

# Farklı Kalınlıklardaki Dkp Sacın Farklı Açılarda Yapılan V-Bükme İşlemindeki Geri Esnemelerinin İncelenmesi

Ali İŞIKTAŞ<sup>1,\*</sup>, İrfan AY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Namık Kemal Üniversitesi Hayrabolu MYO. Makina Bölümü, Tekirdağ.

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Böl., Çarşı kampüsü, Balıkesir.

## Özet

Sac malzemelerin şekillendirilmesinde karşılaşılan en büyük problemlerden biri geri esnemedir. Sac malzemedede oluşan geri esneme, istenilen ölçülerin değişmesine yol açar bu da istenilmeyen bir olaydır. Kalıptan çıkacak parçanın istenilen tolerans sınırları içinde olması için bükme kalıplarında bükülen sac malzemelerin geri esneme miktarlarının bilinmesi bu yüzden çok önemlidir. Bu çalışmada, V-bükme kalıplarında geri esnemenin deneysel olarak tespiti araştırılmıştır. Geri esneme miktarlarının belirlenebilmesi için bir V-bükme kalıbı tasarlanmış, deney malzemesi olarak DKP sac kullanılmıştır. Numuneler 60, 90 ve 120 derece olan V-bükme kalıp açılarında ve her açı için de 2 mm ve 6 mm olan farklı zimba radyüs değerleri kullanılarak bükme yapılmıştır. Geri esneme deneylerinde her bir parametre için 5 er adet numune bükülerek test yapılmıştır. Deney sonrası bükülmüş olan numunelerin geri esnemeleri açı ölçer ve optik projeksiyon cihazı kullanılarak ölçülmüş olup sonuçlar grafikler üzerinde gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** V bükme, geri esneme, bükme açısı, kalınlık, zimba radyüsü.

## Examining The Springback Of Dkp Sheet With Different Thickness In The V-Bending Process Carried Out In Different Angles

### Abstract

One of the biggest problems in forming sheet metals is to springback. Springback which occurs in material causes to change of the necessary measures and this is an unwanted event. It is vital to know that springback quantity of bending materials in V-bending mould so as to be the piece in tolerance limits. In this study, the evaluation of

\* Ali İŞIKTAŞ, aisiktas@nku.edu.tr, Tel: (282) 250 38 27.

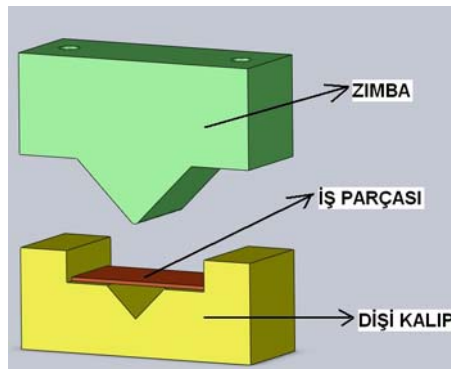
*springback in V-bending mould was empirically researched. In order to determine the quantity of springback, a V-bending mould was designed, DKP was used as test equipment. The specimens were in 60, 90 and 120 V-bending mould angle and they were bended by using 2 and 6 mm different punch radius rate in every angle. In springback tests, test was made by bending 5 specimens for every parameter. After the test, springbacks of the specimens that were bended was measured by using protractor and optical projection device and the results were shown on the graphs.*

**Keywords:** V bending, springback, bending angle, thickness, punch radius.

## 1. Giriş

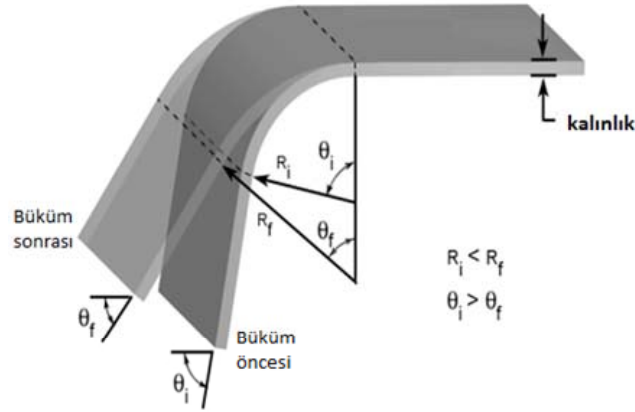
Şekillendirilmiş sac malzemelerin endüstrideki kullanım alanları oldukça geniştir. Etrafımıza baktığımızda araçların gövdelerinde, tıbbi cihazlarda, mutfak eşyalarında ve beyaz eşyalarda birçok parçanın soğuk sac şekillendirme ile elde edildiğini görmekteyiz. Bütün bu ürünlerde kalıpsal ürünü ortaya koymak ne kadar önemli ise düşük maliyetli, daha hızlı ve problemleri önceden çözülmüş daha düzgün kalıp üretmekte o kadar önemlidir. Bükme kalıplarının yapım aşamasında istediğimiz ürünü elde edebilmek için kalıp üzerinde birçok işlem gerçekleştirilir. İstenilen ölçünün elde edilebilmesi için birçok defa kalıp sökölür tezgâha bağlanır, tekrar takılır. Bu işlemler zaman kaybına, maliyete, işçilik kaybına ve bunun gibi olumsuz yönde üretimimizi etkileyen olumsuz sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Bu yapılan işlemler ise deneysel ve çok maliyetli yöntemlerdir. Bu çalışmada, bu soruna yönelik olarak endüstride kullanılan sac parçaların kalıplarla imalatı esnasında karşılaşılan geri esneme problemi incelenmiştir. Sac şekillendirmede, metot olarak birçok yöntem kullanılmaktadır. En çok kullanılan bükme yöntemleri V bükme, U bükme, kenar bükme, serbest bükme çeşitleridir.

Bu çalışmada kullanılan yöntem V-bükme işlemidir. V-bükme yöntemiyle parça üzerine kuvvet uygulanarak yapılan deneylere ait şema Şekil 1’de verilmiştir



Şekil 1. V-Bükme operasyonu.

Bükme işleminin sonunda uygulanan kuvvetin kalkmasıyla deformasyona uğrayan malzeme, bir miktar geri esneyerek istenilen formdan uzaklaşmaktadır. Malzemede oluşan bu geri esneme, istenilen ölçülerin değişmesine yol açar bu da istenilmeyen bir olaydır. Bu durum Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2’de görüldüğü gibi geri esneme sonrası bükme açısı daha küçülmüş ve bükme yarıçapı ise büyümüşür [1].



Şekil 2. Büküm öncesi ve sonrası sac malzeme

Böyle durumlarda geri esnemeyi telafi edecek şekilde tekrar kalıp hazırlanmak durumunda kalınmaktadır, bu da ayrı zaman ve maliyet anlamına gelir. Bu nedenle oluşacak geri esnemeyi daha önceden tahmin etmek, zaman ve maliyet açısından önemli kazançlar sağlar.

Sac malzemelerin şekillendirilmesi işleminde, şekillendirme sonrası arzu edilen parça geometrisi etkilendiğinden, geri yaylanmanın telafi edilmesi gerekmektedir. Malzeme bazında geri yaylanma miktarı ne kadar çok olursa olsun, uygun kalıp tasarımları ile geri yaylanmaya müdahale etmek mümkün olmaktadır. Ancak, tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir [2,3]. Geri yaylanmayı telafi edebilmek amacıyla çeşitli yöntemlerden faydalanılmaktadır. Bükme işlemi sonrası karşılaşılan geri yaylanmayı telafi etmede en sık karşılaşılan yöntemlerden bazıları şunlardır [4-6];

- Aşırı bükme
- Bükme bölgesinin ezilmesi
- Gererek bükme
- Ters bükme...

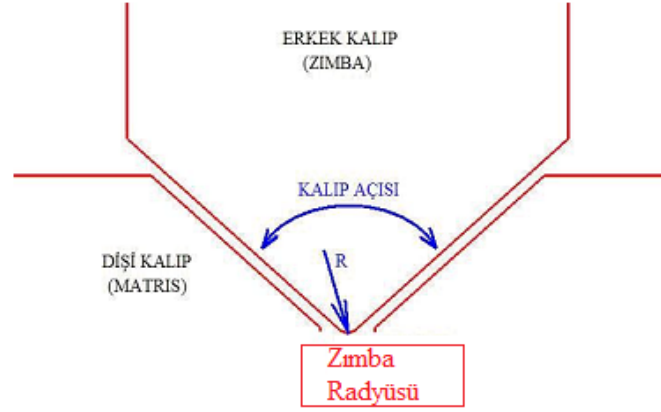
Geri yaylanma; malzemelerin mekanik özellikleri, proses parametreleri, boyutsal faktörler gibi birçok değişkenin çoklu etkileşimine bağlı olduğu bilinmekte olup geri yaylanma davranışını etkileyen parametreler şunlardır [8,9];

- |                         |                     |
|-------------------------|---------------------|
| - Kalınlık              | - Kalıp Açıklığı    |
| - Baskı Plakası Kuvveti | - Anizotropi        |
| - Akma Dayanımı         | - Elastiklik Modülü |
| - Sıcaklık              | - Sürtünme          |
| - Şekillendirme Hızı    | - Pekleşme Üsteli   |
| - Tane Boyutu           | - Zimba radyüsü     |

Sac malzemelerin bükülerek şekillendirilmesinde önemli parametrelerden biri de zimba radyüsüdür. Zira, bükülebilirlik takım geometrisinden etkilenmektedir. Malzemenin hasara uğramadan bükülebileceği en küçük zimba radyüs değeri, o malzemenin bükülebilirliğini ifade etmektedir. Genellikle, çok küçük radyüs değerlerinde bükme işlemleri yapmak çok zordur. Bükme radyüsünün çok küçük olması durumunda, şekillendirilen malzemenin en dış lifinde karşılaşılan aşırı miktardaki birim şekil değişimi neticesinde hasar gözlenebilmektedir. Ayrıca, DKP sac gibi malzemelerde,

küçük radyüslerde gerçekleştirilen şekillendirme işlemi neticesinde, arzu edilmeyen yüzey özellikleri ile karşılaşılabilir. Dolayısıyla, bükme ile şekillendirmede, malzemede yırtık ya da çatlak oluşumlarını önlemek için büyük bükme radyüsleri tercih edilmektedir [9,10,11].

Bu çalışmada bir küçük (2 mm), bir de büyük (6 mm) radyüslü zımba seçilmiştir. Bu farklı zımba radyüslerinin bükme sonrası malzemede oluşturacağı geri esneme miktarları araştırılmıştır. Kalıp açısı ve zımba radyüsünün gösterilmesine ait örnek ise Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Kalıp açısı ve zımba radyüsü

Literatürde L.J. de Vin, A.H. Streppel, U.P. Singh, H.J.J. Kals serbest bükme modelinin prosesleri hakkında çalışmışlardır. Sacın serbest bükmedeki hallerini modellemiş ve sacın davranışını deneysel ve matematiksel olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçları birbiriyle karşılaştırarak tablolar halinde kullanılabilirliğini göstermişlerdir [12].

Sriram ve arkadaşları sinterlenmiş bakır sacların üzerindeki V-bükme prosesinin deneysel ve teoriksel olarak karşılaştırmalarını yapmışlardır [13].

Yukarıda verilen literatür çalışmaları incelendiğinde, çalışmaların genelde malzeme, bükme açısı ve kalınlık parametrelerinin deneysel veya sonlu elemanlar yöntemiyle geri esnemeye etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada ise malzeme, bükme açısı ve kalınlığın yanında zımba radyüsünün geri esneme üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca deneysel olarak yapılan çalışmanın verileri, grafik ve tablolar halinde birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

## 2. Deneysel çalışma

Deneysel çalışmanın amacı, V-bükme yönteminde değişen parametrelerin, sac malzemelerin geri esneme davranışı üzerine etkilerinin incelenmesidir. Burada bahsi geçen parametreler temel olarak; bükme radyüsü, bükme açısı (kalıp açısı) ve malzeme kalınlığıdır. Deney parametreleri ve bunların değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

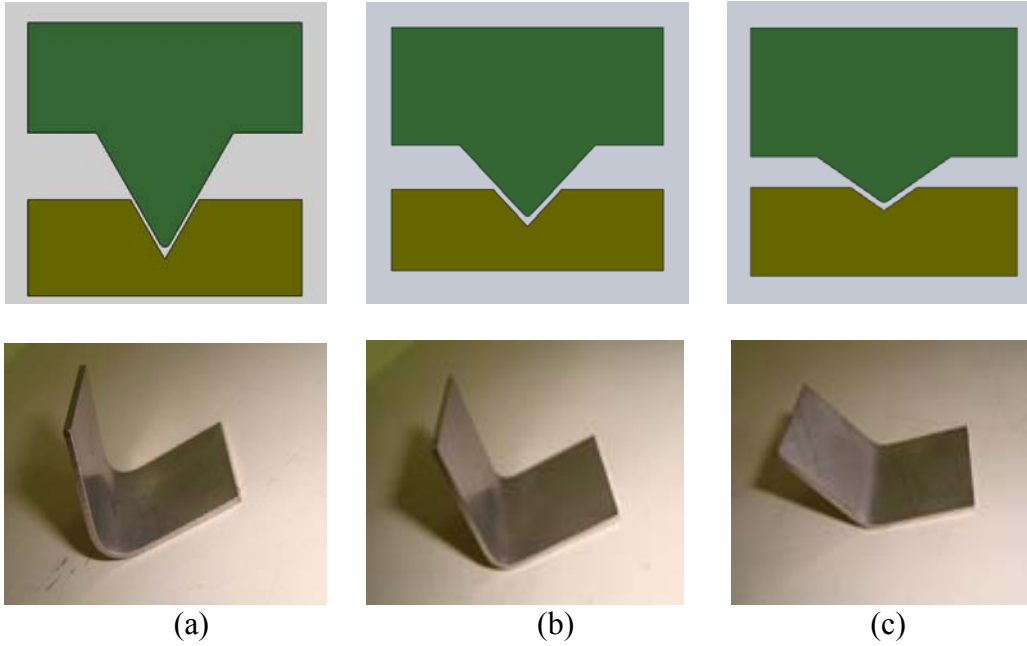
Deney numuneleri 30x60 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Deneysel DKP Sac kalınlığı olarak 1 mm, 1.5 mm ve 2 mm kalınlıkları kullanılmıştır. Farklı kalınlıktaki bu numuneler 60, 90, 120 derece değerlerindeki kalıp açıları kullanılarak bükme işlemleri

Şekil 3'deki kalıp ile yapılmıştır. Bükme işlemlerinde önce 2 mm'lik zımba radyüsü, daha sonra 6 mm'lik zımba radyüsü kullanılmıştır. Sonuçların sağlıklı yorumlanabilmesi için, aynı yönde haddelenmiş saclar alınarak her durum için (5) beş adet deney yapılmış ve elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Bükme açıları ve bükme sonrası numunelerin görünümü Şekil 4'de görülmektedir.

Tablo 1. Deney parametreleri.

Deney Parametreleri			
Bükme radyüsü	2 mm	6 mm	
Kalıp açısı	60°	90°	120°
Malzeme kalınlığı	1 mm	1.5 mm	2 mm

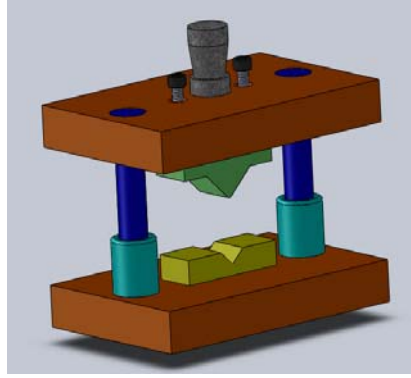
Kalıbın imali sırasında CNC freze tezgahı, tel erozyon tezgahı, matkap tezgahı, hidrolik testere, hidrolik pres tezgahı ve bunların ekipmanları kullanılmıştır. Özellikle kalıp parçalarının yapımında CNC freze tezgâhından faydalanılmıştır. Deneyde kullanılan kalıp parçaları CNC freze tezgâhında kararlaştırılan bükme açılarında 0.005 mm hassasiyetle işlenmiştir. Bu ölçünün ve bükme şartlarının değişmesi, elde edilen sonuçları değiştirebileceği için hassas işlem teknikleri kullanılmıştır. Oluşturulan V-bükme deney düzenekleri 20 ton kapasiteli hidrolik preste çalıştırılmıştır. Sac malzemeleri bükmek için kullanılan presin hızı ayarlanabilir olup deney sırasında 30 cm/dk sabit hız kullanılmıştır. Deneyler için tasarlanan kalıp modeli ve deneylerde kullanılan bükme kalıbının resmi ise Şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir.



Şekil 4. Deneyde kullanılan kalıp açıları ve bükülen numuneler a) 60° b) 90° c) 120°

Numune, deney başlatılmadan önce kalıba yerleştirilmiştir. Sac numunesinin boyu ile sacın koyulacağı yerin boyu aynı ölçülerde olduğu için sac düzgün bir şekilde kalıba oturması sağlandı. Daha sonra pres ve prese bağlı olan bilgisayar çalıştırılarak deney başlatıldı. Presin çalışması ile zımba malzemeye temas etti ve bükme işlemi başlamış oldu. Bükme işlemi zımba ile dişi kalıp arasında sac kalınlığı kadar mesafe kalana kadar devam ettirildi. Sac kalınlığı kadar mesafe bırakılmasındaki amaç ise sacın deforme olarak yapısının bozulmasını önlemektir. 60°, 90° ve 120° bükme geometrisi elde

edilmesiyle birlikte, V-bükme işlemi deneysel olarak tamamlandı. Ardından üst plaka ters yönde düşey hareketini gerçekleştirerek zımbanın sac malzeme üzerinden kalkması sağlandı. Daha sonra malzeme kalıp boşluğundan çıkartılıp, bir sonraki sac malzemeye aynı işlemler uygulanarak V-bükme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



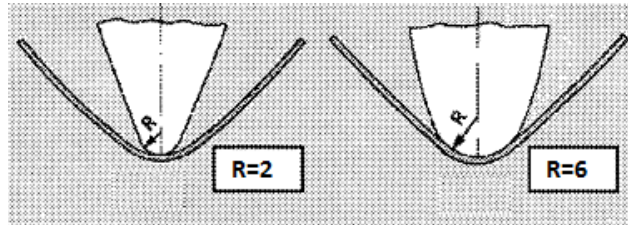
Şekil 5. V-bükme işlemi için tasarlanan kalıp modeli.



Şekil 6. V-bükme kalıbı.

Deney çalışmalarında iki farklı zımba radyüsü kullanılmıştır. İlk deney grubunda malzeme, kalınlık, bükme açısı ve diğer parametreler sabit tutularak 2 mm'lik zımba radyüsü kullanılarak bükülmüştür.

İkinci deney grubunda ise aynı şekilde malzeme, kalınlık, bükme açısı ve diğer parametreler sabit tutulmuş olup 6 mm'lik zımba radyüsü kullanılmıştır. 2 mm ve 6 mm'lik zımba radyüsleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Zımba (bükme) radyüsleri.

V-bükme işlemleri sırasında değiştirilmeyen diğer parametreler ise hadde yönü, kalıp açıklığı, kalıp boşluğu, zımbanın sac üzerinde bekleme süresi ve pres hızıdır. Bu

parametreler sabit tutularak farklı zımba radyüslerinin sacta oluşan geri esnemeye etkileri araştırılmaktadır.

Deneyle gelişmiş laboratuvar ortamında yapılmıştır. Kullanılan bu deney düzeneğinde hassas sonuçlar alabilmek için zaman ve hızı ayarlanabilmek adına prese bağlı bir bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Bükme işlemi yapılan numunelerin geri esneme değerlerini öğrenmek için optik projeksiyon cihazı kullanılmıştır. Kullanılan bu ölçüm cihazı, açı olarak bir dakika hassasiyetine sahip olup deney numuneleri tekrar tekrar ölçülmüş ve çıkan sonuçlar kontrol edilmiştir.

### 3. Deney sonuçları

DKP sac malzemesi kullanılarak yapılan V-bükme operasyonu sonucunda elde edilen geri esneme değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir. 2 mm zımba radyüsü ile bükülen farklı kalınlıklardaki DKP sac malzemelerin bükme açıları ve büküm sonrası geri esneme değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. 6 mm zımba radyüsü ile bükülen farklı kalınlıklardaki DKP sac malzemelerin bükme açıları ve büküm sonrası geri esneme değerleri ise Tablo 3'de gösterilmiştir.

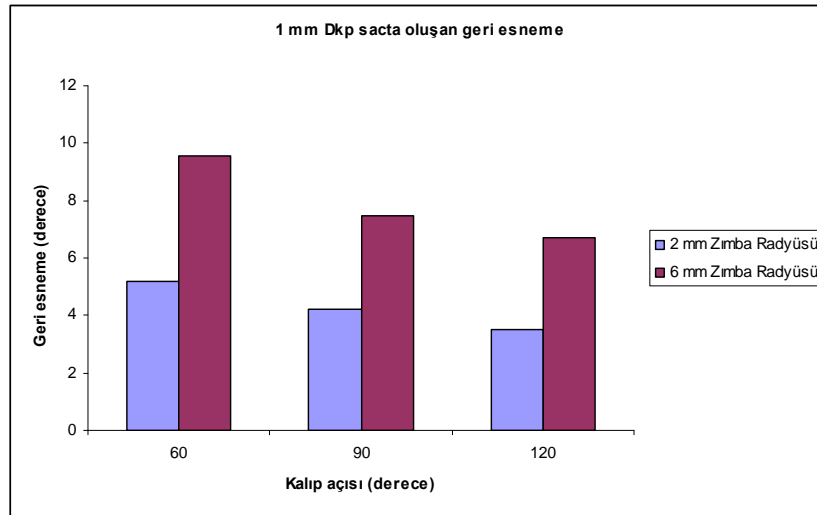
Tablo 2. 2 mm zımba radyüsü ile bükülen farklı kalınlıklardaki DKP sac malzemelerin bükme açıları ve büküm sonrası geri esneme değerleri

Kalıp Açısı	Numuneler					Deney Ortalaması (°)	Geri Esneme (°, ')	
	1.Numune	2.Numune	3.Numune	4.Numune	5.Numune			
1 mm	60	65,16	65,24	65,22	65,08	65,32	65,20	5° 12'
	90	93,96	94,54	94,61	94,08	93,92	94,22	4° 13'
	120	123,41	123,47	123,52	123,54	123,58	123,50	3° 30'
1.5 mm	60	64,86	64,78	63,92	63,96	64,80	64,46	4° 28'
	90	92,94	93,04	92,64	92,33	92,35	92,66	2° 40'
	120	121,93	121,90	121,91	122,02	121,82	121,91	1° 55'
2 mm	60	63,54	63,48	63,42	63,60	63,44	63,50	3° 30'
	90	91,07	91,34	91,33	90,96	91,32	91,20	1° 12'
	120	120,25	120,04	120,13	119,96	120,28	120,13	8'

Deneysel çalışmalar sonucunda DKP sacın 2 ve 6 mm zımba radyüsleri kullanılmasına bağlı olarak, Şekil 8'de 1 mm kalınlıktaki DKP sacta oluşan geri esneme değerleri, Şekil 9'da 1,5 mm kalınlıktaki DKP sacta oluşan geri esneme değerleri ve Şekil 10'da ise 2 mm kalınlıktaki DKP sacta oluşan geri esneme değerleri grafik üzerinde verilmiştir.

Tablo 3. 6 mm zımba radyüsü ile bükülen farklı kalınlıklardaki DKP sac malzemelerin bükme açıları ve büküm sonrası geri esneme değerleri

Kalıp Açısı	Numuneler					Deney Ortalaması (°)	Geri Esneme (°, ')	
	1.Numune	2.Numune	3.Numune	4.Numune	5.Numune			
1 mm	60	69,81	69,73	69,34	69,21	69,73	69,56	9° 34'
	90	97,72	96,96	97,45	97,77	97,58	97,50	7° 30'
	120	126,88	126,43	126,55	127,06	126,63	126,71	6° 43'
1.5 mm	60	68,66	68,62	68,41	69,05	68,42	68,63	8° 38'
	90	96,22	96,74	96,45	96,64	96,47	96,50	6° 30'
	120	125,73	124,96	125,18	125,66	125,58	125,42	5° 25'
2 mm	60	66,34	66,64	65,88	66,34	66,18	66,28	6° 17'
	90	95,15	94,92	94,86	95,48	95,44	95,17	5° 10'
	120	123,75	123,44	123,56	123,71	123,43	123,58	3° 35'



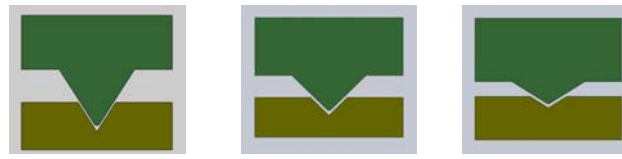
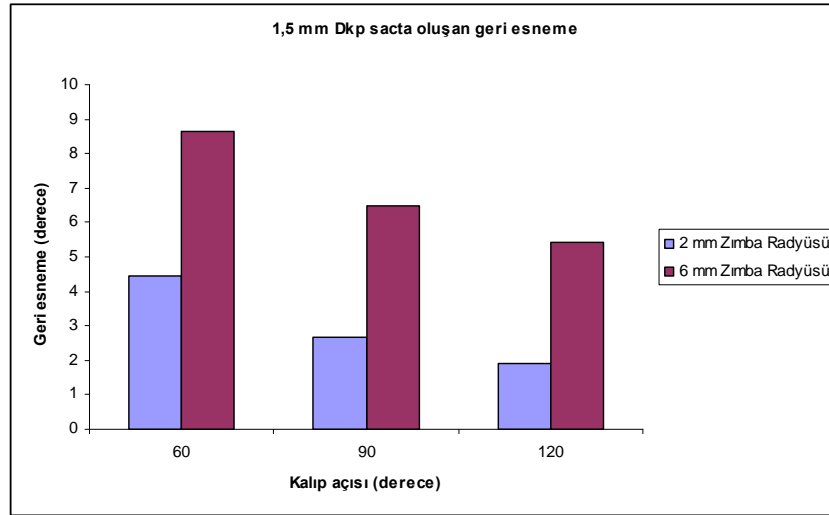
a) 60°

b) 90°

c) 120°

Şekil 8. 1 mm kalınlıktaki DKP sac'ta oluşan geri esneme değerleri a)60° b)90° c)120°



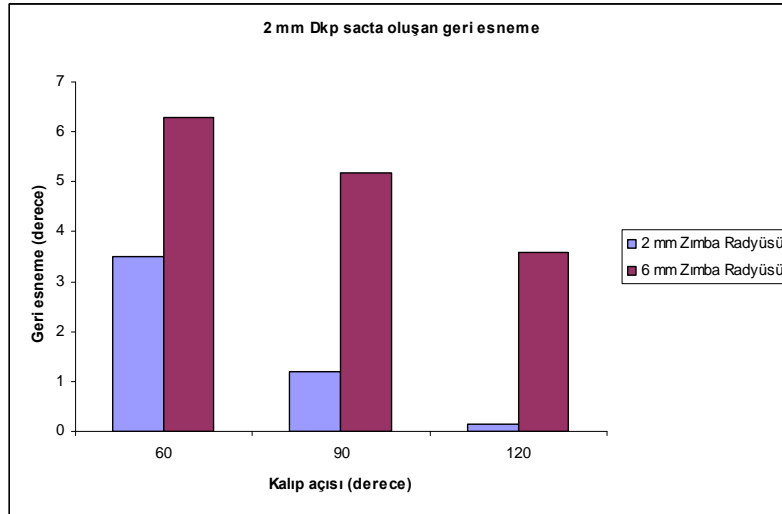


a) 60°

b) 90°

b) 120°

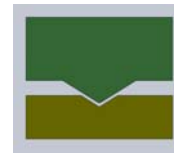
Şekil 9. 1,5 mm kalınlıktaki DKP sacda oluşan geri esneme değerleri a)60° b)90° c)120°



a) 60°



b) 90°



b) 120°

Şekil 10. 2 mm kalınlıktaki DKP sacda oluşan geri esneme değerleri a)60° b)90° c)120°

#### 4. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada V bükme kalıbı ile bükme operasyonunda değişik kalınlıktaki DKP sac parçaları kullanılmış olup bu parçaların farklı bükme açıları ve farklı zımba radyüslerinde geri esneme değerleri incelenmiştir.

Kalıp ve malzeme parametreleri değiştikçe geri esneme değerlerinin de değiştiki görölmüştür.

1, 1.5 ve 2 mm kalınlığındaki DKP sacın bükülmesinde kullanılan 6 mm zımba radyüsünde oluşan geri esneme değerleri, 2 mm zımba radüsünde oluşan geri esneme değerleri göre daha fazla olduğu görölmektedir. Bu sonuç zımba radüsünün artmasıyla geri esneme miktarının da artığı sonucunu çıkarmaktadır. Ayrıca aynı zımba radyüslerinde oluşan geri esnemelere bakılarak bükme açısının geri esnemeye etkisini de karşılaştırmak mümkündür. Örneğin 2 mm zımba radyüs değeri ile yapılan deneylerde olduğu gibi bükme açısı arttikça geri esnemenin azaldığı görölmüştür (Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10).

Malzeme kalınlığının artması ile geri esneme değerinin azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 2 ve Tablo 3).

Bükme açısının artması ile de geri esneme değerinin azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 2 ve Tablo 3).

Öneri olarak; geri esnemeyi ve geri esnemenin nihai parça geometrisine etkilerini minimize etmek için kullanılan fazladan bükme, ezerek bükme, gererek bükme, ters bükme, vs. şeklindeki maliyet ve zaman kaybına neden olan bu yöntemlerin yerine bu çalışmadan elde edilen veriler kullanılabilir. Ayrıca bu deney sonuçları ve yapılacak yeni çalışmalar ile farklı akma mukavemetine sahip aynı tip malzemeler ile farklı tip malzemeler için de bu deneyler yapılarak geri esneme için matematiksel modeller çıkarılabilir.

#### Kaynaklar

- [1]. Tekaslan, Özgür, Ulvi Şeker, and Ahmet Özdemir. Determining springback amount of steel sheet metal has 0.5 mm thickness in bending dies, **Materials & design**, 27, 3, 251-258 (2006).
- [2]. Gan, W., and Wagoner, R. H., Die design method for sheet springback, **International Journal of Mechanical Sciences**, 46, 1097-1113, (2004).
- [3]. Tekiner, Z., An experimental study on the examination of springback of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies, **Journal of Materials Processing Technology**, 145, 109-117, (2004).
- [4]. Schey, J. E., **Introduction to Manufacturing Processes**. McGraw-Hill, NewYork (1987).
- [5]. Wang, J., Verma, S., Alexander, R., and Gau, J. T., Springback control of sheet metal air bending process, **Journal of Manufacturing Processes**, (2007).
- [6]. Chen, P., and Koç, M., Simulation of springback variation in forming of advanced high strength steels, **Journal of Materials Processing Technology**, 190, 189-198, (2007).

- [7]. Yi, H. K., Kim, D. W., Van Tyne, C. J., and Moon, Y. H., Analytical prediction of springback based on residual differential strain during sheet metal bending, **Journal of Mechanical Engineering Sciences**, 222/C, 117-129, (2008).
- [8]. Livatyalı, H., and Altan, T., Prediction and elimination of springback in straight flanging using computer aided design methods Part 1. Experimental investigations, **Journal of Materials Processing Technology**, 117, 262-268, (2001).
- [9]. Leu, D. K., A simplified approach for evaluating bendability and springback in plastic bending of anisotropic sheet metals, **Journal of Materials Processing Technology**, 66, 9–17, (1997).
- [10]. Hosford, W. F., and Caddell, R. M., Metal forming, **Mechanics and Metallurgy**, Prentice Hall, New Jersey (1993).
- [11]. Golovashchenko, S. F., and Bessonov, N. M., Development of sharp flanging technology for aluminum panels, Numisheet, **American Institute of Physics**, A, 687-690, (2005).
- [12]. De Vin, Leo J. Curvature prediction in air bending of metal sheet, **Journal of Materials Processing Technology**, 100. 1, 257-261 (2000).
- [13]. Sriram, S., Jothi, N. V-bending studies on sintered copper powder metallurgical preform sheets, **Journal of Materials Processing Technology**, 70.1, 156-162,(1997).