

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ALÇAK BASINÇ KOKİL DÖKÜM İLE ÜRETİLEN
ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANTIN MODELLENMESİ VE
DOĞRULANMASI**

İlker ÖRMECİ

**Danışman
Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**

ISPARTA – 2021



© 2021 [İlker ÖRMECİ]

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

22/01/2021

İlker ÖRMECİ

.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Jant	1
1.2. Jant Malzemelerinin Çeşitleri	3
1.2.1. Alüminyum alaşımlı jantlar.....	3
1.2.2. Çelik jantlar.....	4
1.3. Alüminyum Alaşımlı Jantların Üretimi	5
1.3.1. Hibrid dövme	5
1.3.2. Hadde dövme	7
1.3.3. Çok parçalı jant	7
1.3.4. Döküm.....	8
1.3.4.1. Jant dökümü için ergimiş metal hazırlama işlemi.....	12
1.3.4.2. Dökülmüş jant işleme süreci	13
2. KAYNAK ÖZETLERİ	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Sonlu Hacim Metodu	18
3.2. Bilgisayar Destekli Tasarım.....	19
3.3. Bilgisayar Destekli Mühendislik.....	19
3.4. Kalıp Datasının Bilgisayar Ortamında Hazırlanması.....	20
3.4.1. Yükseltici tüp	22
3.4.2. Ara yolluk	22
3.4.3. Kovan	22
3.4.4. Üst yolluk.....	23
3.4.5. Kılıf	23
3.4.6. Filtre	23
3.4.7. Sap.....	23
3.4.8. Yürütücü.....	23
3.5. Kalıp Verisinin Magmasoft Programında Kurgusu	27
3.5.1. Geometri tanımlama.....	27
3.5.1.1. Giriş.....	28
3.5.1.2. Hava çıkıcıları	28
3.5.1.3. Termokupllar.....	29
3.5.1.4. Değerlendirme alanı	30
3.5.2. Örgü tanımlama.....	31
3.5.3. Analiz şartları tanımlama	33
3.5.3.1. Dolum basınç değerleri	33
3.5.3.2. Soğutma cinsi	34
3.5.3.3. Soğutma debileri	34
3.5.3.4. Soğutma süreleri.....	36

3.5.4. Isı transfer katsayılarının tanımlanması	36
3.5.5. Kalıp ön hazırlama	36
3.5.6. Kalıp kapanma süresi	37
3.5.7. Gecikme süresi	37
3.5.8. Kalıp açma süresi	37
3.5.9. Tahliye süresi	37
3.6. Eski Jant Ayar Kartına Ait Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	38
3.6.1. Dolum sonuçlarını inceleme kriterleri	39
3.6.1.1. Sıcaklık.....	39
3.6.1.2. Dolum zamanı	39
3.6.1.3. Dolum sıcaklığı	40
3.6.1.4. Hava teması.....	41
3.6.1.5. Dolum esnasında termokupllardan okunan değerler.....	42
3.6.2. Katılaşma sonuçlarını inceleme kriterleri	42
3.6.2.1. Sıcaklık.....	42
3.6.2.2. Sıvı kademesi	43
3.6.2.3. Sıcak nokta kesri katı zamanı.....	44
3.6.2.4. Porozite	45
3.6.2.5. Niyama kriteri	46
3.6.2.6. Katılaşma esnasında termokupllardan okunan değerler.....	46
3.6.2.7. Döküm besleme karakteristiği	47
3.7. Dolum Optimizasyonu	47
3.7.1. Dolum optimizasyon kurgusu	47
3.7.2. Dolum optimizasyon sonucu.....	49
3.7.2.1. Dolum zamanı	49
3.7.2.2. Sıcaklık.....	50
3.8. Katılaşma Optimizasyonu	51
3.8.1. Katılaşma optimizasyon kurgusu	51
3.8.2. Katılaşma optimizasyon sonucu.....	53
3.8.2.1. Sıcaklık.....	53
3.8.2.2. Sıvı kademesi	54
3.8.2.3. Sıcak nokta kesri katı zamanı.....	54
3.8.2.4. Porozite	55
3.8.2.5. Niyama kriteri	56
3.9. Yeni Jant Ayar Kartı	57
3.9.1. Dolum basınç değerleri	57
3.9.2. Soğutma cinsi	57
3.9.3. Soğutma debileri	57
3.9.4. Soğutma süreleri.....	57
3.10. Yeni Jant Ayar Kartı Kartına Ait Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	58
3.10.1. Dolum sonuçlarını inceleme kriterleri	58
3.10.1.1. Sıcaklık.....	58
3.10.1.2. Dolum zamanı	59
3.10.1.3. Dolum sıcaklığı	60
3.10.1.4. Hava teması.....	61
3.10.1.5. Dolum esnasında termokupllardan okunan değerler.....	61
3.10.2. Katılaşma sonuçlarını inceleme kriterleri	62
3.10.2.1. Sıcak nokta kesri katı zamanı.....	62

3.10.2.2. Porozite	62
3.10.2.3. Katılma esnasında termokupllardan okunan değerler.....	63
4. BULGULAR VE TARTIşMA	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİş	75



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALÇAK BASINÇ KOKİL DÖKÜM İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANTIN MODELLENMESİ VE DOĞRULANMASI

İlker ÖRMECİ

**Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

Bu tez çalışmasında, üretiminde sorun yaşanan ve ıskartası yüksek olan bir janta ait süreç doğrulama ve iyileştirme işlemleri yapılmıştır. Ancak, firma bilgi güvenliği nedeniyle bazı veriler teze dahil edilememiştir.

İlgili janta ait veriler incelenerek önce bilgisayar destekli tasarım programında gerekli tasarım işlemleri yapıldıktan sonra bilgisayar destekli mühendislik programında kurgu oluşturulmuştur. İlgili kalıp ve jant sonlu hacim metodu kullanarak bilgisayar destekli programda kübik örgülenerek matematiksel modeli oluşturulmuştur. Daha sonra bilgisayar ortamında optimizasyon çalışmaları yapılarak yeni bir jant ayar kartı oluşturulmuştur. Eski ve yeni jant ayar kartları döküm ortamında denenmiştir. Deneme neticesinde analiz sonuçları ve dökümden alınan kesitler birbiriyle uyumuştur. Deneme sonucunda süreç doğrulama ve süreç iyileştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Süreç doğrulama ve süreç iyileştirme işlemlerinin yapılmasının amacı ıskarta jant sayılarını azaltarak, ülkemizin enerji kaynaklarını daha sağlıklı kullanarak ve daha yüksek ihracat kapasitesini hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: AlSi11 jant, Jant, Magmasoft, ABKD, Optimizasyon

2021, 75 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

MODELING AND VERIFICATION OF ALUMINUM ALLOY WHEEL PRODUCED WITH LOW PRESSURE DIE CASTING

İlker ÖRMECİ

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

In this thesis, process verification and improvement procedures of a wheel with high scrap and production problem have been performed. However, some data could not be included in this thesis due to company information security.

After examining the data of the relevant wheel, the necessary design processes were made in the computer aided design program and then the setup was created in the computer aided engineering program. The mathematical model was created by meshing cubic in the computer-aided program that will use the related mold and wheel finite volume method. Later, a new wheel setting card for casting was created by performing optimization studies in computer. Old and new wheel setting cards for casting tested in casting. The analysis result and the sections taken from the casting wheels agreed with each other. As a result of the trial, process verification and process improvement operations were carried out.

The purpose of process verification and process improvement processes is to reduce the number of scrap wheels and to use energy resources of our country in a healthier way and aim at a higher export capacity.

Key Words: AlSi11 wheel, Wheel, Magmasoft, LPDC, Optimization

2021, 75 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin yürütülmesinde desteğini ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Reşat SELBAŞ'a, çalışma süresince bana desteklerinden dolayı Döktaş Jant Mühendislik Tasarım ve Ürün Geliştirme Müdürü Sayın Haldun BAYKAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İlker ÖRMECİ
ISPARTA, 2021



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Jant ebat gösterimi	2
Şekil 1.2. Jant offset gösterimi	2
Şekil 1.3. Alüminyum alaşımlı jant.....	4
Şekil 1.4. Çelik jant.....	4
Şekil 1.5. Hibrid dövme jant	5
Şekil 1.6. Hibrid dövme jant süreç	6
Şekil 1.7. Hadde dövme jant süreç	7
Şekil 1.8. Alçak basınç kokil döküm	9
Şekil 1.9. Alçak basınç kokil döküm jant kalıbı	9
Şekil 1.10. a) Gaz porozitesi b) Çekme porozitesi	12
Şekil 1.11 Doğalgazlı ergitme fırını.....	13
Şekil 3.1. Ara yolluk kesit gösterimi.....	22
Şekil 3.2. Catia ortamında kalıp verisi gösterimi	24
Şekil 3.3. Catia ortamında kesit kalıp datası gösterimi.....	25
Şekil 3.4. Catia ortamında kesit kalıp datası gösterimi.....	25
Şekil 3.5. 2 Boyutlu olarak termokupl yerlerinin gösterimi.....	26
Şekil 3.6. 3 Boyutlu olarak termokupl yerlerinin gösterimi.....	26
Şekil 3.7. Magmasoft programı arayüzü	27
Şekil 3.8. Magmasoft programında eleman tanımlama	28
Şekil 3.9. Magmasoft programında eleman tanımlama	29
Şekil 3.10. Magmasoft programında termokupl tanımlama.....	30
Şekil 3.11. Magmasoft programı değerlendirme alanı tanımlama	31
Şekil 3.12. Magmasoft programı örgü değerlendirme alanı tanımlama.....	32
Şekil 3.13. Magmasoft programı jant örgü değerlendirme alanı tanımlama.....	32
Şekil 3.14. Magmasoft programında filtrenin örgü yapısı	33
Şekil 3.15. Magmasoft programında çizilen basınç eğrisi	34
Şekil 3.16. Magmasoft programında soğutmaların gösterimi.....	35
Şekil 3.17. Magmasoft programında ergimiş metale ait ısı transfer gösterimi	36
Şekil 3.18. Magmasoft programında çevrim ekranı	38
Şekil 3.19. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz dolum sıcaklık sonucu.....	39
Şekil 3.20. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz ilk temas dolum zamanı sonucu ..	40
Şekil 3.21. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz ilk temas dolum sıcaklığı sonucu .	41
Şekil 3.22. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz hava temas sonucu.....	41
Şekil 3.23. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz dolum termokupllardan okunan değerler.....	42
Şekil 3.24. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma sıcaklık sonucu.....	43
Şekil 3.25. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma sıvı kademesi sonucu ...	44
Şekil 3.26. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma sıvı kademesi sonucu 2	44
Şekil 3.27. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma sıcak nokta kesri katı zamanı sonucu	45
Şekil 3.28. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma porozite sonucu	45
Şekil 3.29. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma niyama kriteri sonucu...	46
Şekil 3.30. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma termokupllardan okunan değerler.....	47
Şekil 3.31. Dolum optimizasyon hedefleri.....	48
Şekil 3.32. Dolum optimizasyon sonuçları	49
Şekil 3.33. Dolum optimizasyonu ilk temas dolum zamanı sonucu	50

Şekil 3.34. Dolum optimizasyonu sıcaklık sonucu	50
Şekil 3.35. Magmasoft programında yalıtımlı kalıp gösterimi	51
Şekil 3.36. Katılaşma optimizasyon hedefleri.....	52
Şekil 3.37. Katılaşma optimizasyon sonuçları	53
Şekil 3.38. Katılaşma optimizasyon sıcaklık sonucu	53
Şekil 3.39. Katılaşma optimizasyon sıvı kademesi sonucu.....	54
Şekil 3.40. Katılaşma optimizasyon sıvı kademesi sonucu 2.....	54
Şekil 3.41. Katılaşma optimizasyon sıcak nokta kesri katı zamanı sonucu	55
Şekil 3.42. Katılaşma optimizasyon porozite sonucu	56
Şekil 3.43. Katılaşma optimizasyon niyama kriteri sonucu	56
Şekil 3.44. Yeni jant ayar kartı dolum sıcaklık sonucu.....	59
Şekil 3.45. Yeni jant ayar kartı ilk temas dolum zamanı sonucu	60
Şekil 3.46. Yeni jant ayar kartı ilk temas dolum sıcaklığı sonucu	60
Şekil 3.47. Yeni jant ayar kartı dolum hava teması sonucu	61
Şekil 3.48. Yeni jant ayar kartı dolum termokupl verileri	61
Şekil 3.49. Yeni jant ayar kartı katılaşma sıcak nokta kesri katı zamanı sonucu	62
Şekil 3.50. Yeni jant ayar kartı katılaşma porozite sonucu.....	63
Şekil 3.51. Katılaşma esnasında termokupllardan okunan değerler	63
Şekil 4.1. Eski jant ayar kartı ile döküm 3. jant X-ray kontrolü	66
Şekil 4.2. Eski jant ayar kartı ile döküm 8. jant X-ray kontrolü	66
Şekil 4.3. Eski jant ayar kartı ile döküm 8. jant kesit kontrolü	67
Şekil 4.4. Eski jant ayar kartı ile döküm 8. jant lastik oturma kesit kontrolü	67
Şekil 4.5. Yeni jant ayar kartı ile döküm 1. jant X-ray kontrolü	68
Şekil 4.6. Yeni jant ayar kartı ile döküm 8. jant X-ray kontrolü	68
Şekil 4.7. Yeni jant ayar kartı ile döküm 8. jant kanat-rim profili arası kesit kontrolü	69
Şekil 4.8. Eski jant ayar kartı ve yeni kart ile dökülmüş olan jantlara ait kesitler	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Eski jant ayar kartı dolum basınç değerleri.....	34
Çizelge 3.2. Eski jant ayar kartı soğutma debileri	35
Çizelge 3.3. Eski jant ayar kartı soğutma süreleri.....	36
Çizelge 3.4. Sil 1 sıvılaşma ve katılaşma sıcaklık değerleri (Anonim, 2020c).....	40
Çizelge 3.5. Eski jant ayar kartı döküm besleme karakteristiği	47
Çizelge 3.6. Eski jant ayar kartı optimize edilecek değerler.....	48
Çizelge 3.7. Dolum optimizasyon değerleri.....	48
Çizelge 3.8. Yeni jant ayar kartı dolum basınç değerleri	51
Çizelge 3.9. Yeni jant ayar kartı katılaşma soğutma giriş süre optimizasyonu	52
Çizelge 3.10. Katılaşma optimizasyonu sonucu yeni jant ayar kartında kullanılacak süreler	57
Çizelge 3.11. Yeni jant ayar kartı dolum basınç değerleri.....	57
Çizelge 3.12. Yeni jant ayar kartı soğutma süreleri	58
Çizelge 4.1. Döküm deneme ve kontrol sırası	64
Çizelge 4.2. Kontrol sırası ve metotları	65
Çizelge 5.1. Dökümhane verileri	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Abkd	Alçak basınç kokil döküm
Bsk	Bilgisayar sayımlı kontrol
Sey	Sonlu elemanlar yöntemi
Shy	Sonlu hacim yöntemi
Kdd	Kısmi diferansiyel denklem



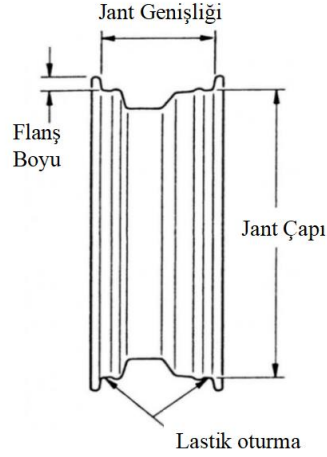
1. GİRİŞ

Jant, araç kişiselleştirmesinde önemli yer tutmaktadır. Kişiselleştirme öncelik güvenlik olmakla birlikte teknolojinin gelişmesi neticesinde üretim metotlarının da gelişmesi ile kişisel talebe bağlı olarak estetik jantların sayısı artmıştır.

1.1. Jant

Jant en kısa tabirle, motordan gelen torku kullanarak aracın gitmesini sağlayan emniyet parçasıdır. Jant, bir arabada lastiğin iç kısmında çember şeklinde bulunur. Metalden üretilen bir aksamdır. Jantın çevresine lastik monte edilmek suretiyle aracın hareket etmesi sağlanır. Aracın dış görünüşünde önemli bir unsur olan jantlar doğrudan aks sistemine bağlıdır. Çeşitli metallerde (Alüminyum alaşım jant, çelik jant gibi) üretilen jantların araç performansı üzerinde farklı etkileri bulunur. Jantın seçimi bu durumdan dolayı büyük öneme sahiptir. Aracın ağırlığına, çekiş gücüne ve temel özelliklerine aykırı olarak seçilen jant nedeniyle sorunlar ortaya çıkabilir. Jantların geometrik şekilleri, offset mesafeleri, ebatları, test ağırlıkları değerlendirilerek hazırlanan jantların kullanılabileceği araçların listesine uygulama tablosu denir. Piyasaya yeni sürülen arabalarda, firmalar arabaya takılabilecek jantlar için uygun aplikasyonlar da yayınlamaktadırlar. Jant seçimi firmanın verdiği seçeneklerden olması gerekmektedir. Ancak, jantın ebatına göre aracın vereceği tepkiler (viraj alma, yakıt tüketimi vb.) değişecektir. Bu sebeple jant seçimi hafife alınmadan titizlikle yapılmalıdır.

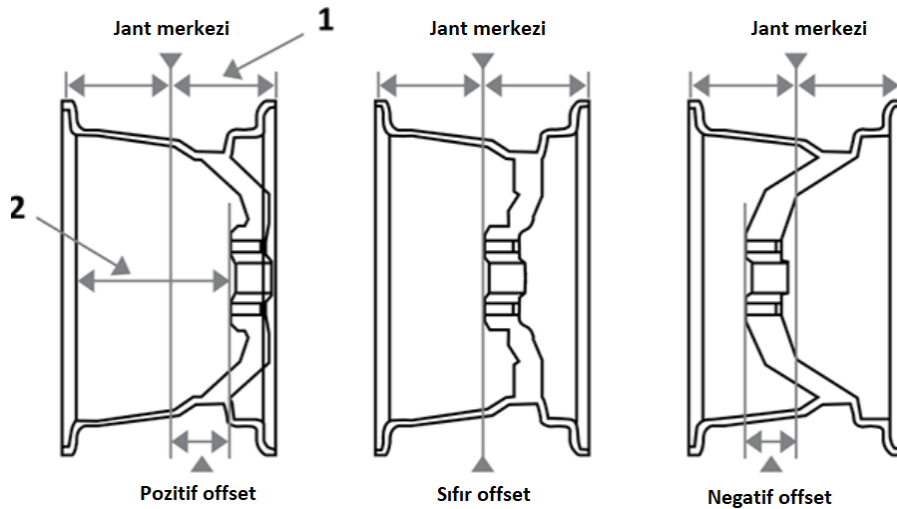
Şekil 1.1’de jant üzerinde temel bölgeler gösterilmiştir. Jant çapı ve jant boyu norm gösterimde kullanılmaktadır. Örneğin, jant markalamasında 8x17 şeklinde bir ibare var ise; bu jantın, genişliği 8” ve jant çapı 17” olduğu bilinir. Bu değerler her araba için farklı olabilmektedir. Flanş, jantın lastik için yanıl destek sağlayan kısımdır.



Şekil 1.1. Jant ebat gösterimi

Yukarıda şekilde gösterilen kısımlar dışında araç bağlantısında en önemli olan yerlerde biri offset'dir. Offset, ölçüsü -50 mm ve 70 mm arasında değişiklik gösteren jantın iç göbeğinden jantın tam ortasına kadar olan mesafenin uzunluğudur. Jant arka yüzeyinde bulunan markalama cebinde IS ya da ET şeklinde belirtilir. Pek çok jantın offset aralığı 20 ve 60 mm arasında değişiklik göstermektedir. Offsetler üç şekilde adlandırılır. Bu adlandırılmalar Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Offsetlerin bu farklılığı arabanın türüne, kullanım amacına göre değişmektedir.

- Negatif offset
- Sıfır offset
- Pozitif offset



Şekil 1.2. Jant offset gösterimi

(1 nolu gösterge oku jantın ön yüzeyinden jant merkezine olan mesafeyi göstermekte, 2 nolu gösterge oku jant montaj alanı ile jantın arka mesafesi arasındaki mesafeyi göstermektedir.)

1.2. Jant Malzemelerinin Çeşitleri

- Alüminyum Alaşım Jantlar
- Çelik Jantlar

1.2.1. Alüminyum alaşımlı jantlar

Alüminyum malzemenin kullanılmasının en önemli özelliği çeliğin yaklaşık üçte biri yoğunluğa sahip olmasından dolayı aynı hacimde çeliğe göre daha düşük ağırlıkta olup alaşımlandırma, ısıt işlemlerin uygun ve sağlıklı bir şekilde yapılmasından dolayı tercih sebebidir. Günümüzde, alüminyum malzeme otomotiv sektörünün vazgeçilmezi olup, avantajları ile markete nüfuz etmesi her geçen zamanda artmaktadır. Jant kapsamında hafif alaşımlı alüminyum jant kullanılmasının araca bir çok olumlu etkisi bulunmaktadır (Maijer vd., 2007).

Bu avantajlar:

- Hafif olmaları
- Daha az yakıt sarfıyatı
- Daha az karbon emisyonu oluşumuna neden olması
- Araçta estetik durması
- Şekil 1.2’de de görüldüğü gibi karmaşık şekillerde kolayca üretiminin yapılabilmesi
- Korozyona uğrama ihtimali düşüktür.
- Isıyı daha iyi yaydıkları için lastiğin ömrünü uzatır daha iyi fren performansı sağlarlar.

Avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar:

- Çelik jant kadar yüksek mukavemetli değildir.
- Üretimi, çelik janta göre daha pahalıdır.
- Ürün tadilatı, çelik janta göre daha pahalıdır.



Şekil 1.3. Alüminyum alaşımlı jant

1.2.2. Çelik jantlar

Çelik jantlar, alüminyum alaşımlı jantlara göre daha ağırdır. Ancak dayanıklılık, tamir ve yeni işlem yapılma konusunda alüminyum alaşımlı jantlara göre avantajı bulunmaktadır (Nogueira vd., 2016).

Çelik jant, alüminyum alaşım janta göre daha ağır olmasından kaynaklı olarak hızlanmayı, atikliği azaltır ve takıldığı araçta kütle merkezini daha aşağı çekerek aracın yakıt sarfiyatını artırır. Bu durum yaz aylarında istenmeyen bir durum olsa da kış aylarında istenen bir durumdur. Kışın, kar üzerinde giderken aracın yere daha sağlam oturması sağlanır.



Şekil 1.4. Çelik jant

1.3. Alüminyum Alaşım Jantların Üretimi

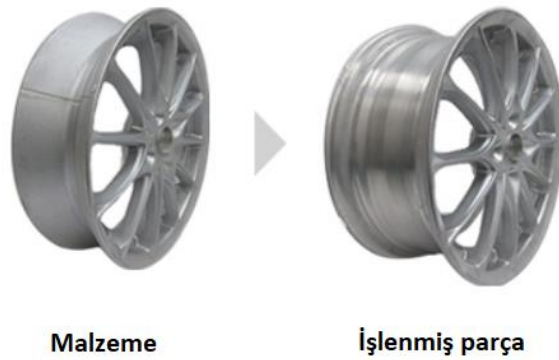
Hafif alaşım alüminyum jantlar sağladığı avantajlarla birçok kez gündeme gelmektedir. Günümüzde bu avantajlar sonucu alüminyum jantların bu talepleri karşılayabilmesi için özel üretim tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Metotların farklı olması jant kalitesini etkileyen bir durumdur. Jantın kullanılacağı yere göre jant kalitesi seçilmelidir. Örneğin sadece işe gidip gelmek için kullanılan arabanın jantı ile kum pistte giden yarış arabasının jantları farklı olmak durumundadır. Dört çeşit hafif alaşım alüminyum jant üretim metodu bulunmaktadır. Bunlar:

- 1) Hibrid Dövme
- 2) Hadde Dövme
- 3) Çok Parçalı Jant
- 4) Döküm

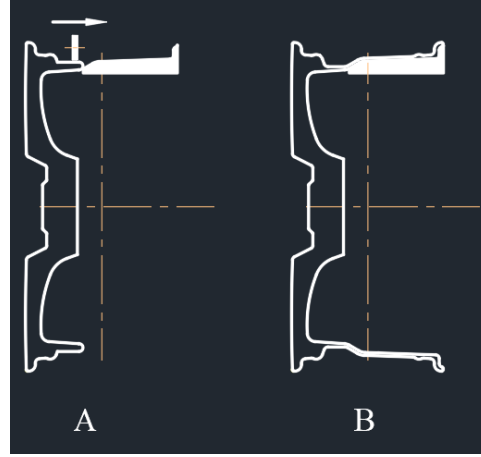
Bu dört metottan en yaygın kullanılanı dökümdür.

1.3.1. Hibrid dövme

Alüminyum jant üretim tekniklerinden biri olan hibrid dövme içerisinde iki temel süreç içermektedir. Bu tekniğin ortaya çıkma amacı dökümde görülen döküm hatalarını minimize etmektir. Akış oluşturma işlemi, bir mandrel üzerinde ardışık aşamalar olsa da, işlenmemiş malzemeyi (preform olarak adlandırılır) sıkıştıran ve geren döner silindirler tarafından üretilen deformasyon kuvvetlerini kullanarak dönme bileşenleri üretmektedir.



Şekil 1.5. Hibrid dövme jant



Şekil 1.6. Hibrid dövme jant süreci

Şekil 1.6’da hibrid dövme jant süreci gösterilmiştir. Bu şekle göre:

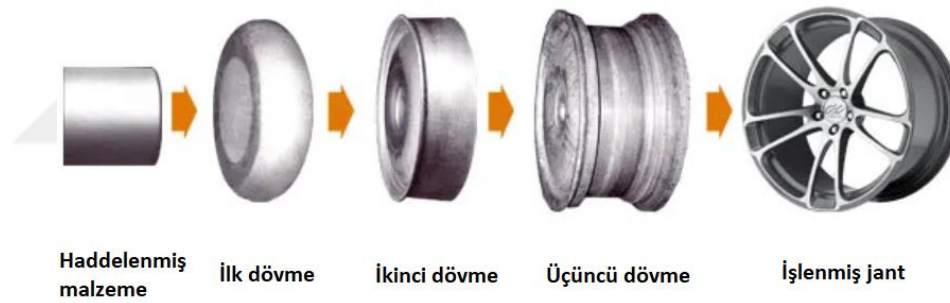
Alçak basınç kokil döküm tezgahından gelen brüt jant, hibrid dövme tamburuna takılır. Jant profiline basınç uygulanarak şekil alması sağlanır. Rim profil kalınlığı azaltılarak ve malzemenin yayılması sağlanarak bitiş işlemi yapılır. Günümüzde jantların bu yöntem ile üretilmesi aşağıdaki sebeplerden dolayı önem kazanmaktadır.

- İyi tolerans kontrolü ve geometrik doğruluğa sahip bileşenler üretilebilir.
- Rim profil kalınlıklarının hassas bir şekilde kontrol edilebilebilir.
- Çok çeşitli işlenebilir malzemeleri(Çelik, Alaşımlı Çelik, Titanyum Alaşımı, Pirinç, Bakır, Alüminyum, Nikel, Niyobyum) destekler.
- Oluşan malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirebilir.
- Mükemmel yüzey pürüzlülüğüne sahip bileşenler üretir. (diğer plastik deformasyonlara kıyasla)
- Soğuk çalışma (sertleşme) etkileri nedeniyle mekanik özellikleri artırır.
- İnce talaşlı imalat işlemlerindeki azalma nedeniyle maliyet tasarrufu sağlar.
- Malzeme israfından kaçınılır (hem klasik dövme, şekillendirme işlemleri ve işlemeyle karşılaştırıldığında).
- Isıl işlem azalması nedeniyle maliyet tasarrufu sağlanır.

Hibrid dövme için kapsamlı literatür incelemesi, hem sürecin altında yatan fiziksel mekanizmaları hem de üretim prosedürlerinin mühendisliğindeki uygulamalarını ele almalıdır (Marini vd., 2016).

1.3.2. Hadde dövme

Hadde dövme jant üretimi kalıp form dövme ile yapılır. Kullanılan form dövme işleminde; iki form arasına ısıtılmış katı bir kütük alüminyum parçası yerleştirir ve daha sonra kütüğe 10.000 ton kuvvet uygulanır. Preslenmiş dövme malzeme, bitmiş bir dövme jantın üretiminde sadece ilk adımdır. Kalıp formulu dövme işlemi hakkında anlaşılması gereken en önemli şey, alaşımın iç tane yapısının veya akış çizgililerinin, jantın şeklini takip etmesine izin vererek, daha mukavim ve uzama özellikleri daha iyi olan jant üretmektir. Yuvarlak alüminyum blok, bir BSK testere ile kesilir. Bu blok, işleme öncesinde dövme yapıldığında tanecik yapısı tanımlanır, bu nedenle jant bloktan kesildiğinde, tane yapısı veya akış çizgisi, jantın şeklini takip edecek şekilde değiştirilemez. İyi tasarlanmış bir dövme jantı, aynı boyut ve özelliklere sahip hibrid dövme veya dökme janttan daha hafif ve daha güçlü olmalıdır, ancak hibrid dövme jant aynı sertlik veya uzama özelliklerine sahip olmayacaktır.



Şekil 1.7. Hadde dövme jant süreci (Bone, 2013)

1.3.3. Çok parçalı jant

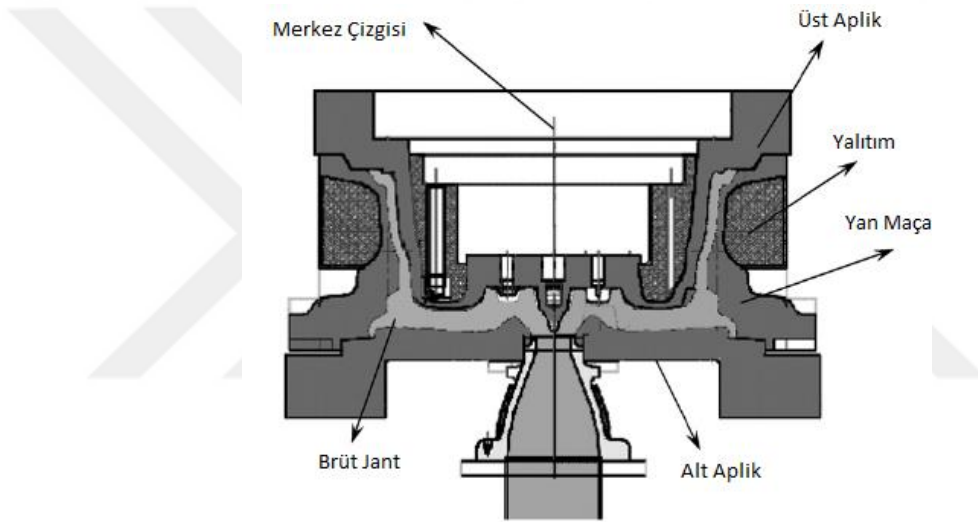
Bu tip 3 parçalı jant yapısı orijinal olarak 1970'lerin başlarında yarış araçları için geliştirilmiştir ve o zamandan beri seri üretimde de kullanılmaktadır. Bu tip bir jant üretimi için bir araya getirilmiş iki veya üç bileşen kullanılır. Çok parçalı jant üretiminde, birleşim parçaları ihtiyaca göre farklı üretim yöntemi ile üretilir. Merkezler çeşitli yöntemlerle (ABKD, kuma döküm gibi) dökülebilir veya dövülebilir. 3 parçalı jantların parçaları, lastik oturma yüzeyi mukavim olması ve porozitesiz olması amacıyla alüminyum disklerden dövülerek üretilir. 3 parçalı jantlar genellikle, başka türlü mevcut olmayan özel uygulamalar için özel olarak uyarlanabilir. Jant bölümleri, jantın balans yapmaması ve eksende olması için merkeze cıvatalanır ve jantın sızdırmazlığını sağlayabilmek için montaj

sürecinde kritik yerlere sızdırmazlık maddesi sürülerek işlem tamamlanır. 3 parçalı jantlar en çok 17 inç ve daha büyük çaplarda popülerdir.

1.3.4. Döküm

Yüksek kaliteli jantları düşük maliyetle üretme kabiliyeti sayesinde, alüminyum alaşımlı jantların dökümünde genellikle kullanılan işlem düşük basınçlı kalıp döküm işlemidir. Tipik bir alçak basınç kokil döküm makinesi, üstünde bir veya daha fazla kalıp boşluğu içeren bir kalıp tertibatından oluşur. Bu makineye bağlanan kalıpta; kalıba aktarım elemanları (yolluklar, filtreler, kovan, yükseltici, kılıf), üst aplik, alt aplik, yan maçalar, yalıtım malzemesi, soğutmalar bulunmaktadır. Şekil 1.8’de alçak basınç kokil döküm jant kalıbı kesit gösterimi yapılmaktadır. Alçak basınç kokil döküm makinesi çevrimsel olarak çalışmaktadır (Zhang vd., 2007). Bu çevrimler, bilgisayar tarafından kontrol edilip kalıp kapanma, kalıp açılma, itici devreye girmesi, soğutucu süreleri ve debileri gibi bir çok parametreyi kullanır. İşlem, alt potanın basınçlandırılmasıyla başlar. Potada öncelikle ergimiş metalin hazırda beklemesi için bir ön basınç verilir. Bu ön basınç sayesinde ergimiş metal dolum için hazırda bekler ve çok daha rahat bir biçimde hareket edebilmektedir. Ancak, burada bu yöntem ile ilgili en önemli olan işlem ergimiş metalin yer çekimine karşı iş yapmasıdır. Bu sayede gazlılık çok daha rahat ayarlanabilmekte ve rahat döküm yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ergimiş metale ön basınç verildikten sonra döküm basıncı devreye girmektedir. Basınç eğrisinin ayarlanması jant geometrisi ve kullanılacak ergimiş metale göre dolumun türbülanssız olacağı şekilde ayarlanmaktadır. Kalıp içerisindeki boşluk doldurulup jant görüntüsü ortaya çıktıktan sonra ütüleme basıncı devreye girer. Aynı zamanda, soğutma sistemleri de ihtiyaç doğrultusunda ayarlanarak çalıştırılır. Burada döküm içerisinde bulunan gazın çıkması ve ergimiş metalin geri yürümemesi hedeflenmektedir. Ütüleme fazından sonra katılma süresince ergimiş metal kalıp içerisinde belli bir süre bekletilir. Bu bekletmenin amacı jantın yüksek sıcaklık farkından dolayı çarpılmanın engellenmesi içindir. Bu faz jantın mukavemeti açısından oldukça önemlidir. Ani soğuma veya çok sıcak kalma gibi etmenler jantın mukavemetini değiştirebilmektedir. Katılma tamamlandıktan sonra, yan maçalar açılır ve üst kalıp dikey olarak yükseltilir. Jant üst aplik üzerinde yükselir. Belli bir süre bekledikten sonra iticiler devreye girerek jant robot kola düşürülür. Bu düşürme önemlidir. Çünkü kalıp açma esnasında jant

tamamıyla katılaşmamış ise burada deformasyona uğrayacaktır. Daha sonra bir sonraki çevrime hazırlık olması amacı ile alt maçaya, çapak ve benzeri gibi pürüzlerin iletilmemesi için, hava tutulur. Yolluk kısmına filtre koyulur ve kalıp tekrar kapatılır ve çevrim yeniden başlatılır. Jant ebatına, geometriye, ergimiş metal sıcaklığına bağlı olarak değişebileceği gibi bir jantın alçak basınçta ortalama üretim çevrim süresi 5 ila 6 dakika arasındadır. Mesela, çok kalın kollu bir jantın soğuması için çok daha fazla soğutma süresi gerekirken daha ince kollu bir jant çok daha hızlı soğuyabilmektedir. Her jant %100 tahribatsız muayene türlerinden biri olan X-Ray ile bakılarak kontrol edilir ve ihtiyaç durumunda çevrim süresi değiştirilebilmektedir. Bu durumu X-Ray sonucunda görülen porozite, çekintiler, çatlaklar etkilemektedir.



Şekil 1.8. Alçak basınç kokil döküm (Zhang vd., 2007)



Şekil 1.9. Alçak basınç kokil döküm jant kalıbı

Alçak basınç kokil döküm yönteminde geri bildirim kontrolü bulunmamaktadır. Bu döküm metodu ön kalıp hazırlama sonrası doldurma işlemi, soğutma sırası ve kalıp içi zamanı tanımlayan önceden ayarlanmış döngü koşullarıyla (zamanlamalar ve akışlar) çalışmaktadır. Bisheden ve Bhola (1999) tarafından bildirildiği gibi, önceden belirlenmiş koşullar önceden gerçekleştirilmiş deneyimlere ve deneme yanılma testine dayanarak geliştirilmiştir. Bununla birlikte, endüstriyel ortamlar oldukça dinamik olabileceğinden, bu açık döngü işletme modu esneklikten yoksundur. Bishenden ve Bhola (1999) ve Zhang ve arkadaşları (2005) döküm işlemindeki değişkenliğin yüzey kusurları, makro porozite ve/veya mikro porozite gibi kusurlara yol açabileceğini ve düşük ürün geri kazanım oranlarına yol açabileceğini göstermiştir. ABKD ile üretilen alüminyum alaşımlı jantlarda, en büyük kusur, makro porozite, mikro porozite ve çekinti porozitesidir. Porozite, dolum esnasında yada katılaşma anında olabilmektedir. Dolum hızına, sıcaklığına, hava pimlerinin yetersizliğine ve benzeri parametrelerin iyi ayarlanamaması sonucunda brüt jant içerisinde hava kalmaktadır. Bu hava nedeniyle gaz poroziteleri oluşmaktadır. Katılaşmada ise; yönlü katılaşmayı başaramayan brüt jantlarda sıcak alana doğru bir ilerleme olmasından dolayı çekinti porozitesi oluşmaktadır. Genel olarak, süreç değişkenliğinin azaltılması, süreç çıktısının ve döküm ürün kalitesinin iyileştirilmesine olanak sağlar (Maijer vd., 2007).

Porozite oluşumunda temel etkenler:

- Döküm hızının janta etkileri
Döküm hızının fazla olması durumunda türbülanslı akış olacağından ergimiş metal içerisinde hava kalabilir veya döküm hızının yavaş olmasından dolayı rim profil dolumu gerçekleşirken kanatlar sonrası ergimiş metal birleşme noktasında soğuk birleşme gerçekleşebilir.
- Poteyaj işleminin janta etkisi
Hatalı poteyaj uygulamasında ergimiş metal poteyajı aşındırabilir. Bu durumda ergimiş metal kirlenebilir ve porozite oluşabilir. Poteyaj aşınmasında, jant kalitesinin düşmesinin yanında jantın kalıptan çıkması da zorlaşır. Bu durumda kalıba zarar görür.

- Geometrik unsurların etkisi

Jant geometrisi döküme önemli bir biçimde etki etmektedir. Çok küçük yarı çapı, keskin köşeler gibi parametreler döküme olumsuz etki etmektedir. Jant tasarımı ve kalıp tasarımı döküm, talaşlı imalatı ve boya işlemini düşünerek yapılmalıdır. Örneğin, işleme payı yüksek verilen bir rim profilinde döküm beslenmeden dolayı daha iyi olabilmektedir. Ancak bu durumda poroziteler çoğalacaktır ve işleme sonrası boyama işleminde soruna sebebiyet verecektir.

- Makina yeterliliğinin etkisi

Makinanın kapanmasından (piston hareketleri), sağladığı basınca kadar her detay burada önemli olmaktadır. Makinada oluşacak en ufak arıza veya yanlış makina seçimi durumunda süreç bol ıskartalı, işçilik ve hammadde israfına yol açacaktır. Ayrıca piston hareketlerinde sorun oluşabilmesi, kalıbın kapanmamasına ve ergimiş metal fişkırmasına neden olabilmektedir. Bu durum insan sağlığı için ciddi sorunlara sebebiyet verebilmektedir. Bu sebepten dolayı makinalar sürekli bakımlı olmalıdır.

- Soğutma verimliliğinin janta etkisi

Alçak basınç kokil dökümde ihtiyaca göre apliklerde ve yan maçalarda soğutma kullanılmaktadır. Soğutmaların sıvılı (su, yağ) olanları genellikle geri toplamalı olarak çalışmaktadır. İçerisinden sıvı geçen soğutmalarda, soğutulmak istenen alana verilen sıvı, soğutma kanalı içerisine gelerek ısı transferi sağlar ve ısınarak kollektöre gider. Isınan sıvı sonrasında soğutulmak üzere kuyulara gönderilir. Bu kuyularda ısınıp attıktan sonra optimum sıcaklığa gelir ve sonra tekrar soğutma olarak kullanılır. Hava ile soğutma sistemlerinde ise sadece istenilen yüzeye üfleme şeklinde soğutma yapılmaktadır. Havalı soğutmalarda direk soğutma noktasına kompresör ile istenilen debide hava üflenir. Eğer, havalı soğutma sisteminde daha fazla bir soğutma ihtiyacı olacak ise hava nemlendirilerek üfleme sağlanır. Her iki sistemde de (sıvılı soğutma, havalı soğutma) bir arıza olması durumunda ergimiş metalin katılaşmasında problem oluşacaktır.

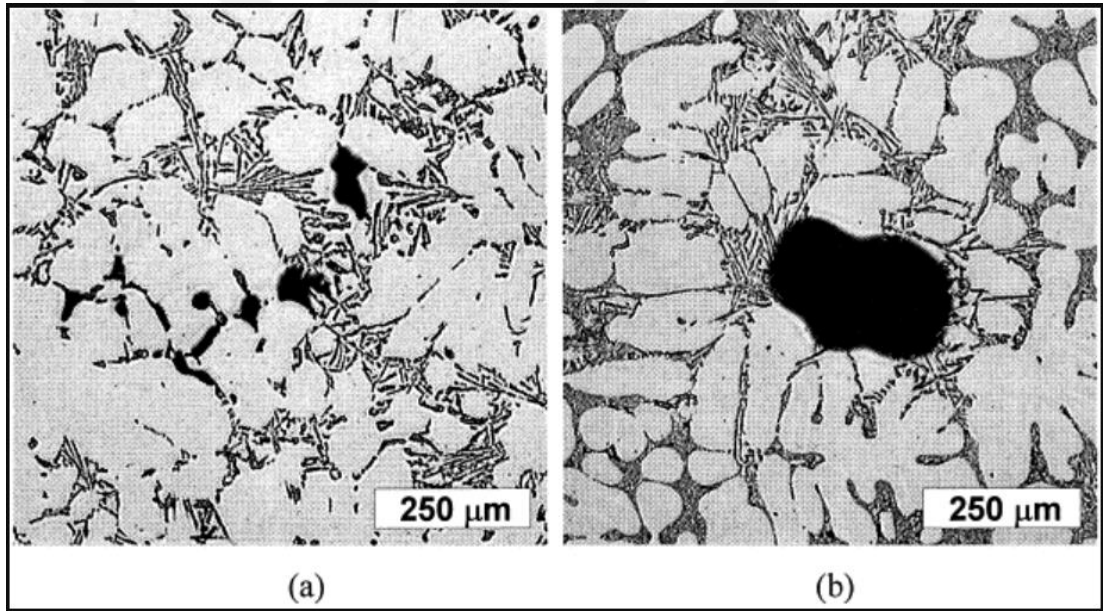
- Ergimiş metal gazlılığının janta etkisi

Döküm öncesinde dökülecek olan ergimiş metal bazı işlemlerden geçer. Gazlılık da parametrelerden biridir. Gazlılığın ayarlanması makinaya, jant geometrisine göre değişebilmektedir. İhtiyaçtan fazla veya az olan gazlılık jantta farklı şekillerde döküm kusuru oluşturabilmektedir.

- Yetersiz hava tahliye pimlerinin janta etkisi

Kalıp tasarımı esnasında en önemli unsurlardan biri hava atma pimleridir. Bu pimler sayesinde kalıp içerisinde hava tahliye edilir. Bu pimlerin çaplarının ihtiyaçtan küçük olması veya yetersiz sayıda yerleştirilmesi sonucunda gaz porozitesi oluşabilmektedir.

Yukarıda belirtilen parametreler sağlıklı döküm ortamının oluşması için oldukça önemlidir. Dökümler vakum ortamında olmadığı ve yönlü katılaşmanın tam anlamıyla uygulanmaması durumunda jant içerisinde her zaman porozite oluşacaktır. Jant için önemli olan mekanik değerlerin istenilen değer aralığı içerisinde olması, porozitelerin jant ön yüzeyini bozacak şekilde kendini göstermemesi ve seri üretimi sağlayabilmesidir.

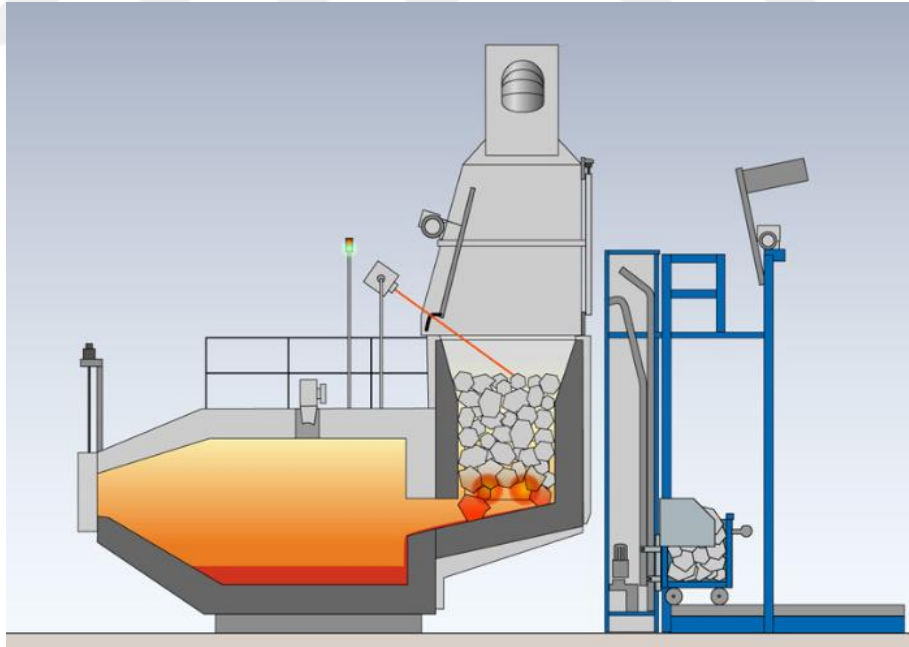


Şekil 1.10. a) Gaz porozitesi b) Çekme porozitesi (Anson vd., 1999)

1.3.4.1. Jant dökümü için ergimiş metal hazırlama işlemi

Jant döküm işlemi için yüksek kalitede alüminyum külçeler kullanılır. Külçeler, yüksek oran alüminyum içermekte ve kimyasal kompozisyonları istenen düzeyde gelmektedir. Alüminyum alaşım külçelerin ergime sıcaklığı yaklaşık 660°C civarında olmasından dolayı doğalgazlı ertitme fırını yeterli olmaktadır. Doğalgazlı ertitme fırını Şekil 1.11’de gösterilmiştir. Külçeler doğalgaz ile çalışan ertitme fırınına atılarak işlem başlar. Fırının en temel özelliği alüminyumun oksitlenmeden

sağlıklı bir biçimde ergimesidir. Bunun için külçeler üst bir hazneye atılır. Üst haznede alaşım ergiyerek alt hazneye geçer. Bu sayede sıvı alüminyum içerisine düşen külçe veya ıskarta jant sebebiyle sıçrama olmaz ve ergiyik oksitlenmeden korunmuş olur. Bir pota dolduracak kadar alüminyum eriği oluştuktan sonra ergimiş metal bekleme potasına alınır. Bekleme potası karıştırıcıya götürülür. Karıştırıcıda önce kimyasal kompozisyonuna, gazlılığına, yoğunluğuna bakılır. Çıkan sonuçlara göre flux, istenen ek alaşımlar, modifikasyon işlemi için mukavemet artırıcı ilave malzemeler atılır ve ve spesifikasyon gereksinimleri sağlanasaya kadar orada tutulur. Karıştırıcı verimini artırmak ve ergimiş metali daha hızlı hazırlamak için dalga kırıcılar da kullanılmaktadır. Üretilcek janta göre farklı spesifikasyonlar, farklı alaşımlar olabilir. Bu, üretilcek jantın ısıtılma işlemi görüp görmeyeceği, içindeki silis oranına bağlı olarak değişecektir. Optimum gazlılık ve yoğunlukta olmaz ise ergimiş metal dolum esnasında ergimiş metal yürümemesi, döküm sonrası porozite oluşumu gibi problemler ile karşılaşılabilir. İstenen değerlere getirilen ergimiş metal kalıbın altında bulunan bekleme fırınına alınır ve burada belli bir sıcaklıkta (Si11 için $690^{\circ}\text{C}\pm 15^{\circ}\text{C}$) döküm için hazır halde tutulur.



Şekil 1.11 Doğalgazlı ergitme fırını (Malpohl vd., 2010)

1.3.4.2. Dökülmüş jant işleme süreci

Bahsi geçen döküm yönteminin hassasiyeti, hassas döküm kadar olmadığı için jantlar brüt halde üretilir. Brüt jant oluşturmada, kalıp tasarımında jant ön yüzeyine zarar

vermeyecek kadar işleme payları verilerek tasarım yapılır. Brüt jantlarda rim profili, bijon delikleri, offset yüzeyi işlenmesi gerekmektedir. İstenen jant tipi ve yüzeyine göre ek işlemler yapılabilmektedir. Ancak, jantların otomotivlerde kullanılmasından dolayı hassas toleransları bulunmaktadır. Hassas toleranslar nedeni ile hassas bir işleme ihtiyaç duymaktadırlar. Talaşlı işleme süreci yapılırken olabilecek en az referans değişimi ile işlenirler. Hassasiyetin sağlanabilmesi için bilgisayar destekli işleme makineleri kullanılmaktadır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Anonim (2020a), Magmasoft firmasına ait temel bilgilere yer verilmiştir.

Anonim (2020b), Magmasoft programının demir dışı döküm parçalarındaki yeterliliği hakkında bilgi verilmiştir.

Anonim (2020c), interaktif ikili Al-Si faz diyagramından AlSi111 jantının dökümünde silis oranının etkisini gözlemlemek için ilgili internet sitesi kullanılmıştır.

Anson vd. (1999), Dökme alüminyum alaşımlarındaki mikro gözeneklilik, hidrojen gazı oluşumundan, mikro büzülmeden veya her ikisinin bir kombinasyonundan kaynaklanabilir. Büzülme ve gaz gözenekliliği arasındaki niceliksel ayırım için mekansal bir analiz yöntemi sunulmakta ve açıklanmaktadır. En yakın komşu analizi ile büzülme gözeneklerinin gaz gözeneklerinden ayrı seçilebileceği ve analiz edilebileceği gösterilmiştir.

Bernard (2003), CATIA v5 programına ve Dassault Systemes firmasına ait temel bilgiler verilmiştir.

Bone (2013), Döküm jantlar, soğuduğu ve şekil aldığı bir kalıba ergimiş magnezyum veya alüminyum alaşımı ilave edilerek üretilir. Bir jantın dökümünün ana dezavantajı, ergimiş alaşımın, dövme bir janta kıyasla yapısal bütünlüğünü azaltan alaşım içinde küçük hava ceplerine neden olan soğutma işlemi sırasında oturmasıdır. Buna karşı koymak için üreticiler, daha kalın, daha ağır jantlarla sonuçlanan daha büyük toleranslı döküm jantlar tasarlar. Bununla birlikte, daha hızlı ve daha az yoğun üretim süreci nedeniyle döküm jantlar genellikle dövme jantlarda daha ucuzdur. Dövme jantlar ise frezeleme ve BSK makinelerinde tamamlanmadan önce jantın şeklini oluşturmak için ısıtılan ve yoğun basınca maruz kalan katı bir alaşım bloğundan yapılmıştır. Bu basınç, alaşımın içinde muazzam miktarda enerji üretir ve moleküler tanesini değiştirerek ona aşırı güç verir. Sonuç olarak, dövme jantlar, döküm jantlarda çok daha hafiftir (%30'a kadar) ancak aynı sertliğe ve yapısal bütünlüğe sahiptir.

Günerhan vd. (2006), temel ısı transfer bilgileri tanıtılmıştır.

Malpohl vd. (2010), Yakıtle ısıtılan şaft tipi bir ergitme fırınında, özel bir şaft geometrisi ve özel brülör teknolojisi sayesinde, ön ısıtma, ısıtma ve ergitme işlem adımları tek bir ergitme şaftında birleştirilir. Şaftın üst kısmında soğuk durumda yüklenen metal, şaftın içinde aşağıya doğru hareket ederken ısınır. İşlemde, ergitme köprüsünde ergitme işleminden çıkan baca gazlarından ısı çekilir, yani şaft fırını termal olarak yüksek verimli karşı akış prensibine göre çalışır.

Maijer vd. (2007), alüminyum alaşımlı jantların üretiminde kullanılan, düşük basınçlı kokil döküm işlemi için, model tabanlı tahmini kontrol olmak üzere gelişmiş bir kontrol çözümü geliştirilmiştir. Kontrol çözümü, açık ve kapalı çevrim denemelerinin gerçekleştirildiği sanal bir süreç olarak yüksek meshli bir 3B sonlu eleman modeli kullanılarak geliştirildi. Süreç değişkenlerinin etkisini değerlendirmek ve döküm işleminin yaklaşık girdi-çıkı davranışını tahmin etmek için indirgenmiş sıralı durum-uzay modelinin geliştirilmesini kolaylaştırmak için açık döngü denemeleri kullanıldı. Bozulma senaryoları sırasında sanal süreçte kalıp sıcaklıklarını düzenlemek için bu durum-uzay modelini kullanan bir model tabanlı tahmin denetleyicisi kullanıldı. Endüstriyel işlemde tipik olarak bulunan iki karışıklık simüle edildi. Bunlar, endüstriyel işlemdeki ergimiş metalin sıcaklık davranışı ve dökümün kalıplardan çıkarıldıktan sonra kalıbın açık kaldığı süredir. Bu karışıklıklar, kalıp sıcaklıklarının optimum değerlerinden sapmasına neden olur ve bu da kusurlu jantlara neden olabilir. Geliştirilen kontrol çözümü, simüle edilmiş bozuklukları reddederek ve kalıp sıcaklıklarını optimum değerlerine yakın tutarak işlem performansını iyileştirdi.

Marini (2016), yıllarca büyük ölçüde akademik ilgi ve niş uygulamalardan sonra, yeni nesil yüksek görev SKT makineleri, akış şekillendirme sürecinin havacılık, otomotiv ve savunma endüstrilerinde artan bir uygulama bulmasını sağlıyor. Dijital kontrolün çok yönlülüğü, kaliteyi ve malzeme özelliklerini eşzamanlı olarak iyileştirirken, küçük ila orta ölçekli parti boyutları için ağırlık ve maliyet tasarrufu sağlamayı ekonomik olarak uygun hale getirdi. Bu gözden geçirmeyi oluşturan akışın yeteneklerini daha iyi anlamak için, son elli yılda rapor edilen araştırmayı araştırır ve hem teorik modelleri hem de deneysel araştırmaları özetler. İnceleme, daha fazla

araştırmanın gerekli olduğu halihazırdaki literatürdeki boşlukları da tanımlar. Örneğin: yüksek hesaplama maliyeti ve benimsenmesi gereken en uygun sonlu elemanlar modelleme yaklaşımı konusunda fikir birliği olmaması nedeniyle, bir akış oluşturma süreci sırasında stres / gerinim tensörlerinin gelişimi rapor edilmemiştir. Benzer şekilde, oluşturulmuş bir parçanın son mikro yapısı sıklıkla değerlendirilirken, gelişiminin modelleri (bir akış şekillendirme işlemi tarafından oluşturulan plastik deformasyonlar dizisi sırasında) rapor edilmemiştir.

Neill vd. (2018), SHY, SEY gibi, yapılandırılmamış (ör. üçgen) bir örgüye dayanır. Bu nedenle düzensiz ve karmaşık geometriler için uygundur. SHY, akışkanlar mekaniği problemleri için SEY'e göre başka bir avantaja sahiptir.

Romão Nogueira vd. (2016), bu çalışmanın amacı, Teknik Özellikler, süreç Akış Şeması, Kontrol Planı, süreç HMEA, Ekipman ve Takımlar ve Üretim Hattının Yerleşimi gibi en önemli araçları gösteren çelik jant üretimine ayrıntılı üretim sürecini tanıtmayı amaçlamaktadır.

Roye (1990), muayene hızı, ekonomik bir inceleme süreci açısından önemlidir.

Zhang vd. (2007), alüminyum alaşımlı jantların üretimi için düşük basınçlı döküm işleminin matematiksel bir modeli, British Columbia Üniversitesi'ndeki araştırmacılar ve bir Kuzey Amerika jant döküm tesisi tarafından ısı transfer modeli ve kalıbın üç boyutlu hali, sonlu elemanlar paketi olan ABAQUS içinde geliştirilmiştir. Kalıpta, döküm işleminde birkaç çevrim boyunca alınan kapsamlı sıcaklık ölçümleri, temel işlem sınır koşullarını geliştirmek ve modeli doğrulamak için kullanıldı. Tahmin edilen ve ölçülen sıcaklıklar, incelenen lokasyonların çoğunda 20°C ve 20°C'den az farkla iyi uyumaktadır. Model ile yapılan bir ısı akışı analizi, katılaşma işlemi sırasında ısının kalıp içinde izlediği karmaşık yolu tanımlamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Sonlu Hacim Metodu

SHY, SEY gibi, yapılandırılmamış bir örgüye dayanır. Bu nedenle düzensiz ve karmaşık geometriler için uygundur. SHY, akışkanlar mekaniği problemleri için SEY'e göre avantaja sahiptir. Şimdiye kadar sunduğumuz sayısal yöntemler KDD'lere dayanıyordu. Buna karşılık, SHY, koruma yasalarının farklılıkları yerine koruma yasalarının ayrılmaz biçimine dayanmaktadır. Bu, özellikle şok yakalama özelliği olarak da adlandırılan bir alan içindeki keskin gradyanlar (yani büyük türevler) için daha fazla doğruluk/kararlılık sağlar. Korunum yasaları, integral denklemlerle (yani Reynolds taşıma teoremi) ifade edilebilir. Örneğin, süreklilik denkleminin diferansiyel formu şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

Burada x, y ve z yönlerindeki akış hızlarının bileşenleri, ρ yoğunluktur. Bir kontrol hacmi (veya sonlu bir hacim) için sürekliliğin integral formu şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV + \int_S \rho u \cdot dS = 0 \quad (3.2)$$

Burada V kontrol hacmi, S kontrol yüzeyi, $u = (u, v, w)$ ve S yüzey vektörüdür.

Bu nedenle, bir kontrol/sonlu hacim içindeki kütle değişimi artı, kontrol yüzeyinden geçen net kütle akıları sıfır olmalıdır. SHY'de, alan ilk önce bir dizi örtüşmeyen sonlu hacim veya hücreye ayrıştırılır. Genellikle, bu sonlu hacimler için üçgenler (2B) veya prizmalardır (3B). Daha sonra, koruma yasaları, durum değişkenlerini hesaplamak için çözülebilen yeterli cebirsel denklem oluşturmak için her bir hücreye uygulanır (Neill vd., 2018).

3.2. Bilgisayar Destekli Tasarım

Bu tez çalışmasında bilgisayar destekli tasarım programı olarak CATIA V5 kullanılmıştır. CATIA, açılım olarak “Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application(Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu İnteraktif Kullanım)”’dır. Yüzey çalışmalarında öncü olan program özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Dünya’da hemen hemen tüm otomotiv ana sanayi tarafından bilgisayar destekli tasarım ve imalatla kullanılmaktadır. Catia üretilecek olan ürünlerin, üretimi esnasında tasarlanan süreçlerin sanal ortamda gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Bir ürün, tasarımcı tarafından Catia programında tasarlandıktan sonra ergonomi uzmanı, tasarımın ergonomisini araştırır. Bir sonraki aşamada mühendisler tasarlanmış parçanın her türlü dayanım hesaplamaları, kalıplanması ve son şekillerin oluşturulması işlemlerini yaparlar. Ardından sıra imalata yönelik çalışmalara gelir. Son olarak parçanın ne şekilde imal edileceği hesaplanır ve parça sanal ortamda imal edilir. İmalat sırasında her türlü yüzey analizleri yapıldıktan sonra parça gerçek imalata girer. Özetleyecek olursak Catia programı; endüstriyel amaçlı tüm ürünlerin hem tasarımı hem analizi hem de imalatını son derece hızlı, kolay ve güvenilir yapan bir bilgisayar yazılımıdır (Bernard, 2003).

3.3. Bilgisayar Destekli Mühendislik

Bu tez çalışmasında bilgisayar destekli mühendislik olarak sonlu hacim yöntemi ile Magmasoft programında dolum ve katılma analizi yapılmıştır. Magmasoft yazılımı, parça tasarımları ve optimizasyonları için mühendislik hizmeti de bulunmaktadır. Bugün, Magmasoft metal döküm sanayinin her kolunda tasarım ve optimizasyon amacıyla kullanılmakta olup; özellikle otomotiv endüstrisi ve ağır sanayi kollarına yönelik döküm yapan firmalar tarafından tercih edilmektedir. Magma Giessereitechnologie GmbH 1998 yılında kurulmuş olup merkezi Almanya’nın Aachen kentinde bulunmaktadır (Anonim, 2020a).

Demir dışı döküm yapan işletmelerde döküm parçalarının kaliteli ve kârlı bir şekilde üretimi; kalıp tasarımı, yolluk ve besleyici sistemleri, kalıbın termal açıdan kontrolü, alaşım kimyası optimum koşullarda sürekliliğinin sağlanması gibi birçok

parametreye bağılı olarak değişmektedir (Anonim, 2020b).

Programda sadece taşınım ısı transferi gerçekleşmektedir. Taşınım ısı transfer formülü aşağıdaki gibi verilmiştir. Işıma ısı transferi ihmal edilmektedir.

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_\infty)(W) \quad (3.3)$$

Burada h , ısı taşınım katsayısıdır ve birimi $[W/m^2K]$ ile verilir. A_s ise, taşınımın gerçekleştiği yüzeyin alanıdır(m^2). T_s yüzey sıcaklığı (K), T_∞ ise yüzeyden yeteri kadar uzaktaki akışkanın sıcaklığıdır (K) (Günerhan vd., 2006).

Bahsi geçen jant dökümünde Magmasoft programına ait “non-ferrous” modülü kullanılmıştır. Bu modül sayesinde dolum ve katılaşma esnasında alaşım malzeme davranışları daha sağlıklıdır. Programın optimizasyon seçeneğini de sağlaması sayesinde optimizasyon çalışması yapılarak sonuçlar bulunmuştur. Optimizasyon kullanılmasının amaçları:

- Besleyici ve yolluklar için ideal pozisyon ve ebatları belirleyerek çekinti ve poroziteleri engelleme imkanı
- Kalıpların efektif termal kontrolü ile kalıpların kullanım ömrünün uzatılabilmesi
- Katılaşma ve soğuma aşamalarında meydana gelebilecek kritik faz oluşumlarını engellemek amacıyla alaşım kimyası optimizasyonu
- Tüm parametrelerin optimizasyonu ile istenen mikro yapı ve özelliklerin sağlanması

3.4. Kalıp Datasının Bilgisayar Ortamında Hazırlanması

Endüstriyel anlamda ortaya çıkan ihtiyaç sonucu akış problemlerinin çözülmesi için sonlu hacimler metodu kullanılmaya başlanmıştır. Brüt elemanların tasarımı yapıp, daha sonra ilgili elemanların matematiksel modelleri oluşturulduktan sonra, sonlu hacimler metodu ile döküm simüle edilmektedir. Bu simülasyonlarda ortamın ve dökümün iyi bir biçimde belirlenmesi yani senaryonun sağlıklı bir biçimde oluşturulması sonucunda simülasyon programı da buna göre daha sağlıklı sonuç

verecektir. Fizibilitesi yapılan bir jantın döküm için uygun olup olmadığı kalıp tasarımı öncesinde yapılır ve otomatik kalıp çalışarak analiz gerçekleştirilir. Dolum ve katılma hakkında fikir verir ve kalıbın hazırlanması konusunda yardımcı olur. Radyus ebatları, besleme gereken noktalar, soğutma ihtiyacı gibi konularda başlangıç olarak fikir vermektedir. Bu sayede hem üretim süreci hızlanır ve jant kalitesi artar. Kalıp tasarımı ve üretimi sonrasında ise kalıplı analizler kullanarak jant ayar kartı oluşturulur. Jant ayar kartı, üretici firmanın deneyimine, makinalara ve optimizasyon sonuçlarına göre oluşturulur. Analiz programından yönlü katılmanın kontrolü, sıcaklık profili, akış takibi, porozite oluşabilecek yerler, çekinti oluşabilecek yerler gibi birçok istenilen bilgi alınabilmektedir. Tabi ki yapılan simülasyon ve döküm tamamıyla aynı olmayacaktır. Ancak senaryoların kurulması ne kadar sağlıklı olur ise simülasyon programı da o denli sağlıklı sonuçlar verecektir. Bu konu için süreç doğrulamanın sağlanıp sağlanmadığını görebilmek adına, deneme dökümleri yapılarak dökülen jantların simülasyon ile uygunluğu kontrol edilir. Alınan sonuçlar doğrultusunda, bir yerde atlanan parametre veya eksik girilen bir bilgi var ise bunlar güncellenerek seri üretim için hazırlık yapılır.

Kalıp verileri hazırlanırken bilgisayar ortamında, CAD programında aplikler, hamiller ve yan maçalar ayrı ayrı tasarlanır. Her bir kalıp elemanı tasarlandıktan sonra brüt jant çıkarmak için CAD programında sanal montajı yapılır. Bilgisayar ortamında montajı yapılan kalıp elemanları üzerine gerekli diğer elemanlar tasarlanarak montaj ortamında yerleştirilir. Bunlar;

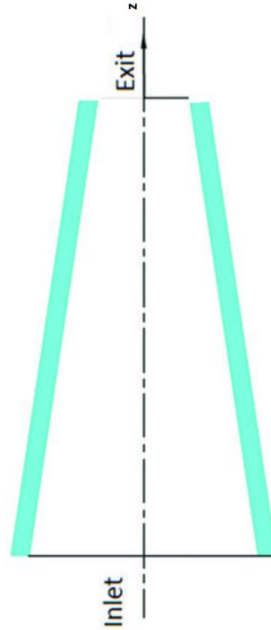
1. Yükseltici tüp
2. Ara yolluk
3. Kovan
4. Üst yolluk
5. Kılıf
6. Filtre
7. Sap
8. Yürütücü'dür.

3.4.1. Yükseltici t p

Yükseltici t p, ergimiş metalin bekleme havuzundan ara yollu a aktarıldığı kısımdır. Kalıp toplamada montajı yapılmaz. Alçak basınç kokil döküm makinesi içerisinde bulunur. Ergimi  metalin aktarım sırasında oluşacak ısı kaybının minimum olması istenmesi sebebiyle seramik malzemeden yapılır.

3.4.2. Ara yolluk

Ara yolluk, hortum ba ı sistemine benzemektedir. Geometrisinden dolayı girişte yüksek basınç düşük hız olur iken küçük çapa geldiğinde yüksek hız düşük basınç olmaktadır. Bu sayede ergimiş metal daha rahat hareket edebilmektedir. Ara yolluk kovan içerisine yerleştirilir. I erisinden ergimiş metal geçmesi sebebiyle seramik malzemeden üretilir. Ara yolluk geometrisi  ekil 3.1’de sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Ara yolluk kesit gösterimi

3.4.3. Kovan

Kovan malzemesi genelde dökme demirden üretilmektedir. Kovanın görevi, içerisinde bulunan ara yollu u korumaktır. Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

3.4.4. Üst yolluk

Üst yolluk da ara yolluk gibi seramik malzemeden üretilmektedir. Ancak, bu eleman şekli bakımından ara yolluğun ters geometrisi şeklindedir. Ergimiş metal ara yolluğun üst kısmından çıkarken basınç artırılır hız düşürülür. Bu sayede basınç artırımlarında homojen dağılım sağlanır ve türbülansın oluşum potansiyeli azalmış olur. Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

3.4.5. Kılıf

Kılıf, üst yolluk üzerindedir. Görevi üst yolluğu potansiyel darbelerden korumak için yapılmıştır. Malzemesi çeliktir. Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

3.4.6. Filtre

Filtre üst yolluk içerisinde yerleştirilmektedir. Filtrenin iki amacı bulunmaktadır. Birinci amacı; ergimiş metal içerisinde potansiyel bulunabilecek cürufkların tutulmasıdır. İkinci amacı; ergimiş metal akışında türbülansı engellemek ve laminar bir akış sağlamaktır. Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

3.4.7. Sap

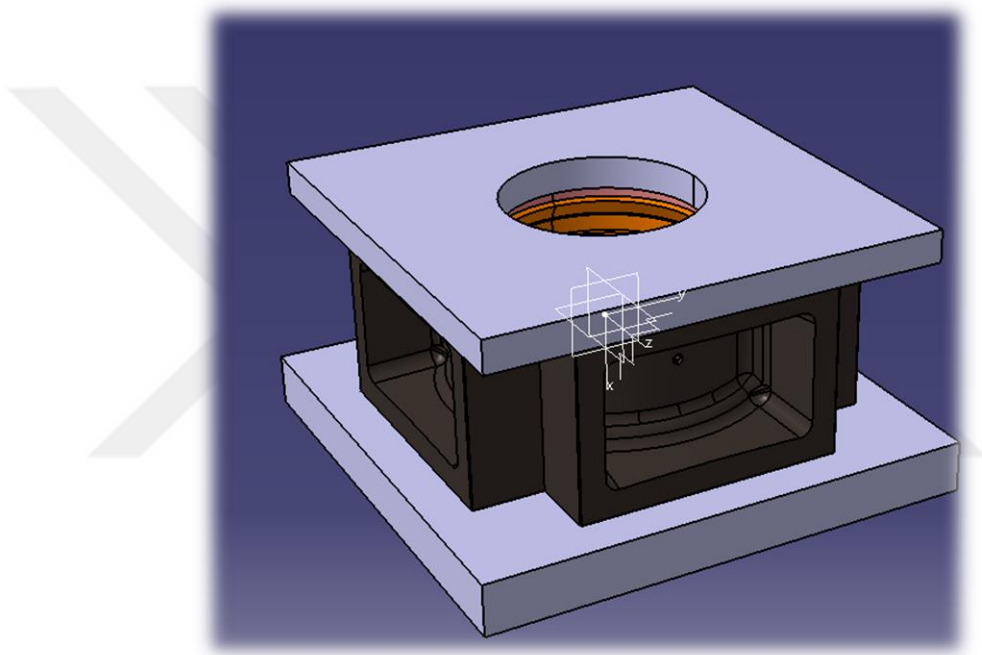
Sap, alçak basınç kokil döküm makinesi içerisinde ve kalıp içerisinde kullanılan bir eleman değildir. Analiz kurgusunda ergimiş metalin yürümesini simüle etmek için kullanılan sanal bir elemandır. Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

3.4.8. Yürütücü

Yürütücü, ergimiş metalin bekleme potasından gelişini simüle etmek için kullanılan sanal elemandır. Magmasoft programı sonuç kısmında akış izleyici gibi kalıbın dolumunu görmemizi sağlayan bir elemandır. Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

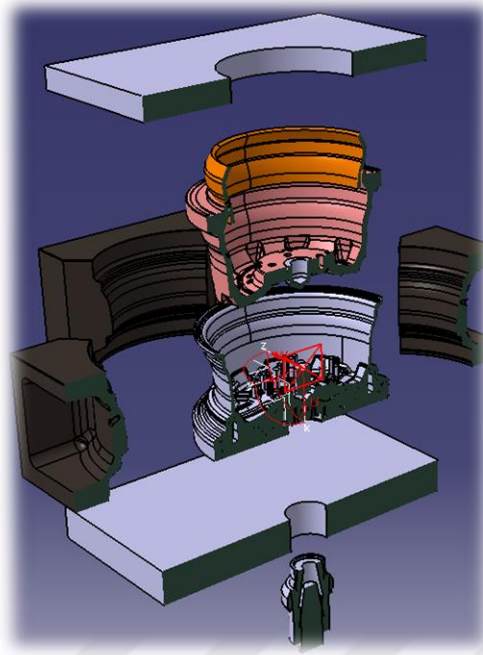
Sıralama olarak, Catia programında önce aplikler, hamiller, yan maçalar montajı yapılır. Bunun üzerinde yukarıda yazılmış olan ara elemanlar tasarlanarak montaja eklenir. Bu ekleme sonrası sağlıklı brüt jant datası için montajı yapılan kalıp dataları

içerisinden brüt jant datası çıkartılır. Kalıp dataları içerisinden brüt jant çıkarmak önemlidir. Çünkü bu sayede ergimiş metal aldirmalar da rahatlıkla brüt jant üzerinde belli olur. Çıkan brüt jant datası da eklendikten sonra kalıbın soğutmaları eklenir. Soğutmalar çevrim süresinin azaltılması ve jantın mekanik değerlerinin artırılması için önemli bir etkidir. Soğutmalar ile yönlü katılaşma sağlanmaya çalışılır. Ne kadar sağlıklı yönlü katılaşma sağlanır ise çekintiler o kadar azalır ve daha mukavetli bir jant elde edilir. Şekil 3.2’de, Catia programında bu tez çalışmasında kullanılan kalıp gösterilmiştir.



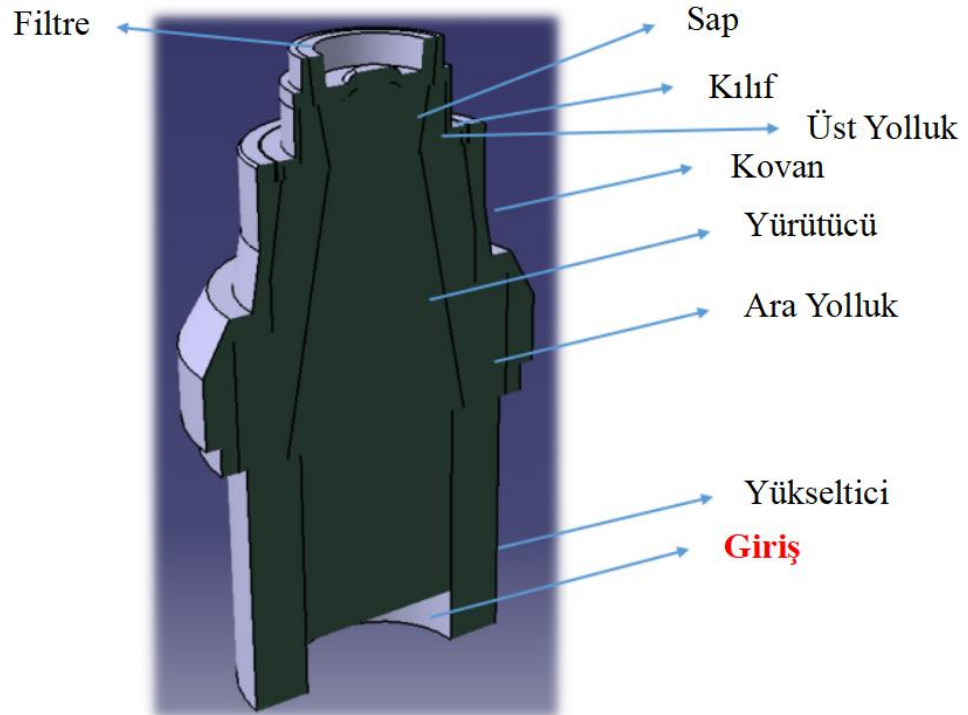
Şekil 3.2. Catia ortamında kalıp verisi gösterimi

Kalıp verileri analiz için basitleştirilmiştir. Yukarıda gösterilen kalıp verisinin kesit görünümü Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Catia ortamında kesit kalıp datası gösterimi

Yukarıda kesiti gösterilmiş olan kalıp verisinde yukarıda yazanlardan farklı olarak üst aplik yalıtımı eklenmiştir. Şekil 3.4’de ergimiş metalin kalıba yürüyeceği ara elemanların kesiti gösterilmiştir.

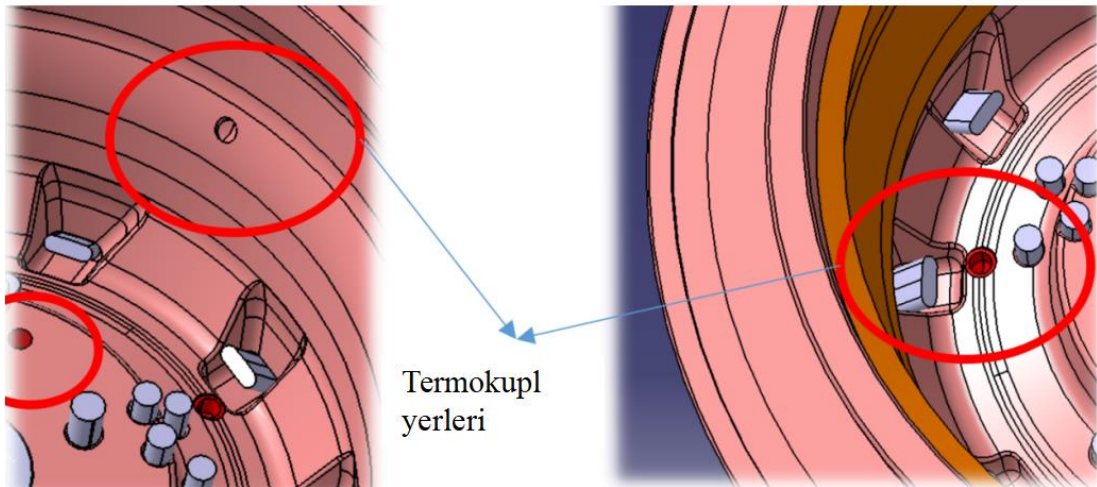


Şekil 3.4. Catia ortamında kesit kalıp datası gösterimi

Kalıp verilerinin gösterimi, ara elemanların gösterimi ve bu gösterimlerin kesitleri yukarıda verilmiştir. Kalıp, analiz ortamından sonra ampirik olarak denenecektir. Bu deneme esnasında termokupllar ile veriler alınacaktır. Kalıpta termokupl delikleri açılmıştır. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da termokuplların yerleri gösterilmiştir. Şekil 3.4’de farklı olarak “giriş” gösterilmiştir. Bu eleman magmasoft içerisinde tasarlanacak sanal bir elemandır.



Şekil 3.5. 2 Boyutlu olarak termokupl yerlerinin gösterimi

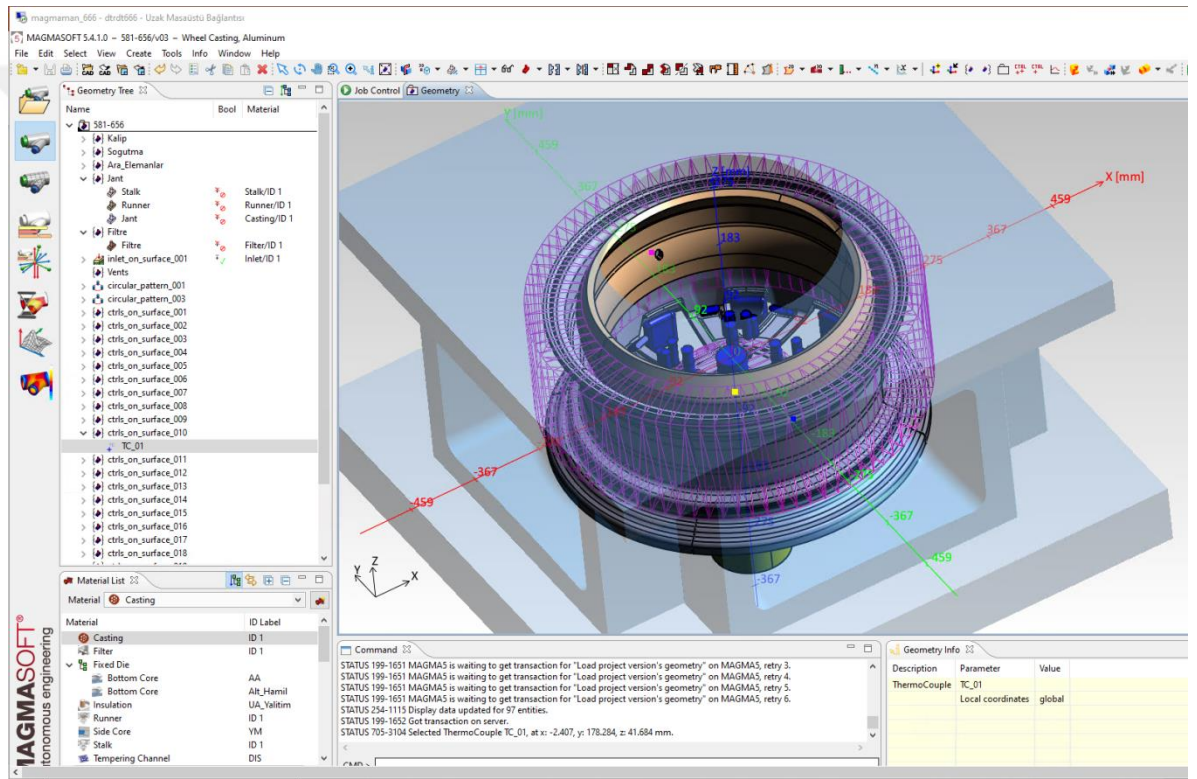


Şekil 3.6. 3 Boyutlu olarak termokupl yerlerinin gösterimi

3.5. Kalıp Verisinin Magmasoft Programında Kurgusu

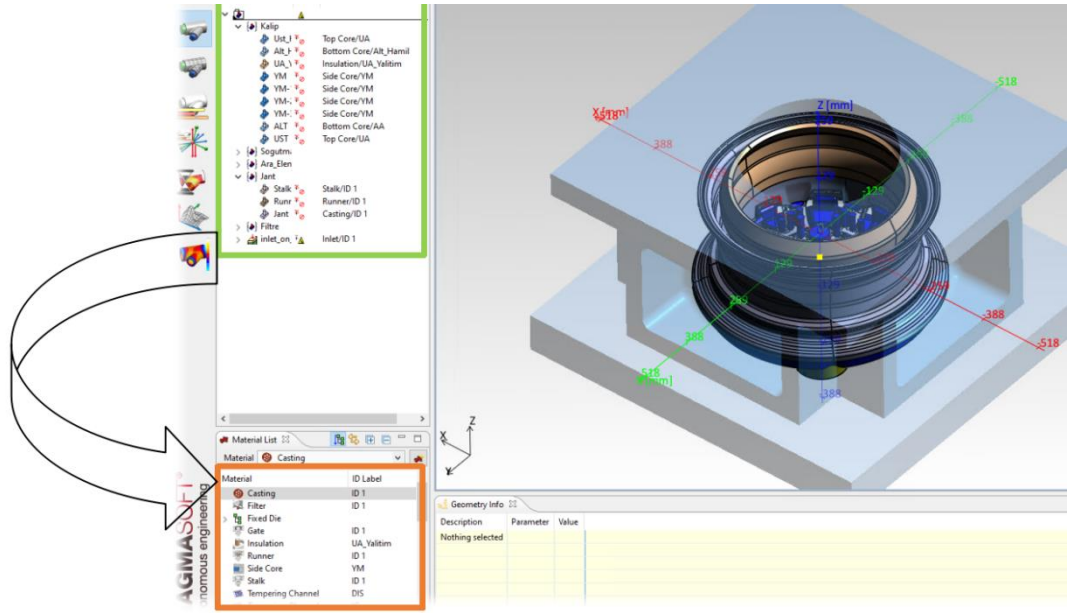
3.5.1. Geometri tanımlama

Simülasyonlarda, analiz kurgusu dökümü tanımlayacak bir biçimde belirlenmesi yani kurgunun sağlıklı bir biçimde oluşturulması gereklidir. Magmasoft programı bize jant dökümü ile ilgili tüm parametreleri sağlamaktadır. Bu parametreleri doğru belirleyebilmek adına ölçümler yapılması gerekmektedir. Ölçümler yapıldıktan sonra bu değerler programa girilerek sonucu alınmalı ve süreç doğrulaması yapılması gerekmektedir. Magmasoft programının arayüzü Şekil 3.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.7. Magmasoft programı arayüzü

CAD programından alınan montaj dosyası Magmasoft programı içerisine alınır. İçeri alınan veriler tek tek tanımlanır. Mesela, yan maça modelleri program içerisinde “Side Core” olarak tanımlanmalıdır. Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Magmasoft programında eleman tanımlama

Tasarlanmış veriler tanımlandıktan sonra sanal elemanlar eklenir. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- Giriş
- Hava çıkıcıları
- Termokupllar
- Değerlendirme alanı

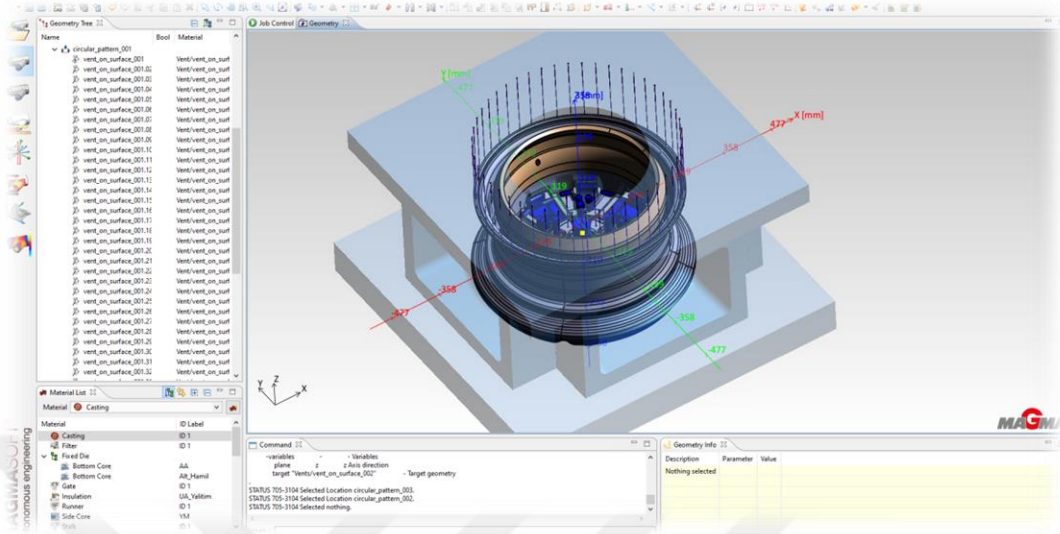
3.5.1.1. Giriş

Giriş tanımlaması ergimiş metalin ilk girdiği yeri göstermektedir. Ergimiş metal buradan başlayarak diğer elemanlara aktarılır. Girişin tanımlandığı yer Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

3.5.1.2. Hava çıkıcıları

Hava çıkıcıları kalıp üzerinde bulunmaktadır. Uygulamada hava atma pimleri olarak kullanılır. Amacı ergimiş metal dolumu esnasında sıkışan havayı tahliye etmektir. Eğer hava çıkıcıları yeterli olmaz ise ya kalıp dolumu tamamıyla gerçekleşemez ya da ergimiş metal hava ile uzun süre temas etmesi sonucu gaz porozitesi oluşabilir. Bu

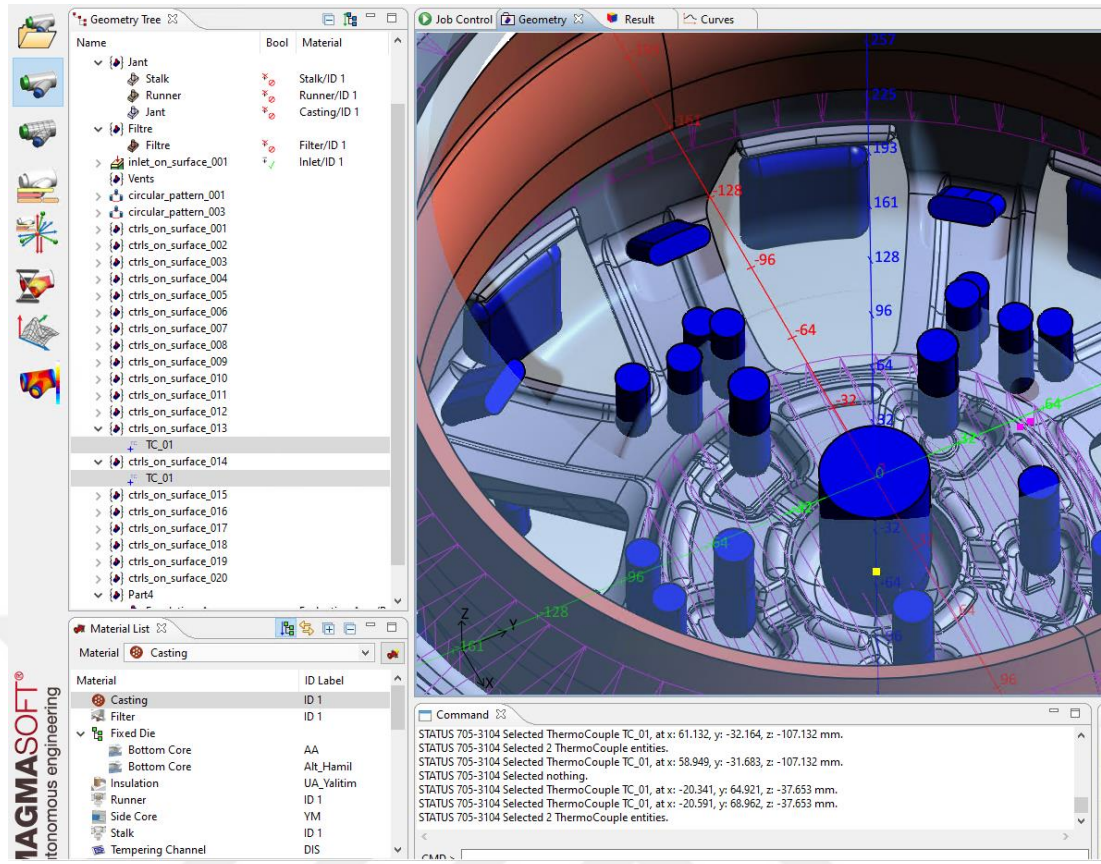
durumdan dolayı bu hava çıkıcıları yüksek öneme sahiptir. Hava çıkıcıları Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Magmasoft programında eleman tanımlama

3.5.1.3. Termokupllar

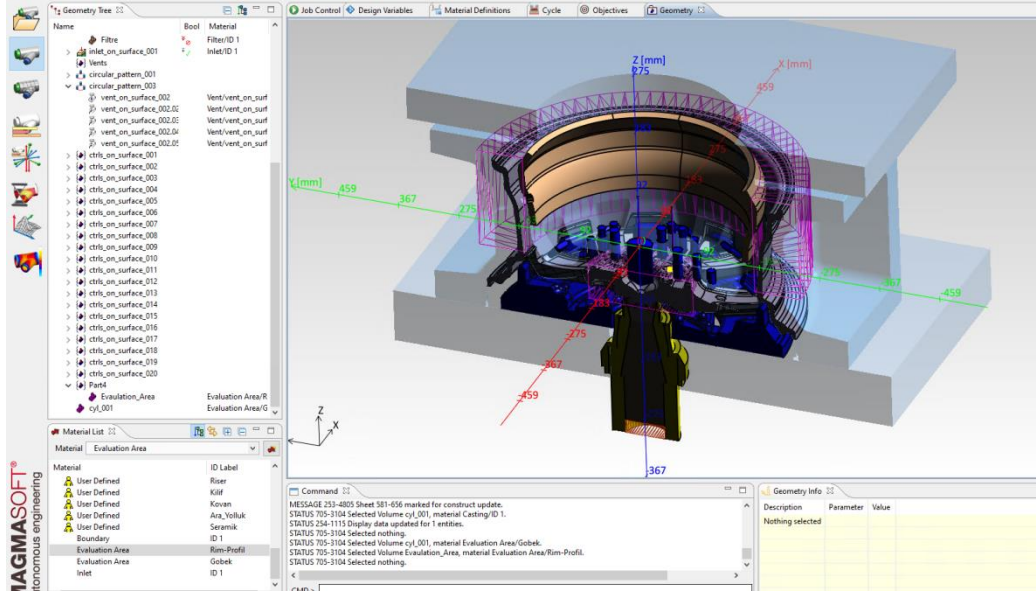
Termokupllar kalıp üzerine delik açılarak yerleştirilir. Fiziksel olarak yerleştirilen termokupl verileri ile kurgu aşamasında aynı yere yerleştirilmiş olan termokupl verileri karşılaştırılarak süreç doğrulaması yapılabilmektedir. Magmasoft programında üst aplik göbek bölgesine termokupl atanmış bir örnek aşağıdaki Şekil 3.10’de verilmiştir.



Şekil 3.10. Magmasoft programında termokupl tanımlama

3.5.1.4. Değerlendirme alanı

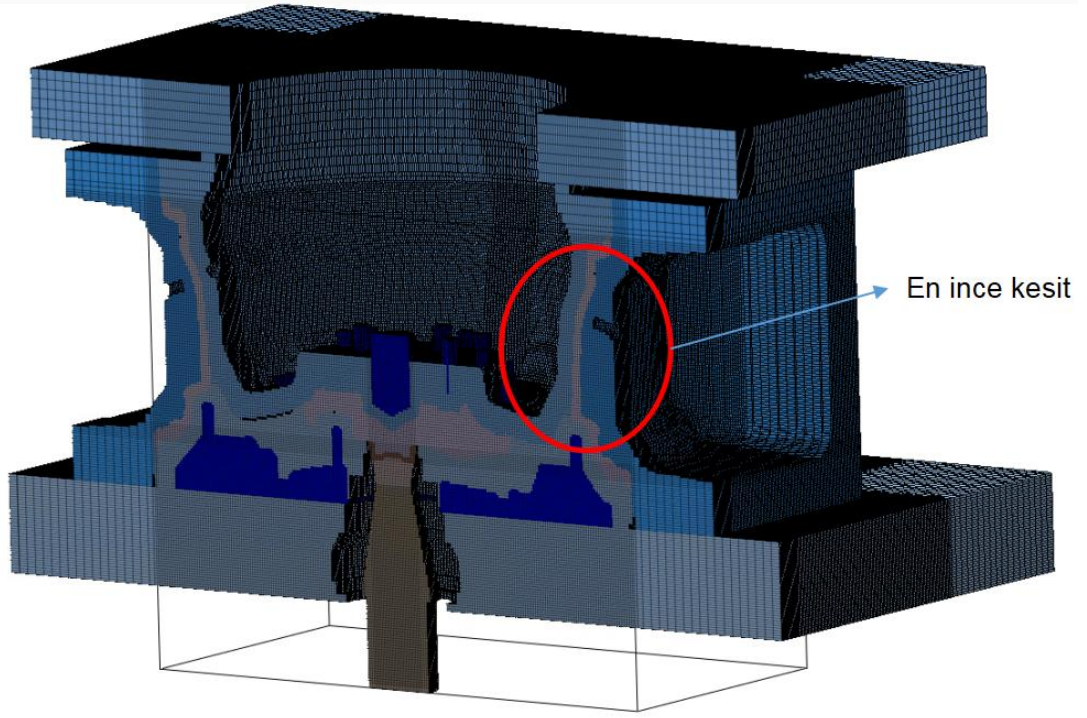
Değerlendirme alanının amacı iyileştirmek istenen alanlar için optimizasyon sağlanması içindir. Misalen sıçramalı dolum olan bir analizde göbek bölgesine değerlendirme alanı yerleştirilerek bunu engelleyici şartlar atanabilir. Bu sayede yeni jant ayar kartları oluşturularak süreç iyileştirmesi yapılabilir. Bu tez çalışması için yapılan çalışmaya eklenen değerlendirme alanı Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



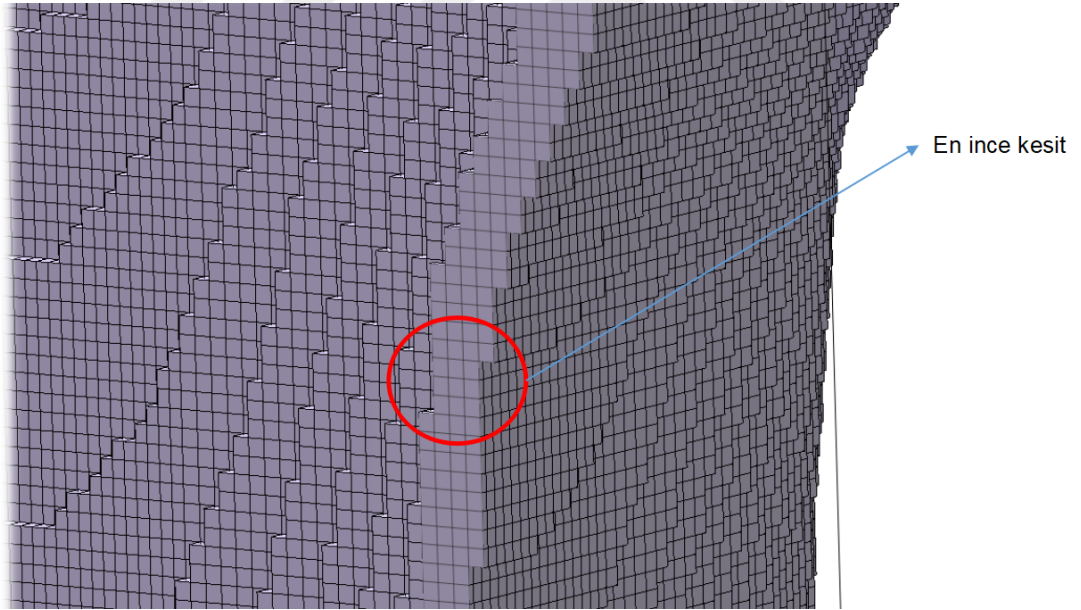
Şekil 3.11. Magmasoft programı değerlendirme alanı tanımlama

3.5.2. Örgü tanımlama

Gerçeğe yakın bir sonuç elde edebilmek için uygun örgü tipinin seçimi ve gerekli sayıda kullanılması önemli bir husustur. Kullanılan elementlerin büyüklüğü hesaplama alanı içindeki değişimleri yansıtacak kadar küçük olması istenir. Gereksiz çok sayıda eleman kullanılması istenilmez. Bu durumda hem fazla hesaplama zamanı harcanır, hem de sayısal hesaplamalarda oluşabilecek bir hatanın artmasına neden olacaktır. Magmasoft programında kullanılan örgü kübiktir. Elemanlar kübik bir biçimde örgülenerek yüzeyler birbiri ile örtüşür. Burada ısı transferleri komşular arasında gerçekleşir. Bu sebeple örgü işlemi yüksek öneme sahiptir. Biz bu çalışmada optimum olan jantın en ince kesitte 3 kübik örgü olarak çalışacağız. Kalıbın kübik örgülü hali Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen en ince kesit jantı kasetmektedir.

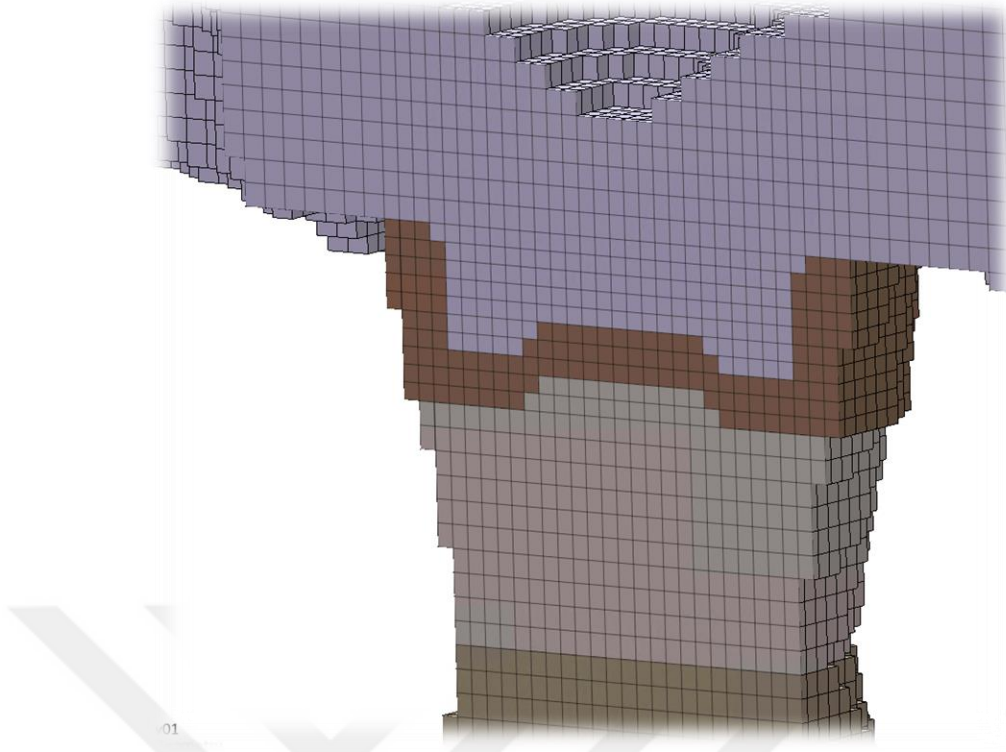


Şekil 3.12. Magmasoft programı örgü değerlendirme alanı tanımlama



Şekil 3.13. Magmasoft programı jant örgü değerlendirme alanı tanımlama

Dolum için önemli unsurlardan olan filtre için oluşturulan örgü yapısı Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Magmasoft programında filtrenin örgü yapısı

3.5.3. Analiz şartları tanımlama

Bu tez çalışmasında incelemesi yapılan jant, alaşımı AlSi11 olan daha önceden dökülmüş ancak lastik oturma yüzeyinde problem olmuş bir janttır. Bu sebeple süreç doğrulaması yapılması gerekmektedir. Bu durumdan dolayı üretimden alınan önceki döküme ait jant ayar kartı girilerek ilk analiz yapılacak ve sorunlu jant ile eşleştirilecektir. Burada jant ayar kartı ile anlatılan döküm işlemi için makineye girilen ayarlardır. Eşleştirme sonrası sorunu gidermek adına optimizasyon çalışması yapılacaktır.

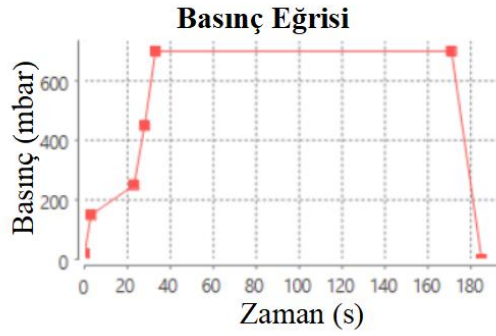
3.5.3.1. Dolum basınç değerleri

Eski jant ayar kartına ait dolum basınç değerleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Eski jant ayar kartı dolun basınç değeri

Zaman (sn)	Basınç (mbar)
0	20
3	150
23	250
28	450
33	700
171	700
185	0

Magmasoft programının yukarıdaki basınç değeri göre çizdiği basınç eğri Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15. Magmasoft programında çizilen basınç eğri

3.5.3.2. Soğutma cinsi

Bu tez çalışmasında ele alınan janta ait soğutma sadece hava ile sağlanmaktadır. Alt ve üst aplik üzerinde bulunan soğutma deliklerine üfleçler eklenerek soğutma sistemi yapılmıştır. Daha sonrası bu soğutma sistemi kompresöre bağlanarak ayrı ayrı istenilen kanallara hava verilir.

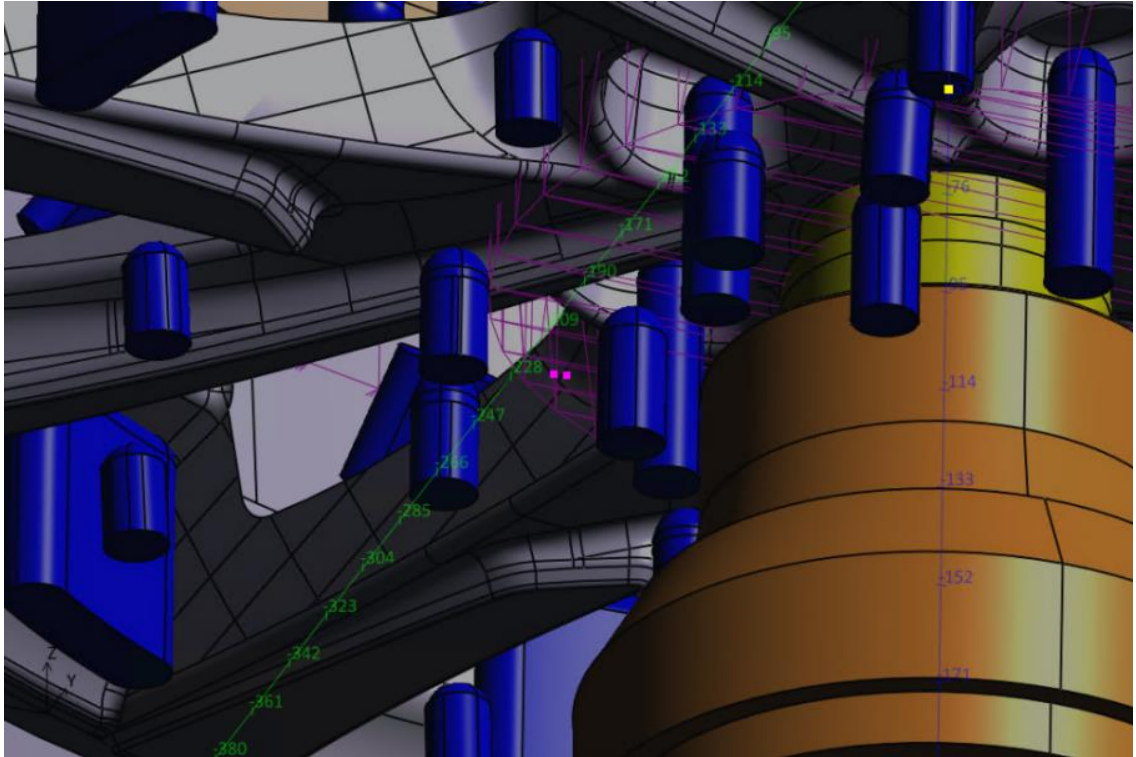
3.5.3.3. Soğutma debileri

Eski jant ayar kartına göre soğutma debileri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Eski jant ayar kartı soğutma debileri

Soğutulan Aplik	Soğutma Yeri	Soğutma Debisi (Nm ³ /h)
Üst Aplik	Kanat Soğutma	60
Üst Aplik	Çevre 2	40
Üst Aplik	Çevre 1	40
Üst Aplik	Bijon	60
Üst Aplik	Dağıtıcı	70
Alt Aplik	Kanat Soğutma	70
Alt Aplik	Çevre 2	70
Alt Aplik	Çevre 1	40
Alt Aplik	Bijon	50
Alt Aplik	Yolluk	80

Soğutma yerleri Magmasoft programında mavi şekilde gösterilmiştir. Şekil 3.16’da soğutmaların bir kısmı gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Magmasoft programında soğutmaların gösterimi

3.5.3.4. Soğutma süreleri

Magmasoft programında, gerçekte olduğu gibi soğutmalar belli bir soğutma süre aralığında çalışabilmektedir. Eski jant ayar kartına göre soğutma süreleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Eski jant ayar kartı soğutma süreleri

Soğutulan Aplik	Soğutma Yeri	Soğutma Giriş Süresi (sn)	Soğutma Çıkış Süresi (sn)
Üst Aplik	Kanat Soğutma	65	245
Üst Aplik	Çevre 2	100	210
Üst Aplik	Çevre 1	65	220
Üst Aplik	Bijon	80	250
Üst Aplik	Dağıtıcı	130	240
Alt Aplik	Kanat Soğutma	Kapalı	
Alt Aplik	Çevre 2	Kapalı	
Alt Aplik	Çevre 1	150	210
Alt Aplik	Bijon	100	210
Alt Aplik	Yolluk	85	235

3.5.4. Isı transfer katsayılarının tanımlanması

Burada önemli olan ergimiş metalin aplikler ve yan maçalarla olan ısı transfer katsayısıdır. Ergimiş metalin, yan maçalar ve üst aplikle olan ısı transferi kalıp olarak alt aplikle olan ısı transferi poteyaj olarak tanımlanmaktadır. Programda ısı transfer katsayısı görüntüsü Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

Material 1	Mat ID	Material 2	Mat ID	Cavity	Database/File name	Type
Cast Alloy		Permanent Mold				
Cast Alloy		Permanent Mold				
Bottom Core	AA	Casting	ID 1		MAGMA/AISI10Mg-coat	Temperature Dependent HTC
Side Core	YM	Casting	ID 1		MAGMA/AISI10Mg-mold	Temperature Dependent HTC
Top Core	UA	Casting	ID 1		MAGMA/AISI10Mg-mold	Temperature Dependent HTC

Şekil 3.17. Magmasoft programında ergimiş metale ait ısı transfer gösterimi

3.5.5. Kalıp ön hazırlama

Burada kalıp açıkken yapılan işlemler tanımlanmaktadır. Gerçek jant döküm işleminde jant çapak yaparsa veya kalıp içerisinde görünür pislik var ise hava tutulur.

Bu durumdan dolayı hava tutulma işlemi de Magmasoft programında tanımlanır. Bu çalışmada alt apliğe hava tutulma süresi 3 saniye olarak tanımlanmıştır.

3.5.6. Kalıp kapanma süresi

Programda kalıp kapanma süresi de tanımlanmaktadır. Bu tanımlamanın olmasının sebebi; kalıp açıkken hava ile teması sonucu kalıbın belli bir oranda soğumasından dolayıdır. Kalıbın açık kalma süresi filtrenin koyulması, jantın alınması gibi olaylara bağlı olarak 5-10 saniye arasında olmaktadır. Bu çalışmada kalıp kapanma süresi 10 saniyedir.

3.5.7. Gecikme süresi

Burada ergimiş metalin bekleme potasından üst yolluğa gelme süresi tanımlanmaktadır. Bu parametrenin amacı ergimiş metalin bekleme potasından üst yolluğa geleseye kadar geçtiği seramik malzemelerde oluşan ısı transferini hesaba katmaktır. Bu çalışmada gecikme süresi 4 saniyedir.

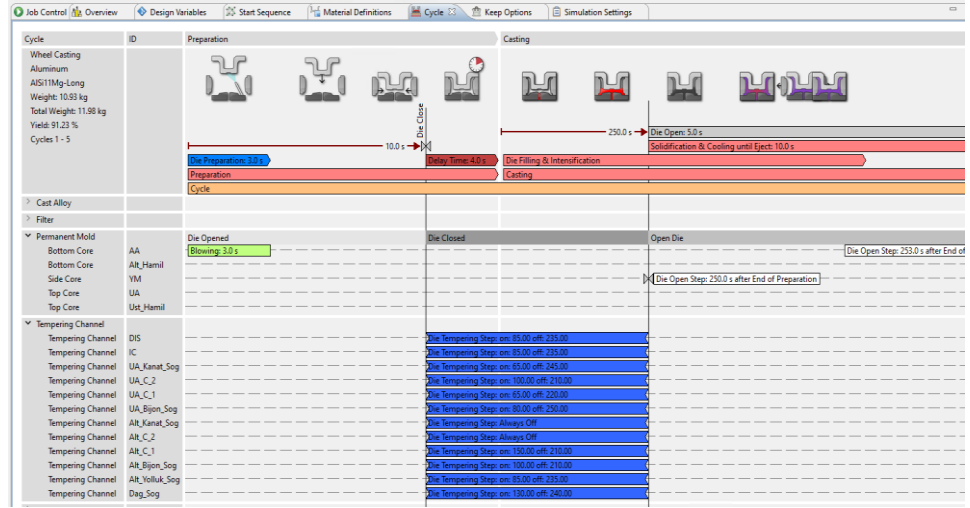
3.5.8. Kalıp açma süresi

Kalıp kapanıp dolum başladıktan sonra kalıbın açıldığı zamana kadar geçen süre tanımlanmaktadır. Kalıp açma süresi düşük girilirse kalıp katılaşma tamamıyla gerçekleşemez. Kalıp açma süresi fazla girilirse kalıp çoktan katılaşmış olur ve füzuli olarak kalıp içerisinde bekler. Bu durumdan dolayı bu değerin uygun girilmesi gerekmektedir.

3.5.9. Tahliye süresi

Kalıp açıldıktan sonraki iticilerin çalışma süresi tanımlanmaktadır. Bu çalışmada tanımlanan değer 5 saniyedir.

Senaryo kurulduktan sonra son durum programda Şekil 3.18’de ki gibi görülür.



Şekil 3.18. Magmasoft programında çevrim ekranı

Analiz bu şekilde koşturulur.

3.6. Eski Jant Ayar Kartına Ait Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

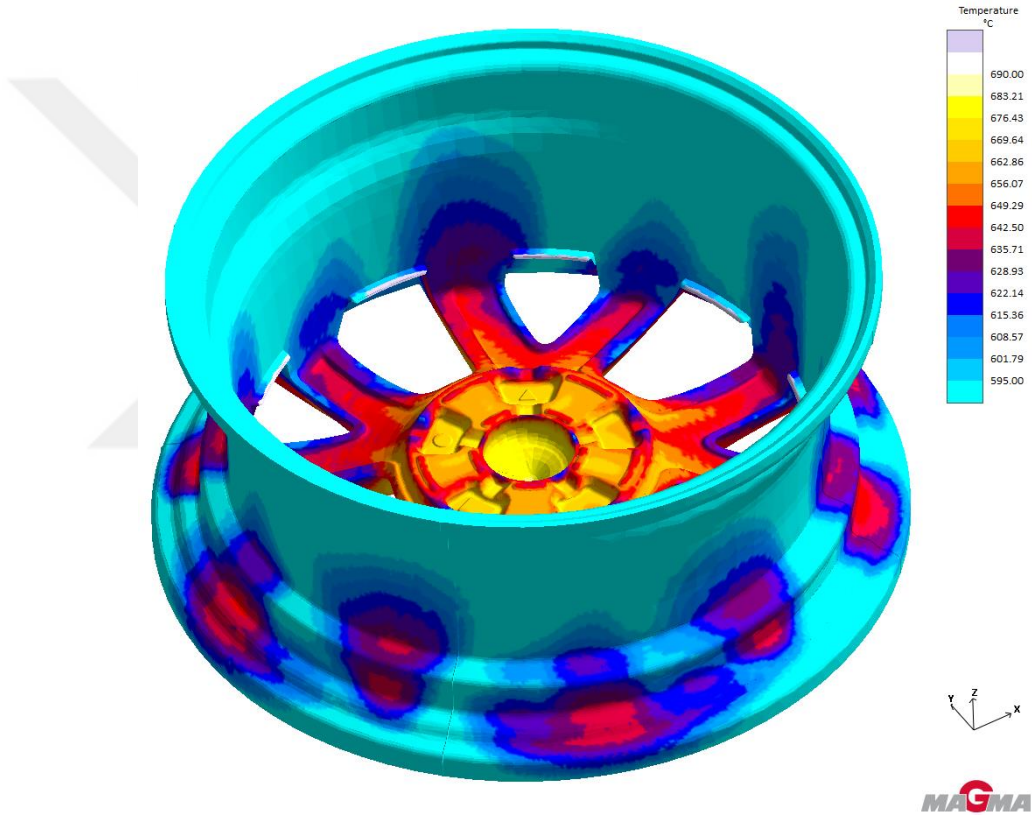
Magmasoft programı dolum ve katılaşma ile ilgili sonuç kriterleri ayrı ayrı vermektedir. Burada önemli olan hangi sonuçları inceleyeceğimizdir. Bu analizde sonuçlar aşağıdaki kriterlerde yapılacaktır.

- Dolum sonuçlarını inceleme kriterleri:
 - Sıcaklık
 - Dolum zamanı
 - Dolum sıcaklığı
 - Hava teması
 - Dolum esnasında termokupllardan okunan değerler
- Katılaşma sonuçlarını inceleme kriterleri:
 - Sıcaklık
 - Sıvı kademesi
 - Sıcak nokta kesri katı zamanı
 - Porozite
 - Niyama kriteri
 - Katılaşma esnasında termokupllardan okunan değerler
 - Döküm besleme karakteristiği

3.6.1. Dolum sonuçlarını inceleme kriterleri

3.6.1.1. Sıcaklık

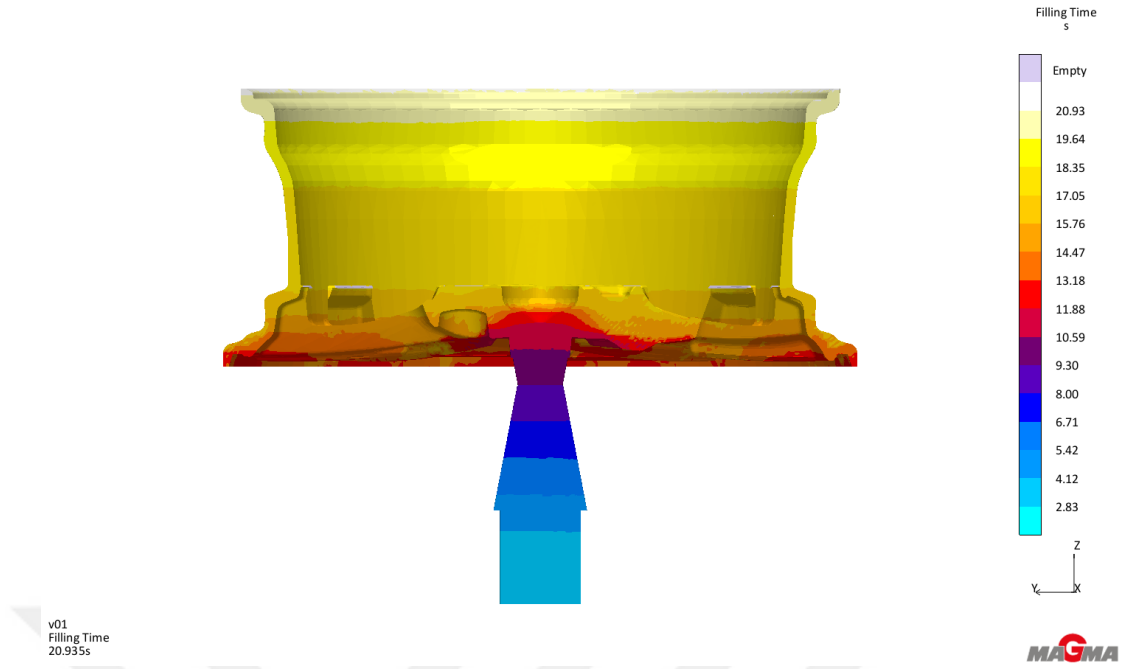
Bu inceleme kriterinde ergimiş metalin dolum esnasındaki sıcaklıkları gösterilmektedir. Şekil 3.19’da jantın dolum sonundaki sıcaklık değerleri verilmiştir. Yandaki skala Si11’e ait liquidus sıcaklığı ve dolum sıcaklığı arasında verilmiştir. Bu değer incelendiğinde lastik oturma yüzeylerinde soğuk kalan ve beslenemeyen bölgeler olduğu görülmektedir.



Şekil 3.19. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz dolum sıcaklık sonucu

3.6.1.2. Dolum zamanı

Bu kriterde ergimiş metalin ilk temas ettiği yerdeki süre gösterilmektedir. Buda bize dolumun sağlıklı olup olmadığı konusunda yorumlamamıza yardımcı olur. Beklenen sonuç dolum zamanında renk skalasının homojen dağılmasıdır. Şekil 3.20’de dolum zamanına ait görsel verilmiştir. Göbek bölgesi incelendiğinde dolumun türbülanslı akış olduğu görülmektedir.



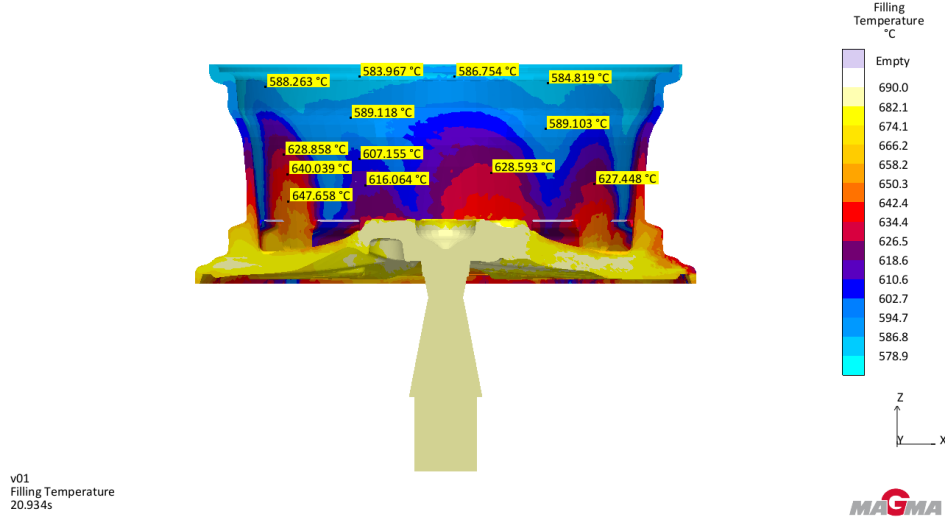
Şekil 3.20. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz ilk temas dolum zamanı sonucu

3.6.1.3. Dolum sıcaklığı

Bu kriterde ergimiş metalin ilk temas ettiği yerdeki sıcaklık değerini göstermektedir. Yani ergimiş metal ilgili noktaya ilk temas ettiğindeki sıcaklık değerini gösterir. Buda bize ergimiş metalin yürümesi hakkında bilgi vermektedir. Beklenen sonuç rim profilinde ergimiş metal sıcaklığının sıvılaşma sıcaklık değerine yakın olmasıdır. Çizelge 3.4’de sistemin verdiği Si11 malzemesine ait sıvılaşma ve katılaşma sıcaklık değerleri verilmiştir. Ayrıca, Şekil 3.21’de dolum sıcaklığına ait görsel verilmiştir.

Çizelge 3.4. Si11 sıvılaşma ve katılaşma sıcaklık değerleri (Anonim, 2020c)

Si11	
Sıvılaşma Sıcaklık Değeri	595 °C
Katılaşma Sıcaklık Değeri	555 °C

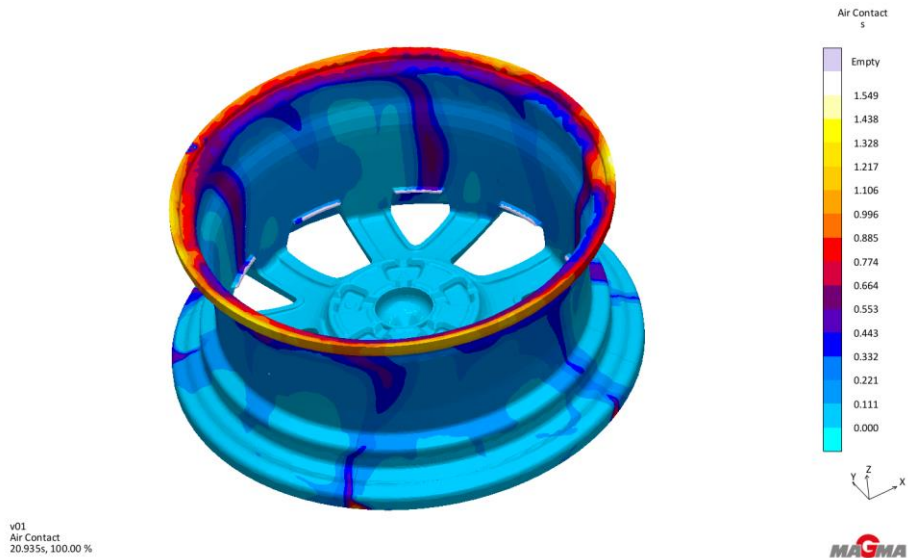


Şekil 3.21. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz ilk temas dolum sıcaklığı sonucu

İç rim bölgesine bakıldığında, ilgili bölgenin sıvılaşma sıcaklık değerinden yaklaşık 10°C az olduğu görülmektedir. Buda besleme ile ilgili problem yaratabilir.

3.6.1.4. Hava teması

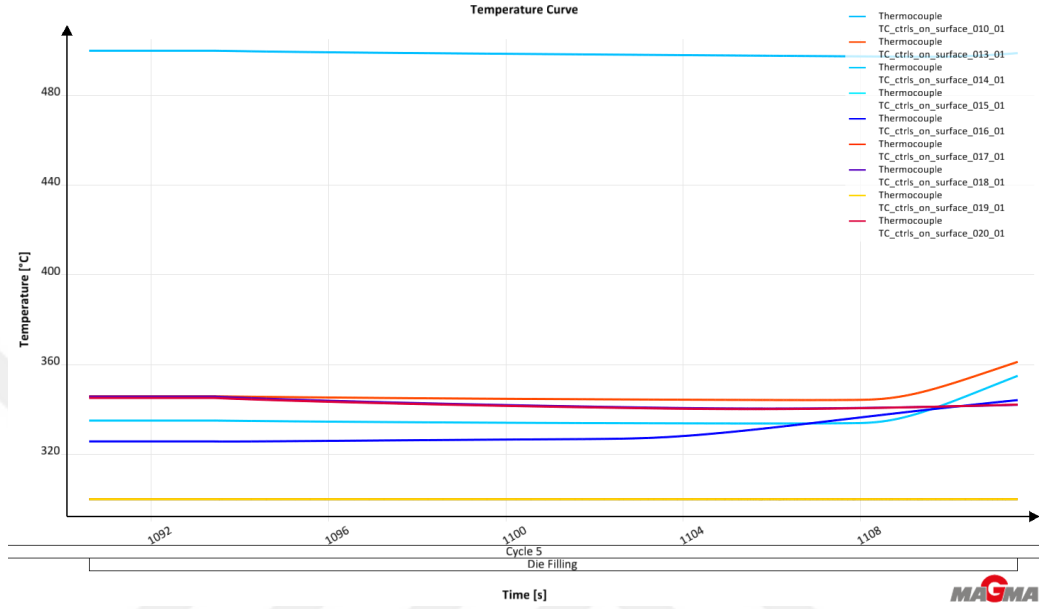
Bu kriterde ergimiş metalin dolum esnasında hava ile temas ettiği süre gösterilmektedir. Ergimiş metalin hava ile teması uzadıkça gaz porozitesi ihtimali artar. Şekil 3.22’de eski jant ayar kartı ile yapılmış olan analizin hava temas sonucu gösterilmiştir. Bu sonuca göre iç rim ve iç kulakta hava ile temas normalden biraz fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3.22. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz hava temas sonucu

3.6.1.5. Dolum esnasında termokupllardan okunan değerler

Magmasoft programında, üst apliğe yerleştirilmiş 3 adet termokupl verisi Şekil 3.23’de verilmiştir.

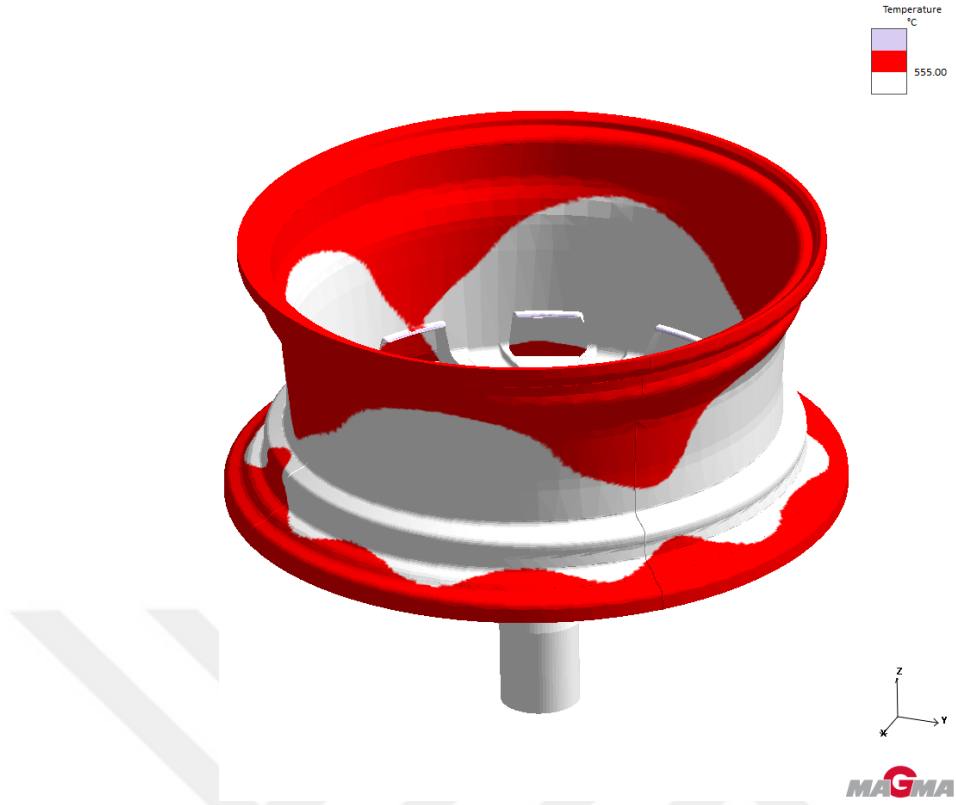


Şekil 3.23. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz dolum termokupllardan okunan değerler

3.6.2. Katılaşma sonuçlarını inceleme kriterleri

3.6.2.1. Sıcaklık

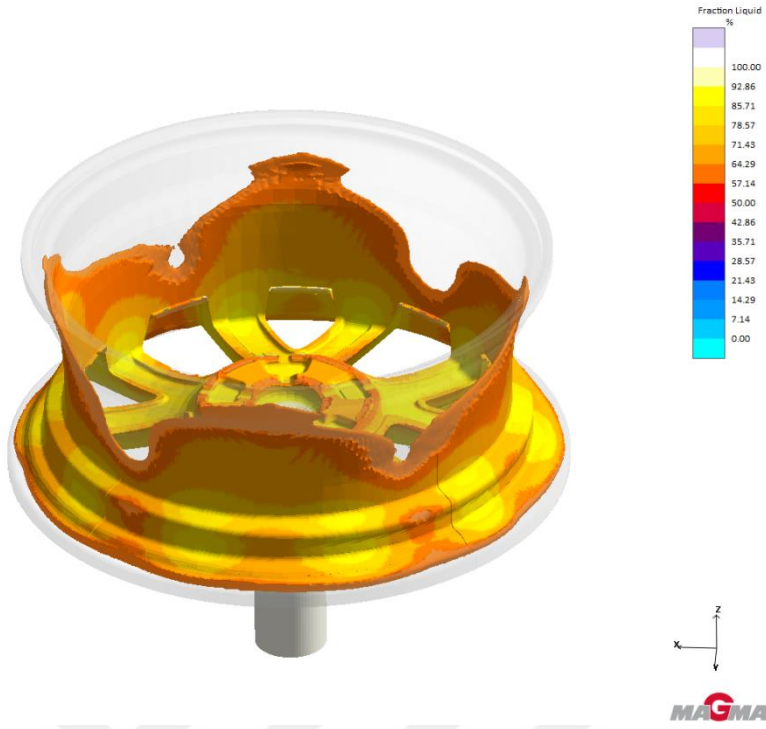
Katılaşma esnasında sıcaklık değeri okunurken solidus sıcaklığı kritik değer olarak girilmiştir. Şekil 3.24’de verilen görselde kırmızı olan yerler solidus sıcaklığı (555 °C) altına inmiş yerlerdir. Buna göre ilgili görselde de görüldüğü üzere dış rim ile rim profili katılaşma esnasında düzensizlik vardır.



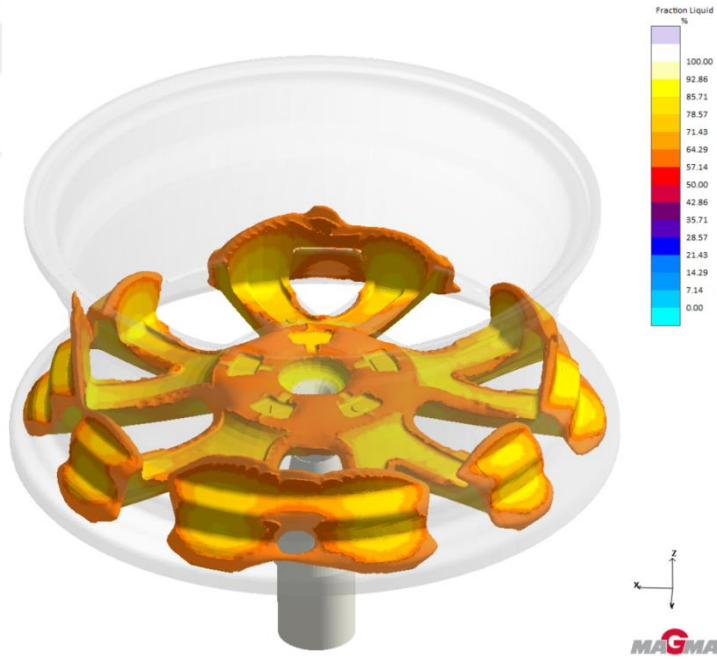
Şekil 3.24. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılma sıcaklık sonucu

3.6.2.2. Sıvı kademesi

Bu kriterde katılma esnasında çekintiye sebebiyet verecek yerleri görebiliriz. Besleme kesilmesi sonucu lokal kalan yerler muhtemel çekinti oluşacak yerlerdir. Şekil 3.25 ve Şekil 3.26’da verilen görsellerde malzeme besleme oranı %40’dır. Bu sebepten dolayı skala 0-100 arası, Si11 için X-Ray değeri 60-100 alınmıştır.



Şekil 3.25. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma sıvı kademesi sonucu

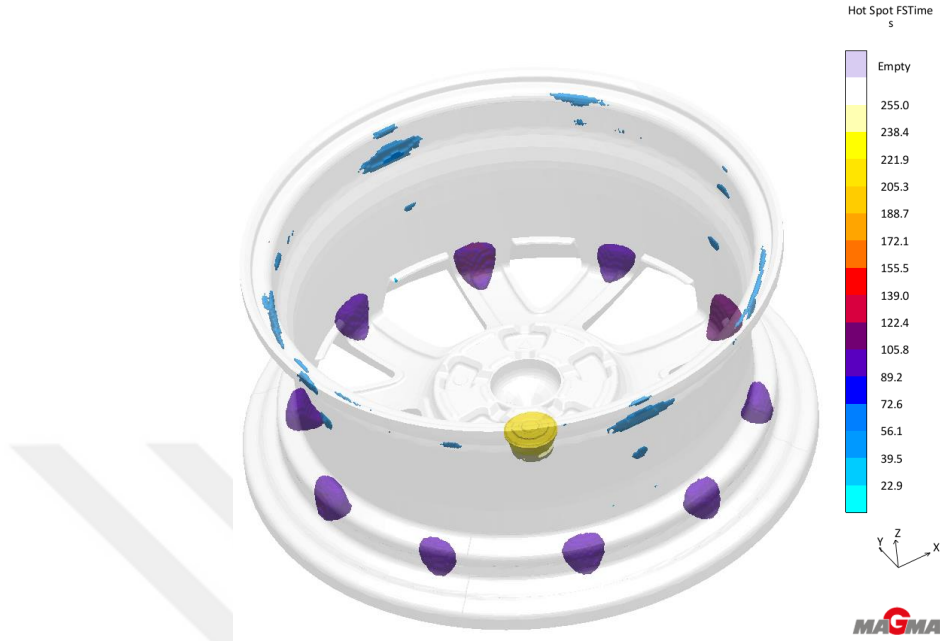


Şekil 3.26. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma sıvı kademesi sonucu 2

3.6.2.3. Sıcak nokta kesri katı zamanı

Bu kriter sıvı kademesi ile paralel sonuç vermektedir. Burada besleme kesilmesi sonucu kalan alanın ne zaman kesildiğini göstermektedir. Daha geç sürelerde kopma

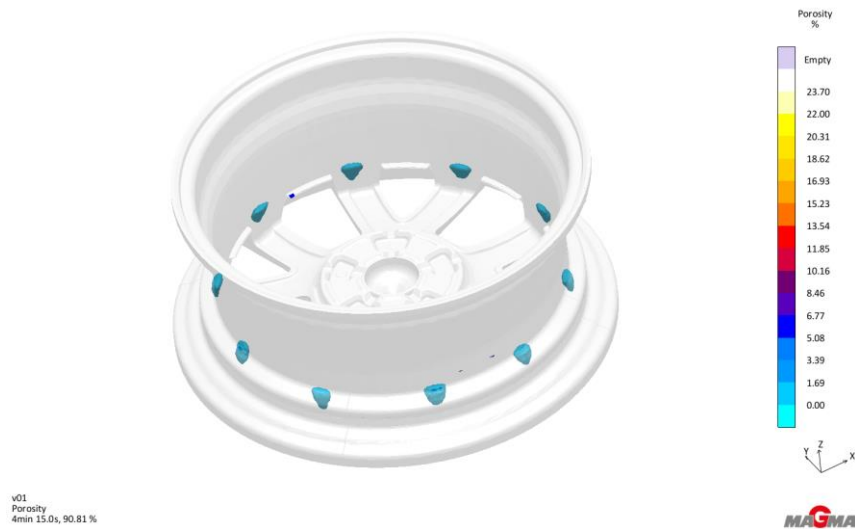
gerçekleşmesi daha çok problem oluşturmaktadır. Şekil 3.27’de verilen görselde lastik oturma yüzeyinde sıcak kalan bölgelerin olduğu görülmektedir.



Şekil 3.27. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma sıcak nokta kesri katı zamanı sonucu

3.6.2.4. Porozite

Sıvı kademesi ve sıcak nokta kesri katı zamanı ilişkilendirilmesi sonrası ilgili sonucu bize vermektedir. Şekil 3.28’de verilen görselde sorunlu bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma porozite sonucu

3.6.2.5. Niyama kriteri

Niyama, çekinti porozitesini termal parametrelerle ilişkilendirerek, dökümlerin yalnızca işlevinin belirli sınır değerinin üzerinde sağlam olduğunu buldu. Aşağıda niyama kriterinin formülasyonu ve kritik değer çizelgesi verilmiştir (Zhang vd., 2007).

$$N = Gs/\sqrt{\dot{T}} \quad (3.4)$$

N: Niyama değeri

Gs: Termal gradyan (°C/cm)

T: Soğuma oranı (°C/s)

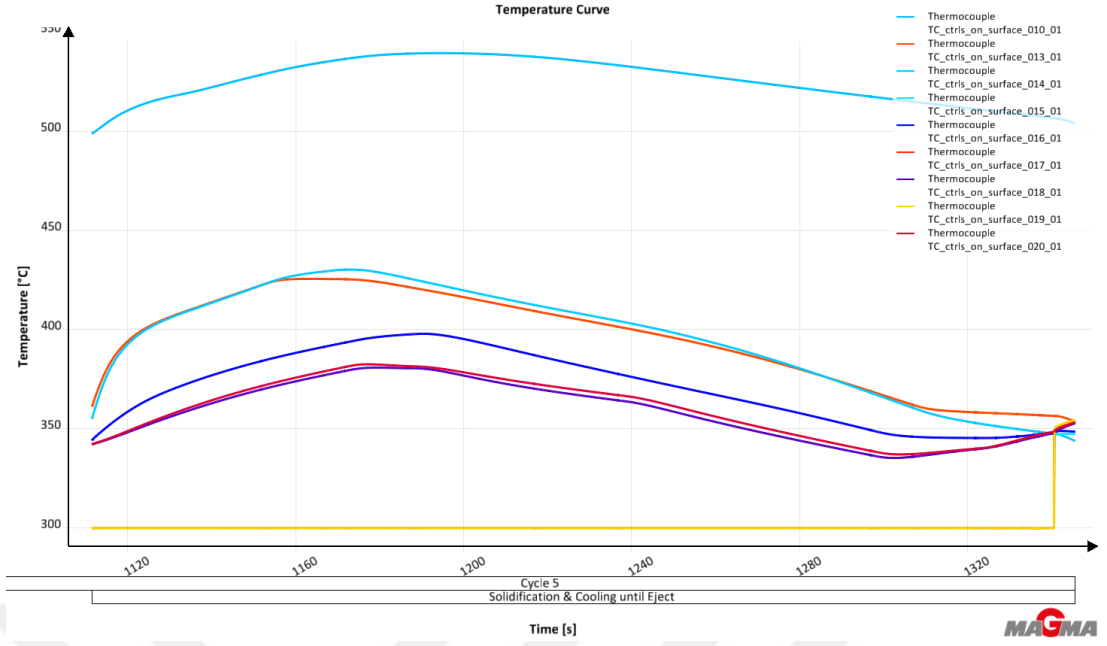
N değeri alüminyum için 0,3'den düşük çıktığı yerlerde çekinti ihtimali bulunmaktadır. Bu jant ayar kartı için görsel Şekil 3.29'da verilmiştir. Ancak bu sonuç tek başına kullanılmamalı ve önceki belirtilmiş olan katılaşma sonuç değerlendirme kriterleri incelenerek ortak karar alınmalıdır. Şekil 3.29'da verilmiş görsel niyama criterion (niyama kriteri), X-Ray ayarı, 0-0,3 arasını göstermektedir.



Şekil 3.29. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma niyama kriteri sonucu

3.6.2.6. Katılaşma esnasında termokupllardan okunan değerler

Magmasoft programında, üst apliğe yerleştirilmiş 3 adet termokupl verisi Şekil 3.30'de verilmiştir.



Şekil 3.30. Eski jant ayar kartı ile yapılan analiz katılaşma termokupllardan okunan değerler

3.6.2.7. Döküm besleme karakteristiği

Bu çizelgede ilgili analiz için katılaşma yüzdeleri verilmiştir. Çizelge 3.5’de verilen değerlere göre eski jant ayar kartı ile yapılan dökümde katılaşmanın tamamlayamadığı görülmektedir. Ayrıca çekinti değerleri de ilgili çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.5. Eski jant ayar kartı döküm besleme karakteristiği

Time (s)	Fraction Solid (%)	Shrinkage (%)	Shrinkage (kg)
28.5266	10.48	1.39	0.17
36.2138	20.38	2.11	0.257
44.6699	30.42	2.52	0.308
53.7072	40.48	2.81	0.343
63.3999	50.19	3.09	0.376
74.5422	60.01	3.31	0.403
88.5921	70.27	3.61	0.44
106.6343	80.02	4.03	0.491
133.0112	90.06	4.56	0.556
151.779	95.07	4.89	0.596

3.7. Dolum Optimizasyonu

3.7.1. Dolum optimizasyon kurgusu

Dolum optimizasyonu, uygun basınç eğrisini bulmak için yapılır. Bunun için süre, basınç, süre/basınç şeklinde ayarlanabilir. Ancak optimizasyonda ergimiş metalin ilk

döküm sıcaklığından, ısı transfer katsayılarına kadar bir çok parametre değiştirilebilir. Ancak, eski jant ayar kartı ile yapılmış olan dolum analiz değerlendirmesine göre dolum basınç değerleri ile optimizasyon yapılacaktır. Çizelge 3.6’da sarı ile boyanmış değerler için optimizasyon yapılacaktır.

Çizelge 3.6. Eski jant ayar kartı optimize edilecek değerler

Zaman (sn)	Basınç (mbar)
0,0	20,0
3,0	150,0
23,0	250,0
28,0	450,0
33,0	700,0
171,0	700,0
185,0	0,0

Bu değerler için atanan optimizasyon değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Program burada hızlı ve yavaş biçimlerde dolum yapacaktır.

Çizelge 3.7. Dolum optimizasyon değerleri

Dizayn	W0 (sn)	W1 (sn)	Y1 (mbar)	Y2 (mbar)
1	3	20	100	200
2	3	20	150	250
3	4	40	300	350
4	5	40	300	350
5	3	40	100	300

Optimize edilecek değerler seçildikten sonra hedefler girilmelidir. Daha önceden değerlendirme olarak tanımlanan yerlere hedefler atanmıştır. Atanan hedefler Şekil 3.31’de gösterildiği gibidir.

Objectives				
Name	Type	Value	Expression	Description
☒ Smooth Filling	Minimize		(Cycle 5/Die Filling/VOF/Max Free Surface of Cast Alloy Class)	Add an objective function to achieve a smooth filling.
☒ Reduce Air Contact	Minimize		(Cycle 5/Die Filling/Air Contact/End of Die Filling/Max/Casting All IDs)	Add an objective function to reduce air contact of the melt.
☒ Filling Time	Minimize		(Cycle 5/Die Filling/Filling Time/Max Diff/Cast Alloy Class, Evaluation Area Gobek)	
☒ Temperature	Minimize		(Cycle 5/Die Filling/Temperature/End of Die Filling/Max Diff/Cast Alloy Class, Evaluation Area Rim-Profil)	

Şekil 3.31. Dolum optimizasyon hedefleri

Hedefler tanımlanan parametreler şu şekildedir:

Yumuşak Dolum: Ergimiş metalin dolumu esnasında en az türbülanslı akışı belirler.

Hava Temasını Azaltma: Ergimiş metalin dolumu esnasında hava ile temasının en az olduğu senaryoyu belirler.

Dolum Zamanı: Değerlendirme alanı göbek seçilerek bu hedef atanmıştır. En az sıçrıntılı dolum senaryosunu belirler. Bu sonuç bize ergimiş metalin dolum esnasında ilk hangi noktaya, hangi sürede temas ettiğini gösterir. Bu sebepten dolayı türbülanslı bir dolumda homojen bir dağılım yerine dağınık bir görüntü görülecektir.

Sıcaklık: Rim profilinde tanımlanmış olan değerlendirme alanı içerisinde erken katılaşma olmaması adına en iyi senaryoyu belirler. Bu sonuç bize ergimiş metalin dolum esnasında ilk hangi noktaya, hangi sıcaklıkta temas ettiğini gösterir.

3.7.2. Dolum optimizasyon sonucu

Magmasoft programında yapılan dolum optimizasyonu sonucu Şekil 3.32’de ki gibidir.

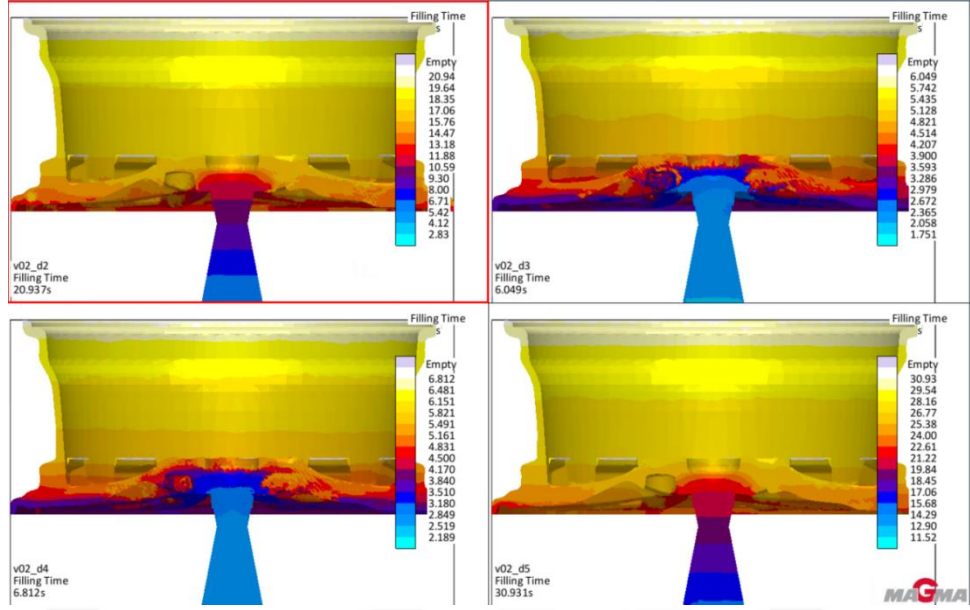
	Rank	Design	Filling Time (-)	Reduce Air Contact (-)	Smooth Filling (-)	Temperature (-)
■	Rank 1	Design 3	2.6	0.391	115045.84	64.24
■	Rank 2	Design 4	2.85	0.385	115688.32	64.55
■	Rank 3	Design 5	7.03	1.52	84471.43	57.49
■	Rank 4	Design 2	7.12	1.65	90209.08	55.96
■	Rank 5	Design 1	5.06	1.52	99694.62	77.38

Şekil 3.32. Dolum optimizasyon sonuçları

Programa göre hedefleri en çok sağlayan dizayn 3 olarak belirlenmiştir. Burada dizayn 2 eski jant ayar kartındaki değerlerdir. Kıyas edildiğinde dolumun belli bir oranda hızlandırılması gerekmektedir. Yapılan dolum optimizasyonu sonucunda kıyas yapılması adına dizayn 2, dizayn 3, dizayn 4 ve dizayn 5 sonuçları karşılaştırılmıştır.

3.7.2.1. Dolum zamanı

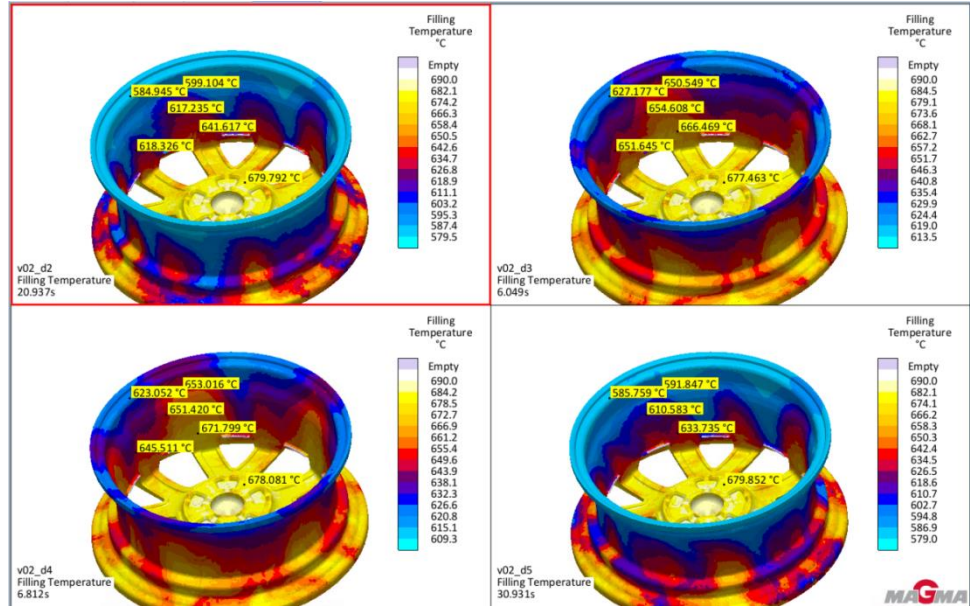
Şekil 3.33’de 4 dizayna ait dolum zamanı karşılaştırma sonucu verilmiştir.



Şekil 3.33. Dolum optimizasyonu ilk temas dolum zamanı sonucu

3.7.2.2. Sıcaklık

Şekil 3.34’de dolum optimizasyonu ait sıcaklık sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlarda dizayn 3 en iyisi çıktı. Ancak bu dizayna göre dolum aşırı hızlı olmaktadır. Ancak, doluma dair fikir vermektedir.

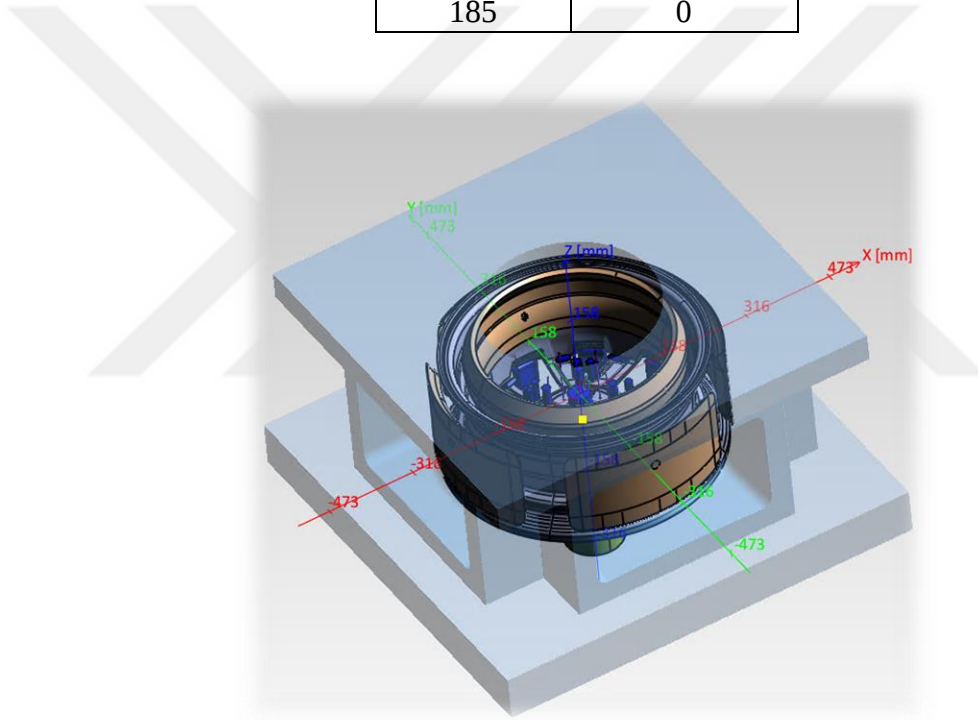


Şekil 3.34. Dolum optimizasyonu sıcaklık sonucu

Bu sonuçlar incelendiğinde yeni jant ayar kartı dolun basınç değeri Çizelge 3.8’de ki gibi yapılacaktır. Ayrıca, kalıpta yan maçalar ve aplikler yalıtımlanacaktır. Yalıtımlı yeni kalıp Şekil 3.35’de ki gibidir.

Çizelge 3.8. Yeni jant ayar kartı dolun basınç değeri

Zaman (sn)	Basınç (mbar)
0	20
3	175
23	280
28	450
33	700
171	700
185	0



Şekil 3.35. Magmasoft programında yalıtımlı kalıp gösterimi

3.8. Katılaşma Optimizasyonu

3.8.1. Katılaşma optimizasyon kurgusu

Katılaşma optimizasyonu yapılırken eski jant ayar kartından çıkan sonuçlar incelenmiştir. Bu incelemelere göre en etkili olan soğutmalar üst aplik, alt aplik kanat soğutmaları ve üst aplik, alt aplik çevre 2’dir. Bundan dolayı ilgili soğutmalar soğutma süresine ait optimizasyon değeri Çizelge 3.9’da ki gibi girilmiştir.

Çizelge 3.9. Yeni jant ayar kartı katılaşma soğutma giriş süre optimizasyonu

Dizayn	Üst Aplik Kanat Soğutma Giriş Süresi (sn)	Üst Aplik Çevre 2 Giriş Süresi (sn)	Alt Aplik Kanat Soğutma Giriş Süresi (sn)	Alt Aplik Çevre 2 Giriş Süresi (sn)
1	65	80	100	90
2	65	90	140	90
3	80	90	140	110
4	80	100	140	110
5	95	100	140	110

Optimize edilecek değerler seçildikten sonra hedefler girilmelidir. Daha önceden değerlendirme olarak tanımlanan yerlere hedefler atanmıştır. Atanan hedefler Şekil 3.36’da gösterildiği gibidir.

Objectives				
Name	Type	Value	Expression	Description
☒ Reduce Hot Spot FS Time	Minimize		(Cycle 5/Solidification & Cooling until Eject/Hot Spot FS Time/Weighted Volume/Casting ID 1, Evaluation Area Rim-Profile)	Reduce hot spot fs time
☒ Temperature	Minimize		(Cycle 5/Solidification & Cooling until Eject/Temperature/Begin of Solidification & Cooling until Eject/Max Diff/Casting ID 1, Evaluation Area Rim-Profile)	
☒ Niyama Criterion	Maximize		(Cycle 5/Solidification & Cooling until Eject/Niyama Criterion/Weighted Volume/Casting All IDs)	

Şekil 3.36. Katılaşma optimizasyon hedefleri

Hedefler tanımlanan parametreler şu şekildedir:

Sıcak nokta kesri katı zamanı azaltma: Jantın katılaşma esnasında yönlü katılaşarak besleme kopmasının en az olduğu senaryoyu belirler.

Sıcaklık: Rim profiline tanımlanmış olan değerlendirme alanı içerisinde yönlü katılaşmayı sağlamak için maksimum sıcaklık farkının minimuma indirilmesi hedeflenmiştir. En iyi yönlü katılaşan senaryoyu belirler.

Niyama kriteri: Niyama kriterinin 0,3’den yüksek olduğu yerlerde çekinti riski azalmaktadır. Bundan dolayı niyama kriterinin en fazla olduğu senaryo seçilir.

3.8.2. Katılma optimizasyon sonucu

Magmasoft programında yapılan katılma optimizasyonu sonucu Şekil 3.37’de ki gibidir.

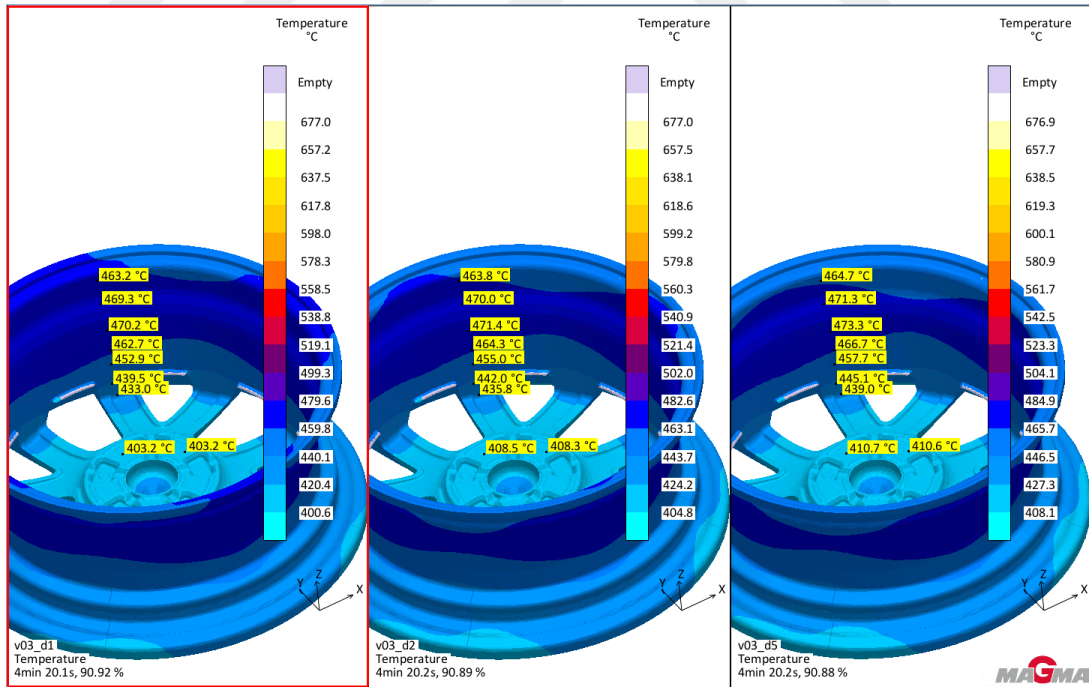
	Rank	Design	Niyama Criterion (-)	Reduce Hot Spot FS Time (-)	Temperature (-)
	Rank 1	Design 1	158807.09	3326.42	51.21
	Rank 2	Design 2	152535.25	3539.5	50.44
	Rank 3	Design 5	143998.72	3228.99	50.95
	Rank 4	Design 3	150174.7	3461.39	51.35
	Rank 5	Design 4	145063.8	3750.17	51.87

Şekil 3.37. Katılma optimizasyon sonuçları

Burada dizayn 1 eski jant ayar kartındaki değerlerdir. Ancak, dizayn 2 ve dizayn 3 de başarılı çıkmıştır. Bundan dolayı bu üç dizayn sonucu değerlendirilmelidir.

3.8.2.1. Sıcaklık

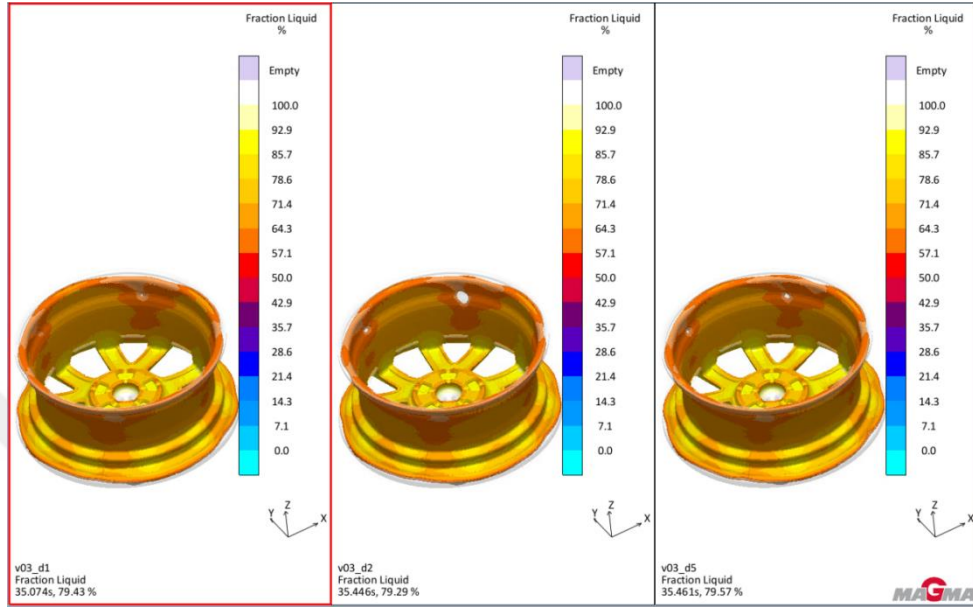
Magmasoft programında katılma optimizasyon sıcaklık sonucu Şekil 3.38’de ki gibidir.



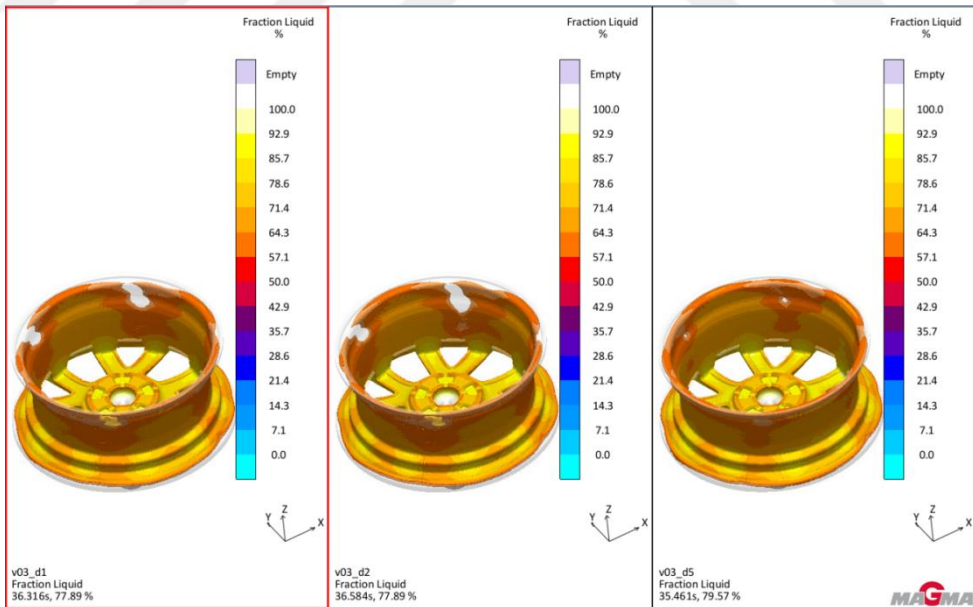
Şekil 3.38. Katılma optimizasyon sıcaklık sonucu

3.8.2.2. Sıvı kademesi

Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'de katılaşma optimizasyon sıvı kademesi sonucu gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde dizayn 5 daha sağlıklı yönlü katılaşmaktadır.



Şekil 3.39. Katılaşma optimizasyon sıvı kademesi sonucu

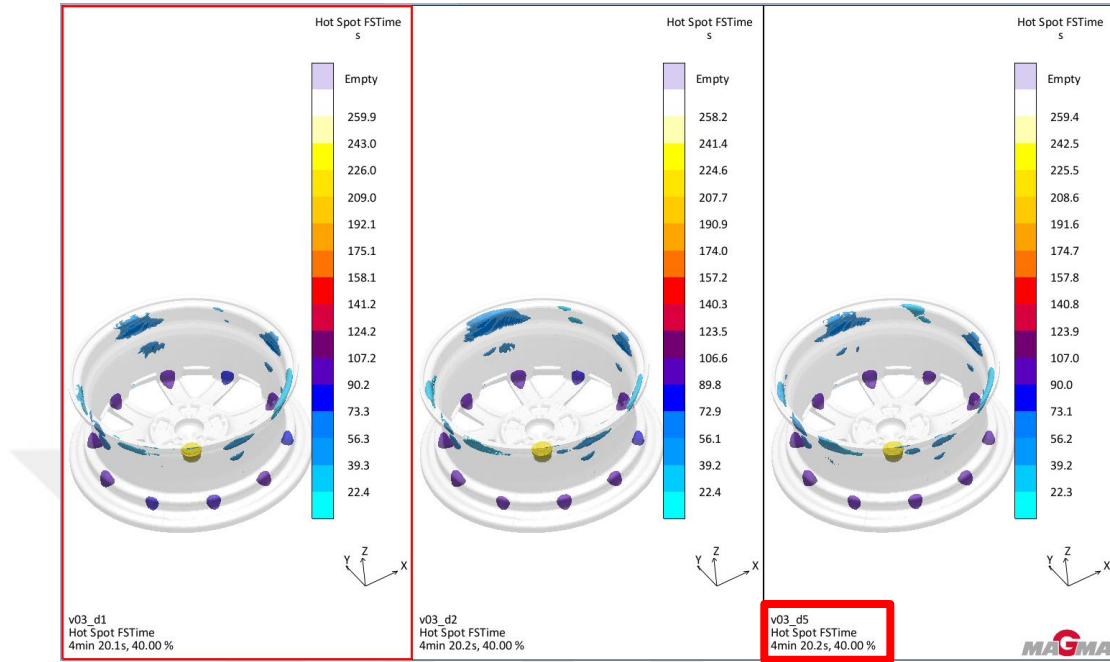


Şekil 3.40. Katılaşma optimizasyon sıvı kademesi sonucu 2

3.8.2.3. Sıcak nokta kesri katı zamanı

Bu kriterde yapılmış olan katılaşma optimizasyonu sonucu hot spot FS time (sıcak nokta kesri katı zamanı) sonucu incelenmiştir. Şekil 3.41'de görüldüğü gibi besleme

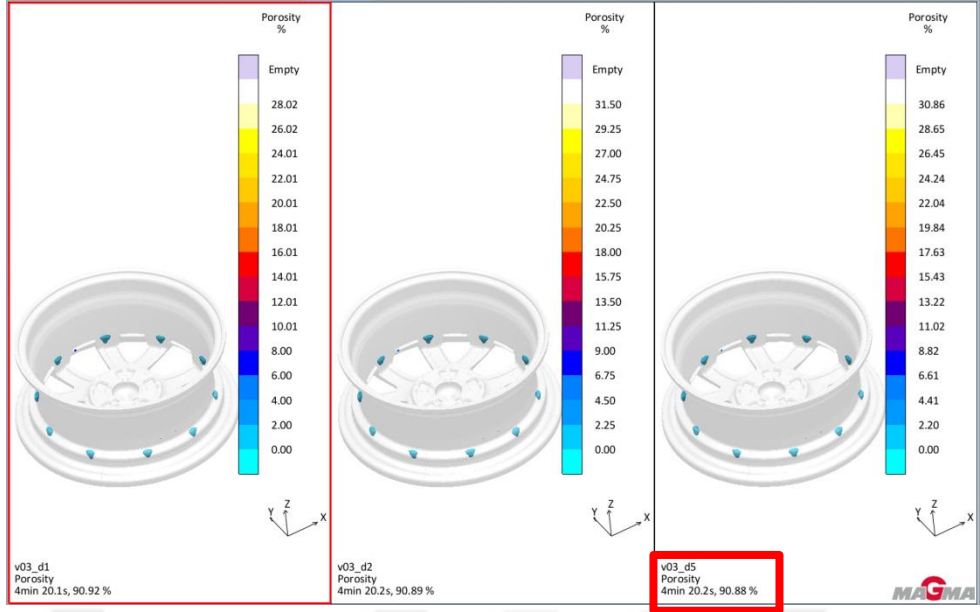
sonuçları incelendiğinde dizayn 5'in (sol alttaki durum bilgisi kısmı kırmızı çerçeve içerisinde alınmış olan dizayn) daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 3.41. Katılaşma optimizasyon sıcak nokta kesri katı zamanı sonucu

3.8.2.4. Porozite

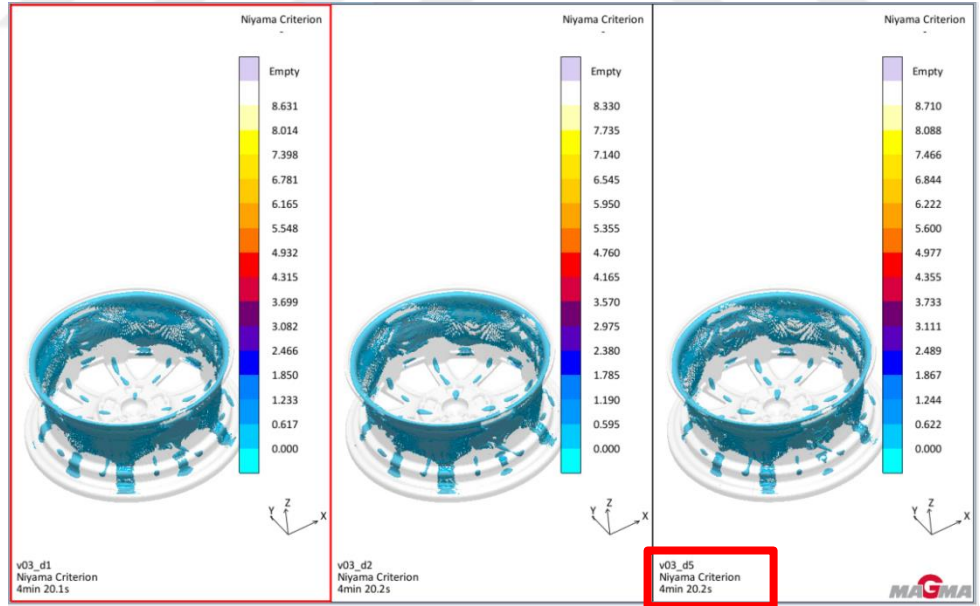
Bu kriterde yapılmış olan katılaşma optimizasyonu sonucu porozite sonucu incelenmiştir. Şekil 3.42'de görüldüğü gibi yeni yapılan optimizasyonda lastik oturma yüzeyi konusunda sorun görülmemektedir. Burada soğutmaların etkisi görülmektedir. Bu etkilere göre yeni soğutma süreleri oluşturulacaktır.



Şekil 3.42. Katılaşma optimizasyon porozite sonucu

3.8.2.5. Niyama kriteri

Bu kriterde yapılmış olan katılaşma optimizasyonu sonucu niyama kriteri sonucu incelenmiştir.



Şekil 3.43. Katılaşma optimizasyon niyama kriteri sonucu

Bu sonuçlar incelendiğinde yeni jant ayar kartı için yapılmış olan katılaşma optimizasyon sonucu kullanılacak yeni soğutma süreleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Katılma optimizasyonu sonucu yeni jant ayar kartında kullanılacak süreler

Soğutma Açıklama	Giriş Süresi (sn)	Çıkış Süresi (sn)
Üst Aplik Kanat Soğutması	75	200
Üst Aplik Çevre 2 Soğutması	Kapalı	
Alt Aplik Kanat Soğutması	Kapalı	
Alt Aplik Çevre 2 Soğutması	Kapalı	

3.9. Yeni Jant Ayar Kartı

3.9.1. Dolum basınç değerleri

Yeni jant ayar kartına ait dolum basınç değerleri Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Yeni jant ayar kartı dolum basınç değerleri

Zaman (sn)	Basınç (mbar)
0	20
3	175
23	280
28	450
33	700
171	700
185	0

3.9.2. Soğutma cinsi

Optimizasyon sonuçları sonunda soğutma cinsi hava olarak devam etmektedir.

3.9.3. Soğutma debileri

Optimizasyon sonuçları sonunda soğutma debileri aynı şekilde kullanılmaktadır.

3.9.4. Soğutma süreleri

Katılma optimizasyonuna göre bazı soğutma süreleri değiştirilmiştir. Yeni soğutma süreleri Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Yeni jant ayar kartı soğutma süreleri

Soğutma Açıklama	Giriş Süresi (sn)	Çıkış Süresi (sn)
Üst Aplik Kanat Soğutması	75	200
Üst Aplik Çevre 2 Soğutması	Kapalı	
Üst Aplik Çevre 1 Soğutması	80	200
Üst Aplik Bijon Soğutması	90	200
Üst Aplik Dağıtıcı Soğutması	130	200
Alt Aplik Kanat Soğutması	Kapalı	
Alt Aplik Çevre 2 Soğutması	Kapalı	
Alt Aplik Çevre 1 Soğutması	150	200
Alt Aplik Bijon Soğutması	100	200
Alt Aplik Yolluk Soğutması	85	200

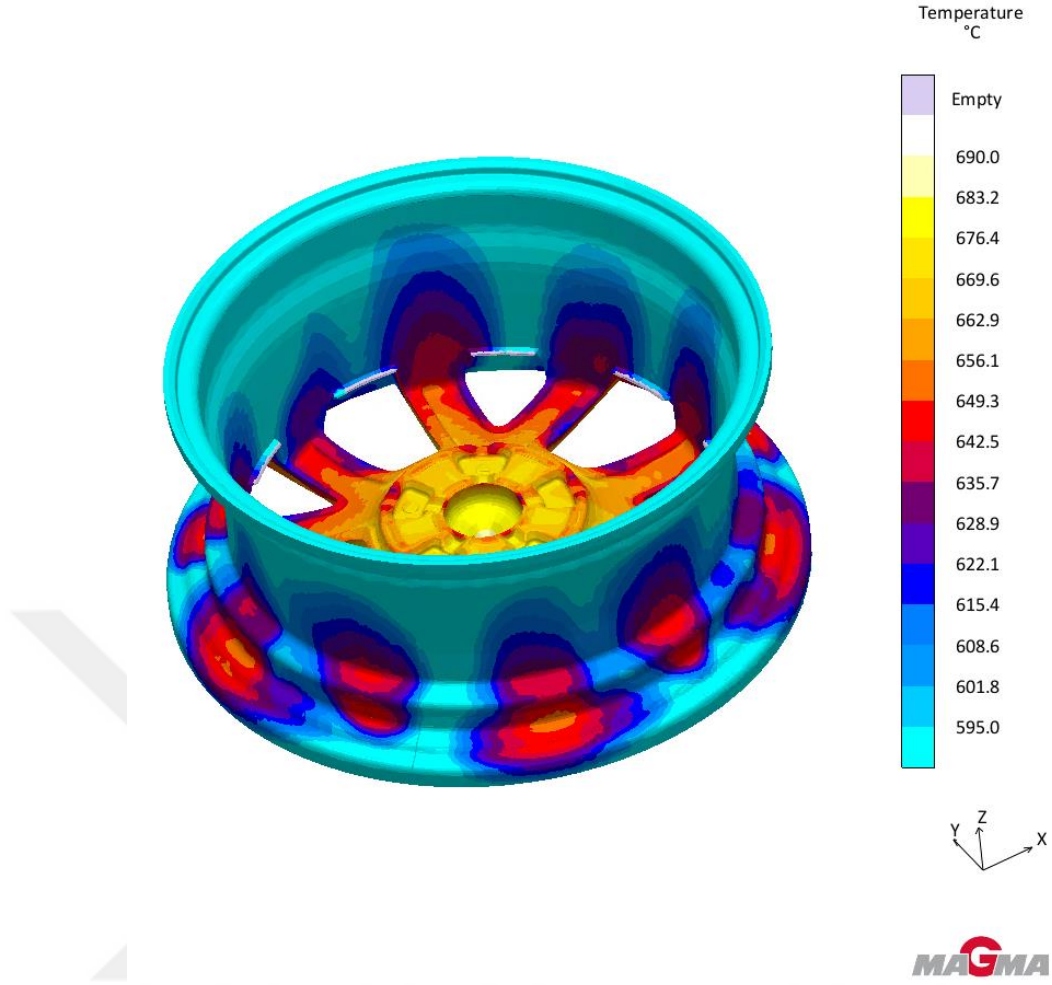
Yeni jant ayar kartındaki amaç soğutmanın etkinliğini artırmaktır. Soğutma çıkış süreleri çevrim bitiminden çok öncesi devreden çıkmasından dolayı kalıp her çevrimde sıcak kalmaktadır. Kalıbın sıcak kalmasından dolayı yönlü katılaşma sağlanabilmektedir.

3.10. Yeni Jant Ayar Kartı Kartına Ait Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.10.1. Dolum sonuçlarını inceleme kriterleri

3.10.1.1. Sıcaklık

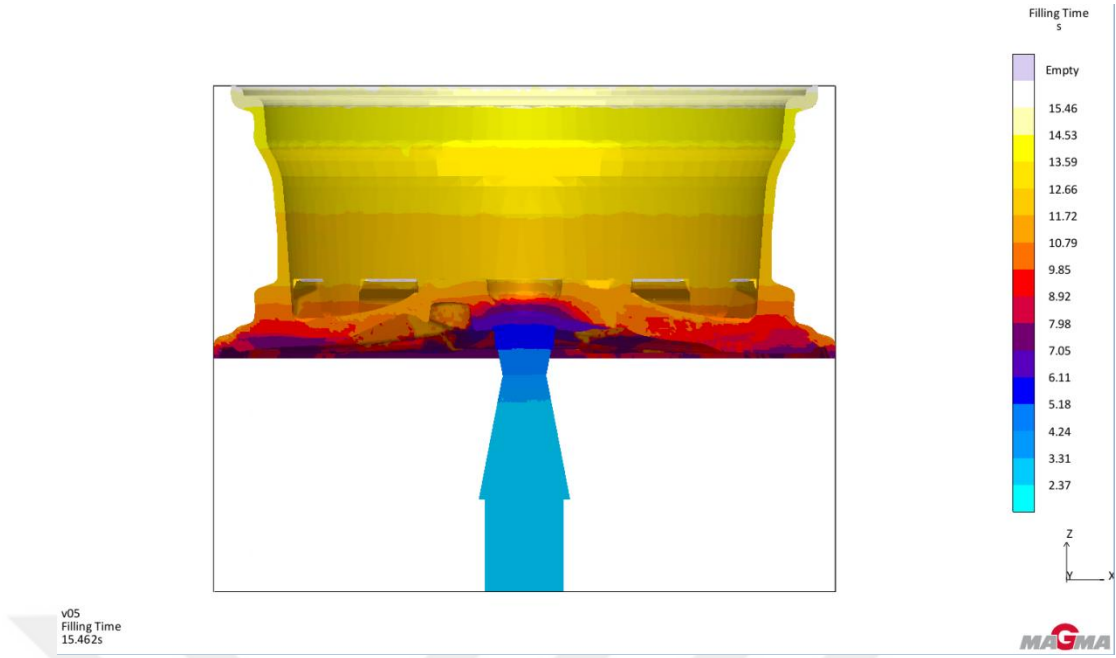
Şekil 3.44’de yeni jant ayar kartı ile yapılmış olan dolum sıcaklık sonucu gösterilmiştir. Sonuçta görüldüğü üzere eski jant ayar kartındaki sonuca göre ergimiş metal rim profilinde daha sıcak kalmaktadır. Bu, ilgili jantta istenilen bir durumdur.



Şekil 3.44. Yeni jant ayar kartı dolum sıcaklık sonucu

3.10.1.2. Dolum zamanı

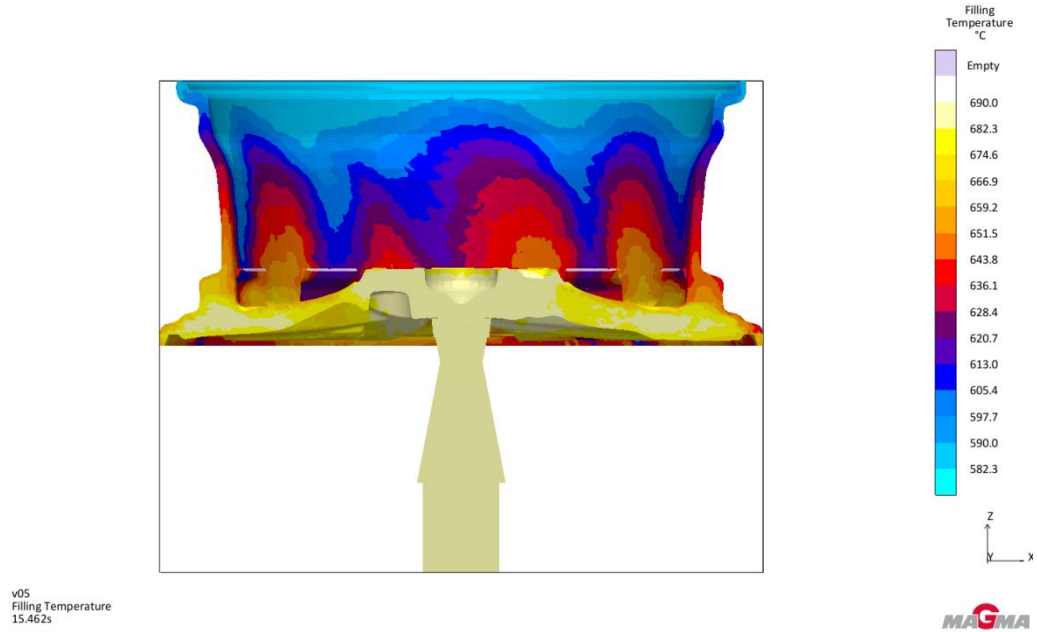
Şekil 3.45’de verilen yeni dolum basınç eğrisi sonucunda dolum istenilene yakın seyretmiştir. Bunu rim profilinde homojen dağılıma bakarak görebiliriz.



Şekil 3.45. Yeni jant ayar kartı ilk temas dolum zamanı sonucu

3.10.1.3. Dolum sıcaklığı

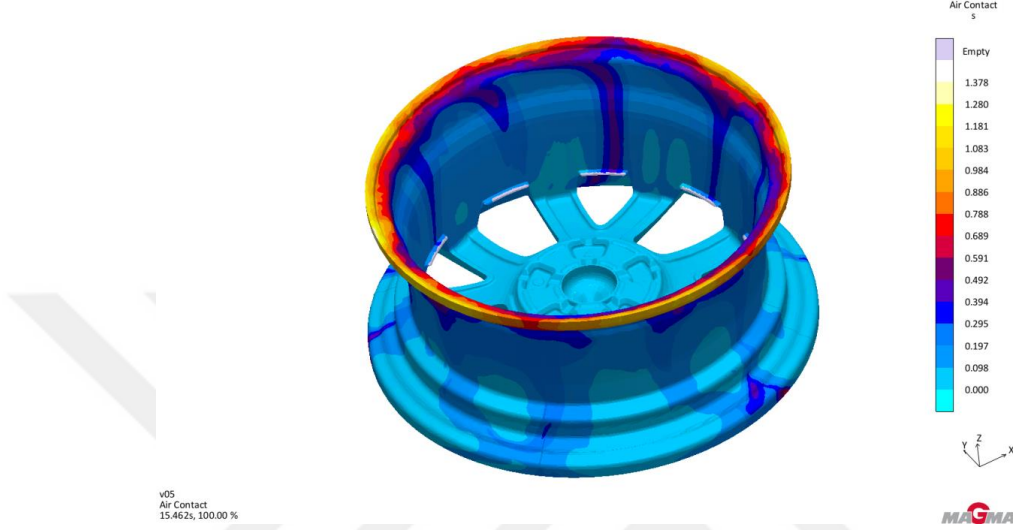
Şekil 3.46'da ki görseldeki renk skalası incelendiğinde iç rim bölgesine ergimiş metalin daha sıcak geldiği görülmektedir. Ayrıca, sıcaklık meyili incelendiğinde de sağlıklı bir dolum olduğu görülmektedir.



Şekil 3.46. Yeni jant ayar kartı ilk temas dolum sıcaklığı sonucu

3.10.1.4. Hava teması

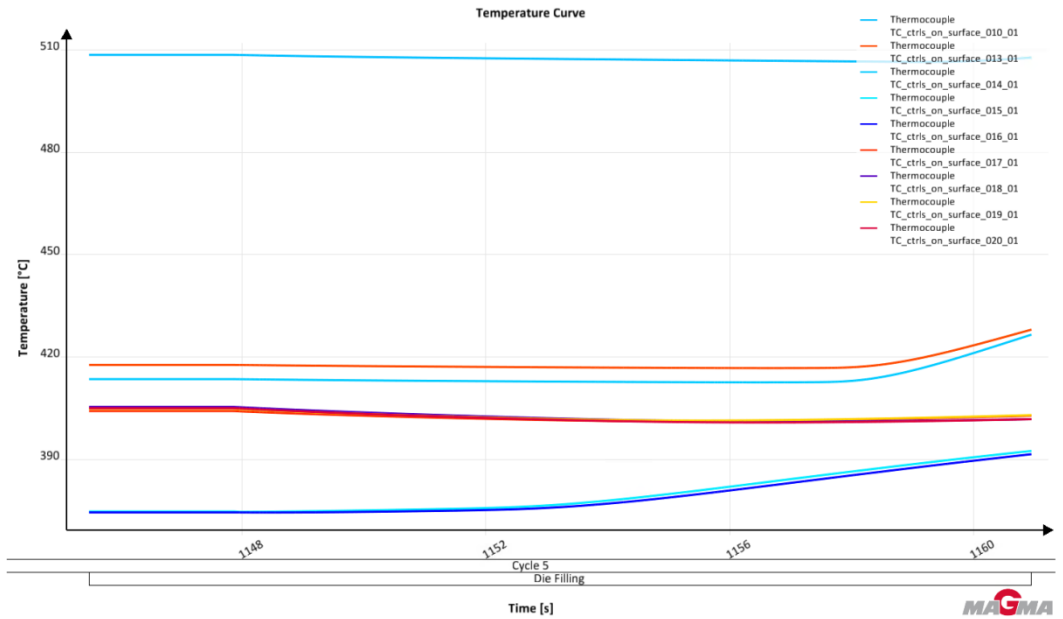
Yeni jant ayar kartında yapılan dolum sonucunda hava teması Şekil 3.47’de verilmiştir. Sonuca bakıldığında hava temasının önemli bir ölçüde azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.47. Yeni jant ayar kartı dolum hava teması sonucu

3.10.1.5. Dolum esnasında termokupllardan okunan değerler

Yeni jant ayar kartı termokupl verileri Şekil 3.48’de verilmiştir.



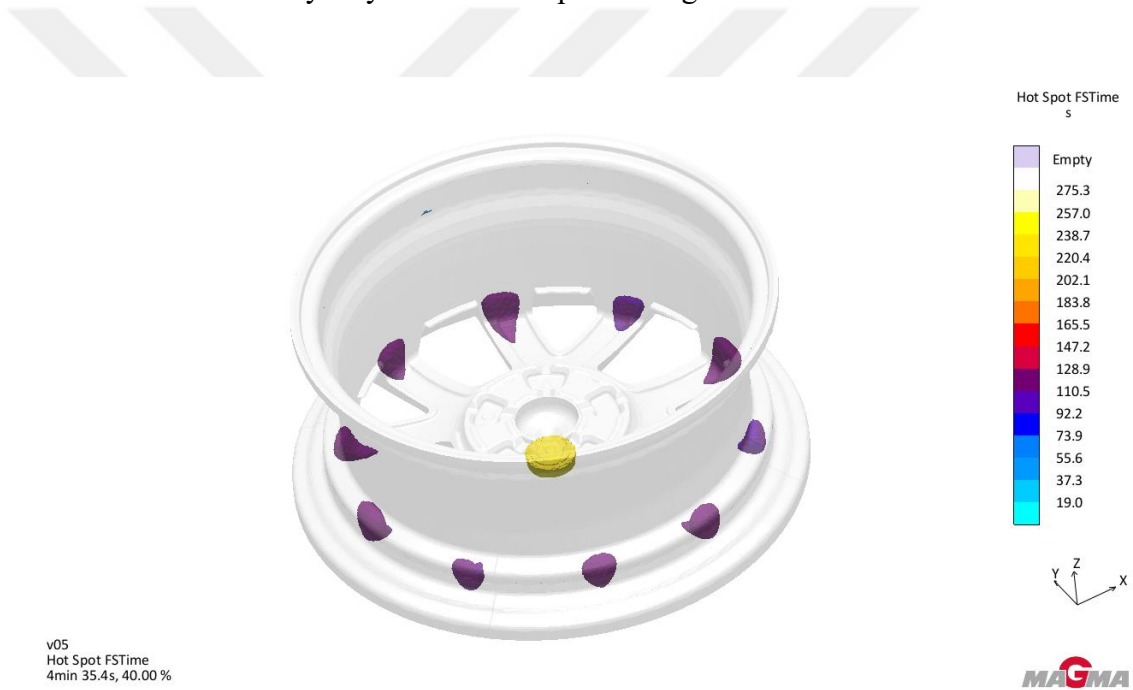
Şekil 3.48. Yeni jant ayar kartı dolum termokupl verileri

3.10.2. Katılma sonuçlarını inceleme kriterleri

Yeni jant ayar kartında katılmaaya ait veriler incelenirken sadece sıcak nokta kesri katı zamanı ve porozite sonuçları incelenecektir. Bunun sebebi ilgili iki sonucun diğerleri ile ilişkilendirilmesinden kaynaklı olarak bize yeterli bilgiyi vereceğinden dolayıdır.

3.10.2.1. Sıcak nokta kesri katı zamanı

Şekil 3.49'da da görüldüğü üzere yeni jant ayar kartında gözle görülür iyileşme sağlanmıştır. Besleme kesilmesi sadece kanat-rim profili arasında gözlemlenmiştir. Ancak lastik oturma yüzeyinde besleme problemi görülmemektedir.



Şekil 3.49. Yeni jant ayar kartı katılma sıcak nokta kesri katı zamanı sonucu

3.10.2.2. Porozite

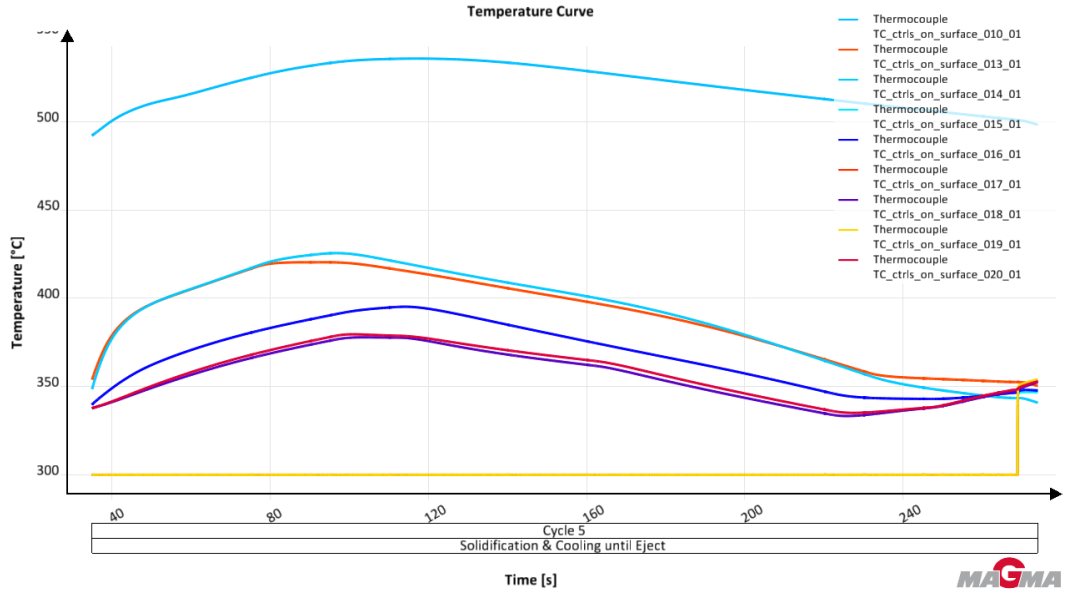
Şekil 3.50'da da görüldüğü üzere yeni jant ayar kartında lastik oturma yüzeyinde çekinti problemi görülmemektedir.



Şekil 3.50. Yeni jant ayar kartı katılaşma porozite sonucu

3.10.2.3. Katılaşma esnasında termokupllardan okunan değerler

Şekil 3.51’de yeni jant ayar kartı ile yapılmış olan analiz sonucunda ilgili termokupllardan okunan değerler verilmiştir.



Şekil 3.51. Katılaşma esnasında termokupllardan okunan değerler

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Eski jant ayar kartına ait analiz değerlerinin problemlili çıkması sonucu optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde yeni bir jant ayar kartı oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni jant ayar kartı ile bir analiz daha yapılmış sonrası döküm ortamında denenmiştir. Döküm işlemi gerçekleştirilirken, sonucun daha sağlıklı çıkması adına aynı referans alınarak deneme işlemi yapılmıştır. Kontroller tahribatsız ve tahribatlı olacak şekilde yapılmıştır. Seri üretimde her jantı kontrol edebilmek için sağlıklı bir inceleme süreci ve ekonomik olan radyografik muayene X-ray kullanılmıştır (Roya, 1990). Döküm sırası Çizelge 4.1’de verildiği şekilde deneme yapılmıştır. Ayrıca, kontrol sırası da yine aynı çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Döküm deneme ve kontrol sırası

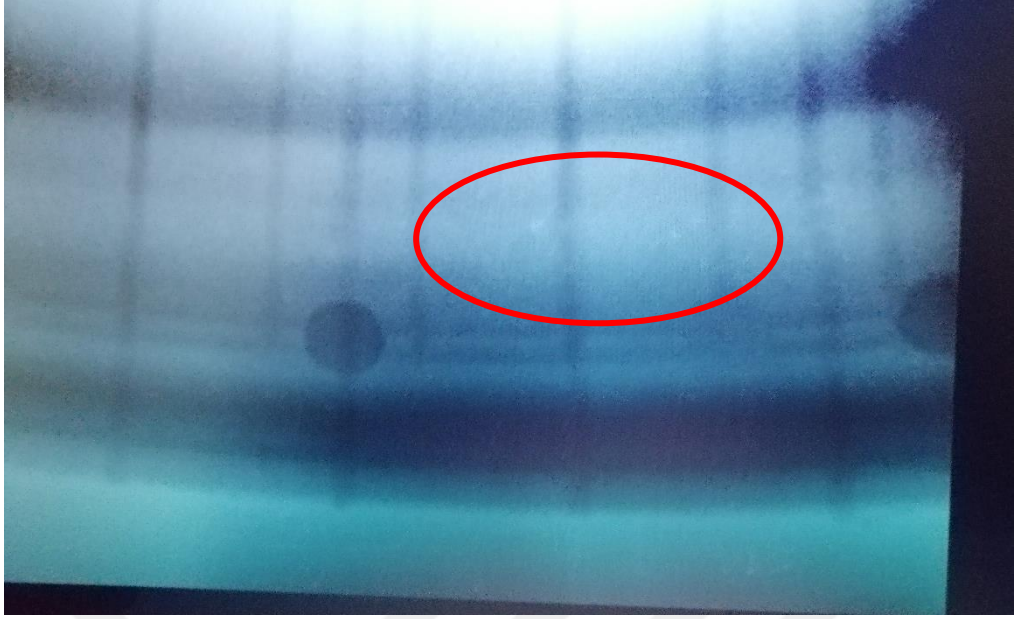
S/N	Kullanılan Jant Ayar Kartı	Tahribatsız Muayene (X-Ray) Kontrolüne Giden Jant	Tahribatlı Muayene (Kesit Alma) Kontrolüne Giden Jant	Sonuç
1	Eski	3		Kanat-Rim Profili arasında ve lastik oturma yüzeyinde porozite görüldü.
2	Eski	8	x	Kanat-Rim Profili arasında ve lastik oturma yüzeyinde porozite görüldü. Jant kesildiğinde yoğun, büyük çaplı ve lastik oturma yüzeyine yakın yerde porozite görüldü.
3	Yeni	1		Kanat-Rim Profili arasında ve lastik oturma yüzeyinde porozite görüldü. Ancak, azalma eğilimi gözlemlendi.
4	Yeni	8	x	X-Ray’de porozite görülmedi. Jant kesildiğinde az, küçük çaplı ve kanat ortasına doğru (işleme olmayan alan) porozite görüldü.

Döküm işlemi başladıktan sonra rejime giren ilk janta 1. jant dendi. Yeni jant ayar kartı, eski jant ayar kartı ile olan denemelerden sonra yapılmıştır.

Kontrol için yukarıda çizelgede da belirtildiği gibi 4 adet jant alınmıştır. Bu jantlar önce tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan X-Ray ile kontrol edildi. Daha sonrasında kalıp rejimi gözetilerek uygun olan jantlar kesilerek kontrol edildi. X-ray kontrolleri ve jant kestilerine ait sonuçlar aynı referanslar alınarak verilmiştir. Çıkan sonuçlar aşağıdaki Çizelge 4.2’de atıfta bulunulmuştur.

Çizelge 4.2. Kontrol sırası ve metotları

Şekil Numarası	Açıklama
Şekil 4.1	Eski jant ayar kartı ile döküm 3. Jant X-Ray kontrolü
Şekil 4.2	Eski jant ayar kartı ile döküm 8. Jant X-Ray kontrolü
Şekil 4.3	Eski jant ayar kartı ile döküm 8. Jant kanat-rim profili arası kesit kontrolü
Şekil 4.4	Eski jant ayar kartı ile döküm 8. Jant lastik oturma kesit kontrolü
Şekil 4.5	Yeni jant ayar kartı ile döküm 1. Jant X-Ray kontrolü
Şekil 4.6	Yeni jant ayar kartı ile döküm 8. Jant X-Ray kontrolü
Şekil 4.7	Yeni jant ayar kartı ile döküm 8. Jant kanat-rim profili arası kesit kontrolü
Şekil 4.8	Eski jant ayar kartı ve yeni kart ile dökülmüş olan jantlara ait kesitler



Şekil 4.1. Eski jant ayar kartı ile döküm 3. jant X-ray kontrolü

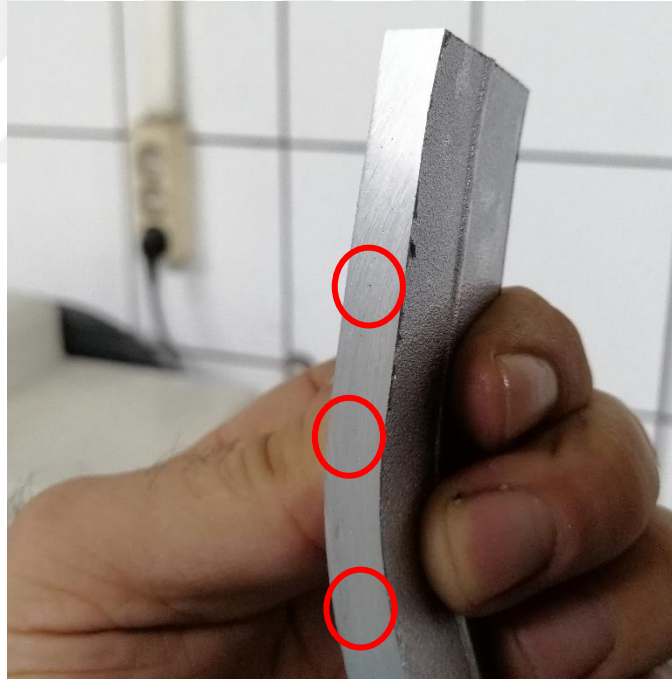
Şekil 4.1’de lastik oturma yüzeyinde görülen poroziteler kırmızı çerçeve içerisine alınmıştır.



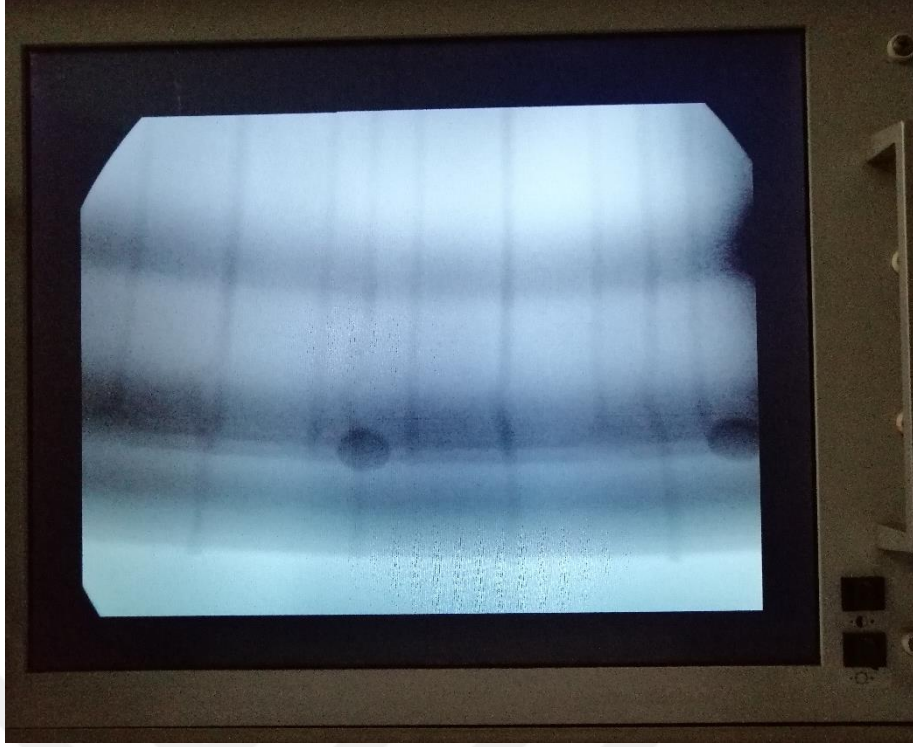
Şekil 4.2. Eski jant ayar kartı ile döküm 8. jant X-ray kontrolü



Şekil 4.3. Eski jant ayar kartı ile döküm 8. jant kesit kontrolü



Şekil 4.4. Eski jant ayar kartı ile döküm 8. jant lastik oturma kesit kontrolü



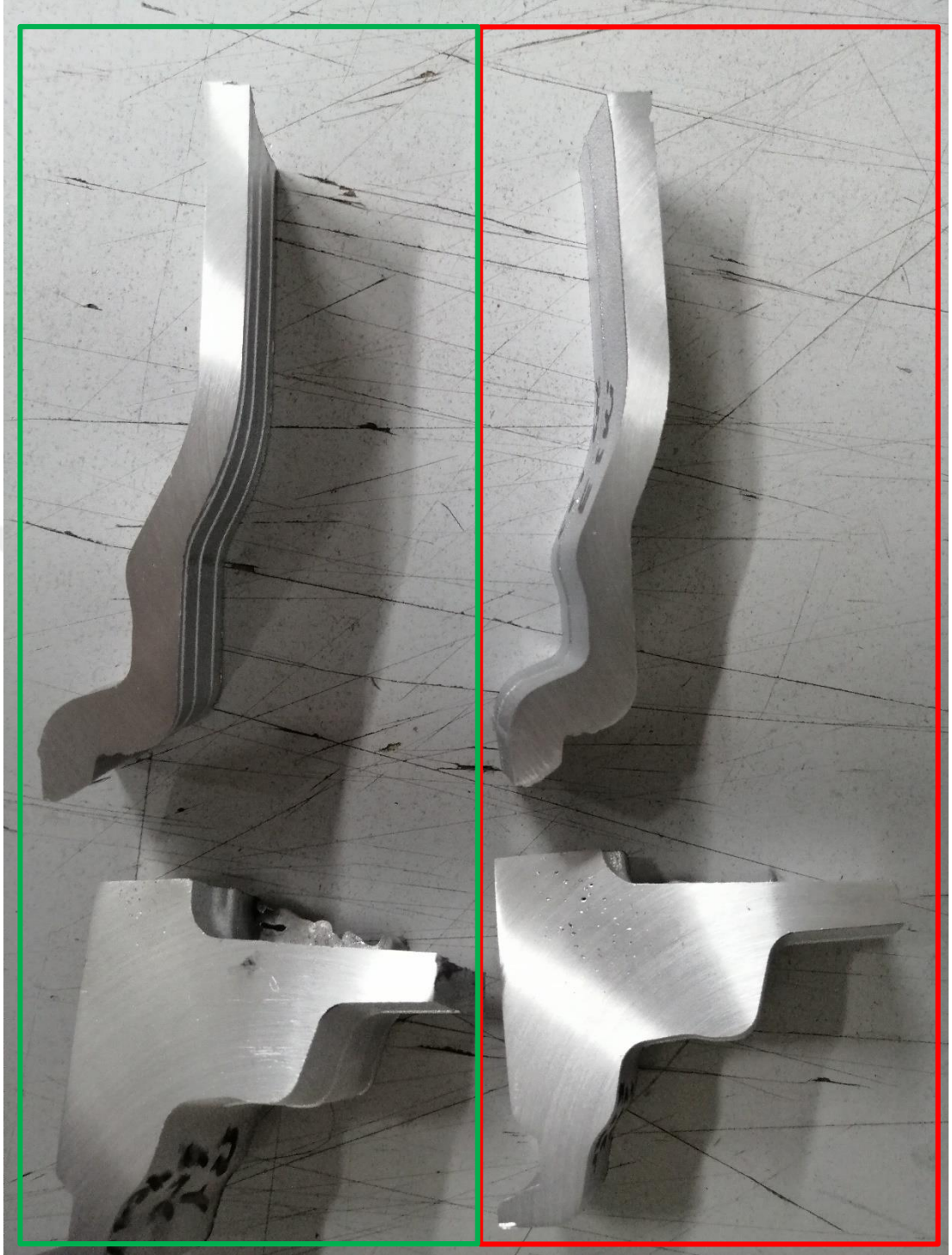
Şekil 4.5. Yeni jant ayar kartı ile döküm 1. jant X-ray kontrolü



Şekil 4.6. Yeni jant ayar kartı ile döküm 8. jant X-ray kontrolü



Şekil 4.7. Yeni jant ayar kartı ile döküm 8. jant kanat-rim profili arası kesit kontrolü



Şekil 4.8. Eski jant ayar kartı ve yeni kart ile dökülmüş olan jantlara ait kesitler

Şekil 4.8’de eski ve yeni jant ayar kartları ile dökülmüş olan jant kesitleri aynı fotoğrafta verilmiştir. Burada yeşil çerçeve içerisinde bulunan kesitler yeni jant ayar kartı ile dökülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilgisayar ortamında kurulan analiz, çevre şartlarını büyük ölçüde karşılamaktadır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.7 arasındaki fark bunu ortaya koymaktadır. Fotoğraflar incelendiğinde, sağlıklı yönlü katılaşma sonucu, porozitelerin hareketi gözlemlenmiştir. Gerçek döküm ortamı ve analiz ortamı birbirini yakınsayabilmiştir. Yani, oluşturulan kurguda kullanılan değerler gerçeğe yakın değerlerdir. Bunu anlayabilmek için öncelikle, eski jant ayar kartı ile yapılan analiz sonuçları ile bu jant ayar kartı ile yapılmış olan döküm sonuçları incelendiğinde süreç doğrulamasının başarılı olduğu görülebilir. Daha sonrası, eski jant ayar kartında görülen döküm hataları nedeni ile yapılan dolum ve katılaşma optimizasyon çalışmalarının sonuçları da yeni jant ayar kartı ile dökülmüş jantlarla karşılaştırılarak sonuçları tez içerisinde verilmiştir. Burada, kronik döküm kusuru olan bir jant incelemesi yapılmıştır. Öncelikle bilgisayar ortamında yapılan çalışma sonuçları ile gerekli incelemeler ve bilgisayar destekli mühendislik yapılarak izlenecek yol bulunmuştur. Daha sonrası bu işlemler sonucunda döküm ortamında sistematik bir biçimde karşılaştırma işlemleri yapılmıştır. Yapılan çalışmanın üretime olan etkisi incelendiğinde daha önceki verileride döküm porozite sebebi ile ıskarta oranı %35 iken yeni süreç ile döküm porozite sebebi ile ıskarta oranı %9'a düşmüştür. Dökümhane verileri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Dökümhane verileri

Dökümhane Verileri						
	Eski Jant Ayar Kartı İle Dökülen Jant			Yeni Jant Ayar Kartı İle Dökülen Jant		
Alaşım	Toplam Dökülen	X-ray Sayısı (Porozite)	Yüzdelik Geri Dönüş	Toplam Dökülen	X-ray Sayısı (Porozite)	Yüzdelik Geri Dönüş
Si11	5.371	1.886	35%	974	86	9%

Yapılan bu çalışmanın amacı bilgisayar destekli mühendislik uygulamalı ile süreç doğrulaması ve süreç iyileştirmeleri yaparak ıskarta jant sayılarının azaltılmasıdır. Bu çalışma sonrasında bilgisayar destekli mühendisliğin etkinliği artırılarak ıskarta jantların sayıları azaltılabilir. ıskarta jantların sayılarının azalması ile hem ülkemizin kaynakları daha verimli kullanılmış olacak hem de ürün kalitesi geliştirilebilecektir.



KAYNAKLAR

- Anonim (2020a). *Magma hakkında*.
<https://www.magma-soft.com.tr/tr/kurumsal/magma-hakkında/>
(Son erişim tarihi: 28.09.2020)
- Anonim (2020b). *Demir dışı dökümler*.
<https://www.magma-soft.com.tr/tr/coezuemler/demir-ds-doekuem/>
(Son erişim tarihi: 28.09.2020)
- Anonim (2020c). *Al-Si İnteraktif Faz Diyagramı*.
https://www.doitpoms.ac.uk/miclib/phase_diagrams.php?id=3
(Son erişim tarihi: 28.09.2020)
- Anson, J.P & Gruzleski, J.E (1999). The quantitative discrimination between shrinkage and gas microporosity in cast aluminum alloys using spatial data analysis. *Materials Characterization*, 43, 319-335. doi:10.1016/S1044-5803(99)00059-5
- Bernard, F. (2003). A short history of CATIA & Dassault Systemes.
<https://web.archive.org/web/20110710171514/http://www.edstechnologies.com/download/history-Catia.pdf> (Son erişim tarihi: 28.09.2020)
- Bone, J. (2013). Forging Process. <https://4wheelonline.com/what-makes-up-a-wheel.231074.0> (Son erişim tarihi: 27.11.2020)
- Günerhan, H. & Erkek, M. (2006), Ege üniversitesi mühendislik fakültesi makina mühendisliği bölümü MK371 ısı transferi (2+2) dersi.
<https://docplayer.biz.tr/10973313-Ege-universitesi-muhendislik-fakultesi-makina-muhendisligi-bolumu-1-mk371-isi-transferi-2-2-dersi.html> (Son erişim tarihi: 28.09.2020)
- Malpohl, K. & Hillen, R. (2010). Aluminum Melting Furnaces For Die Casting.
<https://www.foundry-planet.com/d/aluminium-melting-furnaces-for-die-casting/> (Son erişim tarihi: 27.11.2020)
- Maijer, D. M., Owen, W.S. & Vetter, R.A (2007). An investigation of predictive control for aluminum wheel casting via a virtual process model. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1965-1979. doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.04.057
- Marini, D., Cunningham D., Xirouchakins P. & R. Corney, J. (2016). Flow forming: a review of research methodologies, prediction models and their applications. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 7(5), 285-315. Article ID: IJMET_07_05_29
- Neill, S.P. & Hashemi, M.R. (2018). Finite Volume Method. In *Fundamentals of Ocean Renewable Energy*. (pp. 193-235)

Romão Nogueira, L., Dias, C.O., Rebello, F.M., Lopes, L.A., Garuti, P.S. & Antunes, P.R. (2016). Manufacturing processes applied to the steel wheels production. *Journal of Management & Technology*, 4, 118-156. doi: 10.24279/jmgmt.v4i2.612

Roye, W. (1990). Fully automated X-ray inspection of automobile wheels. In *Impact of Non-Destructive Testing*. (pp. 131-140)

Zhang, B., Maijer, D.M. & Cockcroft, S.L. (2007). Development of a 3-D thermal model of the low-pressure die-cast (LPDC) process of A356 aluminum alloy wheels. *Materials Science and Engineering: A*, 464, 295-305. doi: 10.1016/j.msea.2007.02.018



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :

Doğum Yeri ve Yılı :

Medeni Hali :

Yabancı Dili :

E-posta :

Eğitim Durumu

Lise :

Lisans :

Mesleki Deneyim