

Makale

# Derin Sac Çekme İşleminde Kalıp Boşluğunun Cidar Kalınlık Değişimine Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi

Mehmet KARALI

Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi, İSTANBUL

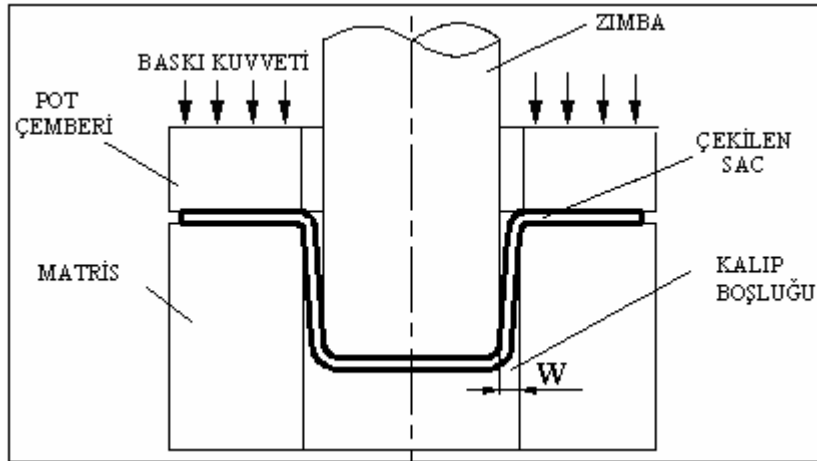
## Özet

Bu çalışmada, derin sac çekme işlemi esnasında kalıp boşluğu miktarının çekilen kap üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Problemin çözümü için MSC-Marc sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Çözüm zamanını kısaltmak amacıyla sonlu eleman modeli aksel simetrik olarak oluşturulmuştur. Malzeme olarak Al 99,5 sac malzeme tercih edilmiştir. Kalıp boşluğu için ön görülen değer aralığı alt ve üst sınırlardan bir miktar genişletilerek yeni bir değer aralığı tanımlanmıştır. Bu aralığa uygun beş farklı değer belirlenmiştir. Bu boşluklar altında yapılan çekmelerle elde edilen kapların cidar kalınlık dağılımındaki değişimler incelenmiştir. Kalıp boşluğuna bağlı olarak kap tabanında ve köşe bölgelerinde incelmelerin olduğu gözlenmiştir. İmal edilecek kaptan beklenen özelliklere bağlı olarak kalıp boşluğu seçiminin önemli olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin sac çekme, Kalıp boşluğu, Sonlu elemanlar metodu

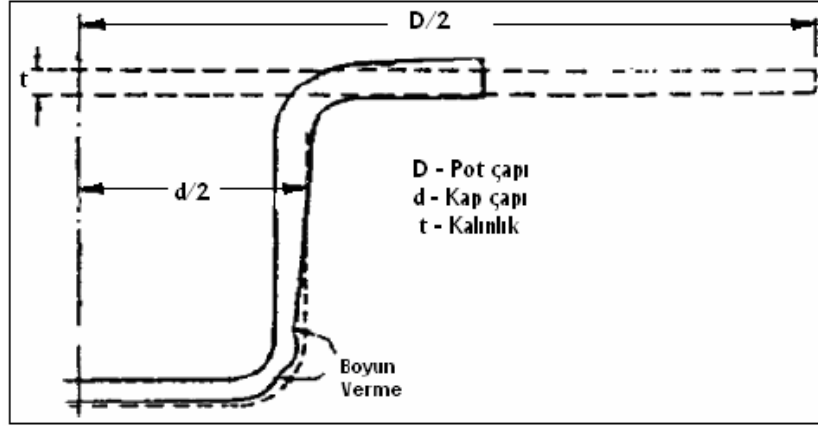
## 1. Giriş

Derin çekme işlemi yaygın olarak silindirik, küresel ya da kübik şekillendirme ile yapılmaktadır. Silindirik levhalar plastik deformasyon altında derin çekme yöntemiyle silindirik kap haline getirilirken; elde edilecek kabın kullanım amacı göz önüne alınır ve derin çekme parametrelerinin optimize edilmesi istenir. Bu amaçla çekilen kaba ait; çekme derinliği, cidar kalınlık dağılımı, derin çekme oranı, kulaklaşma, kırışma, yırtılma vb. neticelerin kontrol altına alınabilmesi için çekme parametrelerinden; çekme hızı, pot baskısı, sac geometrisi, yağlama şartları gibi değişkenlerin optimizasyonuna yönelik çalışmalar yapılmıştır[1-4]. Kalıp boşluğu için önerilen bazı formüller mevcuttur. Ancak, bu formüllerle hesaplanan boşluk değeri bir aralığı temsil etmektedir. Bu aralıktaki kalıp boşluk değerlerinin genel olarak kap verimine, özellikle de cidar kalınlık değişimine etkisinin olacağı düşünülmüştür. Kalıp boşluğunu gösteren basit bir derin çekme düzeneği Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kalıp boşluğunu gösteren basit bir derin çekme düzeneği.

Çekme boşluğunun belirlenmesinde Şekil 2’de görülen parça üst kenarındaki malzeme kalınlaşmasıyla sac kalınlık toleransı dikkate alınır. Çekme işleminde bu aralığın gereğinden az olması durumunda çekme işlemi normal çekme durumundan çıkarak cidar inceltme çekmesine dönüşür ve incelen parça cidarı çekme kuvvetine dayanamayarak parça tabanının yırtılmasına [5], sürtünmenin artmasına, ısı oluşumuna ve takımın aşınmasına neden olur [6]. Fazla olması ise; yumuşak malzemelerde çekilen parça cidarının bozulmasına yol açar [7]. Çekilen malzeme ölçüleri istenen tamlıkta olmaz ise, ince malzemelerde kırışıklıklara neden olabilir.



Şekil 2. Şekillenme esnasında cidar kalınlık değişimi

### 1.1 Çekme Boşluğunun Belirlenmesi

Çekme boşluğunu çekmenin metoduna ve takımın yapısına bağlı olarak değerlendirmek gerekir. Çekilecek malzemenin belirli sınırlar içinde kalması gerekmektedir. Bu sebepten çekme kalıplarında kullanılacak sacların hassas kalınlık toleransına sahip olması iyi sonuçlar verir [5]. Çekme aralığı ( $w$ ) için belirlenmiş aşağıdaki deneye dayalı formüllerin kullanılması tavsiye olunmaktadır [5].

$$\text{Alüminyum için; } w = s + 0,02\sqrt{10s} \quad (s : \text{sac kalınlığı}) \quad (1.1)$$

$$\text{Numune parça için; } w = 2 + 0,02\sqrt{10.2} = 2,09 \text{ mm}$$

Çekme boşluğu için kullanılabilecek diğer bir formülde şöyledir.

$$w = s [1 + 0,035 (\beta - 1)^3] \quad (\beta : \text{Çekme oranı}) \quad (1.2)$$

$$\text{Numune parça için; } 2 [1 + 0,035 (1,78 - 1)^3] = 2,03 \text{ mm}$$

Yukarıda verilen formüller malzeme mukavemetine bağlı olarak birleştirilirse aşağıdaki genel formül elde edilir:

$$w = s (1 + 0,01\sigma_B(\beta - 1)^3) \quad (1.3)$$

$$\text{Numune parça için; } 2[1 + 0,01.8.(1,78 - 1)^3] = 2,08 \text{ mm}$$

Pratik olarak çekme boşlukları Tablo 1’de verilen formüllere göre belirlenir.

Tablo 1. Çekme boşluğu değerleri [5].

Malzeme kalınlığı	İlk çekme	Ara çekmeler	Son çekme
<0,4	(1,07- 1,09)s	(1,08 - 1,10)s	(1,04 - 1,05)s
0,4- 1,3	(1,08- 1,10)s	(1,09 - 1,12)s	(1,05 - 1,06)s
1,3-3,2	(1,10- 1,12)s	(1,12 - 1,14)s	(1,07 - 1,09)s
>3,2	(1,12- 1,14)s	(1,15 - 1,20)s	(1,08 - 1,10)s

Çekme boşluğunun belirlenmesinde pratik kullanışlıya sahip olduğu için Tablo 1'deki değerlerden sık sık faydalanılır [8].

Tablo 1'e göre numune parça için ön görülen boşluk değerleri;

$$w=1,10s = 1,10.2= \mathbf{2,20 \text{ mm}}$$

$$w=1,12s = 1,12.2= \mathbf{2,24 \text{ mm}}$$

Denklem 1.1, 1.2, 1.3'de belirtilen denklemler ve Tablo 1' de belirtilen yöntemle elde edilen boşluk değerleri göz önüne alındığında, bu çalışmada kullanılan ve 2 mm kalınlığındaki numune pot malzemesi için öngörülen boşluk değerlerinin alt ve üst sınırları bir miktar genişletilmiş ve bu aralıktan 5 farklı ölçü tespit edilmiştir. Öngörülen ve seçilen boşluk değerleri Tablo 2' de belirtilmiştir.

Tablo 2. Öngörülen ve seçilen boşluk değerleri

Sac Kalınlığı: 2 mm	min				max
Öngörülen Boşluk değer aralığı	2,03				2,24
Seçilen boşluk miktarı (mm)	2,05	2,10	2,30	2,40	2,50

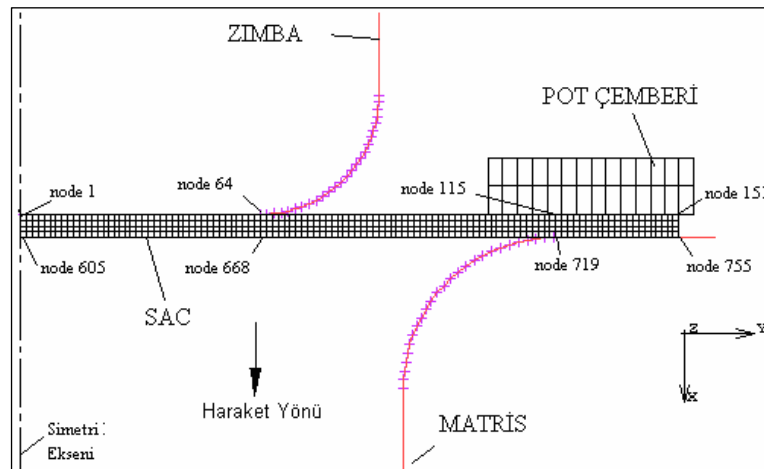
## 2 Sonlu Elemanlar Metodu

### 2.1 Sonlu Eleman Modeli

Model olarak seçilen alüminyum levhanın derin çekilerek şekillendirilmesi için Marc Mentat SEA kodu kullanılarak bir sayısal model oluşturulmuştur. Kalıp resimlerinin ve boşluk değerlerinin atanmasında Marc Mentat programının arabirimi kullanılmıştır. Modelin oluşturulmasından sonuçların elde edilmesine kadar olan işlemler alt bölümlerde ele alınmıştır.

#### 2.1.1 Modelin Oluşturulması ve Ağ Örülməsi

Hesaplama süresinin azaltılması ve da makul sonuçların alınması açısından Eksensel simetrik bir modelleme yapılmıştır. Eksensel simetrik modelleme katı modellemeye oranla daha hızlı, iki boyutlu modellemeye oranla daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Bu amaçla Şekil 2'deki gibi çekme sacının dörtte biri iki boyutlu olarak çizilmiştir. Zimba ve matris birer rijit eleman olarak eğrilerden oluşturulmuştur. Sac ve pot çemberi ise deforme edilebilir olarak elemanlardan oluşturulmuştur. Çizimler 1/1 ölçeğinde çizilmiştir.



Şekil 3. Kalıp boşluğunun etkisi için derin sac çekme modeli.

Sac levha ve pot çemberine ağ örülürken kullanılan elemanların dört noktadan düğümlü ve kare şekilli olanı tercih edilmiştir. Sacın her 0.5 mm'si için bir ağ örülmüştür. Pot çemberi üzerindeki ağ miktarı ve şekli önemli olmamakla birlikte işlem hızını artırmaması için saca göre daha büyük boyutlarda ağ örülmüştür. Sac için toplam 600 eleman ve 755 düğüm noktası oluşturulmuştur.

Zımba ve matrisin köşe yuvarlaklarının sacı daha düzgün kavrayabilmesi için 25 adet bölüntü yapılmıştır. Bölüntüler şekil üzerinde artı şeklindeki noktalarla gösterilmektedir. Sonuçların değerlendirilmesinde kolaylık olması açısından sac üzerindeki düğüm noktalarının numaralandırılması Şekil 3'deki gibi olacak şekilde düzenlenmiştir.

### 2.1.2 Sınır Şartlarının Belirlenmesi

Sacın eksensel simetrik modelinin bir gereği olarak sac merkezini teşkil eden ve simetri ekseninden geçen noktalar simetri eksenine dik yönde sabitlenmiştir. Pot çemberinin, zımba hareket yönüne zıt istikametteki hareketi kısıtlanırken; hareket yönünde ise 2 MPa lık bir pot baskısı uygulanmıştır. Böylece çekme esnasında sacın geriye doğru olan katlanmaları engellenmiştir.

### 2.1.3 Malzeme Özellikleri

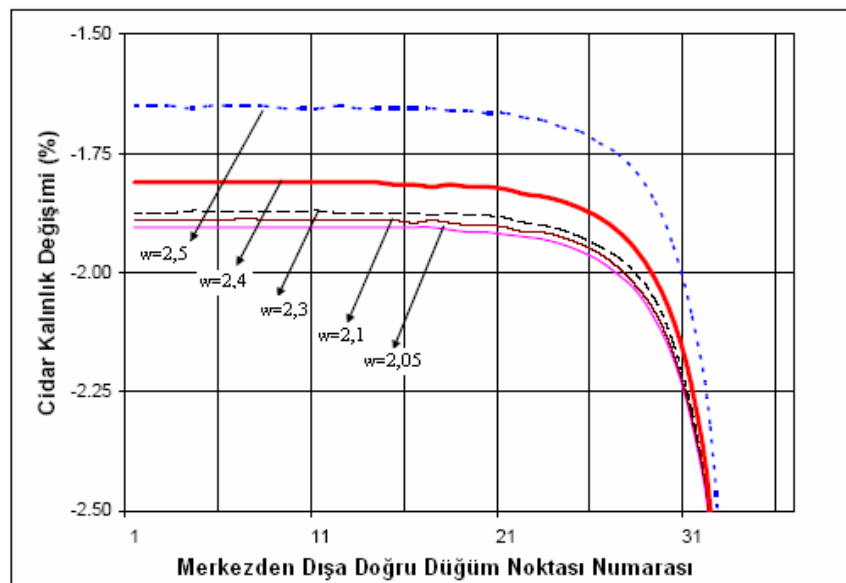
Malzeme modelinin oluşturulmasında elastik-plastik deformasyon modeli tercih edilmiştir. Marc Mentat programının malzeme özellikleri bölümünde, Parçalı Lineer metoduna uygun 11 adet akma kriteri mevcuttur[9]. Burada Von Mises izotropik akma kriteri referans alınmıştır.

### 2.1.4 Sürtünme Modelini Oluşturma

Bu çalışmada Coulumb sürtünme modeli kullanılarak levha-matris ve levha-baskı plakası arasında sürtünme modeli oluşturulmuştur. Sürtünme modelinde yüzey-yüzey kontak modeli kullanılmıştır. Zımba ve matris için *rijit*, sac ve baskı plakası için *deforme edilebilir* kontak gövdeleri seçilmiştir. Levha-matris arasında Coulumb sürtünme katsayısı 0,08 alınmıştır. Matris ile baskı plakası arasında ise Coulumb sürtünme katsayısı 0,12 alınmıştır[10].

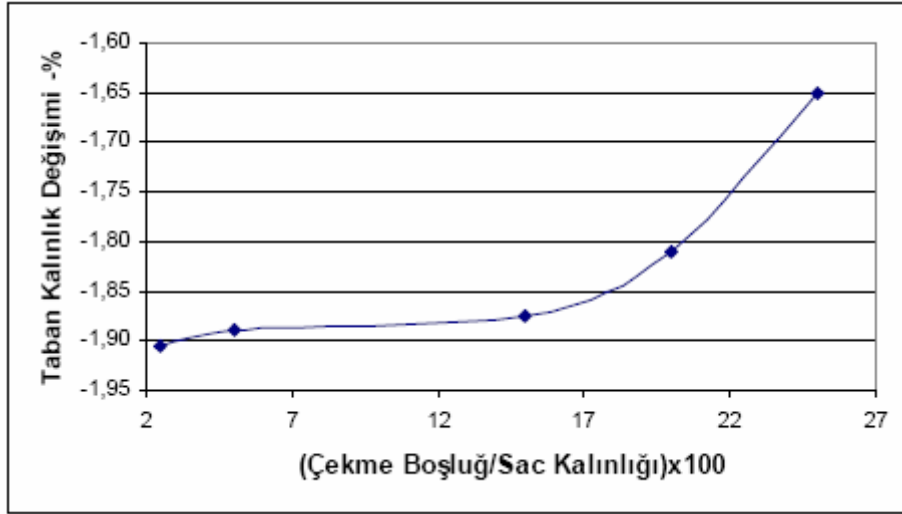
## 3 Analiz Sonuçları

Belirlenen farklı kalıp boşlukları için yapılan çekme denemelerinde kalıp boşluğunun cidar kalınlık değişimine doğrudan etkidiği görülmüştür. Şekil 4'de farklı çekme boşlukları için kap tabanındaki incelmeler görülmektedir. Zımba ile matris arasındaki boşluk azaldıkça sürtünme kuvveti arttığından ve malzeme yığılmasından dolayı sac akmaya zorlandığından kap tabanındaki incelmeler artmıştır. Bunun tersi olarak, boşluk artırıldıkça tabandaki incelmelerinde azaldığı görülmektedir.



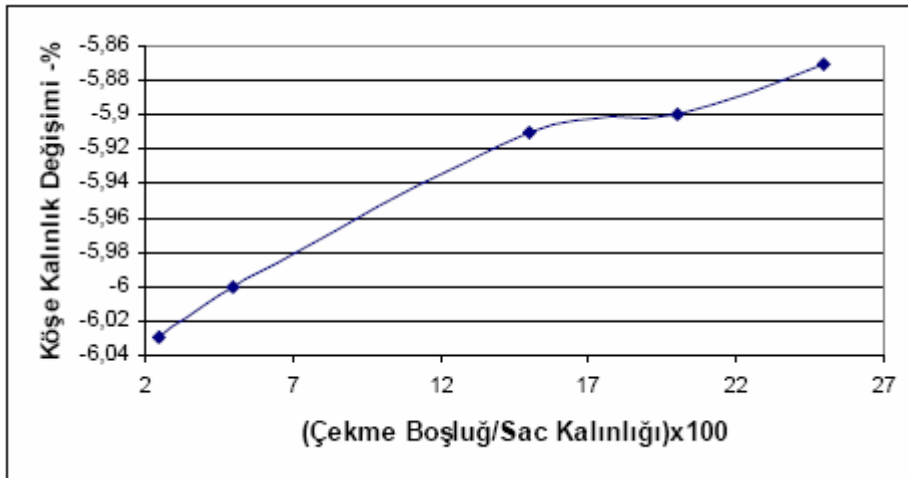
Şekil 4. Çekme boşluğunun kap tabanındaki kalınlık değişimine etkisi.

Şekil 5’de de çekme boşluğunun sac kalınlığına oranına bağlı olarak kap tabanındaki incelmeler görülmektedir. Boşluk değeri arttıkça taban bölgesinin daha az incelmediği burada daha net olarak görülmektedir.



Şekil 5. Sac kalınlığına orantılı çekme boşluğunun kap tabanındaki kalınlık değişimine etkisi

Şekil 6’da ise çekme boşluğunun kap köşesine etkileri görülmektedir. Kap köşesinin en az düzeyde incelmesi önemli bir faktördür. Çekme boşluğu azaldıkça köşelerdeki incelmelerin de azaldığı görülmektedir. Ancak bu azalmanın belirli bir seviyede sabit kalacağı düşünölmektedir.



Şekil 6. Çekme boşluğunun kap köşe kalınlığı üzerindeki etkisi.

#### 4. Sonuç

Derin çekilerek üretilen kaplarda cidar incelmesinin minimum ve düğgün bir şekilde olması arzu edilen bir sonuçtur. Bu sonucu etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bu çalışmada, zımba ile matris arasındaki boşluğun kap tabanında ve köşe bölgelerdeki incelmeye olan etkileri araştırılmıştır. Çekme boşluğu sac kalınlığına ve malzemesine bağlı olarak değişmekle beraber sabit bir büyüklüğe sahip değildir. Bu büyüklük bir aralığı temsil etmektedir. Dolayısıyla yapılan bu çalışma göstermektedir ki bu aralıktaki değerlerden en büyüğünün seçilmesi cidar kalınlık dağılımı açısından en iyi sonucu vermektedir.

**Kaynaklar**

1. Karalı, M.; “Derin Sac ekme İşleminde Pot emberi Baskısının Cidar Kalınlığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2005).
2. Manabe, K.; Koyama, H.; Yoshihara, S.; Yagami T.: “Development of a Combination Punch Speed and Blank-Holder Fuzzy Control System for the Deep-Drawing Process”, Journal of Materials Processing Technology 125–126 (2002) 440–445.
3. Abe, Y.; Mori, K.; Ebihara, O.: “Optimisation of the Distribution of Wall Thicknes in the Multistage Sheet Metal Forming of Wheel Disk”, Journal of Materials Processing Technology, 125–126 (2002) 792–797.
4. Sheng, Z.Q.; Yang, J.B.; Jirathearanat, S.; Altan, T.: “Adaptive FEM Simulation for Prediction of Variable Blank Holder Force in Conical Cup Drawing”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 44 (2004) 487–494.
5. Güneş, A.T.: “Pres İşleri Tekniği”, TMMOB, Cilt 2, Ankara, Türkiye, (2002) 38.
6. Daehn, G.S.; Altınova, M.; Balanethiram, V.S.; Fenton.; G.: “High.Velocity sheet Metal Forming An Old Technology Adresses Current Problems”, Sheet Metal Forming Symposium, (1995).
7. apan, L.: “Metallere Plastik Şekil Verme”, ağlayan Basımevi, III.Baskı, İstanbul, (1999).
8. Wilson, F.W.: “Die Desing Handbook”, McGraw-Hill Book Comp., 1955
9. Marc Mentat 2003 Program yardımcısı (Help) dökümanları, “Theory and User Information”, Volume A, (2003) 1-2.
10. Miles, F.D.; Keen, N.J.: “Forming Aluminium”, Sheet Metal Industries, (December 1974) 735-740.