

## V BÜKME KALIPLARINDA BAKIR SAC MALZEMELERİN GERİ ESNE ME MİKTARLARININ TESPİTİ

Özgür TEKASLAN, Nedim GERGER\* ve Ulvi ŞEKER\*\*

Teknik Bilimler Bölümü, Kara Harp Okulu Dekanlığı, Bakanlıklar, Ankara

\* Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir

\*\* Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara

[tekaslan@yahoo.com](mailto:tekaslan@yahoo.com), [negerger@balikesir.edu.tr](mailto:negerger@balikesir.edu.tr), [useker@gazi.edu.tr](mailto:useker@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 17.06.2007; Kabul/Accepted: 11.01.2008)

### ÖZET

Bükme kalıplarında sac malzemeler büküldükten sonra elastik şekil değiştirmeye bağlı olarak bir miktar geri esnedikleri bilinmektedir. İstenen ölçünün elde edilmesi ve kalıp tasarımının yapılabilmesi bu geri esneme miktarlarının bilinmesine bağlıdır. Bu araştırmada, bükme kalıplarında geri esnemenin deneysel olarak tespiti hakkında bir çalışma yapılmıştır. Geri esneme miktarlarının belirlenebilmesi için, modüler bir “V bükme” kalıbı tasarlanarak, çok yaygın olarak kullanılan bakır sac malzemelerin farklı bükme açılarındaki geri esneme miktarları tespit edilmiş ve bu özelliklere bağlı geri esneme grafikleri elde edilerek literatüre kazandırılması amaçlanmıştır. Modüler 18 değişik kalıpta, dört değişik bükme metodu kullanılarak üç farklı kalınlıktaki bakır malzeme için en az 10’ar tane olmak kaydıyla 720’nin üzerinde deney numunesi bükülüp bilgisayar ortamında değerlendirilerek, geri esneme grafikleri çıkarılmış, geri esneme değerlerinin 0,50 ile 50 arasında değiştiği görülmüştür, farklı bükme metodlarının geri esnemeye etkileri ve elde edilen grafiklerin kullanılabilirliği de tartışılmıştır. Literatürde en çok kullanılan dört farklı bükme metodundan ikisinin geri esneme açısından kullanılamayacağı tespit edilmiştir. Ayrıca zımbanın bükülen malzeme üzerinde bekletilmesinin geri esnemeyi azalttığı, artan malzeme kalınlığının ve bükme açısının geri esneme değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bakır sac, V bükme, bükme kalıbı, geri esneme.

### DETERMINATION OF SPRING BACK OF COPPER SHEET METAL IN “V” BENDING DIES

#### ABSTRACT

It is known that when bended on dies, sheet metals are prone to some amount of spring back depending on elastic deformation. Obtaining the size desired and design of die depends on the knowledge of the amount of this spring back. This research has been conducted to determine experimentally spring back of sheet metals on bending dies. The amount of spring back in sheet metals at different bending angles has been obtained by designing a modular “V” bending die. Furthermore, a contribution to the field literature is aimed through spring back graphics. Spring back graphics for three kinds of materials of different thickness have been obtained by using four different bending methods on eighteen different modular dies and a total of 720, 10 at least belonging to each of the kinds, copper sheet samples are bent. Spring back values are determined to be between 0,50 and 50. The effect of different bending methods to spring back effect and the applicability of the obtained graphics are also discussed. The results have shown that of the four different bending methods used in the field most, two cannot be employed for spring back effect, and that holding the punch longer on the material bent reduces spring back whereas an increase in the thickness of the material, and bending angle increase spring back values.

**Keywords:** Copper sheet, V bending, bending dies, spring back.

#### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bakır sac malzemelerin, endüstride geniş bir uygulama alanı bulduğu, özellikle elektronik ve tıbbi cihazlarda;

bunun yanında gıda, otomobil, beyaz eşyada, yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Kullanım alanlarına göre istenen mekanik ve kimyasal özellikleri sağlamak için bakır bileşimlerinde yapılan değişiklikler bunların

soğuk şekillendirilmesini etkilemektedir. Etrafımızdaki bu eşyaların tamamına yakın bir kısmı, bir bükme aparatı, kalıbı ya da bükme makinesi ile şekillendirilmekte, kalıplardan elde edilecek parçaların belirli ölçü ve tolerans sınırları içerisinde olması istenmektedir. İstenen ölçü ve toleransı elde etmek, bükülen malzemenin geri esneme miktarının bilinmesine bağlıdır.

Malzemeleri ısıtarak veya ısıtmadan ve talaş kaldırmadan, malzemenin belli bir eksen etrafında döndürülerek şekillendirilmesine bükme denmektedir. Bükme; düz bir sacın kalıp üzerine yerleştirilmesi ve zımbanın kalıp içerisine girerken sacın zımba ucu etrafında kıvrılmasıdır. Bükme kalıpları ise; istenilen parça şekline uygun olarak yapılmış, dişi kalıp ve zımbadan oluşan, sac malzeme üzerinde kalıcı şekil değişikliği meydana getiren düzeneklerdir [1]. Bükme işlemlerinde, istenilen kusursuz bükme profilini elde edebilmek için, gerilim-gerinim dağılımları önemlidir. Bükme işlemlerinde malzemelerin elastikiyet sınırı aşılmakta, ancak maksimum çekme gerilmeleri aşılamamaktadır. Bu sebepten dolayı, malzeme orijinal esnekliğinin bir kısmını hala muhafaza etmektedir [1,2,3]. Malzeme üzerinden yük geri alındığı zaman malzeme eski halini almaya çalışmakta ve bükülen malzeme bir miktar esneyerek geriye doğru açılmaktadır. Malzemenin sergilemiş olduğu bu olaya geri esneme adı verilmekte ve ürünlerde istenmeyen bu geri esnemeyi önlemek için; bükme açısının, geri esnemeye bağlı olarak artırılması, bükme bölgesinin geri esnemeyecek şekilde ezilmesi, parçanın gerdirilerek bükme işleminin yapılması, malzeme üzerindeki kuvvetin bekleme süresinin artırılması gibi yöntemler, yaygın olarak kullanılanlar arasındadır [1].

Son yıllarda yapılan birçok araştırma da, geri esnemenin sac metal endüstrisinde önemli bir yer tuttuğunu ifade etmekte ve bu kalıcı fiziksel değişimin nasıl önlenebileceğini incelemektedir. Bu araştırmaların hepsinin ortak yönü, geri esnemenin önceden tahmin edilmesi veya bilinmesi ile kalıp tasarımının geri esneme değerinin dikkate alınarak tasarlanıp imal edilmesi üzerinde durmuş olmasıdır. Bu yüzden, geri esnemeyi tahmin edebilmek için çeşitli matematiksel modeller geliştirildiği gözlenmiştir. Bazı araştırmacılar da geri esneme değerlerini en aza indirmek için kalıp ve malzeme ikilisinin fonksiyonlarını ele almışlar ve en ideal kalıp ölçülerini ortaya çıkarmışlardır. Bazı çalışmalarda ise geri esnemeye etki eden bütün fonksiyonlar ortaya konmuş ve bunların nasıl minimuma indirileceği tespit edilmiştir.

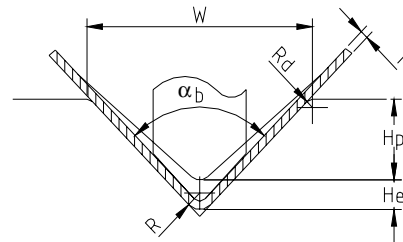
“V” bükme kalıplarındaki en önemli sorunlardan birisi geri esnemenin kontrolüdür. Kalıp tasarımı ve malzemelerin uygunluğuna göre çeşitli geri esnemelerin olduğu bilinmektedir. Çeşitli malzeme ve işlem parametreleri kombinasyonu, önceden tahmin

edilen geri esnemenin tam olarak elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Geri esnemenin belirlenmesi için, elastikiyet modülü, akma gerilmesi, pekleşme özelliği gibi malzeme parametreleri ile uygulanan kuvvet, sacın kalınlığı, kalıbın açısı, zımba yarıçapı, kalıp açıklığı gibi işlem parametrelerinin, geri esnemeye karmaşık bir şekilde etki ettiği bilinmektedir. Bu parametreler Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu çalışmada, bükmeyle ilgili parametreler zımba yarıçapı  $R$ , kalıp üst köşe yarıçapı  $R_d$ , kalıp ağız genişliği  $W$ , malzeme kalınlığı  $T$ , zımba girme derinliği  $h$  ( $H_p$  ve  $H_e$ ’nin toplamı) ve bükme açısı  $\alpha_b$ , bir bükümün iki ayağı arasındaki açı olarak ifade edilmiştir [2].

Tan ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada geri esnemenin önlenmesi için basit bir metot önerilmiştir. Bu metot da sac malzeme bir dizi yükleme ve geri almaya tabi tutulmuştur. Her bir bükme açısı ve geri esneme ölçülmüş ve çıkış sinyali bir bilgisayara yüklenmiştir. Böylelikle aşırı bükmeye denk gelen zımbanın uygun olan basma derinliği belirlenmiştir [2].

Shu ve Hung’un araştırmasının ilk amacı, çift bükme tekniği ile geri esneme ve değişenler arasındaki ilişkiyi analiz etmek için sonlu elemanlar metodunu kullanmak olmuştur. Daha sonra ise, geri esnemeyi azaltmak ve optimum şekillendirme parametrelerini bulmak için, sonlu eleman analizi ile optimizasyon tekniğini birleştirmişlerdir. Çalışmada elde edilen çözümler deneysel verilerle mukayese edilmiş, kalıp boşluğunun artmasıyla geri esnemenin azaldığını ortaya çıkarmışlardır [4]. Gan ve Wagoner bir başka çalışmada geri esnemeyi önlemek için kalıp dizayn metotlarını araştırmışlar ve uygun kalıp yapımı ile geri esnemenin en aza indirilebileceğini tespit etmişlerdir [5].

Tseng vd. bakır-berilyum (CuBe) sacların geri esneme davranışlarını tüm prensipleriyle incelemek için V kalıbı tasarlayarak çalışmışlardır [6]. Tseng ve diğerleri CuNiBe alaşımının şekillendirilmesindeki geri esneme değerlerinin önemini araştırmışlardır. Tahmini geri esneme için birçok çözümsel formüller önermişler ve bilgisayar yardımıyla elde edilen elemanların tasarımını yapmışlardır [7]. Sonlu elemanlar metodu ile; Pourboghra ve Chandorkar, Papeleux ve Ponthot, Micari ve vd., Forcellese ve arkadaşları da çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak da sonlu elemanlar metodunun, geri esnemenin hesaplanmasının yanı sıra,



Şekil 1. Kalıp düzeni ve işlem parametreleri [2] (Die setup and bending parameters [2])

kalıp elemanlarının hesaplanabilmesinde de kullanılabileceğini yaptıkları çalışma ile ortaya koymuş ve deneysel verilerle desteklemişlerdir [8,9,10,11]. Ling, ve diğerleri sonlu elemanlar metodu ile L bükme işlemlerinde geri esneme değerlerinin tespit edilmesini çalışmışlardır [12].

Yuan; malzeme plastik deformasyona maruz kaldıktan sonra, yükün bırakılmasıyla malzeme içindeki gerilmelerin yeniden elastiki dağılımıyla, geri esnemeyi azaltmaya çalışmıştır. Şimdiye kadar geri esneme homojen malzemelerle sınırlandırılmıştır [13]. Yuan mühendislikte kompozit sac malzemelerin kullanımının artmasıyla bunlar üzerindeki geri esnemeyi tespit etmek için doğruya yaklaşık bir matematiksel model çözümü araştırmış ve sunmuştur. Zhang ve diğerleri tarafından, sac metal şekillendirmesinde, geri esneme analizleri için yeni bir matematiksel model hazırlanmıştır. Model, bükme moment kuvveti ve geri esnemenin bulunmasında kullanılmaktadır [14]. Lo ve diğerlerinin araştırmasında ise metal parçaların geri esnemeleri ve yüzey gerilme deformasyonunun güç iletimi teorilerine uygunluğu araştırılmıştır [15].

## 2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHOD)

### 2.1. Malzeme (Materials)

Deney numuneleri 25×50 mm ebatlarında ve kalınlıkları 0,5 mm, 0,75 mm ve 1 mm'dir. Malzeme ebatlarının küçük seçilmesinin nedeni, dar alanda geri esnemenin daha sağlıklı olarak tespit edilebileceği düşüncesinden kaynaklanmıştır. Deneyler, sırasıyla (15, 30, 45, 60, 75, 90)° değerlerindeki açılar için her bir kalınlık ve her bir malzemeden onar tane olarak bükme işlemi ihtiva etmektedir. Bu sac malzemeler bir "V" bükme kalıbı yardımı ile zamanı ve basıncı ayarlanabilen hidrolik pres tezgahında bükülmüş ve bükülen her bir parça "1 dakika" hassasiyetindeki profilimetrede ve optik açı ölçerle hassas olarak ölçülmüştür. Bu sayede, ölçmedeki hata en aza indirilmeye çalışılmıştır. Deney malzemelerinin spektrometrik kimyasal analizleri (Sn 0,0892 - Ni 0,0108 - Pb 0,198- Zn 32,47 - Fe 0,27 Kalan Cu) yapılmıştır. Kalıp ölçüleri belirlenirken, bu güne kadar yapılan çalışmalarda deneysel formüller ve kabuller benimsenmiştir. Kalıbın imali sırasında Torna tezgahı, Freze tezgahı, Kalıpcı frezesi, Tel erozyon tezgahı, Matkap tezgahı, Tav fırını, Giyotin, Hidrolik testere tezgahı, Dekupaj testere tezgahı, Sertlik ölçme cihazı, Hidrolik pres tezgahı ve bunların ekipmanları kullanılmıştır.

Özellikle modüler kalıp parçalarının yapımında CNC'li tel erozyon tezgahından faydalanılmıştır. Deneyde kullanılan modüler kalıp parçaları CNC'li tel erozyon tezgahında kararlaştırılan bükme açılarında 1<sup>o</sup>μ hassasiyetle kesilmiştir. Kalıpların yüzey hassasiyeti 16 mikron değerinde ve 0,25 mm'lik kesme teli kullanılarak Şekil 2'deki gibi tek

bir parçadan zımba çıkarılarak hem dişi kalıp hem de erkek zımba elde edilmiştir. Hesaplanan değerler aynen bilgisayara aktarıldığı için kalıp üst köşe yarıçapı, kalıp kavisi, zımba yarıçapı vb. değerler tam ölçüsünde ve 1 μ hassasiyetinde yapılmışlardır. Bu ölçülerin ve bükme şartlarının değişmesi, elde edilen sonuçları da değiştirebilir.

"V" bükme kalıbındaki kuvvet hesabı için her araştırmacı farklı eşitlikler ortaya koymuştur. Bu eşitlikler her ne kadar farklı olsa da, çıkan sonuçlar arasında çok büyük farklar olmamaktadır. Bunun için bükme kuvveti hesabı Eşitlik 1'e göre yapılmıştır [16,17].

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

C; W/T' ye bağlı bir katsayı olup Eşitlik 2' ile bulunur.

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

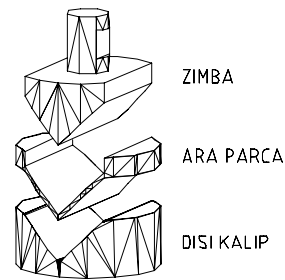
Bu eşitliklerde;  $P_v$ , "V" bükme kuvvetini (N);  $B$ , sac malzeme genişliği (mm);  $T$ , sac malzeme kalınlığı (mm);  $\sigma_b$ , malzeme çekme mukavemeti (N/mm<sup>2</sup>);  $W$ , kalıp ağız açıklığıdır (mm).  $C$ , W/T oranına bağlı bir katsayıyı ihtiva etmektedir.

Buna göre, 0,5 mm; 0,75 mm ve 1 mm kalınlıklarındaki bakır sac malzeme için sırasıyla 1500 N, 3300 N, 5900 N, "V" bükme kuvveti ve emniyetli kalıplama kuvveti hesaplanmıştır.

### 2.2. Metot (Method)

Çeşitli malzeme ve işlem parametreleri kombinasyonu, geri esnemenin önceden tam olarak tahmin edilmesini zorlaştırmaktadır. Bazı malzeme ve işlem parametrelerinin etkisini araştırmak için çeşitli deneyler yapılmıştır. Deneylerin yapılmasında dört değişik deney serisi ve öncelikle dip bükme tekniği kullanılmıştır.

Birinci deney serisinde zımba kalıbın dibine tamamen oturtulmamıştır. Zımba ile kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmiş ve böylelikle sac malzemenin bükme kesitinde ezilerek geri esnemeyi



Şekil 2. Modüler kalıbın parçaları (Parts of the modular die)

etkilemesi önlenmiştir. Birinci deney serisinde zımba, sac üzerinde 20 saniye bekletilerek, zımbanın geri alınması ile malzeme üzerindeki yük kaldırılmıştır.

İkinci deney serisinde ise, yine kalıp ile zımba arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk bırakılmış ve bu sefer zımba sac üzerinde hiç bekletilmemiştir. Zımba en son derinliğe iner inmez geri alınarak sac malzeme üzerindeki yük alınmıştır.

Üçüncü deney serisinde zımba kalıbın dibine tamamen oturtulmuştur. Yani, zımba ile kalıp arasında, sac malzeme kalınlığı tamamen ihmal edilmiştir. Burada da zımba yükü malzeme üzerinde 20 saniye bekletilmiştir.

Dördüncü deney serisinde ise, yine sac malzeme kalınlığı ihmal edilerek, zımba ile kalıbın teması sağlanmış, sac malzemenin üstünde zımba hiç bekletilmemiştir.

Her bir deney serisinde yaklaşık 60 tane sac malzeme bükülmüştür. Daha sonra, dört deney serisinden çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk iki deney serisinde çıkan sonuçlar kullanılabilir şekilde iken, sac malzeme kalınlığı dikkate alınmadan yapılan deney serisinde çok karmaşık sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle çalışmaya dahil edilmemiştir.

Deneyler ideal laboratuvar ortamında yapılmıştır. Deney sonuçlarını etkileyecek olumsuz şartlar (toz, ısı, vb.) elimine edilmiştir. Her bir deney parçası titizlikle kalıba yerleştirilmiş ve bükme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonra yine aynı titizlikle ölçme işlemi için hazırlanmıştır. Deney parçalarının çapakları temizlenerek soğuk bükme işlemi uygulanmıştır.

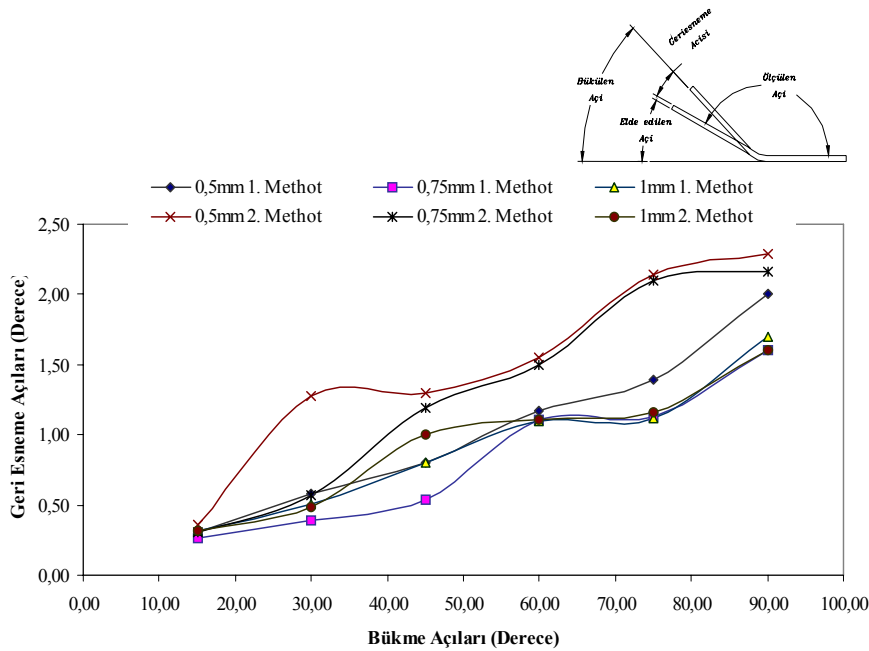
Bükülen her bir parçanın ölçme işlemi ölçme laboratuvarında titizlikle bir dakika hassasiyetindeki porifilimetre ve optik açölçerle hassas olarak ölçülmüştür. Örnekleme yöntemiyle bükülen bazı seriler tekrar ölçülmüş ve çıkan sonuçlar kontrol edilmiştir. Sonuçlarda bir dakikadan fazla ölçme hatasına rastlanmamıştır.

### 3. DENEY SONUÇLARI VE ANALİZ (RESULTS AND ANALYSIS)

Kullanılabilir olan deney sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir. Bu Tablolara göre de geri esneme grafikler oluşturulmuştur. Aritmetik ortalamanın hesaplanmasında en büyük sapmayı gösteren en küçük ve en büyük değerler (Tablolarda koyu renk gösterilen sütunlar) ihmal edilmiştir. Tablolardaki geri esneme değeri alınarak hedeflenen grafik ve denklem elde edilmiştir. Bütün bunların otomatik olarak yapılması, programın özelliğinden ve oluşturulan bir takım denklem dizileri sayesinde olmaktadır. Bunun yanı sıra her bir grafiğin ortalama çizgisi çizilmiş ve geri esneme denklemleri çıkarılmıştır. Burada da beş değişik yöntem denenmiş ve en uygununun polinom eğrisi olduğu tespit edilmiştir.

Birinci ve ikinci metotla elde edilen sonuçlar Şekil 3’te aynı grafik üzerinde, bütün kalınlıklar için, bir arada gösterilmiştir.

Şekil 3 üzerindeki; 1.Metotta zımba ile dişi kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmekte ve zımba kalıp üzerinde 20 saniye bekletilmektedir. 2.Metotta ise zımba ile dişi kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmekte ve zımba kalıp üzerinde hiç bekletilmeden, bükme gerçekleştiği anda zımba malzeme üzerinden geri çekilmektedir.



Şekil 3. Birinci ve ikinci metotla elde edilen geri esneme grafiklerinin birlikte gösterimi (A combined presentation of the spring back graphs obtained from both first and second methods)

**Tablo 1.** Birinci metoda göre farklı kalınlıklardaki bakır sac malzemenin bükme açıları, büküm işleminden sonra ölçülen bükülme açıları ve geri esneme değerleri (Bending angles of stainless steel sheet metals of different thickness, and spring back values and bending angles measured after bending according to the first method)

BÜKME AÇISI	ÖLÇÜLEN AÇI	0,5 mm										ORTALAMA			GERİESNEME		
		NUMUNELER										DERECE	DERECE	DAKİKA	DERECE	DERECE	DAKİKA
90	90	91,45	91,57	91,46	91,45	92,15	92,06	91,55	92,04	92,14	92,15	92,00	92	0	2,00	2	0
75	105	106,20	106,35	106,58	106,35	106,57	106,32	106,26	106,49	106,24	107,00	106,66	106	39	1,66	1	39
60	120	120,50	120,55	121,00	121,08	121,28	121,11	121,40	121,10	121,42	121,50	121,28	121	17	1,28	1	17
45	135	135,30	136,22	135,46	136,41	135,40	135,37	135,45	135,41	136,15	136,50	135,97	135	58	0,97	0	58
30	150	150,12	150,36	150,28	150,48	150,28	150,25	150,45	150,22	150,16	150,50	150,52	150	31	0,52	0	31
15	165	165,02	165,07	165,04	165,07	165,13	165,12	165,07	165,08	165,06	165,15	165,13	165	8	0,13	0	8
BÜKME AÇISI	ÖLÇÜLEN AÇI	0,75 mm										ORTALAMA			GERİESNEME		
		NUMUNELER										DERECE	DERECE	DAKİKA	DERECE	DERECE	DAKİKA
90	90	91,00	91,05	91,16	91,16	91,02	91,25	91,20	91,07	91,15	91,20	91	91	13	1	1	13
75	105	105,50	106,00	106,00	106,05	106,35	106,17	106,18	105,55	106,22	106,40	106	106	11	1	1	11
60	120	120,55	120,58	121,12	121,05	121,15	121,02	121,06	121,00	121,10	121,20	121	121	6	1	1	6
45	135	135,45	135,55	135,48	136,00	135,49	135,49	135,47	136,05	135,58	136,10	136	135	54	1	0	54
30	150	150,20	150,30	150,35	150,46	150,55	150,50	150,23	150,42	150,35	150,59	151	150	39	1	0	39
15	165	165,03	165,05	165,05	165,31	165,48	165,30	165,04	165,51	165,35	165,57	165	165	26	0	0	26
BÜKME AÇISI	ÖLÇÜLEN AÇI	1 mm										ORTALAMA			GERİESNEME		
		NUMUNELER										DERECE	DERECE	DAKİKA	DERECE	DERECE	DAKİKA
90	90	90,21	90,43	90,59	91,25	91,25	91,06	91,27	91,15	91,16	91,30	91,20	91	12	1,20	1	12
75	105	105,46	106,12	106,15	106,18	105,55	106,23	106,08	105,46	106,00	106,30	106,12	106	7	1,12	1	7
60	120	120,25	121,09	121,05	120,25	121,04	121,41	121,00	120,03	121,44	122,15	121,02	121	1	1,02	1	1
45	135	135,30	135,56	135,45	135,47	135,46	135,58	135,48	135,59	135,52	136,00	135,86	135	51	0,86	0	51
30	150	150,18	150,22	150,18	150,50	150,19	150,17	150,38	150,50	150,45	151,00	150,54	150	32	0,54	0	32
15	165	165,00	165,22	165,20	165,02	165,05	165,00	165,05	165,07	165,00	165,40	165,13	165	8	0,13	0	8

1. Metot: Sac kalınlığının dikkate alındığı ve zımbanın 20 sn beklendiği deney sonuçları

**Tablo 2.** İkinci metoda göre farklı kalınlıklardaki bakır sac malzemenin bükme açıları, büküm işleminden sonra ölçülen bükülme açıları ve geri esneme değerleri (Bending angles of stainless steel sheet metals of different thickness, and spring back values and bending angles measured after bending according to the second method)

BÜKME AÇISI	ÖLÇÜLEN AÇI	0,5 mm										ORTALAMA			GERİESNEME		
		NUMUNELER										DERECE	DERECE	DAKİKA	DERECE	DERECE	DAKİKA
90	90	92,05	92,45	92,25	92,20	92,15	92,10	92,36	92,40	92,42	92,45	92,49	92	29	2,49	2	29
75	105	107,00	107,03	107,02	107,10	107,01	107,35	107,25	107,27	107,10	107,40	107,24	107	14	2,24	2	14
60	120	121,40	122,04	121,55	122,10	121,48	121,55	121,52	121,54	121,42	122,16	121,92	121	55	1,92	1	55
45	135	136,00	136,22	136,15	136,41	136,02	136,37	136,25	136,43	136,40	137,00	136,47	136	28	1,47	1	28
30	160	150,45	151,10	150,58	150,48	150,49	151,20	151,10	151,22	150,46	151,30	151,05	151	3	1,05	1	3
15	165	165,15	165,35	165,45	165,25	165,35	165,58	165,50	165,20	165,20	166,00	165,60	165	36	0,60	0	36
BÜKME AÇISI	ÖLÇÜLEN AÇI	0,75 mm										ORTALAMA			GERİESNEME		
		NUMUNELER										DERECE	DERECE	DAKİKA	DERECE	DERECE	DAKİKA
90	90	92,00	92,16	92,24	92,15	92,25	92,04	92,16	92,09	92,20	92,35	92,27	92	16	2,27	2	16
75	105	106,45	106,56	107,00	107,10	107,04	106,55	106,51	106,58	107,15	107,20	107,02	107	1	2,02	2	1
60	120	121,15	121,58	121,52	121,57	121,15	121,24	122,00	122,10	122,05	122,15	121,84	121	50	1,84	1	50
45	135	135,45	135,55	135,48	136,00	136,24	136,49	136,50	136,05	136,42	136,58	136,32	136	19	1,32	1	19
30	160	150,45	150,56	150,55	150,56	150,55	150,56	150,52	151,05	151,00	151,10	150,95	150	57	0,95	0	57
15	165	165,00	165,25	165,25	165,31	165,48	165,30	165,04	165,51	165,35	165,57	165,52	165	31	0,52	0	31
BÜKME AÇISI	ÖLÇÜLEN AÇI	1 mm										ORTALAMA			GERİESNEME		
		NUMUNELER										DERECE	DERECE	DAKİKA	DERECE	DERECE	DAKİKA
90	90	91,00	91,23	91,05	91,25	91,25	91,06	91,13	91,15	91,16	91,30	91,27	91	16	1,27	1	16
75	105	106,00	106,12	106,15	106,18	105,55	106,23	106,08	106,12	106,08	106,30	106,19	106	11	1,19	1	11
60	120	120,25	121,09	121,05	120,25	121,04	121,45	121,32	120,03	121,44	122,15	121,10	121	6	1,10	1	6
45	135	135,45	135,50	136,00	135,47	136,20	136,25	135,48	135,59	135,52	136,30	136,00	136	0	1,00	1	0
30	160	150,35	150,38	150,48	150,50	150,55	150,56	150,42	150,50	150,45	151,00	150,80	150	48	0,80	0	48
15	165	165,05	165,22	165,40	165,56	165,29	165,55	165,09	165,07	165,42	166,00	165,54	165	32	0,54	0	32

2. Metot: Sac kalınlığının dikkate alındığı ve zımbanın sadece hidrolik presin geri dönmeye kadar bir süreyle beklendiği deney sonuçları

Bu sonuçlardan, kullanılabilir olan birinci ve ikinci metot için ayrı ayrı grafikler ise Şekil 4'te sunulmuştur.

Tablo ve grafiklerden elde edilen sonuçlara göre; zımba yükünün sac malzeme üzerinde daha fazla tutulmasıyla, geri esnemenin aynı oranla azalabileceği söylenebilir. Buradan, zımba yükünün bükülen sac malzeme üzerinde bekletilmesinin, bükme zamanını artırmasına karşın, geri esneme değerini azaltacağı söylenebilir. Tablolardan elde edilen verilere göre zımba yükünün sac malzeme üzerinde 20 saniye tutulması malzemeye ve bükme açısına göre ortalama 1° ile 3° arasında bir azalma sağlamaktadır.

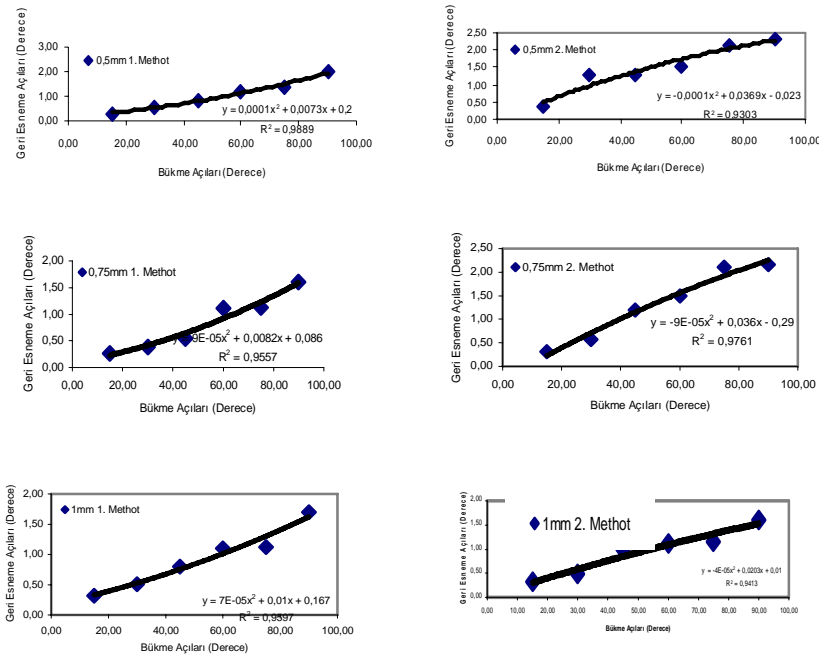
Sac malzeme kalınlığının ve bükme açılarının da geri esneme değerleri üzerinde oldukça etkili olduğu tablo ve grafiklerden anlaşılmaktadır. Sac malzeme kalınlığı ve bükme açısı arttıkça geri esneme değerlerinde de bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bükme açısının artırılmasının geri esnemeyi sac malzeme kalınlığından daha fazla etkilemektedir. 15°'lik bir bükmede ortalama 0,6°'lik geri esneme değeri elde edilirken 90°'lik bir bükme işleminde 5°'ye kadar geri esneme değerlerinin çıktığı görülmektedir. Buna karşın sac malzeme kalınlığının artırılması ile geri esneme değerlerinde en fazla 2,6°'lik bir artış söz konusudur.

Bunun yanında zımbanın kalıp içine tam oturması ile oturmaması arasında da önemli ölçüde farklılıklar olduğu gözlenmektedir. Sac malzeme kalınlığının ihmal edilerek zımbanın kalıp yüzeyine tamamen oturmasında elde edilen sonuçlarla, sac malzeme kalınlığının dikkate alındığı sonuçlar arasında da geri esneme değerlerinde yer yer 4°'lik fark ortaya çıkmıştır. Sac malzeme

kalınlığının ihmal edildiği deneylerde, düzgün bir dağılım görülmemektedir.

Ayrıca sac malzeme kalınlığının ihmal edildiğindeki deneylerde diğer iki metoda oranla daha küçük bir geri esneme meydana gelmiştir. Bunun nedeni de, zımbanın kalıp içinde sac malzemeyi belli bir miktar ezmesinden (kalıcı şekil değişikliği oluşmasından) kaynaklanmaktadır. Üçüncü ve dördüncü metotların geri esnemeyi tespit etmede uygun olmadığı görülmüştür. Geri esnemenin malzeme ve işlem parametrelerine bağlı olduğu bilinmektedir. Üçüncü ve dördüncü metotlarda sağlıklı bir geri esnemeyi bulmak için gerekli şartlar oluşmamaktadır. Geri esnemede kalıp ölçüleri, bükme açısı ve özellikle zımbanın inme derinliği çok önemlidir. Üçüncü ve dördüncü metotlarda zımba inme derinliği dikkate alınmamaktadır. Bunu bağlı olarak zımba ile kalıp arasında sıkışan malzemelerin bükme yerlerinde ezilmelerin olduğu görülmüştür. Bükme alanlarındaki ezilmelerde, geri esnemeyi hassas olarak tespit etmemizi engellemektedir. Bu nedenle çalışmada bu sonuçlar verilmemiştir.

Elde edilen tablo ve grafiklerin kullanımı oldukça basittir. Tablolardan denenen malzemelerin değişik açılarda ne kadar geri esneyebilecekleri derece ve derece-dakika olarak bulunabilir. Grafiklerde de denenen açılar için geri esneme değerleri bulunmaktadır. Ayrıca ara değerler ve denenen değerlerin üstündeki açılar içinde geri esneme değerlerini bulmak oldukça basittir. Grafikte yer alan denklemde değerleri yerine koyarak daha hassas olarak bulmak mümkündür. Sonuçta kullanıcı, tablodan, çizim yoluyla grafiklerden veya denklem



Şekil 4. Geri esneme grafikleri ve elde edilen polinom eğri denklemleri (Spring back graphs and polynomial curve equations obtained)

yardımı ile hesaplayarak geri esneme miktarlarını bulabilecektir. Tasarımcı bulduğu değere göre de kalıp tasarımını gerçekleştirecektir.

Dişi kalıba verilmesi gereken açı (KA)=Bükülecek açı (BA)- geri esneme açısı (GA)

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION)

Oluşturulan bu tablo ve grafiklerden elde edilen sonuçlara göre;

- Geri esneme malzeme ve kalıp ikilisinin fonksiyonlarına göre değiştiği bir kez daha desteklenmiştir.
- Denenen dört farklı metottan birinci ve ikinci metotların geri esnemeyi tespit etmede uygun olduğu gözlemlenmiştir. Bu metotlarda zımba ile dişi kalıp arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk bırakılmış, dolayısıyla sac malzemenin kalıp içerisinde ezilmesi engellenerek bükme profilinin bozulması önlenmiştir.
- Üçüncü ve dördüncü metotlarda ise sac malzeme kalınlığı dikkate alınmadığından zımba dişi kalıbın dibine tamamen oturmaktadır. Zımba ile dişi kalıp arasında kalan parçanın bükme bölgesinde, sac malzeme kalınlığına bağlı olarak ezilmenin olduğu ortaya çıkmıştır. Bu ezilmeler malzeme cinsine ve açısına göre değişiklik göstermektedir. Bükme profilinin ezilmesi, geri esneme değerinin hassas olarak bulunmasını engellemektedir. Üçüncü ve dördüncü metotların deney sonuçlarına göre geri esnemeyi belirlemede kullanılamayacağı ortaya çıkmıştır.
- Ayrıca zımbanın malzeme üzerinde bekletilme süresi de geri esnemeyi etkilemektedir. Elde edilen sonuçlara göre zımba bekleme süresinin artırılması geri esnemenin azalmasına neden olmaktadır.
- Elde edilen deney sonuçlarına dayanarak geri esnemeyi tespit edebilmek için sac malzeme kalınlığının dikkate alınması ve zımba yükünün uygulanma süresinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Zımba yükünün bekletilmesi geri esneme değerini azaltmaktadır.
- Malzeme kalınlığının artması geri esneme değerini artırdığı tespit edilmiştir.
- Bükme açısının artması ile de geri esneme değerinin arttığı tespit edilmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kalpakjian, S., **Manufacturing Engineering and Technology**, Prentice Hall., A.B.D., 2000.
2. Tan, Z., Persson, B. ve Magnusson, C., "Empiric Model for Controlling Springback in V-Die Bending of Sheet Metals", **Journal of Materials**

**Processing Technology**, Cilt 34, No 1-4, 449-455, 1992.

3. Ostergaart, D., E., **Basic Die Making**, Ankara, 38-86, 1977.
4. Shu, J. ve Hung, C., "Finite Element Analysis and Optimization of Springback Reduction: the Double-Bend Technique", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Cilt 36, No 4, 423-434, 1996.
5. Gan, W. ve Wagoner, R.H., "Die Design Method for Sheet Springback", **International Journal of Mechanical Sciences**, Cilt 46, No 7, 1097-1113, 2004.
6. Tseng, A.A., Chen, T.C., Jen, K.P., Kondetimmamhalli, R., Murty, Y.V., "Forming Properties and Springback Evaluation of Copper Beryllium Sheets", **Metallurgical And Materials Transactions A. Physical Metallurgy And Materials Science**, Cilt 26, No 8, 2111-2121, 1995.
7. Tseng, A.A., Chen, T.C., Jen, K.P., Ochiai, T., "Forming and Fractographical Characteristics of Copper-Nickel-Beryllium Sheets under Tension and Bending", **Journal of Materials Engineering and Performance**, Cilt 3, No 5, 619-634, 1994.
8. Pourboghra, F., Chu, E., "Prediction of Spring-Back and Side-Wall Curl in 2-D Draw Bending", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 50, No 1-4, 361-374, 1995.
9. Papeleux, L. ve Ponthot, J.P., "Finite Element Simulation of Springback in Sheet Metal Forming", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 125-126, 785-791, 2002.
10. Micari, F., Forcellese, A., Fratini, L., Gabrielli, F., Alberti, N., "Springback Evaluation in Fully 3-D Sheet Metal Forming Processes", **CIRP Annals- Manufacturing Technology**, Cilt 46, No 1, 167-170, 1997.
11. Forcellese, A., Fratini, L., Gabrielli, F., Micari, F., "Computer Aided Engineering of the Sheet Bending Process", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 60, No 1-4, 225-232, 1996.
12. Ling, Y.E., Lee, H.P., Cheok, B.T., "Finite Element Analysis of Springback in L-Bending of Sheet Metal", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 168, No 2, 296-302, 2005.
13. Yuan, W.Y.D., "Generalized Solution for the Prediction of Springback in Laminated Strip", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 61, No 3, 254-264, 1996.
14. Zhang, Z.T., Lee, D., "Development of a New Model for Plane Strain Bending and Springback Analysis", **Journal of Materials Engineering and Performance**, Cilt 4, No 3, 291-300, 1995.
15. Lo, S., Wu, Y., Yue, T., Xue, F., "On the Properties of Springback Theories for Commercial and Experimental Stamping Products", **Journal of the Chinese Society of**

**Mechanical Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series C/Chung-Kuo Chi Hsueh Kung Ch' eng Hsuebo Pao, Cil 17, No 4, 397-404, 1996.**

16. Cerit, A.M., **Makine Mühendisliği El Kitabı**, Maya Matbaacılık Yayıncılık Ltd. Şti., Ankara, 8-458-489, 1976.
17. Güneş, A.T., **Pres İşleri Tekniği**, Cilt 1, Erk Yayıncılık, Ankara, 184-241, 1989.