

# BÜKME KALIPLARINDA 0.75 MM KALINLIĞINDAKİ ÇELİK SAC MALZEMENİN GERİ ESNEME MİKTARLARININ BELİRLENMESİ

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

\*Kara Harp Okulu, Dekanlığı, Teknik Bilimler Bölümü, Makine Bilimsel Dalı, 06154, Ankara

\*\*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Teknikokullar/Ankara

\*\*\*Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kampus/Balıkesir

Geliş Tarihi : 16.06.2006

## ÖZET

Bükme kalıplarının sac metal endüstrisindeki önemi büyüktür. Kalıptan çıkacak olan parçaların istenilen tolerans sınırları içinde olması için, bükme kalıplarında bükülen malzemelerin geri esneme miktarlarının bilinmesi de bir o kadar önem kazanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada bükme kalıpları ve bükmede geri esneme konusu araştırılmıştır. Bükmede geri esneme miktarının tespiti için bir “V” kalıbı tasarlanmış ve bu kalıpta 0,75 mm kalınlıktaki sac malzemelerin farklı açılarda ne kadar geri esneyebilecekleri tespit edilerek geri esneme grafikleri elde edilmiştir. Geri esneme farklı kalıpta, her açıda 10’ ar adet parça bükülmek suretiyle, kalıptan çıkan parçaların geri esneme miktarları optik profili metre ile ölçülmüştür. Deneysel sonuçları bilgisayar ortamında excel programının yardımı ile grafiklere dönüştürülmüş ve değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** V bükme kalıbı, Geri esneme, Bükme açısı.

## DETERMINING SPRINGBACK AMOUNT OF STEEL SHEET METAL HAVE 0.75 MM THICKNESS IN BENDING DIES SHEET MATERIALS

## ABSTRACT

Bending dies is very important in sheet metal industry. Since the material leaving the die should be obtained within the allowed tolerance limits, the amount of springback of bending material in bending dies is as important as the die itself. In this study springback amount of the materials in bending process were investigated. In order to obtain the springback in bending, a “V” shaped die was designed. It was aimed to obtain the springback amounts of steel sheet metal have 0.75 mm thickness for various bending angles and the springback graphics in 6 different dies and 10 samples, were bent in different angles and after bending process final bent angles were measured with a optical profile meter. Experimental results were statistically evaluated in a computer media and converted to graphics.

**Key Words :** Bending dies, Springback, V-Bending.

## 1. GİRİŞ

Son on beş yılda yapılan bir çok araştırma, geri esnemenin sac metal endüstrisinde önemli bir yer

tuttuğunu ifade etmekte ve bu 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. Bazı araştırmacılar 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.

Geri esneme, uygun kalıp tasarımıyla en aza indirilebilmekte, ancak tamamen yok edilememektedir. Geri esnemeyi en aza indirmek, kalıp tasarımında en önemli sorunlardan birisidir. Eğer geri esneme önceden tam olarak tahmin edilemezse, geri esnemenin yerini tutacak değeri bulabilmek ve uygun şekillendirme parametrelerini sağlamak amacıyla ardı ardına deneme yapılarak geri esneme değeri bulunmaya çalışılır. Bu da; zamanı, malzeme israfını ve en önemlisi maliyeti doğrudan arttırır. İşte bu nedenle geri esnemenin önceden bilinmesi çok önemlidir. Bu konudaki araştırmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Bükme işlemleri üzerindeki çalışmaların içerisinde en önemlisi Hill'in temel sac bükme teorisidir. Hill, yumuşak malzemelerin kusursuz ve doğal eksenin bükme boyunca yer değiştirmesinin komple çözüm teorisini ortaya koymuştur. Buna ilave olarak, Proskas'ın gerilim pekleşmesinin kusursuz eğme teorisini Crafoord tarafından geliştirilmiştir. Crafoord bunu geliştirirken, Bauschinger etkisi yüklemenin geri alınması ve lifler arasında düz yüzey ile gerilmemiş yüzeyin mevcut yeri için güncel baskı modelinin benimsenmesi sonucunu elde etmiştir. Crafoord teorisinde, gerilme dağılımlarını hesaplamak mümkündür. Verguts ve Sowerby ise; Bauschinger etkisini hesaba katmadan liflerin bireysel deformasyonunu incelemiştir (Tan et al., 1992).

Bükme işlemlerinde, istenen kusursuz bükme profilini elde edebilmek için, gerilim-gerinim dağılımları önemlidir. Bükme; düz bir sacın kalıp üzerine yerleştirilmesi ve zımbanın kalıp içerisine girerken sacın zımba ucu etrafında kıvrılmasıdır. Bu esnada sac elastik geri dönmeyi ve geri esnemeyi aşmaktadır. Bükme anında sac, bir yüzeyinde yoğun bir şekilde basma gerilmesine maruz kalırken, diğer yüzeyinde çekme gerilmesine maruz kalmaktadır. Sac malzeme kalıp içinde bükülürken, tarafsız eksenin içinde kalan kısımda yani basma gerilmesinin olduğu yerde, sac malzeme esas genişliğinden daha büyük olmaktadır. Tarafsız eksenin dışında kalan ve çekilmeye çalışan kısımda ise, malzeme esas genişliğinden daha küçük olmaktadır (Ostergaart, 1977; Pourboghrat, et al., 1995; Kalpakjian, 2000).

Kwok and Lee (1995), son günlerdeki, insansız esnek metal sac üretim sistemleri gibi sistemlerde bükme işlemi esnasında, malzemenin üretiminden kaynaklanan mekanik özellik farklılıklarını hesaba katan akıllı bükme makineleri ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Bauer and Khodayari (1992)'de CNC'li çekme makineleri ile bükme açısını değiştirerek deneyler yapmışlar ve malzeme kalıp parametrelerinin bulunabilmesi için matematiksel bir model ortaya koymuşlardır.

Shu and Hung'un (1996) araştırmasının ilk amacı, 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 edilmiştir. Gan and Wagoner (2004) bir başka çalışmada geri esnemeyi önlemek için kalıp dizayn metodlarını araştırmışlar ve uygun kalıp yapımı ile geri esnemenin en aza indirilebileceğini tespit etmişlerdir.

Tseng et al., (1994) bakır-berilyum (CuBe) sacların geri esneme davranışlarını tüm prensipleriyle incelemek için çalışmışlardır. Tseng et al. (1995) CuNiBe alaşımının şekillendirilmesindeki geri esneme değerlerinin önemini araştırmışlardır. Tahmini geri esneme için birçok çözümsel formüller önermişler ve bilgisayar yardımıyla elde edilen elemanların tasarımını yapmışlardır. Sonlu elemanlar metodu ile; (Pourboghrat and Chandorkar 1992; Papeleux and Ponthot, 2002; Micari et al. 1997; Forcellese et al. 1996)'de çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak da sonlu elemanlar metodunun, geri esnemenin hesaplanmasının yanı sıra, kalıp elemanlarının hesaplanabilmesinde de kullanılabilceğini yaptıkları çalışma ile ortaya koymuş ve deneysel verilerle desteklemişlerdir. Ling et al. (2005) sonlu elemanlar metodu ile "L" bükme işlemlerinde geri esneme değerlerinin tespit edilmesini çalışmışlardır.

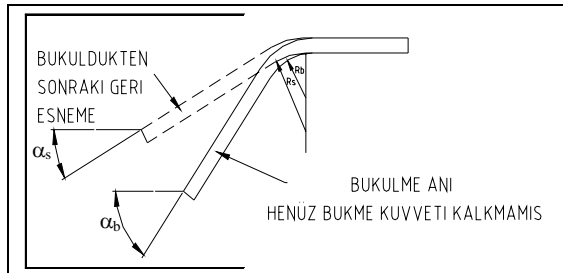
Yuan (1996), malzeme plastik deformasyona maruz kaldıktan sonra, yükün bırakılmasıyla malzeme içindeki gerilmelerin yeniden elastiki dağılımıyla, geri esnemeyi azaltmaya çalışmıştır. Şimdiye kadar geri esneme homojen malzemelerle sınırlandırılmıştır. Yuan mühendislikte kompozit sac malzemelerin kullanımının artmasıyla bunlar üzerindeki geri esnemeyi tespit etmek için doğruya yaklaşık bir matematiksel model çözümleri araştırmış ve sunmuştur. Lo et al. (1996) araştırmasında ise metal parçaların geri esnemeleri ve yüzey gerilme deformasyonunun güç iletimi teorilerine uygunluğu araştırılmıştır.

Wang et al. (1993); havada bükme ve kalıpla bükme işlemleri ile U kalıp, V kalıp ve silme (sıyırma) kalıplarının simülasyonu için BEND adında bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Literatürde geri esnemeyi azaltmak için sözü edilen yöntemler tek tek değerlendirildiğinde, en kolay çözümün, bükme açısının geri esnemeye bağlı olarak artırılması olduğu görülmektedir. Buradaki problem, bükme açısının ne kadar büyük yapılacağına karar verilmesidir. Bu amaçla, değişik malzemeler için deneysel olarak elde edilmiş grafiklerden istifade etme fikri yaygın olmakla beraber, bu tür grafiklerin sayısının literatürde oldukça sınırlı sayıda malzeme için mevcut olduğu görülmüştür. Bu eksikliğin doğurduğu ihtiyaç bu çalışmanın da temel amacını oluşturmuştur. Bu çalışma ile belirtilen eksikliği kısmen gidermek için, 0.75 mm kalınlığındaki sac malzeme altı değişik açıda ve dört farklı yöntemle bükülerek, geri esneme miktarları tespit edilmeye çalışılmıştır.

## 2. GERİ ESNEME

Bütün malzemeler sınırlı bir elastikiyet modülüne sahip olduğundan, plastik deformasyon, uygulanan yük kaldırıldığı zaman, bir miktar elastik geri dönüş ile takip edilmektedir. Uygulanan yük geri çekildiği zaman, basılmaya çalışan taraftaki malzeme genişlemeye, çekilmeye çalışan taraftaki malzeme de basılmaya çalışmaktadır. Sonuç olarak malzeme ilk halini almaya çalışmakta ve bükülen malzeme küçük bir miktar esneyerek açılmaya sebep olmaktadır. Malzemenin bu durumu “geri esneme” olarak adlandırılmaktadır. Bu durum, Şekil 1’de gösterilmiştir. Burada, dikkat edilecek olursa, geri esnemenin sonraki son bükme açısı daha küçük ve son bükme yarıçapı öncekine göre daha büyüktür. Bükmedeki elastik kısım, bükme işleminden sonra elastikiyetini geri almaya çalışır ve bükme yarıçapı daha geniş ( $R_s > R_b$ ) olur (Güneş, 1989; Kalpakjian, 2000).



Şekil 1. Bükme sonrasında oluşan geri esneme.

Gerri esneme;

- Malzemenin kalınlığına,
- Malzemenin kimyasal yapısı ve işlem parametrelerine ( sıcaklık vb.),
- Malzemenin cinsine (elastikiyet modülü, akma dayanımı, pekleşme üsteli, vb.),
- Zımba yükünün malzeme üzerinde kalma süresine,
- Kalıp ölçülerine,
- Uygulanan kuvvete,
- bağlı olarak değişmektedir.
- Bunun yanı sıra;
- Bükme yarı çapı/malzeme kalınlığı (R/T) oranı büyükse, geri esneme değerinin buna bağlı olarak daha büyük olduğu,
- Daha geniş kalıp boşluğu daha büyük bir geri esnemeye neden olduğu,
- Geri esnemenin bükme yarıçapıyla doğru orantılı olarak değiştiği,
- Bükme yarıçapı büyüdükçe geri esneme miktarının arttığı, bilinmektedir (Güneş, 1989; Kalpakjian, 2000).

İstenilen bir açıda bükme işlemi yapabilmek için, geri esneme miktarlarının giderilmesi gerekir. Geri esneme miktarlarını giderebilmek için aşağıda sıralanan yöntemler, yaygın olarak başvurulan yöntemlerdir (Güneş, 1989; Kalpakjian, 2000).

- Bükme açısı, geri esnemeye bağlı olarak, artırılır,
- Bükme bölgesi geri esnemeyecek şekilde ezilir,
- Parça gerdirilerek bükme işlemi yapılır,
- Malzeme üzerindeki kuvvetin bekleme süresi artırılır.

İstenilen açıdaki bükmenin elde edilebilmesi için bükme açısı geri esneme miktarı kadar artırılır. Buna, aşırı bükme de denilmektedir. Aşırı bükme, geri esnemeyi etkili bir şekilde azaltmaktadır. Bu havada bükme de, zımbanın vuruşunu ayarlamak suretiyle yapılabilir. “V” bükme kalıplarında yapılan havada bükme işlemlerinde, geri esnemeyi engellemek için, aşırı bükme yöntemi uygulanmaktadır.

Her ne kadar bu yöntemin geri esneme miktarını giderebileceği söylene de, verimli bir sonuç elde edilmesi mümkün olmamakta, bu yöntemlerin bazı olumsuz yönleri de ortaya çıkmaktadır. Bükme açısının artırılması malzeme cinslerine göre değişmektedir. Örneğin yumuşak çelik, alüminyum, bakır, pirinç için geri esneme 0° ile 1° arasında herhangi bir değer olabilir. Sert malzemeler için ise 12° ile 15° arasında değişmektedir. Bu rakamlar

yaklaşık değerler olduğu için tam sonuç elde etmek mümkün olmamaktadır. Ancak geri esneme tam olarak bilindiği takdirde, kalıp geri esneme miktarı kadar büyük yapılarak istenen bükme sağlanabilir.

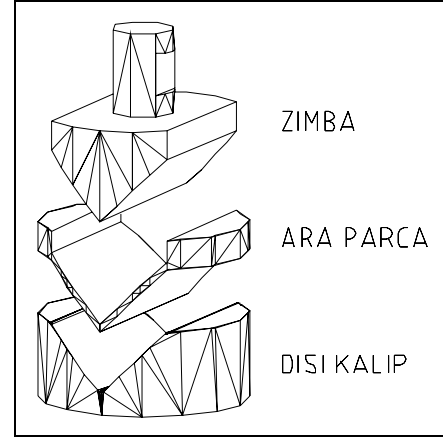
Bükme bölgesinin zımba ve dişi kalıp arasında ezilmesi yöntemiyle parçada basma gerilmesi artacağından, geri esneme miktarı ortadan kalkacaktır. Ancak bu tip bükme işlemlerinde çok büyük kuvvetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca pres kurs boyunun da çok hassas ayarlanması gerekir. Aksi takdirde kalıba ve iş parçasına zarar verilebilir. Eğer pres kurs boyu iyi ayarlanmaz ise, fazla kurs boyundan dolayı kalıbın çatlaması ve iş parçasının bükme alanlarında ezilmesine neden olacaktır. Ezilmenin bükmeyi ve parçayı zayıflatacağı da göz önünde bulundurulur ve ezilmeden dolayı malzemede elde edilmek istenen gerçek yayın oluşmayacağı da düşünülürse, bu yöntemin pek sağlıklı olacağı söylenemez. Ayrıca kalıbın zarar görmesi de maliyeti ve zamanı artıracaktır. Zımbanın malzeme üzerinde bekletilmesi geri esnemeyi azaltmasına karşın zamanı artırdığından, maliyeti de artırması söz konusudur.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Geri esneme değerlerinin önceden bilinmesi veya tahmin edilmesi, değerleri tayin etmek için bir seri deneyler yapılarak, çalışmaların temel hedefini oluşturmuştur. Deneyin yapılabilmesi için Şekil 2’de görülen basit ve modüler bir “V” kalıbı dizayn edilmiştir. Kalıp basit olmasına karşın, küçük değişikliklerle değişik türde işler kalıplamak mümkün olacak modüler yapıdadır. Bu deneylerde, 25 × 50 mm ebatlarında, 0.75 mm kalınlığındaki sacın, lineer olarak artan açı değerlerinde bükülmesiyle geri esneme grafikleri elde edilmiştir. Deneyler, sırasıyla 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° değerlerindeki açılar için onar numune üzerinde bükme işlemini 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 optik profili metrede ve optik açı ölçerle hassas olarak ölçülmüştür. Bu sayede, ölçmedeki hata en aza indirilmeye çalışılmıştır. Sac malzemelerin spektrometrik kimyasal analizleri yapılarak, oluşturulan grafiklerde gösterilmiştir. Bükülen parçaların ölçüm sonuçları bilgisayar ortamında değerlendirilmiş ve Microsoft Excel programının yardımıyla 0.75 mm kalınlığındaki DKP (Üretimden çıktıktan sonra üzerindeki oksit tabakası asitle alınan sac malzeme) sac malzemenin geri esneme grafikleri oluşturulmuştur. Kalıp ölçüleri belirlenirken (kalıp gövdesi üst yüzey

bükme yarıçapı, kalıp kanalı, dişi kalıp yarıçapı, bükme yarı çapı, kalıp ağız genişliği, zımba yarı çapı vb.) bu güne kadar yapılan çalışmalardaki deneysel formüller ve kabuller benimsenmiştir. Bu ölçülerin ve bükme şartlarının değişmesi, elde edilen sonuçları da değiştirebilir. Oluşturulan tablo ve grafikler kullanılırken bükme şartları ve yapılan deney şartlarıyla uyumuna dikkat edilmelidir.

Deneyde kullanılan modüler kalıp parçaları CNC’li tel erozyon tezgahında kararlaştırılan bükme açılarında 1° µm 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 yarı çapı, kalıp kavisi, zımba yarı çapı vb. değerler tam ölçüsünde ve 1 µm hassasiyetinde elde edilmiştir.



Şekil 2. Modüler kalıbın parçaları.

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 etkilemesi önlenmiştir. Bu şekilde, birinci deney serisinde zımba, sac üzerinde 20 saniye bekletilerek, malzeme üzerindeki yük zımbanın geri alınması ile 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.

Deney sonuçlarını etkileyecek olumsuz şartlar (toz, ısı, vb.) elimine edilerek deneyler ideal laboratuvar ortamında yapılmaya çalışılmıştır. Deney parçalarının çapakları temizlenerek soğuk bükme işlemi uygulanmıştır. Örneklemeye yöntemiyle bükülen bazı seriler tekrar ölçülmüş ve çıkan sonuçlar kontrol edilmiştir. Sonuçlarda 1' dakikadan fazla ölçme hatasına rastlanmamıştır.

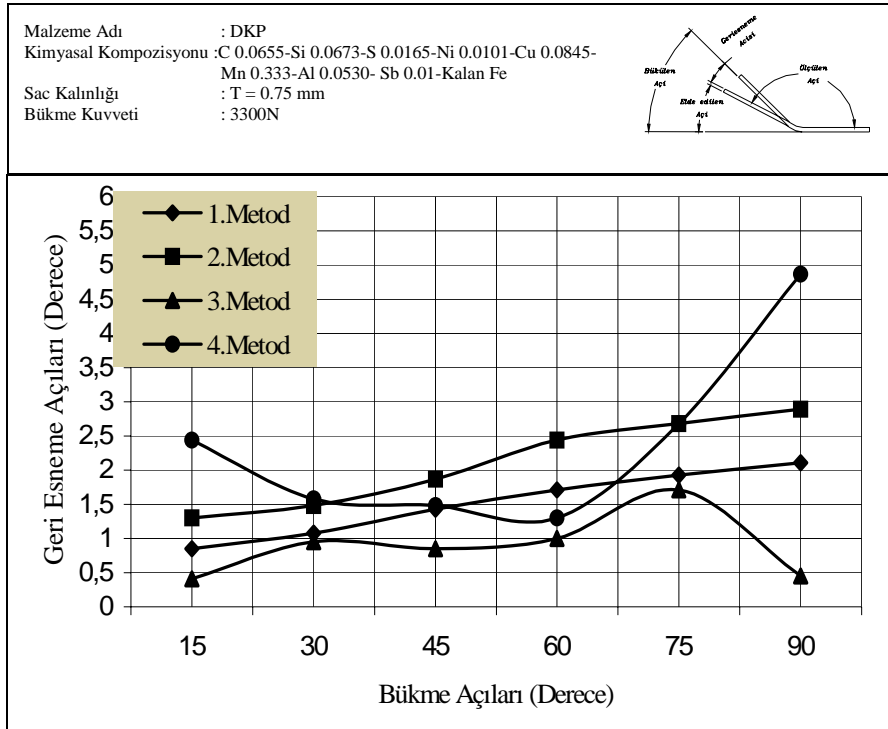
Deney sonuçları bilgisayara girilerek Microsoft Excel programının yardımı ile çizelge ve grafikler oluşturulmuştur. Aritmetik ortalamının hesaplanmasında en büyük sapmayı gösteren en küçük ve en büyük değerler (Tablo 1'de koyu renk gösterilen sütunlar) ihmal edilmiştir. Her grafiğin benzeştirme eğrisi çıkarılmıştır. Beş değişik benzeştirme eğrisi olan doğrusal, logaritmik, üs, üstel ve polinomdan en uygununun Şekil 4'de görülen polinom eğrisi olduğu tespit edilmiştir. Sapmanın çok küçük çıkması bize deney sonuçlarının kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Her grafiğin sağ alt köşesinde sapma miktarını ve geri esneme denklemini bulmak mümkündür.

#### 4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Gerri esnemenin ölçü ve boyut toleranslarına etki ettiği bilinmektedir (Tan et al., 1992; Pourboghraat and Chu, 1995; Tseng et al., 1995). Endüstride ve özellikle de yedek parça sanayiinde imal edilen parçaların ölçü ve boyut toleransları önemlidir. Bu nedenle geri esneme konusunda yapılan çalışmaların ortak yönü, geri esnemenin önceden bilinmesi ile kalıp dizaynının geri esneme değeri dikkate alınarak yapılması gerektiridir.

Dört deney serisinden çıkan sonuçlar Şekil 3'de karşılaştırılmıştır. İlk iki deney serisinde çıkan sonuçlar kullanılabilir şekilde iken, sac malzeme kalınlığı ihmal edilerek yapılan deney serilerinde çok karmaşık sonuçlar elde edilmiştir.

Gerri esneme 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 ezilme, geri esnemeyi hassas olarak tespit edebilmeyi engellemektedir. Şekil 3'deki grafiklerden de anlaşıldığı gibi her açıda, ezilme miktarının farklı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Dört ayrı metotla elde edilen bükme açısı/ geri esneme açısı ilişkileri.

Bükülen parçaların tümü için elde edilen tablolar ve grafikler oluşturulmuştur. Bu sonuçlardan, kullanılabilir olan birinci metot için sonuçlar Tablo 1’de, ikinci metot için Tablo 2’de, birinci ve

ikinci metot için deney sonuçları ve trend denklemleri ayrı ayrı grafikler halinde Şekil 4 ve Şekil 5’de verilmektedir.

Tablo1. Birinci Yöntemle, Kalınlığı 0.75 mm Olan Saçlarda Bükme Açılı, Numunelerde Yapılan Ölçümler, Aritmetik Ortalamalar ve Geri Esneme Miktarları.

Büküm Açısı	Ölçülen Açı	0,75 mm Kalınlığındaki Sac Malzemeler										Ortalama			Geri Esneme		
		Numuneler										Derece	Derece	Dakika	Derece	Derece	Dakika
		91.40	91.55	92.04	92.16	92.20	92.12	91.58	92.25	91.45	92.30						
90	90	91.40	91.55	92.04	92.16	92.20	92.12	91.58	92.25	91.45	92.30	92	92	7	2.11	2	7
75	105	106.35	106.50	106.50	106.43	107.16	107.03	106.35	106.55	107.12	107.29	107	106	55	1.93	1	55
60	120	121.20	121.45	121.30	121.58	121.35	121.46	121.42	121.50	121.37	121.59	122	121	43	1.71	1	43
45	135	135.50	136.24	135.55	135.57	136.35	136.43	136.39	136.40	136.35	136.50	136	136	26	1.43	1	26
30	150	150.55	151.00	151.06	151.18	151.20	150.59	150.55	150.57	151.03	151.25	151	151	5	1.08	1	5
15	165	165.35	165.45	165.48	165.50	165.48	165.52	165.54	165.56	165.55	166.00	166	165	51	0.85	0	51

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

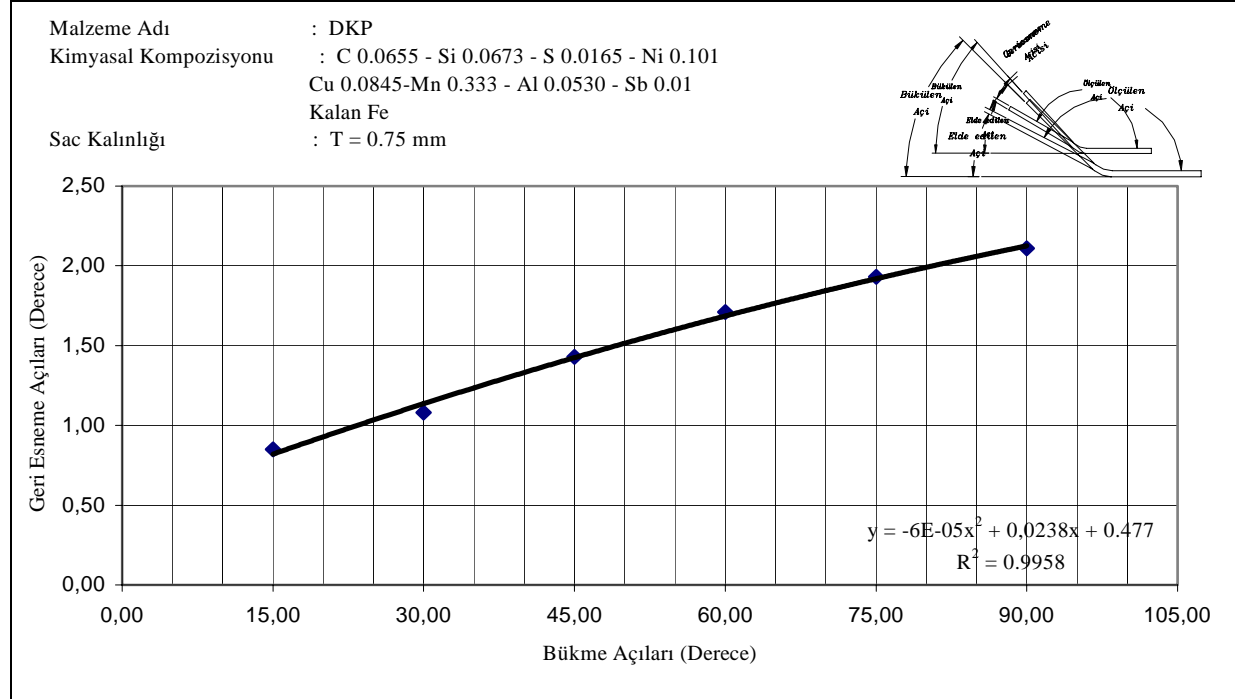
Elde edilen tablo ve grafiklerin kullanımı oldukça basittir. Tablodan bükülen parçaların değişik açılarda ne kadar geri esneyebilecekleri derece ve derece-dakika olarak bulunabilir. Grafiklerde de

denenen açılar için geri esneme değerleri bulunmaktadır. Ayrıca ara değerler ve denenen değerlerin üstündeki açılar için de geri esneme değerlerini bulmak oldukça basittir.

Tablo 2. İkinci Yöntemle, Kalınlığı 0.75 mm Olan Saçlarda Bükme Açılı, Numunelerde Yapılan Ölçümler, Aritmetik Ortalamalar ve Geri Esneme Miktarları.

Büküm Açısı	Ölçülen Açı	0,75 mm Kalınlığındaki Sac Malzemeler										Ortalama			Geri Esneme		
		Numuneler										Derece	Derece	Dakika	Derece	Derece	Dakika
		92.40	92.48	93.05	93.10	92.41	93.05	92.50	92.55	92.58	93.15						
90	90	92.40	92.48	93.05	93.10	92.41	93.05	92.50	92.55	92.58	93.15	92.94	92	56	2.94	2	56
75	105	107.25	107.56	107.34	107.39	107.50	107.55	107.59	107.35	107.45	108.05	107.78	107	47	2.78	2	47
60	120	122.00	122.44	122.46	122.40	122.40	122.35	122.34	122.00	122.02	122.50	122.50	122	30	2.50	2	30
45	135	136.50	136.57	137.05	137.00	136.55	137.02	136.55	135.56	136.58	137.05	136.98	136	59	1.98	1	59
30	160	151.25	151.45	151.27	151.45	151.48	151.28	151.30	152.03	152.05	152.10	151.73	151	44	1.73	1	44
15	165	166.00	166.25	166.21	166.12	166.04	166.38	165.25	166.24	166.20	166.50	166.35	166	21	1.35	1	21

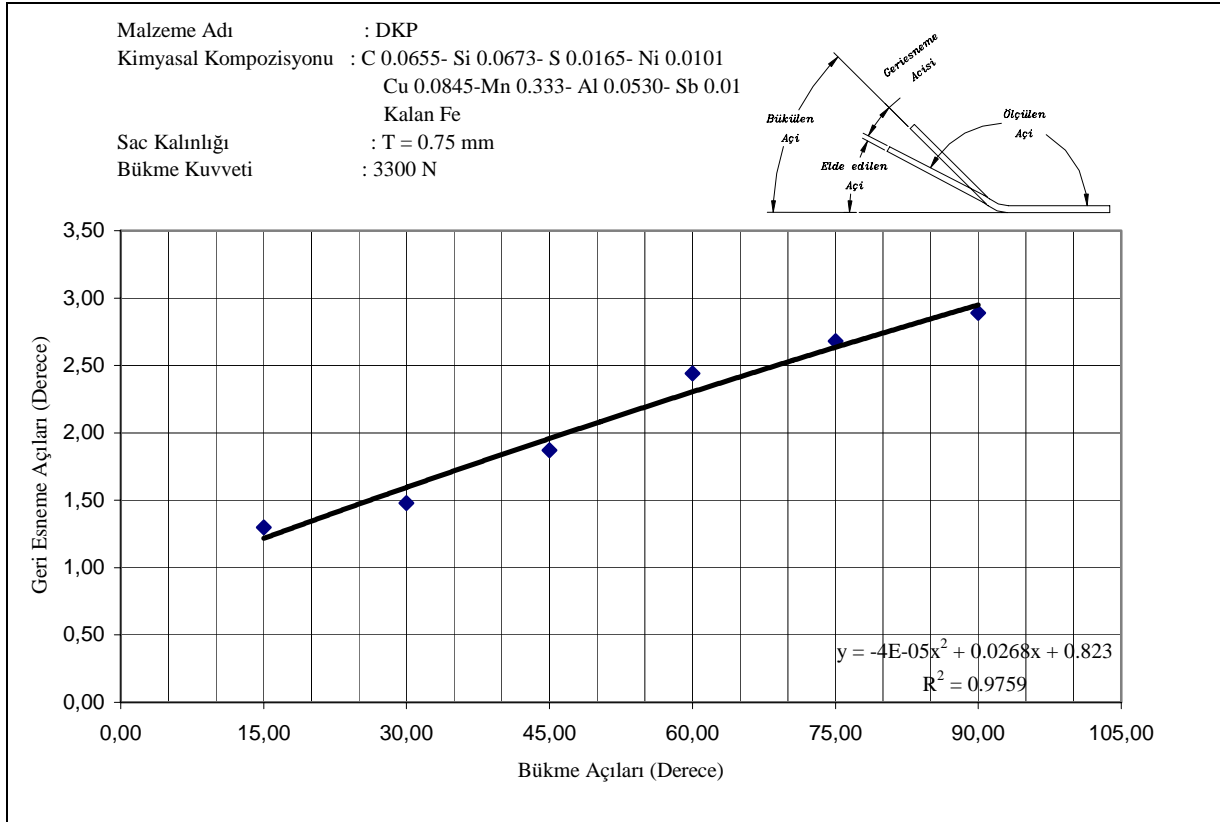
2. Metot: Sac kalınlığının dikkate alındığı ve zımbanın sadece hidrolik presin geri dönmesi kadar bir süreyle bekletildiği deney sonuçları



Şekil 4. 0.75 mm. sacın birinci metotla elde edilen geri esneme grafiği ve elde edilen polinom eğri denklemi

Sonuçta kullanıcı, tabloyu, grafikleri, veya denklemleri kullanarak geri esneme miktarlarını bulabilecektir.

Tasarımcı bulduğu değere göre de kalıp tasarımını gerçekleştirebilecektir.



Şekil 5. 0.75 mm. sacın ikinci metotla elde edilen geri esneme grafiği ve elde edilen polinom eğri denklemleri

## 5. SONUÇ

Oluşturulan bu tablo ve grafiklerden elde edilen sonuçlara göre;

- Geri esnemenin; kalıp düzenlemesi ve yük uygulama biçimine göre değiştiği bir kez daha desteklenmiştir.
- Bunun yanı sıra, 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 sonucu çıkmaktadır. Tablo 2'den 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.
- 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 edilmesindeki 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 metot olan zımbanın kalıbın dibine tamamen oturtulması yani, zımba ile kalıp arasında, sac malzeme kalınlığının tamamen ihmal edilmesi ve zımba yükünün malzeme üzerinde 20 saniye bekletilmesi ile, dördüncü metot olan sac malzeme kalınlığının ihmal edilmesi, zımba ile kalıbın temasının sağlanması ve sac malzemenin üstünde zımbanın hiç bekletilmediği 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 olan şartlar oluşmamaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- Bauer, D., Khodayari, G. 1992. "Rohrrueckfederung Beim Biegen Prozessbegleitend Kompensieren., In-Process Compensation of Tube Springback During Bending", **Baender Bleche Rohre**, V 33, N 7, P. 27-37, Univ. Gesamthochschule-Siegen, German.
- Forcellese, A., Fratini, L., Gabrielli, F., Micari, F. 1996. "Computer Aided Engineering of the Sheet Bending Process", **Journal of Materials Processing Technology**, V 60, N1-4, P 225-232, Univ. of Ancona, Ancona, Italy.
- Gan, W., Wagoner, R. H. 2004. "Die design Method For Sheet Springback", **International Journal of Mechanical Sciences**, V 46, I 7, P 1097-1113.
- Güneş, A. T. 1989. **Pres İşleri Tekniği**, Cilt 1, Sayfa184-241, Erk Yayıncılık, Ankara.
- Kalpakkian, S. 2000. **Manufacturing Engineering and Technology**, Prentice Hall yay., USA.
- Kwok, S. K., Lee, W. B. 1995. "Development of a Machine Vision System for Adaptive Bending of Sheet Metals", **Journal of Materials Processing Technology**, V 48, N 1-4, P 43-49, Hong Kong Polytechnic, Hung Hom, Hong Kong.
- Ling, Y. E., Lee, H. P., Cheok, B. T. 2005. "Finite Element Analysis of Springback in L-bending of Sheet Metal" **Journal of Materials Processing Technology**, V 168, Issue 2, 30, P 296-302.
- Lo, Sy-Wei., Wu, Ying-Hui., Yue, Tian-Ding., Xue, Fu-Yong. 1996. "On the Proprieties 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**, V 17, N 4, P 397-404, Natl Yunlin Inst. of Technology, Touliu, Taiwan.
- Micari, F., Forcellese, A., Fratini, L., Gabrielli, F., Alberti, N. 1997. "Springback Evaluation in Fully 3-D Sheet Metal Forming Processes", **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, V 46, N 1, P 167-170, Univ. of Palermo, Italy.
- Ostergaart, D. E. 1977. **Basic Die Making**, Bağcı M., Sezgin İ., Ercan F., Sayfa 38-86, Ankara.
- Papeleux, L., ve Ponthot, J. P. 2002. "Finite Element Simulation Of Springback in Sheet Metal Forming", **Journal of Materials Processing Technology**, V 125-126, P 785-791.
- Pourboghrat, F., Chandorkar, K. 1992. "Springback Calculation For Plane Strain Sheet Forming Using Finite Element Membrane Solution", **Numerical Methods For Simulation of Industrial Metal Forming Processes American Society of Mechanical Engineers, Computer Engineering Division, CED**, V6, P 85-93, Publ By ASME, New York, USA.
- Pourboghrat, F., Chu, E. 1995. "Prediction of Spring-Back and Side-wall Curl in 2-D Draw Bending", **Journal of Materials Processing Technology**, V 50, N 1-4, P 361-374, Aluminum Co of America, Alcoa Center, PA, U.S.A.
- Shu, J., Hung, C. 1996. "Finite Element Analysis and Optimization of Springback Reduction: The Double-bend Technique", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, V 36, N 4, P423-434, Natl. Chiao Tung Univ., Hsinchu, Taiwan.
- Tan, Z., Persson, B., Magnusson, C. 1992. "Empiric Model For Controlling Springback in V-die Bending of Sheet Metals", **Journal of Materials Processing Technology**, V 34, N 1-4, P 449-455, Lulea Univ. of Technology, Sweden.
- Tseng, A., A., Chen, T., C., Jen, K., P., Ochiai, T. 1994. "Forming and Fractographical Characteristics of Copper-nickel-beryllium Sheets Under Tension and Bending", **Journal of Materials Engineering and Performance**, V 3, N5, P619-634, Drexel Univ., Philadelphia, PA, USA.
- Tseng, A., A., Chen, T., C., Jen, K., P., Kondetimmamhalli, R., Murty, Y. V. 1995. "Forming Properties and Springback Evaluation of Copper Beryllium Sheets", **Metallurgical and Materials Transactions A. Physical Metallurgy and Materials Science**, V 26, N 8, P2111-2121, Villanova Uni., U.S.A.
- Wang, C., Kinzel, G., Altan, T. 1993. "Process Simulation and Springback Control in Plane Strain Sheet Bending", **Sheet Metal and Stamping Symposium SAE Special Publications**, N 944, P 45-54, Ohio State Univ., OH,U.S.A.
- Yuan, W. Y. D. 1996. "Generalized Solution for the Prediction of Springback in Laminated Strip", **Journal of Materials Processing Technology**, V 61, N 3, P 254-264, Port Kembla, Lab, Port Kembla, AST.