

Yücel Aydoğan 

Özlem Karataş Ertan 

Pınar Döküm A.Ş.  
İzmir

#### Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 05-04-2021

Kabul: 23-12-2021

\*Sorumlu Yazar: Yücel AYDOĞAN

Email: aydoganyucel35@gmail.com

# Az Alaşımlı Çelikten Üretilen Yatak Başlığının Kum Kalıba Döküm Optimizasyonu

Günümüzde çelik döküm endüstrisinde yüksek kalite ve minimum parça maliyeti ile üretim yapabilmek için teknolojik gelişmeleri yakından takip etmek diğer firmalarla rekabet edebilmek açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle parça verimliliğinde önemli rol oynayan besleyici ve yolluk tasarımlarını optimum seviyede tutarak rakip firmalardan bir adım öne geçmek için döküm simülasyon yazılımları kullanılmaktadır. Bu çalışmada MAGMASOFT® döküm simülasyon programına bütünleşik olarak çalışan OPTİMİZASYON modülü ile besleyici tasarımı uygulamalı bir örnek parça üzerinde açıklanarak, optimizasyon çalışmasının avantajları paylaşılacaktır.

*Anahtar Kelimeler: Döküm Simülasyonu, Besleyici Dizaynı, Çekinti, Deneysel Tasarım, Optimizasyon*

*Atf şekli/How to cite: Aydoğan, Y., Karataş Ertan, Ö., Az Alaşımlı Çelikten Üretilen Yatak Başlığının Kum Kalıba Döküm Optimizasyonu, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 20 (2022) 2, 12-15.*

## GİRİŞ

Bir döküm metodunun modeli, kalıp sistemini geliştirmek için önemlidir. Kalıp, ayırma yüzeyi, maçalar, kalıptaki boşluk düzeni, besleyiciler ve yolluk sistemi ile ilişkilidir. Uygun olmayan bir yöntem metodu seçildiğinde, düşük kaliteye veya düşük verime yol açarak üretim maliyetlerini etkiler [1]. Döküm yöntemi kullanılarak model tasarımı, alaşım tasarımı, kalıbın sıvı metalle doldurulması ve katılaşmasıyla bir parça üretimi gerçekleşir. Her alaşımın farklı model çekmesi mevcuttur. İlk olarak alaşımın model çekmesi göz önünde bulundurularak gerekli pahlar, çıkma açıları ve işleme yüzeylerine işleme payları verilerek model geometrisi tasarlanır. İkinci olarak modeli tamamlanan parçada boşluksuz bir döküm elde etmek için gerekli besleyici ve yolluk tasarımının yapılmasıyla parçanın kalıplanması tamamlanır. Son olarak da doğrudan dökümcünün sorumluluğunda olan ergiyik metalin yolluktan kalıp boşluğunu eksiksiz doldurmasıyla son bulur [2-3]. Döküm yöntemi ile karşılaşılabilecek döküm hatalarını minimize etmek için bazı kurallar vardır. Öncelikle kalıba sıvı metali türbülans oluşturmayacak şekilde doldurmak ve kalıp içerisinde gazların ve havanın sıkışmamasını sağlamaktır. Döküm kalıbını tasarlarken karmaşık dizaynlardan kaçınılmalıdır. Döküm sonrası kesilerek atıl duruma düşecek olan yolluk, çıkıcı ve besleyici gibi döküm çapaklarının kolayca temizlenebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Keskin kenar ve köşelerden uzak durulmalıdır.

Parçada sıcaklı dağılımı ve katılaşmanın düzgün olması gerekmektedir [4].

Metal döküm işlemlerinde her şey aynı anda gerçekleşir. Bir işlem parametresinin değiştirilmesi, son döküm kalitesi üzerinde birçok farklı etkiye neden olabilir. Bu, aynı anda kalite ve ekonomik hedeflerin peşinden giderken, nihai bileşenin kalitesini gerçek dünyadaki denemelere dayalı olarak değerlendirerek döküm sürecini manuel olarak optimize etmeyi zorlaştırır. Bu, özellikle metalürjiden döküm yoluyla, ısıl işlem, ve talaşlı imalata kadar gerekli kaliteyi elde etmek için mikroyapılar ve özellikleri ve çoklu üretim aşamaları ile elde edilen kalitelerin yenilmez çeşitliliği ile çelik dökümler için geçerlidir. Geliştirilen döküm simülasyon programları tüm parametreleri bir arada değerlendirmeye ve döküm gerçekleşmeden inceleme fırsatı tanımaktadır [5].

Dünya çapında kullanılan pek çok döküm simülasyon programı mevcuttur. P. Lan 3D FEM simülasyon programı ile dökümde oluşabilecek hataları ön görmeyi hedeflemiştir [6]. Ayrıca Chao L. MAGMASOFT® ile dolum ve katılaşma simülasyonları ile döküm hatalarını optimize etmiştir [7].

Bu çalışmada, malzemelerin model ve yolluk tasarımları Solidworks CAD programı ile çizimi gerçekleştirilmiş ve döküm simülasyon programı olan MAGMASOFT® programına aktarılmıştır. Parçaya

önce katılma simülasyonu yapılarak yapılabilecek dizaynlar belirlenmiştir. Bu dizaynlar parçada minimum hata ve maksimum verim sağlanacak şekilde optimize edilmiştir. Daha sonrada optimize edilmiş tasarım reelde uygulanarak ortaya çıkan kalite test sonuçları paylaşılmıştır.

## MATERYAL VE METOD

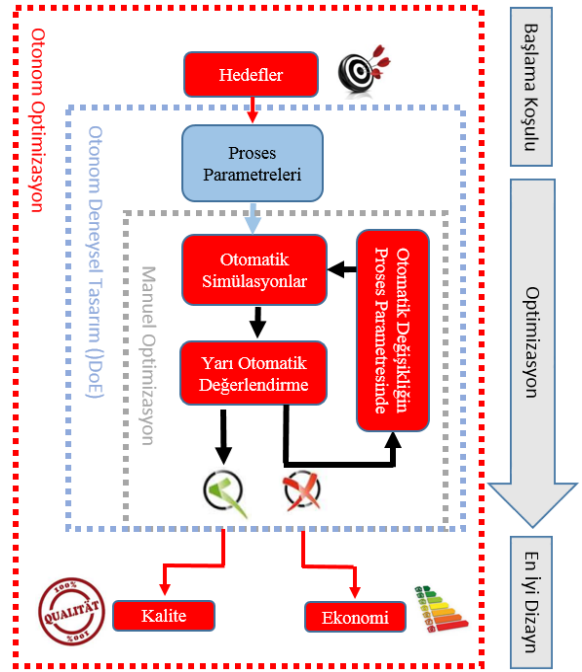
Bu çalışmada önceden kararlaştırılmış bir dizi proses koşulu ve belirli bir döküm düzeni için beklenen kaliteyi teyit etmek için MAGMASOFT® simülasyon programını kullanılmıştır. Solidwork CAD programı ile çizilmiş 3 boyutlu parça STL formatında simülasyon programına aktarılmıştır. Mesh yapılandırma otomatik olarak uygulanarak sonlu elemanlar çözümü için gerekli kontrol elemanları elde edilmiştir. Döküm sıcaklığı, süresi ve kalıp kumu sisteme kullanıcı tarafından girilmiş olup diğer malzeme verileri veri tabanından direkt okutulmuştur. MAGMASOFT® yazılımı sisteme girilen veriler kullanılarak parça dolunu ve daha sonra katılmasını yaparak bize sonuçlar kısmında çekinti, sıcak bölge ve Niyama kriteri gibi bir takım sonuçlar vermektedir.

Döküm çalışmaları 2,5 ton kapasiteli indüksiyon ergitme ocakları ve reçneli kum kalıplama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Bugüne kadar, döküm prosesi simülasyon araçları seçilen bir dizi işlem parametresini onaylamak ve belirli bir döküm düzenini değerlendirmek için uzmanlar tarafından kullanılmıştır. Daha sonra, akıllarındaki hedeflere ulaşmaya yaklaşmak için yolluklar, parçaya girilen memeler gibi proses parametrelerinde veya geometrilerde manuel olarak değişiklikler yaparlar ve kabul ettikleri bir çözüm bulana kadar bu işlemi tekrarlarlar. Bu adım adım yaklaşım manuel optimizasyon olarak tanımlanabilir (Şekil 1)

MAGMASOFT®'da bu dahili döngü (gri) artık tam otomatiktir. Değişken geometrinin ve proses parametrelerinin önceden tanımlandığı (mavi) özerk bir deney tasarımı (otonom DOE) kurarak genişletilebilir. Bu, örneğin besleyicilerin sayısının, konumunun ve boyutunun değiştirilmesi veya işlemle ilgili parametrelerin değiştirilmesi veya metal kimyasının değiştirilmesi gibi otomatik olarak çalıştırılabilen bir dizi tasarımlar oluşturur. Her sanal döküm denemesi veya tasarımı için program, tanımlanan kalite kriterlerini otomatik olarak değerlendirir. Hedefleri entegre etmek, simüle edilmiş tasarımların bazen çatışan hedeflere nasıl katkıda bulduklarına göre otomatik olarak değerlendirildiği tam bir otonom optimizasyona (kırmızı) yol açar. Tıpkı günlük işlerindeki metal dökümcü gibi, bu da programın döküm ve işlemdeki farklı talepler arasında

uzlaşmalar bulması gerektiği anlamına gelir (örneğin, kabul edilebilir bir verimi korurken kritik gözeneklilikten kaçınmak). Program, genetik algoritmaları ve istatistiksel araçları kullanarak, çelişen hedefleri eşzamanlı olarak takip edebilir.



Şekil 1. En iyi sonucu elde edebilmek için çeşitli optimizasyon metodolojileri

Aşağıda DIN EN 10293'e göre GS20Mn5 malzemesiyle ürettiğimiz parçanın kimyasal analizini paylaşılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. GS20Mn5 Kimyasal Kompozisyonu [8]

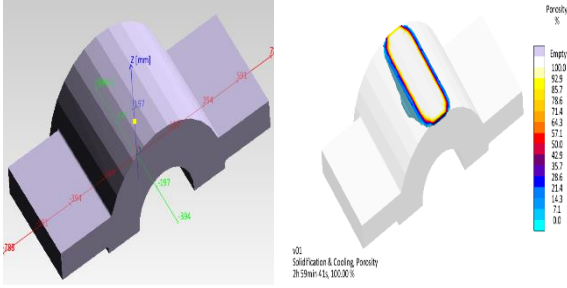
C%	Si%	Mn%	Cr%	Ni%	Mo%	P%	S%
0.21	0.45	1.22	0.18	0.10	0.02	0.02	0.03

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu örnekte, ham parça ağırlığı 875 kg olan bir yatak başlığı parçasının 20Mn5 malzemesiyle kum kalıba dökümü için MAGMASOFT®'da deneysel tasarım metodu kullanılarak besleyici ve soğutucu konfigürasyonlarının varyasyonu araştırılmıştır (şekil 2). Maksimize edilmiş bir verimi hedeflerken, minimuma indirilmiş çekinti kusurları arasında en iyi karşılaştırmayı sağlamak amacıyla bir dizi deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Uzmanlar, optimize edilmiş ve sağlam bir döküm için sistematik bir değerlendirme oluşturmak amacıyla MAGMA YAKLAŞIMI'ni kullandılar. Şekil 3, bu durumda uzmanların, tanımlanmış hedeflere ulaşmak için değişkenlerini, kalite kriterlerini ve aynı zamanda

yöntemi tanımlamak için MAGMA YAKLAŞIMI'ni nasıl uyguladıklarını göstermektedir.



Şekil 2. (a): Döküm parçasının tasarımı (b): Döküm parçasındaki çekintilerin yerini belirlemek için ham parçanın katılma simülasyonu.

Ürün geliştirme veya iyileştirme süreçlerinin herhangi bir aşamasında, MAGMA YAKLAŞIMI, MAGMASOFT® kullanıcılarına aşağıdaki adımlar boyunca rehberlik edecektir:

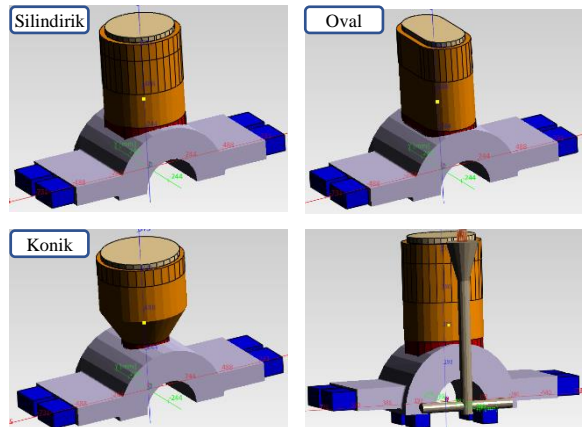
MAGMA YAKLAŞIMI'nın ilk evresi hedeflerin seçilmesidir. Bu hedefler; kalite, maliyet veya üretim odaklı en uygun tasarımı ve proses parametrelerini belirleme kriterleri olmaktadır. Bu seçilen hedefler arasında; birbirine zıt etkileyebilen hususlar da olabilmektedir, örneğin minimum çekinti porozitesi ve en küçük besleyici boyutu hedeflerinin aynı anda seçilmesi gibi. Verimli üretim için hedef kriterleri seçtikten sonraki aşama ise istenen kriterleri sağlamak için hangi değişkenlerin inceleneceğinin seçilmesidir. Bu değişkenler parça ve kalıp ölçülerini, proses parametrelerini veya malzeme türlerini içermektedir. MAGMA yazılımı, sonraki aşamada ise, kullanıcılarına simülasyon sonuçlarının nicel olarak; bir veya daha fazla kalite kriterine/maliyetle ilişkili parametreye nasıl etki edeceğini görebilmek için bir seçim penceresi sunmaktadır. Hedefler, değişkenler ve incelenecek anahtar kriterler belirlenerek karmaşık teknik gereklilikler mümkün olduğu kadar basite indirgindikten sonra, mühendisler MAGMASOFT® bünyesinde bulunan farklı araçlar yardımıyla ilgili hesaplama süreçlerinin olabildiğince verimli şekilde ilerlemesini sağlayabilmektedir. Bu amaçla MAGMASOFT® içeriğinde hesaplama ve tahmini proje bitiş sürelerini minimuma indirmeyi sağlayan birçok özellik bulunmakta ve ayrıca tam otomatize simülasyon döngüleri ile bu süreçler ciddi derecede kısalmaktadır. MAGMASOFT® ile Otonom Mühendislik özelliği, kullanıcılara seçilen hedeflere ulaşmada birçok farklı strateji uygulayabilme imkanı veriyor. Aynı anda birden fazla simülasyon yapabilmek, görsel analiz ile farklı değişkenlerin prosese etkilerini ayrı ayrı inceleyebilme yada özel MAGMA algoritmaları ile çalışan otonom optimizasyon seçeneği bu stratejilerden sadece birkaçı. Mühendisler herhangi bir stratejiyi yada bir kombinasyonu belirleyerek parçanın teknik kriterlere uyumunu

kolaylıkla sağlayabiliyor. MAGMASOFT® ile birlikte proses için optimum koşulları belirlendikten sonra ise geriye karar alma ve uygulama adımları kalıyor. Bu adımlar çeşitli modüller ile optimum parça veya model tasarımını belirleme, ilgili personelini kritik kriterlerin prosese etkilerini öğrenmesini sağlama yada farklı proses değişkenleri için limitler koyarak standart operasyon prosedürünün ve dolayısıyla efektif üretim prosesinin tespiti olabilmektedir. Yerleşik değerlendirme ve raporlama araçları üretici ile döküm alıcısı arasında efektif bir iletişim kurulmasına büyük katkı sağlıyor.

Amacıma Belirle	Değişkenleri Tanımla	Kriterleri Tanımla	Görevli Verimli Tutun	Yöntemini Belirle	İyileştirmelerinizi Düzenle ve Kontrol Et
Porozitesiz	Besleyici Boyutları	Poroziteyi azaltmak	Sadece katılma simülasyonu	Deney Tasarımını Kullan	3D-Sonuçları
Yüksek Verim	Ekzotermik Gömlek Çeşitleri	Yüksek Verim	Sadece İstenen Sonuçları Hesapla		Değerlendirmeye Arayüzündeki Grafikler Ve Listeleri Kullan
Mikro poroziteleri Azaltmak		Mikro poroziteleri Azaltmak	Paralel Dezaynı Kullan		

Şekil 3. MAGMA YAKLAŞIMI kullanılarak sanal optimizasyon

Kullanıcılar, MAGMASOFT®'daki geometri değişim özelliğini kullanarak çelik dökümde besleyicilerin tipini, sayısını ve konumunu değiştirebildiler. Değişken olarak silindirik, oval ve konik olmak üzere üç çeşit besleyici tasarımı, iki tip besleyici gömlek malzemesi ve son olaraksoğutucu değişken olarak seçilmiştir (şekil 3). Bu yazılım tarafından bağımsız olarak çalıştırılan 12 tasarıma yol açmıştır.

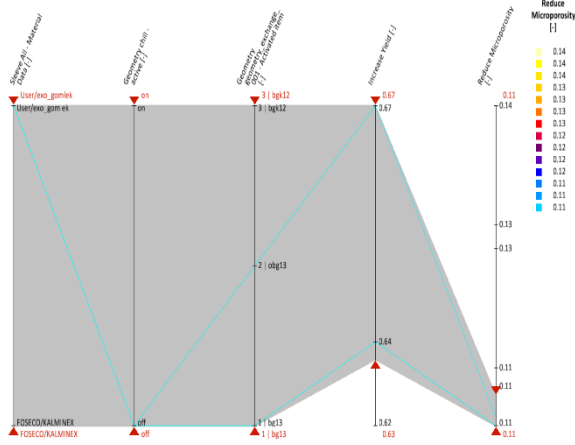


Şekil 4. Döküm tasarımdaki değişimler

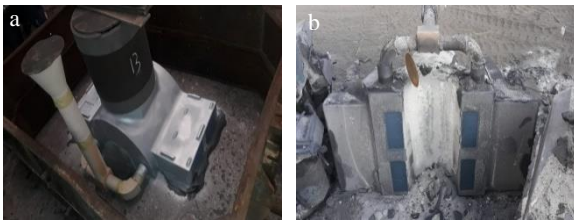
MAGMASOFT® programında optimizasyon değerlendirme kısmında görebileceğimiz paralel koordinat diyagramı sonuçları, uzmanların daha önceden belirlemiş olduğu kalite kriterlerini göz

önünde bulundurarak çekinti hatalarının ve döküm veriminin değerlendirilmesine yardımcı olmuştur. Paralel koordinat diyagramı kullanıcıya birden fazla kriteri istenildiğinde değişik aralıklarda anlık skala yapmasına izin verdiği için kullanıcıya farklı sonuçların aynı anda değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır, şekil 4.

Paralel dizayn grafiği incelendiğinde, döküm verimini arttırmak ve porozite hatalarını azaltmak için, silindirik besleyici tasarımının en iyi sonuçları verirken, alt kısımdaki soğutucularında kullanılması sağlıklı döküm parça elde edebilmek gerekli olduğunu açıkça görülmektedir (şekil 5.a). En iyi tasarımı optimizasyon çalışmamızda 12 tasarım arasında belirledikten sonra üretim birimiyle paylaşılmıştır. Simülasyonda belirlenen optimum tasarım reçineli kum kalıba alınıp ve belirlenen sıcaklık ve sürede dökümü gerçekleştirilmiştir (şekil 6.a ve 6.b). Uygulanan tasarım kararının doğru olduğu ham ve işlenmiş parçaya uygulamış olduğumuz Penetrasyon Testi (PT) sonuçlarının temiz olması sebebiyle açıkça görülmektedir, Şekil 7.a ve 7.b.



Şekil 5. Yüksek kalite ve ağırlık tasarrufu elde etmek için paralel dizayn grafiği incelenerek en iyi tasarımın değerlendirilmesi



Şekil 6. a) Döküm tasarımını ve b) Döküm sonrası kum kalıbın açılmasıyla ortaya çıkan çelik parça



Şekil 7. a) Talaşlı imalat öncesi ve b) Talaşlı imalat sonrası dökümün kalite kontrol sonuçları

## SONUÇ

Kalıplama tasarımı MAGMASOFT® ile optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Belirlenen sınır değerlerine göre istenen hedeflere uygun olarak yapılan optimizasyon çalışması pratik ve otomatik olarak yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Program tarafından belirlenen optimum değerlere ulaşmak için optimizasyonun başlatılmasının akabinde 12 simülasyon tasarımı otomatik olarak yapılmıştır. Sonuç olarak besleyici boyutunu ve soğutucu kullanılıp kullanılmaması gerektiğini MAGMASOFT® programında deney tasarımı optimizasyonu ile çok kısa bir zamanda elde edilmiştir.

Yatak başlığı parçasının %64 lük verimle kum kalıba dökülmesiyle ve ilk numunede %100 lük sağlamlığın yakalanmasıyla oluşabilecek gereksiz hurda kullanımının önüne geçilmiştir (şekil 5). Deneme yanılma yöntemiyle kaybedilen zaman ve iş gücü, yükselen maliyetlerin önüne geçilmekte, prototip dökümler bilgisayar ortamında gerçekleştirilmektedir.

Bu özel döküm için, uzmanlar, döküm kalitesini, verimini artırırken ve üretim maliyetlerini düşürürken en uygun üretim koşullarını hızlı ve bağımsız bir şekilde belirleyebildiler. Uzmanlar, bu metodolojiyi, yüksek bütünlüklü çelik dökümler yapan tüm proses rotasının optimizasyonu için uygulama tutkusuyla uygulamaya koymuştur.

## SAND CASTING OPTIMIZATION OF BEARING CAP MADE OF LOW- ALLOY STEEL

In today's, it is important to follow technological developments closely in order to be able to produce with high quality and minimum part cost in the steel casting industry in order to compete with other companies. Casting simulation software are used to keep the feeder and gating designs, which play an important role in part efficiency, at an optimum level and to get one step ahead of the competitors. In this study, the Optimization module, which is integrated with the MAGMASOFT® casting simulation program, will explain the feeder design on an applied sample piece, and share the advantages of the optimization study.

**Keywords:** Casting Simulation, Riser Design, Shrinkage, Design of Experiment (DEO), Optimization

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, Pınar Döküm A.Ş. Genel Müdürü Nadir Çoban ve Ürün Planlama Departmanı Müdürü Dilek Yalçın'a bu çalışmaya verdiği sonsuz destek için teşekkür ederler.

## KAYNAKÇA

1. Ravi B, Metal Casting: *Computer-Aided Design and Analysis*, Prentice-Hall India, New Delhi, 2005, ISBN 81 203 2726 8.
2. Çolak, M. ve. Kayıkcı, R., 2009. Döküm Simülasyon Programları Üzerine Genel Bir Değerlendirme. Metal Dünyası. 189, 2-4
3. Franssman, H., 2007. Hızlı ve Doğru Yolluk ve Besleyici Dizaynı için Döküm Simülasyon Programlarının Pratik Kullanımı. Metal Dünyası. 164, 30-31.
4. Akar, M., 2018. Döküm Hatalarının Önlenmesi için Tasarım Yöntemleri. Tezsiz Yüksek Lisans
5. Sachin L. Nimbalkar, Dr. Rajendra S. Dalu 2016, Design Optimization of Gating and Feeding System through Simulation Technique for Sand Casting of Wear Plate
6. P. Lan, J. Q. Zhang, Numerical analysis of macrosegregation and shrinkage porosity in large steel ingot, Ironmaking and Steelmaking, 41 (2014) 598-606.
7. Chao Leia, Yi Yanga\*, Gang Yanga, Yuan Huang, Magma software simulation assisted optimization of the casting system of turbocharger castings, (2019)
8. DIN EN 10293, Steel castings - Steel castings for general engineering uses, 2015-April edition