

# ÇİFT FAZLI ÇELİK SACDA KARE SÜZDÜRME ÇUBUĞUNUN OLUŞTURDUĞU FRENLEME KUVVETİNİN KESTİRİMİ

**Aysun EĞRİSÖĞÜT TIRYAKI\***

*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü  
aysune@sakarya.edu.tr*

**Recep KOZAN**

*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü*

## ÖZET

Süzdürme çubukları, sac malzemede şekillendirme esnasında oluşacak kusurları engellemek veya minimuma indirmek için malzeme akışını belirli bölgelerde frenleme yaparak düzenleyen bir tür kontrol mekanizması olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde maliyet indirimi ve araçların ağırlığının azaltılması amacıyla uygulanan ileri-dayanımlı çeliklerin bir üyesi olan Çift Fazlı çelik kullanılmıştır. Çift fazlı bir çeliğin (DP600-HDG) farklı yüksekliklerdeki kare süzdürme çubuğundan çekilmesiyle oluşan frenleme kuvvetinin ölçüldüğü deneysel veriler kullanılmış ve süzdürme çubuğu batma miktarına bağlı frenleme kuvvetinin hesaplanabildiği matematiksel bir model geliştirilmiştir. Model sonuçlarıyla deneysel veriler karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Süzdürme çubuğu, çift fazlı çelik, kübik model

## Prediction of Restraining Force of a Dual-Phase Steel Through a Square Drawbead

### ABSTRACT

Drawbeads are used as control mechanism regulated the flow rate at certain locations of the sheet to minimize or prevent defects that occur on sheet during a sheet metal forming process. In this study, Dual-Phase steel belonging to the advanced high-strength steel that apply to reduce weight vehicles and cost were used. Drawbead restraining force was measured for the dual-phase steel (DP600-HDG) through a square drawbead with various penetration. This experimental data were used and the mathematical model calculated drawbead restraining force as a function of bead penetration was developed. Comparison of the results of mathematical model with the corresponding experimental results was showed in excellent agreement.

**Keywords :** Drawbead, dual-phase steel, cubic model

\* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 05.05.2010

Kabul tarihi : 18.10.2010

## GİRİŞ

G ünümüzde sac metal şekillendirme işlemi, başta otomotiv sektörü olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Bir aracı oluşturan ana taşıyıcı ve gövde sisteminde kullanılan sac levha malzemelerin şekillendirme işlemleri araç üretiminde önemli bir orana sahiptir. Otomotiv endüstrisinde maliyet indirimi ve araçların ağırlığının azaltılması için yapılan çalışmalar sonucu ileridayanimli çeliklerin bir üyesi olan Çift Fazlı çelikler kullanılmaya başlanmıştır. Mikroyapılarında ferrit ve martenzit fazlarını bir arada bulunduran çift fazlı çelikler ferritin sağladığı özellikten dolayı yüksek şekillendirilebilirliğe, martenzitin sağladığı özellikten dolayı da yüksek mukavemete sahiptir [1].

Montajda ve nihai ürün performansında oluşacak problemlerden kaçınmak için şekillendirilen parçanın kalitesi önemlidir. Sac levhaların şekillendirilmesi sırasında sac kalınlığında beklenenden daha farklı bir değişim olursa sacda buruşmalar ya da yırtılmalar görülmektedir. Şekillendirme işleminden sonra karşılaşılan diğer bir problem ise şekillendirilmiş parça geometrisi üzerinde bulunan elastik yer değişimlerin neden olduğu geri esnemedir. Sac malzemede şekillendirme sırasında oluşan ve en sık rastlanan bu şekillendirme kusurları Şekil 1'de görülmektedir.

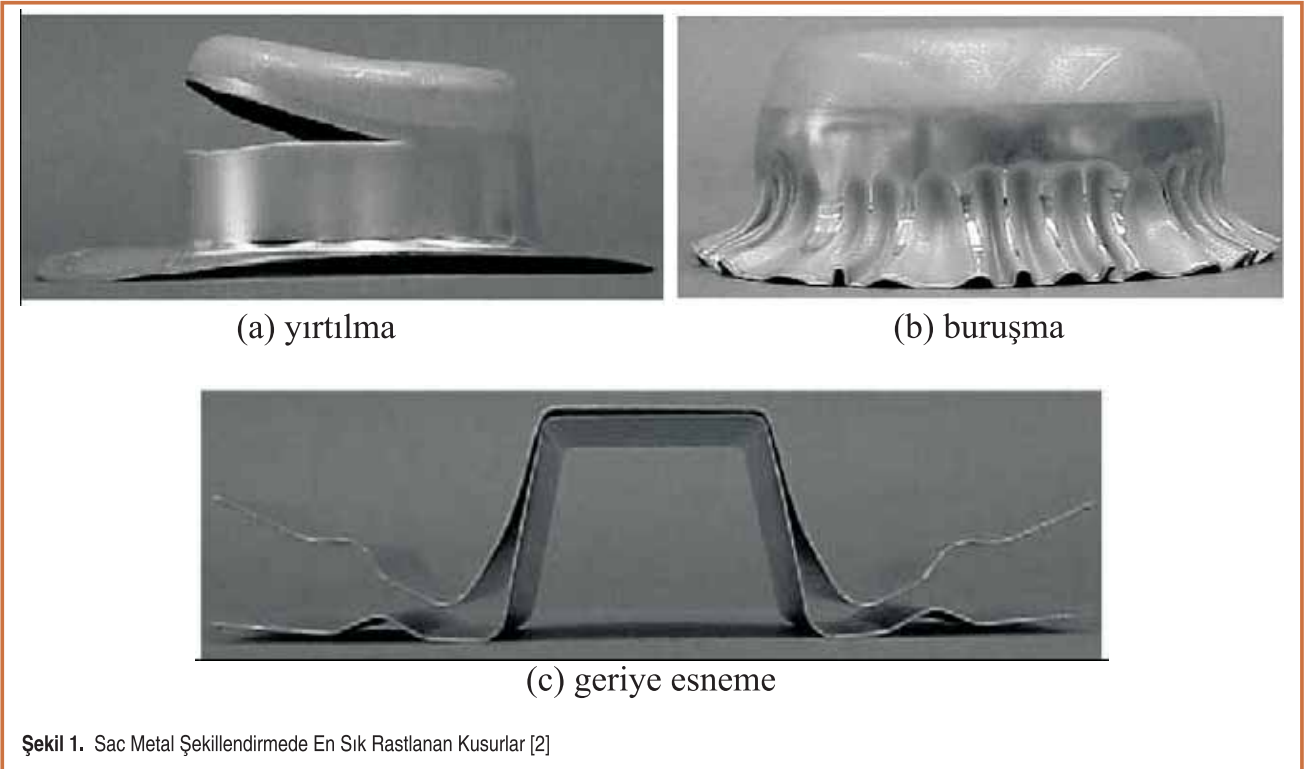
Buruşma, yırtılma, aşırı incelme, yüzey bozunması ve geri esneme gibi kusurlar genellikle sac malzemenin kalıp

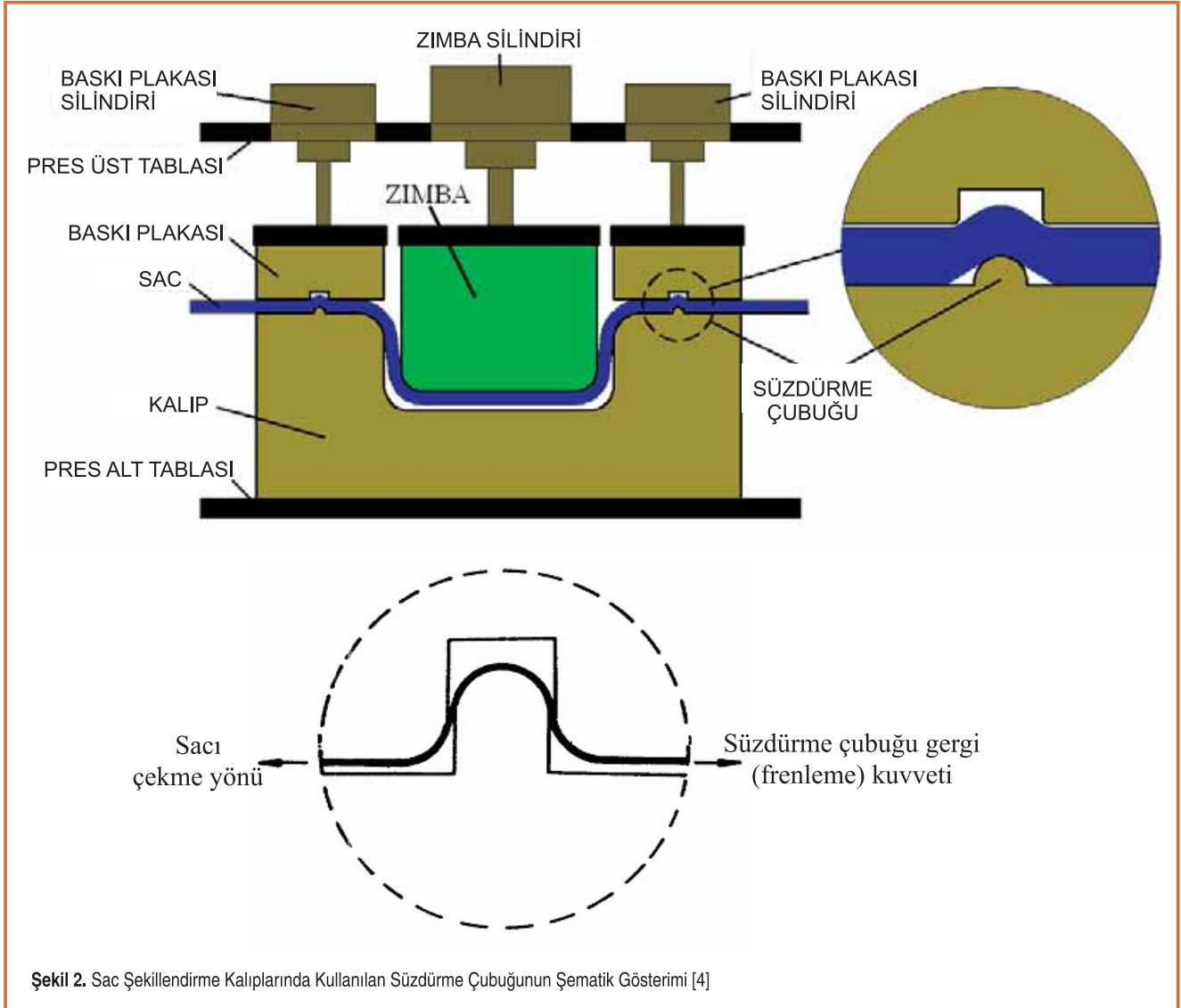
boşluğuna kontrolsüz ve istenmeyen oranda akışından dolayı meydana gelmektedir. Değişken baskı plakası kuvveti uygulaması ve kalıp ile sac yüzey arasındaki sürtünmenin azaltılması gibi bir dizi yöntem sac malzemenin kalıp boşluğuna akışını kontrol etmede kullanılabilir. Ancak bu yöntemler sadece sac malzemenin tamamının genel akışını düzenleyebilir. Sac malzemede oluşacak kusurları engellemek veya minimuma indirmek için malzeme akışının belirli bölgelerde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu, malzeme akışını gerekli bölgelerde frenleme yaparak engelleyen bir tür kontrol mekanizması olan süzdürme çubuğunun kullanılması fikrini ortaya çıkarmıştır [3].

Sac şekillendirme kalıplarında kullanılan süzdürme çubuğu Şekil 2'de görülmektedir.

Süzdürme çubukları bükme-doğrulma çevrimleriyle malzeme akışına ters yönde bir gergi (frenleme) kuvveti oluşturmaktadır. Bu kuvvet süzdürme çubuğu geometrisine, proses parametrelerine, sac kalınlığı ve malzeme özelliklerine bağlı değişmektedir [5].

Bu çalışmada, A/SP-Enhanced Formability komitesi üyelerinin gerçekleştirdikleri proje kapsamında [6], çift fazlı (DP600-HDG) bir çeliği kare süzdürme çubuğundan çekerek oluşan frenleme kuvvetini ölçtükleri deney verileri kullanılarak frenleme kuvvetini kestiren bir matematik model geliştirilmiştir.





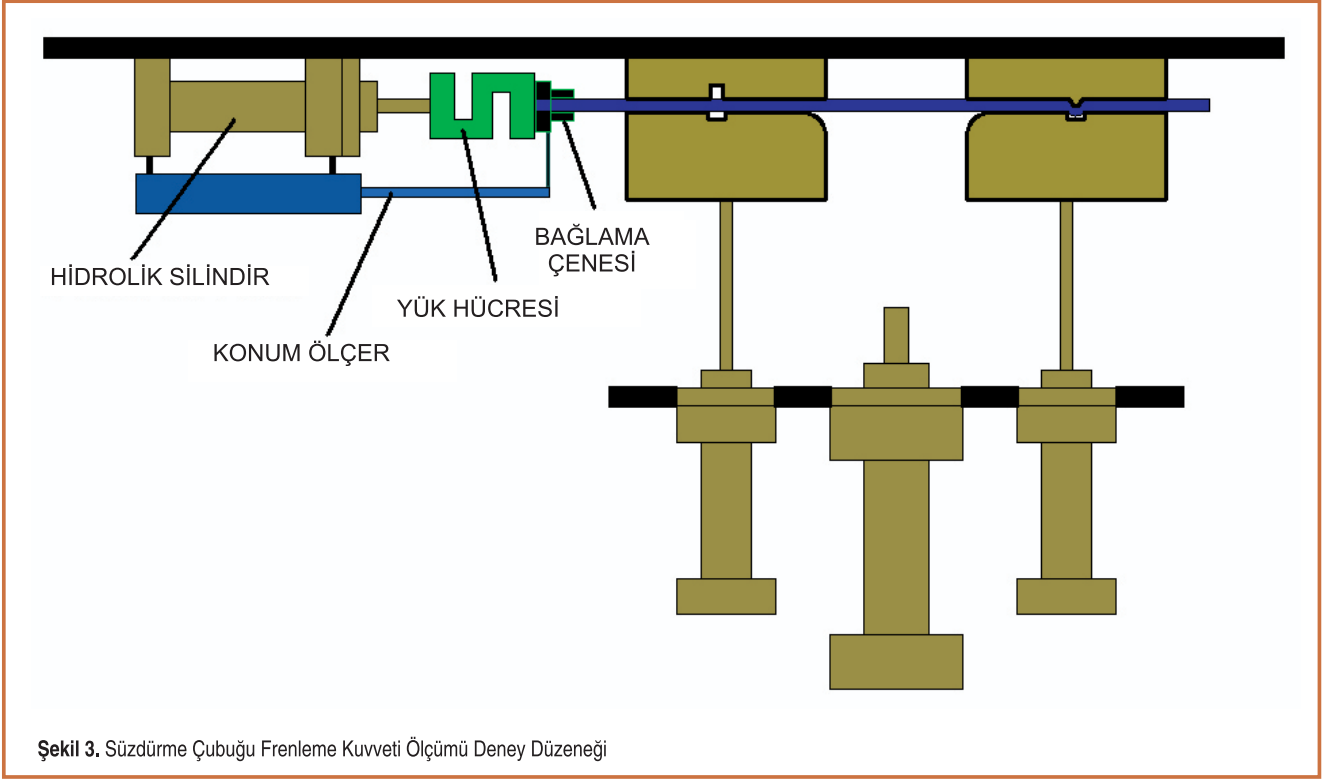
Şekil 2. Sac Şekillendirme Kalıplarında Kullanılan Süzdürme Çubuğunun Şematik Gösterimi [4]

## MODELDE KULLANILAN DENEYSEL VERİLER

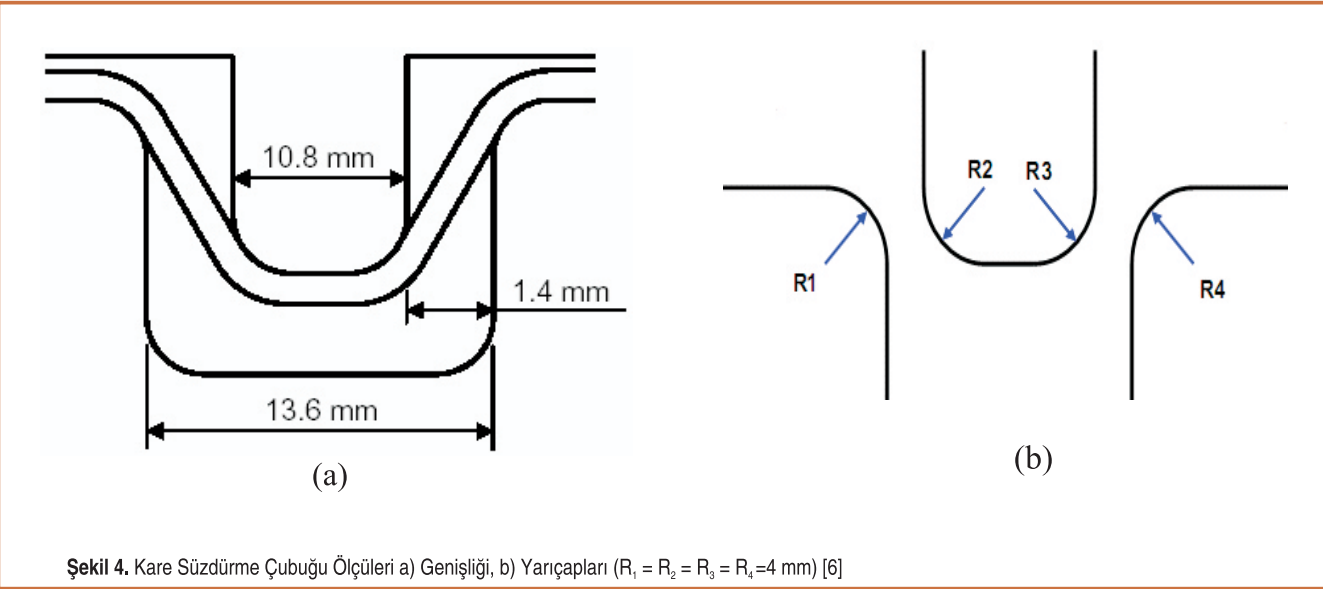
Proje kapsamında süzdürme çubuğu frenleme kuvvetini ölçmek için kullanılan deney seti Şekil 3'te gösterilmiştir. 225 KN kapasiteli yük hücresi silindir flanşı ile hidrolik tutma çenesi arasında yerleştirilmiştir. Konum ölçer ise hidrolik tutma çenesi ile SÇFK aparatı arasında bağlanmıştır. Kalıbın sol tarafındaki süzdürme çubuğu çıkarılarak boşlukları kapatılmıştır. Kalıbın sağ tarafındaki süzdürme çubuğu kullanılarak kalıba yerleştirilen sac, kalıbın sol tarafından çekilmiş ve sağ tarafta oluşan süzdürme çubuğu frenleme kuvveti ölçülmüştür. Kalıp kapalı pozisyonda iken sac malzeme çekildiğinde yük hücresi ve konum ölçerden gelen veriler, veri toplama yazılımı yardımıyla kaydedilmiştir [6].

Çalışmada, dört bükme-doğrulma çevrimine sahip kare geometrili süzdürme çubuğu kullanılmıştır. Süzdürme çubuğunun geometrisi Şekil 4'te gösterilmiştir.

Tablo 1'de mekanik özellikleri verilen sıcak daldırma çinko kaplanmış çift fazlı çelik sacın kalınlığı 1,18 mm'dir. Süzdürme çubuğunun yüksekliği (saca batma miktarı) 1,95 mm ile 8,97 mm arasında sekiz farklı seviyeye ayarlanarak 254 mm genişliğindeki sac çekilmiş ve oluşan süzdürme çubuğu frenleme kuvveti değerleri ölçülmüştür. Süzdürme çubuğu batma miktarının her biri için aynı şartlarda beş kez deney yapılmış ve ortalama frenleme kuvveti hesaplanmıştır (Şekil 5). Deneysel çalışmada yağlayıcı olarak Quaker FerroCote® 61 MAL-HCL-1 kullanılmıştır [6].



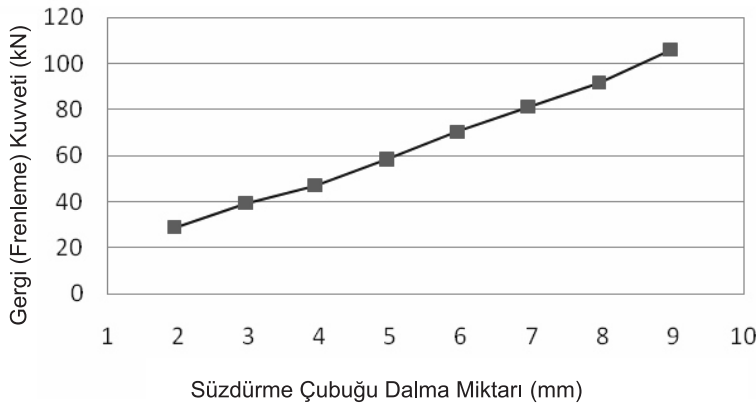
Şekil 3. Süzdürme Çubuğu Frenleme Kuvveti Ölçümü Denei Düzenei



Şekil 4. Kare Süzdürme Çubuğu Ölçüleri a) Geniřlięi, b) Yarıçapları ( $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 4 \text{ mm}$ ) [6]

Tablo 1. Sıcak Daldırma Çinko Kaplanmış Çift Fazlı Çelik Sacın Mekanik Özellikleri [6]

Çelik	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	K (MPa)	n	$r 0^\circ$	$r 45^\circ$	$r 90^\circ$	$r_{\text{ort}}$
DP600	491,3	618,2	24,4	936,9	0,136	1,04	1,058	1,344	1,125



Şekil 5. Süzdürme Çubuğu Batma Miktarına Karşılık Ölçülen Frenleme Kuvveti Değerleri

### MATEMATİK MODEL

Bu çalışmada, çift fazlı çelik sac için süzdürme çubuğunun % batma miktarına bağlı frenleme kuvvetinin hesaplanabildiği matematiksel bir bağıntı elde edilmiştir. % batma miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\% \text{ Batma miktarı } (P) = \frac{P}{R_1 + R_2 + t_0} \times 100 \quad (1)$$

burada,

$p$  : Süzdürme çubuğu batma miktarı-yüksekliği (mm),

$R_1$ : Dişi süzdürme çubuğu yarıçapı (mm),

$R_2$ : Erkek süzdürme çubuğu yarıçapı (mm),

$t_0$ : Sac kalınlığı (mm), olarak gösterilmiştir.

Batma miktarı % 0 iken sacda herhangi bir bükme söz konusu değildir. Batma miktarının % 0 ve % 100 olduğu durumlar Şekil 6'da görülmektedir.

% batma miktarına bağlı süzdürme çubuğu frenleme kuvvetini veren matematik model için değişik polinom tipleri denenmiş, hesaplama yükü en az ve optimum sonucu veren

polinom kübik olarak görülmüştür. Kübik polinomun matematiksel ifadesi aşağıdaki şekildedir;

$$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (2)$$

burada,

$f(x)$ : Süzdürme çubuğu frenleme kuvveti (kN),

$x = P$ : % Batma miktarı

olarak gösterilmiştir.

Deneysel veriler ile kübik polinom modelden elde edilen sonuçlar arasındaki hata, Hata = Deneysel Veri - Model şeklinde hesaplanmıştır. Ayrıca kübik polinom modelin performansı hakkında bilgi veren Korelasyon Katsayısı  $R^2$ , Hataların Kareleri Toplamı

(SSE) ve Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE) hesaplanmıştır.

Korelasyon katsayısı,

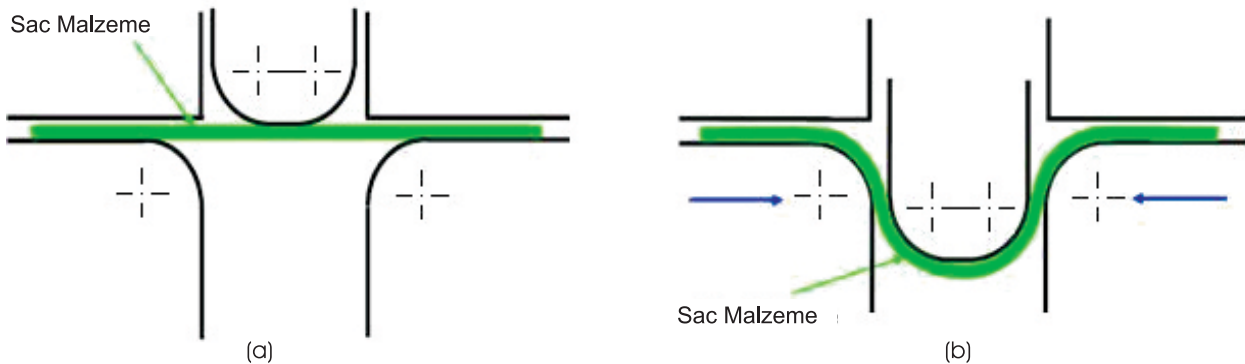
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

Hataların kareleri toplamı,

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

Hataların karelerinin ortalamasının karekökü,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (5)$$



Şekil 6. % Batma Miktarının Şematik Gösterimi, a) % 0 Batma, b) % 100 Batma

olarak ifade edilir. Burada,

$y$  : Gerçek çıkış değeri,

$\hat{y}$  : Modelden kestirilen çıkış değeri,

$\bar{y}$  : Çıkış değerlerinin ortalaması ve

$n$  : Örnek sayısını

gösterir.

Süzdürme çubuğunun % batma miktarına bağlı çift fazlı çelik sacda oluşturduğu frenleme kuvvetini hesaplayabilmek için geliştirilen matematiksel bağıntı eğri uydurma yöntemi

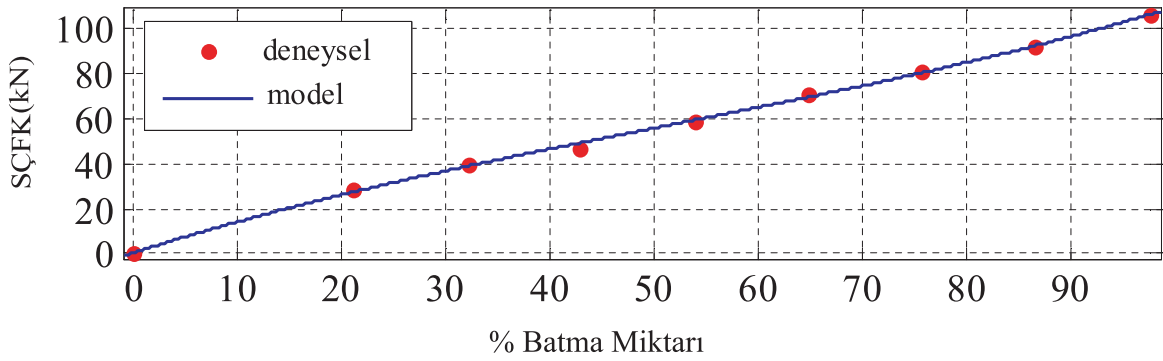
değişen, frenleme kuvvetine ait deneysel verileri ile geliştirilen model grafiksel olarak Şekil 7'de gösterilmiştir. Deneysel veriler ve model sonuçları arasındaki hata ise Şekil 8'de görülmektedir.

Eğri uydurma yöntemiyle elde edilen kübik polinom modelin performansını belirleyen ölçütler;

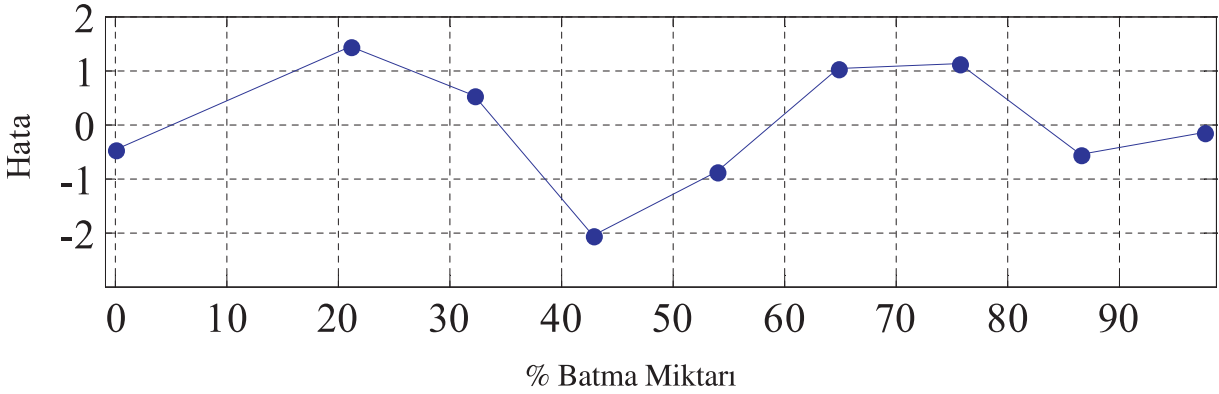
Korelasyon katsayısı,  $R^2 = 0,9988$

Hataların kareleri toplamı,  $SSE = 10,15$

Hataların karelerinin ortalamasının karekökü,  $RMSE = 1,425$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Süzdürme Çubuğunun % Batma Miktarına Bağlı DP600-HDG Sacda Oluşan Süzdürme Çubuğu Frenleme (Gergi) Kuvvetinin Değişim Grafiği



Şekil 8. Süzdürme Çubuğunun % Batma Miktarına Bağlı DP600-HDG Sacda Oluşan Süzdürme Çubuğu Frenleme (Gergi) Kuvvetinin Deneysel Verileri ile Model Sonuçları Arasındaki Hata Grafiği

yardımıyla hesaplanmış ve 2 nolu denklemdeki a, b, c, d katsayıları için aşağıdaki değerler bulunmuştur.

$$SÇFK = 6,976 \cdot 10^{-5} P^3 - 0,01078 P^2 + 1,496 P + 0,4552 \quad (6)$$

Sıcak daldırma çinko kaplanmış 1,18 mm kalınlığındaki çift fazlı çelik sacın, süzdürme çubuğu batma miktarına göre

## SONUÇLAR

Bu çalışmada kare süzdürme çubuğu içinden çekilen çift fazlı bir çelik sacda oluşan gergi kuvvetinin süzdürme çubuğunun yüksekliğine bağlı değişimi incelenmiştir. Malzeme akışına ters yöndeki frenleme kuvvetinin süzdürme çubuklarındaki bükme-doğrulma çevrimleriyle oluştuğu göz önünde

bulundurulduğunda ve çalışma incelendiğinde daha derin batma miktarlarında daha fazla gergi kuvvetinin oluştuğu belirtilebilir. Çalışmanın ikinci aşamasında, malzeme özellikleri ve sac kalınlığı verilen çift fazlı çelikde süzdürme çubuğunun oluşturduğu frenleme kuvvetini kestirmek için eğri uydurma yöntemi kullanılarak % batma miktarının (süzdürme çubuğu yarıçapları, batma yüksekliği ve sac kalınlığına bağlı hesaplanır) değişimine bağlı kübik bir polinom model elde edilmiştir. Geliştirilen matematiksel model incelendiğinde deneysel sonuçlar ile oldukça uyumlu olduğu ve modelin performansı hakkında bilgi sahibi olduğumuz korelasyon katsayısının ( $R^2$ ) 0,9988 olduğu görülmüştür. Güvenirlik katsayısı da denen bu değer 1'e oldukça yakın olması hesaplanan polinom modelin başarılı sonuç verdiğini ve modelin kullanılabilirliğini göstermektedir. Diğer taraftan iyi bir şekillendirme işlemi için hesaplanan frenleme kuvvetini verecek süzdürme çubuğu yüksekliğini bulmak için yapılan deneyler ve analizler oldukça uğraştırıcı, maliyetli ve zaman alıcıdır. Çalışmada elde edilen model sayesinde bu hesaplamalar daha kolay yapılabilen ve dolayısıyla ek bir maliyet ve zaman kaybı ortadan kalkmaktadır.

## SEMBOLLER

DP600-HDG	: Sıcak daldırma çinko kaplanmış çift fazlı Çelik
K	: Pekleşme katsayısı
n	: Pekleşme üssü
P	: % batma miktarı
p	: Süzdürme çubuğu batma miktarı
r	: Anizotropi faktörü
$R_1$	: Dişi süzdürme çubuğu yarıçapı
$R_2$	: Erkek süzdürme çubuğu yarıçapı
$R^2$	: Korelasyon sayısı

RMSE	: Hataların karelerinin ortalamasının karekökü
ŞÇFK	: Süzdürme çubuğu frenleme kuvveti
SSE	: Hataların kareleri toplamı
$t_0$	: Sac kalınlığı
$y$	: Gerçek çıkış değeri
$\hat{y}$	: Modelden kestirilen çıkış değeri
$\bar{y}$	: Çıkış değerlerinin ortalaması
$\epsilon_{max}$	: Toplam uzama
$\sigma_u$	: Çekme gerilmesi
$\sigma_y$	: Akma gerilmesi

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2006-FBD-028 proje numarasıyla SAÜ BAPK tarafından desteklenmiştir. Yazarlar olarak Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna teşekkür ederiz.

## KAYNAKÇA

1. Schaffer, J.P., Saxena, A., Antolovich, D., Sanders, T.H., Warner, S.B. 1999. The Science and Design of Engineering Materials, Mc Graw-Hill, p. 194, Singapore.
2. Hsu, C.W., Ulsoy, A.G., Demeri M.Y. 2002. Development of Process Control in Sheet Metal Forming, Journal of Materials Processing Technology, 127, pp. 361-368.
3. Çiçek, O. 2005. Effect of Drawbeads in Sheet Metal Forming, MSc Thesis, Istanbul Technical University, Department of Mechanical Engineering, August.
4. Tiryaki, A.E. 2010. Sac Metallerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Süzdürme Çubuğunun Modellenmesi ve Kontrolü, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü.
5. Demeri, M.Y. 1993. Drawbeads in Sheet Metal Forming, Journal of Materials Engineering and Performance, 2/6, pp. 863-866.
6. Green, D.E. 2002. An Experimental Study of the Effects of Prestrain on Formability Limits, Industrial Research & Development Institute, Midland-Ontario.