

# Derin Çekme İşlemlerinde Plastik Buruşma Analizi ve Modellemesi

**Serhat Yalçın**

Mak. Yük. Müh.  
Aselsan A.Ş.  
Ankara

**Bilgin Kaftanoğlu**

Prof. Dr.

ATILIM Üniversitesi  
İmalat Mühendisliği Bölümü  
Ankara

*Bu çalışmada derin çekme işlemlerinde buruşma davranışları ticari bir sonlu elemanlar kodu kullanılarak elde edilmiştir. Plastik buruşmayı anlamak için baskı plakası kuvvetinin buruşmaya olan etkisi araştırılmıştır. Değişik baskı plakası kuvvetleri için aksel simetrik kap modellemesi incelenmiştir. Buruşma kararsızlığı işlemin enerji grafiklerinde gösterilmiştir. Buruşmadaki anizotropi etkisi çelik malzemelerde, izotropik ve izotropik olmayan nümerik deneyler karşılaştırılarak tartışılmıştır. Sayısal analizlere ilaveten, hidrolik pres kullanılarak klasik derin çekme işleminin deneysel doğrulama çalışması yapılmıştır. Farklı ölçülerdeki parçalarda, dalga oluşumu 4 ayrı kalınlık değeri için gösterilmiştir.*

*Anahtar Kelimeler: Buruşma, Derin Çekme, Sonlu Elemanlar Analizi, Sac Metal Şekillendirme, Baskı Plakası Kuvveti*

## GİRİŞ

Derin çekme, en önemli sac levha şekillendirme metotlarından biridir. 2 boyutlu sac parça 3 boyutlu hale derin çekme ile şekillendirilir. Derin çekme işlemlerinde, sac metal kalıp üzerine yerleştirilir ve zımba yardımıyla kalıp boşluğuna sac metal sıvanır. Baskı plakası derin çekme işlemi boyunca, sac metale flanaj (kalıp ve baskı plakası arasında kalan alan) bölgesinde baskı uygular. [1]

Malzeme özellikleri, derin çekme takımlarının (kalıp, zımba, baskı plakası...) seçimi ve yağlama koşulları derin çekmeyi etkileyen faktörler arasında gösterilebilir. Bu faktörler yüzünden derin çekme işlemiyle elde edilen parçalarda bazı hatalar gözlemlenebilir. Boyun verme, yırtılma, buruşma ve kötü yüzey görünümleri bu hatalardan bazılarıdır. [2]

Boyun verme ve yırtılma, parçadaki uzamadan kaynaklanan çekme kararsızlığıdır. Boyun verme ve yırtılmadan dolayı parçanın dayanıklılığı azalır ve görünümü bozulur. Diğer bir hata ise buruşmadır. Buruşma, boyun verme ve yırtılmanın aksine, basma kuvvetinden kaynaklanır. Yüksek basma gerinimlerinden dolayı parçada dalga formu oluşur, diğer bir deyişle parça plastik burkulmaya maruz kalır. Dalgalanma tamamen derin çekilmiş bir parçanın duvar kısmında görülür. Düzlemsel plastik anizotropi dalgalanmaya sebep olur. Bunlara ek olarak "portakal kabuğu" oluşumu parçanın görünümünü olumsuz etkileyen bir hatadır.

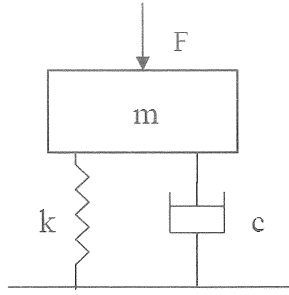
Derin çekme işlemi sırasında buruşan bir parça kullanılmaz ve ıskarta edilir. Bu tür bir durum hem para hem de zaman kaybına yol açar. Bu nedenlerden

ötürü buruşma engellenmelidir. Buruşmayı önlemede en çok kullanılan iki yöntem baskı plakası uygulaması ve pot çemberi kullanılmasıdır. Baskı plakası uygulamasında iki metot vardır. İlk metot baskı plakası ve kalıp arasındaki mesafenin sabit tutulmasıdır. Böylece sac malzeme kalınlığı sabit kalır ve dalga oluşumu önlenir. İkinci metotta ise baskı plakası aracılığıyla malzemeye flanaj bölgesinde basma kuvveti uygulanır. Bu kuvvete baskı plakası kuvveti denir. Uygulanacak kuvvetin büyüklüğü çok iyi ayarlanmalıdır. Eğer gereğinden fazla bir kuvvet seçilirse parça yırtılabilir fakat gereğinden az seçilen kuvvet buruşmayla sonuçlanır. [3]

Derin çekme işlemlerinde buruşma oluşumunun önceden tahmin edilebilmesi çok kritik bir konudur. Üretimin ana amaçlarından biri de hatasız parça elde etmektir. Üretimin ilk adımı olan tasarım aşaması, bütün üretim sürecini etkiler. Tasarımcı üretimde oluşabilecek bütün problemleri ve bu problemlerin çözümlerini bilmelidir. Üretim süreçlerinde daha kaliteli parça elde edebilmek için bir sürü çalışma yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışma derin çekme işlemlerinde flanaj bölgesinde görülen buruşma ve bu buruşmanın önlenmesini araştırmıştır.

## FORMÜLASYON

Dinamik-eksplisit yöntemler dinamik bir problemin çözümünü temel alır. Bu metotların temelini açıklamak için basit bir kütle-yay-damper sistemi kullanılabilir.



Şekil 1. Tek boyutlu kütle – yay – damper sistemi

Şekil 1'deki sistemin hareket denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = F(t) \quad (1)$$

Bu eşitlikte  $m$  nesnenin kütlesi,  $c$  damperin sönümlenme katsayısı,  $k$  yayın pekliği,  $u$ ,  $\dot{u}$ , ve  $\ddot{u}$  sırasıyla kütle için  $t$  anındaki anlık deplasmanı, anlık hızı ve anlık ivmesidir.  $F(t)$  dış kuvvetin zaman tabanlı fonksiyonudur. [4]

Hareket denklemleri, merkezi fark yöntemi kullanılarak çözülebilir.

$$\dot{u}^t = \frac{1}{\Delta t} (u^{t+\Delta t} - 2u^t + u^{t-\Delta t}) \quad (2)$$

$$\ddot{u} = \frac{1}{2\Delta t} (u^{t+\Delta t} - u^{t-\Delta t}) \quad (3)$$

(2) ve (3) denklemleri (1) denklemlerine yerleştirip yeniden düzenlenirse

$$\left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} m + \frac{1}{2\Delta t} c \right] u^{t+\Delta t} = \quad (4)$$

$$F(t) - ku^t + \frac{m}{(\Delta t)^2} [2u^t - u^{t-\Delta t}] + \frac{c}{2\Delta t} u^{t-\Delta t}$$

$t + \Delta t$  anındaki deplasmanları,  $t$  ve  $t - \Delta t$  anlarındaki bilinen deplasman konfigürasyonları kullanılarak bulunur. Bu zaman bölümlenme tasarımına hareket denklemlerinin dinamik açık integrasyonu olarak adlandırılır. Kapalı integrasyon tekniklerinde çözüm,  $t + \Delta t$  anındaki bilinmeyen deplasman değerlerine de bağlıdır.

Zaman aralığı,  $\Delta t$ , kritik zaman aralığından  $\Delta t_{cr}$  küçük olmalıdır. Kritik zaman aralığı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\Delta t_{cr} = \frac{T}{\pi} = \frac{2}{\omega} = 2\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (5)$$

Bu eşitlikte  $T$  sistemin aygen periyodunu,  $\omega$  sistemin aygen frekansını simgelemektedir.

Deplasman tabanlı sönümlenme matrisi eklenmiş dinamik-açık sonlu eleman analizi için genel formül aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$M \ddot{u}' + C \dot{u}' = F' - I' \quad (6)$$

Bu formülasyonda  $[M]$  kütle matrisini,  $[C]$  sönümlenme matrisini,  $F'$  ve  $I'$  ise sırasıyla dış ve iç kuvvetleri temsil etmektedir.

(2) ve (3) denklemleri merkezi fark yöntemi kullanılarak (6) denklemlerine uygulanırsa:

$$\begin{aligned} \frac{1}{(\Delta t)^2} M + \frac{1}{2\Delta t} C \quad u^{t+\Delta t} = \\ F' - I' + \frac{1}{(\Delta t)^2} M \quad 2u^t - u^{t-\Delta t} \\ + \frac{1}{2\Delta t} C \quad u^{t-\Delta t} \end{aligned} \quad (7)$$

$t = 0$  anındaki deplasman, hız, iç ve dış kuvvetler bilinmektedir, ancak ilk adımda  $t = -\Delta t$  anındaki deplasman değerleri de çözüm için gerekmektedir. Bu bilgi aşağıdaki denklemler kullanılarak elde edilebilir (8):

$$u^{-\Delta t} = u^0 - \dot{u}^0 \Delta t - \frac{1}{2} \ddot{u}^0 \Delta t^2 \quad (8)$$

Sistemin  $t = 0$  anındaki ivmeleri,  $\ddot{u}^0$ , aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$M \ddot{u}^0 = F^0 - I^0 - C \dot{u}^0 \quad (9)$$

Hesaplama verimliliğini arttırmak amacıyla kütle matrisi yerine diagonal kütle matrisi kullanılabilir. Böylece denklemler (9) için faktörizasyon ihtiyacı ortadan kalkar.

## ANALİZ

Bu çalışmada flanj bölgesinde görülen buruşma araştırılmıştır. Zımba, kalıp, baskı plakası geometrileri işlem parametreleri ve malzeme özellikleri aşağıda verilmiştir.

Zımba çapı 100 mm ve zımba dip yarıçapı 7 mm, kalıp çapı 102.5 mm ve kalıp dip yarıçapı 9.5 mm olarak modellenmiştir. Derin çekme analizinde 210 mm çapında ve 1 mm kalınlığında sac metal parça kullanılmıştır.

Tablo 1. Malzeme Özellikleri

Malzeme	E (GPa)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\nu$	$\epsilon_0$
Çelik	221,368	7,8	0,3	0,00876

K (MPa)	n	R (0°)	R (45°)	R (90°)
547,3	0,2692	2,160	1,611	2,665

Malzeme modeli olarak elasto-plastik model kullanılmıştır. Plastik akış simülasyonu için Swift kanunu (10) formülasyonlara adapte edilmiştir. Sürtünme katsayısı bütün yüzeylerde 0,0426 olarak alınmıştır.

$$\sigma = K \cdot \epsilon + \epsilon_0^n \quad (10)$$

### Baskı Plakası Kuvvetinin Buruşmaya Etkisi

Bu çalışmada baskı plakasının buruşmaya olan etkisi incelenmiştir. Çekme derinliği 4 kN' dan düşük baskı plakası kuvvetleri için 20 mm, 4 kN' dan yüksek baskı plakası kuvvetleri için 40 mm olarak alınmıştır. Sac metal'e uygulanan 1 N ve 4000 N arası baskı plakası kuvveti sonuçları Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. 20 mm Çekme Derinliğinde Baskı Plakası Kuvvetlerine Bağlı Oluşan Dalga Sayısı

Baskı plakası Kuvveti [N]	Oluşan Dalga Sayısı
1	4
10	4
100	4
250	8
500	8
1000	10
2000	14
3000	16
4000	16

Tablo 2'den anlaşılacağı gibi baskı plakası kuvveti arttıkça flanaj bölgesinde buruşmadan dolayı oluşan dalga sayısı artmaktadır. 4000 N' dan büyük baskı plakası kuvvetleri için çekme derinliği 40 mm olarak seçilmiştir, sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Çalışmada, çelik malzeme için 40 mm çekme derinliğinde 7000 N baskı plakası kuvvetinde buruşma önlenmiştir. Flanj bölgesinde oluşan maksimum dalga sayısı 24 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3. 40 mm Çekme Derinliğinde Baskı Plakası Kuvvetine Bağlı Oluşan Dalga Sayısı

Baskı plakası Kuvveti [N]	Oluşan Dalga Sayısı
4000	16
5000	16
6000	20
6500	24
6750	24
7000	yok

### Çekme Derinliğinin Buruşmaya Etkisi

Bu çalışmada çekme derinliğinin buruşmaya olan etkisi incelenmiştir. Belli baskı plakası kuvvetleri için farklı çekme derinliklerinde oluşan dalga formları Şekil 2 'de gösterilmiştir.

Baskı plakası kuvveti 1 N iken flanaj bölgesinde buruşma 5 mm çekme derinliğinden önce gözlemlenmiştir. 1000 N baskı plakası kuvveti için ise buruşma 10 mm çekme derinliğinde görülmüştür, diğer bir deyişle parça 10 mm çekme derinliğine kadar buruşma yaşamamıştır. Son olarak, 3000 N kuvvet buruşmayı 15 mm çekme derinliğine kadar engellemeyi başarmıştır. (Bkz. Şekil 2)

### Anizotropinin Buruşmaya Etkisi

Bu çalışmada malzeme özelliklerinden biri olan anizotropinin buruşmaya olan etkisi araştırılmıştır. Malzeme modellemesi sırasında Tablo 1' de verilen malzeme özellikleri aynen kullanılmış fakat malzeme modeli izotropik olarak seçilmiştir. İzotropik ve anizotropik malzemenin buruşmaya olan etkisi Tablo 4' de gösterilmiştir.

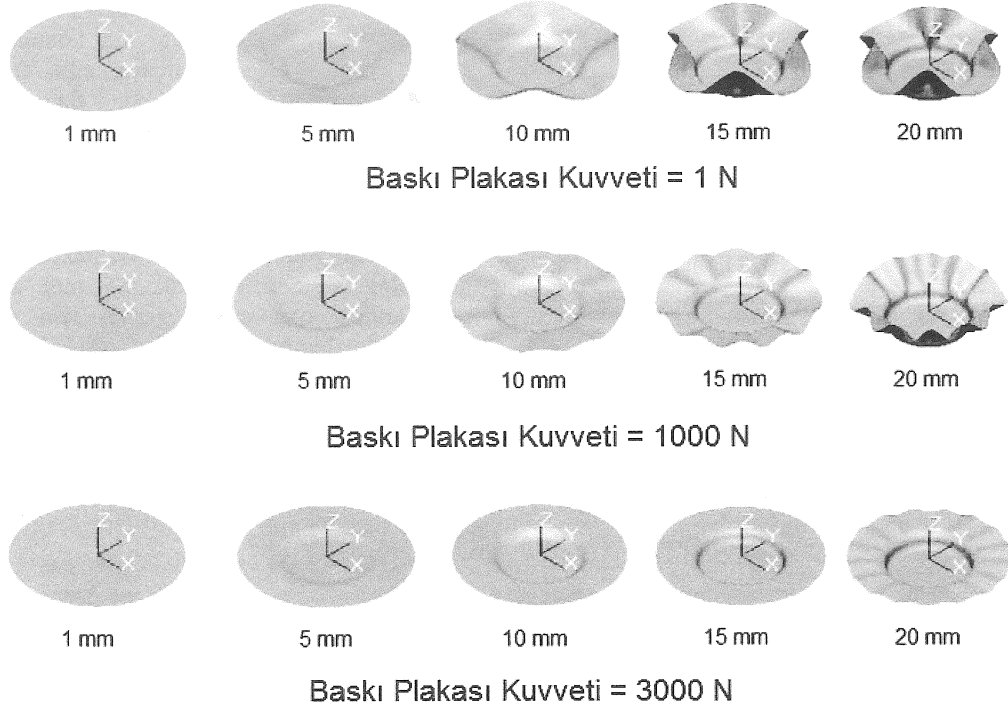
Tablo 4. Anizotropik ve İzotropik Malzeme için Elde Edilen Buruşma Dalga Sayısı

Baskı Plakası Kuvveti	Anizotropik Malzeme Dalga Sayısı	İzotropik Malzeme Dalga Sayısı
1	4	4
100	4	4
500	8	8
1000	10	12
2000	14	16
3000	16	16
5000	16	20
6000	20	20
6500	24	24

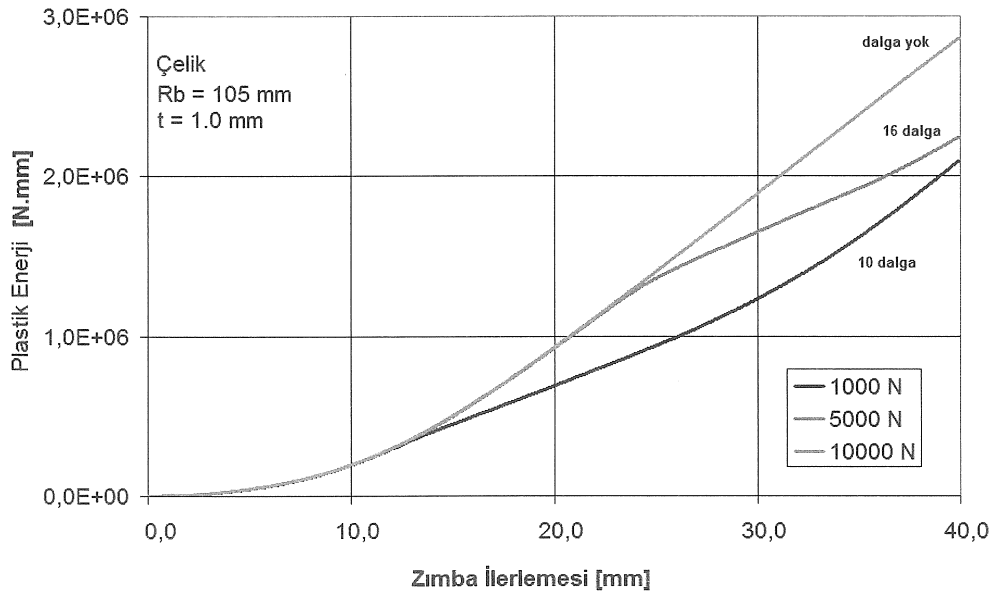
## Plastik Enerji

Buruşma problemi derin çekme işleminin enerji grafikleriyle incelendiğinde, flanaj bölgesinde neden bu istenmeyen problemin görüldüğü daha iyi bir şekilde anlaşılır. Farklı baskı plakası kuvvetleri uygulanarak yapılan derin çekme işlemlerinin enerji grafikleri incelendiğinde buruşma ile ilgili önemli

bulgular elde edilmiştir. Derin çekme işleminde sac metal en az enerji gereken formda şekillenir. Diğer bir deyişle, eğer malzemenin derin çekme enerjisi buruşma enerjisinden küçükse, malzeme derin çekilir. Baskı plakası kuvveti artırılarak, buruşma enerjisi artırılır ve malzeme derin çekme işlemi esnasında buruşma yaşamaz. (Bkz Şekil 3)



Şekil 2. 1 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm ve 20 mm Çekme Derinliklerinde; 1 N , 1000 N, 3000N Baskı Plakası Kuvvetleri Sonucu Oluşan Dalga Sayıları



Şekil 3. 1000 N, 5000 N ve 10000 N Baskı Plakası Kuvvetlerindeki Derin çekme Enerjisi Grafikleri

## DENEY

Çalışmanın deney kısmında 0.5 mm, 1.0 mm, 1.2 mm ve 2.0 mm kalınlıklarında 4 adet AL1050 sac metal malzeme kullanılmıştır. Malzeme özelliklerini elde etmek amacıyla çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi yapılarak elde edilen malzeme özellikleri Tablo 5 'de gösterilmiştir.

Tablo 5. 4 Farklı Kalınlıktaki AL1050 Malzeme Özellikleri

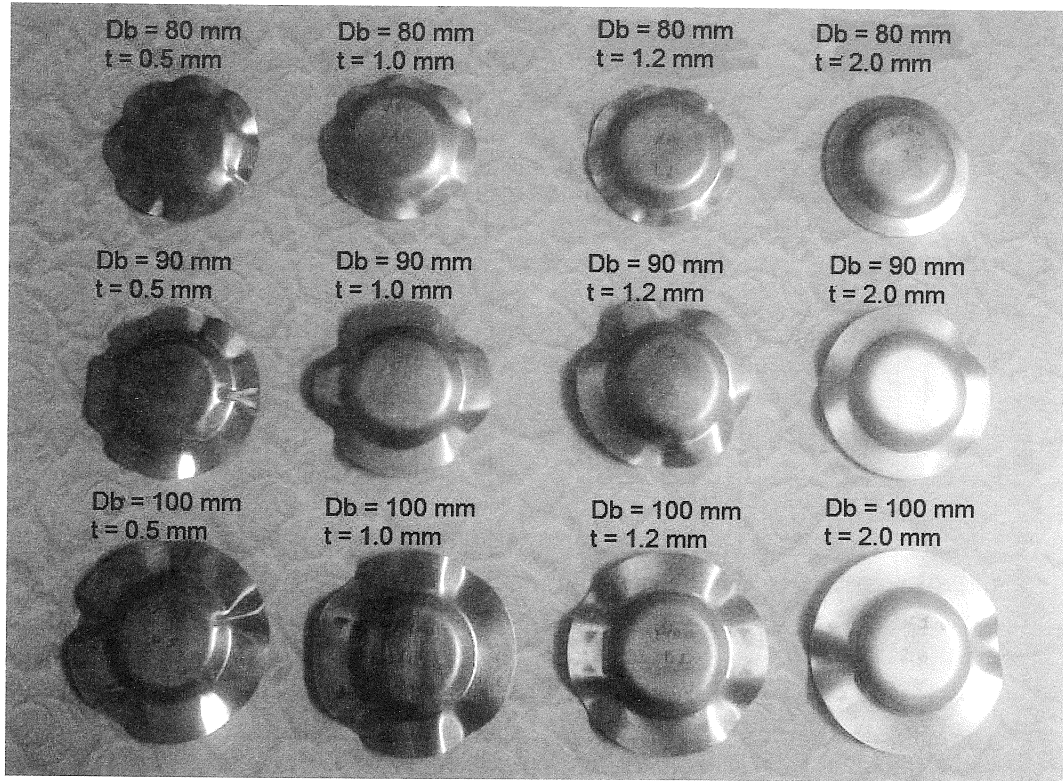
Malzeme AL1050	E (GPa)	K (MPa)	n	R (0°)	R (45°)	R (90°)
0.5 mm	59,133	99,847	0,1196	0,637	0,496	0,578
1.0 mm	59,766	140,86	0,0872	0,896	0,611	0,660
1.2 mm	58,888	162,33	0,0963	0,652	0,751	0,684
2.0 mm	57,944	286,28	0,0976	0,681	0,833	0,803

Derin çekme deneyinde çapları 80 mm, 90 mm ve 100 mm olan sac metal parçalar kullanılmıştır. Her bir çap değeri için 4 ayrı kalınlıktaki AL1050 malzemesi hazırlanmıştır. Derin çekme deneyi ODTÜ – Metal İşleme Laboratuvarında, Tinius-Olsen Test Makinası kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

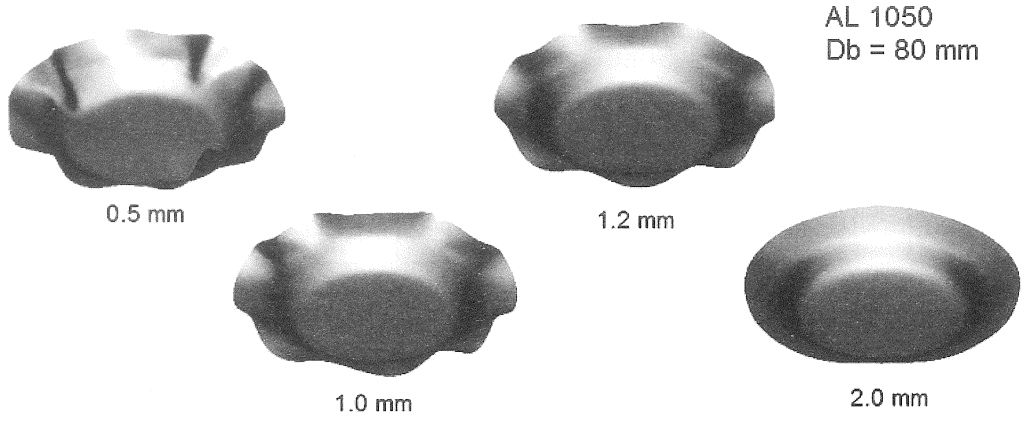
Deney sonuçları ile kıyaslama yapılması amacıyla deney düzeneği modellenmiş ve derin çekme işlemlerinin analizi yapılmıştır. Deney düzeneğinde zımba çapı 50 mm, kalıp çapı ise 54 mm olarak kullanılmıştır. Zımba ve kalıp dip radüsleri ise 5 mm olarak alınmıştır. Yağlama için gres yağı kullanılmıştır. Sürtünme katsayısı bütün yüzeyler için 0.08 olarak alınmıştır.

Derin çekme sırasında baskı plakası kuvvetini sıfırlamak için parça kalıp ve baskı plakası arasına 4 adet 15 mm yüksekliğinde pim konulmuştur. Bu sayede baskı plakası parçaya etki etmemiş ve buruşma serbest bir biçimde flanaj bölgesinde görülmüştür.

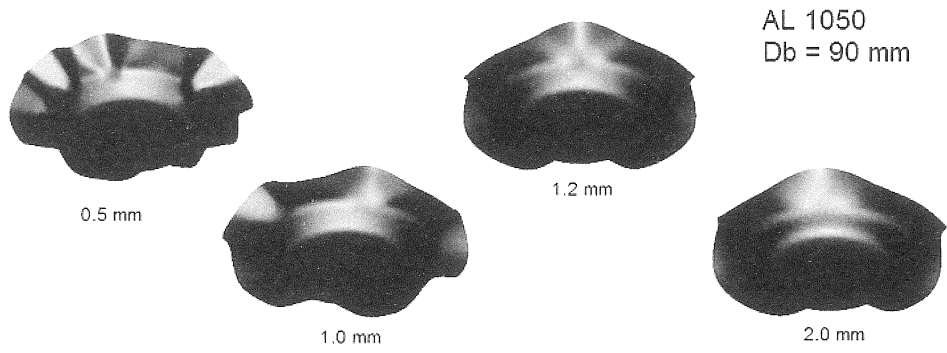
Deneyde elde edilen bütün parçalar, kalınlıkları ve çapları belirtilerek Şekil 4' te gösterilmiştir. Sac kalınlığının buruşmaya olan etkisi Şekil 4 'de görülmüştür. Analiz sonuçları ise Şekil 5, 6 ve 7' de gösterilmiştir. Sac kalınlığı 0.5 mm olan deney parçalarında aynı çap değerleri için daha fazla buruşma gözlemlenmiştir. Sac metal kalınlığı arttıkça buruşma azalmıştır. Deney sonuçları ve analiz sonuçları Tablo 6' da gösterilmiştir. Deney sonuçlarıyla analiz sonuçlarının karşılaştırılması neticesinde, sonuçların uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.



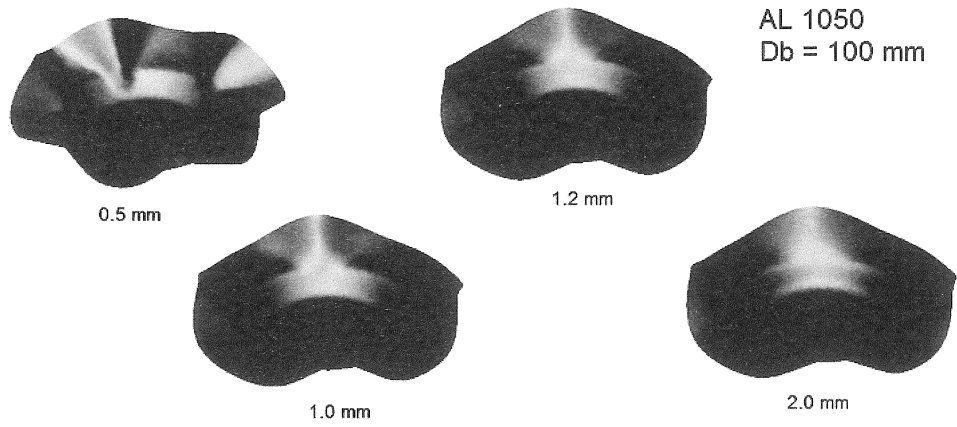
Şekil 4. Derin çekme işlemi sonrasında 80 mm, 90 mm ve 100 mm çaplarında ve 0.5 mm, 1.0 mm, 1.2 mm ve 2.0 mm kalınlıklarındaki Deney Parçaları



Şekil 5. 80 mm Çapındaki Parçaların Buruşma Oluşumları



Şekil 6. 90 mm Çapındaki Parçaların Buruşma Oluşumları



Şekil 7. 100 mm Çapındaki Parçaların Buruşma Oluşumları

Tablo 6. Belirtilmiş Kalınlık ve Çap Değerlerindeki Malzemelerin Deney ve Analiz Sonuçları

Parça Çapı	Deney Sonuçları				Analiz Sonuçları			
	Dalga Sayısı				Dalga Sayısı			
Kalınlık [mm]	0.5	1.0	1.2	2.0	0.5	1.0	1.2	2.0
80 mm	10	8	8	-	8-10	8	8	-
90 mm	8	4	4	4	8	6	4	4
100 mm	5-7	4	4	2	6	4	4	4

## SONUÇ

Bu çalışmada baskı plakası kuvveti değiştirilerek derin çekme simülasyonları yapılmıştır. 1 N ve 10000 N arası baskı plakası kuvvetleri uygulanarak, baskı plakası kuvvetinin buruşmaya olan etkisi araştırılmıştır. Baskı plakası kuvveti olmadan yapılan analizlerde sac metal flanaj bölgesinde 4 dalga görülmüştür. Analizler sonucunda, baskı plakası kuvveti arttırıldığında dalga sayısının arttığı ve dalga boyutunun azaldığı gözlemlenmiştir. 6500 N ve 6750 N baskı plakası kuvvetlerinde flanaj bölgesinde en fazla 24 dalga görülmüştür. 1 mm kalınlığındaki derin çekme özelliğindeki çelik parçanın buruşmasını engellemek için 7000 N baskı plakası kuvveti yeterli görülmüştür.

Çekme derinliğinin buruşmaya olan etkisi 1 N, 1000 N ve 3000 N baskı plakası kuvvetleri için incelenmiştir. Kuvvet 1 N iken parça çekme derinliği 5 mm olmadan buruşma yaşamıştır. Ama buruşma 1000 N baskı plakası kuvveti uygulandığında 10 mm çekme derinliğine kadar görülmemiştir. Çekme derinliği arttırıldığında buruşmayı engellemeye yetecek baskı plakası kuvveti artma eğilimi göstermiştir.

Anizotropinin buruşmaya etkisi incelenmiştir. Baskı plakası kuvveti 1000 N olarak uygulandığında isotropik malzemede 12 dalga görülürken, anizotropik malzemede ise 10 dalga görülmüştür (Bkz. Tablo 4). Malzeme izotropik seçildiğinde elde edilen dalga sayıları 4 ve 4'ün katlarıdır.

12 mm çekme derinliğinde, 1000 N, 5000 N ve 10000 N baskı plakası kuvvetleri için derin çekme enerjilerinin aynı olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 3). 1000 N kuvvet için 12 mm zımba ilerlemesinden sonra derin çekme enerjisinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bu noktada buruşma enerjisinin derin çekme enerjisinden daha küçük olduğu ve parçanın daha düşük enerjide şekillendiği sonucu çıkarılabilir. 5000 N baskı plakası kuvvetinde ise plastik enerjideki düşüş 25 mm çekme derinliğinde gözlemlenmiştir. 1000 N ve 5000 N kuvvetlerinde, malzeme buruşma yaşamıştır çünkü malzeme düşük

enerjiyi seçer ve düşük enerjide şekillenir. Baskı plakası kuvveti 10000 N olduğunda malzemenin enerjisinde bir düşme görülmemiştir. Bu açıdan bakıldığında, 10000 N baskı plakası kuvvetinin buruşmayı engellemede yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

Derin çekme deneyi, buruşmanın kalınlığı az olan malzemeler için daha önemli bir problem olduğunu göstermiştir. 80 mm çapındaki ve 0.5 mm kalınlığındaki parçada hem deneyde hem de analizde flanaj bölgesinde 10 dalga görülmüştür. Aynı çaptaki 2.0 mm kalınlığındaki parçada ise buruşma görülmemiştir. Derin çekme deneyi ve analizleri göstermiştir ki, parça çapı arttıkça dalga sayısı azalmıştır. 0.5 mm sac kalınlığı için, 80 mm çapındaki parçada 10 dalga görülürken, 100 mm çapındaki parçada dalga sayısı 6'ya düşmüştür. Deney ve analiz sonuçları karşılaştırıldığında, sonuçların uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

## ANALYSIS AND MODELING OF PLASTIC WRINKLING IN DEEP DRAWING

In this study, wrinkling in deep-drawing is investigated by utilizing a commercial finite element program. In order to understand plastic wrinkling, the effect of blank holder force is investigated. Axisymmetrical numerical models of a cup are investigated with different blank holder forces. Wrinkling instability is illustrated in energy diagrams of the process. Effect of anisotropy on wrinkling is also discussed by comparing isotropic and anisotropic numerical experiments with the material as steel. Besides numerical analysis, experimental verification is also conducted as conventional deep drawing operation by a hydraulic press. The wave formations of different sized blanks with four different thicknesses are illustrated.

Keywords: Wrinkling, Deep Drawing, Finite Element Method, Sheet Metal Forming, Blank Holder Force

## KAYNAKÇA

1. Johnson W., Mellor P.B., "Engineering Plasticity", Ellis Horwood Ltd., 1983.
2. Metal Forming Handbook, Schuler, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.
3. Grote K.-H., Antonsson E.K., "Springer Handbook of Mechanical Engineering", 2008.
4. Banabic, D.; Bunge, H.-J.; Pöhlandt, K.; Tekkaya, A. E.: Formability of Metallic Materials, Springer-Verlag: Berlin/Heidelberg/ New York/ Tokyo, 2000.
5. A. E. Tekkaya: Finite Element Analysis in Solid Mechanics, Lecture Notes, Middle East Technical University, Ankara, 2002
6. Önder İ.E., "Assessment of sheet metal forming processes by numerical experiments", Ph.D Thesis, Middle East Technical University, Mechanical Engineering Department, Ankara, May 2005.
7. NUMISHEET 2002 Benchmark A: Deep Drawing of Cylindrical Cup, NUMISHEET 2002, *Proceedings of the Fifth International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Forming Processes*, Jeju Island, Korea, October 21-25, 2002.
8. Kaftanoğlu B., "Plastic Analysis of Flange Wrinkling in Axisymmetrical Deep-Drawing". *Proceedings of the 21st International Machine Tool Design and Research Conference*, 1980, pp.21-28.

## EKLER

### Sembol Listesi

$E$	: Elastisite Modülü
$\rho$	: Yoğunluk
$\nu$	: Poissons Oranı
$\epsilon_0$	: Çekme Gerinimi
$\epsilon$	: Gerinim
$\sigma$	: Gerilim
$K$	: Mukavemet Katsayısı
$n$	: Gerinim Sertleşme İndisi
$R(0^\circ)$	: Akma Yönündeki Anizotropi
$R(45^\circ)$	: Akma Yönüne $45^\circ$ olan Anizotropi
$R(90^\circ)$	: Akma Yönüne $90^\circ$ olan Anizotropi
$Db$	: Parça Çapı
$Rb$	: Parça Radüsü
$t$	: Malzeme Kalınlığı