



## Sac şekillendirme prosesinde kullanılan süzdürme çubuğu frenleme kuvvetinin modellenmesi

Derya İriç<sup>1\*</sup>, Sedat İriç<sup>2</sup>, Recep Kozan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Kocaeli

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya

*23.08.2012 Geliş/Received, 13.12.2012 Kabul/Accepted*

### ÖZET

Süzdürme çubukları, sac şekillendirme prosesinde ortaya çıkan yırtılma, kırışma ve geri esneme gibi kusurları ortadan kaldırmak veya minimuma indirmek için malzemenin kalıp boşluğuna akışını belirli bölgelerde sac üzerine frenleme (gergi) kuvveti oluşturarak düzenleyen bir tür kontrol mekanizması olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada sac levhanın dişi kalıp ile baskı plakası arasından akışı esnasında farklı batma miktarına sahip süzdürme çubuğu üzerinden geçirilerek elde edilen frenleme kuvveti ölçülmüştür. Elde edilen veriler kullanılarak süzdürme çubuğu batma miktarına bağlı frenleme kuvvetini veren matematiksel bir model geliştirilmiştir. Model sonuçları, deneysel veriler ile ve PAM-STAMP programında yapılan simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Süzdürme çubuğu, Matematik Model, Sac metal şekillendirme

## Modeling of drawbead restraining force in sheet metal forming

### ABSTRACT

Drawbeads are used as control mechanism regulated the flow rate at certain locations of the sheet to minimize or prevent defects such as tearing, wrinkling and springback that occur on sheet during a sheet metal forming process. In this study, drawbead restraining force was measured for the sheet metal through blankholder and lower die with a round 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 and PAM-STAMP model was showed in excellent agreement.

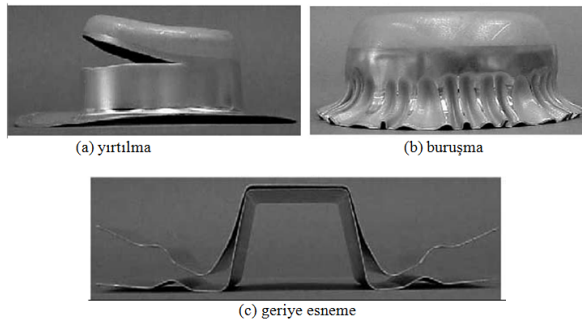
**Keywords:** Drawbead, Mathematical Model, Sheet metal forming

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sac metal malzemeler, günümüz modern toplumunun artan ihtiyaçlarını karşılama doğrultusunda çok büyük öneme sahiptir. Kara, deniz, hava ve uzay taşıtları, çeşitli ev eşyaları ve makineleri, endüstriyel araç-gereçler, endüstriyel yapılar ile makine imalatı, inşaat sektörü ve daha birçok alandaki uygulamalarda karşımıza çıkmaktadır. Bu şekilde yaygın kullanılmalarındaki ön önemli etkenlerden bazıları, diğer alternatif malzemelere nazaran daha dayanımlı, ucuz, kolay işlenebilme, şekillendirilebilme ve birleştirilebilme özellikleri olmaları şeklinde sıralanabilir [1]. Günümüzde sac metal şekillendirme işlemi, başta otomotiv sektörü olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Günlük hayatta kullanılan bir binek araç ortalama 4000 kadar mekanik elemandan oluşmakta [3] ve bu ihtiyaçlar oldukça karmaşık üretim ve montaj süreçlerini içermektedir. Montajda ve nihai ürün performansında oluşacak problemlerden kaçınmak için şekillendirilen parçanın kalitesi önemlidir. Sac levhanın plastik deformasyona uğrayarak şekillendirilmesi sırasında kalınlığında istenenden daha farklı bir değişim olursa sacda buruşmalar ya da yırtılmalar görülmektedir. Başarılı olarak yapılmış bir şekillendirme işleminden sonra karşılaşılan diğer bir problem ise; şekillendirilmiş parça geometrisi üzerinde bulunan elastik yer değişimlerinin, şekillendirmeyi sağlayan yüklemenin kaldırılması ile parçanın şekillendirme yönünün aksine yer değişimi göstermesidir. Geri esneme olarak adlandırılan bu durum, sac parçaların şekillendirme işleminin ardından oluşan, çoğu zaman istenmeyen ya da oluşması halinde değerinin bilinmesi istenen bir problemdir. Sac malzemesinde şekillendirme sırasında oluşan ve en sık rastlanan bu şekillendirme kusurları Şekil 1'de görülmektedir.

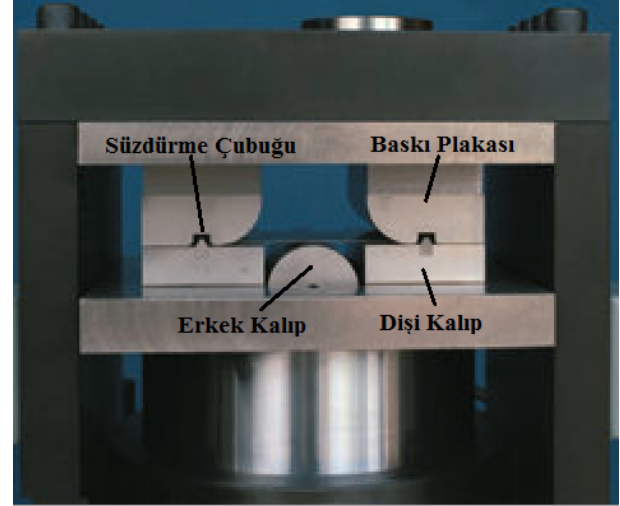


Şekil 1. Sac metal şekillendirmede en sık rastlanan kusurlar [2] (The most common defects in sheet metal forming)

Sac malzemenin kalıp boşluğuna kontrolsüz veya istenmeyen orada akışından kaynaklanan buruşma, yırtılma, aşırı incelme ve geri esneme gibi kusurları ortadan kaldırmak için değişken baskı plakası kuvveti, kalıp ile sac yüzey arasındaki sürtünmenin azaltılması

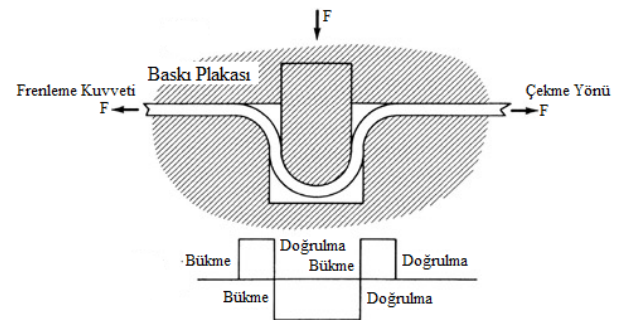
veya kalıp geometrisinin değiştirilmesi gibi bir dizi önlemler alınmaktadır. Ancak bu yöntemler sadece sac malzemenin tamamının akışını düzenleyebilir. Sac malzemesinde oluşacak kusurları engellemek veya minimuma indirmek için malzeme akışını belirli bölgelerde düzenlemek için süzdürme çubuğunun kullanımı fikri ortaya atılmıştır [4].

Sac şekillendirme prosesinde kullanılan süzdürme çubuğunun kalıp içerisindeki yerleşimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Süzdürme çubuğunun kalıp içerisindeki yerleşimi [5] (Stripping rod placement within the mold)

Süzdürme çubukları, sac üzerinde malzeme özelliklerine ve çubuk geometrine bağlı olarak bükme-doğrulma çevrimleriyle malzeme akışına ters yönlü frenleme kuvveti oluşturmaktadır Şekil 3 [6].



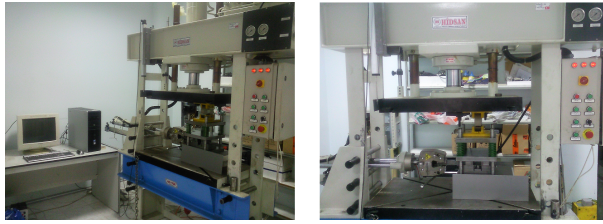
Şekil 3. Süzdürme çubuğundan akan malzeme üzerinde oluşan frenleme kuvveti ve bükme doğrulma çevrimi [7] (Braking force and bending straightening cycles of flowing material of draining bar)

Bu çalışmada, süzdürme çubuğunun oluşturduğu frenleme kuvveti, batma miktarına bağlı olarak ölçülmüştür. Ölçüm için bilgisayar kontrollü atölye tipi bir pres hazırlanarak süzdürme çubuğu simülatörü sisteme entegre edilmiştir. Bu sistemde süzdürme çubuğu batma miktarı değiştirilerek sac malzeme çekilmiş ve

elde edilen frenleme kuvveti eş zamanlı olarak sistemi kontrol eden bilgisayar programı tarafından kaydedilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak matematiksel bir model geliştirilmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada ise model sonuçları sac şekillendirme simülasyon programlarından olan PAM-STAMP programında bulunan süzdürme çubuğu modülünden elde edilen frenleme kuvveti değerleri ile karşılaştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Süzdürme çubuğu frenleme kuvveti şekil 4'te görülen bilgisayar kontrollü çekme düzeneğinde ölçülmüştür. 40 tonluk atölye tipi pres üzerine konum ölçer ve yük hücreleri yerleştirilmiş ve cihazların bilgisayar ile iletişimi sağlanmıştır. Bu cihazlardan gelen bilgiler yardımıyla MATLAB programında hazırlanan program, presi kumanda etmekte ve elde edilen verileri kaydetmektedir.



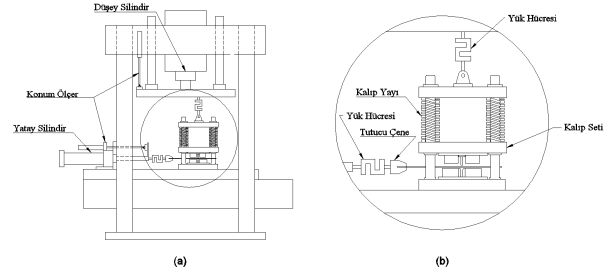
Şekil 4. Deneylerde kullanılan pres ve kalıp seti (Filtration and die set used for experiments)

Deneylerde tablo 1'de mekanik özellikleri verilen 50 mm genişliğinde ve 1 mm kalınlığında soğuk haddelenmiş sac malzeme 100 mm çekilmiştir

Tablo 1. Soğuk haddelenmiş çelik sacın mekanik özellikleri (Erdemir) (Metalic spesification of Cold-rolled steel sheet)

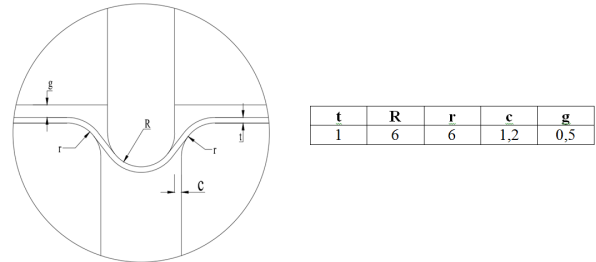
Standart	Kalite	$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\delta_{min}$ (%)	F <sub>90</sub> °min	H <sub>90</sub> °min
DIN EN 10130	DC 04	210	270-350	38	1.6	0.18

Malzeme üzerinde oluşan süzdürme çubuğu frenleme kuvvetinin ölçülmesi için, malzeme şekil 5.b'de görülen yatay yük hücreğine bağlı tutucu çene yardımıyla sabitlenmiştir. Düşey silindir yardımıyla kapatılan kalıp setinde bulunan yük hücresi ve kalıp yayları yardımıyla kapatma kuvveti istenilen miktarda ayarlanabilmekte ve bilgisayar yardımıyla kaydedilmektedir. Kalıp seti kapatıldıktan sonra Şekil 5.a'da görülen yatay silindir yardımıyla sac malzeme, süzdürme çubuğu üzerinden geçirilerek çekilmektedir. Çekim esnasında yatay silindirdeki konum ölçer ve tutucu çenedeki yük hücresi yardımıyla konum ve kuvvet bilgileri kaydedilmektedir



Şekil 5. Çalışmada kullanılan pres ve ekipmanların şematik gösterimi (Schematic representation of presses and equipment used in the study)

Çalışmada, şekil 6'da ölçüleri gösterilen, üç bükme-doğrulma çevrimine sahip süzdürme çubuğu kullanılmıştır.



Şekil 6. Deneylerde kullanılan süzdürme çubuğunun ölçüleri (stripping bar size used in experiments)

Süzdürme çubuğunun farklı batma sevieleri için yapılan deneylerde oluşan kuvvetin etkisiyle saclarda meydana gelen deformasyonlar Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Deneyler sonucunda sac malzemelerde oluşan deformasyonlar (Deformations of metal materials as a result of experiments)

## 3. MATEMATİK MODEL (MATH MODEL)

Gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler kullanılarak batma miktarına bağlı frenleme kuvvetinin hesaplanabildiği matematiksel bir bağıntı elde edilmiştir. Matematik model için farklı polinom tipleri denenmiş, hesaplama yükü en az ve optimum sonucu veren polinom kübik olarak görülmüştür. Kübik polinomun matematiksel ifadesi aşağıdaki şekildedir;

$$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (1)$$

burada,

$f(x)$  : Süzdürme çubuğu frenleme kuvveti (N/mm),

$x$ : Batma miktarı (mm)

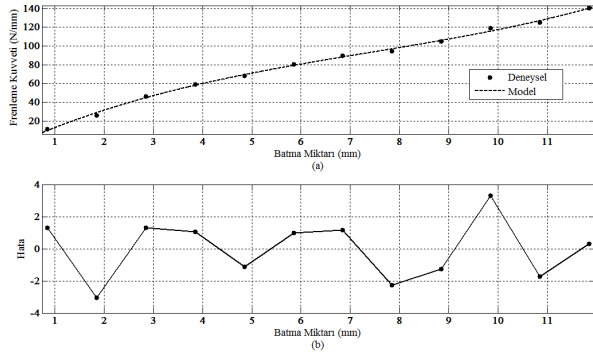
olarak gösterilmiştir.

Deneysel veriler ile kübik polinom modelden elde edilen sonuçlar arasındaki hata,  $\text{hata} = \text{Deneysel Veri} - \text{Polinom Model}$  şeklinde hesaplanmıştır. Ayrıca kübik polinom modelin performansı hakkında bilgi veren Korelasyon Katsayısı  $R^2$  ve Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE) hesaplanmıştır.

Süzdürme çubuğunun batma miktarına bağlı çelik sacda oluşturduğu frenleme kuvvetini hesaplayabilmek için geliştirilen matematiksel bağıntı eğri uydurma yöntemi yardımı ile hesaplanmış ve kübik polinom denklemdaki  $a, b, c, d$  katsayıları için aşağıdaki değerler bulunmuştur.

$$\text{Süzdürme Çubuğu Frenleme Kuvveti} = 0,095 \cdot x^3 - 2,103 \cdot x^2 + 24,17 \cdot x - 9,269 \quad (2)$$

Soğuk haddelenmiş 1 mm kalınlığındaki çelik sacın, süzdürme çubuğu batma miktarına göre değişen, frenleme kuvvetine ait deneysel verileri ile geliştirilen model sonuçları Şekil 8.a'da karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler ve model sonuçları arasındaki hata ise Şekil 8.b'de görülmektedir. Grafik incelendiğinde deneysel veriler ile matematik model arasındaki hata  $\pm 3$  N arasında kalmaktadır.



Şekil 8. Deney sonuçları ile matematik modelin karşılaştırılması (Comparison of test results and mathematical model)

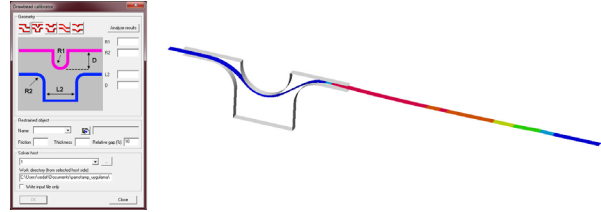
Eğri uydurma yöntemi ile elde edilen kübik polinom modelin performansını belirleyen ölçütler; Korelasyon katsayısı,  $R^2 = 0,9978$ , hataların karelerinin ortalamasının karekökü,  $\text{RMSE} = 2,179$  olarak hesaplanmıştır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada dairesel süzdürme çubuğu içinden geçirilen sac malzemede oluşan frenleme kuvvetinin süzdürme çubuğunun yüksekliğine bağlı değişimi

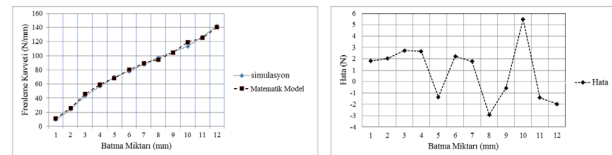
incelenmiştir. Malzeme akışına ters yönde oluşan frenleme kuvvetinin süzdürme çubuğunun batma miktarı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Çalışmanın ikinci aşamasında elde edilen deneysel veriler kullanılarak, süzdürme çubuğunun oluşturduğu frenleme kuvvetini kestirmek için eğri uydurma yöntemi kullanılarak batma miktarının 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 ( $R^2$ ) 0,9978 olduğu görülmüştür. Güvenirlik katsayısı da denemelerin bu değerin 1'e oldukça yakın olması hesaplanan polinom modelin başarılı sonuç verdiğini ve modelin kullanılabilirliğini göstermektedir.

Çalışmanın devamında elde edilen verilerin karşılaştırılması için ESI firması tarafından geliştirilen PAM-STAMP sonlu elemanları programının Drawbead Calibrator modülü kullanılmıştır Şekil 9. Bu modül, süzdürme çubuğu geometrisi, malzeme özellikleri ve batma miktarı değerlerini alarak literatürde kabul görmüş ve virtüel işler prensibini kullanarak süzdürme çubuğu frenleme kuvvetinin hesaplanabildiği Stoughton modelini kullanmaktadır [8].



Şekil 9. PAM-STAMP Drawbead Calibrator modülü ve sacdaki incelmeler (AM-STAMP Drawbead Calibrator module and hair thinning)

Simülasyon sonucunda elde edilen veriler deneysel sonuçlarından elde edilen matematik model ile karşılaştırılmıştır. Model sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında verilerin birbirine  $\pm 4\%$  gibi çok düşük hatalar ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir Şekil 10.



Şekil 10. Matematik model sonuçları ile Sonlu elemanların karşılaştırılması (Comparison with the results of mathematical model of finite elements)

Bu sonuçlar çerçevesinde hazırlanan matematik modelin seçilen malzeme özellikleri için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalara bir alternatif oluşturabileceği görülmüştür. Sonlu elemanlar yöntemi

ile yapılan analizlerde süzdürme çubuğu frenleme kuvvetinin hesaplanma süresi yaklaşık 90 sn civarında iken elde edilen matematik modelde bu süre 1 sn'den çok daha kısa sürmektedir.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Tiryaki, A.E., Kozan, R., Çift Fazlı Çelik Sacda Kare Süzdürme Çubuğunun Oluşturduğu Frenleme Kuvvetinin Kestirimi, Mühendis ve Makina, Cilt 51, Sayı 609, 2010.
- [2] Hsu, C.W., Ulsoy, A.G., Demeri M.Y., Development of Process Control in Sheet Metal Forming, Journal of Materials Processing Technology, 127, pp. 361-368, 2002.
- [3] Çiçek, O., Effect of Drawbeads in Sheet Metal Forming, MSc Thesis, Istanbul Technical University, Department of Mechanical Engineering, August, 2005.
- [4] Tiryaki, A.E, Sac Metallerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Süzdürme Çubuğunun Modellenmesi ve Kontrolü, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 2010.
- [5] <http://www.hellotrade.com/interlaken-technology-corporation-usa/product3.html>
- [6] Demeri, M.Y., Drawbeads in Sheet Metal Forming, Journal of Materials Engineering and Performance, 2/6, pp. 863-866, 1993.
- [7] <http://www.globalspec.com/reference/70325/203279/chapter-16-stamping>
- [8] [8] PAM-STAMP user manual

