

# DOLU KALIBA ( HARCANABİLEN MODELLE ) DÖKÜM YÖNTEMİNİN TEKNOLOJİK VE EKONOMİK İNCELENMESİ

Arş. Gör. Habib SARIDİKMEN\*, Yrd. Doç. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ\*\*

\* Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Beşiktaş-İSTANBUL

\*\*Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Böl.,  
Beşiktaş-İSTANBUL

## TECHNOLOGICAL AND ECONOMICAL INVESTIGATION OF FULL MOLD ( EXPENDABLE PATTERN ) CASTING PROCESS

### SUMMARY

The metalcasting industry has played a significant role in the development of every industrialized country around the world. The use of expendable foam patterns for making metal castings was developed and patented by H. F. Shroyer in 1958. The use of foam patterns to produce castings offers significant design and process flexibility not possible with conventional casting processes. Full mold (expendable pattern) casting process has been applied successfully in making aluminum, bronze cast iron and steel castings.

### ÖZET

Metal döküm sanayisi dünya çevresindeki endüstrileşmiş her ülkenin gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır. Metal dökümleri için harcanabilen köpük modellerin kullanımı 1958'de H.F Shroyer tarafından geliştirilmiş ve patentlenmiştir. Köpük modellerin kullanımı ile döküm üretimi klasik döküm prosesleri ile imkansız olan önemli tasarım ve işlem esnekliği sunar. Harcanabilen modelle (dolu kalıp) döküm prosesi alüminyum, bronz, dökme demir ve çelik dökümlerinin yapımında başarı ile uygulanmaktadır.

### 1. GİRİŞ

Ergimiş metalin köpük modelli buharlaştırması esasına dayanan kaybolan köpükle döküm yöntemi üzerine ilk patent 15.Nisan.1958'de Shroyer'in almış olduğu "Cavityless Casting Mold and Method of Making Same" adlı U.S Patent 2,830,343'dür. Shroyer'in yaptığı çalışmalarda modellerin yapımı polistiren yalıtım plakalarının işlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise köpük modellerin etrafı bağlayıcı içeren kum ile doldurularak metal döküm uygulamaları yapılmıştır. Bu yöntem günümüzde halen büyük boyutlu parçaların dökümünde kullanılmaktadır. 1962 yılında M. Flemings bağlayıcı içermeyen serbest kumda polistiren modeller yardımıyla heykel dökümü gerçekleştirmiştir. T.R. Smith ise bu tarz döküm yöntemini 1964 yılında " Method of Casting" adıyla patentini almıştır. 1970'lerin sonunda otomotiv sanayisine yönelik parça üreten dökümhanelerde genel maliyetlerin azaltılması ve döküm parçalarının en düşük ağırlıklarda dökülebilmesi amacıyla yaygın olarak kaybolan köpükle döküm yönteminin kullanımına başlanmıştır. [1]

Kaybolan köpükle döküm yöntemi son on yıl içerisinde üzerinde yoğun biçimde çalışılan ve ilgi çeken bir döküm yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yöntemin ilgi çekmesindeki temel nedenler ise döküm parçası kullanıcılarına sağladığı açık üstünlüklere dir. Öncelikle kaybolan köpükle döküm yöntemi ile üretilen karmaşık şekilli parçalarda maça kullanımı tamamen ortadan kalkmıştır, bunun yanında boyutsal toleranslar geliştirilmekte ve döküm sonrasındaki temizleme, bitirme işlemlerinden ekonomiklik sağlanmaktadır.[2]

### 2. DOLU KALIBA DÖKÜM TEKNOLOJİSİ

Köpük esaslı malzemelerden yapılmış modellerin kullanıldığı metal döküm uygulamalarında döküm işleminin geliştirilmesi fırsatı yaratılmıştır. Kaybolan köpükle döküm yöntemi alüminyum, bronz, pirinç, dökme demir ve çelik esaslı döküm parçalarının üretilmesinde başarılı biçimde uygulanmaktadır. Buna karşın bu yöntemin döküm uygulamasında gerçek anlamda başarılı olması isteniyorsa döküm parçasının yönteminin tüm parametreleri göz önünde tutularak tasarımı gereklidir. [3]

Kaybolan köpükle döküm işleminin şu anda en yaygın kullanımında köpük modeller bağlayıcı içermeyen kum içerisine yerleştirilerek, kum sıkıştırılır. Köpük modeller derece

içerisine yerleştirilmeden önce uygun refrakter ile kaplanmaktadır. İşlemin devamında ise ergimiş metal bu köpük model üzerine dökülerek döküm işlemi tamamlanır. Kaybolan köpükle döküm teknolojisinde döküm uygulaması sırasında kullanılan köpük modeller polistiren veya polimetilmetakrilattan yapılmaktadır. [4]

Kaybolan köpükle döküm teknolojisinde köpük model kesitlerinin birbirine yapıştırılması, döküm salkımının oluşturulması ve döküm salkımının uygun refrakter ile kaplanması, ileri aşamadaki ergimiş metalin uygun dökümü bütün olarak yöntemin kilit noktasını oluşturan köpük modellerin üretimi yani temelde yöntemin "Beyaz Yüzüne" bağımlıdır.

Köpük modellerin üretiminde en yaygın kullanılan polimer tipi polistirendir. Stiren,  $C_8H_8$  kimyasal formülü ile gösterilen, etilen ve benzenin bir katalizör eşliğinde tepkimeye sokulması ile üretilmektedir. Polistiren sonuçta, ham petrol ve doğal gazdan üretilen, % 92 karbon ve % 8 hidrojen den oluşmuş hidrokarbon polimeridir. [1]

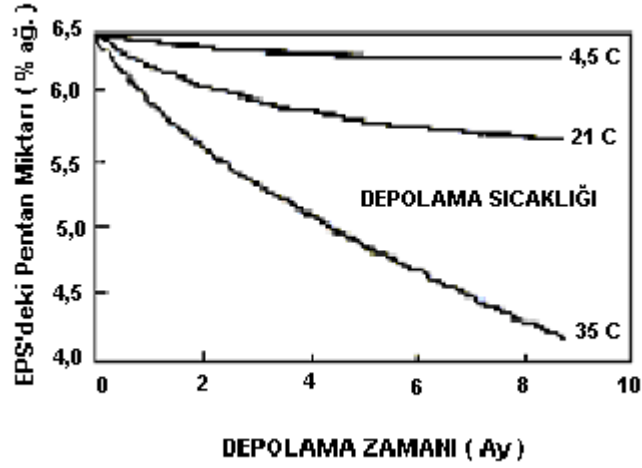
Tipik olarak köpük modellerin üretiminde en yaygın kullanılan önşişirilebilir özelliğine sahip olan polistirende yaklaşık olarak % 5-8 ağırlıkta pentan gazı bulunmaktadır. Önşişirilmiş polistiren 1930 yılında ilk defa bulunmuş ama yaygın kullanımı 1954 yılına kadar başlamamıştır. [1]

Köpük modellerin yapımı temel olarak iki basamaklı bir süreçtir. İlk aşamada bünyesinde % 5-8 ağırlıkta pentan gazı içeren polistiren taneleri alınarak bunlar önşişirme işleminden geçirilerek gerekli hedef yoğunluğa getirilir. Önşişirilen polistiren taneleri işlemden sonra soğutulmuş kararlı hale getirilirler. Kararlaştırma işleminden geçmiş olan önşişirilmiş polistiren taneleri ikinci aşamada arzu edilen model şekillerini alması amacıyla genelde alüminyum esaslı malzemeden yapılmış olunan kalıplarda şekillendirilerek köpük model yapımı tamamlanır. Kalıplama işlemi sırasında taneler kalıp içerisine verilen basınçlı su buharı ile öncelikle şişirilir ve taneler arasında kalan boşluklar kapanarak, tane yüzeylerinin birbirlerine kaynamaları sağlanır. [1]

Önşişirme işlemi köpük modellerin üretilmesindeki polistirenin kalıplanabilmesi ve yoğunluğun elde edilmesinde kritik rol taşıyan etkidir. Polistirenin yoğunluğundaki, kalitesindeki veya tane boyut dağılımındaki farklılaşmalar genel olarak önşişirme işlemindeki eksik ve hataların bir sonucu olarak doğmaktadır. Ticari olarak satılan polistiren taneleri genel olarak 0,6-0,7 gr/cm<sup>3</sup>'deki yoğunluklara sahiptir. [1]

Polistiren tanelerin önşişirme işlemi sırasında ısıtılması ile beraber tanelerin kabukları yumuşayarak kabuk içinde bulunan pentanın genişlemesine neden olur. Doğru tane yoğunluğunun sağlanması için mutlak olarak tanelerin ısıtılması ve soğutulması aşamalarında dikkatli kontrollerin yapılması gereklidir. [1]

Polistiren taneleri ağızları kapalı olan taşıyıcılarda depolanmakta ve satılmaktadır. Taşıyıcı kapların ağızları açıldıktan sonraki pentan gazının bünye dışına kaçış hızı çok yüksek olmaktadır. Bu kaçış hızını yani pentan kaybı miktarının aşağıya çekebilme için taneler tekrardan kullanılıncaya kadar ki sürece kadar küçük taşıyıcı kaplarda tekrardan depolanabilir. Depola sıcaklığındaki artış ile beraber pentan kaybı miktarı artmaktadır, bunun sonucunda ise polistiren tanelerin raf ömrü kısalmaktadır. Bu nedenle polistiren taneleri normal olarak direkt güneş ışığı almayacak biçimde mümkün ise soğuk yerlerde depolanmalıdır. Ağızları açılmış olan polistiren taşıyıcı kapları buzdolaplarında depolanması ile beraber tanelerin raf ömrü artmaktadır. 15 C altındaki sıcaklıklardaki depolarda ağız kapalı halde depolama yapılırsa pentan kaybı miktarı kabul edilebilir seviyelerde kalmaktadır. Eğer depolama sıcaklığı 15 C-30 C arasında ise 3-5 ay civarında depolama yapılabilir. Şekil 1'de ağız kapalı taşıyıcı kaplarda depolanmış olan polistiren taneleri yapısında bulunan pentan miktarının depolama sıcaklığına göre zamanla değişimi verilmiştir.[1,3]



ŞEKİL 1. Pentan miktarının depolama sıcaklığı-zaman değişimi grafiği. [3]

Teknolojisinin başarı biçimde uygulanabilmesi için mutlak olarak önşişirme, kalıplama ve köpük modellerin olgunlaşması aşamalarındaki polistiren bünyesinde bulunan polistiren gaz miktarının hassas biçimde kontrol altında tutulması gereklidir. Genel olarak ham polistiren taneleri daha öncede belirttiğimiz üzere % 5-8 ağı. pentan gazı içerecek biçimde ticari olarak pazarlanmaktadır. Düşük yoğunlukta köpük modellerin üretilmesi isteniyorsa polistiren içerisindeki pentan miktarının mümkün merteye yüksek tutulması gerekmektedir. Başlangıçtaki polistiren bünyesindeki pentan miktarı % 4 ağı. altında ise başarılı biçimde önşişirme ve kalıplama uygulamalarının tamamlanması olanaksız hale gelmektedir. [1]

Önşişirme işlemi sırasında yaklaşık %1-2 ağı. civarında pentan kaybı olur ki sonuçta genel olarak önşişirmeden geçmiş olan polistirende % 4-6 ağı. aralığında pentan yapıda kalmaktadır. Kalıplama uygulamasında aynı biçimde pentan kaybı oluşmaktadır, bunun sonucunda ise tüm işlemlerden sonra üretilen polistiren köpük modellerin kesitlerinde yaklaşık % 1,5-2 ağı. arasında pentan bulunur. Köpük modellerin üretimindeki 30 günün sonunda tipik olarak pentan miktarı % 0,5 ağı. düzeyine kadar geriler. Unutmamak gereklidir ki pentan kaybı kalıplama sonrasında üretilmiş olan köpük modellerin küçülmesini etkileyen ana etmendir.[3]

Kullanılan polistiren tanelerin boyut dağılımı da önemli bir husustur. Tane boyutları daha iri olan polistirenlerdeki pentan kaybı hızı daha düşük seviyede olur. Genelde bu sayede önşişirme ve kalıplama işlemleri daha kolay yapılabilmektedir. Arzu edilen yüksek kalitedeki köpük model yüzey yapısına ulaşabilmek için ise mutlak olarak küçük taneli polistirenlerin kullanımı gereklidir bunun için ise ideal tane tipleri ise T ve X'dir. Bu tarz polistiren tanelerin kullanımı ile ince kesitlerin kalıplanma olanağı yaratılmıştır. Normal olarak taneler önşişirme işlemi sırasında başlangıç hacimlerinin 20-50 katı boyutlara çıkabilirler. Bu sayede önşişirme işleminden sonra polistiren tanelerin yoğunlukları 0,019-0,027 gr/cm<sup>3</sup> kadar düşürülebilir. [1]

Arzu edilen yoğunluk değerlerine ulaşmak için polistiren taneleri süratli biçimde uygun sıcaklığa ısıtılmalı ve yumuşamış hücre duvarlarından kaçacak pentan miktarını en az seviyede tutacak biçimde önşişirme işleminin en kısa sürede tamamlanması gereklidir. Gereğinden uzun tutulan önşişirme çevrim süreleri ile polistiren tane yüzeylerinde çökmeler meydana gelebilir. [1]

Önşişirilmiş tanelerde tane boyut dağılımı kilit noktaların başında gelir. Tane boyut dağılımının geniş bir aralıkta olması bütün olarak köpük modellerin ortalama yoğunluğunu etkiler. Eğer tane boyut dağılımı kontrol altında tutulmamış ise köpük modellerin yapısında segragasyonların oluşması kaçınılmazdır. Tane yoğunluk değerleri arzu edilen seviyelerde olmasına karşın tane boyut dağılımı kontrol edilmemiş ise bu durum ciddi bir sorun olarak köpük modellerin yapısına yansır. [1]

Tablo 1'de önşişirilmiş polistiren tanelerin tane boyut değerleri verilmiştir. [1]

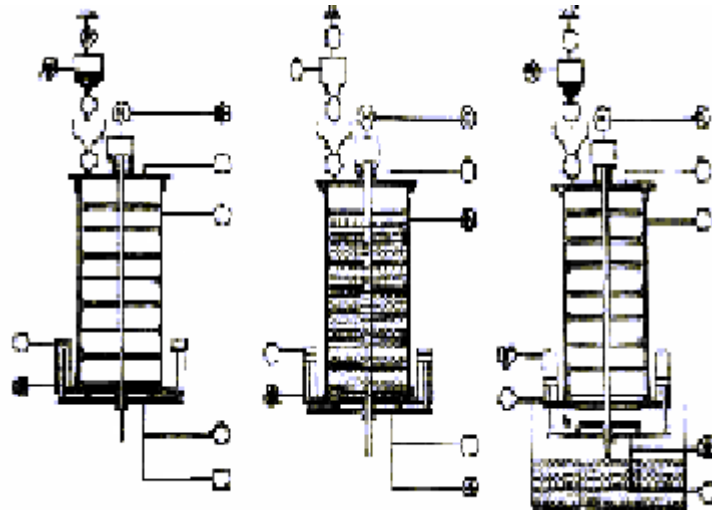
Tablo 1. Önşişirilmiş polistiren tane boyutları. [1]

Tane Tipi	Tane Yoğunluğu (0,016 gr/cm <sup>3</sup> )	Tane Yoğunluğu (0,02 gr/cm <sup>3</sup> )	Tane Yoğunluğu (0,024 gr/cm <sup>3</sup> )
A	0,65-0,27 cm	0,62-0,25cm	0,57-0,22 cm
B	0,40-0,20 cm	0,37-0,17 cm	0,35-0,17 cm
C	0,22-0,12 cm	0,22-0,10cm	0,20-0,10 cm
T	0,17-0,07 cm	0,15-0,07 cm	0,15-0,07 cm
X	0,12-0,07 cm	0,10-0,07 cm	0,10-0,05 cm

Önşişirme uygulamalarında iki temel tip makine kullanılabilir. Bunlardan ilki vakum-kuru önşişirici, diğeri ise direkt buhar genişleticidir.

Vakum-kuru önşişirme makineleri genelde A.B.D'lerinde yaygın olarak tercih edilmektedir; bu makine ile köpük tanelerinin yoğunlukları 0,012 gr/cm<sup>3</sup> civarına kadar düşürülebilmektedir. Şişirme işleminin yapıldığı hazne silindirik şeklinde olup yatay bir merkez çizgisine sahiptir. Haznenin dış duvarlarının ısıtılmasında kullanılan bir buhar ceketli mevcuttur, hazne iç kısmında ise duvarları önşişirme sırasında sürekli olarak süpüren bir seri karıştırma kolları bulunur. Bu karıştırma kollarının görevi önşişirme işlemindeki köpük tanelerini şişirme haznesi duvarlarına yapışmasını önlemek ve tanelerin kendi aralarında topaklaşmasının önüne geçmektir. Uygulamada ham haldeki köpük taneleri besleme bölgesinden önşişirme makinesi şişirme haznesi içerisine yüklenirler. Önşişirme sonunda köpük tanelerin soğutulması amacıyla kullanılan vakum ve su sistemlerine uygun teçizatın makine üzerinde bulunması zorunludur. Şekil 2'de vakum-kuru önşişirme makinesinin şematik gösterimi verilmiştir. [1]

Önşişirme işleminden önce ham haldeki tanelerin içerisine uygun yağlayıcı madde ilavesi gereklidir aksi halde köpük taneleri birbirlerine kaynarak topaklaşabilirler. Normal olarak kullanılan yağlayıcı susuz-silikadır. Ham haldeki taneciklerin ağırlığının % 0,1'i kadar susuz-silika önşişirme makinesi içerisine katılır. Önşişirme işlemi başlamadan önce yaklaşık 30 dakika köpük taneleri ve yağlayıcı madde karıştırılır. Yağlayıcı madde önşişirim uygulaması sırasında köpük taneleri arasında bariyer görevi üstlenir. İşlem sırasında gereğinden fazla yağlayıcı kullanılırsa köpük modellerin şekillendirilmesindeki kalıplama evresinde sorunlar meydana gelebilir. [3]

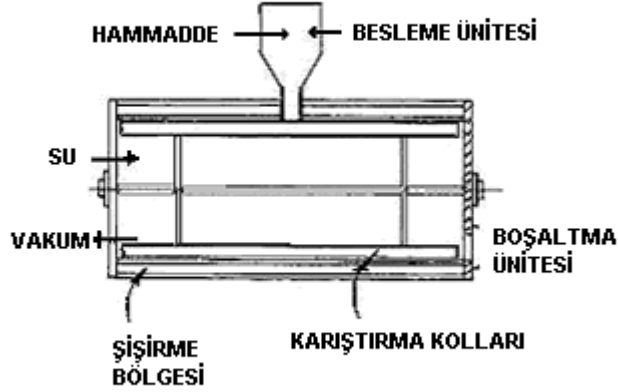


Şekil 2. Vakum-kuru önşişirme makinesi şematik gösterimi. [1]

Vakum-kuru önşişirme makinesinin çalışma çevrimine ilk olarak sistemin bazen duvarlarının ön ısıtılması ile başlanır ve işlemin bütünde şişirme haznesi duvarlarının sıcaklıklarının sürekli kontrolü gereklidir. Uygulanan ön ısıtma işleminin süresi, köpük tanelerinin arzu edilen yoğunluk değerine ulaşmasında en önemli noktadır. Önısıtma

sonunda ham köpük taneleri şişirme haznesi içine doldurulur. Köpük taneleri makine içinde ısıtılmaya başlanır bu sırada ise karıştırma kolları ile tanelerin topaklaşmasının önüne geçilir. Önşişirme işlemi hesaplanmış süre sonuna kadar devam eder. Son kademede sisteme su verilerek önşişirilmiş tanelerin soğutulması gerçekleştirilir. Köpük tanelerin soğuması bitince bu taneler elekten geçirilerek oluşabilecek olan topaklaşmalar devre dışı bırakılır bu sayede uygun köpük tane boyut dağılımında sağlanmış olunur. [1]

Bu önşişirme sisteminde taneler direkt olarak su buharı ile temas ettirilerek önşişirme uygulaması yapılır. Direkt-buhar önşişirici ünite de dikey konumda yerleştirilmiş şişirme odası ve karıştırma kolları vardır. Haznenin alt kısmında ise elek konulmuştur. Şekil 3'te direkt-buhar önşişirme makinesinin çalışma evrelerinin şematik sunumu verilmiştir. [1,3]



Şekil 3. Direkt-buhar önşişirme makinesi çalışma sistemi. [1]

Direkt-buhar önşişirici makinesinde yağlayıcı olarak çinko-stearate kullanılır; bu tip yağlayıcı vakum-kuru makinelerinde kullanılmaz. Çünkü yüksek hazne duvarı sıcaklığının mevcut olduğu ekipmanlarda çinko-stearate problem yaratabilmektedir. Aynı biçimde susuz silikada direkt-buharın kullanıldığı sistemlerde tercih edilmez çünkü bu ünitelerde su buharı ile direkt temasa maruz kalınması başlı başına sorun oluşturmaktadır.[3]

Köpük taneleri önşişirmeden sonra hemen kalıplanamaz çünkü önşişirilmiş tanelerin soğutulması ile beraber pentan yoğunlaşması meydana gelir ki bu durumda tanelerin iç kesitlerinde negatif bir basınç oluşturur. Eğer taneler önşişirmeden hemen sonra kalıplanırsa, taneler yassılaştırmakta ve tekrardan düzelmemektedir. [1]

Önşişirme işlemi sonunda ise taneler dışarı alınarak kararlaştırma işlemine tabi tutulurlar, bu evrede ise akışkan yatakta kurutma uygulaması yapılmaktadır. Kararlaştırma işleminden geçen köpük taneleri eleklerden geçirilerek boyutsal sınıflandırmaya tabi tutulurlar. [1]

Kararlı hale geliş aşamasında taneler içerilerine hava alırlar. Eğer önşişirmeden sonraki kararlaştırma zamanı çok kısa tutulursa, kalıplama aşamasında taneler genişlemeyecek ve düşük yüzey kalitesi elde edilecektir. Bu sonucunda ise köpük modellerin bazı bölgelerinde çökmelere neden olur. En iyi sonuçların elde edilmesi için tipik olarak 2 saatlik kararlaştırma süreleri yeterlidir. Diğer taraftan, eğer tane kararlaştırma zamanı gereğinden daha uzun tutulursa, köpük tanelerinde bulunan pentan gazı kaybı miktarı fazla olacaktır. [1]

Kararlaştırma işlemi 1-5 m<sup>3</sup>'lük silolarda yapılır. Silolar tahta veya metal çerçeve içerisine yerleştirilmiş ağıl-taşıyıcı çantalardır. Metal çerçeveler mutlak olarak elektrik topraklamaları yapılmalıdır aksi halde köpük taneleri statik elektrik yüklenir ki buda ani elektrik boşalmalarında pentanın alev almasına neden olabilir.[3]

Köpük taneleri önşişirme makinesinden, silolara oradan da kalıplama makinesine iletilmesinde aktarım pnömatik olarak gerçekleştirilir.[3]

Önşişirme ve kalıplama ekipmanları bir buhar üreticisine ihtiyaç duyarlar. Kaybolan köpükle döküm teknolojisinde modellerin yapımı için 50-150 kg su buharını 30-90 saniye zarfında sürekli sağlayabilecek bir buhar üreticisi gereklidir.[3]

Döküm parçası için kullanılan köpük modelin yoğunluğu önemlidir. Aynı döküm sonuçlarına ulaşabilmek için EPS yoğunluğunun belirlenen değerlerden  $\pm 2$ 'den daha fazla sapmamalıdır bu durumda önşişiricideki zaman ve sıcaklığın ayarlanması ile sağlanır. Polistiren taneleri bünyesindeki genişletici gaz olarak pentan içerirken, PMMA taneleride genel olarak pentan veya diğer hidrokarbon ajanlarını yapılarında bulundurabilir. Köpük modellerin üretimi tanelerin malzemesinin seçimi ile başlar. Dolu kalıba döküm yönteminde üç tip polimer kullanılmaktadır bunlar sırasıyla EPS, PMMA ve bu iki polimerin ortak karışımlarıdır. EPS bu polimerler içinde en ucuz olanı olup özellikle alüminyum parçaların dökümünde köpük modellerin yapımında tercih edilmektedir. PMMA ve ortak karışım polimerleri ise demir esaslı alaşımların dökümünde kullanılmaktadır. Ortak karışım polimerinin fiyatı APS'nin 3 katı iken, PMMA'nin fiyatı ise EPS'nin tam 8 katıdır. [5]

Köpük modellerin üretimindeki kalıplama işlemi 4 ana işlem kademesini içermektedir; doldurma, kaynatma, soğutma ve çıkarmadır. Önşişirilmiş ve kararlaştırılmış köpük tanelerinin hava yardımıyla kalıp içerisine verilmesi ile kalıplama uygulaması başlar. Kalıp boşluğu doldurulduktan sonra kalıp içinden buhar geçirilerek köpük taneleri yumuşatılır ki bu şişirme işlemin tekrar başlatılması anlamına gelmektedir. Malzeme tekrar genişliyerek EPS köpük taneleri arasındaki boşlukları doldurur, taneler birbirine yapışarak kalıp içini dolduran bir kitle halini alır. Kalıplama çevriminin devamında artık şişme olgusunun durdurulması için kalıp soğutulur. Soğutma genellikle kalıp arka yüzeyine su püskürtülmesi ile sağlanır. Ayrıca kalıba uygulanan vakum yardımıyla da soğutma yapılabilir. Parça soğutulduktan sonra köpük model mekanik veya pnömatik olarak kalıp dışına çıkartılır. Köpük model kalıp dışına çıkartıldıktan sonra boyutsal küçülme gösterebilmektedir. Boyutsal küçülme 30 gün sonunda EPS içeren köpük modellerde %0,8 civarına ulaşmaktadır, EPMMA'da ise bu durum %0,25'dir. Dökümdeki boyutsal hassasiyetin sağlanmasının yolu köpük modelleri yapımın tam olarak gerçekleştirilmesinden geçmektedir. [5]

Köpük modeller çoğunlukla bir parça halinde yapılarak model ve yolluk parçaları bir araya getirilir. Bunun için en yaygın yöntem sıcak ergimiş yapıştırıcı ile tutkalamaktır. Aynı boyutların ve eklem kalitesinin sağlanabilmesi için yarı veya otomatik yapıştırma düzeneklerin kullanımı gereklidir. Prototiplerde ve az sayıdaki üretimlerde elle yapıştırma yapılabilir. [5]

Model toplanması ile beraber elde edilen döküm salkımı 0,25-0,5 mm kalınlığındaki refrakterle kaplama yapılır, bu kaplama hassas dökümdeki gibi bir refrakter kabuğu oluşturmaktadır. Refrakter olarak genelde silika, alümina, zirkon, kromit ve mullit tarzındaki malzemelerden yararlanılmaktadır. Kaplamada aranılan en önemli özelliklerden biri piroliz gaz ürünlerinin dışarı atılmasına imkan verecek gaz geçirgenliğine sahip olmasıdır. Son on yıl içinde bir çok kaplama formülasyonu demir ve alüminyum dökümlerinde kullanılmak için geliştirilmiştir. Bu tip ürünler genelde ısı akış veya gaz geçirgenlik karakteristiklerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Kaplanan döküm salkımı kurutmaya tabii tutulur. Bu işlem oda sıcaklığında 24 saat bekletme ile yapılabileceği gibi ticari uygulamalarda ise 50-60 °C'lik sıcaklıklarda çalışan kurutma fırınlarından yararlanılmaktadır, fırın atmosferi saate bir değiştirilmeli veya nem alma işlemi yapılmalıdır. Bu sayede kurutma süresi 2-6 saate düşürülebilir. Bazı araştırmalarda ise mikrodalga fırınlarından yararlanıldığı görülmektedir. [5]

Köpük modellerin en yaygın kullanım tekniği, modellerin bağlayıcı içermeyen serbest kumda yerleştirilmesiyle metal dökümün gerçekleştirilmesidir. Yönteminde bağlayıcısız kuru kum genellikle bir yağmurlama sistemi ile dereceye doldurulur. Yağmurlama dereceyi yavaş yavaş doldurarak kumun yana doğru hareketin modeli bozmasını önler. Doldurma sırasında taşıyıcıdan ayrılan derece yüksek frekanslı bir sıkıştırma sistemi ile ya tabandan veya yanlardan titreştirilir. Bazen model etrafında tam bir dolmayı sağlayacak sıkıştırma için titreşim frekansının doldurma sırasında değiştirilmesi gerekebilir. En yaygın olarak kullanılan kum, yarı köşeli ile yuvarlak tanelilerdir. Farklı uygulamalar için farklı boyutlar kullanılabilir. Genellikle AFS tane inceliği 35-3 demir esaslı alaşımlar için AFS 45-3 elek dağılımı ise demirdışı alaşımlar için kullanılır. Kum olarak sentetik mullitin kullanılması doldurma ve sıkıştırma işlemlerinde 2-3 kat hızlı çalışma olanağı sağlamaktadır. [5,6]

Dolu kalıba dökümün yapılması diğer kuma dökümler gibidir. Döküm sırasınca döküm havuzu dolu tutulmalı, artı bir metal basıncı muhafaza edilmelidir. Bu basıncın olmaması durumunda kalıp çökebilir ve döküm parçası içerisine kum kaplama malzemesi karışma riski oluşur. Metalin beslenme hızı modelin buharlaşma hızı tarafından kontrol edilir. Dökümden sonra kalıp diğer kuma dökümlerdeki kadar bir süre soğumaya terk edilir. Dereceler boşaltma bölgesine taşınır. Döküm parçası son bitirme işlemlerine tabi tutulur. [6]

Alternatif teknikler ilki; köpük modellerin bağlı kumda model olarak kullanımınıdır. Özellikle büyük parçaların dökümünde tercih edilir ve çelik esaslı malzemeler için oldukça uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkar. Bu usulde köpük modeller döküm öncesinde kalıp dışına çıkartılır. Modeller genelde EPS'den işlenerek hazırlanır bu tip modellerin yapım maliyeti ahşap modeller göre 2 kat daha ucuzdur. Ayrıca parçada maça kullanılıyorsa bu gereksinimde ortadan kalkmış olmaktadır. Köpük modellerin kullanımın diğer bir yöntemi ise REPLICAST CS olarak bilinen ve hassas döküm işlemini hatırlatan döküm tekniğidir. Replicast CS yönteminde dolu kalıba döküm teknolojisinde karşılaşılabilecek sorunlar en az seviye indirilmiştir, uygulamada EPS'den yapılmış olan modeller hassas döküme benzer biçimde bir seramik kabukla kaplanır. Bu kabuğun kalınlığı yaklaşık 3,2-4,8 mm civarındadır. Bu döküm salkımı yaklaşık olarak 925-1000 °C fırında 5 dakika tutularak EPS modeller yakılarak uzaklaştırılır. Bu yöntemde ulaşılabilecek olan tolerans değerleri Tablo 2'de verilmiştir. [3]

Tablo 2. Replicast CS yönteminde ulaşılan tolerans değerleri. [3]

Boyutlar ( mm )	Toleranslar ( mm )
2,5-100	0,25
101-300	0,75
301-600	1,50

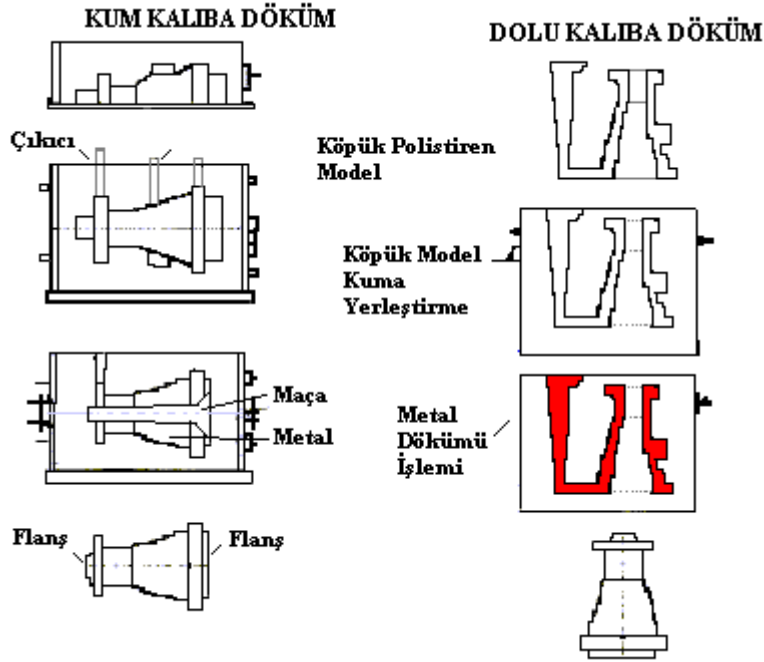
### 3. DOLU KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİYLE KLASİK DÖKÜM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Dolu kalıba döküm teknolojisi tasarım mühendisine klasik döküm yöntemlerini ile ulaşılamayacak esneklik ve fırsatlar sunar. Bu yöntemin klasik usullere göre olan avantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Dolu kalıba döküm teknolojisi genel olarak basit bir uygulama sistemine sahiptir,
- "Ayırma Çizgisi" sınırlaması tamamen ortadan kalkmıştır,
- Maça kullanımı mevzu bahis değildir,
- Maça kullanımdan kaynaklanan yüzey kalitesindeki olumsuzluklar ve döküm hataları bu yöntemin kullanımı ile yok edilmiştir,
- Bağlayıcı içermeyen kumun kullanımı ile kum hazırlama işlemleri basit hale gelmiştir,
- Genel döküm işlemindeki kum harcama miktarı oldukça azalmıştır,
- Döküm sonrası parçanın temizlenmesinde sadece ince refrakter tabakasının uzaklaştırılması gerekmektedir ki bu sayede parça temizleme maliyetlerinde % 80'e varan tasarruflar elde edilmektedir,
- Dolu kalıba döküm teknolojisi işçilik maliyetleri diğer usullere göre çok düşük seviyede kalmaktadır, sistem bir bütün olarak otomatikleşmiş üretim akış hattına sahiptir,
- Dolu kalıba döküm teknolojisi ile üretim yapan dökümhaneler süratle farklı malzemelerin ve parçaların dökümünü yapabilmektedir ki bu müşteri taleplerin en kısa sürede karşılanması için büyük avantaj sağlamaktadır,
- Tasarım mühendisi büyük esneklik için çalışabilmektedir bu sayede özellikle ürün araştırma geliştirme uygulamalarının en önemli kısmı olan protip çalışmaları zaman yitirilmeden uygulanabilir hale gelmiştir.
- Dolu kalıba döküm teknolojisinin kullanımı ile çok dar toleranslarda dahi ürün üretimi yapılabilmektedir,
- Ulaşılan yüzey kalitesi hassas döküm yöntemi ile yaklaşık aynı kalitededir,
- Genel yatırım ve işletim maliyetleri klasik yöntemlere göre çok düşük seviyede kalmaktadır.

Dolu kalıpla döküm yöntemi klasik döküm yöntemlerine göre oldukça avantajlıdır. Klasik yöntemlerinde tasarım,ekonomiklik ve kalite konularında artık sınırlara ulaşılmıştır, çünkü birçok yöntemde tekrar kullanılan modellerden yararlanılmakta bunlarında döküm işlemi öncesinde kalıptan dışarı alınması gerekmektedir. Bu nedenle modellerin kalıptan uzaklaştırılması gerekliliği göz önüne alınarak tasarım yapılması üreticilere ve kullanıcılara önemli sınırlamalar getirmiştir. Köpük polistirenin veya farklı bir polimer yardımıyla hazırlanacak modellerde bu sınırlamalar azalmakta hatta tamamen ortadan kalkmaktadır. Köpük modeller döküm öncesi kalıptan dışarı alınma zorunluluğu taşımadıkları için, tasarım mühendisine artı çalışma esnekliği sunarken üreticinin döküm prosesinde geliştirmektedir. Bu yöntem vasıtasıyla % 20-60'lara varan maliyet azalmaları sağlanmıştır. Klasik döküm yöntemlerinde iç boşlukların eldesinde maçalardan faydalanılmakta olup maça-kalıp yapımı ve birleştirilmesi mekanizması bu yöntemler

üzerinde sınırlayıcı etken olarak üreticinin karşısına çıkmaktadır. Normalde klasik döküm yöntemlerinde kalıbın oluşturulmasında iki parçalı veya çok parçalı modeller kullanımı gereklidir, bunun sonucu ise ayırma için bir düzlem seçilmesi yani “ ayırma çizgilerinin ” kullanımıdır. Bütün olarak düşünülürse tasarım aşamasında maça yerleri ve ayırma çizgilerinin belirlenmesi tasarım mühendisine sınırlı hareket özgürlüğü tanır. Dolu kalıba döküm yönteminde ise tasarım mühendisi klasik döküm yöntemlerinde olmayan esneklik ve fırsatlara sahiptir. Yöntemde maça ve ayırma çizgisi kullanımı tamamen ortadan kaldırılmıştır. Bunun sonucunda maça izleri, maça uzaklaştırma yani maçadan kaynaklı döküm sorunların tamamı üretici için problem olmaktan çıkmıştır. Dolu kalıba döküm tekniği kullanımı karmaşık şekilli parça üretimde sınırları yıkılmış üreticinin önünde yeni bir kapı açmıştır. Dolu kalıba döküm yönteminin, kum kalıpla döküm tekniği ile karşılaştırılması Şekil 4’te gösterilmiştir. [3]



Şekil 4. Dolu kalıba dökümün kum kalıpla dökümle mukayesesi. [3]

Köpük modellerin kullanımı ile gerçekleştirilen dökümlerde yüksek kaliteler elde edilmesi mümkündür. Yöntem dar aralıklardaki toleranslarda çalışmayı mümkün kılmaktadır. Köpük modellerin kullanımı ile  $\pm 0,00381-0,0889$  cm boyut aralığındaki döküm parçalarının üretimi yapılabilmektedir. [3]

Dolu kalıpla dökümün bir çok avantajı olmakla birlikte en önemli üstünlüğü genel üretim sistemin oldukça basit olmasıdır. Bağlayıcısız kum kullanımı kum hazırlama işlemlerini sadeleştirmektedir. Yöntemde daha az kuma ihtiyaç duyulması “ekolojik dengeyi koruma” prensibine uygunluğu yansıtan bir noktadır. Dolu kalıpla dökümün bir diğer avantajı döküm işlemindeki genel işçiliği ve kalifiye işçi ihtiyacını azaltmasıdır. Buna ek olarak döküm parçasının temizlemenin kolaylaşması, maça yerleştirme işleminin ve ayırma yüzeyinin olmaması, döküm derecelerinin bozulması aşamasında kolaylık sağlamaktadır.[3,6]

Köpük kalıpla çalışan dökümhaneler büyük yapısal değişikliklere girmeden çok farklı malzeme gruplarını ve parçalarını dökülebilmektedirler. Bu sayede döküm üreticilerinde aranan zamanında teslimat koşulluda yerine getirilmiş olmaktadır.

#### 4. DOLU KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİNİN EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ

Araştırmalar göstermektedir ki dolu kalıba döküm yöntemindeki yatırım ve genel üretim giderlerin maliyetleri toplamı, klasik döküm yöntemlerine göre oldukça düşük seviyede kalmaktadır. Bu da yöntemin tercihindeki ekonomiklik şartını sağlamaktadır.

1997 yılında A. J. Birkel, J.H. Hunter ve E. Kotzin tarafından AFS – The Lost Foam Casting Technology Consortium için yapılan pazar araştırması raporu dolu kalıba döküm teknolojisini varmış olduğu ekonomik pazar gücünü gösteren çarpıcı bir çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır. [7]



Ulaşılan rakamlara göre 1992 yılında A.B.D'de 38 olan dolu kalıba döküm teknolojisini kullandığı dökümhane sayısı 5 yıl içinde % 28'lik bir artış ile 49'a ulaşmıştır. 2000 yılında bu rakamın 55'e ulaşması beklenmektedir. [7]

Dolu kalıba döküm teknolojisi kullanılarak yapılan üretim miktarı 1994'te 110.888 ton iken % 27'lik artış ile 1997 senesine gelindiğinde 140.676 tona ulaşmıştır. Araştırma ışığında 2000 yılı sonundaki üretim rakamı 256.845 ton olarak tahmin edilmiştir, bu da 1994 yılına göre % 83'lük bir artış ifade etmektedir. Tablo 3'te A.B.D'de sanayi dallarına göre dolu kalıba döküm yöntemini kullanılarak yapılan üretim miktarları verilmiştir. [7]

Araştırma içinde görüşü alınan 15 sanayi uzmanına göre dolu kalıba döküm teknolojisi alüminyum için 2007, dökme demirde 2009 ve çelikte 2013 yılında Pazar olarak olgunluk seviyesine ulaşacaktır. Bu tahminlerdeki en etkileyici husus uzmanların 2007 sonunda alüminyum döküm sanayisinde dolu kalıba döküm yönteminin toplam pazarın % 29'a ulaşacağı yönündeki görüşleridir. [7]

Tablo 3. A.B.D'de sanayi dallarına göre dolu kalıba döküm yöntemi kullanılarak yapılan üretim miktarları ve bunların değişim yüzdeleri. [7]

SANAYİ DALLARININ ADLARI	1997 YILINDAKİ ÜRETİM MİKTARI (Ton)	1994-1997 YILLARI ARASINDAKİ DEĞİŞİM (%)	1997-2000 YILLARI ARASINDA BEKLENEN DEĞİŞİM (%)
Otomotiv	82897	+13	+52
Boru/ Ekipman	11057	+163	+200
Denizcilik	8463	+65	+43
Sanayi Dalları	7105	+19	+45
Makine İmalatı	7018	+6	+15
Kamyon	5110	+44	+232
Diğer	19026	+60	+168
Toplam	140676	+27	+83

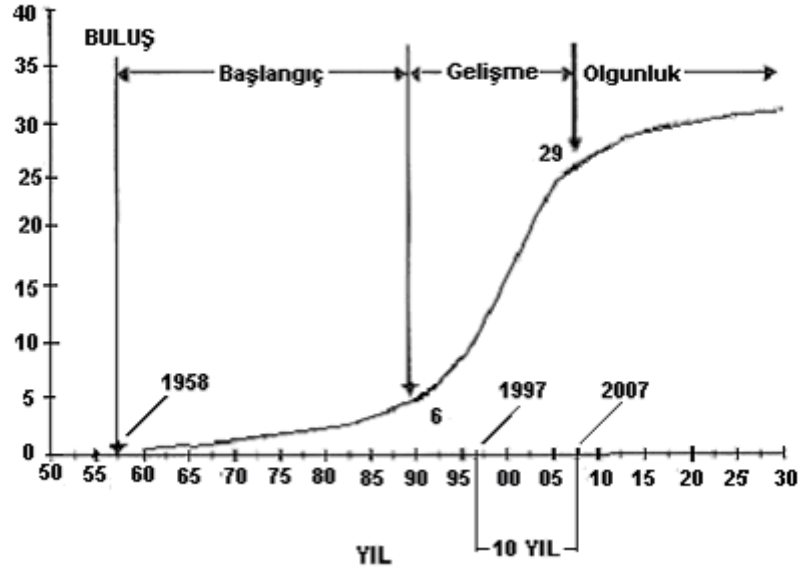
Tablo 4'te dolu kalıba döküm yöntemi ile yapılan metal üretim miktarlarını gösterilmektedir. Üretim rakamları incelendiğinde özellikle demir dökümünde bu yöntemin yaygın kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir. [7]

Tablo 4. Dolu kalıba döküm yöntemi ile yapılan metal üretim miktarları. (\* Tahmini değerler ) [7]

YIL	DÖKÜMHANE SAYISI	ALÜMİNYUM (TON)	DÖKME DEMİR (TON)	ÇELİK (TON)	TOPLAM (TON)
1994	40	43333	65474	2081	110888
1997	49	49778	88072	2826	140676
2000	55*	83558*	151486*	21801*	256845*

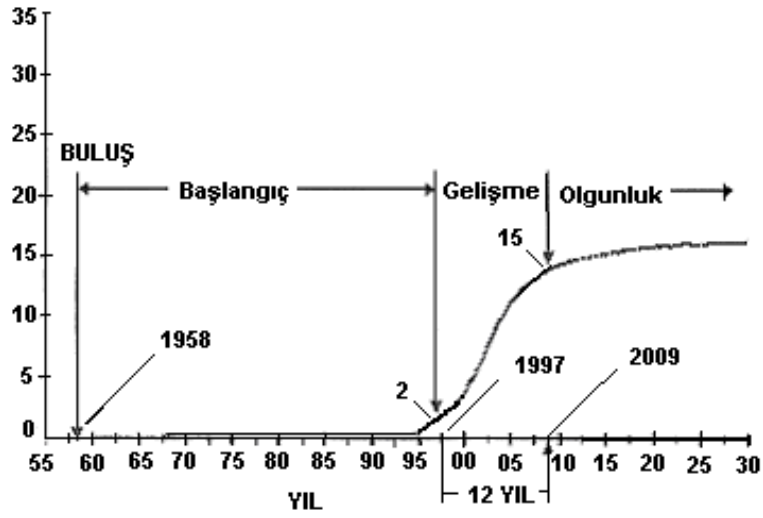
Şekil 5,6 ve 7'de sırasıyla alüminyum, dökme demir ve çelik döküm ürünleri için dolu kalıba döküm yönteminin pazar payının yıllar içindeki değişimi ve gelecekle ilgili tahmini seyri verilmiştir. [7]

TOPLAM PAZARIN YÜZDESİ ( % )



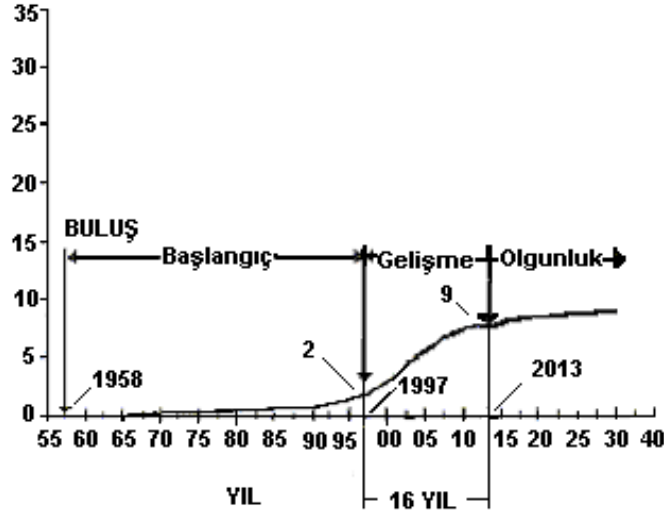
Şekil 5. Alüminyum için dolu kalıba döküm yönteminin pazar payının değişimi. [7]

TOPLAM PAZARIN YÜZDESİ ( % )



Şekil 6. Dökme demir için dolu kalıba döküm yönteminin pazar payının değişimi. [7]

### TOPLAM PAZARIN YÜZDESİ ( % )



Şekil 7. Çelik için dolu kalıba döküm yönteminin pazar payının değişimi. [7]

Sonuçların yansıttığı üzere A.B.D'deki yaklaşık 2950 civarındaki dökümhanenin içinde bu teknolojinin kullanıldığı 49 dökümhane pazara sunmuş oldukları yeni teknoloji sayesinde ön plana çıkarak ve pazarda önemli bir yer kazanmışlardır. [7]

A.B.D'de 1995 yılında 6150 olan dökümhane sayısı 2000 yılı sonunda yaklaşık olarak 2950 adette gerilemiş olmasına karşın metal döküm sanayisi ülke içindeki 10 büyük sanayi dalından biri olarak kalmayı başarısındaki temel nedenlerin başında dolu kalıba döküm teknoloji tarzındaki yeni teknolojilerin süratle sisteme dahil edilmesidir. [8]

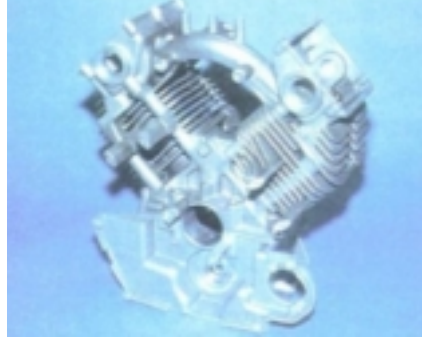
Dolu kalıba döküm teknolojisinin ekonomik avantajlarının yanında teknolojik olarak neden klasik yöntemler yerine tercih edildiğini anlamamız gereklidir. 1998 yılında AFS tarafından yapılan " Lost Foam Showcasing The Process Proceedings " kapsamında, WILLARD INDUSTRIES adına M. Herrin yapmış olduğu sunuş ışığında ticari olarak dolu kalıba döküm yöntemin başarıları inceleyebilir. Firma içinde metal kalıba döküm yöntemi yerine dolu kalıba döküm teknolojisini kullanımı ile toplam olarak 50000 \$ yıllık bir maliyet azalması sağlanmış ve üretilen üründe 1,134 kg'lık bir ağırlık tasarrufu parça başına elde edilmiştir. M. Herrin'e göre 2. Nesil Dolu Kalıba Döküm Teknolojisine geçişle beraber üretim hatında parça başına 0,317 kg ağırlık azalması yanında döküm sonrası talaşlı işleme çalışmalarında yine parça başına 4 dakika kısalmaya elde edilmiş bu sayede toplam olarak yıllık 450.000 \$'lık bir genel maliyet düşüşü görülmüştür. Ama en çarpıcı uygulama ise 1991 yılında firmanın hassas döküm üretim hattı yerine dolu kalıba döküm yöntemini devreye alması ile 3.000.000 \$'lık bir kazanç sağlamasıdır. [9]

Avrupada ise CAGIVA bu yöntemin en başarılı uygulayıcılarının biri olarak karşımıza çıkmıştır. CAGIVA, IVECO kamyonlarında yağ-soğutma parçalarının yapımı sırasında dolu kalıba döküm yönteminden yararlanmış ve bu sayede parça başına % 15'lik ağırlık azalması sağlamış ve yine aynı ürünün döküm sonrası talaşlı işleme süresinde yaklaşık olarak % 45 kısaltmayı başarmışlardır. CAGIVA bu üründeki tüm maliyet toplamını % 28 azaltmıştır. Aynı firma FIAT için geliştirdiği ateşleme motoru silindiri kafası ürünü ile toplam maliyeti yıllık olarak 600.000 \$ azaltmayı sağlamıştır. [10]

Dolu kalıba döküm teknolojisini tercih edilmesinin ticari nedenlerini Muller Company'nin dökümhane mühendisi M. Eidson şöyle sıralamaktadır; [11]

- Ürün üzerindeki bütünsel kalitenin kum kalıba döküm yöntemlerinde elde edilemeyecek seviyede artırılması,
- Parça başı ağırlıkların en az düşürülmesi, klasik yöntemlerde kullanılan yolluk ve besleyicilerin bu yöntemle sınır değerle indirilmesi,
- Kum kalıba döküm teknolojisinde kullanılan ekipmanlara göre daha basit teçizat ve cihaz gereksimi,
- Hızlı biçimde yeni ürün üretimine geçiş dar hazırlık sürelerinde piyasaya ürün sunumu,
- Maça kullanım ortadan kalkması,
- İşlemin çevresel etkilerin kum kalıba döküm yöntemine göre çok düşük seviyede kalmasıdır.

Dolu kalıba döküm teknolojisini üstünlüğünü yansıtan en mükemmel uygulama ise Kohler Motorudur; bu üründe tasarım aşamasından itibaren dolu kalıba döküm teknolojisini kullanılacağı planlanmıştır. Bu sayede iç kısımlar azaltılmış, potansiyel çapak oluşum riskleri yok edilerek daha sonraki talaşlı işleme uygulamaları bu ürün için tamamen ortadan kaldırılmıştır. Şekil 8'da National Society of Professional Engineers tarafından New Product Award ödülüne layık motor gösterilmiştir. Aynı ödül 1997 yılında Boeing 777'ye verilmiş olması ilginç bir noktadır. [8]



Şekil 8. Kohler Motoru. [8]

## 5. SONUÇLAR

Teknolojik ve ekonomik öndeğerlendirme çalışmamızda sunduğumuz üzere yıllık 874.120 tonu bulan metal döküm üretim miktarı ile dünyada döküm pazarında 16. sırada bulunan ülkemizin dünya döküm sanayisinde hak etmiş olduğu yere ulaşması için teknolojik atılımlar yapması gerekmektedir bunun ise tek yolu kendi teknolojisini Araştırma-Geliştirme evresiyle birlikte kurmasından geçer.

Dolu kalıba döküm teknolojisi dünya için A.B.D dışında çok yeni bir döküm teknolojisidir. Ancak Türkiye de bu teknoloji üzerinde üniversitelerimiz bünyesinde dahi ciddi bir araştırma çalışması yapılmamış olması üzüntü verici bir konudur. Sonuçta bu yöntemin yurdumuzda kullanımı ile beraber özellikle otomotiv, denizcilik, demiryolu ve makine ekipmanlarının üretiminde özellikle dış pazarlara yönelik bir pazar gelişmesi sağlanacaktır. Bu sayede Tayvan, Rusya, İspanya, Çin ve Hindistan gibi ülkelere karşı yeni bir alanda rekabet şansı yaratılacaktır. Bu döküm teknolojisini sağlayabileceği avantajları sonuç olarak şu başlıklar altında toplayabiliriz;

- a) Dolu kalıba döküm teknolojisini Türkiye'de gerçekleştirilmesi; uluslararası döküm sanayisi pazarında ülkemizin rekabet şansını artıracaktır,
- b) Ürün kalitesinde artış sağlanacaktır,
- c) Yatırım ve işletme maliyetlerinde ciddi azalmalar olacaktır,
- d) Yöntem ile otomotiv, gemi, gıda, kimya, ilaç ve petrol sanayisinde kullanılan döküm parçaların süratle en kaliteli olarak kullanıcıya tedarik edilmesi gerçekleştirilecektir.
- e) Sadece A.B.D'de 140000 ton metal dökümü yapılmakta ve her sene bu üretim % 9 artmaktadır. 2007 yılında alüminyum döküm sanayisi A.B.D'deki toplam üretimin %29'un dolu kalıba döküm yöntemi ile gerçekleşecektir.

## KAYNAKLAR

1. Bates E. Charles, Griffin John, Littleton H., " Expendable Pattern Casting Volume 1: Process Manual", AFS Publication, Des Plaines, 1994
2. Easwaran J., AFS Transactions, 95-83, 647-649, Des Plaines, 1995
3. Monroe R. W., "Expendable Pattern Casting", American Foundrymen's Society, Inc., Des Plaines, 1992
4. Littleton H.E, Miller B., Sheldon D., Bates C.E., AFS Transactions, 96-124, 335-346, Des Plaines, 1996

5. Littleton H., Bates C. E., "Recent Advances In Understanding And Controlling The Lost Foam Casting Process", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam – Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 169-198, 1998
6. ASM Handbook, Vol. 15, Casting, 9<sup>th</sup> Edition, 1988
7. Hunter H., " 1997 Market Survey of Lost Foam Foundries", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam – Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 2-50, 1998
8. Lessiter M. J., " A Look Back at the 20<sup>th</sup> Century – Lost Foam Casting", Modern Casting, Vol. 90, Number 11, 54-55, 2000
9. Herrin M., " Successes in Precision Lost Foam Casting at Willard Industries", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam – Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 102-111, 1998
10. Petitbon E.U., "Successful Results From Lost Foam Castings", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam – Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 133-164, 1998
11. Eidson M., "Improvements in Lost Foam Casting Technology At Mueller Company" AFS Proceedings International Conference on Lost Foam – Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 199-207, 1998