşim ve aileme,

Teşekkürü bir borç bilirim...

8.ÖZGEÇMİŞ

M. Mustafa YENICE , 1979 yılında Bursa'da doğdu. 1996-2001 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğrenimini tamamladı. Ağustos 2001 – Ağustos 2004 tarihleri arasında otomotiv yan sanayi olarak faaliyet gösteren Profil A.Ş firmasında Tasarım Mühendisi olarak çalıştı, askerlik vazifesini tamamlayarak Ocak 2005 tarihinden bu yana Coşkunöz Metal Form ve Makina Endüstri A.Ş.'de Proses Tasarım ve Simülasyon Mühendisi olarak çalışmaktadır.