

**Makale
(Article)**

Farklı Bükme Yöntemleri Uygulanarak V Bükme Kalıplarında AA 5754-O Sac Malzeme ile Elde Edilen Numunelerin Geri Esneme Miktarının Tespiti

Ramazan ÖTÜ*, Halil brahim DEMİR**

*Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Rize/TÜRK YE,

**Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Karabük/TÜRK YE

ramazanotu@hotmail.com, hdemirci@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi: 03.06.2013

Kabul Tarihi: 17.12.2013

Özet

Bu çalışmada, endüstriyel ürünlerde yaygın olarak tercih edilen AA 5754-O sac malzemesine Deneysel Yöntem (DY) ve Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile farklı V bükme yöntemleri kullanılarak şekillendirme işlemi uygulanmıştır. Çalışmada zımba uç yarıçapları 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan 60°, 90° ve 120°'lik V eklemlerinde kalıplar tercih edilmiştir, hadde yönü 0°, 45° ve 90° olan 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki saclar bükülmüştür, bilgisayar ortamında değerlendirilerek geri esneme grafikleri hazırlanmıştır. Literatürde sıklıkla uygulanan dört farklı bükme yöntemi, iki farklı kalınlıktaki alüminyum sac malzemeler için en az 3'er tane olmak üzere 650 adet deney numunesi DY uygulanarak bükülmüştür. Aynı bükme yöntemleri ile yaklaşık 18 adet deney numunesi SEY uygulanarak bükülmüştür. Grafiklerin kullanılabilirliği tartışılarak geri esneme değerleri açısından dört farklı bükme metodu içerisinde ikisinin uygun olmadığı tespit edilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler incelendiğinde sac malzeme kalınlığının artmasının ve zımbanın kalıp üzerinde yüklü bekleme süresinin geri esnemeyi azalttığı, sac malzemenin hadde yönünün geri esnemede etkili olduğu, zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı, DY ile SEY'in sonuçlarının birbirini ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum sac malzeme, geri esneme, V bükme, deneysel yöntem, sonlu elemanlar yöntemi.

Determination of Springback Amount of the AA5754-O Sheet Material Parts Using Different Bending Methods on V Bending Dies

Abstract

In this study, a forming process was applied to AA 5754-O sheet materials that are frequently used in the industry with Experimental Method (EM), using different V bending methods. The AA 5754-O sheets with a thickness of 1 mm and 2 mm and the rolling directions of 0°, 45°, and 90° were used. The V shaped dies of angles 60°, 90°, and 120° having punch radiuses of 2 mm, 4mm, and 6 mm respectively were bended. By using EM, four different bending methods were applied on 650 specimens and for the each case the experiment was performed three times. To compare the results, 18 specimens were tested by applying different bending methods, using Finite Elements Method (FEM). The results were obtained in the form of numerical values and to analyse the results the graphs were plotted for each condition. The results showed that, out of four bending methods two methods are inconvenient in terms of their springback amount and the rolling directions of the sheet materials have an impact on the springback amount. It was also observed that the increase in the thickness of the sheet material and the duration of keeping the punch on the die decreases the springback values. The results obtained through EM and FEM were in good agreement.

Keywords: Aluminium sheet material, springback, V bending, experimental method, finite elements method.

[Bu makaleye atıf yapmak için](#)

Ötü R., Demirci H., .., "Farklı Bükme Yöntemleri Uygulanarak V Bükme Kalıplarında AA 5754-O Sac Malzeme ile Elde Edilen Numunelerin Geri Esneme Miktarının Tespiti" *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2013, (10) 27-42

[How to cite this article](#)

Ötü R., Demirci H., .., "Determination of Springback Amount of the AA5754-O Sheet Material Parts Using Different Bending Methods on V Bending Dies" *Electronic Journal of Machine Technologies*, 2013, (10) 27-42

1. G R

Alüminyum sac malzemeler endüstride geni bir uygulama alanı bulmaktadır. Bu malzemeler özellikle otomotiv, uzay, savunma, gemi, beyaz e ya, reklamcılık ve birçok alanda hafiflik ve korozyona kar ı dayanıklılık özelliklerinden dolayı en sık kullanılan malzemelerden olmu tur. Bu üstün özelliklerine ra men alüminyum ala ımları ile parça üretimi esnasında birçok problemlerle kar ıla ılmaktadır. Alüminyum ala ımlarında dü ük elastisite modülü (E) de erinden dolayı geri esneme problemi gözlemlenmektedir. Özellikle e me i lemlerinde malzeme üzerine uygulanan yükün kaldırılmasından sonra malzemenin var olan elastik enerjiyi geri vermesi sonucu do an geri esnemenin dolay ı, istenen boyutlar bu malzemelerden elde edilen ürünlere tam olarak verilememektedir. Bu durum özellikle parçaların montajı esnasında büyük sıkıntılar olu turmakta, hataların düzeltilmesi için harcanan zaman, maliyet artı ına ve gecikmelere sebep olmaktadır [1-2].

Bükme i lemi sac levhaya kalıcı bir e rilik verilmesi amacıyla do rusal bir eksen etrafında uygulanan ekillendirme yöntemidir. Bükme i leminde, sac levhanın iç ve dı yüzeylerinde tarafsız eksenden uzaklıkla orantılı olarak birim ekil de i imleri meydana gelmektedir. Dolayısıyla, bükme i lemi ile birlikte tarafsız eksen iç yüzeye do ru kaydı ndan, dı yüzeyde meydana gelen birim ekil de i imleri, iç yüzeydeki liflerde meydana gelen birim ekil de i imlerinden daha fazla olmaktadır. Plastik deformasyonla birlikte hacim sabitli i söz konusu oldu undan, sac malzemenin kalınlı ında incelme meydana gelmektedir [3].

Bükmede kalıcı sekil de i ikli i söz konusudur. Malzemedeki kalıcı sekil de i imi meydana getirmek çe itli gerilmelerin ortaya çıkmasına neden olur. Bükmenin sa lıklı yapılabilmesi, meydana gelecek gerilmeleri belirli sınırlar içerisinde tutmayı zorunlu kılar. Parça tasarımı açısından bükme kavisinin iyi belirlenmesi gerekir. Bükme açısı büyüdükçe dı tabakalardaki uzamalar da artaca ndan yırtılma olasılı ı fazlala ır. Bu bakımdan uygulanacak en küçük bükme kavisinin belirlenmesinde bükme açısının da dikkate alınması gerekir [4].

Bükme i lemlerinde, istenen kusursuz bükme profili elde edebilmek için, gerilim-gerinim da ılımları önemlidir. Bükme yoluyla ekillendirmede parça malzemesinin elastikiyet sınırı a ılmakta, ancak en büyük çekme gerilmeleri a ılamamaktadır. Bu sebepten dolayı, malzeme orijinal esnekli inin bir kısmını hala muhafaza etmektedir [5, 6, 7].

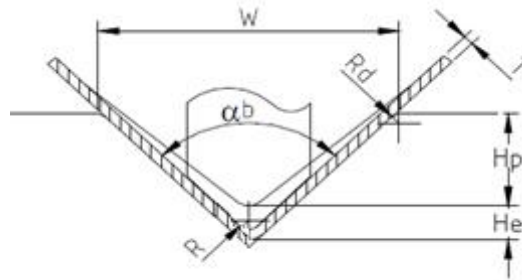
Son yıllarda yapılan çalı maların, sac malzemelerin ekillendirilmesinde kar ıla ılan geri esnemeyle ilgili oldu u gözlemlenmi tir. Bu kalıcı fiziksel de i imin nasıl önlenebilece i konusunda yapılan çalı maların ortak yönü, sac malzemelerdeki geri esnemenin önceden tahmin edilebilmesi için do ru kalıp imalatının

yapılmasıdır. Bu çalı maların genellikle geri esneme etkili olan parametrelerin de i tirilmesi, analizler ve matematiksel modellemelerle ilgili oldu u görölmektedir.

Sac metal levhaların bükülerek ekillendirilmesinde istenilen form uygun bir zımba kalıp yardımı ve yeterli kuvvetler ile malzemeye uygulanır. Elde edilen parça elastik ve plastik deformasyonun karı mı ile oluşur. Parça üzerinden kuvvetler kaldırıldı ında parça bir miktar eski haline dönme eğilimi gösterir ki bu davranı a “geri esneme” adı verilir.

Bükme i leminde geri yaylanma malzemenin cinsine, malzeme kalınlı ına, sacın hadde yönüne, bükme açısına, bükme yarıçapına, matris ve zımba arasındaki kalıp bo lu una, zımbanın kalıp üzerinde bekleme süresi ve ya lama ko ulları gibi birçok parametreye ba lıdır. İstenen kabul edilebilir formu elde edebilmek için bu parametrelerin etkilerinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Parametrelerden bazıları ekil 1’de gösterilmi tir [8].

Bu çalı mada, bükmeyle ilgili parametreler zımba uç yarıçapı R , kalıp üst kö e yarıçapı R_d , kalıp a zı geni li i W , malzeme kalınlı ı T , zaman t , zımba girme derinli i h_p , geri esneme açısı α_b ve bükme açısı α olarak belirlenmi tir.



ekil 1. Kalıp Düzeni ve İlemler Parametreleri [6].

Literatürde sac metal ekillendirme yöntemlerinden olan ve sıkça tercih edilen bükme ve geri esneme üzerine çok sayıda çalı malar bulunmaktadır. Malzeme türü esas alındı ında çelik, pirinç, bakır gibi malzemelerin yoğun çalı ıldı ı görölmektedir [9,10,11]. Bükme kalıplarında geri esnemenin deneysel olarak tespiti hakkında çalı malar yapılmı tir. Bu çalı malarda genel olarak dört de i ik bükme metodu kullanarak üç farklı kalınlıktaki pirinç, bakır, çelik ve paslanmaz çelik sac malzemeler bükülüp bilgisayar ortamında de erlendirilerek, geri esneme grafikleri çıkarılmı , farklı bükme metodlarının geri esnemeye etkileri ve elde edilen grafiklerin kullanılabilirli i tartılmı tir [9,10,11,12,13]. Deneysel a ırlıklı yapılan bu çalı malarda geri esneme üzerinde etkili olan en önemli parametrelerin bükme açısı, zımba uç kavisi, sac malzeme kalınlı ı, bükme derinli i ve uygulanan bükme metodu oldu u görölmü tür. Di er taraftan SEY ile yapılan analizlerde bu sonucu desteklemektedir [1,14,15,16,17,18,19].

Ba ka bir çalı mada 5754-O ala ımının 60°'lik V ekilli kalıpta geri esneme davranı ı incelemi tir. Malzemelere % 1, 3, 5, 7, 9 ve 11'lik ön gerilmeler uygulanarak, akma noktaları de i tirilmi ve bu ön gerilmelerin geri esneme üzerindeki etkilerini deneysel olarak bulmu lardır. Ayrıca alı malarını ETA/Dynaform sac ekillendirme simülasyon programında analiz ederek deneysel sonuçlarla kar ıla tırmı lardır [20].

En uygun basma derinli ini bulmak amacıyla basit bir metot üzerine de çalı malar yapılmı tır. Bu metot da sac malzeme, bir dizi yükleme ve geri almaya tabi tutulmu tur. Her bir bükme açısı ve geri esneme ölçülmü ve çıkı sinyali bir bilgisayara yüklenmi tir. Böylece a ırı bükmeye denk gelen zımbanın uygun olan basma derinli i belirlenmi tir [6,21].

Çift bükme tekni i ile geri esneme ve de i kenler arasındaki ili kiyi analiz etmek için sonlu elemanlar metodunu kullanılarak yapılan çalı malarda mevcuttur. Bu alı malarda geri esnemeyi azaltmak ve en uygun ekillendirme parametrelerini bulmak için, sonlu eleman analizi ile en iyilem tekni ini birle tirmi lerdir. Çalı mada elde edilen çözümler deneysel verilerle mukayese edilmi , kalıp bo lu unun artmasıyla geri esnemenin azaldı ını ortaya ıkarmı lardır [14].

Bazı alı malarda yüksek ve dü ük akma de erlerine sahip iki ayrı malzeme davranı ı için ekillendirme ve geri esneme hesaplamalarını iki boyutlu modeller kullanarak yapılmı tır. Geri esnemede hata miktarlarını de erlendirerek, tekrarlı hesaplama yöntemi ile do ru parçayı olu turacak kalıp yüzeylerini elde etmeye çalı ılmı tır. Daha sonraki çalı malarda SEY kullanarak üç boyutlu modeller ile do ru parçayı elde edecek kalıp yüzeylerini olu turmaya çalı ılmı iteratif (tekrar eden) olarak elde ettikleri kalıp yüzeylerini kullanarak yaptıkları benzetim sonuçlarını deneysel olarak elde edilen sonuçlarla kar ıla tırmı lardır [22,23]. Bir ba ka çalı mada geri esneme deformasyonlarına etki eden hesaplama parametrelerinden birkaçı incelenmi tir. Eleman büyüklü ünün, ekillendirme hızının ve kanal omuz yapısının sonuçlara hangi oranda etki etti i ortaya çıkarılmı tır [17].

Baskı kuvvetinin, kalıp omuz yarıçapı ve sürtünme katsayısının sonuçlara etkilerini inceleyen çalı malarda vardır [24]. Benzer bir çalı mada farklı malzemeler için baskı kuvveti ve sürtünme katsayılarının de i iminin geri esneme ve hesaplama maliyetlerine etkisini incelenmi tir [18]. Benzer parametrelerin de i kenliklerinin geri esneme deformasyonlarına etkileri farklı çalı malara da konu olmu tur [25, 26].

Farklı SEY'in sac ekillendirme hesaplamalarındaki kullanım alanlarından bahseden çalı malarda yapılmı tır [27]. Farklı yöntemlerin kullanılması özellikle açık zamana ba lı ve kapalı adımlı yöntemlerin birbirleri ile ya da deneysel verilerle kar ıla tırılması birçok ara tırmacıya konu olmu tur [23, 19, 28].

Bu alı manın amacı, zımbanın kalıp üzerinde bekleme süresi, kalıba yakla ma mesafesi, zımba uç kavisinin bükme etkisi ve sac hadde yönünün AA 5754-O malzemesinde geri esnemeye ne ekilde etki etti ini ara tırmaktır.

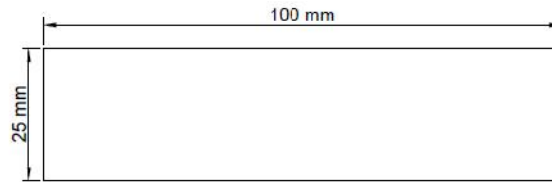
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. MATERYAL

Deney numuneleri endüstride sıklıkla kullanılan AA 5754-O sac malzemelerden seçilmi tir. Malzemelerin kalınlıkları 1 mm ve 2 mm, ebatları ise 25x100 mm'dir. Saclar hadde yönü 0° , 45° ve 90° olacak ekilde ve her dereceden, 3'er adet olmak üzere 650 adet deney numunesi hazırlanmı tır. Malzeme ebatlarının küçük seçilmesinin nedeni, dar alanda geri esnemenin daha sa lıklı olarak tespit edilebilece i dü üncesinden kaynaklanmı tır [9]. Deney numunesinde kullanılan sacların kimyasal özellikleri Çizelge 1'de sac boyutları ise ekil 2'de verilmi tir.

Çizelge 1. Al 5754-O ala ımının kimyasal özelli i [29].

%								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Di erleri
0.40	0.40	0.10	0.50	2.6-3.6	0.30	0.20	0.15	0.05



ekil 2. Deney numunesi sac boyutları.

Deneyle için kalıplar CNC Freze tezgâhında istenen ölçülerde 60° , 90° ve 120° 'lik açılarda matris ve zımba çifti olarak ürettirilmı tir. Zımbaların uç kavis yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olarak belirlenmi tir. Kalıp ve sac boyutlarının tespitinde literatürde ki çalı malar temel alınmı tır. ekil 3'te 60° , 90° ve 120° 'lik kalıp setleri görölmektedir.



ekil 3. Bükme açıları: a) 60⁰, b) 90⁰, c)120⁰ olan kalıp setleri.

“V” bükme kalıbındaki kuvvet hesabı için her ara tırmacı farklı e itlikler ortaya koymu tur. Bu e itlikler her ne kadar farklı olsa da, çıkan sonuçlar arasında çok büyük uyumsuzluk bulunmamaktadır. Çalı mada bükme kuvveti hesabı E itlik 1’e göre yapılmı tır [30, 31].

$$P_v = C \times \frac{B \times T^2 \times \sigma_b}{W} \times 10 \quad (1)$$

C; W/T ye ba lı bir katsayı olup E itlik 2’ile bulunur.

$$C = 1 + \frac{4 \times T}{W} \quad (2)$$

Bu e itliklerde;

P_v , “V” bükme kuvvetini (N),

B, Sac malzeme geni li ini (mm),

T, Sac malzeme kalınlı ını (mm),

σ_b , Malzeme çekme mukavemetini (N/mm²),

W, Kalıp a zı açıklı ını (mm),

C, W/T oranına ba lı bir katsayıyı ihtiva etmektedir.

Buna göre, 1 mm ve 2 mm kalınlıklarındaki AA 5754-O sac malzemeler için bükme açısı 60⁰ için sırasıyla 1600 N ve 6400 N, 90⁰ için sırasıyla 1130 N ve 4515 N, 120⁰ için sırasıyla 920 N ve 3690 N “V” bükme kuvveti ve emniyetli kalıplama kuvveti hesaplanmı tır.

2.2. METOD

“V” bükme i lemlerinde de i ik parametreler kullanılmakta ve bu parametreler geri esnemeyi etkilemektedirler. Geri esnemenin belirlenmesi için, elastikiyet modülü, akma gerilmesi, pekle me özelli i gibi malzeme parametreleri ile uygulanan kuvvet, sacın kalınlı ı, sacın hadde yönü, kalıbın açısı, zımba yarıçapı, kalıp açıklı ı, zımbanın kalıp üzerinde bekleme süresi ve kalıbın ya lanması gibi i lem

parametrelerinin, geri esnemeye karma ık bir ekilde etki etti i bilinmektedir. Çalı ma kapsamında dikkate alınan yöntemler a a ıdaki gibidir.

Birinci yöntemde: Zımba kalıba sac kalınlı ı kadar yakla tırılmı ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmi tir. Aynı zamanda zımba kalıp üzerinde 20 s bekletildikten sonra yük geri alınmı tir.

İkinci yöntemde: Zımba kalıba sac kalınlı ı kadar yakla tırılmı ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmi tir. Zımbanın kalıp üzerinde sadece basma süresi kadar bekletilmesiyle yük geri alınmı tir.

Üçüncü yöntemde: Zımba kalıbın dibine kadar oturtulmu ve sac malzemenin ezilmesi ile geri esnemeye etkisi incelenmi tir. Aynı zamanda zımba kalıp üzerinde 20 s bekletildikten sonra yük geri alınmı tir.

Dördüncü yöntemde: Zımba kalıbın dibine kadar oturtulmu ve sac malzemenin ezilmesinin geri esnemeye etkisi incelenmi tir. Zımbanın kalıp üzerinde sadece basma süresi kadar bekletilmesiyle yük geri alınmı tir.

Her bir deney sersisinde 165 adet numune parçası kullanılmı tir. Bu serilerden elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak kar ıla tırma yapılmı tir. Birinci ve ikinci deney serilerinden elde edilen verilerin kullanılabilir oldu u, üçüncü ve dördüncü deney serilerinde sac malzeme kalınlı ının dikkate alınmaması sonucu ezilmeler olu mu , ezilmeden dolayı tutarlı sonuçların elde edilemedi i belirlenmi ve çalı maya dâhil edilmemi tir. Deneyler laboratuvar ortamında gerçekte tirilmı ve bükülen sacların ölçümleri, optik açölçer cihazı ile bükme i leminin hemen ardından titizlikle yapılmı tir.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTI MA

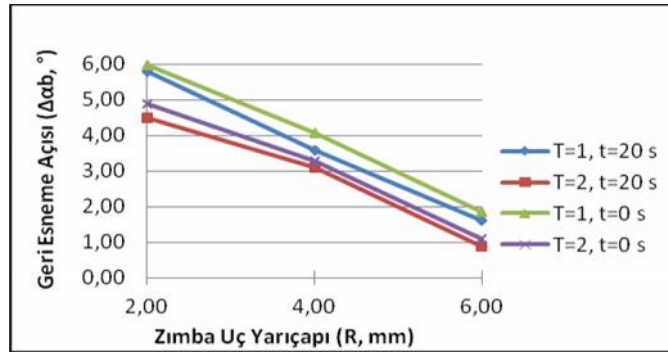
Yapılan deneylerden elde edilen kullanılabilir sonuçlar çizelgeler halinde verilmi tir. Çizelge 3 ve Çizelge 4'te deneysel çalı ma ile ekillendirilen numunelerin verileri, Çizelge 2'de sonlu elemanlar yöntemi ile ekillendirilen numunelerin sonuçları verilmi tir.

Çizelge 3'te 60⁰, 90⁰ ve 120⁰ V bükme için zımbanın 20 s numune parça üzerinde bekletilmesi ile hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel veriler görölmektedir. Bu veriler ekil 4, ekil 5 ve ekil 6'daki grafiklerde her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de, hadde yönlerine göre geri esneme de erleri baz alınarak incelendi inde; tüm bükme açıları için hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90°'ye göre daha az esnemi tir. Sac kalınlı ı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldı ı görölmektedir. Bu sonuçlara göre zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldı ı tespit edilmi tir.

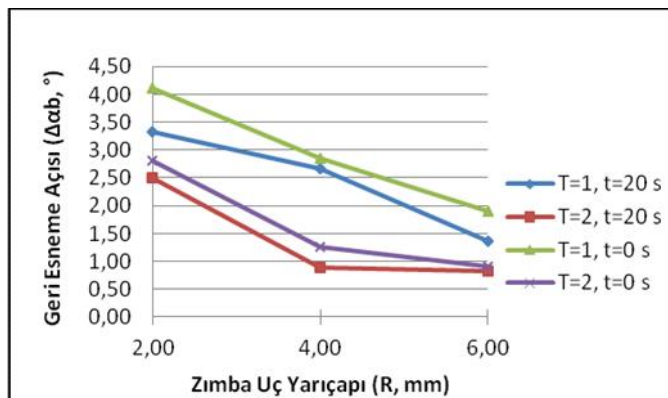
Çizelge 4'te 60⁰, 90⁰ ve 120⁰ V bükme için zımbanın numune parça üzerinde hiç bekletilmeden (sadece basma süresi kadar beklemesiyle) hadde yönü baz alınarak elde edilen deneysel veriler görölmektedir. Bu

veriler ekil 4, ekil 5 ve ekil 6'daki grafiklerde her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de, hadde yönlerine göre geri esneme de erleri incelendi inde; tüm bükme açıları için hadde yönü 0° olan numuneler hadde yönü 45° ve 90° 'ye göre daha az esnemi tir. Sac kalınlı ı artıkça zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldı ı görülmektedir. Bu sonuçlara göre zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldı ı tespit edilmi tir.

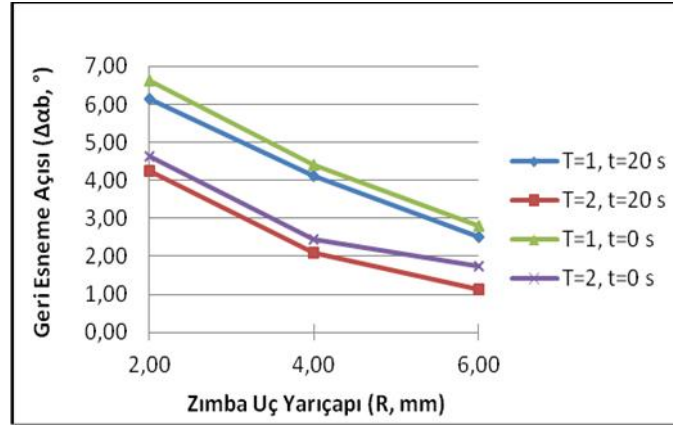
Çizelge 3 ve Çizelge 4'te 60° , 90° ve 120° V bükme için zımbanın numune parça üzerinde bekleme süresine göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen deneysel yöntem (DY) de erleri görülmektedir. Bu de erler kullanılarak olu turulan ekil 4, ekil 5 ve ekil 6'daki grafiklerde, her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de deneysel yöntem uygulanarak ekillendirilen sac malzemelerin 60° , 90° ve 120° 'deki V bükme deney numunelerinin hepsi için zımba uç yarıçaplarına göre, geri esneme de erleri incelendi inde; 1 mm ve 2 mm kalınlı ındaki numunelerin her ikisinde de zımbanın numune parça üzerinde 20 s beklemesi ile bükülen numunelerin geri esneme açıları, zımbanın numune parça üzerinde hiç beklemeden (sadece basma süresi kadar beklemesi) ile bükülen numunelerin geri esneme açılarından daha az oldu u görülmektedir.



ekil 4. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın numune parça üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.

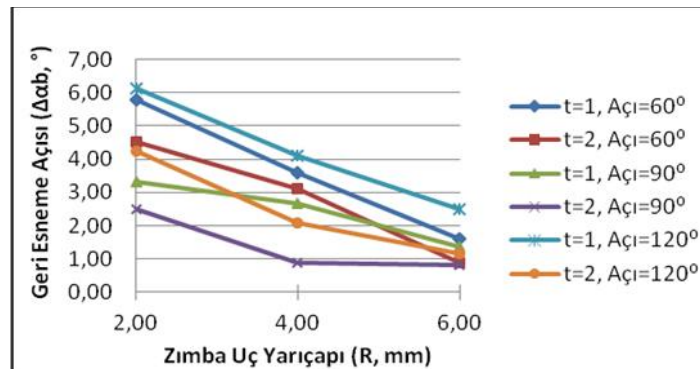


ekil 5. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın numune parça üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.



ekil 6. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın numune parça üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.

ekil 4, ekil 5 ve ekil 6 kar ıla tırıldı nda; 60°, 90° ve 120° V bükme deney numunelerin zımba uç yarıçapları esas alınarak geri esneme de erleri incelendi inde; üç bükme açısında da numunelerde zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldı ı tespit edilmi tir. Sac kalınlı ı arttıkça da zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldı ı görölmektedir. 1 mm kalınlı ındaki numunelerde bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açıları bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az oldu u, bükme açısı 60° olan numunelerin de geri esneme açıları, bükme açısı 120° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az oldu u görölmektedir. 2 mm kalınlı ındaki numuneler incelendi inde, bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açıları, bükme açısı 120° olan numunelerin geri esneme açılarından daha azdır. Bükme açısı 120° olan numunelerde zımba uç yarıçapları 2 mm ve 4 mm olan deneylerde, geri esneme açıları bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az oldu u görölmektedir. Bu sonuçlara göre sac kalınlı ın artması ile geri esnemenin azaldı ı görölmektedir.



ekil 7. AA 5754-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 s numune parçalar üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.

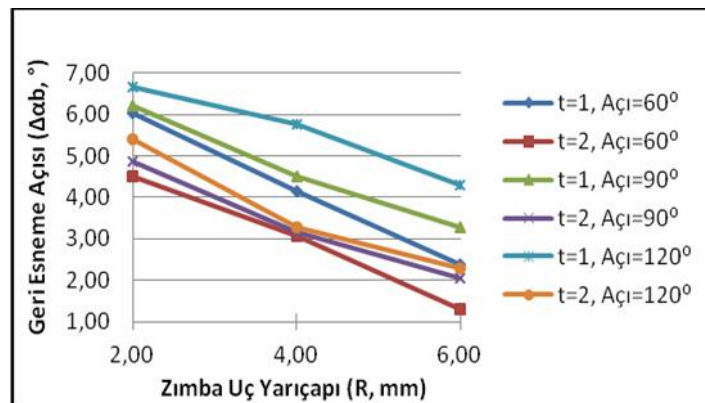
Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) çalı malarında AA 5754-O sac malzemelerinin cinsi, kalınlı ı, bükme açısı, bükme yarıçapı, matris ve zımba arasındaki kalıp bo lu u, zımbanın numune parça üzerinde

bekleme süresi gibi birçok fiziksel parametre ile malzemenin yoğunluğu, akma dayanımı, elastikiyet modülü, poisson oranı, tangent modülü gibi mekanik özellikler kullanılarak çözümlenmiştir. Numunelerin eğilendirilmesinde kullanılan yöntemde zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmıştır, bu sayede sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiştir. Aynı zamanda eğilendirme sırasında zımba kalıp üzerinde 20 s bekletildikten sonra yük geri alınmıştır.

Çizelge 2. AA 5754-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme için zımbanın 20 s numune parçası üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY değerleri.

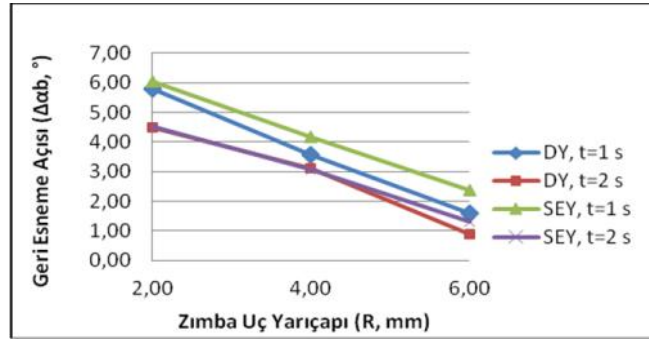
Sac Malzeme AA5754-O				Bükme açısı 60°		Bükme açısı 90°		Bükme açısı 120°	
Sac Kalınlığı (mm)	Zımba Yarıçapı (R, mm)	Zımbanın Matrisine Yaklaşma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matris Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	Numune Parça (Derece)	Geri Esneme (Derece)	Numune Parça (Derece)	Geri Esneme (Derece)	Numune Parça (Derece)	Geri Esneme (Derece)
1	2	1	20	66,04	6,04	96,20	6,20	126,67	6,67
	4	1	20	64,16	4,16	94,51	4,51	125,75	5,75
	6	1	20	62,37	2,37	93,27	3,27	124,29	4,29
2	2	2	20	64,51	4,51	94,88	4,88	125,40	5,40
	4	2	20	63,06	3,06	93,15	3,15	123,28	3,28
	6	2	20	61,30	1,30	92,06	2,06	122,30	2,30

Çizelge 2’de zımbanın 20 s numune parçası üzerinde beklemesi ile farklı V bükme açılarına göre zımba uç yarıçapları baz alınarak elde edilen SEY değerleri görülmektedir. Bu değerler, ekil 8’deki grafikte her iki kalınlık için eğilendirilen AA 5754-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° bükülmesiyle zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelenmiştir. 1 mm kalınlığındaki numunelerde tüm zımba uç yarıçapları için bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açıları, bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir. Bükme açısı 90° olan numunelerin de geri esneme açıları, bükme açısı 120° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az çıkmıştır. 2 mm kalınlığındaki numunelerde tüm zımba uç yarıçapları için bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açıları, bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir. Bükme açısı 90° olan numunelerin de geri esneme açıları bükme açısı 120° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir.

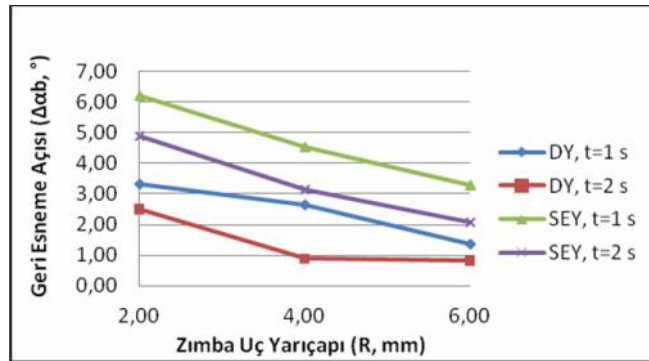


ekil 8. AA 5754-O sac malzemelerin 60°, 90° ve 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 s numune parçası üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY’ in geri esneme açıları.

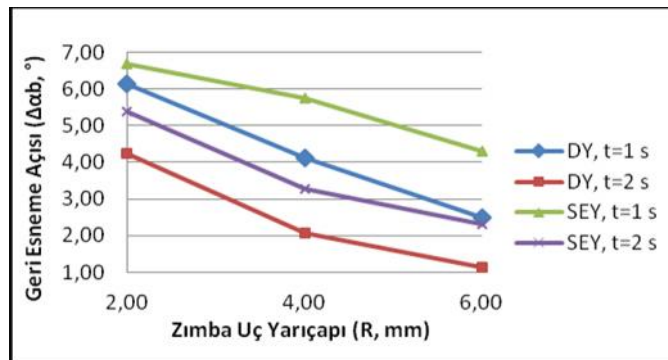
ekil 9, ekil 10 ve ekil 11 kar ıla tırıldı nda; SEY uygulanarak ekillendirilen ve DY uygulanarak zımbanın numune parça üzerinde 20 s bekleme ile ekillendirilen numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre, geri esneme de erleri incelendi inde; 60° V bükme deneyinde 1 mm ve 2 mm kalınlı nda ki numuneler tüm zımba uç yarıçaplarında DY ile SEY'in geri esneme açılarının birbirlerine yakın oldu u, 90° V bükme deneyinde 1 mm ve 2 mm kalınlı ndaki numunelerde, tüm zımba uç yarıçaplarında DY ile SEY'in geri esneme açılarının birbirlerine yakın oldu u, 120° V bükme deneyinde 1 mm ve 2 mm kalınlı ndaki numuneler tüm zımba uç yarıçaplarında DY ile SEY'in geri esneme açılarının birbirlerine yakın oldu u tespit edilmi tir.



ekil 9. AA 5754-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 s numune parça üzerinde bekleme ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.



ekil 10. AA 5754-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 s numune parça üzerinde bekleme ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.



ekil 11. AA 5754-O sac malzemelerin 120° V bükme deneyinde, zımbanın 20 s numune parça üzerinde bekleme ile elde edilen SEY ile DY'nin geri esneme açıları.

4. SONUÇLAR ve TARTI MA

Çalı mada, ebatları 25x100 mm olan, 1 mm ve 2 mm kalınlı ında, AA 5754-O sac malzeme; 60°, 90° ve 120°'lik V ekilli kalıplar kullanılarak bükme i lemne tabi tutulmu tur. Zımba uç yarıçapları 2 mm, 4 mm ve 6 mm olarak belirlenmi tir. Sac malzemeler hadde yönü 0°, 45° ve 90° olacak ekilde hazırlanmı tır. Bükme i lemi sırasında zımbanın matrise yakla ma mesafesi ve zımbanın numune parça üzerinde bekleme süresine göre ekillendirme i lemi yapılmı tır. Çalı madan elde edilen sonuçlar a a ıda özetlenmi ve de erlendirilmi tir;

AA 5754-O sac malzemeleri ile 60°, 90° ve 120°'de yapılan V bükme deney sonuçlarına göre, geri esnemenin malzeme, zımba-kalıp, numune sacın hadde yönüne, zımbanın matrise yakla ma mesafesine ve zımbanın ekillendirilen sacın üzerinde bekletilme süresine ba lı olarak de i ti i literatüre uygun olarak [4,8,9,10,11] gözlemlenmi tir.

Yapılan V bükme deneylerinden elde edilen veriler incelendi inde sac malzeme kalınlı ının artmasının geri esnemeyi azalttı ı tespit edilmi tir. Literatürde de sac malzeme kalınlı ının geri esnemeye olan etkisi ile ilgili çalı malarda [9,11,13] aynı yönde de i im gözlemlenmi tir.

V bükmede zımbanın kalıp üzerinde yüklü bekleme süresinin geri esnemeyi azalttı ı gözlemlenmi tir. ekillendirme sırasında zımbanın kalıp üzerinde yüklü bekleme süresinin geri esnemeyi azalttı ı [9,11,13] görülmektedir.

Yapılan çalı malarda elde edilen veriler incelendi inde sac malzemenin hadde yönünün geri esneme de etkili oldu u [4] gözlemlenmi tir.

V bükmede zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldı ı görülmektedir. Zımba uç yarıçapı arttırılarak geri esmenin daha da azaldı ı [4] görülmektedir.

Sac parçalara uygulanan yöntemlerden birinci ve ikinci yöntemlerinin geri esnemeyi tespit etmede uygun oldu u gözlemlenmi tir. Bu yöntemlerde zımba ile kalıp arasında numune sacın kalınlı ı kadar bo luk bırakılmı ve zımbanın baskısı ile sacın ezilmesi önlenmi tir. Ancak sac parçalara uygulanan yöntemlerden üçüncü ve dördüncü yöntemlerde sac parçada ezilme meydana geldi inden dolayı geri esnemeyi tespit etmede uygun olmadı ı [9,10,11,12,13] gözlemlenmi tir. Bu yöntemlerde zımba ile kalıp arasında bo luk bırakılmamı ve zımba kalıbın sonuna kadar ilerletilmi tir. Arada kalan sac ezilmi ve geri esnemenin hassasiyetini etkilemi tir.

Deneysel Yöntem (DY) ile Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)'in sonuçlarının kabul edilebilir yakınlıkta oldu u gözlemlenmiştir.

TE EKKÜR

Bu çalı ma, Karabük Üniversitesi Bilimsel Ara tırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından KBÜ-BAP-11/12-YL-015 2012-3 YL nolu proje tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesine te ekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR

- [1] Li KP, Carden WP, Wagoner RH., “Simulation of Springback”, International Journal of Mech Sci., 44: 103-122, 2002.
- [2] Carden WD, Geng LM, Matlock DK, Wagoner R.H., “Measurement of Springback”, International Journal of Mech Sci., 44: 79-101, 2002.
- [3] Schey, J. E., “Introduction to Manufacturing Processes”, McGraw-Hill, New York, 1987.
- [4] Yenice, M. M. “Bükme ile ekillendirilen Saclarda Geri Yaylanma Davranı ının ncelenmesi”, Uluda üniversitesi, 2006.
- [5] Kalpakjian, S., “Manufacturing Engineering and Technology”, Prentice Hall., A.B.D., 2000.
- [6] Tan, Z., Persson, B. ve Magnusson, C., “Empiric Model for Controlling Springback in V-Die Bending of Sheet Metals”, Journal of Materials Processing Technology, 34, (1-4): 449-455, 1992.
- [7] Ostergaart, D., E., “Basic Die Making”, Ankara, 38-86, 1977.
- [8] Ötü, R., Demirci, H. ., “60°'lik V Bükme Kalıbında AA5754-O Ve AA1050-O Sac Malzemelerin Farklı Bükme Metotları Kullanılarak Geri Esneme Miktarının Tespiti”, International Iron & Steel Symposium, Karabük, 02-04 April 2012.
- [9] Tekaslan Ö., eker U., “Pirinç Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti”, 5. Uluslararası leri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.
- [10] Tekaslan, Ö., eker, U. ve Gerger, N., “Bükme Kalıplarında 0,75 mm Kalınlı ındaki Çelik Sac Malzemenin Geri Esneme Miktarlarının Belirlenmesi”, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13 (1): 15-22, 2007.
- [11] Tekaslan, Ö., Nedim, G. ve eker, U., “V Bükme Kalıplarında Bakır Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Ankara, 23 (1): 231-238, 2008.
- [12] Tekaslan, Ö., eker, U., Özdemir, A., “Determining Springback Amount of Steel Sheet Metal Has 0,5 mm Thickness in Bending Dies”, Materials and Desing, 27: 251-258, 2006.
- [13] Tekaslan, Ö., Gerger N., eker, U., “Determination of Spring-Back of Stainless Steel Sheet Metal in “V” Bending Dies”, Materials and Desing, 29: 1043-1050, 2008.
- [14] Shu, J. and Hung, C., “Finite Element Analysis and Optimization of Springback Reduction: The Double-Bend Technique”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Taiwan, 36 (4): 423-434, 1996.

- [15] Narasimhan, N. ve Lovell, M., “Predicting Springback in Sheet Metal Forming: An Explicit to Implicit Sequential Solution Procedure”, *Finite Elements in Analysis and Design*, 33: 29-42, 1999.
- [16] Arslan, B., “Geri Esnemenin Sac Parçalarının Biçim Tamlı 1 Üzerindeki Etkilerinin ncelenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulamaları ile De erlendirilmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2007.
- [17] Lee S. W., Yang D. Y., “An Assessment of Numerical Parameters Influencing Springback in Explicit Finite Element Analysis of Sheet Metal Forming Process”, *Journal Mater. Process. Technol.*, 80-81: 60-67, 1998.
- [18] Papeleux L., Ponthot J. P., “Finite Element Simulation of Springback in Sheet Metal Forming”, *Journal Mater. Process. Technol.*, 125-126: 785-791, 2002.
- [19] Onate E., Rojek J., Garino C. G., “Numıstamp: A Research Project for Assessment of Finite-Element Models for Stamping Processes”, *Journal Mater. Process. Technol.*, 50: 17-38, 1995.
- [20] Toros S., Ece E. R., Öztürk F.*, Alkan M., “5754-O Al-Mg Ala ımında Ön Gerilmenin Geri Esnemeye Etkisinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle incelenmesi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6: 1-9, 2009.
- [21] Gan, W. and Wagoner, R. H., “Die Design Method For Sheet Springback”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 46 (1-7): 1097-1113, 2004.
- [22] Karafillis A. P., Boyce M. C., “Tooling Design in Sheet Metal Forming Using Springback Calculations”, *International Journal Mach. Sci.*, vol. 34: 503-526, 1992.
- [23] Karafillis A. P., Boyce M. C., “Tooling and Binder Design for Sheet Metal Forming Processes Compensating Springback Error”, *International Journal Mach. Tools Manufact.*, 36: 503-526, 1996.
- [24] Samuel M., “Experimental and Numerical Prediction of Springback and Side Wall Curl in U-Bendings of Anisotropic Sheet Metals”, *Journal Mater. Process. Technol.*, 105: 382-393, 2000.
- [25] Cho J. R., Moon S. J., Moon Y.H., Kang S. S., “Finite Element Investigation on Spring-Back Characteristics in Sheet Metal U-Bending Process”, *Journal Mater. Process. Technol.*, 141: 109-116, 2003.
- [26] Naceur H., Guo Y. Q., Ben-Elech, S., “Response Surface Methodology For Design of Sheet Forming Parameters To Control Springback Effects”, *Computers & Structures.*, 84: 1651-1663, 2006.
- [27] Tekkaya A. E., “Satate-of-the-art Simulation of Sheet Metal Forming”, *Journal Mater. Process. Technol.* 103: 14-22, 2000.
- [28] Finn M. J., Galbraith P. C., Wu L., Hallquist J. O., Lum L., Lin T. L., “Use of Coupled Explicit – Implicit Solver for Calculating Springback in Automotive Body Panels”, *Journal Mater. Process. Technol.* 50: 395-409, 1995.
- [29] A kar, E., “Hidrostatik Basınçla Al 5754 ve Al 1050 Saclarının Küçük Çapta ekillendirilmesi”, Karabük Üniversitesi, 2010.
- [30] Cerit, A., M., , *Makine Mühendisli i El Kitabı*, Maya Matbaacılık Yayıncılık Ltd. ti., Ankara, 8: 458-489, 1976.
- [31] Güne , A., T., *Pres leri Tekni i*, Erk Yayıncılık, Ankara, 1: 184-241, 1989.

EKLER**Çizelge 3.** Birinci deney serisine göre 60⁰, 90⁰ ve 120⁰ V bükme için zımbanın 20 s numune parça üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel veriler.

Sac Malzeme AA5754-O					Bükme Açısı 60 ⁰					Bükme Açısı 90 ⁰					Bükme Açısı 120 ⁰				
Sac Hacde Yönü (^b)	Sac Kalınlı 1 (mm)	Zımba Yarçapı (R, mm)	Zımbanın Matriise Yakla ma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matriis Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esmeme (Derece)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esmeme (Derece)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esmeme (Derece)
0 ⁰	1	2	1	20	65,75	65,83	65,83	65,80	5,80	93,75	93,25	93,00	93,33	3,33	126,16	126,00	126,25	126,14	6,14
		4	1	20	63,50	63,75	63,50	63,58	3,58	92,66	92,66	92,66	92,66	2,66	124,00	124,16	124,16	124,11	4,11
		6	1	20	61,75	61,50	61,58	61,61	1,61	91,41	91,33	91,33	91,36	1,36	122,50	122,50	122,50	122,50	2,50
	2	2	2	20	64,50	64,41	64,58	64,50	4,50	92,33	92,66	92,50	92,50	2,50	124,25	124,33	124,16	124,25	4,25
		4	2	20	63,00	63,16	63,16	63,11	3,11	91,00	90,66	91,00	90,89	0,89	122,00	122,08	122,16	122,08	2,08
		6	2	20	60,83	60,91	60,91	60,88	0,88	90,83	90,83	90,83	90,83	0,83	121,00	121,00	121,41	121,14	1,14
45 ⁰	1	2	1	20	66,00	66,08	66,16	66,08	6,08	94,00	94,66	94,00	94,22	4,22	126,50	126,58	126,66	126,58	6,58
		4	1	20	64,33	64,25	64,25	64,28	4,28	92,83	92,75	92,75	92,78	2,78	125,00	125,00	125,00	125,00	5,00
		6	1	20	62,16	62,08	62,16	62,13	2,13	91,75	91,66	91,66	91,69	1,69	123,66	123,83	123,91	123,80	3,80
	2	2	2	20	64,83	64,83	64,75	64,80	4,80	93,50	93,00	93,25	93,25	3,25	124,50	124,66	124,66	124,61	4,61
		4	2	20	63,41	63,25	63,25	63,30	3,30	92,66	92,66	92,66	92,66	2,66	122,50	122,66	122,58	122,58	2,58
		6	2	20	61,00	61,25	61,08	61,11	1,11	91,00	91,00	91,00	91,00	1,00	121,66	121,66	121,75	121,69	1,69
90 ⁰	1	2	1	20	66,25	66,33	66,41	66,33	6,33	95,41	95,00	95,00	95,14	5,14	126,75	126,91	126,83	126,83	6,83
		4	1	20	64,41	64,50	64,66	64,52	4,52	94,66	94,50	94,00	94,39	4,39	125,91	125,83	125,91	125,88	5,88
		6	1	20	62,50	62,75	62,58	62,61	2,61	92,91	93,00	93,00	92,97	2,97	124,50	124,25	124,41	124,39	4,39
	2	2	2	20	65,16	65,41	65,33	65,30	5,30	94,75	94,66	94,75	94,72	4,72	125,41	125,66	125,50	125,52	5,52
		4	2	20	63,66	63,66	63,75	63,69	3,69	93,00	92,91	93,00	92,97	2,97	122,83	122,75	122,66	122,75	2,75
		6	2	20	61,33	61,41	61,41	61,38	1,38	92,50	92,41	92,50	92,47	2,47	122,16	122,25	122,16	122,19	2,19

Çizelge 4. kinci deney yöntemine göre 60⁰, 90⁰ ve 120⁰ V bükme için zımbanın numune parça üzerinde hiç bekletilmeden (sadece basma süresi kadar beklemesiyle) elde edilen deneysel de erler.

Sac Malzeme AA5754-O					Bükme Açısı 60 ⁰					Bükme Açısı 90 ⁰					Bükme Açısı 120 ⁰				
Sac Halkde Yöni (⁰)	Sac Kalınlı 1 (mm)	Zımba Yarçapı (R, mm)	Zımbanın Matrisine Yakla ma Mesafesi (mm)	Zımbanın Matrisi Üzerinde Bekleme Süresi (Saniye)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)	1.Parça (Derece)	2.Parça (Derece)	3.Parça (Derece)	ORTALAMA (Derece)	Geri Esneme (Derece)
0 ⁰	1	2	1	0	65,91	66,00	66,05	65,99	5,99	94,08	94,08	94,16	94,11	4,11	126,50	126,66	126,66	126,61	6,61
		4	1	0	64,00	64,08	64,16	64,08	4,08	92,91	92,83	92,83	92,86	2,86	124,50	124,41	124,33	124,41	4,41
		6	1	0	61,83	61,91	61,83	61,86	1,86	91,91	91,91	91,91	91,91	1,91	122,66	122,83	122,91	122,80	2,80
	2	2	2	0	64,83	64,91	64,91	64,88	4,88	92,83	92,75	92,83	92,80	2,80	124,66	124,58	124,66	124,63	4,63
		4	2	0	63,25	63,33	63,25	63,28	3,28	91,25	91,33	91,16	91,25	1,25	122,41	122,50	122,41	122,44	2,44
		6	2	0	61,16	61,08	61,08	61,11	1,11	90,91	90,91	90,91	90,91	0,91	121,66	121,83	121,75	121,75	1,75
45 ⁰	1	2	1	0	66,33	66,25	66,25	66,28	6,28	94,83	94,91	94,91	94,88	4,88	126,83	126,83	126,91	126,86	6,86
		4	1	0	64,50	64,50	64,58	64,53	4,53	93,08	93,16	93,08	93,11	3,11	125,50	125,66	125,58	125,58	5,58
		6	1	0	62,33	62,25	62,33	62,30	2,30	92,08	92,00	92,08	92,05	2,05	124,00	124,00	124,08	124,03	4,03
	2	2	2	0	65,16	65,25	65,33	65,25	5,25	93,58	93,58	93,58	93,58	3,58	124,75	124,75	124,75	124,75	4,75
		4	2	0	63,50	63,58	63,66	63,58	3,58	92,83	92,83	92,75	92,80	2,80	122,91	123,00	123,08	123,00	3,00
		6	2	0	61,33	61,33	61,41	61,36	1,36	91,50	91,58	91,50	91,53	1,53	121,91	121,91	121,91	121,91	1,91
90 ⁰	1	2	1	0	66,41	66,41	66,50	66,44	6,44	95,41	95,41	95,25	95,36	5,36	127,08	127,25	127,16	127,16	7,16
		4	1	0	65,00	64,75	64,75	64,83	4,83	94,75	94,75	94,91	94,80	4,80	126,00	126,08	126,00	126,03	6,03
		6	1	0	62,66	62,66	62,66	62,66	2,66	93,33	93,25	93,41	93,33	3,33	124,66	124,66	125,00	124,77	4,77
	2	2	2	0	65,75	65,66	65,66	65,69	5,69	95,91	95,83	95,83	95,86	5,86	125,66	125,66	125,75	125,69	5,69
		4	2	0	63,83	63,91	63,83	63,86	3,86	93,50	93,75	93,66	93,64	3,64	123,25	123,33	123,25	123,28	3,28
		6	2	0	61,83	61,50	61,50	61,61	1,61	92,66	92,83	92,75	92,75	2,75	122,33	122,66	122,50	122,50	2,50