

# YÜKSEK BASINÇLI KALIP DÖKÜM PROSESİNDE ENERJİ VE GERİ DÖNÜŞÜM GİDERLERİNİN KALIP OPTİMİZASYONU İLE AZALTILMASI

■ Nazım Özkan ASAN Metalurji ve Malzeme Yük. Müh

## Özet

Yüksek basınçlı kalıp döküm prosesinde dökümhanelerin temel gider kalemleri arasında hammadde ve enerji yer almaktadır. Kalıp tasarımı ve elde edilen nihai ürün için kullanılan yolluk ve hava cebi oranlarının kalıp sisteminin optimizasyonu ile azaltılması, gerek geri dönüştürülen alüminyum oranında gerekse ergitme için gerekli enerji giderlerinde ciddi tasarruflar sağlamaktadır. Günümüz artan rekabet koşullarında birim ürün fiyatının azaltılması ve dökümhanelerin ayakta kalabilmesi bu temel unsurların dikkate alınarak üzerinde profesyonel

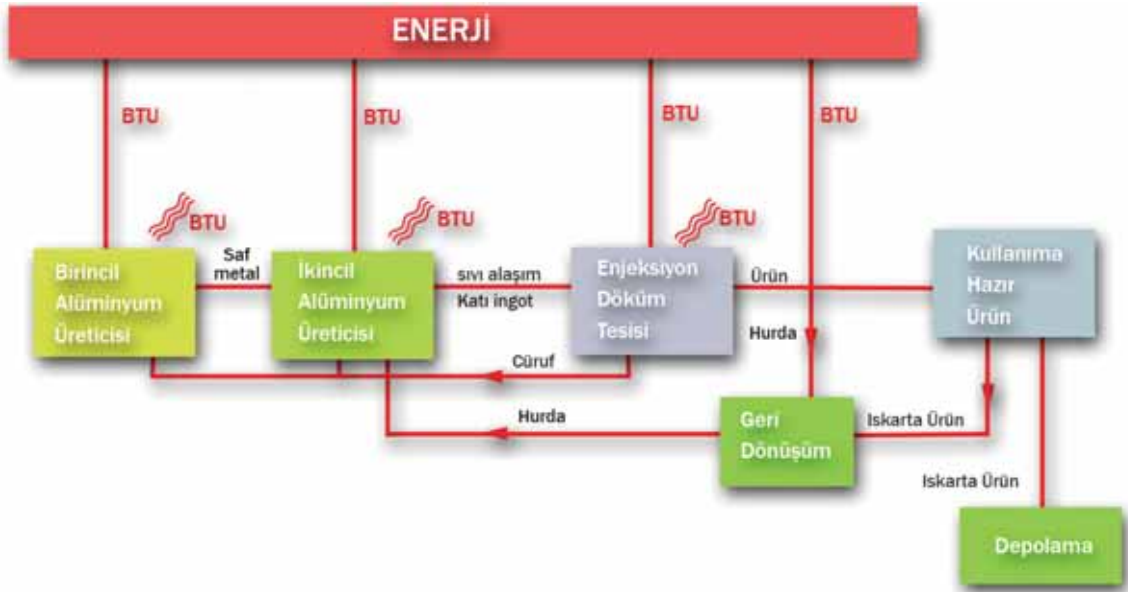
bir çalışmayı zorunlu kılmaktadır. Kalıp imalat sürecinde kalıp termal dengesinin ve kullanılan kalıp malzemesinin optimize edilmesi ile kalıp başına sağlanacak 100 gr alüminyum azaltımı 10 adet döküm presine sahip bir dökümhanede yıllık 1.000.000.- €'yu bulabilen enerji ve hammadde tasarrufu sağlamaktadır.

## 1. GİRİŞ

Yüksek basınçlı kalıp döküm prosesinde alüminyumun birincil alüminyumdan nihai ürüne ulaşana dek kat ettiği yol ve harcanan enerji kalemleri çizelge 1.1'de şematize edilmiştir.

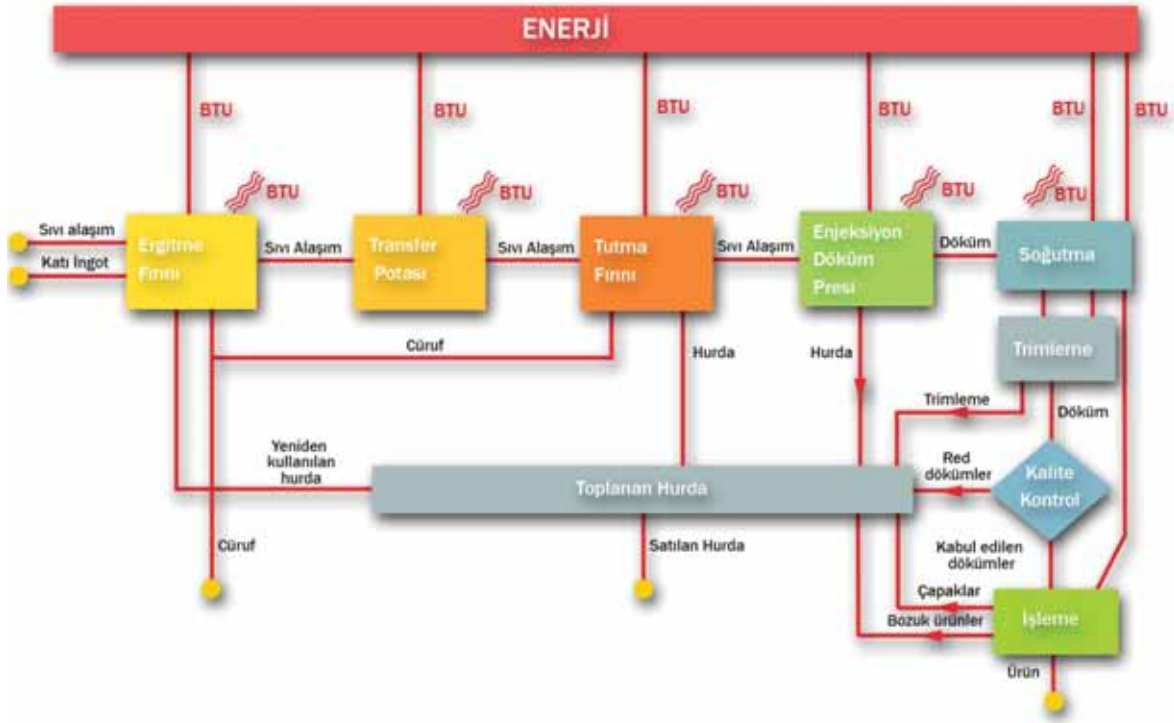
Çizelge 1.1'den görüldüğü üzere yüksek basınçlı kalıp döküm tesisinden alüminyum sadece nihai ürün olarak çıkmamakta bir kısmı cüruf olarak vasıfsız hale gelmekte bir kısmı ise hurda olarak yeniden geri dönüşüm işlemine tabi tutulmaktadır.

Çizelge 1.2'de ise bir yüksek basınçlı kalıp döküm tesisinde katı ingot halindeki külçe alüminyumdan nihai ürüne giden yolda harcanan enerji ve geri dönüşüm kalemleri şematize edilmiştir.



Çizelge 1.1. Alüminyumun birincil alüminyumdan nihai ürüne ulaşana dek gerekli enerji kalemleri.

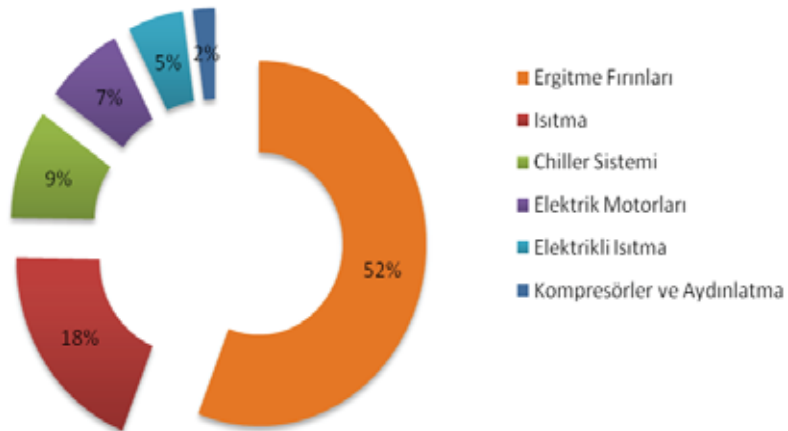
## Enjeksiyon Döküm Tesisi Enerji Akış Şeması



**Çizelge 1.2.** Yüksek basınçlı kalıp döküm tesisinde nihai ürüne ulaşana dek gerekli enerji kalemleri.

NADCA tarafından yapılmış olan istatistiksel çalışmalarda enerji giderlerinin bir yüksek basınçlı kalıp döküm tesisinin toplam giderlerinin yaklaşık %7'sini oluşturduğu belirtilmektedir. Türkiye gibi emek yoğun ve enerjide dışa bağımlı ülkelerde ise bu değer yaklaşık olarak %22'lere ulaşmaktadır. Çizelge 1.3'de ise YBKD tesisinde enerji giderlerin dağılımı verilmiş olup ergitme ve bekletme fırınları %52 ile en fazla enerji tüketen kalem olarak ortaya çıkmaktadır (NADCA). Dolayısı ile ergitme fırınları bir YBKD tesisinde toplam işletme maliyetlerinin %11'ini oluşturmaktadır.

### Yüksek Basınçlı Kalıp Döküm Tesisinde Enerji Giderleri Oransal



**Çizelge 1.3.** YBKD tesisinde enerji giderlerin dağılımı

## 2. YÜKSEK BASINÇLI KALIP DÖKÜM TESİSLERİNDE GERİ DÖNÜŞÜM VE ENERJİ GİDERLERİ

### 2.1. Ergitme ve Metal Hazırlama Enerji Giderleri

Önceki bölümde belirtildiği üzere bir metal enjeksiyon tesisinde alüminyum döküme hazırlamak için gereken enerji toplam enerji harcamasının %52'sini ve enerji maliyeti toplam işletme maliyetinin %11'ini oluşturmaktadır. Günümüzde Türkiye'de faaliyet gösteren enjeksiyon döküm tesislerinde külçe alüminyumdan 1 kg alüminyum ergitmek ve döküme hazır hale getirmek için gereken enerji miktarı 0,35-0,45 TL/kg arasında değişim göstermektedir. Ergitilen alüminyum ile elde edilen ürün arasındaki verimlilik oranı ise bugün işletmelerin karlılık oranını doğrudan etkileyen gider kalemi olarak ortaya çıkmaktadır.

### 2.2. Geri Dönüşüme Giden Hurda Alüminyum Gideri

Yüksek basınçlı kalıp döküm prosesi sonrasında ortaya çıkan yolluk hava cebi ve topuk gibi parçalar bir önceki döküm prosesinde hava ve su bazlı sprey ile temas etmelerinden kaynaklı  $Al_2O_3$  ve  $H_2$  konsantrasyonları artış göstermekte ve doğrudan yeniden ergitilmeleri durumunda bir sonraki dökümde üretilen parçanın mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedirler. Bu nedenle bu hurdalar mekanik özellik beklentilerinin düşük olduğu konstrüktif ürünlerde maksimum %30 oranında yeniden ergitilerek kullanılabilirler. Yüksek mekanik özellik istenen otomotiv parçalarında bu oran %6 ya düşmekte, döküm sonrası ısı işlem gören güvenlik parçalarında ise döküm hurdaları kesinlikle kullanılmamakta hurdalar doğrudan geri dönüşüm tesisine gönderilmektedir.

### 2.3. Ergitme ve Tutma Fırınlarının Oluşturduğu Gider

#### 2.3.1. Geri Dönüşüme Giden Hurda Alüminyum Gideri ve Fire Oranları

Yüksek basınçlı kalıp döküm prosesi sonrasında ortaya çıkan yolluk hava cebi ve topuk gibi parçalar bir önceki döküm prosesinde hava ve su bazlı sprey ile temas etmelerinde kaynaklı  $Al_2O_3$  ve  $H_2$  konsantrasyonları artış göstermekte ve doğrudan yeniden ergitilmeleri

durumunda bir sonraki dökümde üretilen parçanın mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedirler. Bu nedenle bu hurdalar mekanik özellik beklentilerinin düşük olduğu konstrüktif ürünlerde maksimum %30 oranında yeniden ergitilerek kullanılabilirler. Yüksek mekanik özellik istenen otomotiv parçalarında bu oran %6 ya düşmekte, döküm sonrası ısı işlem gören güvenlik parçalarında ise döküm hurdaları kesinlikle kullanılmamakta hurdalar doğrudan geri dönüşüm tesisine gönderilmektedir.

Geri dönüşümü kendi içinde gerçekleştiren ve yüksek oranda hurdaya yeniden kullanabilen tesislerde geri dönüşüm gideri alüminyumun yeniden ergitilerek dökülmesi için gereken enerji gideri olarak ele alınacaktır. Ancak hürdasını bir sonraki şarjda kullanamayan üreticilerde ise gider oranı daha da artarak

Kayıp Miktarı=(Orijinal Hammadde Fiyatı – Hurda Satış Fiyatı ) X Fire oranı

olarak ortaya çıkmaktadır. Örnek durum incelenmesi kısmında bu kısım daha reel rakamlarla ifade edilecektir.

Alüminyum enjeksiyon döküm tesislerinde meydana gelen fire oranları detaylı bir şekilde aşağıdaki gibidir.

#### 2.3.2. Alüminyum Pres Döküm Parça Üretiminde Fire Oranları

Alüminyum pres döküm parça üretiminde, çeşitli üretim aşamalarında oluşan fireler ve fire oranları :

Külçe ve hurda alüminyumun potalarda ergitilmesi esnasında buharlaşma, yanma-oksitlenme ve cüruf oluşması gibi nedenlerle, hammaddenin % 100 külçe, % 100 hurda veya belli oranda külçe ve hurda karışımı olmasına göre değişen oranlarda fire oluşmaktadır. Hurda alüminyum parçaların ihtiva ettiği yabancı metal, plastik vb parçaların oranı temin edilen hurdanın cinsine göre çok değiştiğinden başka maddelerle karışık halde temin edilen alüminyum hurdalarındaki yabancı maddeler nedeniyle karşılaşılan fireler bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Bu nedenle hurda alüminyum tanımı sadece alüminyumdan oluşan talaş, çapak, tel-çubuk-profil-levha artıkları, biyet dip parçaları, yolluklar gibi artıkları kapsamaktadır.

Ergitme aşamasında oluşan buharlaşma, yanma-oksitlenme ve cüruf fire oranları pota sıcaklığı, kullanılan alüminyum külçe ve/veya hurdanın metalurjik yapısına

(alaşım yapısı), ergitme tekniği ve ekipmanlarının özelliklerine ve dökülen parçalardan çıkan yolluk ve bozuk parça oranına göre değişim arz eder.

Dökülen parça ağırlığının yolluk ağırlığına oranı, dökülen parça boyut ve geometrisine, parça büyüklüğüne ve kalıptaki göz adedine göre 8/10 ila 18/10 arasında değişebilmektedir. Diğer bir deyişle, yolluklarıyla birlikte dökülen parça(lar) içinde yollukların oranı  $10/18 = \% 56$  ila  $10/28 = \% 36$  arasında değişmektedir. Ortalama yolluk oranı  $(\% 56 + \% 36)/2 = \% 46$  alınıp buna ortalama çapak ve bozuk çıkan döküm oranları da eklenirse yeniden ergitilmesi gereken yolluk, çapak, bozuk çıkan parça oranı ortalama  $\% 50$  olarak kabul edilebilir. Bu artıkların yeniden ergitilmesi neticesinde her defasında yeniden buharlaşma, yanma-oksitleme, cüruf fireleri oluşur.

Ayrıca potalar eskiyip kullanılamaz hale geldiklerinde pota çeperlerine ve diplerine yapışan metal nedeniyle bir miktar hammadde kaybı söz konusu olmaktadır.

Bunlar dışında dökülen parçaların ince çapaklarının alınması, eğelenmesi, parlatılması, talaşlı imalat tezgahlarında işlenmesi esnasında ortaya çıkan çapak

ve talaşların tamamının geri kazanılması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle de malzeme firesi ortaya çıkmaktadır.

#### a-Ergitme fire oranları

	Minimum	Maksimum
Yanma buharlaşma vb fire oranı	% 1	% 2
Oksitleme-cüruf (ramat) fire oranı	% 3	% 4
Toplam	% 4	% 6

Ortalama yolluk, çapak, bozuk parça (ara iş) oranı  $\% 50$  kabul edilerek, 1.000 kg alüminyum külçe ve/veya hurdanın ve ara işlerin ardışık ergitilmeleri neticesinde ortaya çıkan toplam ergitme firesi aşağıda hesaplanmıştır.

A : Ergitme işlem sırası

B : Potaya giren alüminyum miktarı(ortalama)

C : Ara iş (yolluk, çapak, bozuk döküm miktarı),  
 $\% 50 \times (\% 94 \sim \% 96) \times 1$

D : Buharlaşma, yanma vb kayıplar,  $(\% 1 \sim \% 2) \times B$

E : Oksitleme, cüruf (ramat) miktarı,  $(\% 3 \sim \% 4) \times B$

F : Toplam hammadde firesi,  $D + E$

Tablo'da B değeri, bir önceki ergitmede bulunan C değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

A	B (kg)	C (kg)	D (kg)	E (kg)	F (kg)
1	1.000,00	470,00~480,00	10,00~20,00	30,00~40,00	40,00~60,00
2	475,00	223,25~228,00	4,75~9,50	14,25~19,00	19,00~28,50
3	225,63	106,05~108,30	2,26~4,51	6,77~9,03	9,03~13,54
4	107,18	50,37~51,45	1,07~2,14	3,22~4,29	4,29~6,43
5	54,12	25,44~25,98	0,54~1,08	1,62~2,16	2,16~3,24
6	25,71	12,08~12,34	0,26~0,51	0,77~1,03	1,03~1,54
Toplam			18,88~37,74	56,63~75,51	75,51~113,25

Yukarıdaki tablodan :

- Buharlaşma, yanma vb fire oranı :  $\% 1,888 \sim \% 3,774$

- Oksitleme, cüruf (ramat) fire oranı :  $\% 5,663 \sim \% 7,551$

Görüldüğü gibi ilk ergitmede  $\% 1 \sim \% 2$  olan buharlaşma , yanma fire oranı 6 ardışık ergitme neticesinde toplam yaklaşık  $\% 1,9 \sim \% 3,8$  ; ilk ergitmede  $\% 3 \sim \% 4$  olan oksitleme, cüruf (ramat) fire oranı 6 ardışık ergitme neticesinde toplam yaklaşık  $\% 5,7 \sim \% 7,6$  değerlerine ulaşmaktadır.

Netice olarak ergitme fire oranları :

- Buharlaşma, yanma vb fire oranı :  $\% 1,9 \sim \% 3,8$

- Oksitleme, cüruf (ramat) fire oranı :  $\% 5,7 \sim \% 7,6$

b-Yeniden kazanılamayan çapak, talaş ve döküntü fire oranları:

Yolluk ve çapak kesimi esnasında döküntüler nedeniyle :  $\% 0,4 \sim \% 0,8$

Vibrasyon, yıkama ve gözle kontrol esnasında çıkan ve temizlenen çapak ve döküntüler nedeniyle :  $\% 0,2 \sim \% 0,4$

Talaşlı işleme esnasındaki döküntü ve talaşlar nedeniyle :  $\% 0,3 \sim \% 0,5$

Toplam  $\% 0,9 \sim \% 1,7$

Yukarıda açıklandığı gibi, yanma, buharlaşma gibi nedenlerle oluşan firelerle, geri kazanılamayan çapak, döküntü ve talaşlar nedeniyle oluşan firelerin toplam oranı :

Minimum : % 1,9 + % 0,9 = % 2,8

Maksimum : % 3,8 + % 1,7 = % 5,5

Oksitlenme ve cüruf şeklinde ortaya çıkan ve bu malzemeleri değerlendirebilen firmalara satılarak değerlendirilebilen fire oranı :

Minimum : % 5,7

Maksimum : % 7,6

Netice :

Alüminyum pres döküm parça üretiminde fire oranları :

- Yanma, buharlaşma ve döküntü fire oranı : % 2,8 ~ % 5,5

- Oksitlenme, cüruf ( ramat) fire oranı : % 5,7 ~ % 7,6

- Toplam : % 8,5 ~ % 13,1 (Ortalama % 11,75 kabul edildi)

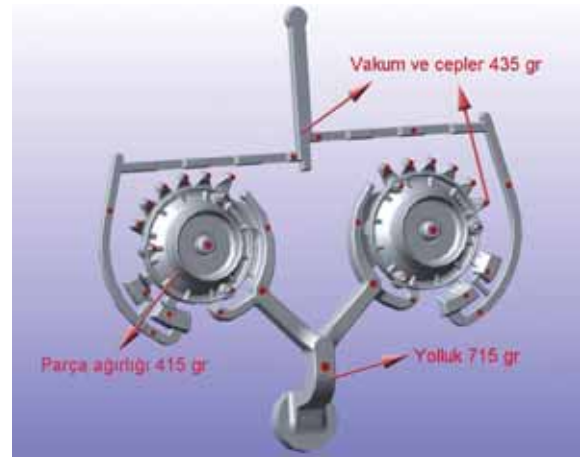
### 3. YÜKSEK BASINÇLI KALIP DÖKÜM TESİSLERİNDE GERİ DÖNÜŞÜM ve ENERJİ GİDERLERİNİN KALIP TASARIMININ OPTİMİZASYONU İLE AZALTILMASI

Yüksek basınçlı kalıp döküm prosesinde kalıp tasarımı döküm sonrası nihai üründen arda kalan yolluk hava cebi topuk gibi geri dönüştürülmesi gereken alüminyum miktarını doğrudan etkilemektedir. Aşağıdaki çalışmada çevrim süresi 60 sn olan bir otomotiv güvenlik parçasında kalıp malzemesi, kalıp termal dengesi ve kalıp üretiminde kullanılan sıcak iş takım çeliğinde toplam bir optimizasyon çalışması yapılarak geri dönüştürülmesi gereken alüminyum miktarında her baskı için 165 gr azatılm sağlanmıştır.

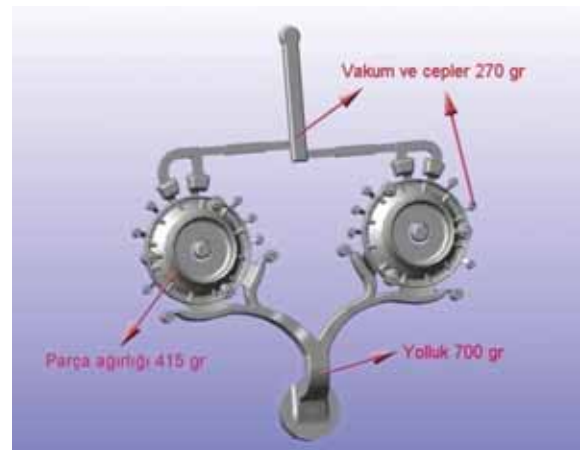
#### 3.1. Yolluk Tasarımı ve Parça Gramajının Optimizasyonu

Yüksek basınçlı kalıp dökümde kalıba yapılan ısı girişi ve buna bağlı kalıp yüzeyinin çıktığı maksimum sıcaklık sadece kalıba enjekte edilen ergiyik metal miktarı ve sıcaklığı ile değişim gösterir. Üründe meydana gelen gaz porozitesini azaltmak için konumlandırılan hava cepleri ve vakum sistemi gibi ekstra metal çekim bölgeleri kalıptan daha fazla ergiyik metalin geçmesine neden olarak kalıba yapılan ısı girişini artırırken aynı zamanda

daha fazla katı partikül erozyonuna neden olmaktadır. Yeni tasarımda kalıbın yolluk sisteminde değişiklik yapılarak basınçlı yolluk sistemi kullanılmış ve türbülans yaratmayan bir geometri kullanılarak vakum bağlantı sisteminin ve hava ceplerinin gramajı azaltılmıştır. Kalıbın parçayı oluşturan kısmından yani giriş kesitinden sonra geçen ergiyik alüminyum miktarının 165 gr yani %13.2 oranında azaltılması kalıba yapılan termal yüklemeyi ve katı partikül erozyonunu azalttığı gibi geri dönüştürülen alüminyum miktarını da %8.7 oranında azaltmıştır. Giriş kesitinden hemen önce yolluk bitim bölgelerinde şok emicilerin konumlandırılması hem yolluktaki havanın bu bölgede toparlanması sağlanmış hem de yolluğun tam dolması sırasında giriş kesitlerinde meydana gelen ani hız artışı azaltılarak sıvı çarpması erozyonunun etkisi azaltılmıştır.



a



b

Şekil 3.1. Üretimi yapılan parçanın yolluklu çizimi.

Eski tasarım (a) yeni tasarım (b).

### 3.2. Geri Dönüşüm Miktarının Optimizasyon Sonrası Değişimi

Üretim maliyetlerinde sağlanan en önemli iyileştirme yolluk, hava cebi ve vakum sistemi tasarımının optimizasyonu sonrası elde yeni tasarımın eski tasarıma göre 185 gr daha hafif olması olmuştur. Bu hafifleme kalıp ömrünü uzattığı gibi geri dönüştürülen alüminyum miktarını %8.7 oranında azaltarak üretim maliyetine doğrudan olumlu etkide bulunmuştur. Yeni tasarımda orta göbek insörtlerinde ısı iletkenliği sıcak iş takım çeliğinin 3.7 katı olan Anviloy 1150 alaşımının kullanılması 20 sn olan spreyleme ve kurutma süresinin 15 sn'ye inmesine ve 3. Fazın ise 1 sn daha kısa uygulanmasına olanak sağlayarak 84 sn olan çevrim süresini 78 sn'ye indirmiştir. Dolayısı ile optimizasyon sonrasında üretim kapasitesinde %7,14 lük bir artış sağlanmıştır.

### 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Optimizasyon sonrası 1800 gr toplam döküm ağırlığına 970 gr yolluk ve hava cebi ağırlığına sahip 60 sn çevrim

süresi ile üretimi gerçekleştirilen bir otomotiv güvenlik parçasında her baskı için 165 gr alüminyum azalışı sağlanmıştır. Aşağıdaki tabloda iki 15 adet döküm presine sahip ve örnek durum incelemesindeki benzer üretim yaptığı düşünülen bir dökümhanede bu tür bir optimizasyon sonrası meydana gelen ergitme enerjisi tasarrufu ve hurdaya giden alüminyum miktarındaki azalmaya bağlı kazanımlar gösterilmiştir.

Sonuç olarak kalıp optimizasyonu sonrası böyle bir gramaj azaltımının enerji ve geri dönüşüme giden hurda miktarına etkisi %80 kapasite kullanım oranına sahip 15 presli bir dökümhane için hesaplanmış ve her kalıpta örnek durum incelemesindeki kalıptaki gibi bir optimizasyon yapılması durumunda meydana gelecek enerji ve hammadde gideri kazancı yıllık 1.715.175.- TL olarak bulunmuştur. Bu hesaplamada güncel alüminyum ve hurda alış fiyatları kullanılmış ancak bölüm 2.3'de belirtilen kayıplarda meydana gelecek azalma ihmal edilmiştir. Artan rekabet koşullarında dökümhanelerin ve kalıp üreticilerin benzer çalışmaları tüm kalıplarında uygulamaya başlamaları dökümhanelerin geleceği açısından son derece büyük önem arz etmektedir.

Pres Sayısı	Günlük Baskı Adedi	Toplam Günlük Baskı	Toplam Baskı Yıllık	Gramaj Azaltımı (Gr)	Geri Dön. Kazancı (kg)
15	1200	18000	6300000	165	103950
<b>Enerji Kazanımı</b>					
Al. Ergitme Maliyeti		Geri Dönüşüm Kazancı	Enerji Kazanımı Yıllık		
0,4	TL/kg	1.039.500	415.800 TL		
<b>Geri Dönüşüm (Hammadde-Hurda) Kazanımı</b>					
ETİAL 160 Fiyatı (külçe)	ETİAL 160 Fiyatı (hurda)	Geri Dön. Kazancı (kg)	Toplam Hammadde Alış Kazancı		
3,65	2,4	1.039.500	1.299.375 TL		
<b>Toplam Kazanç</b>					
Hammadde Alım Kazancı		Ergitme Enerji Tasarrufu		<b>Toplam Kazanç</b>	
1.299.375 TL		415.800 TL		<b>1.715.175 TL</b>	

## KAYNAKLAR

[1] **M. Stupnišek, Ž. Kstanjski, R. Lisac**, "A new principle of equipment for the hardening tools and dies", 7th tooling conference, 2006

[2] Böhler W360 ürün kataloğu.

[3] **J. Vinarcik**, "Influence of cooling rate during quenching on the toughness at typical working temperatures of die casting dies" La Metalugia Italiana, Italy 2009.

[4] **A.Grelliera, P-E.Richya, G.Dautheribesa, J-F.Solerb**, "Improvement od die casting tools service properties by action on compositionequilibrium and heat treatment parameters ", 7th tooling conference, 2006

[5] **N.Pavel , V.Dalibor, S.Jan, K.Vítezslav, B.Barbora**, "Duplex surface treatment of the Nb-alloyed PM tool steel" Surface & Coatings Technology 201 (2006) 3342–3349

[6] **N.Pavel , V.Dalibor, S.Jan**, "Pulsed-plasma nitriding of a niobium–alloyed PM tool steel" Materials Science and Engineering A 393 (2005) 286–293

[7] NADCA#207-2006 Standardı

[8] **H. K. D. H. Bhadeshia**, "Advances in the Kinetic Theory of Carbide Precipitation" Materials Science Forum, Vols. 426–432, 2003, pp. 35–42.