

OPTICast Yazılımı ile Döküm Endüstrisinde Kalıplama Tasarımı Optimizasyonu Uygulaması

Application of Moulding Design Optimization in Casting Industry with OPTICast Software

Murat ÇOLAK*

Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bayburt, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 14.02.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.04.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 20.04.2020

Öz

Döküm yöntemi, en eski imalat yöntemlerinden bir olup aşamalı bir süreci kapsamaktadır. Bu süreçlerin ilki model geometrisi tasarımı ve gerekli malzeme özelliklerini sağlayacak mühendislik alaşımı seçimidir. Bu aşamalardan malzeme seçimi Dökümcüyü doğrudan ilgilendirmemekle birlikte, dökümcünün asıl vazifesi belirlenen alaşım ile kalıp boşluğuna düzgün bir şekilde doldurulabilmesinden, katılaşmanın tamamlanmasına kadar geçen sürecin kontrolü ve sağlam parça imalatıdır. Parçaların yolluk ve besleyicilerinin bütünleştirilmiş hali olarak adlandırılan kalıplama tasarımı özellikle karmaşık kesitli geometriye sahip parçalarda oldukça zordur. Bu sebeple gelişen bilgisayar teknolojilerinin döküm endüstrisine adaptasyonu sonucu kalıplama tasarımları döküm simülasyonu adı verilen bilgisayar teknolojileri ile modellenebilmektedir. Döküm simülasyon programları ile herhangi bir alaşımın dolun, katılaşma ve soğuma aşamaları modellenebilmektedir. Böylece bütün tasarım süreci bilgisayar üzerinde gerçekleştirilebilmekte, model hazırlanması, kalıplama ve döküm için enerji, maliyet ve zaman kaybı ortadan kaldırılabilmektedir. Özetle; deneme ve yanılma süreci bilgisayar üzerinde yapılabilmesi sonucu belirlenen tasarıma uygun olarak ilk dökümde sağlam parça imalatı mümkün hale gelmiştir. Günümüz yoğun rekabet ortamında, döküm üreticilerine, parçayı sağlam imal etmenin yanı sıra, kaliteyi arttırmak, maliyeti düşürmek ve teslimat gecikmelerini önleme konusunda kolaylık sağlamaktadır. Özellikle üretim adetlerinin çok fazla olduğu otomotiv endüstrisinde de dökümhaneler için bu yazılımlar başarının anahtarı haline gelmiştir. Bu çalışmada SOLIDCAST döküm simülasyon programına bütünlük olarak çalışan OPTICAST modülü ile besleyici optimizasyonu uygulamalı olarak örnek bir parça üzerinde açıklanarak, optimizasyon tekniğinin sağladığı avantajlar değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Besleyici Optimizasyonu, Döküm Simülasyonu, Kalıplama Tasarımı, OPTICAST

Abstract

The casting method is one of the oldest manufacturing methods and it is a gradual process. The first of these processes is the design of model geometry and engineering alloy design to provide the required material properties. Although the choice of materials from these stages is not directly related to the foundry, the main task of the foundry man is the control of the process from solid filling into the mold cavity with the specified alloy and completion of solidification and production of solid parts. The molding design, which is referred to as the integrated form of the runners and feeders of the parts, is particularly difficult in parts with complex cross-section geometry. The molding design, which is called the integral of the runners and feeders of the parts is particularly difficult in parts with complex cross-section geometry. For this reason, as a result of adaptation of the developing computer technologies to the casting industry, molding designs can be modelled by computer technologies called casting simulation. Filling, solidification and cooling stages of any alloy can be modelled by casting simulation programs. Thus, the whole design process is carried out on the computer. energy consumption, cost and time loss for model preparation, molding and casting can be reduced. In summary, with carrying out the trial and error process on the computer, at the first casting, it has become possible to manufacture accurate solid parts. In today's intensely competitive environment, in addition to the sound manufacturing of the parts to the casting producers, it is also easier to increase the quality, reduce the cost and prevent delivery delays. Especially in the automotive industry where the production quantities are very high, these software have become the key to success for the foundries. In this study, by using OPTICAST module which is integrated with SOLIDCAST casting simulation program, nutritional optimization has been explained on a sample piece and advantages of optimization technique have been evaluated.

Keywords: Feeder Optimization, Casting Simulation, Mold Design, OPTICAST

* Murat ÇOLAK; mcolak@bayburt.edu.tr, Tel: (0458) 211 11 52-1645, orcid.org/0000-0002-8255-5987

1. Giriş

Döküm; metal şekillendirme yöntemleri arasında birçok avantajlı yönü sayesinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Döküm yöntemiyle üretilecek parçalarda ağırlık ve şekil sınırlaması yok denecek kadar azdır ve diğer birçok yöntem göre ekonomiktir (Arda ve Kayıkcı, 2006). Döküm yöntemi ile parça üretimi model tasarımı, alaşım tasarımı ve kalıbın eksiksiz bir şekilde dolumu ve katılmasını içeren çok aşamalı bir süreçtir. İlk olarak dökülecek parçanın çekme, işleme, kalıptan çıkma eğimi, keskin köşelerin pah kırılması gibi faktörler göz önüne alınarak model geometrisi tasarlanmalıdır. Parçanın kullanılacağı yerde gerekli özelliklerine bağlı olarak mühendislik alaşımı tasarlamakta dökümcünün doğrudan vazifesi olmamakla birlikte sürecin ilk aşamasında yer almaktadır. İkinci aşama ise doğrudan dökümcüyü ve parçanın sağlam imalatını ilgilendirmektedir. Bu aşamada; ergiyik metalin yolluktan kalıp boşluğunu eksiksiz bir şekilde doldurulabilmesini ve katılma sırasında parça üzerinde boşluksuz bir döküm elde etmek ve katılma yönlenmesini sağlayan kalıplama sistemi tasarımı olarak adlandırılan yolluk ve besleyici tasarımıdır (Campbell, 1991; Chvorinov, 1940; Çolak ve Kayıkcı, 2009; Franssman, 2007; Guleyupoglu, 1997). Döküm yöntemi ile sağlam parça imalatı için tasarım süreçleri oldukça önemlidir (Akar, 2018). Kalıplama tasarımı model geometrisine bağlı olarak, özellikle karmaşık kesitlerde oldukça zordur ve tasarım esnasında birçok faktörün göz önüne alınarak katılma yönlenmesinin sağlanması gerekmektedir. Bu durum tasarım anlamında yoğun bilgi ve beceri gerektirmesinin yanı sıra bazen parça geometrisine bağlı olarak zor durumda kalınmasına sebep olmaktadır. Bilgisayar teknolojilerinde gelişmelere de bağlı olarak tasarımda yardımcı olması amacıyla döküm proseslerinin modellenmesi için Döküm simülasyon yazılımları geliştirilmiştir. Bu yazılımlar ile döküm parçaların tasarımı yapılarak mevcut tasarım ile döküm yapılması durumunda ortaya çıkması muhtemel sonuçların tahmin edilebilmesi mümkün hale gelmiştir (Hsu vd, 2006; Kayıkcı, 2008; Kayıkcı ve Çolak, 2007).

Döküm proseslerinin modellenmesi, dökümhane ortamında fiziksel olarak gerçekleştirilen işlemlerin, bilgisayar ortamına aktarılması için gerekli bir matematiksel yöntem olup, kalıp dolumundan katılmanın tamamlanmasına kadar geçen tüm süreç hakkında doğru tahmin yapabilmesi için gerekli bir yöntemdir. Böylece bu yazılımlar ile imalatı gerçekleştirilecek döküm parça için hangi ebatla kaç besleyici gerekli olduğu

ve besleyicilerin nerelere konulması gerektiğinin belirlenebilmesi mümkündür. Böylece kalıplama tasarımı bilgisayar üzerinde yapılabilir. Kalıplama tasarımı yapılan parçanın bilgisayar üzerinde modellenmesi ile ilgili tasarım sonucunda ortaya çıkması muhtemel çekinti riskleri tespit edilebilir. Gerekli durumlarda bilgisayar üzerinde revizyon yapılarak en optimum tasarıma ulaşmak mümkün olabilir. Bu sonuçlardan faydalanarak gerekiyorsa tasarımda revizyon yapılabilir. Bu durum sadece tasarımın hatalı üretimde değil optimum besleyici ebatlarına ulaşmada da geçerli olmakta ve optimizasyon işlemi belirlenen sınır şartlarına bağlı olarak otomatik olarak yapılabilmektedir. Böylece döküm parça imalatı için verim değeri artırılmış ve ilk seferde başarılı sonuçlar elde edilmiş olur. İlk seferde hurda üretim yapmadan uygun üretim sayesinde müşterilere gecikmesiz teslimat ve döküm parça servis süresince yüksek kalite ve maliyette avantajlar sağlanması da yazılımın firmaya kazandırdığı diğer artılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bütün bu avantajlarının yanında en önemlisi de üretime geçmeden tüm bu durumları bilgisayar üzerinde öngörebilme imkânı vermektedir (Hsu vd, 2006; Kayıkcı, 2008; Kayıkcı ve Akar, 2007; Kayıkcı ve Çolak, 2009; Ransing, 2004; SOLIDCast, 2016; Stefanescu, 2005; URL-1, 2019).

Döküm simülasyon yazılımları bu avantajlarından dolayı döküm sektöründe oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmış ve birçok firma için başarının kilit faktörü olmuştur. Bu sebeple başta yüksek kaliteli döküm üreticilerinin ekonomik çözümler ve zamanında teslimat için döküm simülasyon yazılım kullanımına önem verdiği bilinmektedir. İlgili yazılımların doğruluğunun testi ve belli özelliklerinin geliştirilmesine yönelik yapılan birçok akademik çalışmada literatürde yer almaktadır (Campbell, 1991; Kayıkcı ve Akar, 2007; Kayıkcı ve Çolak, 2009; Ransing, 2004; SOLIDCast, 2016). Ülkemizde de farklı alaşım ve döküm yöntemlerinin uygulandığı, imalata uyarlanmış örnekleri ile sektöre döküm simülasyon yöntemlerinin avantajları vurgulandığı çeşitli çalışmalar mevcuttur (Çolak, Arslan ve Gavgalı, 2018; Kuru ve Serçe, 2015).

Piyasada birçok döküm simülasyonu programı mevcut olup bunların içerisinde SOLIDCast yaygın kullanım bulan yazılımlardan biridir. SOLIDCast döküm simülasyon yazılımı metaldeki hacimsel değişiklikleri, Sonlu Farklar Metodu ile hesaplamaktadır. Isı taşınım hesaplamaları metodu ile dökümün katılma ve soğumasındaki hacim değişimleri ve sıcaklık tahminleri yapılmaktadır.

Yazılım sayesinde döküm parçada ortaya çıkacak makro porozite, mikro porozite, katılaşma yönlenmesi, sıcaklık dağılımı, kalıp dolumu tahmini yüksek doğruluk oranlarında gerçekleştirilebilmektedir.

OPTICast, SOLIDCast katılaşma sistemiyle birlikte çalışan sisteme bütünleşik bir optimizasyon modülüdür. OPTICast ile simülasyon işleminde kalıplama tasarımının optimizasyonu gerçekleştirilir. Kullanıcı tarafından belirlenen kısıtlama değerlerine göre yapılan bir dizi simülasyonu kapsayan ve tamamı otomatik olarak yapılan model değişiklikleri ile simülasyon sonuçları değerlendirilir, istenen başarıya ulaşıncaya kadar simülasyona devam edilir. Böylece optimum kalıplama tasarımı en ekonomik şekilde gerçekleştirilir. Bu çalışmada SOLIDCast döküm simülasyon programına bütünleşik olarak çalışan OPTICast modülü ile besleyici optimizasyonu uygulamalı olarak örnek bir parça üzerinde açıklanmıştır.

2. OPTICast Döküm Besleyici Optimizasyon Modülü

Günümüz yoğun rekabet ortamında özellikle parça adetlerinin çok fazla olduğu Otomotiv endüstrisinde kalıplama tasarımında besleyicinin optimize edilmesi oldukça önemlidir. Mevcut döküm simülasyon yazılımlarının çalışma mantığını değerlendirdiğimizde tasarımın uygunluğuna, simülasyon sonuçlarının dökümhane mühendisi tarafından analiz edilmesine bağlı olarak karar verilmektedir. Ancak bu durumda yine dökümhane mühendisinin bilgi ve tecrübesi ön planda olmakta ve en doğru karar verilemeye ihtimali ortaya çıkmaktadır. Kalıplama tasarımı yapıldığında yeni bir yaklaşım olarak OPTICast modülü ile besleyicileri daha da azaltıp yine de sağlam parça imalatının mümkün olup olmadığının belirlenmesi ile verim artırılabilir.

OPTICast modülü kalıplama tasarımı tamamlanmış sistemde belirlenen sınır şartlarına göre en optimum besleyici ebatlarını bulmamızı sağlayacak SOLIDCast simülasyon sistemine bütünleşik çalışan bir yazılımdır. Kalıplama tasarımında “Optimum” dediğimiz zaman, en düşük maliyette en yüksek kalitede döküm ifadesi anlaşılmaktadır. Farklı bir ifadeyle optimizasyon, belirli bir soruna “en iyi” çözümü bulmak için matematiksel bir yöntemdir. Böylece optimizasyon sistemi;

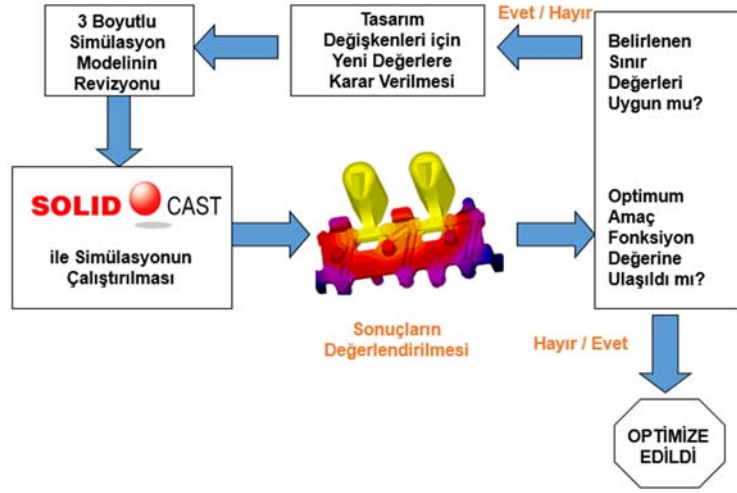
- Bir tasarım çözümü arayışını otomatik hale getirir,

- Mühendis yoğun bilgi beceri gereksinimini azaltır,
- Daha tekrarlanabilir bir tasarım süreci sağlar.

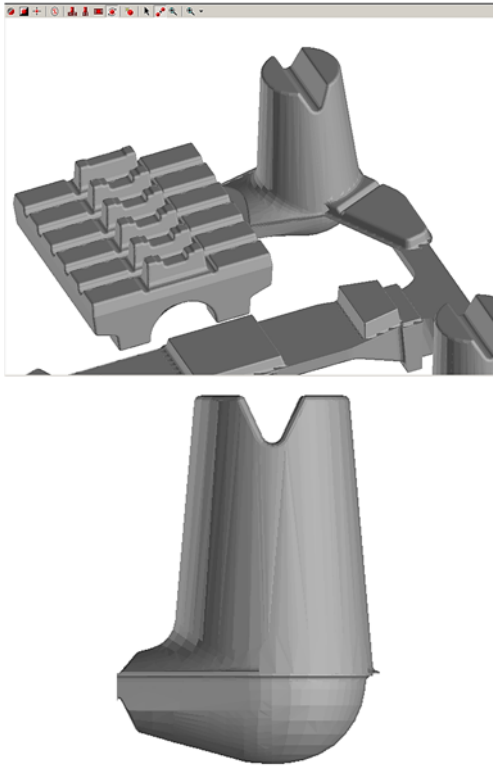
Optimizasyon için Gerekli Adımları şu şekilde sıralamak mümkündür;

1. İlk olarak sağlam imalatın gerçekleştirileceği bir kalıplama tasarımı geliştirilmelidir.
2. Parametreleri ve sınır değerlerinin tanımlanması gerekmektedir. Bunlar;
 - Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi: Bunlar, bilgisayar optimum bir süreç tasarımı ararken değişiklik gösterebilecek olan öğelerdir. Örneğin, besleyicinin yüksekliği ve çapı, dökümdeki belirlenen bir özellik boyutu, döküm sıcaklığı, kalıp ön ısıtma sıcaklığı vb.
 - Kısıtlamaların Belirlenmesi: Kısıtlamalar, tasarımın uygunluğunu belirleyen unsurlardır. Örneğin, makro veya mikro porozite kabul seviyesi, verim yüzdesi, minimum soğutma hızı, minimum termal gradyan vb.
 - Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması: Amaç, en üst düzeye çıkarmak veya küçültmek için çalıştığınız işlemdir. Örneğin; verim yüzdesini en üst düzeye çıkartılması, porozite seviyesinin en aza indirilmesi, yönlü katılaşmanın en üst düzeye çıkarılması vb.
3. Optimizasyonun Başlatılması: Optimizasyonun başlatılmasıyla; optimizasyon motoru, bir dizi proses modeli oluşturmak için tasarım alanı içerisindeki her tasarım değişkenini modeller. Her tasarım, herhangi bir kısıtlamayı ihlal edip etmediğine göre değerlendirilir. Daha sonra her tasarım, yakınsama kriterlerinin kullanılması yoluyla hedef fonksiyonun gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğini belirlemek için değerlendirilir. Şekil 1’de OPTICast modülünün çalışma döngüsü şematik olarak verilmiştir.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan örnek bir parça üzerinde OPTICast ile optimizasyon uygulaması yapılmıştır. İlk aşama olarak örnek parça için kalıplama tasarımı yapılması gerekmektedir. Şekil 2’de parça kalıplama tasarımının SOLIDCast ekranında bir görünümü verilmiştir. Mevcut tasarımda besleyici yüksekliği 92 mm ve yüksekliği 175 mm olarak tasarım gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. OPTICast modülünün çalışma döngüsü

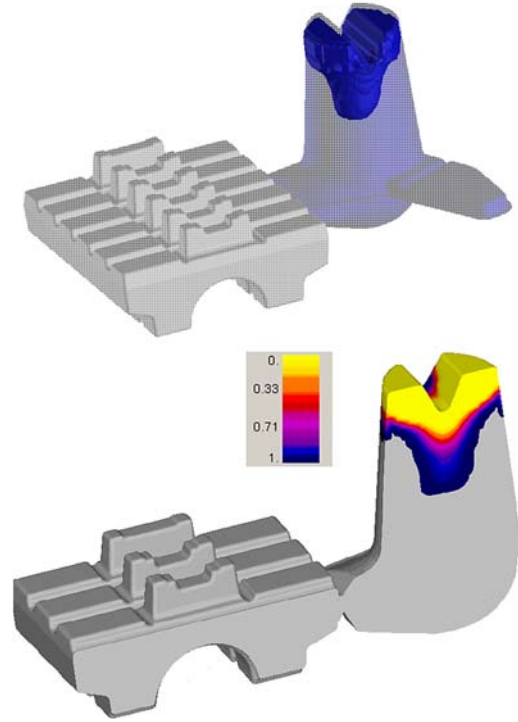


Şekil 2. Örnek parça kalıplama tasarımı ve besleyici yan görüntüsü

Mevcut tasarıma ait modelleme sonucu simülasyon sonuçlarından alınan makro porozite görüntüsü Şekil 3'de verilmektedir. Şekil incelendiğinde parça üzerinde herhangi bir çekinti riski oluşmadığı ve tüm çekinti risklerinin besleyici de olduğu gözlenmektedir.

Mevcut tasarımın makroporozite açısından uygun olduğu ve tasarım şartlarına uygun yapılacak dökümlerde sağlam parça imalatının gerçekleşeceği anlaşılmaktadır. Modelleme sonuçlarında kalıplama tasarımında döküm üzerinde gözenek riski gözükmemesi besleyicinin

uygun olduğu ya da en uygun besleyici olduğu anlamına gelmeyebilir.



Şekil 3. Mevcut tasarım makro porozite görüntüsü analizi sonuçları

Bu sebeple besleyici optimizasyonu yapılması gerekmektedir (Kara vd., 2017; Kahraman, 2013; Özaydın, Armakan ve Özdemir, 2018). Bu sebeple akla gelen sorulara cevap aranmalıdır. Bu tasarım optimum tasarım mıdır? Besleyici ağırlığı azaltılırsa yine de döküm için yeterli besleme sağlanabilir mi? Bunun cevabını vermek için OPTICast modülü kullanılacak ve mevcut tasarıma optimizasyon çalışmaları yapılacaktır. Bunun için OPTICast içerisinde optimizasyon yapmak için üç parametreyi tanımlamamız gerekmektedir;

- **Tasarım Değişkenleri:** Optimizasyon çalışması sırasında optimizatörün değişmesine izin vereceğimiz tasarımın herhangi bir yönüdür. Bu çalışmada besleyici yüksekliği ve çapı değişken olarak ayarlanmıştır.
- **Kısıtlamalar:** Tasarımın kabul edilebilir olup olmadığını, uygunluğunu belirleyen bir çıktıdır. Burada makro porozite değerini kısıtlama olarak ayarlıyoruz. Porozite, dökümdeki minimum yerel malzeme yoğunluğu göz önüne alınarak ölçülür. Kısıtlama değeri, döküm gözenekliliğine izin verilmediğini belirten 0.995 – 1.0 olarak ayarlanır.
- **Amaç fonksiyonu:** Hedef Fonksiyon, elde etmeye çalıştığımız sonucu ölçen bir simülasyon çıktısıdır. Burada besleyici ebatlarının düşürülerek verimin artırılması hedeflenmiştir. Verim, döküm parça ağırlığının, toplam döküm besleyici ağırlığına bölünmesiyle bulunmaktadır.

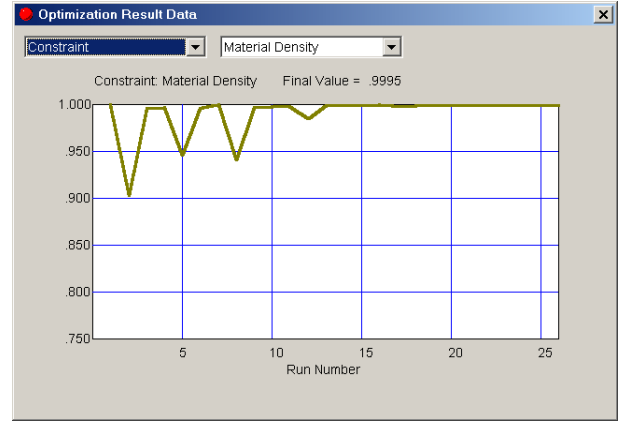
Optimizasyon için parametreler belirlendikten sonra simülasyon çalıştırılmıştır. Program belirlenen parametrelere göre otomatik olarak simülasyonlar yapar ve optimum sonucu bulana kadar çalışmaya devam eder.

4. Optimizasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Örnek parça için besleyici optimizasyonunda program tarafından 26 simülasyon gerçekleştirilmiştir. Şekil 4’de verim fonksiyon grafiği verilmiştir. Bu grafik, verim fonksiyonunun ilerleyen değerini 26 simülasyon üzerinde göstermektedir. Grafik incelendiğinde mevcut tasarımın verim değeri % 60 iken 26 simülasyon sonunda verim değerinin %12 artarak % 72’ye çıktığı görülmüştür.

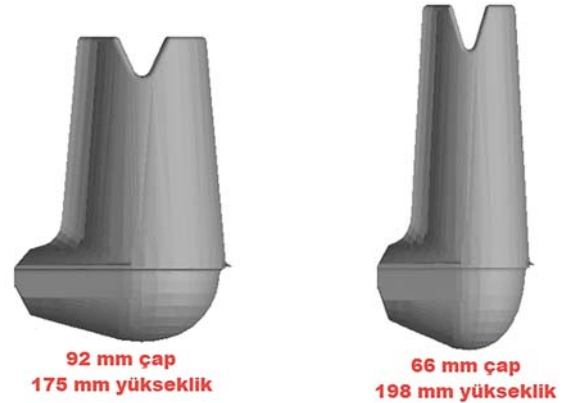


Şekil 4. Optimizasyon verim fonksiyon grafiği



Şekil 5. Optimizasyon gözeneklilik grafiği

Optimizasyon çalışmaları sonucu, besleyici çapı küçülmüş ve yüksekliği artmıştır. Şekil 6’da optimize mevcut tasarım ve optimizasyon sonucu elde edilen besleyiciler görülmektedir. Mevcut tasarımda besleyici çapı 92 mm ve yüksekliği 175 mm iken optimizasyon sonucu besleyici ebatları 66 mm çap ve 198 mm yükseklik şeklinde belirlenmiştir.



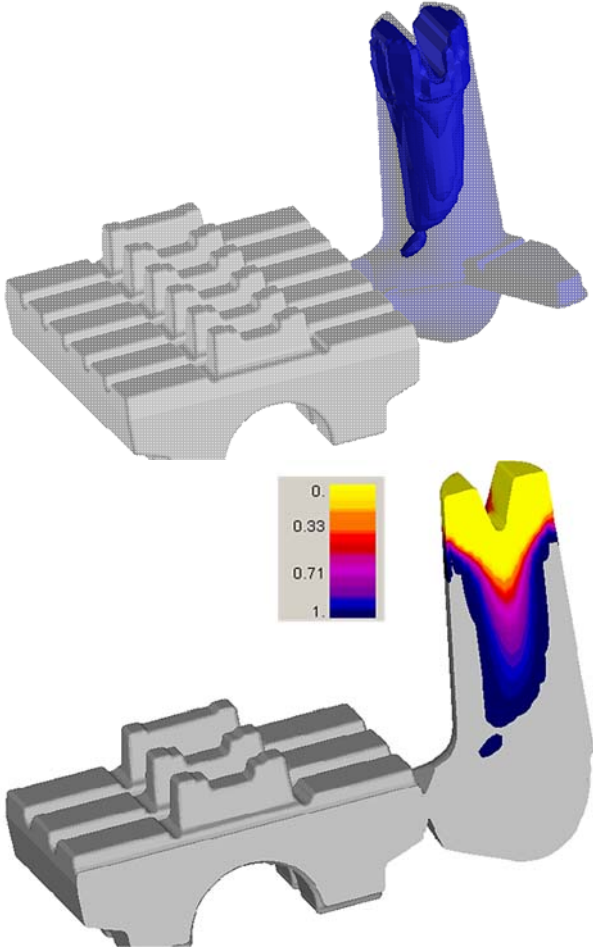
Şekil 6. Besleyici ebatları ve karşılaştırılması

Optimize edilmiş kalıplama tasarımının, dökümün düzgün bir şekilde beslenmesi için yeterli büyüklükte ve kütleyle sahip olduğu simülasyon sonuçlarından anlaşılmaktadır. Şekil 7’de optimize edilmiş revize tasarıma ait makroporozite riski analiz sonuçları verilmiştir.

5. Sonuçlar

Kalıplama tasarımı SOLIDCast döküm katılaştırma modellemesi yazılımı ile tamamlanmış örnek parça için OPTICast modülü ile optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Belirlenen sınır değerlerine göre istenen hedeflere uygun olarak yapılan optimizasyon çalışması çok pratik ve otomatik olarak yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Program tarafından belirlenen değerlere ulaşmak için optimizasyonun başlatılmasının akabinde 26

simülasyon otomatik olarak yapılmıştır. Sonuç olarak besleyici boyutu 92 mm çap ve 175 mm yüksekliğe sahip iken optimizasyon sonucu 66 mm çap ve 198 mm yüksekliğe optimize edilmiştir.



Şekil 7. Optimizasyon sonucu revize edilmiş tasarıma ait makro porozite riski analizi sonuçları

Optimizasyon sonucu besleyici ağırlığı 16.03 kg ağırlıktan 9.69 kg ağırlığa düşürülmüş ve kalıplama tasarımının verimi %60'dan %72'ye çıkarılmıştır. Böylece kalıp başına % 12 verim elde edilmiştir. OPTICast modülü ile pratik bir şekilde sağlanan optimizasyon ile birlikte toplamda adet miktarlarına bağlı olarak çok ciddi tasarruf sağlanması mümkündür. Ayrıca, döküm simülasyon yazılımları; bütün tasarım sürecini bilgisayar ortamında yapılmasına olanak verdiği için sipariş değerlendirme aşamasında etkili teklif ve değerlendirmeye olanak vermektedir. Bu sebeple rekabet ortamında özellikle otomotiv endüstrisi imalatçılarının bu programlardan yararlanmaları faydalarına olacaktır.

Kaynaklar

Akar, M., 2018. Döküm Hatalarının Önlenmesi için Tasarım Yöntemleri. Tezsiz Yüksek Lisans

Dönem Projesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli, 96-115.

Arda, İ. ve Kayıkcı, R., 2006. Döküm Simülasyonu Nedir? Ne Değildir?. Metal Dünyası. 154, 44-48

Campbell, J., 1991. Casting, Heinemann Ltd, Oxford,

Chvorinov, N., 1940. Theory of Solidification of Castings. Giesserei. 27, 177- 225.

Çolak, M. ve Kayıkcı, R., 2009. Döküm Simülasyon Programları Üzerine Genel Bir Değerlendirme. Metal Dünyası. 189, 2-4

Çolak, M., Arslan, İ. ve Gavgalı, E., 2018. Gri Dökme Demirlerin Katılma Modellemesi ve Gerçek Dökümler İle Karşılaştırması. Engineering Sciences. 13(4), 280-290. doi: 10.12739/NWSA.2018.13.4.1A0419

Franssman, H., 2007. Hızlı ve Doğru Yolluk ve Besleyici Dizaynı için Döküm Simülasyon Programlarının Pratik Kullanımı. Metal Dünyası. 164, 30-31.

Guleyupoglu, S., 1997. Casting Process Design Guidelines. AFS Transactions. 83, 869-876.

Hsu, F.Y., Jolly, M.R. and Campbell, J., 2006. Vortex-Gate Design for Gravity Casting. International Journal of Cast Metals Research. 19(1), 38-46.

Kara, A., Çubuklusu, H.E., Topçuoğlu, Ö.Y., Çe, Ö.B., Aybars, U., Kalender, C., 2017. Alüminyum Alaşımli Jantların Tasarım ve Ağırlık Optimizasyonu. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 23(8), 957-962. doi: 10.5505/pajes.2017.34356

Kahraman, H., 2013. Dökümlerde Besleyici İşlevinin Süreç Benzeşimi ile Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir, 22-26.

Kayıkcı, R., 2008. Büyük kütleli Bir Çelik Parçanın Dökümünde Klasik ve Bilgisayar Destekli Mühendislik Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University. 23(2), 257-265

Kayıkcı, R. ve Akar, N., 2007. Farklı Kesit Kalınlıklarına Sahip Büyük Hacimli Bir Çelik Dökümünün Simülasyon Teknikleriyle Tasarlanması. Politeknik Dergisi 10(4), 214-227. doi: 10.2339/2007.10.4.395-401

Kayıkcı, R. ve Çolak, M., 2009. Kuma Dökülen Etial160 Alüminyum Alaşımında Tane İnceltmenin Beslenebilirlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 5th. International Advanced Technologies Symposium, Mayıs 2009, Karabük, Türkiye, 512-518.

Koru, M., Serçe, O., 2015. Yüksek Basıncılı Döküm Prosesinde Enjeksiyon Parametrelerine Bağlı Olarak Döküm Simülasyonu. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi. 36(5), 1300-1949. doi: 10.17776/csj.51962

Özaydın, O., Armakan E., Özdemir, K., 2018. Jant Kolu Arkası Boşluğunun Parametrik Tasarımı ve Optimizasyonu, 10. Uluslararası Döküm Kongresi, Ekim 2018, İstanbul, Türkiye.

Ransing, R.S., 2004. Review of Optimization Methods for Casting Simulation, JOM, 56(11), 250-253.

SOLIDCast, 2016. Training Course Workbook. SOLIDCast Version 8.2.5.

Stefanescu, D.M., 2005. Computer Simulation of Shrinkage Related Defects in Metal Castings – a Review. International Journal of Cast Metals Research. 18(3), 129-145.

URL-1, <http://www.finitesolutions.com>. 15 Aralık 2019.