



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## DP600 ve HSLA300 Sac Malzemelerde Geri Esneme Davranışlarına Proses Parametrelerinin Etkisinin Deneysel Araştırılması

 Kadir AYDIN<sup>a,\*</sup>,  İbrahim KARAAĞAÇ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Mekatronik Bölümü, Simav Meslek Yüksekokulu, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

<sup>b</sup> İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: kadir.aydin@dpu.edu.tr

DOI : 10.29130/dubited.532628

### ÖZET

Bu çalışmada sac metal malzemelerin oda sıcaklığında bükülerek şekillendirilmesi sonrası gözlenen ve şekillendirmede istenmeyen bir durum olan geri esneme davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada DP600 ve HSLA300 sac malzemeler farklı kalıp açılarında ve ütüleme sürelerinde V bükme yöntemiyle şekillendirilmiştir. Çalışma sonunda ütüleme süresinin 10 saniye artmasıyla elastik gerilmelerin kalıcı gerilmelere dönüşmesinden dolayı geri esneme açısının DP600 sac malzemede ortalama %14,8, HSLA sac malzemede ise ortalama %9,7 azaldığı tespit edilmiştir. Kalıp açısının artmasıyla elastik gerilim miktarının da artmasından dolayı her iki malzemede de esneme açısının arttığı, açının büyümesiyle de elastik gerilmelerin dar bir alanda hapsolmesinden dolayı da esnemenin daha sonra azaldığı belirlenmiştir. DP600 sac malzemede 15 derece kalıp açısından 45 derece kalıp açısına kadar esnemenin ortalama %15,2 arttığı, 45 dereceden sonra ise %27,6 azaldığı tespit edilmiştir. HSLA sac malzemede ise 15 derece kalıp açısından 30 derece kalıp açısına kadar esnemenin önce ortalama %10,4 arttığı, 30 dereceden sonra ise %26,4 azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca DP600 sac malzemenin sertliğinin HSLA sac malzemeden daha yüksek olmasından dolayı oluşan geri esneme değerinin HSLA sac malzemeye göre %12,3 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Geri esneme, DP600, HSLA300

## Experimental Investigation of the Effect of Process Parameters on Springback Behavior in DP600 and HSLA300 Sheet Metal Materials

### ABSTRACT

The springback behaviour which is undesirable situation after the bending operation in room temperature was experimentally investigated. DP600 and HSLA sheet materials were formed by V-bending method in different bending angle and holding time. Due to transformation of elastic stress to permanent stress 10 second increasing

in the holding time were caused to decrease in springback angle in 14.3% for DP600 and in 9.7% for HSLA sheets. Increasing the bending angle were caused to increase in springback angle both material due to increasing elastic stress. However, more increasing the bending angle were caused to decrease in springback angle both material due to summing of elastic stresses in narrow angle. In DP600 material, its observed that increasing the die angle from 15 degrees to 45 degrees were caused to 15.2% increase the springback angle but after the 45 die angle the springback angle decreased 27.6% degree. In HSLA300 material, its observed that increasing the die angle from 15 degrees to 30 degrees were caused to 10.4% increase the springback angle but after the 30 die angle the springback angle decreased 26.4% degree. In addition to, its determined that due to the higher hardness of DP600 sheet metal than HSLA sheet metal, the springback angle for DP600 higher 12.3% than HSLA 300 sheet material.

*Keywords: Springback, DP600, HSLA300*

## I. GİRİŞ

Otomotiv üreticileri karbon emisyonunu ve yakıt sarfiyatını azaltmak amacıyla düşük ağırlık/yüksek mukavemet özelliğine sahip malzemelere yönelmişlerdir. Düşük ağırlık/yüksek mukavemet özelliğine sahip çift fazlı (DP) ve yüksek dayanımlı düşük alaşımlı (HSLA) sac malzemelerin kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır. Sac metal şekillendirme prosesi otomotiv, ev aletleri, ambalaj sektörü gibi birçok sektörde uygulama alanı olan bir üretim yöntemidir. Bükme işlemi de bu üretim yönteminde en çok tercih edilen şekillendirme yöntemlerindedir [1]. Bükme işlemi sonunda malzemenin maruz kaldığı kuvvetin kaldırılmasıyla deforme olan malzeme, bir miktar esneyerek istenilen formdan uzaklaşmaktadır. Malzemede meydana gelen bu geri esneme olayı istenilen ölçülerin değişmesine sebep olmakta bu da arzu edilmeyen bir durum olarak karşılaşılmaktadır [2]. Sac metal şekillendirme prosesinde geri esneme davranışını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Araştırmacılar gerek DP600 malzeme için gerekse HSLA malzeme için geri esnemeyi etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Kılıç ve diğerleri, V bükmeyle şekillendirilen DP800 sac malzemede deformasyon hızının ve sac genişliğinin geri esneme davranışına etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda deformasyon hızının artmasıyla geri esnemenin azaldığı ve sac genişliğinin geri esnemeye önemli bir etkisi olmadığını tespit etmişlerdir [3]. Mulidran ve diğerleri ise yaptıkları çalışmada DP600 sac malzemede baskı kuvveti ve sürtünme katsayısının geri esnemeye etkisini araştırmışlardır. Baskı kuvvetinin ve sürtünme katsayısının artışının geri esnemeyi azaltıcı etkide bulunduğu tespit edilmiştir [4]. Umur ise kalıp açısı, hadde yönü ve zımba radyüsünün geri esnemeye etkisini araştırmıştır [5]. Geri esnemeye ilgili çalışmalar incelendiğinde çalışmaların sadece deneysel değil, aynı zamanda sonlu elemanlar yönteminin de birçok çalışmada kullanıldığı tespit edilmiştir. Mkaddem ve Saidane HSLA sac malzemeyi kenar bükme yöntemiyle şekillendirerek geri esneme davranışlarını deneysel ve sonlu elemanlar metoduyla araştırmışlardır. Sonlu elemanlar metoduyla deneysel çalışmaların birbirine uyum gösterdiğini belirlemişlerdir [6]. Geri esnemenin tamamen ortadan kaldırılması mümkün olmamaktadır ancak çeşitli yöntemler kullanılarak geri esnemeyi azaltmak mümkün olmaktadır. Şen ve Kurgan HC300LA ve HC420LA sac malzemeleri oda sıcaklığı ve ılık sıcaklıklarda şekillendirerek geri esneme açısını araştırmışlardır. Ilık şekillendirme yönteminin geri esnemeyi azaltıcı etki yaptığını tespit etmişlerdir [7]. Lee ve diğerleri ise DP980 sac malzemenin şekillendirilmesinde geri esnemeyi azaltmak amacıyla yanıl kızılötesi ışın kullanmışlardır. Çalışmada malzemeyi bölgesel ve fırında ısıtmaya benzer bir yöntem kullanarak V-bükme yöntemiyle şekillendirmişlerdir. Çalışma sonunda bölgesel ısıtmanın geri esnemeyi azaltmak

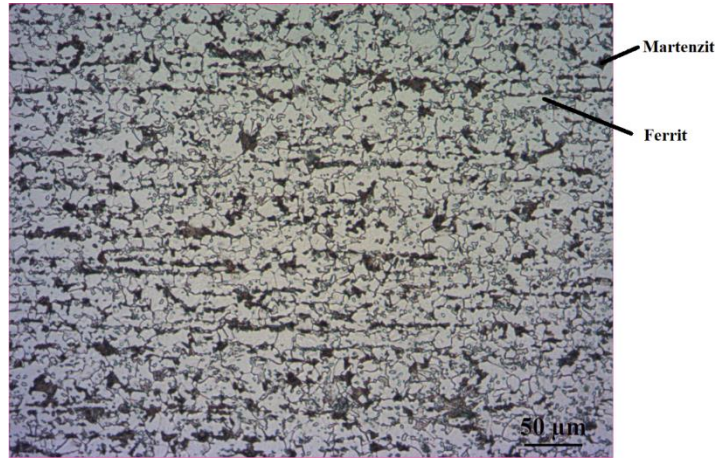
için daha etkili bir yöntem olduğu anlaşılmıştır [8]. Literatürde kalıp açısı ve ütleme süresi proses parametrelerinin bir bütün olarak göz önünde bulundurulması gerisi esneme davranışının DP600 ve HSLA sac malzemeler için yeterince araştırılmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada da özellikle otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan DP600 ve HSLA sac malzemelerin V bükümünde proses parametrelerinin gerisi esnemeye etkisi bir bütün olarak göz önünde bulundurulması deneysel olarak araştırılmıştır.

## II. MATERYAL ve METOD

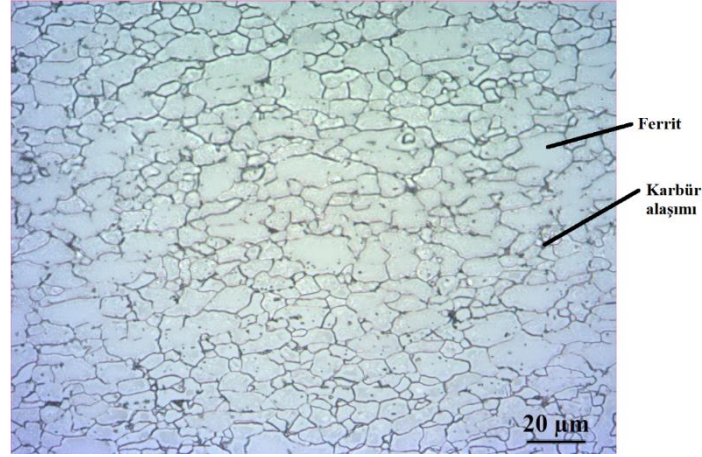
### *A. MATERYAL*

Otomobillerde çelik sac malzemelerin kullanımı özellikle gövde kısmında oldukça yaygındır. Bu sac malzemelerin inceltmesi amacı özellikle yakıt sarfiyatı ve emisyon gazı salınımı açısından oldukça önem teşkil etmektedir. Ancak sac malzemelerin inceltmesiyle beraber dayanımın da azalmaması için yüksek mukavemetli parçalara ihtiyaç duyulmaktadır [9]. Çift fazlı (DP) çelikler yüksek dayanım düşük ağırlık özelliğinden dolayı otomotiv endüstrisinde önemli bir konuma sahiptir. Çift fazlı çeliklerden olan DP600 ferrit matris içinde dağılmış %20-25 oranında martenzit fazından meydana gelmektedir. İnterkritik bölgede (ostenit + ferrit) tavlama sonrası optimum hızda soğutulan çift fazlı çelikler yeteri kadar ostenitin martenzite dönüşmesiyle elde edilmektedir. Martenzit fazı malzemenin dayanımını arttırırken, ferrit fazı malzemenin sünekliğini arttırmaktadır [10]. Şekil 1’de çift fazlı çeliğin iç yapısı verilmiştir. Şekilde koyu olan kısımlar martenzit fazını temsil ederken açık kısımlar ferrit fazını temsil etmektedir.



*Şekil 1. Çift fazlı (DP) çeliğin iç yapısı*

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çelikler de şekillendirme kabiliyetlerinin iyi olmasından dolayı özellikle otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedir. HSLA malzemeler ferrit fazı içinde dağılmış ince karbür alaşımlarından meydana gelmektedir. Karbür alaşımları malzemenin sertliğinin artmasını sağlamaktayken, ferrit fazı ise şekillendirilebilirliğin artmasını sağlamaktadır [11]. Şekil 2’de HSLA sac malzemenin iç yapısına ait görüntü verilmiştir. Şekilde koyu kısımlar karbür alaşımlarını ifade ederken, açık kısımlar ferrit fazını ifade etmektedir.



**Şekil 2.** Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı (HSLA) çeliğin içyapısı

DeneySEL çalışmalarında kullanılan malzemeler soğuk haddelenmiş olarak temin edilmiştir. Her iki malzeme de 1,2 mm sac kalınlığı tercih edilmiştir. Malzemelere ait çekme ve sertlik mekanik test sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 2’de de malzemelerin kimyasal analizleri verilmiştir.

**Tablo 1.** DP600 ve HSLA300 malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Sınırı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Elastikiyet Modülü (GPa)	Sertlik (Vickers)
DP600	460,423	732,847	19,721	188,839	155
HSLA300	314,231	396,357	32,182	182,929	96

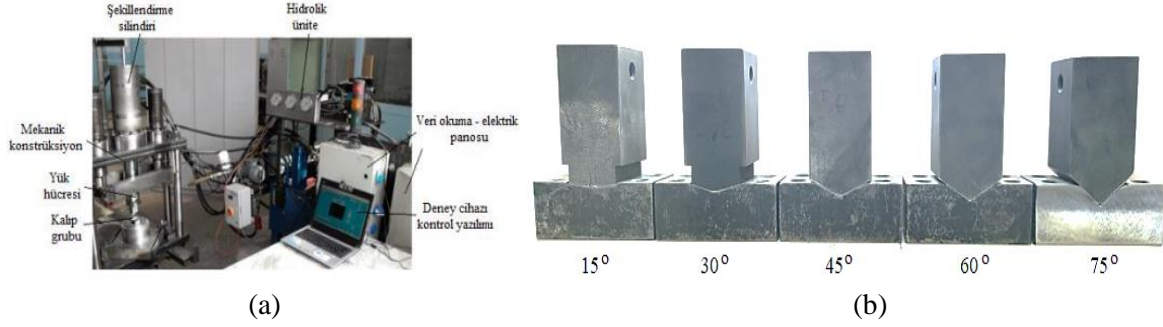
**Tablo 2.** DP600 ve HSLA300 malzemelerin kimyasal kompozisyonu (% ağı.)

Malzeme	C	Mn	Cr	Mo	Cu	Nb	Fe
DP600	0,086	1,518	0,555	0,081	-	-	Kalan
HSLA300	0,068	0,254	0,034	-	0,03	0,03	Kalan

## B. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE GERİ ESNEMENİN ÖLÇÜMÜ

DP600 ve HSLA300 sac malzemeler giyotin makas ile 40x40x1,2 mm boyutlarında kesilerek hazırlanmıştır. V bükme işleminde kullanılan kalıp ve zımbalar tel erozyon tezgahında kesilmek suretiyle elde edilmiştir. Ayrıca kalıplar üzerinde sac malzemelerin hep aynı konumda bulunması amacıyla kanallar oluşturulmuştur. Daha sonra bilgisayar kontrollü şekillendirme deney cihazı

vasıtasıyla malzemelerin V bükme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada V bükme işlemi 10 mm/sn sabit bükme hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te deneysel çalışmalarda kullanılan şekillendirme cihazının ve çalışmada kullanılan dişi ve erkek kalıpların görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 3.** Deneysel çalışmanın genel görüntüsü; a) Deneysel çalışma ortamı, b) Çalışmada kullanılan kalıplar

Çalışmada proses deney parametre girdisi olarak malzeme, kalıp açısı ve ütleme süresi belirlenmiştir. Çıktı olarak ise geri esneme açısı belirlenmiştir. Tablo 3'te çalışmanın deney parametreleri ve değerleri verilmiştir.

**Tablo 3.** Deneysel parametreleri ve parametre değerleri

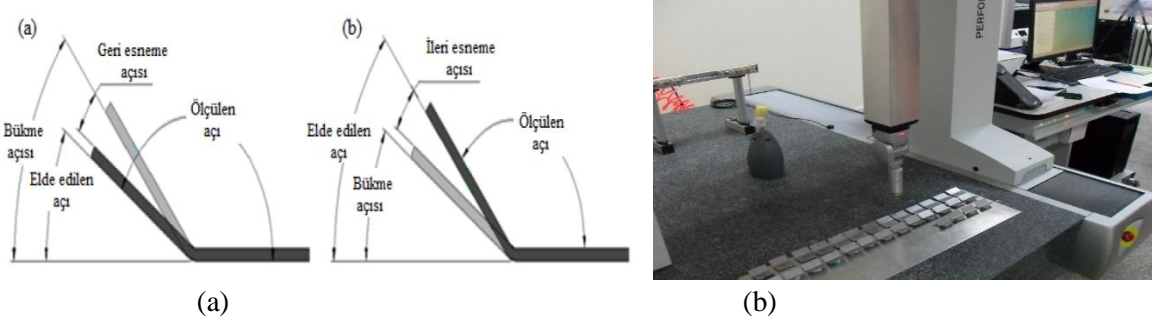
Deneysel parametreleri	Parametre değerleri
Malzeme	DP600, HSLA300
Kalıp açısı (Derece)	15, 30, 45, 60, 75
Ütleme süresi (Saniye)	0, 10, 20

Deneysel çalışmada bükme kuvvetinin hesaplamasında Eş.1 kullanılmıştır [12].

$$F = \frac{l \cdot t^2 \cdot k \cdot \sigma}{s} \quad (1)$$

Hesaplanan bükme kuvveti değerleri tasarlanan yazılımda programa girilmiş ve deneysel çalışmalar hesaplanan kuvvet değerinde gerçekleştirilmiştir. Eş.1'de verilen; F bükme kuvveti, l bükme uzunluğu, k kalıp açıklık faktörü, t sac kalınlığı,  $\sigma$  çekme gerilmesi, s kalıp açıklığının genişliği olarak tanımlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonuçların güvenilirliği açısından ikişer defa tekrar edilmiştir.

V bükme ile şekillendirilen malzemelerin geri esneme açılarının ölçümü Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bünyesinde yer alan bilgisayarlı koordinat ölçme (CMM) cihazı vasıtasıyla yapılmıştır. Ölçme işlemine başlamadan önce deney numuneleri bir sac plaka üzerine deformasyona uğramadan yapıştırılmıştır. Daha sonra ölçme işlemi cihazın probu bükülen numunenin bir yüzeyine dört noktadan dokundurulmuş ve bir düzlem elde edilmiştir. Aynı prosedür diğer yüzey içinde gerçekleştirilerek ikinci bir düzlem daha elde edilmiştir. Bu iki düzlem arasındaki açı ölçülerek kalıp açısından çıkarılmış ve esneme açısı belirlenmiştir. Esneme açısının ölçümüne ait çalışma ve esneme olayını ifade eden şeklin görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir.



**Şekil 4.** Geri esneme olayı, a) Esneme olayının gösterimi, b) Esnemenin CMM'de ölçümü

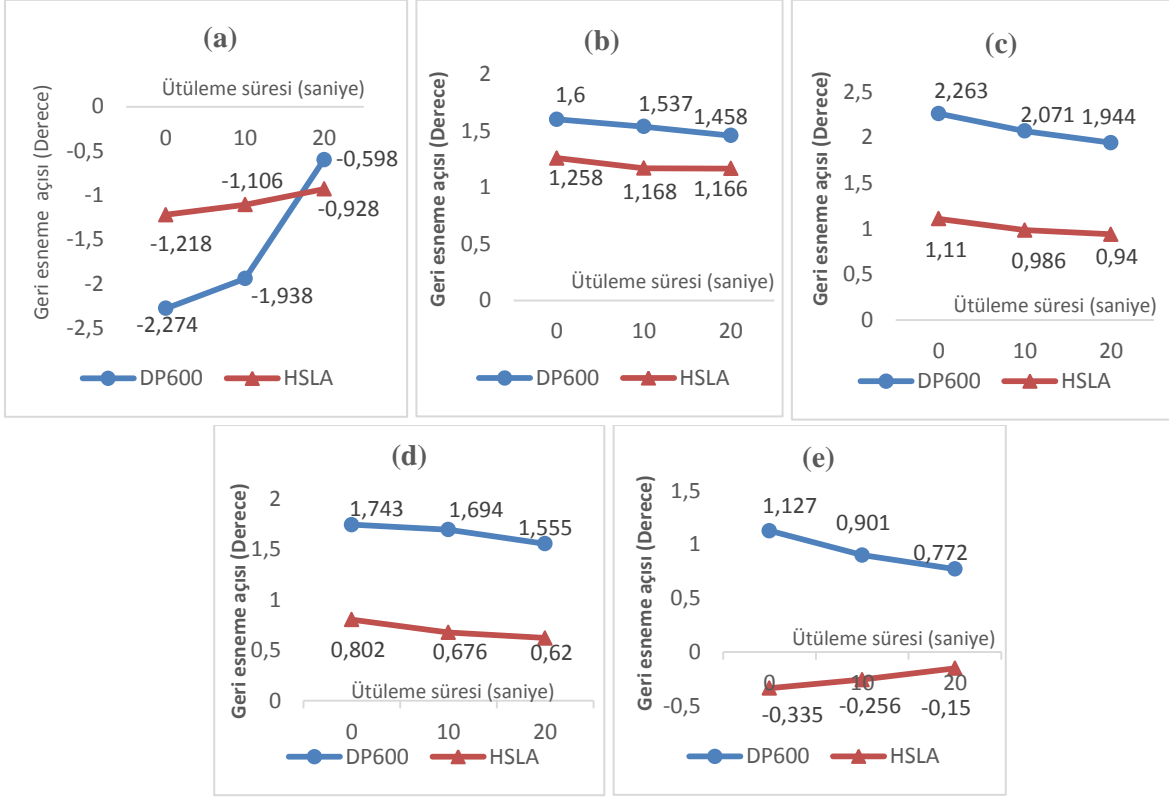
### III. BULGULAR ve TARTIŞMA

DP600 ve HSLA300 sac malzemelerin geri esneme değerleri incelendiğinde DP600 sac malzemede geri esneme açısının HSLA sac malzemeye nazaran daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum DP600 sac malzemenin sertliğinin HSLA sac malzemedan daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Sertliğin artması geri esneme açısını arttıran parametreler içerisinde yer almaktadır [11]. DP600 sac malzemede meydana gelen ortalama geri esneme açısının HSLA300 sac malzemedan %12,3 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ütuleme süresi; zımbanın malzeme üzerinde bekletilme süresi olarak tanımlanmaktadır [13]. Ütuleme süresinin artması geri esnemeyi azaltıcı etki yapmaktadır. Bunun sebebi zımbanın malzeme üzerinde kaldığı müddet arttıkça malzeme içerisindeki elastik gerilmelerin azalması kalıcı gerilmelerin artması olarak açıklanmaktadır [14]. Ütuleme süresinin 10 saniye artmasıyla DP600 sac malzemede geri esneme açısı ortalama %14,8 azalırken, HSLA300 sac malzemede geri esneme açısı ortalama %9,7 azalma göstermiştir. DP600 ve HSLA sac malzemelerde kalıp açısının artmasıyla geri esneme açısının önce arttığı daha sonra ise azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi kalıp açısının artmasıyla birlikte malzemenin geri eski halini almasını sağlayan elastik gerilmelerin artmasından kaynaklanmaktadır. Her iki malzemede de belli bir kalıp açısından sonra geri esneme açısının azalması ise gerilmelerin kalıp açısının artmasından dolayı dar bir büküm bölgesinde hapsedilmiş olup yayılmamasından kaynaklanmaktadır. DP600 sac malzemede 15 derece kalıp açısından 45 derece kalıp açısına kadar geri esnemenin önce ortalama %15,2 arttığı, daha sonra ise %27,6 azaldığı tespit edilmiştir. HSLA300 sac malzemede ise 15 derece kalıp açısından 30 derece kalıp açısına kadar esnemenin önce ortalama %10,4 arttığı, daha sonra ise %26,4 azaldığı gözlenmiştir.

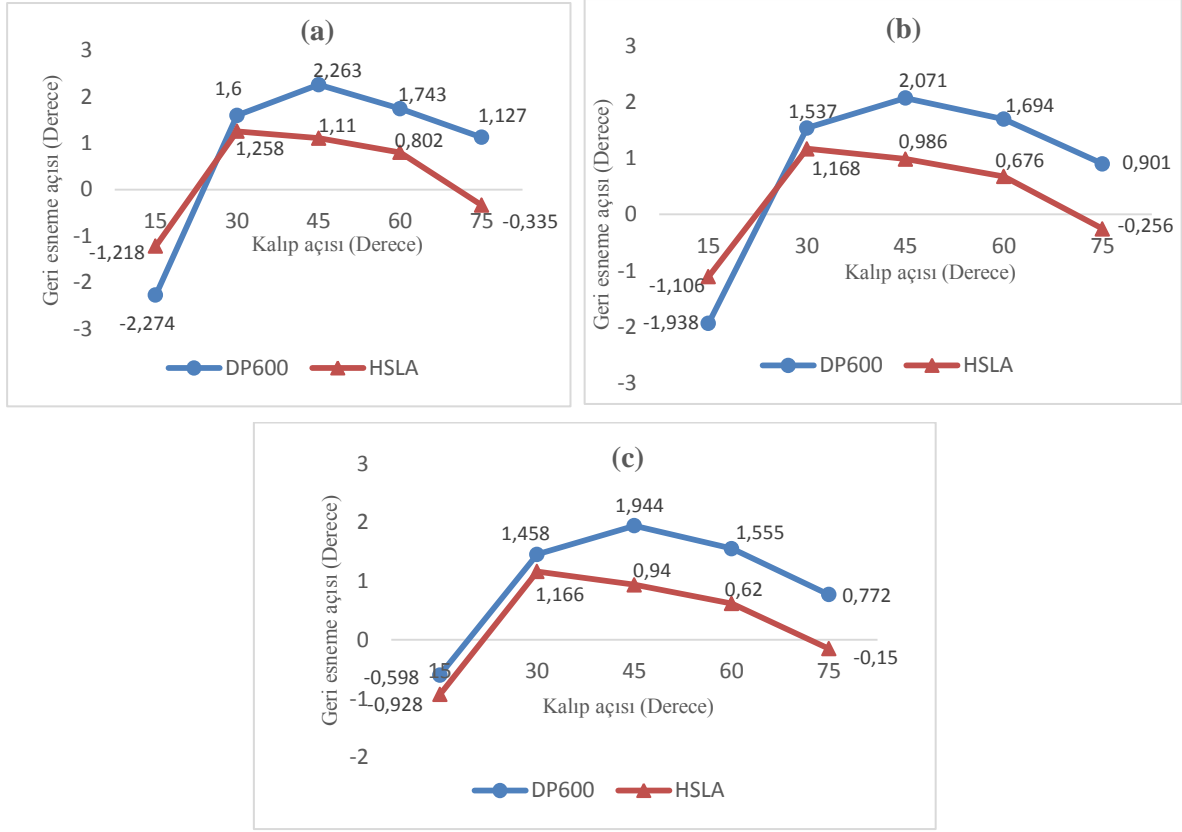
Zımbanın kalıp en alt noktasına kadar temas ederek yapmış olduğu bükme işlemlerinde (bottoming bending), sac malzeme kalıp ile zımba arasında preslenmekte ve zımbanın ucu malzemeyi ezmektedir. Büküm çizgisi boyunca bu ezilmeden dolayı sac kalınlığında incelme meydana gelmektedir. Bu durum 15 derece gibi küçük açılarda içeri doğru fazla bükülmeye (overbending) neden olmaktadır. Bundan dolayı her iki sac malzeme için de 15 derece büküm açılarında negatif geri esneme (ileri esneme) gözlemlenmiştir.

Ancak büküm açısının artması ile birlikte büküm bölgesinde ki gerilme miktarında (sac iç yüzeyinde basma ve sac dış yüzeyinde çekme) artma meydana gelmektedir. Artan bu gerilmeler, fazla bükümün oluşturmuş olduğu ileri esnemenin geri esnemeye dönmesine neden olmaktadır. Kalıp açısının 15 dereceden 30 dereceye artışı ile birlikte ileri esnemenin geri esnemeye dönüştüğü gözlemlenmektedir. Ancak, küçük zımba uç radyüsünün olduğu bükme operasyonlarında gerilmeler sac malzeme üzerinde büküm bölgesinde dar bir alanda toplanmaktadır. Büküm açısının artması ile birlikte bu gerilmelerin

sac malzeme üzerinde toplandığı alan daha da daralmaktadır. Bu nedenle kalıp açısının artmasına bağlı olarak geri esneme miktarında az da olsa azalma meydana gelmektedir. Düşük gerilimli sac malzemelerde 75 derece gibi daha büyük açılarda da bu gerilmeler fazla bükme etkisini aşamayarak malzemede negatif geri esnemenin gözlemlenmesine neden olmuştur [15]. Şekil 5 ve 6'da DP600 ve HSLA300 sac malzemelerin esneme grafikleri verilmiştir.



Şekil 5. Kalıp açısı ve ütüleme süresi etkisinde oluşan geri esneme grafikleri; a) 15, b) 30, c) 45, d) 60, e) 75 derece kalıp açısı



**Şekil 6.** Kalıp açısı ve ütüleme süresi etkisinde oluşan geri esneme grafikleri; a) 0, b) 10, c) 20 saniye ütüleme süresi

## IV. SONUÇ

Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Kalıp açısının artmasıyla her iki malzemede de geri esneme açısının önce arttığı daha sonra azaldığı belirlenmiştir. Bu durum kalıp açısının artışına bağlı olarak büküm bölgesindeki gerilmelerin artmasından kaynaklanmıştır. Esnemenin daha sonra azalması ise büküm bölgesinde gerilmelerin dar bir alanda hapsolmesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. DP600 sac malzemede 15 derece kalıp açısından 45 derece kalıp açısına kadar esnemenin önce ortalama %15,2 arttığı, daha sonra ise %27,6 azaldığı tespit edilmiştir. HSLA300 sac malzemede ise 15 derece kalıp açısından 30 derece kalıp açısına kadar esnemenin önce ortalama %10,4 arttığı, daha sonra ise %26,4 azaldığı gözlenmiştir.
- DP600 sac malzemede meydana gelen esneme açısının HSLA300 sac malzemeden %12,3 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum DP600 sac malzemenin HSLA300 sac malzemeye kıyasla sertliğinin daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.
- Ütüleme süresinin artmasıyla esneme açısında azalma olduğu tespit edilmiştir. DP600 sac malzemede ütüleme süresinin 10 saniye artmasıyla geri esneme açısında ortalama %14,8 azalma gözlenmiştir. HSLA300 sac malzemede ise ütüleme süresinin 10 saniye artmasıyla ortalama esneme açısının %9,7 azaldığı tespit edilmiştir.
- DP600 sac malzemede en yüksek geri esneme değeri 15 derece kalıp açısı ve 0 saniye ütüleme süresinde 2,274 derece, en az geri esneme değeri ise 15 derece kalıp açısı ve 20 saniye



ütüleme süresinde 0,598 derece olarak tespit edilmiştir. HSLA300 sac malzemede ise en yüksek geri esneme değeri 30 derece kalıp açısı ve 0 saniye ütüleme süresinde 1,258 derece, en az geri esneme değeri ise 75 derece kalıp açısı ve 20 saniye ütüleme süresinde 0,15 derece olarak gözlemlenmiştir.

## V. KAYNAKLAR

- [1] E. Malyer, S. K. Akgün, “Isıl işlemin AA6061 alüminyum alaşımı sac metal malzemenin şekillendirilmesine etkilerinin incelenmesi,” *DÜMF Mühendislik Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 741-751, 2018.
- [2] A. Işıktaş, İ. Ay, “Farklı Kalınlıklardaki Dkp Sacın Farklı Açılarda Yapılan V-Bükme İşlemindeki Geri Esnemelerinin İncelenmesi,” *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 17, s. 1, ss. 59-69, 2015.
- [3] S. Kılıç, F. Öztürk, S. Toros, “DP 800 çeliğinin Mekanik Özelliklerinin ve Geri Esneme Davranışının İncelenmesi,” *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, c. 11, s. 1, ss. 40-45, 2009.
- [4] P. Mulidran, E. Spisak, J. Majernikova, “Springback Prediction in Sheet Metal Forming Via FEA Simulation,” *The International Journal of Engineering and Science*, vol. 6, no. 9, pp. 49-52, 2017.
- [5] Y. Umur, “Dual Fazlı Çelik Saclarda Geri Yaylanma Probleminin Deneysel Olarak İncelenmesi,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2016.
- [6] A. Mkaddem, D. Saidane, “Experimental Approach and RSM Procedure on the Examination of Springback in Wiping-die Bending Processes,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 189, no. 2007, pp. 325-333, 2007.
- [7] N. Şen, N. Kurgan, “HC300LA ve HC420LA Sac Malzemelerde Ilık Şekillendirmenin Geri Esnemeye Etkisinin Deneysel İncelenmesi,” 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Antalya, Türkiye, 2016, ss. 523-532.
- [8] E. Lee, J. Hwang, C. Lee, D. Yang, W. Yang, “A local heating method by near-infrared rays for forming of non-querchable advanced high-strength steels,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 214, no. 4, pp. 784-793, 2014.
- [9] M. Türkmen, S. Gündüz, “Çift Fazlı Çeliklerde Martenzit Morfolojisinin Statik Deformasyon Yaşlanma Davranışı Üzerine Etkisi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 28, s. 2, ss. 353-362, 2014.
- [10] E. Salamcı, F. Kabakçı, “Çift Fazlı Çeliğin Çekme Özelliklerine Mikroyapının Etkisi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 26, s. 2, ss. 263-272, 2013.
- [11] M. Yenice, “Bükme ile Şekillendirilen Saclarda Geri Yaylanma Davranışının İncelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2006.

- [12] ASM Metals Handbook, *Forming and Forging*, 14. baskı, USA: International Handbook Committee A, 1993, böl. 3, ss. 1144.
- [13] E. Uslu, “Sac Malzemelerin Bükülmesinde Geri Yaylanma Davranışının Araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [14] Y. Zong, P. Liu, B. Guo, D. Shan, “Springback evaluation in hot V-bending of Ti-6Al-4V alloysheets,” *International Journal AdvManufTechnol*, vol. 76, no. 2015, pp. 577–585, 2015.
- [15] S. Benson, “The hows and whys of springback and springforward,” *The Fabricator*, 90-93, 2014.