

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM PROSESİNDE, FARKLI YOLLUK TİPİ VE VAKUM UYGULAMASININ SİMÜLASYONU

Murat KORU*, Orhan SERÇE

Özet

Bu çalışmada yüksek basınçlı döküm prosesinde yolluk tasarımı ve vakum uygulamasına bağlı olarak optimum ürün elde edilmesine yönelik döküm simülasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon ürünü geometrisine uygun yolluk ve vakum tahliye sistemi tasarımı yapılmıştır. Vulcan simülasyon programı ile katılma analizi, dolun analizi, sıcaklık dağılımı, soğuk birleşme noktaları, son hava miktarı ve makro-mikro porozite simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına bağlı yolluk ve vakum tahliye mekanizması güncellenmiştir. İki farklı yolluk ve vakum tahliye sistemi için yapılan simülasyon sonuçları incelenerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları yüksek basınçlı döküm prosesinde enjeksiyon ürünü kalitesine yolluk tasarımının ve vakum uygulanmasının etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Yolluk tasarımı ve vakum uygulamasına bağlı olarak, makro ve mikro porozite, dolun süresi ve akış hızı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Simülasyon sonuçları ile basınçlı döküm prosesi esnasında oluşabilecek kusurlu parça üretimi ve yanlış kalıp tasarımının önüne geçilmesi ve parça başı üretim maliyetlerinin azaltılması mümkün olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek basınçlı döküm, Kalıp, Yolluk, Vakum uygulaması, Simülasyon

THE SIMULATION OF DIFFERENT RUNNER TYPE AND VACUUM APPLICATION IN HIGH PRESSURE DIE CASTING PROCESS

Abstract

In this study, casting simulation processes in high pressure die casting by depending upon runner design and vacuum application are performed in order to reach optimal products. Therefore, as convenient to the geometry of the injection product, runner and vacuum evacuation system design are also carried out. In addition, by using Vulcan simulation software, solidification analysis, filling analysis, heat distribution, front meeting points and last air amount are simulated as well as simulations of macro-micro porosities. As a result of simulation outcomes, runner and vacuum evacuation mechanism are updated. Moreover, simulation outcomes for two different runner and vacuum releases are evaluated and compared with each other. Simulation results show that runner design and vacuum application affect the quality of the injection product in the high-pressure die casting process. It is seen that macro and micro porosity, filling time and flow velocity are decreased depending on the runner design and vacuum application. By the way of this type simulation given in this study, defective material productions at the time of casting processes and inaccurate mold design will be prevented. Furthermore, Production costs will be able to decrease.

Key Words: High pressure die casting, Mold, Runner, Vacuum application, Simulation

* SDÜ, Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 32260 Çünür, Isparta
E-posta: muratkoru@sdu.edu.tr

1. Giriş

Basınçlı döküm, sıvı metalin yüksek basınç ve yüksek hız altında metal kalıba gönderilmesi sonrasında kalıp içerisinde katılaşmasını tamamlayarak parça üretimine imkân veren bir üretim yöntemidir. Basınçlı döküm yönteminde kalıp ve yolluk tasarımına bağlı, aynı anda birden fazla parça üretimi mümkündür. Bu nedenle günümüz imalat sektöründe üretim miktarı ve kalite artışının yanında, tasarlanan parçanın karmaşık şekillerden oluşması ve klasik döküm yöntemleri ile üretilmesi zor olan parçaların üretiminde basınçlı döküm yönteminin kullanımı artmıştır. Basınçlı döküm sürecinde kalıp, yolluk ve vakum tahliye sistemi başta olmak üzere pek çok faktör üretilecek parçanın kalitesinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Doehler,1974; Vınarcık, 2003; Yüksel ve Göloğlu, 2009; Koru, 2009; İpek ve Koru, 2010). Üretim sürecinden optimum ürün elde edilebilmesi için günümüzde yüksek işlem hızına sahip bilgisayarlar ve simülasyon programları kullanılmaktadır. Döküm simülasyon programları, kalıp tasarımını kolaylaştıran, ekonomik ve doğru yapabilmeye olanak sağlayan deneme ve yanılma maliyetini ortadan kaldıran, ilk baskıdan itibaren yüksek oranda başarı ve verim elde edilebilen bir seçenek olarak görülmektedir. Bu programların amacı, döküm esnasında sıvı metalin yolluk boyunca ilerleme şekli, kalıbı doldurma biçimi ve döküm sonunda parça bünyesinde oluşacak hataları, kalıp tasarım eksikliklerini simüle etmektir. Simülasyon programları ile katılaşma, dolum, ürün-kalıp sıcaklık dağılımı, soğuk birleşme noktaları, son hava, malzeme akış hızları, mikro porozite, makro porozite vb. simülasyonlar yapılabilmektedir. Böylece tek seferde başarılı üretim ve döküm hatalarını henüz tasarım aşamasında görebilmek mümkün olmaktadır (Imwinkelried ve Homberger, 2001; Çolak ve Kayıkcı, 2005; Arda ve Kayıkcı, 2005; Savaş, vd., 2005; Marques, 2006; Boydak, 2007; Gözen, 2007; Uludağ, 2007; Seo, vd., 2007a, 2007b; Yan, vd., 2007; Flender, vd., 2008; Yüksel ve Göloğlu, 2009).

Basınçlı döküm uygulamalarında kalıp boşluğunda sıkışan hava, çekme boşlukları, döküm alaşımından kaynaklanan gaz ve cürufklar döküm kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıvı metalin kalıbı doldurma süresinin ortalama 0.1 s olduğu ve karmaşık şekilli parçalarda sıvı metalin keskin köşeleri dönerken oluşan türbülans düşünüldüğünde alınacak önlemlere rağmen hava veya gazın metal içinde hapsolmesi önlenememektedir. Bununla birlikte vakum uygulanan basınçlı döküm yönteminde, pistonun dolum ağzını geçtiği andan itibaren vakum başlatılmakta, kalıp dolduktan sonra sıvı metal vakum valfine ulaşınca kadar devam ettirmektedir. Böylece katılaşan metalin bünyesinde mikro porozite ve makro porozite oluşma riski ciddi oranda azaltılabilmektedir. Basınçlı döküm prosesine vakum uygulanması ile sıvı metalin kalıp boşluğunu doldurması kolaylaşır, daha düşük basınç veya kuvvetle çalışma imkânı sağlanır. Dolayısıyla yıpranma azalacağından kalıp ömrü artar, hava veya gaz boşlukları önlenir, hurda parça oranı minimum seviyeye iner, metal yoğunluğundaki artış, mekanik özellikler, sertlik ve kaynak kabiliyetinin artması ile hasarlı parça oranı çok düşük seviyelere çekileceğinden üretim veriminin arttığı deneylerle tespit edilmiştir (Kim, vd., 2000; Aksoylu ve Ensari 2005; Jin ve Kang, 2011, 2012).

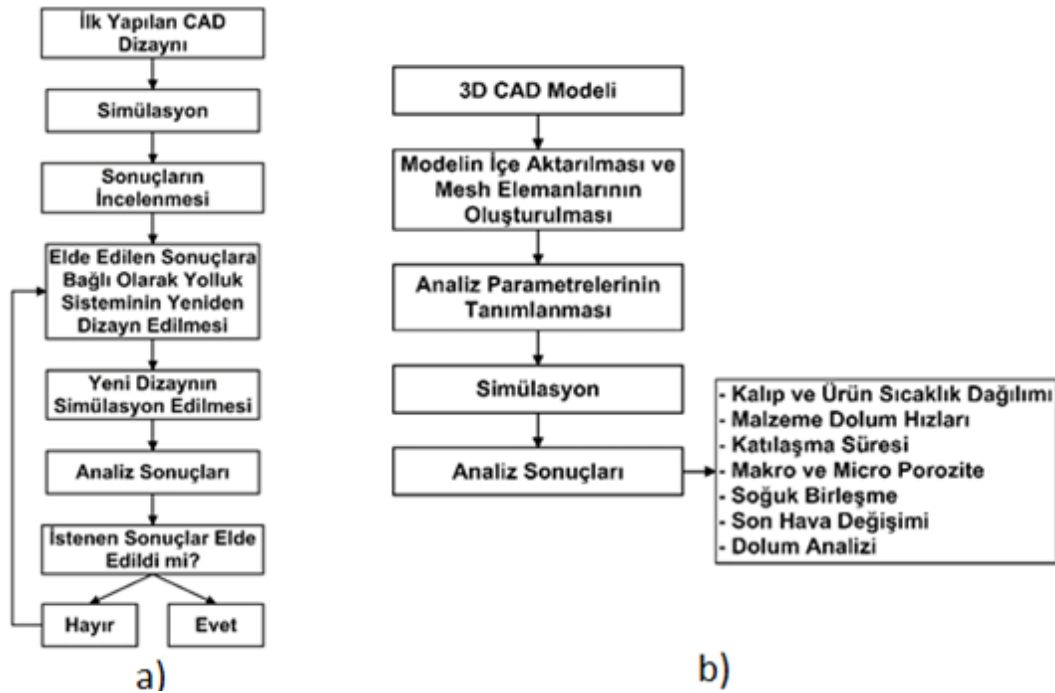
Basınçlı döküm prosesinde parçalardaki yolluk tasarımı birçok etkene bağlı olmakla birlikte, genel kural olarak, keskin yön değişimleri tercih edilmemeli, yolluk kanalları olabildiğince kısa olmalıdır. Yolluk girişi kalıp boşluğunun eksiksiz dolmasını sağlamalı, sıvı metali mümkün olduğunca tek bir ışın demeti halinde yumuşak yön değişimleriyle kalıp boşluğuna yöneltmelidir. Kalıp boşluğunda bulunan havayı metal içinden geçirerek hava ceplerine yöneltmeli, kalıp parçalarına sıvı metalin zedeleyici şekilde çarpmasını önlemeli, kalıbın sıcaklığını aynı tutmalı, kolay ve ucuz şekilde tamamlanmış döküm parçasından ayrılabilmesi

ve döküm parçasının dış görünümünü olumsuz yönde etkilememelidir. İnce cidarlı parçalarda yolluk kanalının kalınlığı, döküm kalıbı duvar kalınlığından % 50 oranında daha büyük tutulmalı ayrıca yolluk genişliği de yolluk derinliğinin 3-5 katı kadar olmalı ayrıca yolluk girişinin kalınlığı ise döküm parçasının ölçülerine göre 0.5-1.5 mm arasında olmalı ve yalnızca çok özel ya da ağırlığı yüksek parçalarda artırılmalıdır. Giriş kısmının derinliği akış karakteristiği, döküm sonrası kesme ve son bitirme işlemlerinin başarılı olarak gerçekleşmesi için uygun değerler içinde olmalıdır (Gözen, 2007; Uludağ, 2007).

Bu çalışmada, yüksek basınçlı döküm yöntemi ile motor piston parçasının üretilebilmesi için yolluk ve vakum tahliye sistematigi üzerine simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Piston elemanı gerçek ölçülerinde modellenmiş, uygun yolluk ve vakum tahliye sistemi Vulcan döküm simülasyon programına aktarılarak vakumsuz ve vakumlu şartlarda simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları incelenmiş hatalı bölgeler belirlenmiş ve düzeltilmesi için yolluk tasarımları gözden geçirilmiştir. Tekrar edilen simülasyonlarda hataların giderildiği görülmüştür. Sonuç olarak optimum yolluk tasarımı ve vakum tahliye mekanizması, deneme-yanılma şeklinde değil, bilgisayar ortamında simülasyonu yapılarak tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada izlenen yöntem Şekil 1- a ve b'deki akış şemalarında verilmiştir. Şema a'da gösterildiği gibi öncelikle CAD tasarımı yapılmaktadır. Daha sonra tasarımın simülasyonu Şekil 1-b'de görülen adımlar takip edilerek Vulcan programı ile tamamlanmıştır.



Şekil 1. Simülasyon programları genel iş akış diyagramı

Simülasyon işlemleri için kalıp ve parçaya I. tasarım için 369539 mesh ve 66789 node, II. tasarım için 430542 mesh ve 76542 node atanmıştır. Sonrasında programın CAD modelini simüle edebilmesi için gerekli olan parametreler (döküm malzemesi tipi, kalıp sıcaklığı, yerçekimi ivmesi ve yönü, zamana bağlı enjeksiyon faz hızları, 1. ve 2. faz vuruş mesafeleri vb.) programa girilerek simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon işlemi

tamamlandıktan sonra elde edilen sonuçlar (sıcaklık dağılımı, malzeme akış hızları, katılaşma süreleri, porozite, soğuk birleşme yüzeyleri vb.) irdelenmiştir.

Simülasyonlarda, döküm malzemesi AlSi12CuFe ve kalıp malzemesi H13 (sıcak iş takım çeliği) kullanılmıştır. Al-Si alaşımı, korozyona karşı direnci, yüksek basınç dayanımı nedeniyle genellikle ince cidarlı ve karmaşık tasarıma sahip parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Tablo 1’de AlSi12CuFe malzemesinin ve H13 kalıp çeliğinin Vulcan malzeme kütüphanesinden alınmış sıcaklığa bağlı termofiziksel özellikleri görülmektedir.

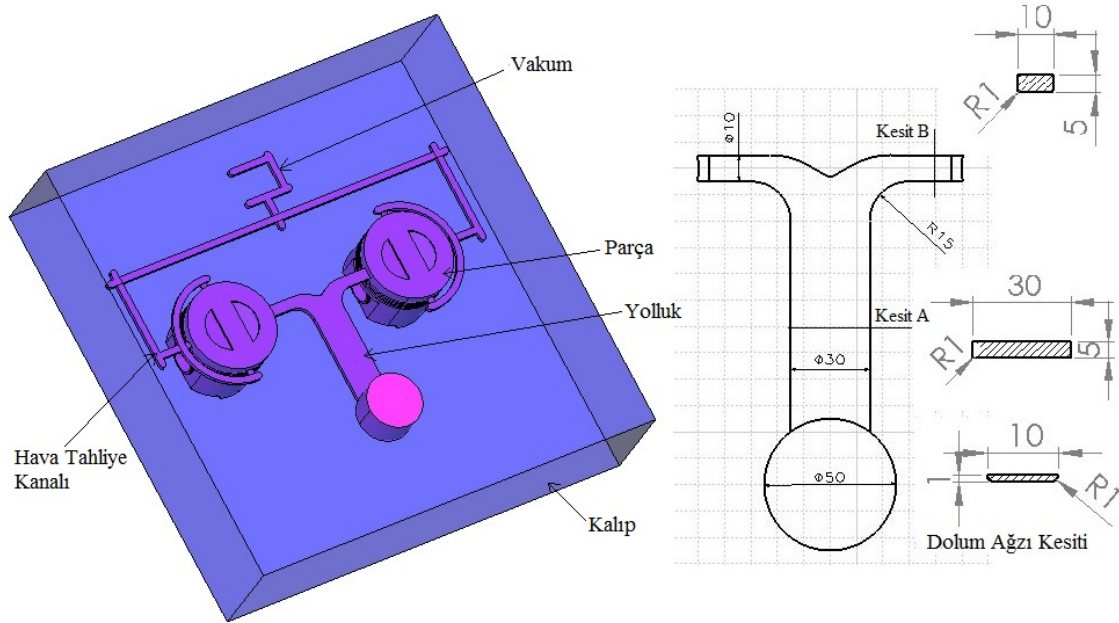
Tablo 1. AlSi12CuFe ve H13 kalıp malzemesinin termofiziksel özellikleri

| Malzeme | c_p , J/Kg.K | ρ , Kg/m ³ | k , W/m.K |
|------------|---------------------|----------------------------|------------------------|
| H13 | 435.37+0.2 T | 766.86-0.3174 T | 0.00029 T-26.85 |
| AlSi12CuFe | $0.348 T + 888.171$ | $-0.2249 T + 2694.3964$ | $-0.1690 T + 214.2939$ |

T Sıcaklık (K), Ergime Sıcaklığı 853 K, Katılaşma Sıcaklığı 843 K

2.1. Yolluk ve vakum tahliye sistemi tasarımı I

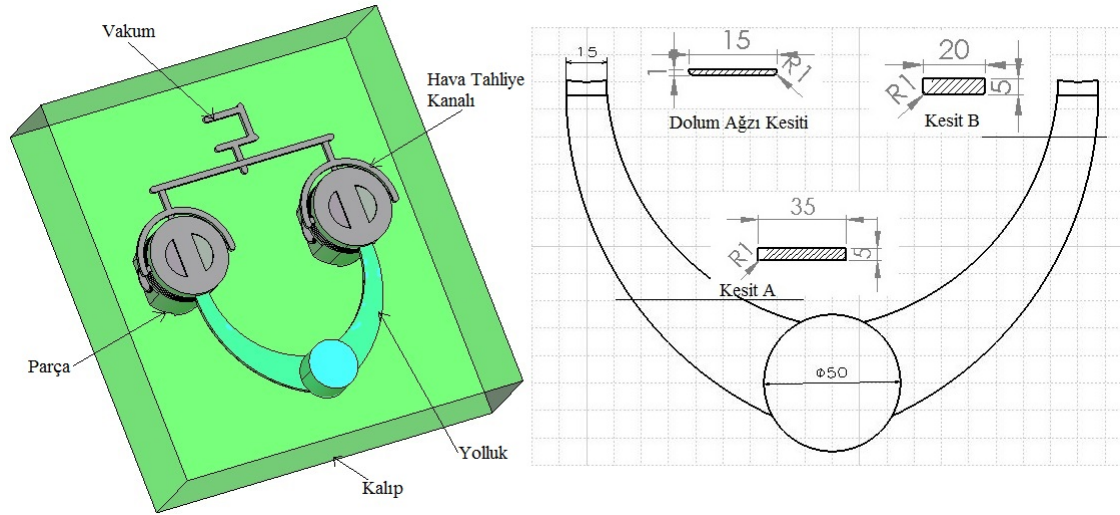
Birinci tasarımda yolluk T harfine benzemekle birlikte vakum tahliye mekanizması kalıp yan taraflarına doğru olacak şekilde planlanmıştır. Yolluk tasarımı yapılırken tasarım da keskin köşelerden kaçınılarak daha çok yuvarlatılmış köşeler ve hatlar tercih edilmiştir. Böylece sıvı metale akış kolaylığı sağlanmış, türbülansın düşürülerek dolunun daha kaliteli olması hedeflenmiştir. Yolluk kalınlığı 5 mm olmakla birlikte parça dolum yüzeyinde bu kalınlık 1 mm’ye kadar düşürülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Tasarım I için genel görünüş ve ölçüler

2.2. Yolluk ve vakum tahliye sistemi tasarımı II

İkinci tasarımda yolluk U harfine benzemektedir. Vakum tahliye sisteminin ise üst taraftan olmasına dikkat edilmiştir. Bu tasarımda da keskin köşelerden olabildiğince uzak durulmuş, yolluk ağzı genişliği ilk yolluğun 1.5 katına çıkarılmıştır. Böylelikle dolunun daha kısa sürede olması, türbülansın azaltılması ve dolun yüzeyindeki akış hızının düşürülerek kalıp aşınmasının azaltılması hedeflenmiştir. İlk tasarımında olduğu gibi yolluk kalınlığı 5 mm ve dolun ağzı kalınlığı 1mm olarak ayarlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. II. Tasarımın genel görünüşü ve ölçüleri

2.3. Döküm parametreleri

Vulcan simülasyon programının CAD modelini simüle edebilmesi için bazı başlangıç koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Simülasyonlarda kalıp sıcaklığı 150 °C, alaşımının ilk an sıcaklığı 680 °C olarak tanımlanmıştır. Ayrıca enjeksiyon 1., 2., ve 3. faz değerleri Tablo 2'deki gibi atanmıştır.

Tablo 2. Belirlenen enjeksiyon faz hızları

| Faz | Zaman(s) | Hız(m/s) |
|-----|----------|----------|
| 1. | 0.3 | 0.5 |
| 2. | 0.07 | 2.0 |
| 3. | 60 | 0.1 |

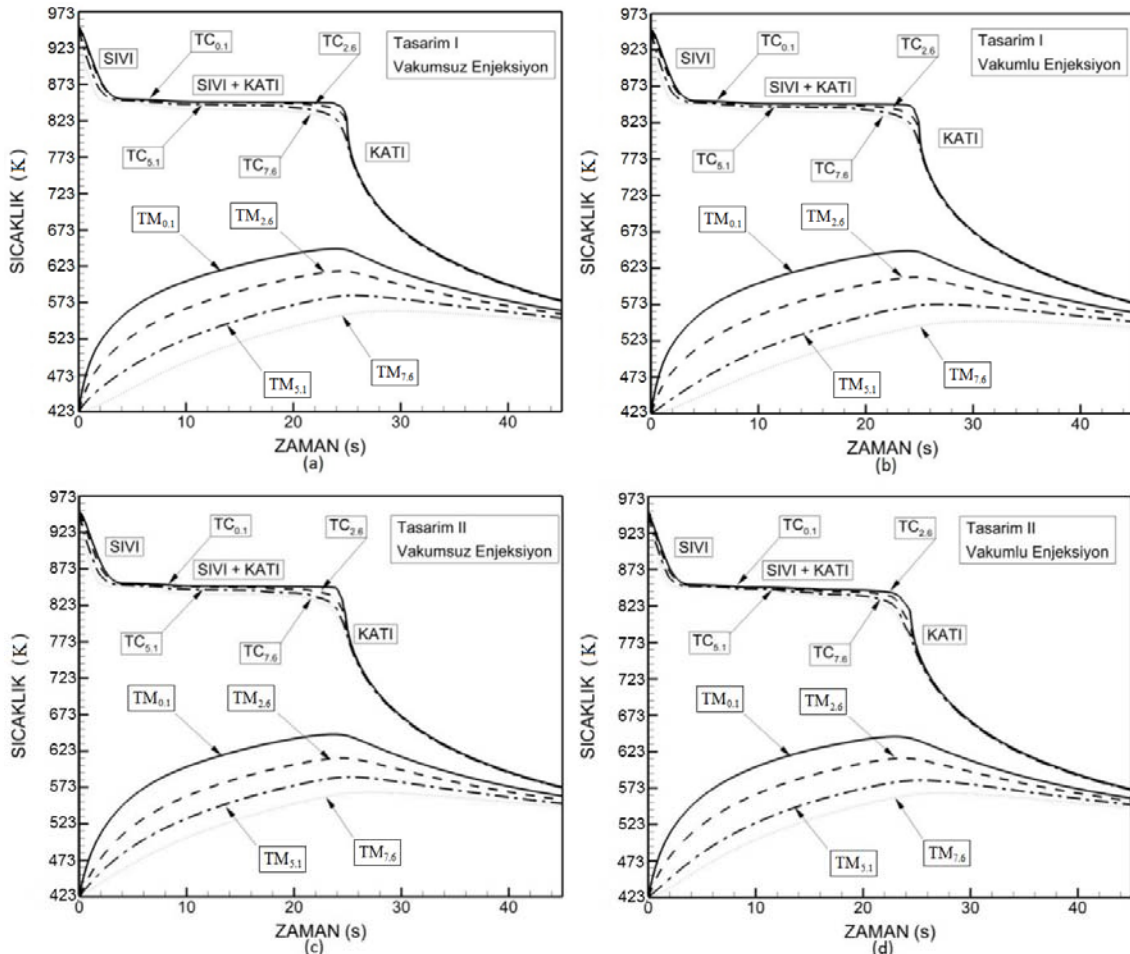
Her iki yolluk tasarımı içinde simülasyonlar tamamlandıktan sonra, vakum tahliye mekanizması aktif hale getirilerek simülasyonlar tekrar edilmiştir. Vakum tahliye sisteminin aktif edilmesi ile kalıp boşluğundaki hava tahliye edilmekte bununla birlikte havanın sıvı metal içinde yakalanma riski engellenmektedir. Dolum süresi çok kısa olduğundan sıvı metal içerisine hapsolan gaz ve havanın tahliye edilme imkânı azalmaktadır.

3. Simülasyon Çalışmaları

3.1. Kalıp ve parça sıcaklık dağılımları

Şekil 4'deki grafiklerde her iki yolluk tasarımı, vakumlu ve vakumsuz enjeksiyon şartları için sıcaklık simülasyon sonuçları verilmiştir. Zaman-sıcaklık grafikleri model ve kalıp üzerinden farklı dört nokta belirlenerek elde edilmiştir. Grafiklerde TC (Temperature Casting) döküm, TM (Temperature Mould) kalıp üzerinden alınan sıcaklık değerlerini ifade etmektedir. Bu değerler kalıp-parça ara yüzeyinden 0.1, 2.6, 5.1 ve 7.6 mm uzaklıktaki düğüm noktalarındaki sıcaklıkları ifade etmektedir. Özellikle döküm tarafından alınan sıcaklık değerleri incelendiğinde alaşımların katılaşmasına uygun bir katılaşma görülmektedir. Alaşımlar sabit bir sıcaklık yerine bir sıcaklık aralığı şeklinde katılaşmaktadır. Şekil 4'de simülasyon çalışmasında kullanılan alüminyum alaşımına uygun likidus ve solidus sıcaklıkları

görülmektedir. Şekil 4-a'da TC_{7.6} no'lu düğüm noktası için likidus ve solidus sıcaklıkları sırasıyla 848.7 ve 833.8 K şeklinde gözlemlenmiştir.



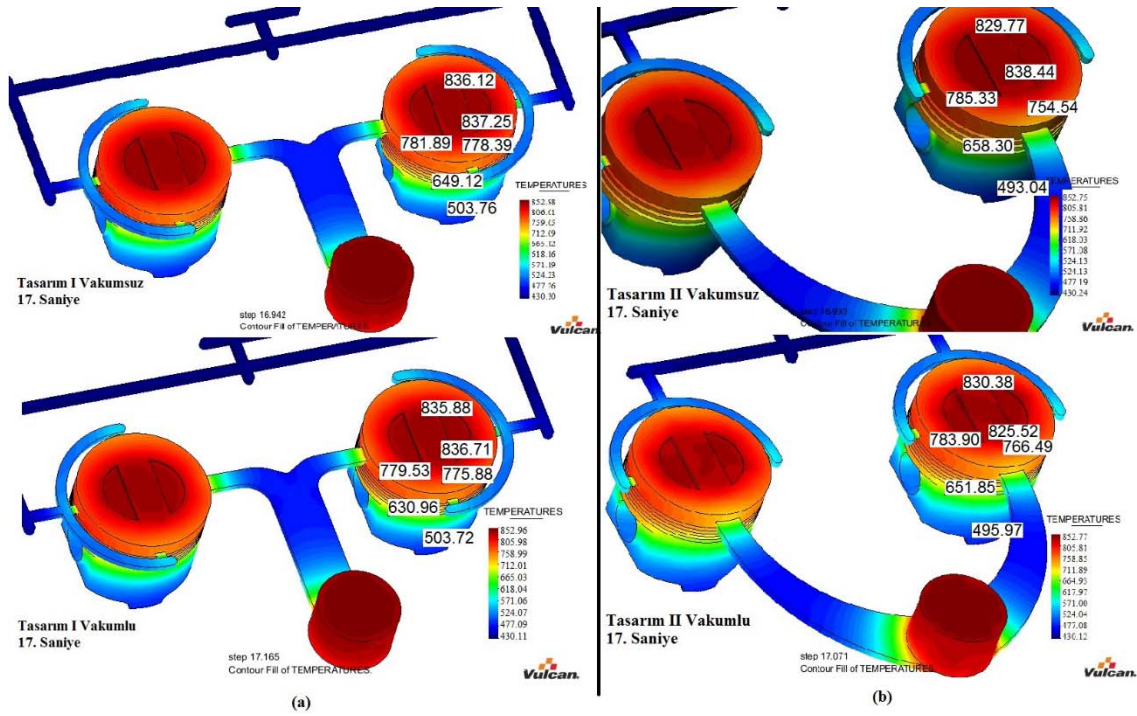
Şekil 4. Katılma sırasındaki sıcaklık değerleri

Tablo 3'de katılma işleminin 17. ve 30. saniyelerinde ilgili düğüm noktalarından alınan sıcaklık değerleri görülmektedir. Bu sıcaklık değerleri dikkate alındığında vakum uygulanmasının katılmaya olumlu yönde etki ettiğini söylemek mümkündür. Enjeksiyon prosesi esnasında vakum uygulamasına bağlı olarak döküm kalıp ara yüzeyinde ısı transferine direnç gösterecek havanın olmayışı katılma sürecini hemen başlatmakta dolayısıyla vakum şartlarında aynı düğüm noktası için belirlenen sıcaklık değerleri vakumsuz duruma göre azalmaktadır. Tablo 3. detaylı bir şekilde incelendiğinde 17. ve 30. s'de tüm enjeksiyon parametrelerine bağlı sıcaklık farkı 3 K ile 10 K civarında bir değişim göstermektedir. En yüksek sıcaklık farkı II. tasarım vakumlu simülasyon sonucu ile I. tasarım vakumsuz simülasyon sonucu arasında 10 K olarak gerçekleşmiştir. Yapılan tasarımlara vakum uygulanmadığı haller incelendiğinde aralarındaki farkın çok büyük olmadığı görülmüştür. Fakat her iki yolluğa da vakum uygulandığında ikinci tasarımın etkinliği net bir şekilde görülmüştür. Ayrıca ikinci yolluk tasarımının vakum uygulamasına daha etkin bir şekilde cevap verdiği de saptanmıştır.

Tablo 3. Döküm malzemesinden belli düğüm noktalarından alınmış sıcaklıklar (K)

| Süre | Tasarım | TC _{0.1} | TC _{2.6} | TC _{5.1} | TC _{7.6} |
|-----------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 17.Saniye | I.Vakumsuz | 848.8 | 848.3 | 844.3 | 838.0 |
| | I.Vakumlu | 848.9 | 848.1 | 844.0 | 838.1 |
| | II.Vakumsuz | 849.1 | 847.0 | 842.6 | 837.7 |
| | II.Vakumlu | 845.4 | 843.0 | 838.8 | 834.1 |
| 30.Saniye | I.Vakumsuz | 675.1 | 674.3 | 672.8 | 671.6 |
| | I.Vakumlu | 674.4 | 673.6 | 672.4 | 671.2 |
| | II.Vakumsuz | 671.1 | 670.1 | 668.8 | 667.7 |
| | II.Vakumlu | 665.3 | 664.2 | 662.9 | 661.8 |

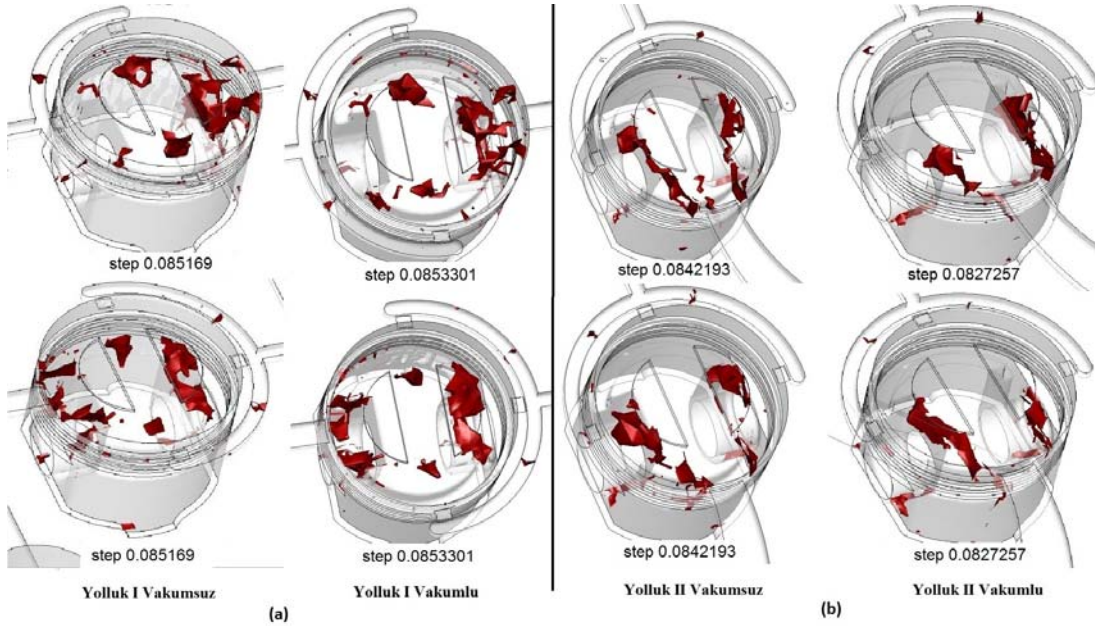
Şekil 5’de I. ve II. tasarımda vakumlu ve vakumsuz şartlar için 17. s için simülasyona ait sıcaklık dağılımları verilmiştir. Ayrıca şekilde belirli düğüm noktaları için hesaplanan sıcaklık değerleri de gösterilmektedir. Tasarım I ve II için vakum uygulandığında sıcaklık değerlerinin vakumsuz şartlar ile kıyaslandığında azaldığı görülmektedir.



Şekil 5. Yüksek basınçlı döküm prosesi tüm tasarımları için sıcaklık dağılımları

3.2. Soğuk birleşme noktaları

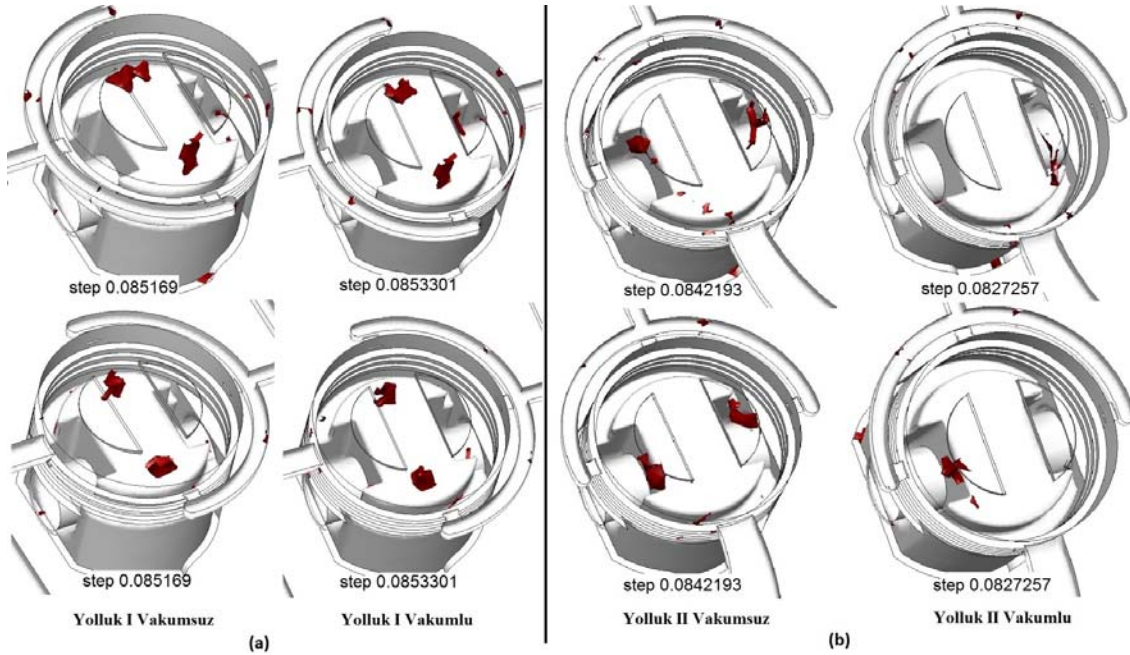
Şekil 6’da tüm tasarımlar için soğuk birleşme simülasyon sonuçları verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde vakum uygulamasının I tip yolluk tasarımında soğuk birleşme yüzeylerine etkisinin çok az düzeyde olduğu görülmüştür. II. tip yolluk tasarımı için soğuk birleşme simülasyon sonuçları incelendiğinde ise yolluk I tasarımına kıyasla soğuk birleşme yüzeylerinde nispeten daha iyi sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte II. tip yolluk tasarımında da, vakumlu ve vakumsuz şartlarda yapılan simülasyonlar için soğuk birleşme yüzeylerinde düşük değerlerde bir azalma gerçekleşmiştir. Fakat II tip yolluk tasarımında dolun süresi vakum uygulaması ile 0.084 s’den 0.082 s’ye düşmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda II. tasarım, I. tasarım ile kıyaslandığında II tasarımda soğuk birleşme yüzeylerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6. Soğuk birleşme noktaları için simülasyon sonuçları

3.3. Son hava miktarı

Şekil 7’de tüm tasarımlar için son hava simülasyon sonuçları görülmektedir.



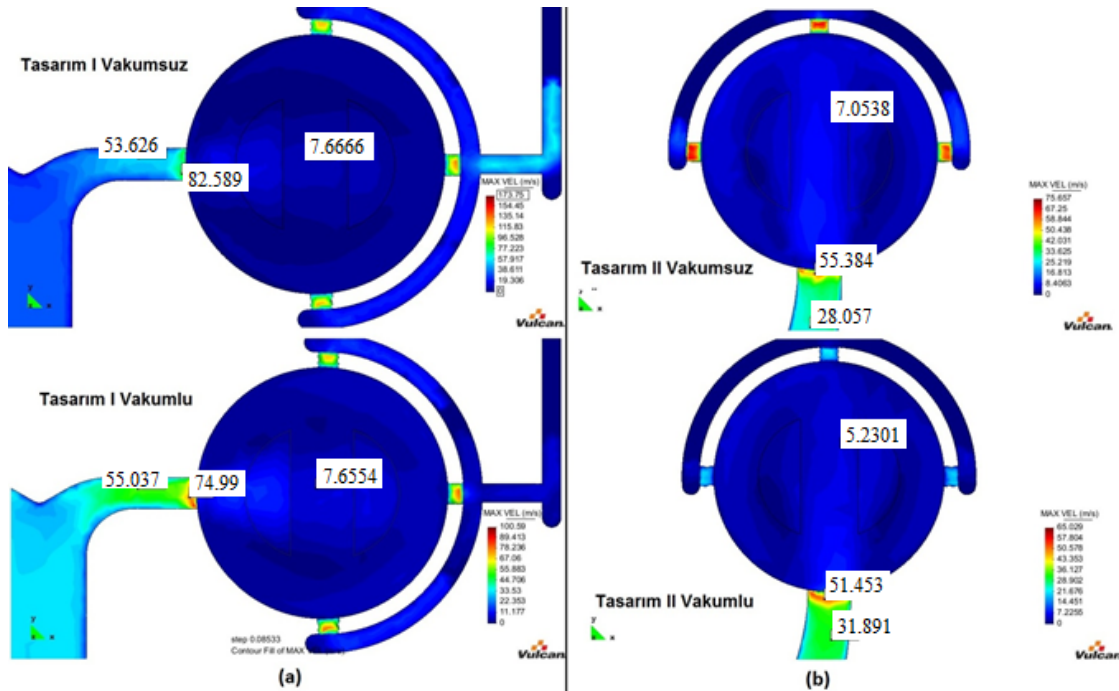
Şekil 7. Son hava miktarı için simülasyon sonuçları

Yüksek basınçlı döküm prosesinde başlangıçta kalıp boşluğunu doldurmuş olan hava, dolum sürecinde malzeme içinde sıkışarak poroziteye neden olmaktadır. Son hava simülasyonu dolum sırasında kalıp boşluğunu dolduran havanın üretilen parça içinde nerede sıkışarak hapsolacağını göstermektedir. Şekil 7-a’da I. yolluk tasarımı için vakum uygulanmasının son hava miktarını çok az miktarda azalttığı saptanmıştır. II yolluk tasarımında ise Yolluk I tasarımına göre son hava açısından daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Özellikle Yolluk II tasarımına vakum uygulandığında son hava oluşumunu büyük miktarda azalttığı

görülmektedir. Bu sonuçlara göre Yolluk II tasarımı Yolluk I tasarımına kıyasla son hava oluşumu açısından daha iyi sonuçlar vermektedir.

3.4. Malzeme akış hızları

I. ve II. tip tasarım için malzeme akış analizleri yapılmıştır. Her iki tasarımda giriş kalınlığı 1 mm olarak tasarlanmıştır. Akışın en hızlı olduğu bölge giriş kanallarının bulunduğu bölgedir. I. tip tasarımda vakumsuz şartlarda bu bölgede hız 82.5 m/s iken vakumlu şartlarda 74.9 m/s olmuştur. II. tip tasarımda ise sırasıyla vakumsuz ve vakumlu şartlar için hız değerleri 55.3 ve 51.4 m/s şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 8). Literatür incelendiğinde alüminyum alaşımlarının dökümünde 30-60 m/s hız kabul edilebilir sınırlar içerisinde (Papia, 1994; Seo, vd., 2007a, 2007b; Jin ve Kang, 2011, 2012). Bu nedenle II. tip yolluk tasarımı malzeme akış hızı açısından uygun görülmektedir.



Şekil 8. Malzeme akış hızları için simülasyon sonuçları

3.5. Dolu süreleri

II. tip yolluk tasarımında dolun daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Bunun sebebi yolluk-parça dolun yüzeyinin genişliğinin II. tasarımda I. tasarıma kıyasla 1.5 kat artırılmış olmasıdır. Tablo 4'de yapılan her simülasyon için dolun süreleri verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde öngörüldüğü gibi Yolluk II. tasarımının dolun sürelerinin daha düşük olduğu görülmektedir. II. tip yolluk tasarımına vakum eklendiğinde sürenin daha da düştüğü gözlemlenmiştir. Bundan dolayı vakumun dolun süresini azaltan bir etkisi olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 4. Tasarımlara göre dolum süreleri

| Tasarım | Dolum Zamanı(s) |
|----------------------|-----------------|
| Yolluk I (Vakumsuz) | 0.085169 |
| Yolluk I (Vakumlu) | 0.085330 |
| Yolluk II (Vakumsuz) | 0.084219 |
| Yolluk II (Vakumlu) | 0.082725 |

3.6. Porozite sonuçları

Vulcan simülasyon programından, mikro ve makro porozite sonuçları alınabilmektedir. Mikro porozite katılma sırasında oluşan gazların oluşturduğu porozite, makro porozite ise malzemenin katılmadan dolayı çekmesi sonucu oluşan boşluklardır. Tablo 5’de porozite miktarının parçanın kütlesine yüzdece oranları verilmiştir. II. tip tasarımın I. tip tasarıma göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Buna ek olarak vakum uygulamasının da sonuçları olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Vakum uygulaması yolluk I’e göre yolluk II’de daha düşük bir etki yapmıştır. Buna göre iyi tasarlanmış bir yolluk vakum uygulamasının etkinliğini arttırmaktadır.

Tablo 5. Makro porozite sonuçları

| Model | Değer (%) |
|----------------------|-----------|
| Yolluk I (Vakumsuz) | 0.38 |
| Yolluk I (Vakumlu) | 0.31 |
| Yolluk II (Vakumsuz) | 0.27 |
| Yolluk II (Vakumlu) | 0.08 |

Tablo 6’de mikro porozite sonuçları verilmiştir. II. tip yolluk tasarımının mikro porozite açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca vakum uygulanması ile sonuçların olumlu yönde etkilendiği söylenebilir. Makro porozite de olduğu gibi mikro porozite de vakum uygulaması II. tip tasarımda daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 6. Mikro porozite sonuçları

| Model | Değer (%) |
|----------------------|-----------|
| Yolluk I (Vakumsuz) | 0.59 |
| Yolluk I (Vakumlu) | 0.56 |
| Yolluk II (Vakumsuz) | 0.50 |
| Yolluk II (Vakumlu) | 0.40 |

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada otomotiv sektöründe çok sayıda üretilen pistonun iki farklı yolluk ve vakum tahliye sistemini içeren kalıp tasarımı ve simülasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Döküm simülasyon işlemleri Vulcan simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Her iki tasarım için vakumlu ve vakumsuz şartlarda simülasyon programı ile dolun analizi, katılma analizi, sıcaklık dağılımı, soğuk birleşmeler, son hava, malzeme akış hızları, makro ve mikro porozite analizleri yapılmıştır. II. tip yolluk ve vakum tahliye sistemi tasarımı I. tip tasarım ile kıyaslandığında tüm analizler için daha uygun sonuçlar vermiştir. Özellikle vakum uygulaması ile dolun süresinin kısaldığı, son hava, makro ve mikro porozite miktarlarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca malzeme akış hızı açısından II. tip tasarımın daha uygun olduğu gözlemlenmiştir. II. tip yolluk ve vakum tahliye sistemi ile kalıp dolun süresi 0.082 s

olarak belirlenmiştir. Dolum süresi üretilecek malzemenin hacmine bağlı olmakla birlikte literatürde benzer dolum süreleri tespit edilmiştir (Seo, vd., 2007a, 2007b; Jin ve Kang, 2011, 2012). Simülasyon sonuçlarında II tip yolluk tasarımı ve vakumlu şartlar için makro porozite % 0.08 ve mikro porozite % 0.40, elde edilmiştir. Huang, 2000; Jin ve Kang, 2011, 2012 tarafından yapılan çalışmalarda farklı enjeksiyon parametrelerine ve vakum uygulamasına bağlı olarak porozite oranları % 1-11 arasında tespit edilmiştir. Benzer şekilde çalışmamızda II tip yolluk tasarımı ve vakumlu şartlar için maksimum malzeme akış hızı 51.4 m/s olarak belirlenmiştir. Bu hız değerlerinin literatür ile uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir (Papia, 1994; Nahed, vd., 1998; Seo, vd., 2007a, 2007b; Jin ve Kang, 2011, 2012). Ayrıca II tip yolluk tasarımında soğuk birleşme ve son hava miktarlarında azalma gözlemlenmiştir. Bu çalışmaya göre yolluk tasarımı ve vakum uygulamasının üretilen parçanın mekanik, metalürjik ve boyutsal özelliklerine doğrudan etki ettiği söylenebilir.

Teşekkür

Bu çalışmayı 110M537 no'lu proje ile destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Aksoylu, B., Ensari, M.C. (2005). Basıncılı (Enjeksiyon) dökümde vakum uygulaması. Metal Dünyası, 148, 143-147.

Arda, İ., Kayıkcı, R. (2006). Döküm simülasyonu nedir? Ne değildir? Metal Dünyası, 154, 144-148.

Boydak, Ö., (2007). An Experimental and a numerical investigation of a high pressure die casting aluminium alloy. Boğaziçi Ü., Graduate program in mechanical engineering, Degree of Master, 121 s., İstanbul.

<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=7d53ed97e31a8bd39defac1ccce0a7189379b7e6db6923364ce259a3545a97fbd2f0f31436e188bc12558def74659f5d>

Çolak, M., Kayıkcı, R. (2005). Döküm simülasyon programları üzerine bir değerlendirme. Metal Dünyası, 189, 2-4.

(<http://malzemebilimi.net/forum/index.php?action=dlattach;topic=730.0;attach=85>)

Doehler, H.H. (1974). Basıncılı Döküm. Çeviren, Bayvas, M.Ş., Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, Etüd Ve Programlama Dairesi Yayınları No:80, Erkek Teknik Yüksek Öğretmen Okulu Matbaası, 514s, Ankara.

Flender, E., Hartmann, G. (2008). Modeling and simulation in high pressure die casting. Metalworld, 10-17. (<http://www.metalworld.co.in/coverstroy1008.pdf>)

Gözen A., (2007). Basıncılı döküm kalıplarında yolluk sistemlerinin tasarımı ve simülasyonunun incelenmesi. Yıldız teknik Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, makine müh. Anabilim dalı, 107 s., İstanbul.

(<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=7d53ed97e31a8bd32ee4d7d6ed88a2947700ff4011690b80fe6635941386add04e575b95c89e2da59c9f2d612249d490>)

Huang, Y. J., Hu, B. H., Pinwill, I., Zhou, W., Taplin, D.M.R., 2000. Effect of process

settings on the porosity levels of AM60B magnesium die castings. *Materials and Manufacturing Process*, Vol. 15, No:1, pp 97-105.

(<http://www.ntu.edu.sg/home/mwzhou/Papers/Huang%20et%20al%202000%20-%20Mg%20die%20casting%20process.pdf>)

Imwinkelried, T., Homberger, H. (2001). Mould fill simulation to improve the quality of a component. *Magnesium Industry*, 39-43.

(<http://www.esi-group.com/sites/default/files/resource/publication/1619/fmouldfillsimulation.pdf>)

İpek, O., Koru, M. (2010). Yüksek basınçlı döküm prosesinde kalıp sıcaklığına bağlı olarak döküm-kalıp ara yüzeyinde oluşan termal temas direncinin belirlenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 31, 1, 45-57. (<http://www.tibtd.org.tr/2011-1/45-57.pdf>)

Jin, C.K., Kang, C.G. (2011). Fabrication process analysis and experimental verification for aluminum bipolar plates in fuel cells by vacuum die-casting. *Journal of Power Source*, 196, 8241-8249. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775311010998>)

Jin, C.K., Kang, C.G. (2012). Fabrication by vacuum die casting and simulation of aluminum bipolar plates with micro-channels on both sides for proton exchange membrane (PEM) fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 32, 1661-1676. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319911024116>)

Kim, E.S., Lee, K.H., Moon, Y.H., (2000) A feasibility study of the partial squeeze and vacuum die casting process. *Journal of Materials Processing Technology*. 105, 42-48. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013600005574>)

Koru, M., (2009). Basınçlı Döküm Yönteminde Al-Si (A413) Alaşımının Termal ve Dinamik Parametrelere Bağlı Olarak Ara Yüzey Isı Transfer Katsayısının Deneysel ve Teorik İncelenmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2009, 157 s., Isparta.

(<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=7d53ed97e31a8bd312163230c464123fd620e8098e7a29d4d825f054c3fbb5e83f50e6bfebb6d64c>)

Marques, M.J. (2006). CAE Techniques for casting optimization. Instituto de Engenharia Mecanica e Gestao Industrial.

(<http://www.esi-group.com/sites/default/files/resource/publication/1617/finegi-ans.pdf>)

Nahed, A., El-Mahallawy, N.A., Taha, M.A., Pokora, E., Klein, F., 1998. On the influence of process variables on the thermal conditions and properties of high pressure die-cast magnesium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 73, 125-138.

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013697002215>)

Papia, J.P. (1994). Contact heat transfer coefficient in aluminum alloy die casting: an experimental and numerical investigation. Ph.D. Thesis, The Ohio State University, 285p.

Savaş, Ö., Kayıkcı, R., Cüceloğlu, E. (2005). Alüminyum-Silisyum alaşımlarının dökümünde mikro porozite probleminin incelenmesi. *Metal Dünyası*, 144, 119-123.

Seo, P.K., Kim, D.U., Kang, C.G., 2007a. The effect of the gate shape on the micro structural characteristic of the grain size of Al–Si alloy in the semi-solid die casting process. *Materials Science and Engineering*, A445-446, 20-30.

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509306012172>)

Seo, P.K., Kim, H.C., Kang, C.G., 2007b. Numerical integration design process to development of suspension parts by semi-solid die casting process. *Journal of Materials Processing Technology*, 183, 18-32.

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013606007898>)

Uludağ., A., (2007) Basınçlı döküm yönteminde kalıp sistem tasarımı ve simülasyon analizi., Yıldız teknik Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, makine müh. Anabilim dalı, 91 s., İstanbul. (<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=7d53ed97e31a8bd32ee4d7d6d88a2944f2439f3703800d5d7eb7215a66e08622ef68387da0845c3>)

Vinarcık, J.E. (2003). *High Integrity Die Casting Processes*. John Wiley&Sons, 223p, New York.

Yan, H., Zhuang, W., Hu, Y., Zhang, Q., Jin, H. (2007). Numerical simulation of AZ91D alloy automobile plug in pressure die casting process. *Journal of Materials Processing Technology*, 187-188, 349-353.

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013606010296>)

Yüksel, S., Göloğlu C. (2009). Metal enjeksiyon kalıplamada yolluk tasarımı sistematığı. 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük Üniversitesi, Karabük.

(http://iats09.karabuk.edu.tr/press/bildiriler_pdf/IATS09_05-07_1503.pdf)