



Bakır Sac Levhaların “V” Bükme Yöntemi İle Şekillendirilmesiyle Oluşan Geri Esneme Miktarının Deneysel Olarak İncelenmesi

Levent SAYIN, Gültekin BASMACI*¹

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Burdur

(Alınış Tarihi/Received: 22.09.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 20.11.2019)

*İlgili yazar/Corresponding Author: gbsmaci@mehmetakif.edu.tr

Anahtar Kelimeler

V bükme
Bakır sac levha
Geri yaylanma

Özet: Sac levhaların şekillendirilmesinde karşılaşılan problemlerden biri geri esnemedir. Kalıplardan çıkacak olan parçaların istenilen tolerans sınırlarında olması için, bükülen sac levhaların geri esneme miktarlarının belirlenmesi çok önem taşır. Bu çalışmada, V bükme kalıplarında bakır sac levhaların geri esneme miktarları deneysel olarak incelenmiştir. Geri esneme sonuçlarını belirlemek için V bükme kalıbı tasarlanmış ve deney malzemesi olarak, Bakır sac levhalar kullanılmıştır. 1 ve 2 mm kalınlıktaki numuneler 60, 90 ve 120 derece kalıp açılarında ve her açı için 2 mm ve 4 mm olan farklı bükme radyüs değerleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar belirlenen parametrelere göre karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bakır sac levhada geri yaylanma gözlemlenmiştir. Kalıp açısı arttıkça geri esnemenin azaldığı görülmüştür. Sac levha kalınlığının artmasıyla geri esneme miktarının azaldığı ve bükme radyüsü arttıkça geri esnemenin arttığı gözlemlenmiştir.

Experimental Investigation of the Springback Amount of Copper Sheet Plates Forming By “V” Bending Method

Keywords

V bending
Copper sheet metal
Springback

Abstract: One of the problems encountered in the shaping of sheet metal is springback. In order to ensure that the parts to be released from the molds are within the desired tolerance limits, it is important to determine the springback of the bended sheet plates. In this working, the springback of the coppersheet plates have been tested in V bending molds experimentally. To adjust springback we designed V bending molds and we have used copper sheets for material. Copper sheet plates were used as test material. Samples with thicknesses of 1 and 2 mm were tested at 60, 90 and 120 degrees mold angles and different bending radius values of 2 mm and 4 mm for each angle The results of the experiments have been compared according to the experiments. As a result of the experiments, the springback was observed in the copper sheet. It was seen that the mold angle increased as the spring back decreased. It was observed that the with the springback is decreased and with the increasing bending radius the springback is increased.

1. Giriş

Sac metal kalıplarıyla üretilen parçalar endüstride çok yaygın kullanım alanına sahiptir. Sektörel alanda; otomotiv parçaları, havacılıkta uçak parçaları, endüstriyel mutfak eşyaları, elektrik ve elektronik parçalar, olarak kullanılmaktadır. Kalıplılığın fazla uygulama yerlerinden birisi de bükme kalıplılığıdır. Sac levhaların kalıpla şekillendirilmesinde geri esneme (yaylanma) karşılaşılan en büyük problemlerden birisidir. Bükme işlemi sırasında malzemelerin davranışlarında değişiklikler meydana gelmektedir. Malzeme üzerinden bükme kuvveti kaldırıldığı zaman, sac levha bir miktar elastik şekil değişimine uğraması ve eski halini almaya çalışması durumu geri yaylanma olarak tanımlanmaktadır. Sac metal endüstrisinde geri yaylanma önemli bir etkiye sahiptir.

Bükme kuvvetinin V bükme yönteminde geri yaylanmaya etkileri araştırılmış, yapılan çalışmalarda bükme kuvvetinin yanı sıra, bükme radyüsünün de geri yaylanmaya olan etkilerini incelemişlerdir. Bükme radyüsünün büyük olması durumunda geri yaylanmanın arttığı, küçük olması durumunda ise geri yaylanma miktarının azaldığını tespit etmişlerdir (Forcellese vd., 1998). Alüminyum AL2024-T3 malzeme kullanarak, farklı kalıp açıları ve bükme radyüsleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında Abaqus ve Patran yazılımlarını kullanmışlardır. Sonlu elamanlar sonuçlarına göre, bükme radyüsünün azalması ve kalıp açısının artmasıyla geri yaylanma miktarının azaldığını gözlemlemişlerdir (Chan vd., 2004).

Sac levhaların geri yaylanma davranışını etkileyen malzeme özelliklerinden biri de elastiklik modülüdür. Elastiklik modülü, bükme işlemlerinin genelinde sabit bir değer olarak alınmaktadır. Fakat artan birim şekil değişimi miktarına bağlı olarak elastiklik modülünün değeri düşmektedir. Şekil değişimi miktarındaki artışla birlikte elastiklik modülündeki azalma, plastik şekil değişimi sırasında karşılaşılan mikro yapı farklılıkları ve oluşan artık gerilmelere yol açmaktadır (Yu, 2009). Malzemeye minimum bükme kuvveti uygulandığında geri yaylanmanın yüksek olduğu ve bükme kuvvetinin artırılması ile geri yaylanmanın önemli oranlarda azaltıldığını gözlemlemişlerdir. Bükme kuvvetinin etkisinin bükme radyüsünün artması ile arttığını tespit etmişlerdir (Panthi vd., 2007).

Isıl işlem kullanarak farklı kalınlıklarındaki alüminyum malzemelere üç farklı kalıp açısı ve kalıp değişkeni kullanılıp bükme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deney sonunda Von Mises gerilme dağılımları, plastik gerilme değerleri, kalıp kuvvetleri geri yaylanma özelliğine olan etkisini sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak teorik, ve deneysel olarak incelemiştir. Deney sonunda alüminyum malzemelerde ileri yaylanma tespit edilmiştir. Ayrıca kalınlık arttıkça geri yaylanmanın azaldığını gözlemlemiştir (Sarıkaya, 2008).

Bakhshi-Jooybari ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, CK67 çelik sac levha ile V- bükme işlemini 3 farklı kalınlık, 4 farklı bükme radyüsü kullanarak 60°lik kalıpta deney yapmışlardır. Yaptığı deney sonucunda, sac levha numunelerinde ileri yaylanma olduğu sonucuna varmışlardır. Bükme radyüsünün artmasıyla geri yaylanma miktarının arttığını gözlemlemişlerdir (Bakhshi-Jooybari vd., 2008).

Sac levhaların bükme işlemi uygulayarak şekillendirilmesinde en önemli etkenlerinden biri bükme radyüsüdür. Çünkü bükülebilirlikte takım geometrisinin önemi fazladır (Leu,1997). Malzemenin deformasyona uğramadan bükülebileceği en küçük radyüs değeri, o malzemenin bükülebileceğini ifade etmektedir. Bükme radyüsünün küçük seçilmesi durumunda şekillendirilen malzemenin en dış yüzeyinde aşırı miktardaki birim şekil değişimi neticesinde deformasyonlar gözlenmektedir (Hosford, 1993). Dolayısıyla sac levhaları bükme ile şekillendirme yöntemi uygularken, malzemede yırtık ya da çatlak oluşumlarını önlemek için büyük bükme radyüsleri tercih edilmektedir (Schüler,1998). İstenilen açıdaki bükmenin elde edilebilmesi için ıstampaya verilmesi gereken bükme radyüsü, geri esneme miktarı kadar azaltılır veya artırılır. (Buang, 2015). Bükme açısının artırılması veya azaltılması malzeme cinsine göre değişmektedir. Geri yaylanma miktarı tam olarak bilindiği zaman bükme radyüsü, küçültülerek veya büyütülerek istenilen bükme işlemi gerçekleştirilir (Özdemir, 2015).

2. Materyal ve Metot

Çalışmamızda V bükme kalıp tasarımı yaparak Bakır, sac levhalarının, 1 ve 2 mm kalınlıklarda, 2 ve 4 mm bükme radyüsünde geri yaylanma davranışlarının incelenmesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler grafikler ve tablolar halinde karşılaştırılmıştır.

Sac levhalarda V bükme işlemi sırasında geri yaylanma miktarının belirlenmesi ile ilgili gerçekleştirilecek olan deneylerde değişkenlik gösteren işlem parametreleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Solidworks yazılımı kullanılarak 3D çalışmalar yapılmış olup, elde edilen modele göre kalıp elemanları ölçüleriyle birlikte belirlenmiştir. Kalıp elemanlarının CNC Freze tezgâhında imalatı yapılmıştır.

Tablo 2.1. İşlem parametreleri

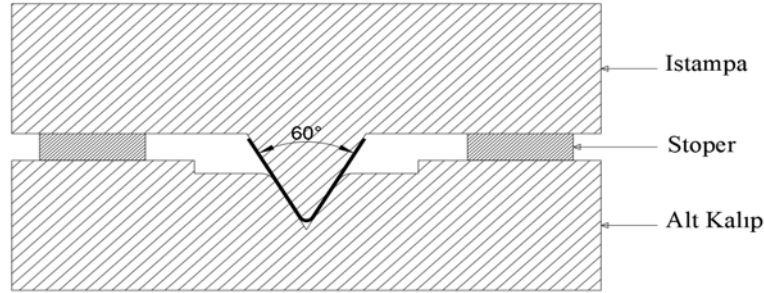
Malzeme	Bakır
Kalıp açısı (°)	60, 90, 120
Bükme radyüsü (mm)	2, 4
Malzeme kalınlığı (mm)	1, 2

Deneyde kullanılacak sac levhaların ebatları belirlenmiş olup hadde yönüne dik doğrultuda CNC Lazer tezgâhında kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. 150 tonluk Atölye tipi hidrolik pres yardımıyla V bükme deneyleri her parametre için 3 er defa tekrarlanarak toplamda 36 adet numuneye bükme işlemi yapılmıştır. Deneylerde ıstampa malzeme üzerinde 2 saniye bekletilmiştir. Bükme işlemi uygulanırken ıstampa ve alt kalıp arasına, sac levhalara fazla kuvvet uygulanmaması ve deforme olmaması için stoperler yerleştirilmiştir. Tablo 2.2'de kullanılan stoperlerin kalınlıkları verilmiştir.

Tablo 2.2. İşlem parametrelerine göre stoper kalınlıkları

Kalıp Açısı (°)	Malzeme kalınlığı (mm)	Stoper kalınlığı (mm)
60	1	10,3
	2	11,3
90	1	13,9
	2	14,9
120	1	9
	2	10

Şekil 2.1'de ise örnek olarak 60° V bükme kalıbında kullanılan stoperlerin gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. 60° V bükme kalıbı stoper gösterimi

2.1. Deney malzemelerinin özellikleri

V bükme deneylerinde 75x50 mm ebatlarında 1 ve 2 mm kalınlıklarında Bakır sac levhaları kullanılmıştır. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi sırasıyla Tablo 2.3'de; mekanik özellikleri ise Tablo 2.4' de verilmiştir.

Tablo 2.3. Bakır sac malzemesinin kimyasal özellikleri

Sn	Pb	Zn	P	Mn	Fe	Ni	Si	Al	Bi	Mg	S	Sb	Cu
0,0204	0,002	0,001	0,0005	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,0005	0,0005	0,001	0,002	99,9

Tablo 2.4. Deney malzemelerinin mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Yüzde uzaması (%)
Bakır	320-400	350-450	2-5

Deney kalıp elemanları, AISI 1050 imalat çeliğinden CNC dik işleme merkezinde hassas olarak işlenerek yapılmıştır. Bükme radyüsleri ve alt kalıp gösterimleri ise Şekil 2.1'de verilmiştir. Kalıp elemanlarında darbeden dolayı çatlama, kırılma ve malzemenin iç yapısında gerilimlerin oluşmaması için menevişleme işlemi

uygulanmıştır. Kalıp tasarımı yapılırken deneyde kullanılacak hidrolik presin boyutları ve kapasitesi dikkate alınmıştır.

Deney numuneleri daha hassas sonuçlar alınabilmesi için CNC Lazer yardımıyla hadde yönüne paralel 75x50 mm ölçülerinde kesilerek hazırlanmıştır. Şekil 2.2'de deneylerde kullanılan numuneler verilmiştir. Bükme kuvveti hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

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

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

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

Burada;

P_k = Bükme kuvveti (N)

P_e = Son Bükme Kuvveti (N)

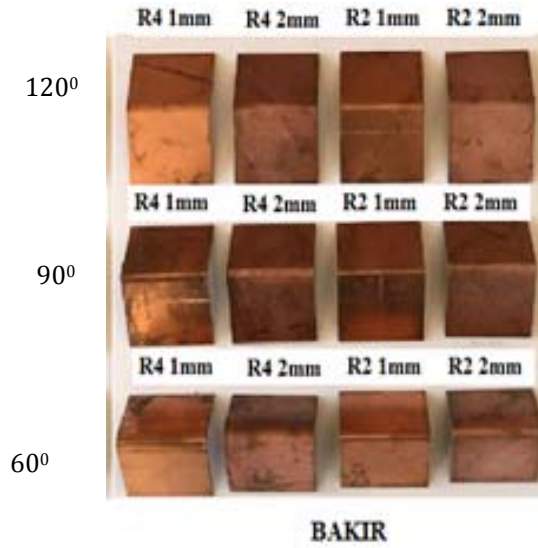
s = Sac levha kalınlığı (mm)

σ_b = Çekme mukavemeti (N/mm²)

b = Levha genişliği (mm)

c = Bükme kuvveti katsayısı

W = Kalıp açıklığı (mm)



Şekil 2.2. Deney numunesi

3. Deney Sonuçları ve Tartışma

Bükme işlemi, 60°, 90°, 120° açılarda 2 ve 4 mm bükme radyüslü kalıplar ile 1 ve 2 mm kalınlığındaki bakır sac levha kullanılarak yapılmıştır. Her parametre için üçer adet olacak şekilde toplamda 36 adet numune bükülmüştür.

Hadde yönüne dik olacak şekilde ıstampa malzeme üzerinde dikey yönde kuvvet uygulayarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

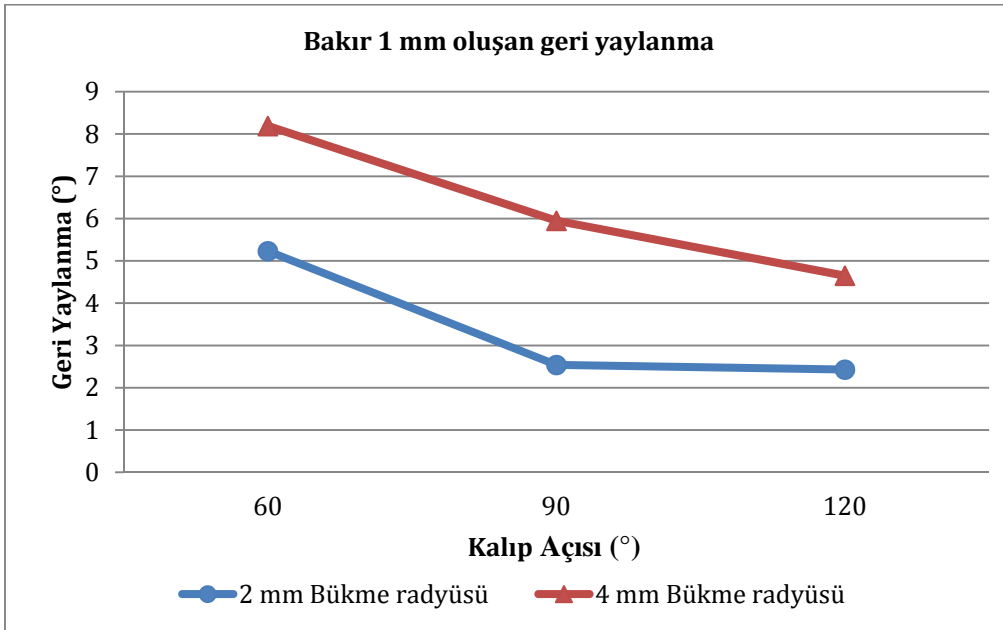
Tablo 3.1'de Takım ölçüm cihazında gerçekleştirilen bakır levhaya ait deneysel geri yaylanma açı değerleri verilmiştir. Tablo 3.1'deki verilerin görsel olarak karşılaştırılabilmesi için 1 mm bakır sac levhaya ait geri yaylanma açı grafiği Şekil 3.1'de, 2 mm bakır sac levha için ise Şekil 3.2'de verilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda V bükme işlemi yapılan malzemelerin, kesici takım görüntü işleme cihazında (Ez SET400) ölçümleri gerçekleştirilirken, merkez tabla üzerine yerleştirilip, lazerle merkezlenme işlemi yapıldıktan sonra sistem doğru tanımlanmaktadır. Daha sonra cihaz, düzlem ile doğru arasındaki açıyı hesaplayarak numunelerdeki ölçüm sonuçlarını vermektedir.

Tablo 3.1. Bakır sac levha deneysel geri yaylanma sonuçları

Kalıp Açısı [°]	Sac Kalınlığı [mm]	Bükme Radyüsü [mm]	Geri Yaylanma [°]
60	1	2	5,23
		4	8,19
	2	2	1,49
		4	2,15
90	1	2	2,54
		4	5,95
	2	2	1,53
		4	2,55
120	1	2	2,43
		4	4,65
	2	2	1,79
		4	3,46

Tabloda genel olarak 1, 2 ve 3 numaralı örneklerde ve bütün parametrelerde bulunan geri yaylanma değerlerinin ortalama değere yakın olduğu ve geri yaylanma açı değerlerinin birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

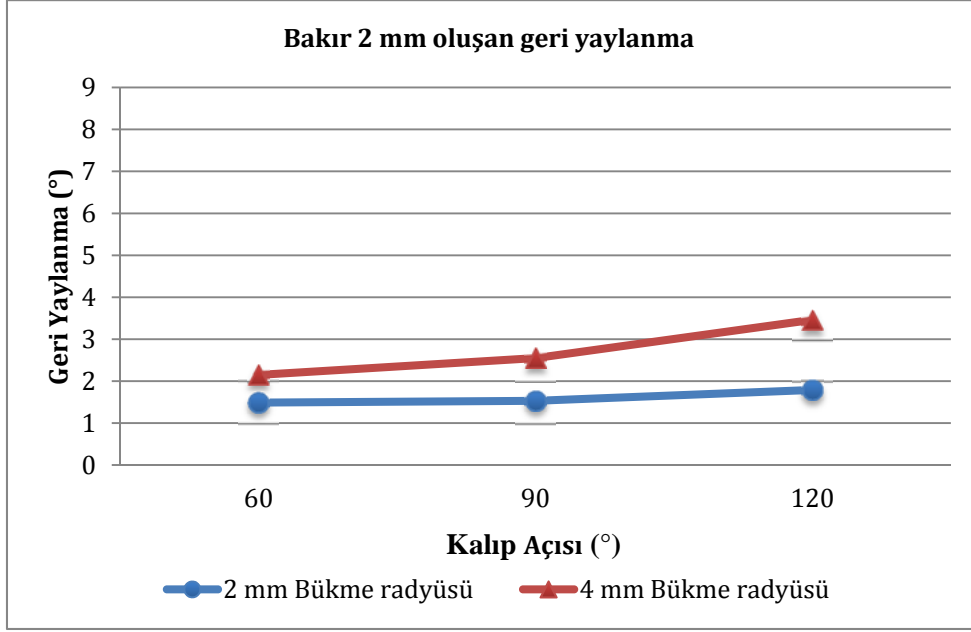
Tabloda Maksimum geri yaylanma 60° bükme açısına sahip 4 mm radyüslü kalıpta, 1 mm kalınlıktaki Bakır sac levhanın bükülmesi ile elde edildiği görülmektedir. Minimum geri yaylanma ise 120° bükme açısına sahip 2 mm radyüslü kalıpta, 2 mm kalınlıktaki Bakır sac levhanın bükülmesi sonucunda görülmektedir.



Şekil 3.1. 1 mm kalınlığındaki bakır sac levhanın kalıp açılarına göre geri yaylanma grafiği

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere 1 mm kalınlığındaki Bakır sac levha için minimum geri yaylanma 120° bükme açısına sahip kalıpta elde edilmiştir. Maksimum geri yaylanma ise 60° bükme açısına sahip kalıpta elde edilmiştir. 60° bükme açısına sahip kalıpta, 4 mm bükme radyüsleri ile yapılan bükümler neticesinde oluşan geri

yaylanma miktarı, 2 mm bükme radyüsündeki geri yaylanmaya göre %36,1 arttığı ve en az geri yaylanma değerinin 2 mm bükme radyüsünde (5,23°) olduğu gözlemlenmiştir. 90° bükme açısına sahip kalıpta, 4 mm bükme radyüsleri ile yapılan bükümler neticesinde oluşan geri yaylanma miktarı, 2 mm bükme radyüsündeki geri yaylanmaya göre %57,3 arttığı ve en az geri yaylanma değerinin 2 mm bükme radyüsünde (2,54°) olduğu gözlemlenmiştir. 120° bükme açısına sahip kalıpta, 4 mm bükme radyüsleri ile yapılan bükümler neticesinde oluşan geri yaylanma miktarı, 2 mm bükme radyüsündeki geri yaylanmaya göre %47,7 arttığı ve en az geri yaylanma değerinin 2 mm bükme radyüsünde (2,43°) olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre 60° bükme açısına sahip kalıplarda 1 mm Bakır sac levhanın bükülmesinde bükme radyüsünün geri yaylanma üzerine etkisinin kalıp açılarına göre en az olduğu gözlemlenirken, 90° bükme açısına sahip kalıplarda ise farkın en fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. 2 mm kalınlığındaki bakır sac levhanın kalıp açılarına göre geri yaylanma grafiği

Şekil 3.2'de görüldüğü üzere 2 mm kalınlığındaki Bakır sac levha için minimum geri yaylanma 60° bükme açısına sahip kalıpta elde edilmiştir. Maksimum geri yaylanma ise 120° bükme açısına sahip kalıpta elde edilmiştir. 60° bükme açısına sahip kalıpta, 4 mm bükme radyüsleri ile yapılan bükümler neticesinde oluşan geri yaylanma miktarı, 2 mm bükme radyüsündeki geri yaylanmaya göre %30,7 arttığı ve en az geri yaylanma değerinin 2 mm bükme radyüsünde (1,49°) olduğu gözlemlenmiştir. 90° bükme açısına sahip kalıpta, 4 mm bükme radyüsleri ile yapılan bükümler neticesinde oluşan geri yaylanma miktarı, 2 mm bükme radyüsündeki geri yaylanmaya göre %40 arttığı ve en az geri yaylanma değerinin 2 mm bükme radyüsünde (1,53°) olduğu gözlemlenmiştir. 120° bükme açısına sahip kalıpta, 4 mm bükme radyüsleri ile yapılan bükümler neticesinde oluşan geri yaylanma miktarı, 2 mm bükme radyüsündeki geri yaylanmaya göre %48,3 arttığı ve en az geri yaylanma değerinin 2 mm bükme radyüsünde (1,79°) olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre kalıplar arası bükme radyüs farkları, 60° bükme açısına sahip kalıplarda 2 mm Bakır sac levhanın bükülmesinde geri yaylanma üzerine etkisinin kalıp açılarına göre en az olduğu gözlemlenirken, 120° bükme açısına sahip kalıplarda ise farkın en fazla olduğu görülmektedir. Bakır sac levhaların kalınlıklarını, kalıp açılarına göre değerlendirdiğimizde 1 mm kalınlığındaki sac levhada kalıp açısı arttıkça geri yaylanma miktarının azaldığı görülürken, 2 mm kalınlığındaki sac levhada ise kalıp açısı arttıkça geri yaylanma miktarının arttığı görülmektedir.

4. Sonuçlar

Deney sonuçlarından elde edilen grafikler incelendiğinde, malzeme kalınlığının artmasıyla birlikte geri yaylanma miktarının azaldığı görülmektedir. Maksimum geri yaylanma miktarı 1 mm kalınlığında elde edilirken, minimum geri yaylanma miktarının ise 2 mm kalınlığında elde edildiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatürle örtüşmektedir. Malzeme kalınlığının artmasıyla geri yaylanma miktarının azalmasının nedeni bükme işlemi sonrasında, uç radyüste oluşan kalıntı gerilme değerinin azalmasından kaynaklanmaktadır (Livatyalı, 2001).

Kalıp açısının artmasıyla geri yaylanma miktarının azalmasının nedeni, bükme açısının artmasıyla sac levhanın dış yüzeylerinde şekil değişimine uğrayan bölgenin ve uzama miktarının artması sonucunda oluşur (Özdemir, 2010).

Bükme radyüsü incelendiğinde, 2 mm bükme radyüslü kalıplarda elde edilen geri yaylanma değeri, 4 mm bükme radyüslü kalıplara göre daha az olduğu görülmektedir. Bükme radyüsü geri yaylanmayı etkileyen nedenlerden birisidir. Geri yaylanma plastik bölgeye bağlıdır. Daha az bükme radyüsü, kuvveti daha büyük plastik deformasyon ve daha yüksek bölgesel gerinim seviyesi gerektiren dar bir alanda yoğunlaştırır. Bu sonuçtan dolayı, bükme radyüsünün artması geri yaylanma miktarının artmasına neden olmaktadır (Buang vd., 2015).

- Deneysel kullanımların malzemelere göre geri yaylanma miktarları farklılık göstermiştir. Bakır sac levhasının akma mukavemeti yüksek olduğu için geri yaylanma miktarı fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Bakır, çelik sac levhaların kalınlıklarının artması ile geri yaylanma miktarının azaldığı görülmektedir. Bu durumun sebebi bükme bölgesinde oluşan kalıntı gerilme değerinin azalmasından kaynaklandığı söylenebilir.
- V bükme kalıp açılarının artmasıyla 1 mm Bakır, sac levhalarda geri yaylanma miktarının azaldığı tespit edilmiştir. 2 mm Bakır sac levhalarda ise kalıp açısının artmasıyla geri yaylanma miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir. Genel olarak kalıp açısının artması sonucunda geri yaylanma miktarının azalması sac levhaların bükme işlemi sonrasında dış yüzeylerindeki şekil değişimine uğrayan bölgelerin uzama miktarının azalmasından kaynaklandığı söylenebilir.
- Deneysel kullanımların 2 mm bükme radyüslü kalıplarda elde edilen geri yaylanma değerinin 4 mm bükme radyüslü kalıplara göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Daha az bükme radyüsü olan kalıplarda ıstampa kuvveti, malzeme üzerinde daha büyük plastik deformasyon ve daha yüksek bölgesel gerinim oluşturarak dar bir alanda yoğunlaştırır. Bu sebepten dolayı bükme radyüsünün azaldığı zaman kuvvet geniş bir plastik bölge boyunca yayılacağı için geri yaylanmayı azalttığı söylenebilir.

Teşekkür

Bu çalışma 0536-YL-18 numaralı proje olarak Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

Forcellese, A., Fratini, L., Gabrielli, F., Micari, F. (1998). The evaluation of springback in 3D stamping and coining processes, *Journal of Materials Processing Technology*, 80–81, 108–112.

Chan, W.M., Chew, H.I., Lee, H.P., Cheok, B.T. (2004). Finite element analysis of spring-back of V-Bending sheet metal forming processes, *Journal of Materials Processing Technology*, 148, 15-24.

Yu, H. Y. (2009). Variation of elastic modulus during plastic deformation and its influence on springback, *Materials and Design*, 30, 846-850.

Panthi, S. K., Ramakrishnan N. (2007). An analysis of springback in sheet metal bending using finite element method (FEM), *Journal of Materials Processing Technology*, 180, 80-85.

Sarıkaya, O.T. (2008). Analysis of heat treatment effect on springback in V- Bending, Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Bakhshi, J.M., Rahmani B., Daezadeh V., Gorji A. (2008). The study of spring-back of CK67 steel sheet in V-Die and U-Die bending processes, *Materials and Design*, Faculty of Mechanical Engineering Babol University of Technology, Mazandaran, Iran, 30, 2410-2419.

Leu, D. K. (1997). A simplified approach for evaluating bendability and springback in plastic bending of anisotropic sheet metals, *Journal of Materials Processing Technology*, 66, 9-17.

Hosford, W. F., and Caddell, R. M. (1993). *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*, Prentice Hall, New Jersey, 42-45.

Schüler GmbH. (1998). *Metal Forming Handbook*, Springer, Berlin, 38-48.

Özdemir, M. (2015). Sac Malzemenin Geri-İleri Esneme Miktarı ve Deformasyon İlişkisinin Deneysel ve Matematiksel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Buang, MS., Abdullah, SA., Saedon, J. (2015). Effect of Die and Punch Radius on Springback of Stainless Steel Sheet Metal in The Air V-Die Bending Process, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 8, 1322-1331.

Livatyalı, H., and Altan, T., (2001). Prediction and elimination of springback in straight flanging using computer aided design methods, *Journal of Materials Processing Technology*, 117, 262-268.