



## Farklı Kalıp Geometrilerinde AA7075 Talaşlarının Sıkıştırılma Kabiliyetlerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi

### Theoretical and Experimental Investigation of Compression Capabilities of AA7075 Chips in Different Mold Geometries

Suat Koçoğlu<sup>1</sup>, Kemal Yıldızlı<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği ABD / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 55270 ve Samsun, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği Bölümü / Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 55270 ve Samsun, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 09/12/2022

Kabul / Accepted: 27/12/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2022

#### Öz

Ergitilerek geri dönüştürülen metal talaşları, bu işlem öncesinde depolama alanlarını azaltmak ve dökümdeki şarj kabiliyetini iyileştirmek amacıyla geleneksel dairesel kalıpta sıkıştırılarak briket haline getirilirler. Talaşın daha fazla sıkıştırılması ekonomik ve lojistik bakımdan faydalar sağlayacaktır. Bu çalışmada, farklı kalıp geometrilerinin AA7075 talaşının sıkışma kabiliyeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kalıp geometrisi, talaş boyutu, talaş miktarı ve kuvvet miktarı sıkıştırma işlemi etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir. Her bir faktör için 3 seviye uygun görülmüştür. Faktör ve seviye sayısına bağlı olarak Taguchi metodu ile deney tasarımı yapılmıştır. En yüksek yoğunluk değerinin kare kalıpta, en düşük değerin ise altıgen kalıpta olduğu belirlenmiştir. Kare kalıpta ince ebatlı 15 gr talaşın 7500 kgf yük altında sıkıştırılması sonucunda 1,51 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk değeri elde edilmiştir. Sonlu eleman metoduna göre yapılan inceleme de kare kalıpta meydana gelen gerilmenin kalıbın geneline yayıldığı görülmüştür. Basınç denklemleri ile yapılmış incelemede dairesel kalıbın kare kalıba göre % 5, altıgen kalıba göre %11 daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Alüminyum Talaşı, Basma Deneyi, Sıkıştırma Kalıbı, Briketleme”

#### Abstract

Recycled metal chips by melting are compressed into briquettes in a conventional circular mold in order to reduce storage areas and improve the charging capability of the casting before this process. Further compaction of the chips will provide economic and logistical benefits. In this study, the effect of different die geometries on the compaction ability of AA7075 chips was investigated. Die geometry, chip size, chip amount and force amount were determined as factors affecting the compaction process. Three levels were considered appropriate for each factor. Depending on the number of factors and levels, the experimental design was made with the Taguchi method. It was determined that the highest density value was in the square mold and the lowest value was in the hexagonal mold. A density value of 1.51 gr/cm<sup>3</sup> was obtained as a result of compressing fine sized 15 gr chips under 7500 kgf load in a square mold. In the examination carried out according to the finite element method, it was observed that the stress in the square mold spread throughout the mold. In the examination made with the pressure equations, it was determined that the circular mold gave 5% better results than the square mold and 11% better results than the hexagonal mold.

#### Key Words

“Aluminum Chips, Compression Test, Compression Mold, Briquetting”

## 1. Giriş

Atık, istenmeyen veya kullanılmayan bir madde türüdür. Atık çeşitleri imalat sektöründen kaynaklı metal ve plastik atıklar, belediye atıkları (ev çöpü), tehlikeli atık, atık su (kanalizasyon), radyoaktif atık ve diğerleridir (Esenduran et al., 2016). Bu atıklar çevreye, sosyal ve ekonomiye olumsuz etkilere neden olabilir. Özellikle yakıldıklarında açığa çıkan zararlı gazlar nedeniyle kanser dâhil çeşitli hastalıklara neden olabilirler. Zehirli atık maddeler suyu, toprağı ve havayı kirleterek insanlar, diğer türler ve ekosistemler için daha fazla soruna neden olabilir (Skanska, 2012). İmalat sektörlerinde faaliyet gösteren firmalar çevre yönetimi ile ilgili mevzuatlar gereği metal atık sorunu karşı karşıya kalmıştır ve sürdürülebilirliğe ulaşmak için yenilikçi teknolojileri üretken süreçler ile hemen tamamlamak zorundadırlar (Simon et al., 2017).

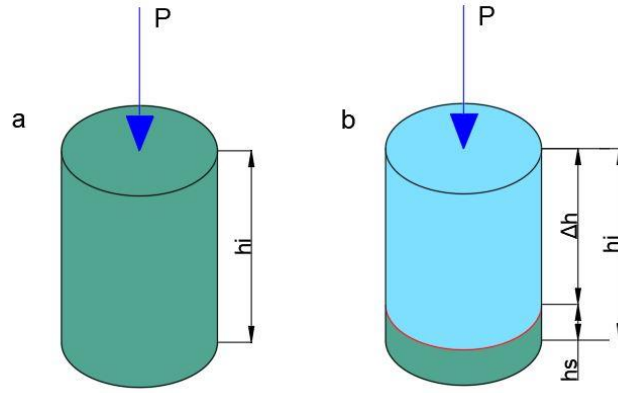
Talaşlı imalat metotları mevcut imalat yöntemlerinin içerisinde üretime katkısı yönüyle imalat prosesleri içerisinde önemli bir paya sahiptir (Şeremet & Kam, 2019; Verma et al., 2018). Yarı mamul durumundaki birçok ürün tezgâhlarda talaş kaldırılarak işlenir ve nihai ürün olarak satışa sunulur. Özellikle otomotiv motor bileşenlerinin imalatında alüminyum alaşımlarına talep artmaktadır. Artan bu talep ile imalatta, geleneksel döküm ve talaşlı işleme yöntemleri kullanılarak önemli miktarda alüminyum atığı ve talaş oluşmaktadır (Wang et al., 2019). Talaş kaldırma işlemlerinin sonucunda elde edilen metal talaşları geri dönüştürülerek tekrar kullanılabilir. Bu durum, filizden hammadde üretiminin önüne geçerek hem çevre kirliliğinin azaltılması hem de ekonomik açıdan fayda sağlanması hususlarında önemli avantajlar sağlamaktadır. Mamul üretimi esnasında elde edilen metal talaşları ergitme ocaklarında eritilip yeniden külçe olarak dökülür. Bu külçeler kullanılacakları imalat prosesine göre hammadde olarak piyasaya sürülmektedir. Ergitme işlemine tabi olacak talaşlar sıkıştırılarak briket haline getirilmektedir. Sıkıştırma işlemi ile nakliye giderleri azalmakta, hurda metal depolama alanları küçülerek imalat alanlarının genişlemesine imkân tanınmaktadır (Hassan et al., 2017; Kavak & Çakır, 2014).

Günümüzde imalattan elde edilen talaşlar silindirik kalıplarda sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma işlemi tek yönde kuvvet veya zıt yönlü kuvvet çifti etkisi altında yapılmaktadır. Isıtma veya yağlama gibi kabiliyet artırıcı etmenler proses sırasında tercihen uygulanmaktadır (Canakci & Varol, 2014). Metal talaşını soğuk sıkıştırma, sıcak sıkıştırma ve sıcak deformasyon ile toplam üç kademe de olacak şekilde, farklı sıcaklık ve farklı sıkıştırma hızlarında sıkıştırarak elde edilen numunelerin yoğunlukları ölçüldüğünde, sıcaklığın artması talaşlar arasındaki sürtünmenin azalmasına sebep olmakta ve daha yoğun bir sıkışma meydana gelmektedir. Sıkıştırma hızının artması ise talaşların sıkışma esnasında boş alanlara yönelme süresini kısalttığından negatif bir etki oluşturmuş, sıkışma yoğunluğu düşük seviyelerde kalmıştır (Peng et al., 2009). Genel olarak metallerin sıkıştırılması üzerine yapılan çalışmaları incelendiğinde, sıkışma kabiliyetini olumsuz etkileyen en önemli parametrenin düzgün olmayan talaş geometrisi ve sıkıştırma kalıbı içerisine dökülen alaşımların farklı kimyasal yapıda olması olarak tarif edilmiştir. Buna ilave olarak sıkışmış talaş kütesinin mukavemet değerinin tayininde sadece ekstrüzyon yönünde uygulanan çekme testi kullanılmakta, anizotropik yapıda olan malzemenin mekanik davranışının daha net anlaşılabilmesi için kesit yüzeyine paralel yönde de aynı testin uygulanması gerekmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların bir kısmı alüminyum ve alaşımlarından oluşan metal talaşlarının yüzeyinde meydana gelen oksitlenmenin, presleme esnasında farklı katmanların birbiri ile etkin bir şekilde kenetlenmesine engel olduğunu ortaya koymaktadır (Shamsudin et al., 2016).

Literatür incelemesinde kalıp geometrisine bağlı olarak alüminyum talaşlarının sıkışma yoğunluğundaki değişimin incelendiği araştırmalara rastlanılmamıştır. Literatürden farklı olarak bu çalışmada imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan AA7075 alüminyum alaşımı tercih edilmiştir. Yüksek mukavemet değerleri, süneklik, düşük yoğunluk, yorulma direnci ve tokluk gibi üstün mekanik özellikleri sayesinde 7xxx serisi Al alaşımları başta havacılık endüstrisi olmak üzere endüstrinin birçok alanında yapısal malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Heinz et al., 2000; Rendigs, 1997; Williams & Starke Jr, 2003). AA7075 talaşlarının sıkışma anındaki gerilme değerleri ve sıkıştırma sonrası yoğunluğu incelenmiştir. Gerilme değerlerinin büyüklüğü, FEM analizi ve plak analizi metotlarıyla mühendislik yaklaşımı oluşturularak incelenmiştir. Deneysel sonuçların sonlu eleman metoduyla doğrulanması yapılan bilimsel çalışmaların etkisini arttırmaktadır. Aynı zamanda sonlu elemanlar analiz programlarının gelişmesiyle beraber bu durum daha önemli hale gelmiştir. Aynı koşullar altında modelleme yapılması deneysel sonuçların doğruluğu üzerinde oldukça etkilidir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Genel olarak sıkıştırma işlemi, bir malzemenin belirli bir yük altında ezilerek ilk hacmine göre daha düşük bir hacme indirgenmesidir. Şekil 1.a ve b de görüldüğü gibi ilk yüksekliği  $h_1$  olan metal talaş  $P$  basıncının etkisi altında  $\Delta h$  kadar sıkıştırıldığında son yükseklik değeri  $h_2$  olur. Talaşta meydana gelen sıkışma aslında plastik bir deformasyon değildir. Talaş akma gerilesinin altında kalan çok düşük seviyeli gerilmelerde dahi kolaylıkla kalıpta şekil alabilir. Bunun temel sebebi sıkıştırma işleminde plastik deformasyondan ziyade mekanik olarak gelişen kenetlenme durumudur. Talaş plakaları üst üste yığılı vaziyette sıkıştırıldıklarından plakalar arası etkileşim mevcuttur. Sıkışma anında her talaşa ait çıkıntılı veya engel içeren keskin yüzeyler bir başka talaştaki boşluğa girer ve baskı kuvvetinin etkisiyle kenetlenme tamamlanır. Dolayısıyla uygulama esnasında küçük kuvvetlerin kullanılması yeterlidir. Bu çalışmada gerilme değerlerindeki mukayese sonlu elemanlar metodu ve matematiksel metot ile ortaya konmuştur. Deneysel çalışmada ise farklı kalıp geometrilerinde sıkıştırma sonucunda elde edilen numunelerin yoğunlukları mukayese edilmiştir. Çekme-basma test cihazından elde edilen anlık ilerleme ve gerilme değerleri bu mukayese yapılırken kullanılan verileri oluşturmaktadır. Çalışmanın tamamında akma gerilmesi altındaki yükler ile hesaplama yapılmıştır.

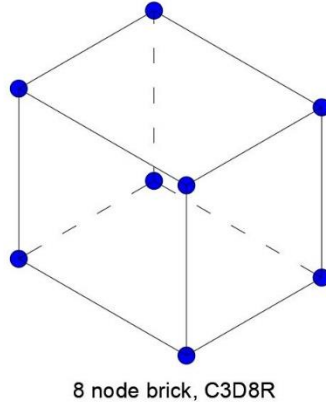


Şekil 1. (a) Sıkıştırma öncesi talaş toyu; (b) Sıkıştırma sonrası talaş boyu

## 2.1. Sonlu elemanlar metodu

Talaş malzemesinde kuvvet etkisi altında ortaya çıkan gerilme değerleri, malzemenin mekanik davranışının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Gerilmelerin şiddeti ve etki alanı arttıkça talaşın sıkıştırılması daha kolay olmaktadır. Bu nedenle deneysel numune çalışması öncesinde sonlu elemanlar metodu (FEM) ABAQUS/CAE 2021 programında kullanılarak, bu gerilmelerin hangi bölgelerde yoğunlaştığı ve büyüklük değerleri bulunmuştur.

Baskı numunesi, dolu ve izotropik kabul edilerek simülasyon yapılmıştır. Tüm numunelere alın yüzeyine dik olacak şekilde 7500 kgf yük uygulanmıştır. Numune alanı 1235 mm<sup>2</sup> olduğundan 61 MPa büyüklüğünde gerilme değeri oluşur. Simülasyonda bu gerilme değeri her üç kalıp geometrisi için uygulanmıştır. Zıt taraftaki yüzey ise ankastre şekilde sabitlenmiş diğer yüzeyler ise serbest halde bırakılmıştır. Geometri Şekil 2 de verilmiş olan eş büyüklükteki C3D8R birim eleman kullanılarak mesh edilmiştir.



Şekil 2. C3D8R eleman modeli

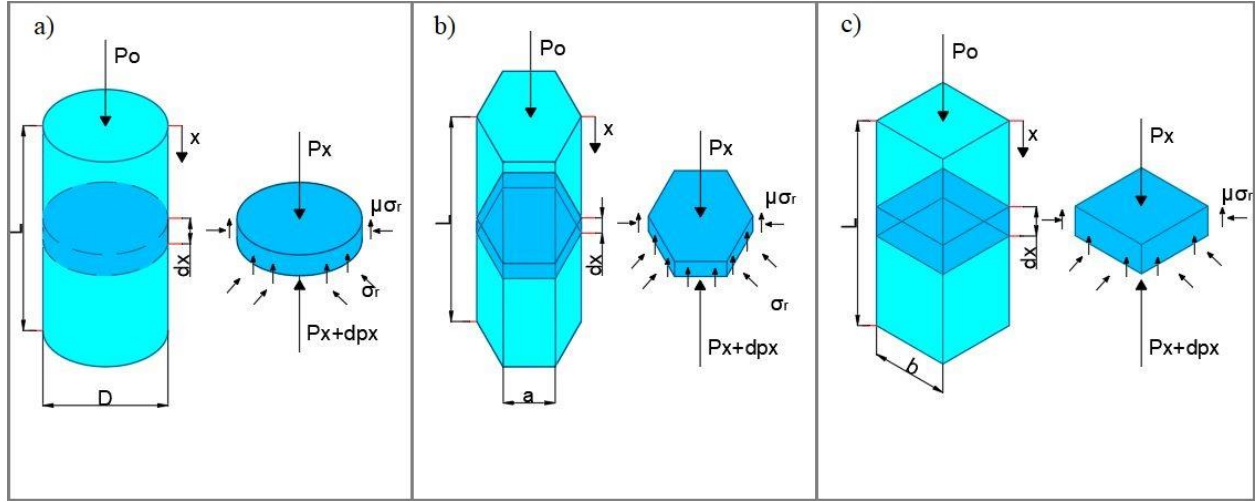
Bu yük altında AA7075 'in mekanik davranışını belirleyen ve programa tanımlanan elastik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AA7075 malzemesinin elastik özellikleri (Empo, 2016).

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı
AA7075	2,81	72	0,3

## 2.2. Matematiksel metot

Farklı geometrideki üç kalıp için de matematiksel model oluşturmak gereklidir. Bir kalıp içerisinde, sıkışma numunesi yüksekliği boyunca oluşan basınç dağılımı plak analizi metoduyla bulunur. İlk olarak dairesel numune incelenmiştir. Şekil 3 a, b ve c'de görüldüğü gibi tek etkili sıkıştırma yukarıdan uygulanan basınç hızlı bir şekilde taban yönünde etki eder. Şekilde görülen D numunenin çapını, L sıkışma bölgesinin yüksekliğini,  $P_0$  ise zımba tarafından uygulanan basıncı ifade etmektedir. Üzerinde şekilde belirtildiği gibi gerilmeler bulunan dx kalınlığında bir elemanda,  $P_x$  sıkıştırma basıncını,  $\sigma_r$  kalıp yan yüzeyi gerilmesini ve  $\mu\sigma_r$  kalıp yan yüzeyi boyunca meydana gelen sürtünme gerilmesini ifade eder (Kalpakjian & Schmid, 2008).



Şekil 3. Sıkıştırma kalıbında teorik gerilme durumları, (a) Dairesel geometri; (b) Altıgen geometri; (c) Kare geometri.

Yatay kuvvetlerin dengede olduğu kabul edilirse,

$$\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) p_x - \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) (p_x + dp_x) - (\pi D)(\mu \sigma_r) dx = 0 \quad (I)$$

denklem aşağıdaki hale indirgenir,

$$D dp_x + 4\mu \sigma_r dx = 0$$

Bu ifade de bir denklem ve iki bilinmeyen ( $p_x$  ve  $\sigma_r$ ) vardır. Sıkışma anında parçacıklar arasında meydana gelen sürtünme k faktörü olarak kabul edilirse, bu durumda;

$$\sigma_r = k p_x$$

ifadesi yazılabilir. Parçacıklar arasında sürtünme mevcut değilse,  $k=1$  ve  $\sigma_r = p_x$  durumlarının meydana geldiği hidrostatik basınç söz konusudur. Bu durumda ifade aşağıdaki gibi olur.

$$dp_x + \frac{4\mu k p_x dx}{D} = 0$$

$$\frac{dp_x}{p_x} = -\frac{4\mu k dx}{D}$$

Sınır koşullarına göre  $x = 0$  da  $p_x = p_0$  olacağından,

$$p_x = p_0 e^{-4\mu k x/D} \quad (II)$$

ifadesi elde edilir.

Denklem I deki ifade altıgen numune için uygulandığında,

$$\left(\frac{3\sqrt{3}a^2}{2}\right) p_x - \left(\frac{3\sqrt{3}a^2}{2}\right) (p_x + dp_x) - (6a)(\mu \sigma_r) dx = 0 \quad (III)$$

ifadesi elde edilir. Sadeleştirme yapıldığında,

$$\left(\frac{3\sqrt{3}a}{2}\right) dp_x + 6\mu \sigma_r dx = 0$$

yazılır ve  $\sigma_r = k p_x$  ifadesi uygulanırsa,

$$\frac{dp_x}{p_x} = -\frac{4\sqrt{3}\mu k dx}{3a}$$

Sınır koşullarına göre  $x = 0$  da  $p_x = p_0$  olacağından,

$$p_x = p_0 e^{-4\sqrt{3}\mu k x/3a} \quad (IV)$$

ifadesi elde edilir.

Kare kalıp içinde aynı yaklaşım uygulanabilir. Bu durumda,

$$b^2 p_x - b^2 (p_x + dp_x) - (4b)(\mu \sigma_r) dx = 0 \quad (V)$$

ifadesi elde edilir. Sadeleştirme yapıldığında,

$$bdp_x = -4\mu\sigma_r dx$$

yazılır ve  $\sigma_r = kp_x$  ifadesi uygulanırsa,

$$\frac{dp_x}{p_x} = -\frac{4\mu k dx}{b}$$

Sınır koşullarına göre  $x = 0$  da  $p_x = p_0$  olacağından,

$$p_x = p_0 e^{-4\mu kx/b} \quad (VI)$$

ifadesi elde edilir.

### 2.3. Deneysel metot

Taguchi deney tasarımı metodu optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir metot olarak ortaya çıkmaktadır. Taguchi metodu, çözümün sadece en az sayıda deneyle elde edilmesini sağlamakla kalmaz, yüksek kalitede proses ve ürün geliştirilmesini her açıdan destekler (Meral et al., 2011). Deneysel tasarım için 4 faktör, her bir faktör için 3 seviye belirlenmiş ve Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Faktörler ve seviyeleri.

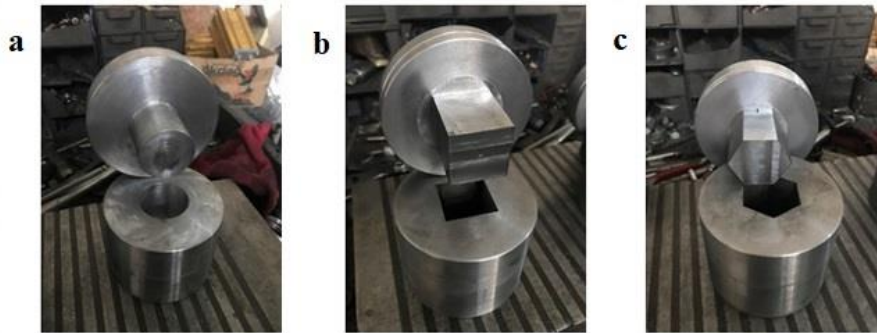
Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kalıp Geometrisi	Kare	Altıgen	Dairesel
Talaş Boyutu	Kalın	Orta	İnce
Talaş Miktarı	10 gr	12,5 gr	15 gr
Kuvvet miktarı	5500 kgf	6500 kgf	7500 kgf

Belirlenen faktör ve seviyeler için deney tasarımında Taguchi metodu kullanılmıştır. Metodun uygulaması için Minitab-19 programı tercih edilmiştir. L9 ortogonal dizilimi deney tasarımı sonucu Tablo 3’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Taguchi deney tasarımı.

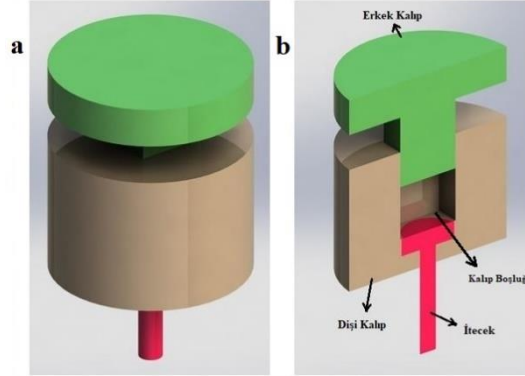
Deney No	Kalıp Geometrisi	Talaş Boyutu	Talaş Miktarı	Kuvvet Miktarı
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tasarım aşamasında belirlenen farklı geometrideki kalıpların imalat sonrası resimleri Şekil 4’de görülmektedir. AA7075 talaşından numune üretmek amacıyla dairesel, kare ve altıgen geometrili kalıplar hazırlanmıştır.



**Şekil 4.** İmal edilmiş kalıplar, (a) Dairesel kalıp; (b) Kare kalıp kesit; (c) Altıgen kalıp.

Şekil 5’de tek yönde kuvvet ile sıkıştırma işlemi yapan kalıpların detayı verilmiştir. Görüldüğü gibi dişi kalıp içerisinde yer alan kalıp boşluğuna alüminyum talaşı doldurulduktan sonra +z yönünde ilerleyen erkek kalıp malzemeyi sıkıştırmaktadır. Talaşların hareket +z ekseninde olup, xy düzleminde ancak kalıp yüzeyine kadar oluşabilen sınırlı bir hareket alanı mevcuttur. Alanın sınırlı olması talaş tanelerinin iç içe geçmesine ve üst üste binmesine neden olmaktadır.



Şekil 5. (a) Kare kalıp montaj görünümü; (b) Kare kalıp kesit görünümü.

7xxx serisi Al alaşımları; yüksek mukavemet, süneklik, düşük yoğunluk, yorulma direnci ve tokluk gibi üstün mekanik özellikleri sayesinde başta havacılık endüstrisi olmak üzere endüstrinin birçok alanında yapısal malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Heinz et al., 2000; Rendigs, 1997; Williams & Starke Jr, 2003). Tablo 4’de AA7075’e ait kimyasal özellikleri verilmiştir.

Tablo 4. AA7075’in kimyasal özellikleri (Uzun & Arslan, 2021).

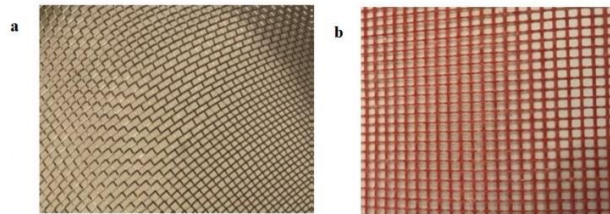
Element	Al	Si	Fe	Mn	Cu	Mg	Zn	Cr	Zr
Yüzde(%)	%89,6	%0,403	%0,549	%0,014	%1,568	%2,596	%5,480	%0,0125	%0,0305

Talaş tanelerinde meydana gelen sıkışmayı daha iyi anlayabilmek için AA7075’in mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi gereklidir. Tablo 5’de AA7075 ait mekanik özellikler verilmiştir.

Tablo 5. AA7075 alaşımının mekanik özellikleri (Kim & Changani, 2015).

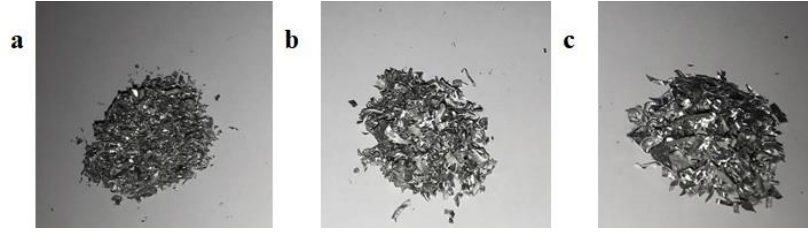
Çekme mukavemeti (MPa)	Akma mukavemeti (MPa)	Elastiklik modülü (MPa)	Poisson Oranı	Kesme Gerilmesi (MPa)
572	503	71,7	0,3	190

Talaşlar tornalama ve testere ile kesme işlemleri neticesinde elde edilmiştir. Şekil 6’da tornalama ve kesme işlemlerinden elde edilen talaşların boyutsal olarak sınıflandırılabilmesi için kullanılmış elekler verilmiştir.



Şekil 6. (a)  $x < 2$  mm ebatlı elek; (b)  $2 < x < 5$  mm ebatlı elek.

$x < 2$  mm ve  $2 < x < 5$  mm ölçü aralığındaki farklı iki elekten geçirilerek Şekil 7’de gösterilmiş olan üç farklı ebatta talaş elde edilmiştir.



Şekil 7. (a) Kare kalıp montaj görünümü; (b) Kare kalıp kesit görünümü.

Bu talaşlar boyutlarına göre küçük, orta ve büyük ebatta sınıflandırılarak farklı seviyelerdeki basma işlemlerinde kullanılmıştır. Yapılan sınıflandırma Tablo 6’da verilmiştir.

**Tablo 6.** Elek ebadına göre talaş boyutu sınıflandırması

Elek Tipi (mm)	Elde Edilen	Sınıflandırma Kodu
$x < 2$ mm	$x < 2$ mm	İnce
$2 < x < 5$ mm	$2 < x < 5$ mm	Orta
$2 < x < 5$ mm	$5 < x$ mm	Kalın

Şekil 8’de basma deney düzeneği görölmektedir. Deney düzeneği Mares-Tst\_10t\_me marka/model test cihazı, cihazdan elde edilen verilerin kayıt edildiği bilgisayar ve cihaza ait yazılımdan oluşmaktadır. Deneysel çalışmalarda, Taguchi deney tasarımıyla oluşturulmuş 9 farklı deney kombinasyonu üçer defa tekrarlanmıştır.

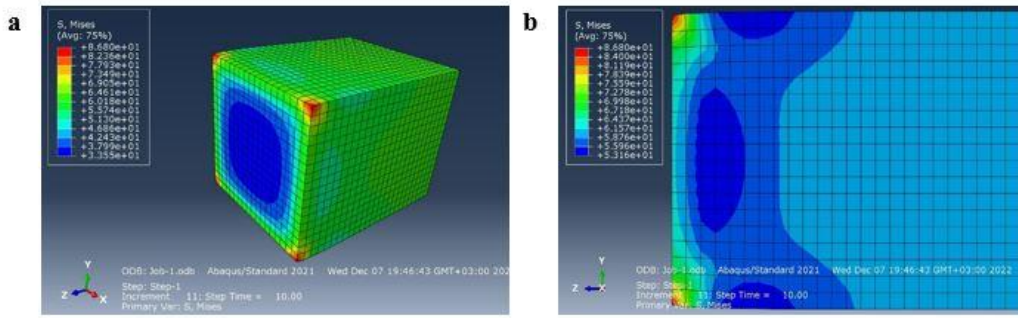


Şekil 8. Basma deney düzeneđi

### 3. Bulgular

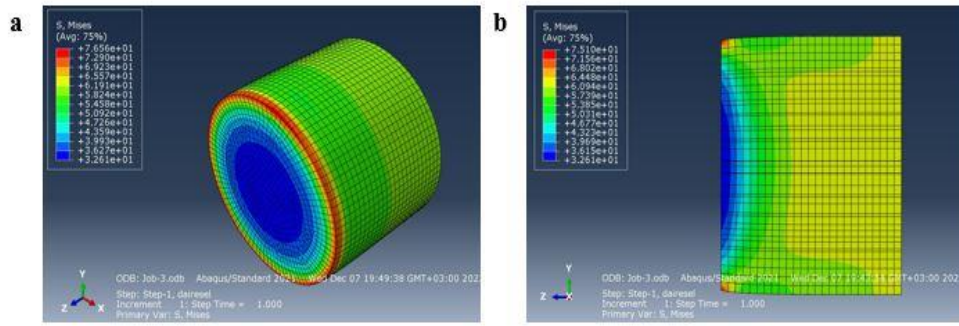
#### 3.1. Sonlu elemanlar metodu

Kalıp içerisinde basılan talaş üzerine etki eden kuvvet neticesinde ortaya çıkan gerilme değerleri Şekil 9,10 ve 11’de verilmiştir. Şekil 9’da görüldüğü gibi kare geometrili kalıpta sıkıştırılan malzemede meydana gelen en yüksek gerilme değeri 86,80 MPa büyüklüğünde ve alın yüzeyinin köşelerinde meydana gelmiştir. En düşük gerilme değeri ise 33,55 MPa’dır ve oluştuğu kısım malzemenin orta bölgesidir. Yüzeyin altında yer alan açık ve koyu renkle gösterilmiş bölgede düşük büyüklükte bir gerilme dağılımından bahsetmek mümkündür. 53,16 – 72,78 MPa büyüklüğünde oluşan gerilme durumu mevcuttur.



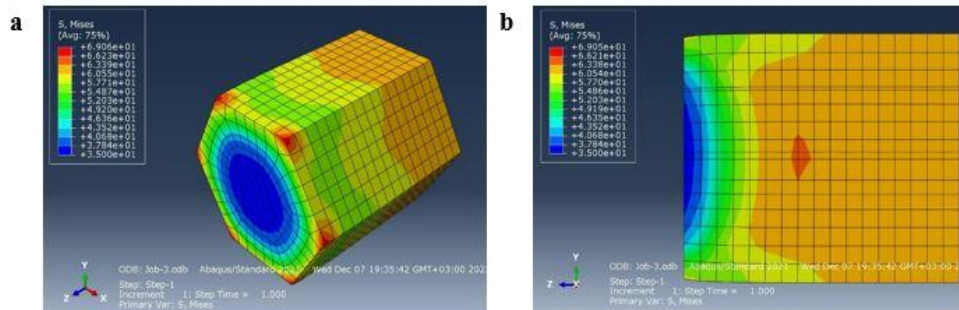
Şekil 9. (a) Kare kalıp gerilme durumu (Perspektif görünüş); (b) Kare kalıp gerilme durumu (Kesit görünüş).

Dairesel kalıpta sıkıştırılan malzemede meydana gelen gerilme değerleri ise Şekil 10'da verilmiştir. En yüksek gerilme değeri 76,56 MPa'dır ve alın yüzeyinin çevresinde görülmüştür. En düşük gerilme değeri ise cismin orta bölgesinde 32,61 MPa büyüklüğünde bulunmuştur. Kalıp boşluğunun tabanına doğru yaklaşıldıkça gerilme büyüklüğü artmaktadır. Yüzeyin altındaki bölgede 36,15 - 64,48 MPa aralığında gerilme dağılımı mevcuttur.



Şekil 10. (a) Dairesel kalıp gerilme durumu (Perspektif görünüş); (b) Dairesel kalıp gerilme durumu (Kesit görünüş).

Şekil 11'de altıgen geometri kalıpta sıkıştırılan malzemede meydana gelen en yüksek gerilme değeri cisim köşelerinde 69,06 MPa ve en düşük gerilme değeri ise cismin orta bölgesinde 35,00 MPa büyüklüğünde bulunmuştur. Tabana doğru gerilme büyüklüğü dairesel kalıptaki duruma benzer şekilde artmaktadır. Yüzeyin altındaki bölgede 37,84 - 66,21 MPa büyüklüğünde oluşan gerilme durumu mevcuttur.



Şekil 11. (a) Altıgen kalıp gerilme durumu (Perspektif görünüş); (b) Altıgen kalıp gerilme durumu (Kesit görünüş).

Sonlu eleman metoduna göre yapılan analiz neticesinde farklı geometri talaşlarda meydana gelen gerilme değerleri Tablo 7'de belirtilmiştir.



**Tablo 7.** Talaşlarda meydana gelen gerilme değerleri

Numune Geometrisi	En Büyük Gerilme (MPa)	En Küçük Gerilme (MPa)	Yüzey Altı Gerilme Aralığı (MPa)
Kare	86,80	33,55	53,16 - 72,78
Altıgen	69,06	35,00	37,84 – 66,21
Dairesel	76,56	32,61	36,15 - 64,48

### 3.2. Matematiksel metot

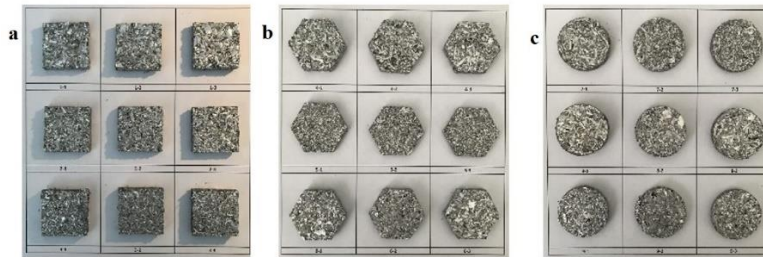
Farklı geometrideki kalıplar için türetilmiş olan denklemler Tablo 8’de verilmiştir. Deneysel çalışmada farklı üç kalıptaki zımba ilerleme miktarının en yüksek değeri  $x=15$  mm olarak bulunmuştur. Bu nedenle tüm kalıplar için zımba ilerleme miktarı  $x=15$  mm olarak kabul edilmiştir. Mühendislik problemlerinin tamamında sürtünme katsayısı ve gerilme faktörlerinin büyüklük değerleri 0-1 arasında seçilmektedir. Bu veriler malzemenin türüne göre ilgili tablolardan seçilen bir büyüklüklere dir. Bu bölümde her bir numune için malzeme tanımlamak yerine tüm kalıp türlerinde sürtünme katsayısı  $\mu$  ve  $k$  değerleri 0,5 olduğu varsayılmıştır. Tüm kalıplarda eşit olduğu varsayılan sürtünme katsayısı ve gerilme faktörleri için 0,5 ten büyük ya da daha küçük bir değerin seçilmesi, üç farklı kalıpta oluşacak  $P_x$  basıncının artmasına ya da azalmasına neden olacak ancak kalıplar arasında teorik açıdan yapılacak bu mukayesenin sonuçlarını değiştirmeyecektir. Ayrıca deneysel çalışmada uygulanan en büyük kuvvet değeri olan 7500 kgf ‘un tüm kalıplarda ortak yüzey alanı olan 1235 mm<sup>2</sup> ‘ye bölünmesi sonucunda, zımba yüzeyinde ve zımbanın temas ettiği numune üzerinde oluşan  $P_0$  basıncı 61 MPa değeri ile tüm kalıp geometrileri için eşit bulunmuş olur. Kalıplar için ifade edilmiş denklemler ile  $P_x$  basınç değerleri bulunmuştur.

**Tablo 8.** Kalıp geometrisine bağlı formüller ve bilinen değerlere göre  $P_x$  basınç büyüklükleri

Numune Şekli	Denklem	D (mm)	a (mm)	b (mm)	$\mu$	k	x (mm)	$P_0$ (MPa)	$P_x$ (MPa)
Kare	$p_x = p_0 e^{-4\mu kx/b}$	-	-	35	0,5	0,5	15	61	39,74
Altıgen	$p_x = p_0 e^{-4\sqrt{3}\mu kx/3a}$	-	17,80	-	0,5	0,5	15	61	37,50
Daire	$p_x = p_0 e^{-4\mu kx/D}$	39,66	-	-	0,5	0,5	15	61	41,79

### 3.3. Deneysel metot

Şekil 12’de sıkıştırma sonrası oluşan kare, altıgen ve dairesele geometrili numuneler gösterilmiştir. Her bir numune deney tasarımında verilen sırada gösterilmiştir.

**Şekil 12.** (a) Kare numuneler; (b) Altıgen numuneler; (c) Dairesel Numuneler

Tablo 9’da AA7075 talaşlarının Taguchi deney tasarımına göre yapılan sıkıştırma işlemi sonucunda hesaplanmış yoğunluk değerleri verilmiştir.

**Tablo 9.** Sıkıştırılmış numunelere ait yoğunluk değerleri

Deney No	Numune Tanımı	Ortalama Yoğunluk $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Deney No	Numune Tanımı	Ortalama Yoğunluk $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )
1	Kare-Kalın-10-5500	1,13	6	Altıgen-Kalın-12,5-7500	1,31
2	Kare-Orta-12,5-6500	1,38	7	Dairesel-İnce-12,5-5500	1,34
3	Kare-İnce-15-7500	1,51	8	Dairesel-Kalın-15-6500	1,25
4	Altıgen-Orta-15-5500	1,28	9	Dairesel-Orta-10-7500	1,49
5	Altıgen-İnce-10-6500	1,43			

#### 4. Tartışma

FEM analizinde sıkıştırılacak talaşları modellemek ve sıkışma anında kalıp içerisinde bulunacakları geometrik yerleşim bölgesini önceden tahmin edebilmek mümkün değildir. Bu nedenden dolayı sonlu elemanlar metodu ile yapılan gerilme hesabında izotropik ve dolu numune için gerilme değerleri bulunmuştur. Ancak simülasyonu oluşturan parametreler aynı olmasına rağmen gerilme büyüklük ve dağılımlarının farklı olması kalıp geometrisinin etkili olduğunu göstermektedir. Mesh yoğunluğunun artırılması ve tercih edilen C3D8R yerine farklı bir eleman tercih edilmesi durumu araştırılmalıdır.

Briket makinelerinde genel olarak imalatının ve onarımının kolay olması nedeniyle dairesel geometri kalıp tercih edilmektedir. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen bulgular kalıpta sıkışma eksenli boyunca uniform gerilme dağılımının mevcut olduğunu göstermektedir. Ancak en yüksek yoğunluk değerinin kare kalıpta olması dikkat çeken bir durumdur. Deneysel sayısının artırılması sonuç değerlerini değiştirebilir.

Matematiksel denklemler incelendiğinde, eşit sıkıştırma kuvvetinin uygulanması halinde en yüksek gerilmenin dairesel kalıpta olduğu Tablo 8 de görülmektedir. Ancak talaşı sıkıştıran yüzeye dik yöndeki  $P_x$  basıncı uygulama basıncı olan  $P_0$ 'a göre büyük oranda azalmaktadır. Sürtünme sebepli olabileceği düşünülen bu etki araştırılmaya açıktır. Yapılacak araştırmalarda yağlamanın sıkıştırma basıncı üstündeki etkisi tartışılmalıdır.

Deneysel çalışmada göre en yüksek yoğunluk sonucuna 3 numaralı deneyde, Kare geometri 15 gr ince talaşa 7500 kgf yük uygulandığında ulaşılmıştır. Dairesel kalıpta basılmış numunelerin yoğunluk değerlerinin yüksek olmasına rağmen en yüksek sonucun kare kalıpta oluşması tartışılmalı bir durumdur.

#### 5. Sonuçlar

Sonlu eleman metoduna göre brikette meydana gelen gerilme dağılımının homojen ve büyük olduğu durum kare kalıpta bulunmuştur.

Dairesel ve altıgen kalıptaki gerilme dağılımı homojen olmadığından düzgün bir sıkışma oluşmamıştır. Bu nedenle AA7075 alüminyum için kare kalıbı tercih etmek gereklidir.

Denklemlerle elde edilen basınç değerleri karşılaştırıldığında, dairesel kalıbın kare kalıba göre % 5, altıgen kalıba göre %11 daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Yoğunluk değerleri incelendiğinde en yüksek değerlerin sıklıkla ince talaş kullanıldığında meydana geldiği görülmüştür. Talaşların birbirine olan yönelimi sırasında küçük talaşın diğerlerine göre daha serbest hareket ettiği anlaşılmaktadır. Geri dönüşüm firmalarının bu durumu dikkate alarak sıkıştırma öncesi büyük ve orta ebatları kırma işlemini yapması faydalı olacaktır.

Kuvvet miktarının artması sıkışma kabiliyeti üzerinde olumlu etki yapmaktadır. Tüm kalıplarda en yüksek yoğunluk değeri en büyük kuvvet uygulandığında bulunmuştur.

Deneysel sonucunda bulunmuş yoğunluk değerleri mukayese edilirse talaş sıkıştırma işleminde tercih edilen geleneksel dairesel kalıp yerine AA7075 talaşı için kare geometri kalıbın da kullanılabileceği görülmüştür.

#### Bilgilendirme

Bu çalışma ICSAR 2022 (1st International Conference on Scientific and Academic Research) konferansında sunulmuştur.

#### Referanslar

Canakci, A., & Varol, T. (2014). Microstructure and properties of AA7075/Al-SiC composites fabricated using powder metallurgy and hot pressing. *Powder Technology*, 268, 72-79.

Empo. (2016). *EN AW 7075*. Empo Alüminyum San. Tic. Ltd. Şti. Retrieved 06.10.2022 from <http://www.empo.com.tr/aluminyum-lama-ve-cubuk/en-aw-7075.html>

Esenduran, G., Kemahlioğlu-Ziya, E., & Swaminathan, J. M. (2016). Take-back legislation: consequences for remanufacturing and environment. *Decision Sciences*, 47(2), 219-256.

Hassan, M. F., Afham, M. F., Arifin, A. M. T., Ibrahim, M. R., Rahim, M. Z., & Ahmad, M. F. (2017). Design and development of a portable metal chip baler using a system design approach. *Matec Web of Conferences*,

- Heinz, A., Haszler, A., Keidel, C., Moldenhauer, S., Benedictus, R., & Miller, W. (2000). Recent development in aluminium alloys for aerospace applications. *Materials Science and Engineering: A*, 280(1), 102-107.
- Kalpakistan, S., & Schmid, S. R. (2008). *Manufacturing process for engineering materials* (Fifth Edition ed.). Pearson Education Inc.
- Kavak, N., & Çakır, A. (2014). Talaşlı imalatta oluşan metal talaşların atık yönetimi. *Utis*.
- Kim, E., & Changani, H. (2015). Study of dynamic mechanical behavior of aluminum 7075-T6 with respect to diameters and L/D ratios using Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB). *Structural engineering and mechanics: An international journal*, 55(4), 857-869.
- Meral, G., Sarıkaya, M., & Dilipak, H. (2011). Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(4), 332-338.
- Peng, T., Wang, Q., & Lin, J. (2009). Microstructure and mechanical properties of Mg–10Gd–2Y–0.5 Zr alloy recycled by cyclic extrusion compression. *Materials Science and Engineering: A*, 516(1-2), 23-30.
- Rendigs, K. H. (1997). Aluminium structures used in aerospace-status and prospects. *Materials Science Forum*, 242, 11-24.
- Shamsudin, S., Lajis, M., & Zhong, Z. (2016). Evolutionary in solid state recycling techniques of aluminium: a review. *Procedia CIRP*, 40, 256-261.
- Simon, L., Moraes, C. A., Modolo, R. C., Vargas, M., Calheiro, D., & Brehm, F. A. (2017). Recycling of contaminated metallic chip based on eco-efficiency and eco-effectiveness approaches. *Journal of cleaner production*, 153, 417-424.
- Skanska. (2012). 4R Guide: Reduce, Reuse, Recycle, Recover. In S. Group (Ed.). Stockholm.
- Şeremet, M., & Kam, M. (2019). AISI 4140 ıslah çeliğinin tormalama işleminde parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisi üzerine bir değerlendirme. *IMASCON*.
- Uzun, R. O., & Arslan, D. (2021). Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış 7075 alüminyum alaşımının sertlik davranışı. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 34-41.
- Verma, P., Saha, R., & Chaira, D. (2018). Waste steel scrap to nanostructured powder and superior compact through powder metallurgy: Powder generation, processing and characterization. *Powder Technology*, 326, 159-167.
- Wang, Y., Xu, H., Hu, M., Sugiyama, S., & Ji, Z. (2019). Enhanced mechanical properties of a chip-based Al-Si-Cu-Fe alloy with an in-situ emulsion decomposition recycled by solid-state processing. *Results in Physics*, 12, 718-724.
- Williams, J. C., & Starke Jr, E. A. (2003). Progress in structural materials for aerospace systems. *Acta materialia*, 51(19), 5775-5799.