

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN
KATILAŞMA MODELLEMESİ VE GERÇEK
DÖKÜMLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim Arda

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ramazan KAYIKCI

ŞUBAT 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN
KATILAŞMA MODELLEMESİ VE GERÇEK
DÖKÜMLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim ARDA

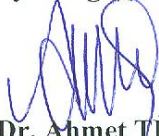
Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Enstitü Bilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 04 / 02 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç.Dr Ramazan KAYIKCI
Jüri Başkanı


Prof.Dr. Fehim FINDIK
Üye


Doç.Dr. Ahmet TÜRK
Üye

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında bana yardımcı olan danışmanım Sn. Doç.Dr. Ramazan KAYIKCI'ya teşekkürü borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım süresince benden her türlü yardımlarını esirgemeyen Anadolu Döküm Sanayi A.Ş. genel müdürü Sn Ahmet KIRIMTAYYIF'a, fabrika müdürü Sn. Mustafa Günhan AKYÜREK'e, üretim müdürü Sn. Haykan ENGİN'e, kalite güvence müdürü Sn. Metehan BOYDAK'a, Sn. Nurdoğan TERZİOĞLU'na, Sn. Serdar YEŞİLLİ'ye, Sn. İbrahim ALKAN'a, Sn. Namık DEMİR'e, Sn. Ertan ERKAN'a, Sn. Murat ALKANAT'a, Sn. Pierre Marie CABANNE'a, Sn. Ali BODUR'a, Öğr. Gör. Gürhan DENİZ'e, Arş. Gör. Azim GÖKÇE'ye, Arş.Gör. Murat ÇOLAK'a ve Ömer SAVAŞ'a, bölüm hocalarıma, deneysel çalışmalarda katkıları bulunan Anadolu Döküm Sanayi A.Ş.'ne ve tüm çalışanlarına, Ferro Metalurji, GSA Mühendislik, NovaCast, DTS Teknoloji firmalarına teşekkür ederim.

Bu yoğun çalışma günlerimde maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen canım aileme, Selçuk ŞİRİN'e, Cihan KOCATÜRK'e, Mehmet FİLİZGÖK'e, Tarık GÜN'e Yasin YILMAZ'a, Vahit MERDAN'a, Mehmet Akif GENCER'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Özellikleri.....	5
2.1.1. Küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri.....	5
2.1.2. Küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal özellikleri.....	5
2.2. Küresel Grafitli Dökme Demirin Hazırlanması.....	6
2.2.1. Ergitme.....	6
2.2.2. Aşılama.....	6
2.3. Dökümlerde Besleme Mekanizmaları.....	7
2.3.1. Sıvı besleme.....	11
2.3.2. Genleşme.....	11
2.3.3. Katı besleme.....	13
BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	15
3.1. Deneylerin Yapılışı.....	17

3.1.1. Kullanılan alaşımların kimyasal bileşimi.....	17
3.1.2. Ergitme işleminin yapılışı.....	17
3.1.3. Sıvı metalde gaz giderme ve aşılama işlemleri.....	18
3.1.4. Test küplerinin değerlendirilmesi.....	20
3.2. Dökümlerin Yapılışı.....	20
3.2.1. Döküm geometrisinin seçimi.....	20
3.2.2. Kalıplama işleminin yapılışı.....	22
3.2.3. Kalıpların kapatılması.....	25
3.2.4. Alaşımın ergitilmesi ve döküm işlemi.....	26
3.2.5. Numunelerin hazırlanması.....	28
3.2.6. Numunelerin incelenmesi.....	29
3.3. Simülasyon (Modelleme)	31
3.3.2. Döküm-kalıp geometrisinin ve malzeme özelliklerinin simülasyon programına girilmesi.....	31
3.3.2.1. Termal Analiz.....	37
3.3.3. Simülasyon programında kalıbın doldurulması ve dökümün katılması.....	38
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR.....	41
4.1. Gerçek Dökümlerden Alınan Sonuçlar.....	41
4.1.1. Gerçek dökümü yapılan numunenin boyutsal ölçüm sonuçları...	41
4.1.2. Gözeneklilik ölçüm sonuçları.....	44
4.2.Döküm Simülasyon Programında Yapılan Modellemelerinden Elde Edilen Sonuçlar ve Değerlendirilmesi.....	51
4.2.1 Termal Analiz sonuçları.....	70
4.2.2 SolidCast dökme demir modülü sonuçları.....	74
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	84

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AFS	: American Fondryman Society
ATAS	: Adaptive Thermal Analysis System
CFS	: Kritik Katı Oranı
K Tip	: Termokapıl
KGDD	: Küresel Grafitli Dökme Demir
STL	: Üç Boyutlu Model Dosya Transfer Biçimi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Gerilim/gerinim tablosu.....	4
Şekil 2.2. KGDD kaliteleri ve çekme/uzama dayanım eğrileri.....	5
Şekil 2.3. a)Direkt döküm ile aşılama b) Sandwich yöntemi ile aşılama c) Tandış kapağı yöntemi ile aşılama.....	7
Şekil 2.4. a)Geleneksel katılaşma davranışı b) Sıcaklığa bağlı olarak katılaşan dökme demirlerin hacim değişikliği	8
Şekil 2.5.Gri dökme demirin katılaşma aşamalarının şematik olarak gösterilmesi.	9
Şekil 2.6.Küresel Grafitli dökme demirin katılaşma aşamalarının şematik olarak gösterilmesi.....	10
Şekil 2.7.Gri dökme demirin katılaşma aşamalarının döküm parça üzerinde gösterimi.....	11
Şekil 2.8.Küresel Grafitli dökme demirin katılaşma aşamalarının döküm parça üzerinde gösterimi.....	11
Şekil 2.9. Katılaşan bir dökümde beş besleme mekanizmasının şematik gösterimi	11
Şekil 2.10. Katılaşan bir dökümde genleşme mekanizmasının şematik gösterimi	12
Şekil 2.11. Küresel Grafitli dökme demirin normal katılaşması ile oluşan çekinti	14
Şekil 3.1. İndüksiyon ergitme ocağı.....	18
Şekil 3.2. Sıvı metalin aşılınması ve argon gazı ile yıkanması.....	19
Şekil 3.4. Kullanılan modellerin ölçüleri.....	21
Şekil 3.5. Sanal ortamdaki parça tasarımı.....	22
Şekil 3.6. Model ve besleyici topuğu.....	23
Şekil 3.7. Karıştırma mikserinde kumun hazırlanması.....	24
Şekil 3.8. Modelin kalıplanması.....	25
Şekil 3.9. Boyanmış kalıbın görünüşü.....	25
Şekil 3.10. Sıvı metalin potaya aktarımı.....	26
Şekil 3.11. Dökülmüş bir kalıbın görünüşü.....	27

Şekil 3.12. Temizlenmiş parçalar.....	28
Şekil 3.13.a. ve 3.13.b Numunenin döküm parçadan kesilerek çıkarılması.....	29
Şekil 3.14. Sıvı penetrant muayenesi öncesi temizlik işlemi.....	29
Şekil 3.15.a. Penetrant boya uygulaması.....	30
b. Boya uygulanmış parçanın görüntüsü.....	30
Şekil 3.16. Penetrant boya uygulaması (şematik).....	30
Şekil 3.17. Penetrant boya seti	30
Şekil 3.18. SolidWorks programından STL çıktısı alınması.....	32
Şekil 3.19. GGG80 alaşımı için SolidCast dökme demir modülü hesaplama ekranı.....	32
Şekil 3.19.b. GGG80 alaşımı için girilen soğuma eğrisi.....	33
Şekil 3.20. NovaCast malzeme veritabanı görüntüsü.....	34
Şekil 3.21. Termal ölçüleme ekranı görüntüsü.....	35
Şekil 3.22.a. NovaCast meş görüntüsü.....	35
Şekil 3.22.b. SolidCast meş görüntüsü.....	35
Şekil 3.23. NovaCast meş görüntüsü.....	36
Şekil 3.26. ATAS cihazından alınan çalışma ekranı görüntüsü.....	37
Şekil 3.27.a. ATAS cihazına termokapılın yerleştirilmesi.....	37
Şekil 3.27.b. Numunenin dökümü	37
Şekil 3.28. ATAS Cihazı.....	38
Şekil 3.24. NovaCast programında kalıbın doldurulması.....	39
Şekil 3.25.a. SolidCast'ten alınan soğuma görüntüsü.....	40
Şekil 3.25.b. NovaCast'ten alınan soğuma görüntüsü.....	40
Şekil 4.1. Ölçüm yapılan bölgelerin resim üzerinde gösterimi.....	42
Şekil 4.2. GGG40 100x100x100 numunenin görüntüsü.....	44
Şekil 4.3. GGG60 100x100x100 numunenin görüntüsü.....	45
Şekil 4.4. GGG80 100x100x100 numunenin görüntüsü.....	45
Şekil 4.5. GGG40 156x156x156 numunenin görüntüsü.....	46
Şekil 4.6. GGG60 156x156x156 numunenin görüntüsü.....	46
Şekil 4.7. GGG80 156x156x156 numunenin görüntüsü.....	47
Şekil 4.8. GGG40 210x210x210 numunenin görüntüsü.....	48
Şekil 4.9. GGG60 210x210x210 numunenin görüntüsü.....	48
Şekil 4.10. GGG80 210x210x210 numunenin görüntüsü.....	49

Şekil 4.11. Besleyicisiz dökülen GGG60 100x100x100 numunenin görüntüsü....	49
Şekil 4.12. Besleyicisiz dökülen GGG60 156x156x156 numunenin görüntüsü....	50
Şekil 4.13. Besleyicisiz dökülen GGG60 210x210x210 numunenin görüntüsü....	50
Şekil 4.14. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 100x100x100mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast).....	52
Şekil 4.15. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 100x100x100mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast).....	53
Şekil 4.16. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 100x100x100mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast).....	54
Şekil 4.17. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 156x156x156mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast).....	55
Şekil 4.18. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 156x156x156mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast).....	56
Şekil 4.19. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 156x156x156mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast).....	57
Şekil 4.20. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 210x210x210mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast).....	58
Şekil 4.21. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 210x210x210mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü	

(Çekinti ve katılma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast).....	59
Şekil 4.22. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 210x210x210mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast).....	60
Şekil 4.23. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 110x110x110mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast-SolidCast).....	61
Şekil 4.24. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 110x110x110mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast-SolidCast).....	62
Şekil 4.25. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 110x110x110mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast-SolidCast).....	63
Şekil 4.26. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 156x156x156mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast-SolidCast).....	64
Şekil 4.27. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 156x156x156mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast-SolidCast).....	65
Şekil 4.28. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 156x156x156mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast-SolidCast).....	66
Şekil 4.29. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 210x210x210mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma	

zamanı, Novacast-SolidCast).....	67
Şekil 4.30. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 210x210x210mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast-SolidCast).....	68
Şekil 4.31. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 210x210x210mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast-SolidCast).....	69
Şekil 4.32. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak yapılmış 210x210x210mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüleri. Çekinti ve genleşme durumu.....	70
Şekil 4.33. Termal analiz cihazından alınan GGG40 alaşımının ölçümleme sonuçları.....	71
Şekil 4.34. Termal analiz cihazından alınan GGG60 alaşımının ölçümleme sonuçları.....	72
Şekil 4.35. Termal analiz cihazından alınan GGG80 alaşımının ölçümleme sonuçları	73
Şekil 4.36. SolidCast dökme demir modülü programından alınan sonuçlar	77
Şekil 4.37. SolidCast dökme demir modülü programından alınan sonuçlar	78
Şekil 4.38. SolidCast dökme demir modülü programından alınan sonuçlar	79

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Deneysel çalışma aşamaları.....	16
Tablo 3.2. Dökülen numunelerin kimyasal analiz sonuçları.....	17
Tablo 3.3. Kum özellikleri.....	23
Tablo 3.4. Reçine Özellikleri.....	24
Tablo 4.1. Numunelerin boyutsal ölçüm değerleri.....	42
Tablo 4.2. Normal boyutsal küçülme ile oluşan ölçüler.....	43
Tablo 4.3. %1 boyutsal küçülme ile hesaplanan boyutsal ölçümleri ile yapılan ölçümlerin farkları.....	43
Tablo 4.4. SolidCast dökme demir modülü yaş kum kalıp sonuçları.....	75
Tablo 4.4. SolidCast dökme demir modülü programından alınan sonuçlar....	76

ÖZET

Anahtar kelimeler: Döküm, Küresel Grafitli Dökme Demir, Katılaşma, Döküm Simülasyonu, Besleme, SolidCast, NovaCast.

Bu çalışmada kuma dökülen üç farklı küresel grafitli dökme demir alaşımının katılaşması sırasında hacimsel küçülmeye ve grafit genişmesine bağlı oluşan besleme mekanizmasının modellenmesi için iki farklı döküm simülasyon yazılımı kullanılarak incelenmiştir.

Küresel grafitli dökme demir alaşımları özel olarak hazırlanan yaş ve reçineli kum kalıplara dökülmüştür. Katılaşan ve soğuyan dökümlerin iç kesitlerinde oluşan makro porozite değerleri ölçülerek döküm simülasyon programından aynı şartlarda modellenen dökümlerden ölçülen porozite değerleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon modellemeleri için programa girilen soğuma eğrileri gerçek dökümlerin katılaşması sırasında ölçülen zaman-sıcaklık değerleri ile tanımlanmış ve böylece gerçek dökümler ile modellenen dökümler arasında bire birlik sağlanmıştır.

Çalışmada, metal ergitme, kuma döküm, modelleme, tahribatsız muayene, optik mikroskop ve mikro yapı görüntüleme teknikleri kullanılmıştır.

Sonuçlar, bu çalışmada kullanılan küresel grafitli dökme demir alaşımlarının dökümünün simülasyon programında modellenmesi ile elde edilen gözenek dağılımı ile kuma dökülen gerçek dökümlerden ölçülen gözenek dağılımı arasında bire bir benzerlik bulunduğunu göstermiştir. Sonuçlar ayrıca dökümlerin bilgisayar modellemelerinde en önemli sınır şartlarının belirlenmesinde kalıp dayanımının önemli rol oynadığını göstermiştir.

MODELLING OF MACRO POROSITY AND EXPANSION WITH GRAPHITE FORMATION IN DUCTILE IRONS

SUMMARY

Key Words: Casting, Ductile Iron, GGG40, GGG60 GGG80, Solidification, Feeding Novacast, Solidcast.

In this study, using two different commercial casting simulation softwares the modeling of feeding mechanism of sand cast GGG40, GGG60, GGG80 casting alloy macro porosity which occurs due to the volumetric shrinkage and expansion during solidification, have been investigated.

Ductile iron alloys was sand cast into moulds which has a special geometrical design. Following solidification and cooling of real castings the measured macro porosity values were compared with the porosity values obtained from computer simulation. The cooling curves of alloys in the computer model were defined using the time-temperature data measured from the sand castings so that a good match between the real castings and the computer modeling was achieved.

During this study, melting, sand casting, casting simulation, metallography, non-destructive testing, optical microscopy and image analysis techniques have been employed.

Results showed good similarity between porosity obtained from simulation model of sand cast ductile iron and the porosity measured from real castings. Results also showed that the mold rigidity is an important boundary condition which plays a significant role in computer modeling of ductile iron castings.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmeler her alanda olduğu gibi metalürji ve malzeme bilimi alanlarında da bu teknolojinin kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Son zamanlarda gelişen teknolojiler ile birlikte metal dökümlerinde soğuma ve katılaşmayı üç boyutlu olarak modelleyebilen, yapısal fazların oluşumu yanında hacimsel ve boyutsal değişimleri de hesaplayarak döküm iç yapılarında olası kusurların yerlerini ve boyutlarını tahmin edebilen simülasyon programları geliştirilmiştir. Bu programlar genellikle Windows veya Unix tabanlı programlar olup, kişisel bilgisayarlara da emulatörler ile kurulum imkanı olması nedeniyle gerek döküm sektörü tarafından gerekse eğitim amaçlı olarak da kolayca kullanılabilir.

MagmaSoft, SolidCast, NovaCast, ProCast, Vulcan, AutoCast, vb. isimleri ile bilinen başlıca ticari döküm simülasyon yazılımları günümüz sektöründe yer almışlardır. Bu programlar genellikle sonlu fark, hacim kontrol veya sonlu elemanlar teknikleri ile hesaplama yaparak verilen döküm geometrisini farklı döküm ve kalıp malzemeleri için kendi veri tabanlarında bulunan veya kullanıcı tarafından da girilebilen, malzemelerin tüm termo-fiziksel özelliklerini göze alarak, davranışlarını sınır şartları ile modelleyebilme yeteneğine sahiptirler.

Bir döküm simülasyon programı ile modellenebilen başlıca döküm özellikleri şunlardır:

- Döküm ve kalıpta sıcaklığın zamana göre dağılımı,
- Döküm kesitlerinin katılaşma zamanının tespiti,
- Döküm kesitlerinde soğuma sırasında oluşan sıcak noktaların yeri ve modülse büyüklüğü,
- Döküm kesitlerinde oluşan makro ve mikro porozitenin yeri ve yüzdesel dağılımı,
- Döküm kesitlerinde oluşan sıcak yırtılma riskleri,

-Döküm ve kalıp kesitlerinde soğuma sırasında oluşan gerilmeler ve deformasyonlar,

Döküm simülasyonu kullanıcılarının, zaman ve maliyet açısından avantaj sağlayabilmesi için yukarıda belirtilen döküm özelliklerini etkili ve doğru şekilde kullanması ve bilgilerin eksiksiz girilmesi gerekmektedir. Örneğin; hiç deneme döküm yapmadan; verilen bir kalıplama tasarımı ile eldeki dökümün sağlam veya kusurlu sonuçlanabileceği hakkında bilgiye sahip olunabilmektedir. Henüz CAD tasarımı aşamasında bile model-kalıp-metal gibi yüksek maliyetli deneme yanılma gibi maliyeti yüksek pratiklere girmeden bir döküm parçanın kalıplama yöntemini seçebilmekte ve ilk dökümde doğru sonuçlar alınabilmektedir.

Yapılan dökümlerden avantaj sağlanabilmesi, döküm simülasyonları için hazırlanan veri tabanlarının ve çoğunlukla firma tarafından, dökümhane operatörleri ve diğer kullanıcılar tarafından girilen sınır şartlarının mümkün olduğunca doğru ve gerçeğe en yakın değerlerde girilmesine bağlıdır. Bu değerlerin yanlış veya tahmini olarak girilmesi simülasyondan alınan sonuçların gerçek dökümlerden alınan sonuçlardan çok farklı olmasına ve modelleme ile hedeflenen avantajların dezavantaja dönüşmesine sebep olacaktır.

Kullanılan kalıp ve döküm alaşımının termo-fiziksel özellikleri ile döküm-kalıp ve atmosfer arasında gerçekleşen ısı transfer katsayıları bir döküm simülasyonu için eldeki yazılıma girilmesi gereken sınır şartlarıdır. Günümüzde döküm ve katılaşma modellemeleri için kullanılan sınır şartları değerlerinin birçoğu halen araştırma konusu olup kesin değerleri veya zamana ve sıcaklığa bağlı olarak değişen değerleri henüz tam olarak bilinmemektedir.

Döküm-kalıp sisteminin termo-fiziksel özellikleri genel olarak aşağıdaki maddeleri kapsamaktadır;

- Döküm alaşımının ve kalıbın özgül ağırlığı, özgül ısı, ısı iletkenlik katsayıları,
- Döküm alaşımının katılaşması ve faz dönüşümleri sırasında ortaya çıkan enerji değerleri (örn. ergime gizli ısı),
- Döküm ve kalıp malzemelerinin ısıl genleşme değerleri,
- Döküm alaşımının soğuma eğrisi,

- Döküm alaşımının soğuma eğrisine bağlı olarak değişen hacimsel çekme ve genişleme oranı,
- Döküm alaşımının katılaşması sırasında besleme metalinin akışına karşı gösterdiği direnç (maşi bölgesi geçirgenliği),

Küresel grafitli dökme demirlerin katılaşması sırasında oluşan hacimsel değişim çelik ve alüminyum dökümlerindekinden farklı şekilde gelişmektedir. Çelik ve alüminyum gibi dökümlerde soğuma ve katılaşma sürecinde yoğunluk artışına bağlı olarak belirli oranlarda hacimsel küçülme (çekinti) oluşurken dökme demir dökümlerinde birden fazla parametreye bağlı olarak çekinti ve genişleme bir arada görülebilmektedir. Bu parametrelerden en önemlileri; kalıp malzemesi, kimyasal bileşim, alaşımın aşırı ısısı, aşılama kalitesi, dökümün katılaşma zamanı (modül) ve döküm hızıdır. Bu parametrelerin küresel grafitli dökme demirlerin çekme ve genişleme davranışları üzerine etkileri literatürde geniş bir şekilde yer almaktadır. Yüksek genişleme basıncı ve buna bağlı olarak düşük çekme ve besleme oranı elde edebilmek için yüksek karbon eşdeğeri, yüksek kalıp dayanımı, yüksek katılaşma zamanı (yüksek modül), yüksek aşılama kalitesi (yüksek nodularite), düşük döküm sıcaklığı (düşük aşırı ısı) ve düşük döküm hızları kullanılmalıdır[1],[2]

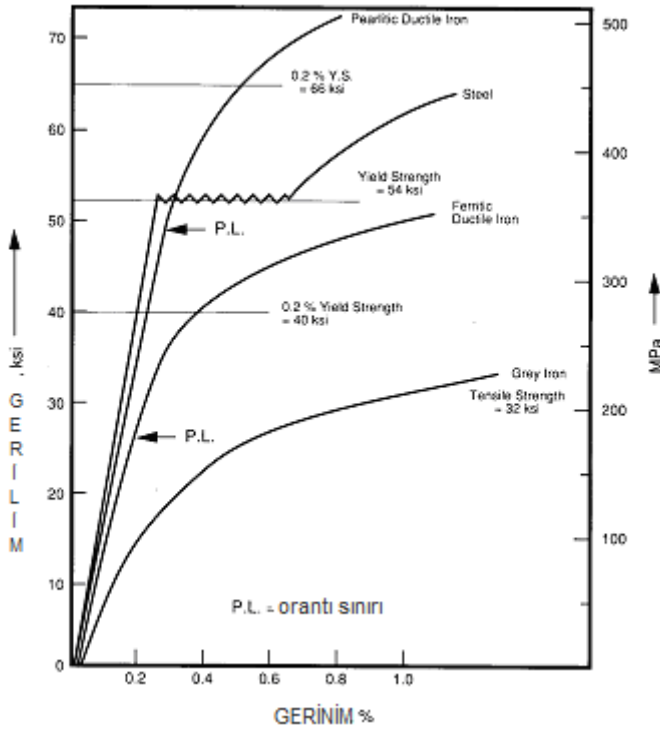
Çalışma modelleme içeren deneysel ağırlıklı bir çalışmadır. Bölüm 2’de konu ile ilgili literatür çalışması özetlenmiştir. Bölüm 3’te deneysel metot ve çalışmalar verildikten sonra Bölüm 4’te sonuçlar sunulmuş ve bu sonuçların irdelenmesi yapılmıştır. Bölüm 5’te bu çalışmadan çıkarılan genel sonuçlar sıralandıktan sonra ileri çalışmalar için tavsiyeler sıralanmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Özellikleri

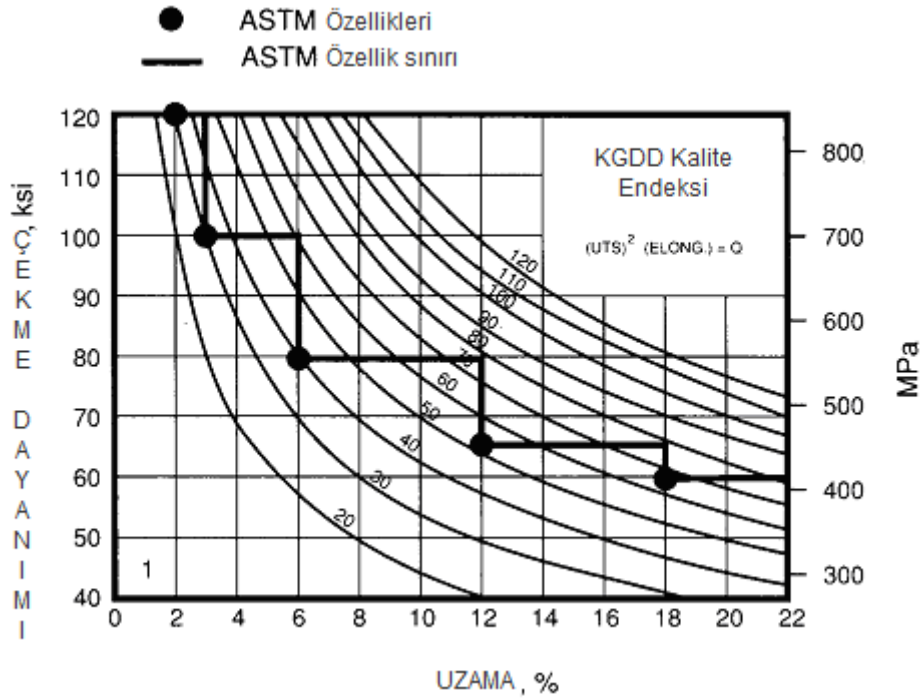
2.1.1. Küresel grafitli dökme mekanik özellikleri

Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri genellikle alaşımlandırmaya bağlıdır. Cu veya Ni ilavesi ile çekme dayanımı, tokluk ve sertliği rahatlıkla artırılabilir. Diğer farklı elementlerin ilavesiyle korozyon ve oksitlenme direnci artırılabilen küresel grafitli dökme demirler gerilim giderme dışında başka ısıl işlemler de uygulanabilen tek dökme demir çeşididir. 120ksi den 230ksi ye varan geniş bir çekme dayanımı yelpazesine sahiptir. [3]



Şekil 2.1. Gerilim/gerinim tablosu [3]

Küresel grafitli dökme demirler tokluk ve esneklikleri ile diğer dökme demirlerden ayrılırlar. Alaşım ve kalitesine göre değişebilir de küresel grafitli dökme demirler %25 e varan uzamalar gösterebilmektedirler.



Şekil 2.2. KGDD kaliteleri ve çekme/uzama dayanım eğrileri[4],[12]

2.1.2. Küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal özellikleri

Küresel grafitli dökme demirlerde kimyasal özellikler temelde çok fazla değişmese de mikroyapı karakteristiğine ve genel mekanik davranışlarına ilave elementlerin büyük etkisi vardır.

Temelde demir, karbon, silisyum ve eser miktarda magnezyum içeren küresel grafitli dökme demirlerde karbon oranının artması ile birlikte grafit sayısında ve nodül büyüklüklerinde artışlar gözlemlenmektedir. Karbon oranının artışı plastik deformasyon bölgesinin azalmasına ve sünekliğin düşmesine de sebep olmaktadır.

Silikon miktarının en büyük etkisi sünek-gevrek geçiş sıcaklığını değiştirmesidir. Düşük sıcaklıklarda en iyi tokluğu elde etmek için silikon içeriği mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Ferritik yapıdaki sünek bir küresel grafitli dökme demir

malzemeyi elde edebilmek için saflığı iyi derecede olan şarj malzemeleri kullanılmalıdır. Bu önlem karbür ve perlit oluşumunu engelleyecek ve tamamen ferritik yapı oluşumunu sağlayacaktır. Dikkatli ergitme, tutma ve aşılama çekirdeklenme ve grafit oluşumunu olumlu etkileyecek, fakat silikon içeriğinin azalması ile birlikte çekme dayanımı düşecektir. [4], [12], [14]

Manganez, bakır ve nikel küresel grafitli dökme demirde bulunan diğer elementlerdir. Perlit ve karbür oluşumunu önlemek için manganez miktarı düşük tutulmalıdır. Bu seviyeyi ticari olarak iyi derecede saflıktaki pik demiri ile sağlamak mümkündür. [4]

Bakırın düşük silikon miktarı ile birlikte kullanımı geçiş sıcaklığını 45°C düşürmektedir. %1 Nikel ilavesi geçiş sıcaklığını sadece 10°C düşürse de dayanımı dikkat çekici şekilde arttırmaktadır.[4]

2.2. Küresel Grafitli Dökme Demirin Hazırlanması

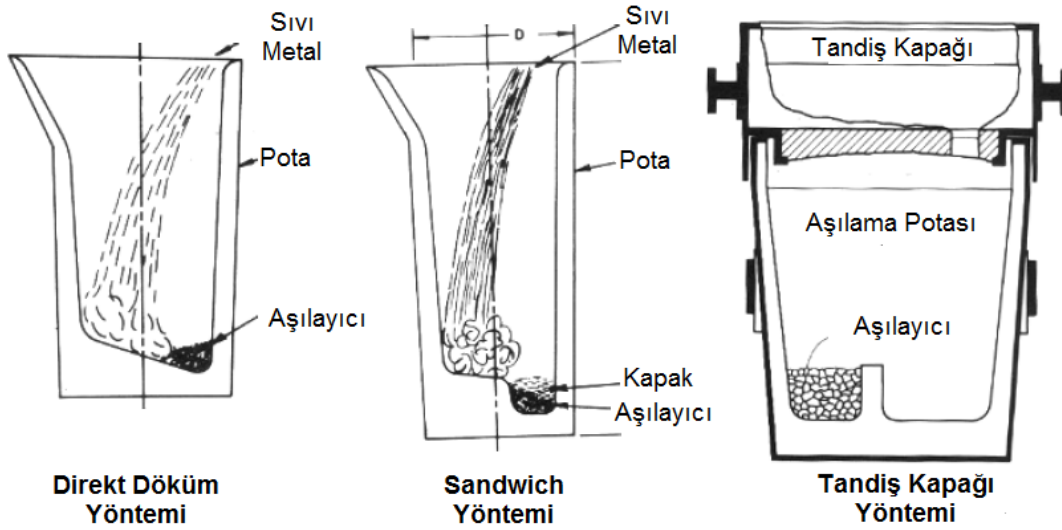
2.2.1. Ergitme

Küresel grafitli dökme demirin diğer dökme demirlerle arasında ergitme yönünden farkı yoktur. Fakat aşılama esnasında magnezyum ilavesi azaltacak etkenlerin oluşumundan ergitme esnasında kaçınılmalıdır.[3]

2.2.2. Aşılama

Küresel grafitli dökme demir, birbirinden bağımsız olarak (British Cast Iron Research Association (BCIRA) ve International Nickel Company (INCO) tarafından geliştirilmiş ve ilk defa Amerikan Dökümcüler Birliğinin 1948 deki yıllık toplantısında döküm endüstrisi için yeni bir malzeme olarak tanıtılmıştır. BCIRA yöntemi esas olarak, gri dökme demirle aynı bileşimde olan hiper ötektik dökme demirlere ergimiş halde seryum ilavesinden ibarettir. Seryumun büyük kısmı, bileşimdeki kükürdü gidermekte ve geri kalan yaklaşık %0.02 Ce ise, grafitlerin lamel yerine küre şeklini almalarını sağlamaktadır. 1943 te Keith D. Mills tarafından

INCO laboratuvarlarında bulunan yöntemde ise hipo ve hiper ötektik dökme demirlere benzer olarak magnezyum ilavesi yapılmaktadır. Bu yöntemlerin ilk tanıtılmasından sonra bu gün hemen her yerde uygulanan magnezyum yöntemi daha ekonomik olusu nedeni ile tercih edilmiştir. Bu tip dökme demir için sfero, nodüler ve küresel grafitli dökme demir adları kullanılmıştır. Küresel grafitli dökme demirler, adlarından da anlaşıldığı gibi dökülmüş vaziyette çeliğine benzer bir matris içinde dağılmış küre şekilli grafitlerden oluşan bir yapıya sahiptir. Yapı açısından gri dökme demirden yegâne ayrıcalığı grafitlerin seklidir. Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri grafit şekilli ve büyük ölçüde matris yapısı tarafından etkilenmektedir.

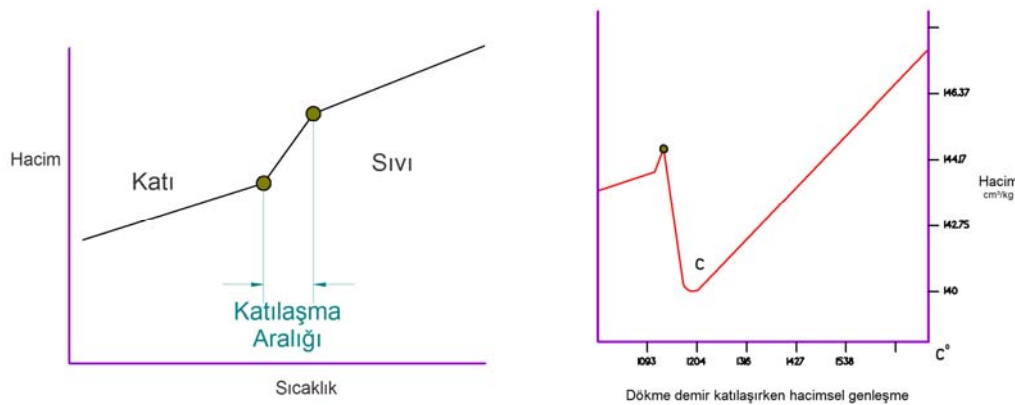


Şekil 2.3. a) Direkt döküm ile aşılama b) Sandwich yöntemi ile aşılama c) Tandış kapağı yöntemi ile aşılama [12]

2.3. Dökümlerde Besleme Mekanizmaları

Birkaç metal ve alaşım hariç metal ve alaşımların neredeyse tamamı katılaşma sırasında negatif hacim değişimine uğramaktadır. Bakır ve alüminyum temelli alaşımlarda termal iletkenliğin yüksek olması düşük termal gradyana neden olmakta ve özellikle geniş sıvı-katı aralığına sahip alaşımlarda katı bir kabuk oluşumu gecikmektedir. Bu gibi alaşımlarda döküm neredeyse katılaşmanın sonuna kadar sıvı ve sıvı içersinde oluşmuş olan katı dendritlerin bir arada bulunduğu yarı katı (maşi) durumunda soğumaktadır. Bu gibi alaşımlarda porozite veya yüzey çökmesi gibi

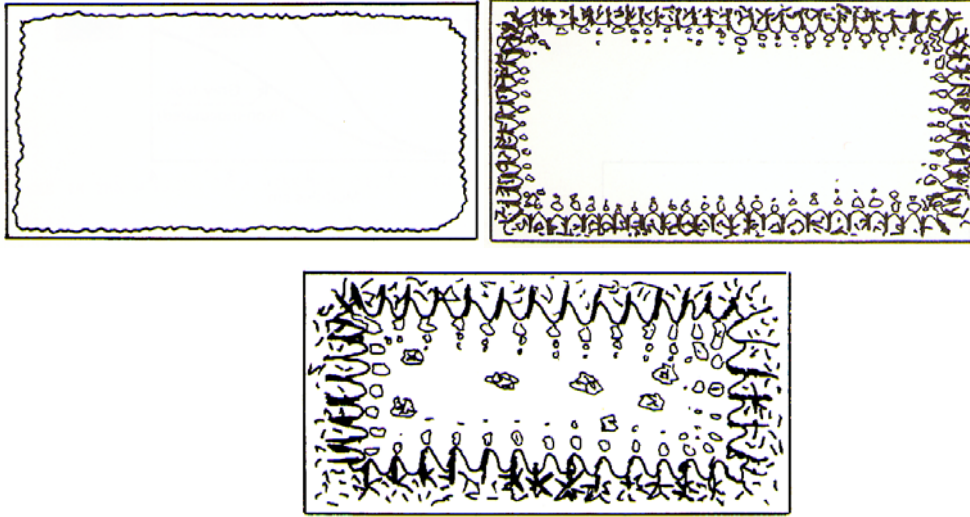
kusurlardan arındırılmış bir döküm istenmesi halinde sıvını beslenmesi tamamen bu yarı katı ortamda dendritler arasından sağlanmak zorundadır[6]. Dökme demirler, ötektik katılaşması gösteren alaşımlardır. Bil hassa lamel grafitli ve küresel grafitli dökme demirler bileşim itibariyle ötektik bileşime daha yakındırlar. Dökme demirlerin katılaşması esnasında grafit çökmesinden dolayı diğer alaşımların katılaşmasından farklılık gösterirler. Demiri çevreleyen grafitin yoğunluğunun düşük olması nedeniyle katılaşma sırasında çökelen grafitler genişmeye yol açar. Bu yüzden katılaşma mekanizması karmaşık ve besleyici tasarımı zordur. Sıvı demir soğurken hemen hemen bütün sıvıların katılaşmasında olduğu gibi büzülür. Katılaşma süresince östenitik demirde birçok metalde olduğu gibi büzülür. Bununla birlikte grafitin çökmesi katılaşma esnasında yoğunluk farkından dolayı genişleme basıncına neden olur. Besleyici tasarımı düzgün bir şekilde tasarlanabilirse bu basıncı avantajımıza kullanabiliriz.[6]



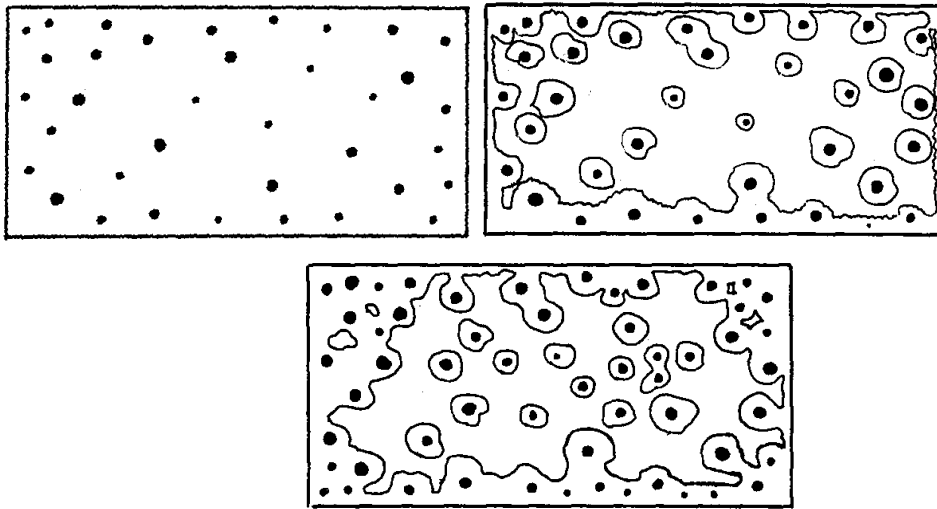
Şekil 2.4. a) Geleneksel katılaşma davranışı b) Sıcaklığa bağlı olarak katılaşan dökme demirlerin hacim değişikliği[1]

Küresel Grafitli Dökme Demirin katılaşma süreci eskiden beri üzerinde tartışılan ve farklı görüşler bulunan bir konudur. Fakat günümüzde bu konu daha iyi anlaşılmaya başlamıştır. Grafit nodülleri sıvı eriyik içerisinde çekirdeklenir ve şüphesiz sıvı içerisinde serbest şekilde büyür, daha sonra östenit kabuk tarafından çevresi kuşatılır. Büyüme daha sonra östenit kabuğunun içine doğru difüzyonla devam eder. Sıvının içerisine doğru hem östenit hem de grafitin kenardan kenara doğru büyüdüğü lamelli dökme demir çeşitlerinde büyüme mekanizması çok farklıdır. Küresel grafitli dökme demir ile lamel tipli dökme demir arasındaki büyüme mekanizması farkları katılaşma

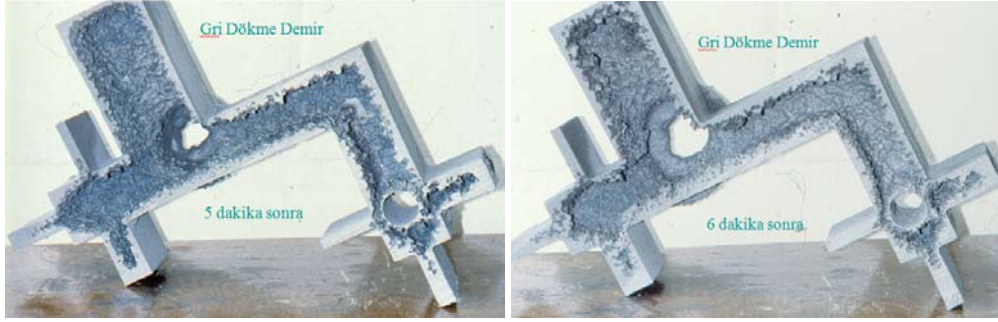
çekmesi veya genişmesinin farklılaşmasına yol açar. Aşağıda bu durum şematik olarak ve döküm resimlerinden daha iyi anlaşılacaktır. [1]



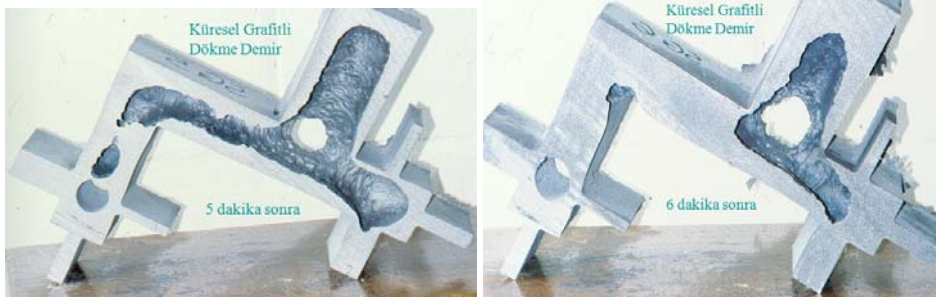
Şekil 2.5.Gri dökme demirin katılaşma aşamalarının şematik olarak gösterilmesi.[1]



Şekil 2.6..Küresel Grafitli dökme demirin katılaşma aşamalarının şematik olarak gösterilmesi.[1]

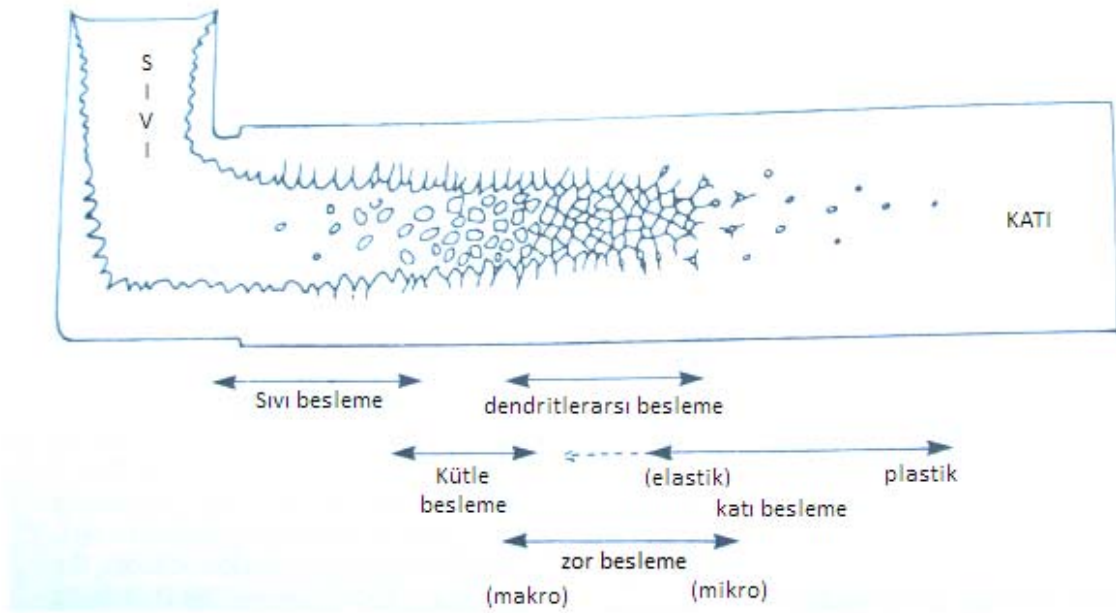


Şekil 2.7.Gri dökme demirin katılaşma aşamalarının döküm parça üzerinde gösterimi.[7]



Şekil 2.8.Küresel Grafitli dökme demirin katılaşma aşamalarının döküm parça üzerinde gösterimi.[7]

Küresel grafitli dökme demir için çekme prosesi üzerinde uzun yıllardır yaygın şekilde çalışılmaktadır. Stefanescu ve arkadaşları yaptığı çalışmada; katılaşma esnasında oluşan gözenekler iki farklı tipe ayrıldığını öne sürmektedir. Bunlardan biri katılaşmanın ilk aşamalarında şekillenir, diğeri ise katılaşmanın son kısmında şekillenir. Ayrıca gözenek miktarının, soğuma oranına, grafit nodüllerinin sayısına ve karbon içeriği gibi birçok faktöre bağlı olduğu savunmaktadır. Hummer yaptığı seri deneylerle, küresel grafitli dökme demirin katılaşmasının ilk aşamalarında büzülme meydana geldiğini ve sonunda ise genişleme meydana geldiğini göstermiştir. Hummer katılaşmanın ilk aşamalarında olan büzülmenin östenitin çökmesinin etkisiyle olduğunu ileri sürmektedir. Daha sonraki genişlemeyi ise katılaşan grafitin çökmesi ve grafitin özgül ağırlık farkından kaynaklandığını söylemektedir.[1],[2]



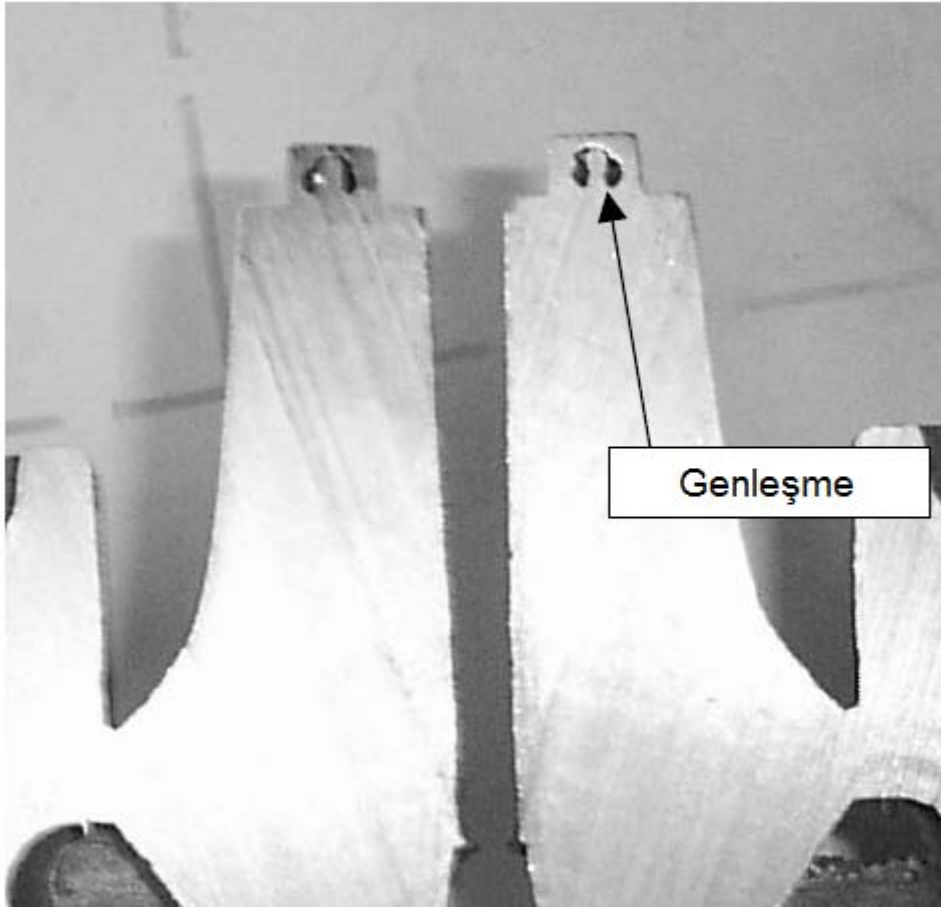
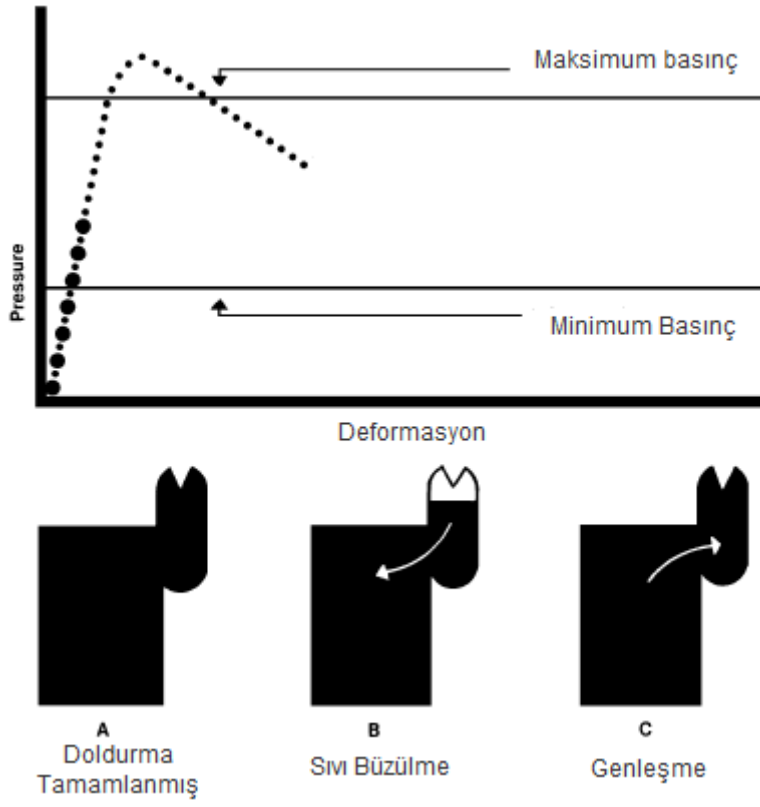
Şekil 2.9. Katılaştan bir dökümde beş besleme mekanizmasının şematik gösterimi [7].

2.3.1. Sıvı besleme

Sıvı besleme en açık ve en kolay olan besleme mekanizmasıdır ve genellikle diğer besleme mekanizmaları sıvı beslemeyi takip eder. Bu mekanizması kabuk yaparak katılaştan veya ötektik katılaştan ortamlarda tek besleme mekanizmasıdır. Sıvı besleme mekanizması iyi araştırılmış ve diğer besleme mekanizmalarına göre en iyi anlaşılmış bir besleme mekanizmasıdır[7]. Yetersiz sıvı besleme doğrudan makro porozite (çekinti boşluğu) oluşumu ile sonuçlanmaktadır.

2.3.2. Genleşme

Küresel grafitli dökme demirler katılaştıkça sıvı metal içerisindeki karbon çekirdeklenerek küre halinde grafit taneleri oluştururlar. Oluşturulan bu tanelerin özkütlesi sıvı metalden düşük olduğu için kalıp içerisinde genleşmeye sebep olur.



Şekil 2.10. Katılaşılan bir dökümde grafit genişmesinin a) şematik b) fotografik gösterimi [8,9].

Genleşme ve çekinti olayları katılaşma esnasında aynı esnada meydana gelir. Birçok durumda bu basınç sıvı metali besleyicinin veya besleyici geometrisine bağlı olan ve henüz katılaşmamış sınırlarına doğru iter [8]. Bu tip genleşme davranışına ait görüntüler Şekil 2.9 da gözlenebilir. Genel olarak sürekli çekinti göstermeyen dökme demirlerde basıncın yanlış kontrol edilmesi sonucu yarı katı haldeki metal hareket edebileceği bölgelere ve hatta besleyici dışına çıkabilmektedir[5]. Aynı metal hareketi kalıp duvarının dayanımını aştığında kalıp duvarını aşarak atmosfere ilerleyebilir.[9]

2.3.3. Katı besleme

Büyüyen katı oranı ile birlikte dendrit örgüsü arasından sıvı geçirgenliği giderek azalırken dendritler üzerindeki gerilmede giderek artmaktadır. Artan gerilme ile bazen dendrit örgüsü dağılmakta ve katı dendrit parçaları bir miktar sıvı beraberinde besleme bölgesine taşınabilmektedir. Katı besleme terimi besleme işleminin henüz katılaşmış ve yeterince güçlenmemiş katının deformasyonu ile oluşan bir beslemedir. Bununla birlikte besleme işleminin katı besleme mekanizmasına gerek duyulmadan diğer besleme mekanizmalarından birisi ile gerçekleşmesi daha istenen bir durumdur. Hatasız bir dökümün üretilebilmesi için katılaşma sırasında yeterli miktarda sıvı metalin sağlanabilmesi zorunludur. Eğer besleme metali yetersiz kalırsa dökümde makro ve mikro gözenek, yüzey çökmesi gibi birçok kusur oluşabilir.[6],[17]

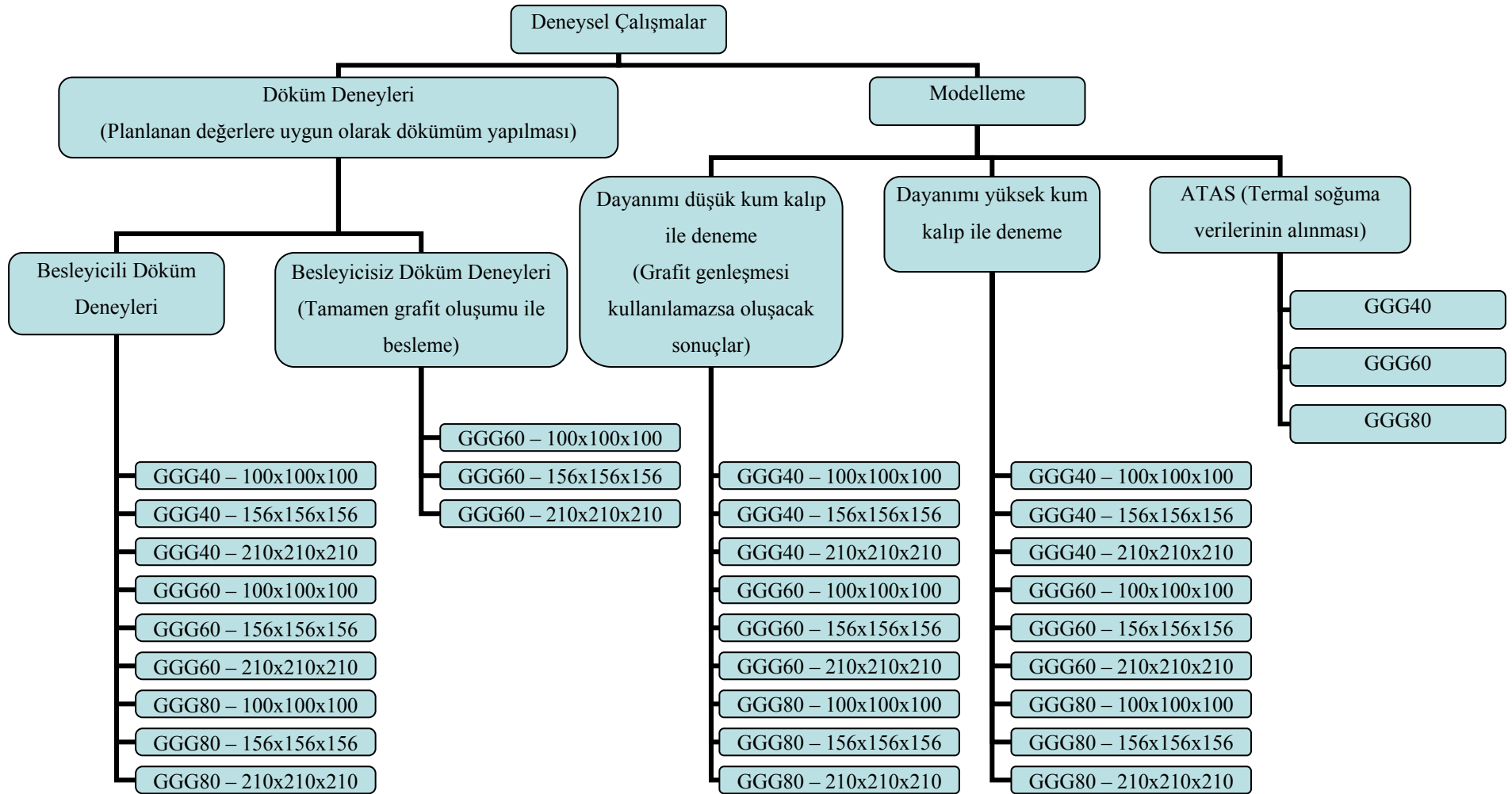


Şekil 2.11.Küresel Grafitli dökme demirin normal katlaşması ile oluşan çekinti[8,10]

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan bu tezde verilen deneysel çalışmalar üç ana aşamada gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların aşamaları genel bir akış çizelgesi ile Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Tablo 3.1’de de görüldüğü gibi birinci aşamada döküm alaşımı olarak kullanılan 3 adet farklı küresel grafitli dökme demir alaşımı ile farklı boyutlarda döküm yapılmıştır. Farklı boyutlarda test numunelerinin dökülmesinin amacı geometrik yada termal modülün küresel grafitli dökme demirlerde beslemeye ve genişmeye olan etkisini tespit edebilmektir. Bu aşamadan elde edilen veriler, ikinci aşamada tahribatsız muayenelerde kontrol edilerek doğruluğu araştırıldı. İkinci aşamada yapılan Termal analiz deneylerinin amacı ise sıvı metalin katılaşma esnasında katı-sıvı aralığını, katılaşma için gereken bilgileri almaktır. İkinci aşamadan elde edilen bazı verilerin ışığı altında üçüncü aşamada modelleme çalışmaları gerçekleştirildi.

Yapılan modelleme çalışmalarında hedeflenen amaç ise kullanılan döküm simülasyon yazılımında bir modelleme parametresi olan ve besleme mekanizmasını ciddi şekilde etkileyen dökümlerin içinde oluşan grafitlerin genişleme ile sıvı metal beslemesine olan ihtiyacının nasıl değiştiğinin tespit edilmesidir. Yukarıda özetlenen deneysel çalışmalar aşağıdaki alt bölümlerde ayrıntılı biçimde verilmiştir.



Tablo 3.1 Deneysel çalışma aşamaları

3.1. Döküm Deneylerinin Yapılışı

3.1.1. Kullanılan alaşımın kimyasal bileşimi

Yapmış olduğumuz döküm deneylerinde kullanılan 3 farklı alaşım olan GGG40, GGG60 ve GGG80 alaşımları Anadolu Döküm Sanayi A.Ş.'de yapılan ticari dökümler için hazırlanan şarjlar kullanılmıştır. Dökülen malzemelerin kimyasal analizleri WAS – Oxford Foundry Master Pro spektral analiz cihazı ile belirlenmiştir. Tablo 3.2'de ölçülen analiz değerleri Anadolu Döküm Sanayi A.Ş. ye ait şarj numaraları ile birlikte verilmektedir.

Tablo 3.2. Dökülen numunelerin kimyasal analiz sonuçları

Malzeme	GGG40	GGG40	GGG40	GGG60	GGG60	GGG60	GGG80	GGG80	GGG80
Şarj No	09/0176-2	09/0177-2	09/0351-2	09/1000-2	09/1100-2	09/1091-2	08/0128-2	08/0180-2	08/0299-2
Fe	93,5	93,58	93,50	93,04	93,15	92,82	90,71	90,84	90,61
C	3,42	3,45	3,41	3,40	3,43	3,42	3,33	3,31	3,43
Si	2,45	2,45	2,53	2,30	2,25	2,35	2,31	2,26	2,32
Mn	0,12	0,88	0,55	0,036	0,043	0,066	0,154	0,149	0,136
P	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,015	0,016	0,017
S	0,004	0,004	0,007	0,004	0,007	0,005	0,006	0,006	0,005
Cr	0,063	0,034	0,037	0,035	0,035	0,048	0,035	0,026	0,026
Mo	0,016	0,001	0,050	0,000	0,000	0,001	0,095	0,093	0,091
Ni	0,099	0,050	0,059	0,063	0,068	0,238	1,54	1,50	1,54
Cu	0,029	0,045	0,034	0,694	0,666	0,709	1,49	1,51	1,52
Al	0,028	0,025	0,033	0,023	0,018	0,025	0,019	0,015	0,015
Mg	0,04	0,038	0,048	0,043	0,060	0,041	0,055	0,050	0,053
C Eşd.	4,16	4,21	4,18	4,09	4,11	4,13	4,09	4,00	4,13

3.1.2. Ergitme işleminin yapılışı

Şekil 3.1'de gösterilen 2 tonluk ve 8 tonluk indüksiyon metal ergitme ocağında ergitilmiştir. İndüksiyon ocağı 1250 kvA 500Hz 585V gücündedir. Azami 1730 °C sıcaklığa çıkma kabiliyetine sahiptir. R,K ve S tip termokapıl donanımı ile sıcaklık kontrol edilebilmektedir. Ocak astarı kalsiyum oksit türü plakalar ile yapılmıştır ve yüksek termal izolasyon özelliğine sahiptir.



Şekil 3.1. İndüksiyon ergitme ocağı

Ticari olarak satın alınan külçeler, ferromangan ve bir miktar çelik hurdası yüklenerek önce 1250 °C'ye çıkartılarak ergitilmiştir. Daha sonra ocaktan alınan spektral analize göre hurda sac, ferrosilis, bakır veya nikel ve ferromangan ilave edilmiştir. İlavelerden sonra bir süre daha çalıştırılan ocak üzerine cüruf yapıcı örtü tozu atılmıştır.

Kullanılan örtü tozu ticari bir toz flaks olup içerisinde farklı oranlarda sodyum ve kalsiyum tuzları bulunmaktadır. Bu flaksın kullanımındaki amaç sıvı metal içerisinde bulunması muhtemel bazı katışık maddelerin kolayca cüruf haline getirilerek metal içersinden uzaklaştırılmasıdır. Örtü tozunun ilavesinden sonra sıvı metal üzerinde biriken cüruf ve oksitler bir temizleme laması ile sıyrılarak kabaca temizlendi.

3.1.3. Sıvı metalde gaz giderme ve aşılama işlemleri

Sıvı metal içerisinde çözünmüş olan yarı yoğun, ağır veya eşit yoğunluktaki cürufları metal dışına alınabilmesi amacıyla argon gazı ile yıkama işlemi gerçekleştirildi. Şekil 3.3a'da gösterilen argon gazıyla yıkama işlemi için potalara ticari gizliliği bulunan bir ekipman ve düzenek kurulmuş ve bu şekilde argon gazı ile yıkma yapılması sağlanmıştır. Şekil 3.2.a'da argon gazı ile sıvı metalde gaz giderme işlemi gösterilmiştir. Yapılan bu işlemdeki amaç ise çok sayıda küçük gaz baloncuğunu sıvı

içerisinden geçirmektir. Argon gazının sıvı içersinden geçmesi esnasında metal içersinde asılı bulunan ağır ve eşit yoğunluklu cürufları bu baloncuklar ile yüzeye taşıyarak cürufa çıkarmaktadır.



Şekil 3.2. Sıvı metalin aşılması ve argon gazı ile yıkılması

Argon gazı ile yıkama işlemine yaklaşık 1dk 30sn boyunca devam edildi. Sıvı metal Şekil 3.2.b de gösterilen Kaltek tipi astarlar ile taşınmıştır. Bu astar sayesinde astar malzemesi ile herhangi bir reaksiyon oluşumu engellenmektedir. Test numunesinde çok gaz boşluğu çıkmamasının sağlanması ve gazlılık oranı ile cüruf miktarının az kabul edilebilmesi için bu işlemler gerçekleştirilmiştir.

Sıvı metalin magnezyum ile aşılması işlemi ticari gizlilik içeren özel hazırlanmış külçeler ile yapılmıştır. Sıvı metal potaya 1/3 oranında doldurulduktan sonra külçe potaya atılmış ve reaksiyon başlatılmıştır. Reaksiyon tamamlanana kadar potaya argon gazı verilmemiştir.

3.1.4. Test küplerinin değerlendirilmesi

Yapılan dökümler için 3 farklı ölçülerde aynı geometri seçilmiştir. Ölçülerin farklı olması parça geometrisini sabit, parça geometrik modülünü değişken olarak kabul edebilmek ve böylece geometrik modülün genleşmeye olan etkisini saptayabilmektir. Modeller çıkma açısı hariç ölçü ortalaması (UzunlukxGenişlikxYükseklik) 100x100x100 mm, 156x156x156 mm ve 210x210x210mm olacak şekilde aşağıdaki teknik resimde gerçek ölçüleriyle belirtilen ölçülerde imal edilmiştir.

3.2. Dökümlerin Yapılışı

Yapılan bu tez çalışmasında gerçekleştirilen döküm deneylerinin amacı, küresel grafitli dökme demirlerin hacimsel beslenmesi sırasında katılma esnasında oluşan grafitlerin bu besleme işlemine pozitif etkisinin araştırılması ve bu etkinin bilgisayarda ticari simülasyon programlar ile doğru şekilde modellenmesidir.

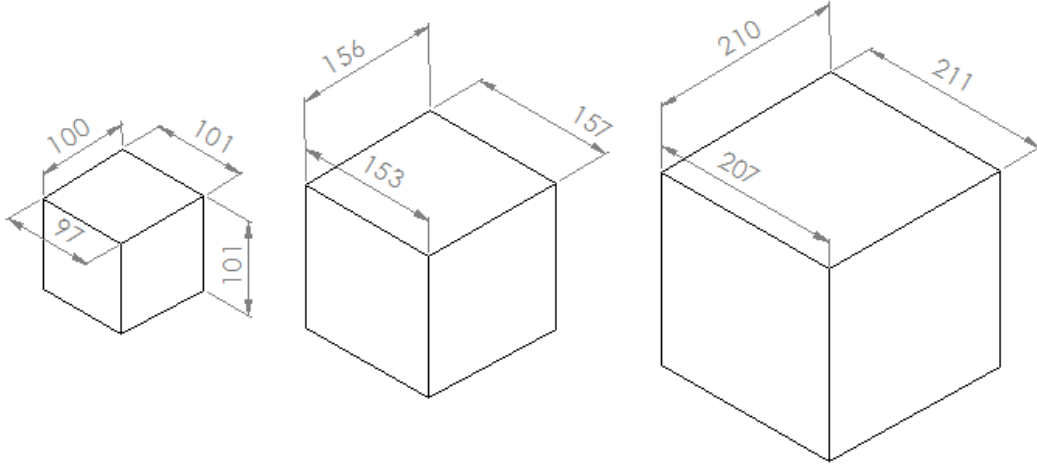
3.2.1. Döküm geometrisinin seçimi

Kullanılan döküm geometrileri seçiminde rol oynayan en önemli etken dökümün herhangi bir bölgesinde (ortasında) normal çelik veya alüminyum gibi negatif çekinti gösteren malzemelerde beslenmesi imkansız bir sıcak nokta oluşturmaktır. Seçilen döküm geometrileri sırasıyla 1cm, 2.54 cm ve 3.5cm modülleri olan küp geometriler olarak planlanmış ve imal edilmiştir. Bu modüllerin seçilme amacı genel literatürde verimli grafit genleşmesinin 2.54cm modülde başladığı kabul edilmesidir.[8]

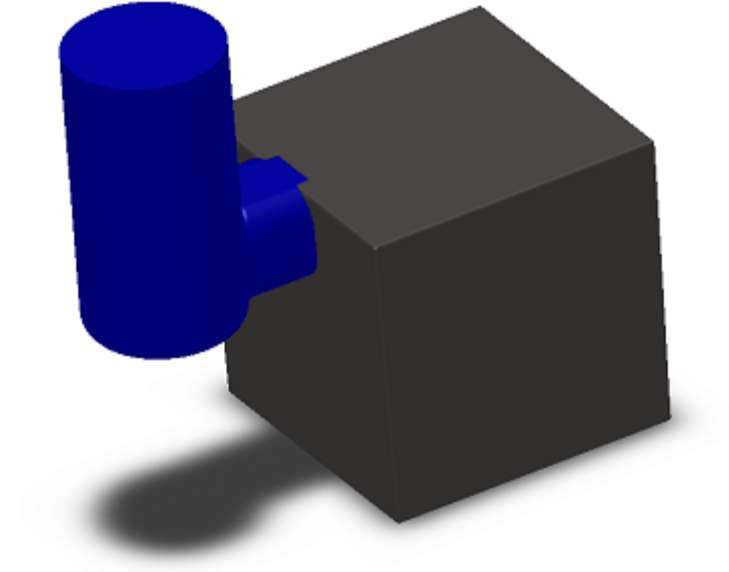
Yapılan döküm deneylerinde bu sıcak noktanın ne derece beslenebildiği tahribatsız muayene yöntemleri ile ölçülebilecektir. Beslenebilirlik ölçütü olarak dökümlerin sıcak noktalarında oluşan makro gözenekliliklerin oranları ve dağılımları esas alınmıştır. Bu nedenle hem seçilecek döküm geometrisi hem de besleyici geometrisi öyle bir geometri olmalıdır ki döküm kesitlerinde en azından çelik veya alüminyum gibi negatif çekinti davranışında bulunan malzemelerde bir miktar yetersiz beslemeye bağlı porozite oluşumu gerçekleşebilmelidir. Buna karşılık oluşan tüm

çekme kusurlarının iç kesitlerde oluşması ölçme ve değerlendirme kolaylığı açısından gereklidir. Yüzey çökmesi ve sonuç dökümün ölçülerinin büyümesi şeklinde oluşan kusurların boyutları kalıp dayanımı parametresine bağlı olarak değiştiği düşünülerek boyutsal ölçümler de yapılmıştır. [8]

Şekil 3.4'te yapılan bu çalışma için belirlenen üç farklı döküm geometrisi gösterilmiştir. Hazırlık aşamasında her üç geometri ile yapılan deneme dökümleri değerlendirilmiş ve Şekil 3.10'da gösterilen geometrinin en uygun geometri olduğuna karar verilmiş ve döküm deneyleri ve modellemeler tamamen bu geometri kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.4. Kullanılan modellerin ölçüleri



Şekil 3.5. Sanal ortamdaki parça tasarımı

Seçilen döküm geometrileri Şekil 3.4 ve 3.5'te görüldüğü gibi üst ve alt kısımları orta kısma göre daha farklı ölçüde olacak şekilde tasarlanmıştır. Bunun sebebi kalıp içerisinde modelin kalıptan rahatlıkla çıkması için model duvarına verilmesi gereken konikliklerdir. Kullanılan bu döküm geometrisi sayesinde isteyerek alt kısımda yetersiz beslemeye bağlı bir miktar hata oluşabilir bir geometri sağlanmış ve bu geometri sayesinde besleme grafit genişlemesine bırakılmıştır.

3.2.2. Kalıplama işleminin yapılışı

Şekil 3.4'te gösterilen döküm işleminin yapılabilmesi için gerekli olan modeller Anadolu Döküm Sanayi A.Ş. tarafından Kardeşler Model' e yaptırılmıştır. Modeller MDF esaslı olup sağlamlaştırılması için her katman birbirine yapıştırıcı ile, her 3 katman ise birbirine vida ile bağlanmıştır.



Şekil 3.6. Model ve besleyici topuğu

Özellikleri Tablo 3.4'te verilen furan reçine bağlayıcılı ve AFS 50 tane iriliğine sahip yıkanmış silis kumu ile Tablo 3.3'te gösterilen özelliklere sahip kum ile kalıplama işlemi yapılmıştır. Şekil 3.7'de gösterilen saatte 22ton kapasiteli kum mikseri ile kumun hazırlanması gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça % 4 oranındaki reçine silis kumu içerisine otomatik olarak eklenip silodan özel bıçaklar sayesinde karıştırılarak reçinenin kum içerisinde homojen bir şekilde dağılması sağlandı.

Tablo 3.3. Kum özellikleri

Muayene ve Deneylemler	İlgili Standartlar	Değerler
Gözle Muayene	TS 5426	Uygun
%SiO ₂	TS2979	%93,37
%Fe ₂ O ₃	TS2979	%0,35
%CaO+MgO	TS2979	%0,05
%Na ₂ O + KO	TS2979	%0,13
%Al ₂ O ₃	TS2979	%0,7
Kızdırma Kaybı %	TS2980	0,32
Sinterleşme Sıcaklığı °C	TS5426	>1500 °C
Kil %	TS5426	0,17
Rutubet %	TS3084	-

Tablo 3.4. Reçine özellikleri

Reçine Tipi	Furtolit 2017
% N içeriği	1,50
% H ₂ O	9,50
% Furfuril alkol	71,60
% Plastisite mad.	9,60
%Fremdalkol	4,80
% F. Formaldehit	0,05
Sertleştirici Tipi	PL30



Şekil 3.7. Karıştırma mikserinde kumun hazırlanması

Homojen olarak hazırlanan silis+reçine karışımı kum mikserden alınarak bekletilmeden modelin üzerine konuldu . Kalıba mikserde sertleştirici kimyasal ilave edilerek kalıbın sertleşmesi sağlandı.



Şekil 3.8. Modelin kalıplanması

3.2.3. Kalıpların kapatılması

Son olarak, her kalıp zirkon esaslı ticari “Foseco Semcozir” refrakter boya fırça yardımı ile boyanarak sıvı metalden gelecek ısıyı reçine ile bağlanmış kuma mümkün olduğunca az iletmesi sağlanıp diğer kalıplar da aynı şekilde üretilerek kalıp boşluğunun düşey döküme uygun şekilde oluşması sağlandı. Kalıplar dayanıklılığı arttırmak için metal derecelere kalıplanıp, metal dereceye sahip kalıplar sıkıca kapatılarak bir lama vasıtası ile birbirine kaynatılmıştır.



Şekil 3.9. Boyanmış kalıbın görünüşü

3.2.4. Alaşımın ergitilmesi ve döküm işlemi

Her döküm işleminde olduğu gibi KGDD'lerin de döküm işleminde ergitimin büyük bir önemi bulunmaktadır. Ticari olarak yurtdışından elde edilen fosfor oranı düşük pik külçelerinin indüksiyon ocağına yüklenmesi ile ergitimi başlatılmıştır. Ergitimin her aşamasında kimyasal analizler spektrometre ile kontrol edilmiş, kimyasal analizler "Hilger Analytical" ve "WAS" marka optik spektrometreler ile yapılmıştır. Deney parçaları uygulanabilirliğin kanıtlanabilmesi için ticari dökümler ile aynı anda dökülmüştür.



Şekil 3.10. Sıvı metalin potaya aktarımı

Alaşımın tamamen ergimesi ve aşılama işleminin gerçekleşmesi için ocak sıcaklığı 1380 °C'ye yükseltildi. Daha sonra alaşımın döküme hazır hale getirilmesi, cüruf ve gazdan arındırılabilmesi için sırasıyla cüruf temizleme ve gaz giderme işlemleri yapıldı. Bölüm 3.1.2 ve 3.1.3'te cüruf temizleme ve gaz giderme işlemleri detaylıca anlatılıp benzer şekilde yapıldığından burada tekrar verilmemiştir.

Döküm işlemi her alaşım için farklı farklı kalıplara yapılmıştır. Tüm numuneler stoperli potalar ile aşılama ve gaz giderme işleminden hemen sonra dökülmüştür.

Döküm esasına çekirdeklenmeyi teşvik etmek için ferrosilis ilavesi yapılmıştır. Şekil 3.18’de dökülmüş bir kalıbın fotoğraf görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.11. Dökülmüş bir kalıbın görünüşü

Dökümler kalıp içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra kalıp açılarak parça çıkartıldı. Döküm parçaları uygun biçimde uygun şerit kullanılarak besleyici ve parçanın tam ortasından kesilerek üzerinde gerekli incelemelerin yapılabilmesi için numuneler alındı.



Şekil 3.12. Temizlenmiş parçalar

3.2.5. Numunelerin hazırlanması

Dökümler oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra önce besleyici bağlantıları kesilerek her iki döküm parça serbest hale getirildi. Elektrikli şerit testere ile her bir döküm parça düşey ekseninde geniş yüzeyi ortadan simetrik olarak ikiye ayrılacak şekilde kesildi. Porozite içermesi tahmin edilen bölgeler, yüzeylerde göz ve büyüteç ile yapılan kaba incelemeler sonucunda belirlendi. Şekil 3.13’de görüldüğü gibi porozite ölçümleri için bu bölgeyi kapsayacak şekilde her bir dökümden iki numune kesilerek çıkartıldı.



Şekil 3.13.a. ve 3.13.b Numunenin döküm parçadan kesilerek çıkarılması

3.2.6. Numunelerin incelenmesi

Döküm yüzeylerinin incelenmesinde hedeflenen amaç o yüzeyin temsil ettiği döküm kesitinde (bu kesit dökümün tam merkezinden geçen bir düzlemdir) eğer var ise yetersiz beslemeye bağlı olarak oluşan porozite oranının ölçülebilmesidir. Bu ölçüm bir tahribatsız muayene yöntemi olan sıvı penetrant ile yapıldığından öncelikle yüzeylerin uygun şekilde temizlenmesi gerekmektedir.

Şekil 3.14'te gösterildiği gibi yapılan bu çalışmadaki her bir inceleme yüzeyi tek tek özel temizleme spreyleri ile uygun şekilde temizlenmiştir. Temizleme esnasında kesinlikle aşındırıcı ve talaş oluşturucu temizleme madde ve donanımı kullanılmamıştır. Temizleme esnasında temizleme sıvısı yüzeyden emdirilerek alınmıştır.

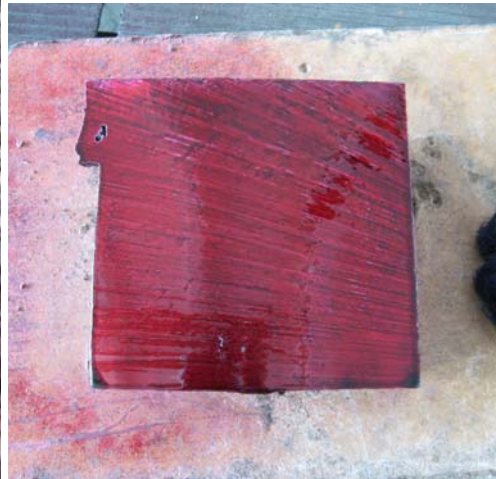


Şekil 3.14. Sıvı penetrant muayenesi öncesi temizlik işlemi

Daha sonra Anadolu Döküm Sanayi A.Ş. den temin edilen ve ticari olarak kullanılan BETA BT68 penetrant boya temizlenmiş yüzeyler üzerine Şekil 3.15.a ve Şekil 3.15.b de gösterildiği şekilde uygulanmıştır. Burada amaç yüzeyde oluşan ve göz ile tespit edilemeyen gözenekleri tespit edebilmektir.



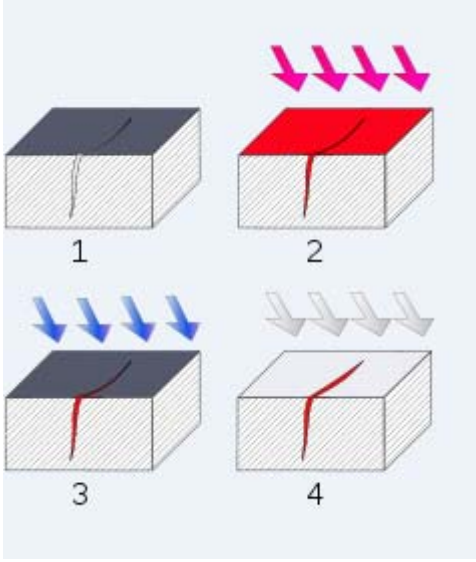
Şekil 3.15.a Penetrant boya uygulaması



Şekil 3.15.b Boya uygulanmış parçanın görüntüsü

Şekil 3.16.a da şematik olarak gösterilen sıvı penetrant boya muayenesinin mekanizması, yüzey gerilimi çok düşük olan ve çabuk fark edilebilen bir renkteki boyanın test edilecek yüzeye uygulanarak varsa gözeneklere dolmasını sağlamaktır.

Gözenekler gözle görülemeyecek şekilde küçük olduğu için uygulanan boyanın yüzeyde bir süre beklemesi ile gözeneklere dolması sağlanır. Yeteri kadar beklendikten sonra boya özel spreyi ile uzaktan sıkılarak ve tüy bırakmayan bir bez ile yüzeyden emdirilerek kaldırılmıştır.



Şekil 3.16. Penetrant boya uygulaması (şematik)



Şekil 3.17. Penetrant boya seti

Penetrant boyanın yüzeyden kaldırılması ile birlikte analiz edilecek yüzeye BETA BT70 developer uygulaması yapılmıştır. Developer uygulaması sprey şeklinde ve parçadan en az 15cm uzaktan uygulanmıştır. Developer sayesinde gözeneklere dolan penetrant boya daha net görünür hale gelmekte ve böylece göz ile yapılan kontrollerde daha küçük gözenekleri de saptayabilmekteyiz.

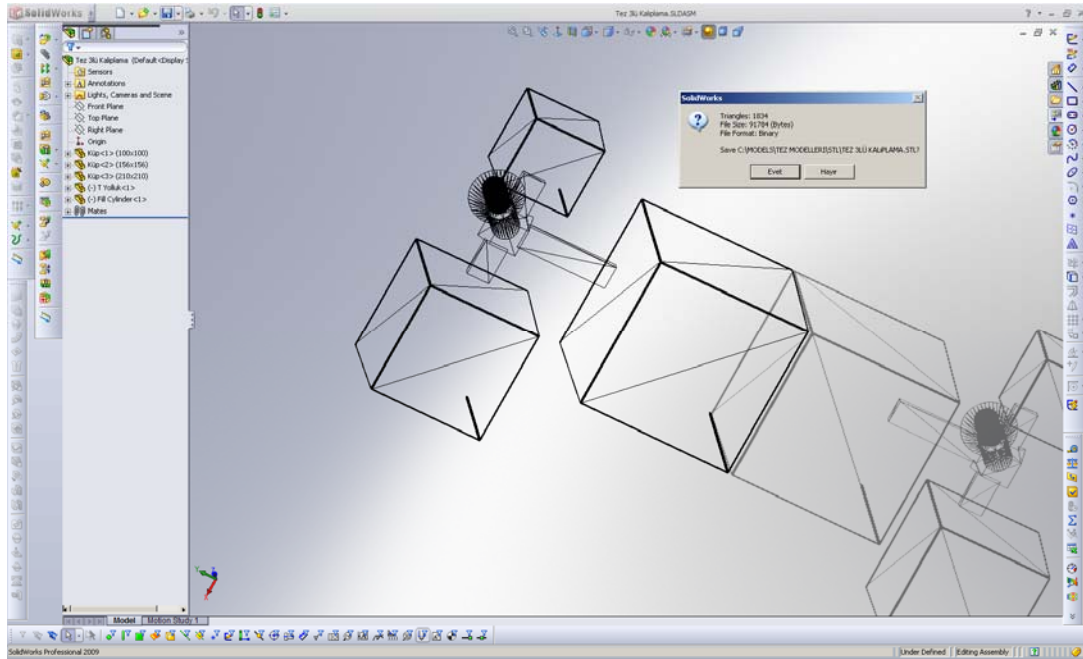
3.3. Simülasyon (Modelleme)

Yapılan bu tez çalışmasında 3 boyutlu bir ticari döküm simülasyon programları olan SolidCast ve NovaCast yazılımları kullanılmıştır. Programlar sonlu fark (Finite Difference) metodu ve hacim kontrolü (ControlVolume) metodu ile ısı transfer ve faz dönüşüm hesaplamalarını üç boyutlu döküm ve kalıp kesitlerinde yaparak bir döküm parçanın katılaşmasını modelleyebilmektedir.

Çalışmada fiziksel olarak gerçek döküm şartlarında yapılan dökümlerin simülasyon ortamında sayısal olarak birebir modellenebilmesini sağlamak simülasyon kullanımının en temel amacıdır. Böylece gerçek dökümlerde ortaya çıkan yetersiz beslemeye bağlı porozite kusurlarının simülasyon programında çekinti ve genişleme değerini değiştirmek suretiyle simülasyon sonuçlarında bu değer gerçek karşılığı bulunabilecektir.

3.3.1. Döküm-kalıp geometrisinin ve malzeme özelliklerinin simülasyon programına girilmesi

Bölüm 3.2.1'deki Şekil 3.6'da görülen döküm geometrisi SolidWorks programında katı model olarak oluşturulduktan sonra STL formatına çevrilerek döküm simülasyon programına aktarıldı. Bu aşamadan sonra döküm alaşımı ve kalıp malzemesinin türü ve termo fiziksel özelliklerinin tanımlanması yapıldı. Döküm alaşımının termo fiziksel değerleri simülasyon programının veri tabanındaki kayıtlı veriler veyahut A.T.A.S. verileri kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.18. SolidWorks programından STL çıktısı alınması

Alaşımın soğuma eğrisi, alaşımın CFS/CLF değeri ve alaşımın yüzde hacimsel çekme oranı simülasyon programına girilmesi gereken sınır şartlarıdır. Bunlardan soğuma eğrisi program veritabanından, Iron Property Calculator programı yardımı ile veya A.T.A.S. yardımıyla ölçülen zaman-sıcaklık verilerinden yararlanılarak çizilmiş ve programa girilmiştir. Şekil 3.19'da GGG80 alaşımı için programa girilen soğuma eğrisi gösterilmiştir..

The image shows two screenshots of the 'Iron Volumetric Changes' software interface. The left screenshot (a) shows the input parameters for the alloy and the calculation of iron properties. The right screenshot (b) shows the results of the riser design calculations.

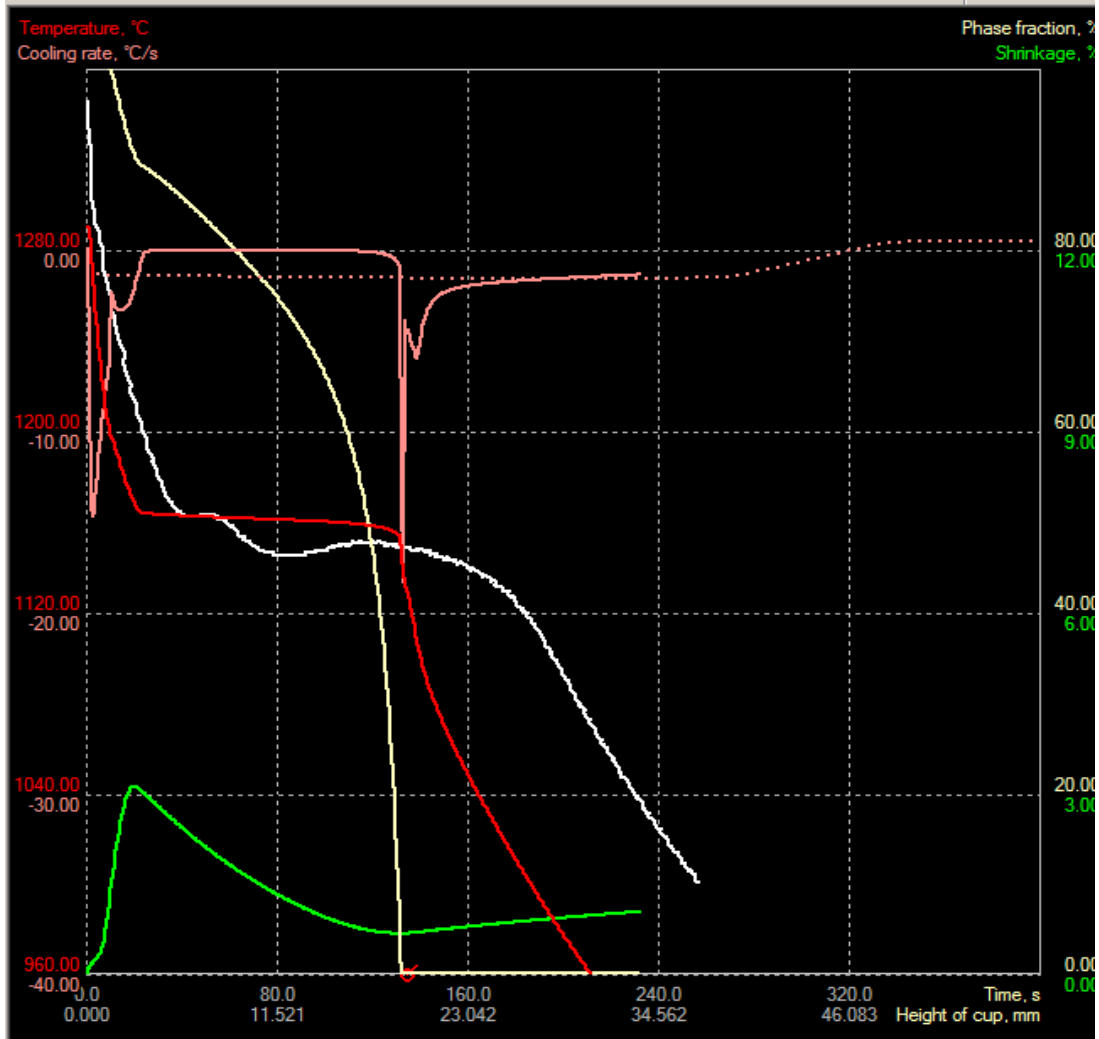
Screenshot a: Iron Volumetric Changes - Input Parameters

- Language: English (selected), Metric
- Carbon: 3.7 %
- Silicon: 2.15 %
- Phosphorus: 0.01 %
- Casting Modulus: 3 cm
- Temperature in Mold: 1340 C
- Type: Ductile Iron (selected), Grey Iron, DG
- Metallurgical Quality: 60 (Low to High scale)
- Mold Rigidity: 70 (Low to High scale)
- Calculate Iron Properties button
- CFS Point: 45 %
- Shrinkage Time in % of Solidification Time: 12.7 %
- Expansion (+) / Contraction (-): -1.36 %
- Shrinkage Curve:
 - At Liquidus: 1.30
 - At ST Point: 2.3
 - At Solidus: 2.07
- Riser Design button
- Exit button

Screenshot b: Riser Design Results

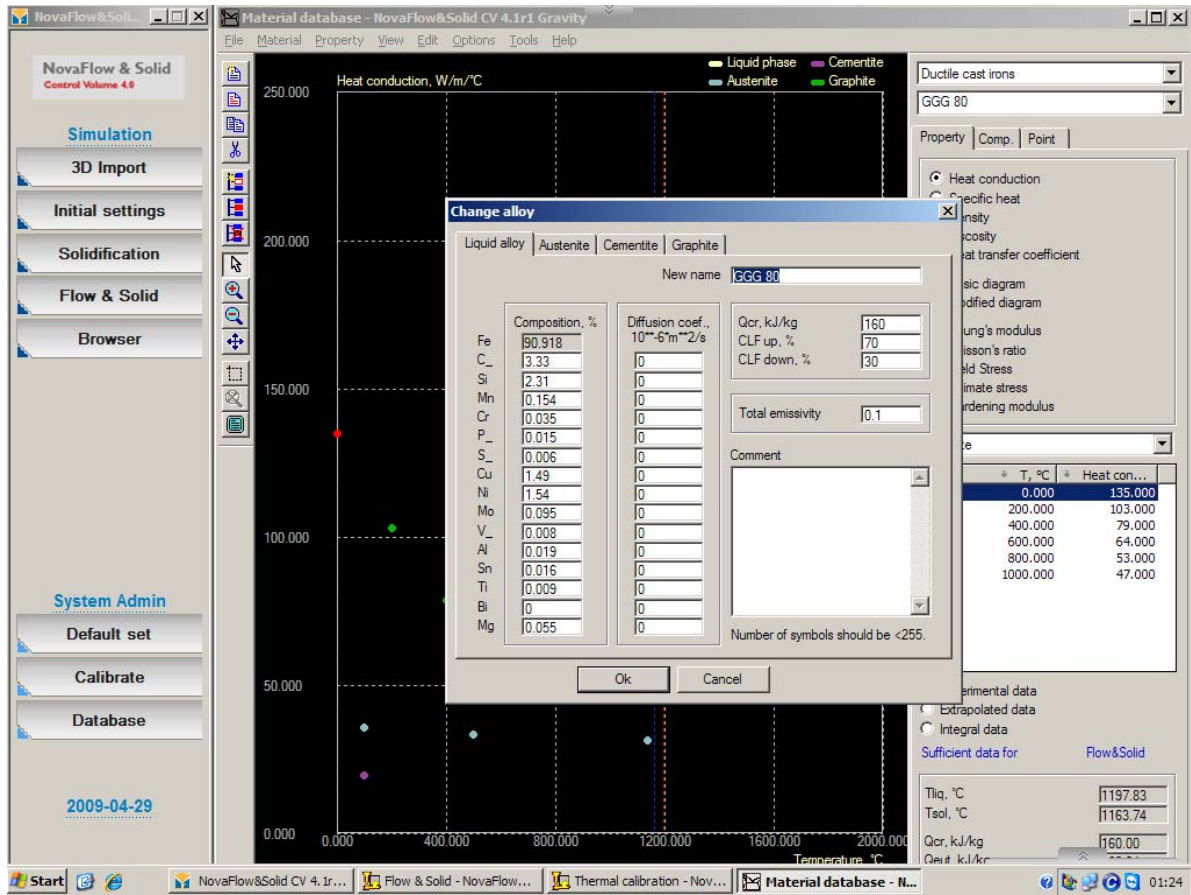
- Enter Casting Weight or Volume: Weight 52 Kg, Volume 3 cm
- Casting Modulus: 3 cm
- Sleeve Type: None (selected), Insulating, Exothermic, Exothermic Mini-Riser, Gated Through Riser
- Proportion of Liquid Metal Removed (%): 15
- Modulus Increase Factor: 1
- Riser Height Diameter Ratio: 1.5
- Riser Type: Side Riser (selected), Top Riser
- Short Neck: (checkbox)
- Percent Solid for Riser Design: 45.46
- Calculate button
- Riser Design Based on Volume Requirement:
 - Riser Diameter: 64.666 mm
 - Riser Height: 97 mm
 - Neck Dimensions:
 - Round Neck: Diameter = 42.772 mm
 - Square Neck: Size = 42.772 mm
 - Rect. Neck (A x B): Enter Dim A: mm, Calc Dim B: mm
 - Riser Modulus: 1.404 cm
 - Neck Modulus: 1.069 cm
 - Ratio of Riser Modulus : Casting Modulus: 0.468
 - Ratio of Neck Modulus : Casting Modulus: 0.356
- Close button

Şekil 3.19. GGG80 alaşımı için SolidCast dökme demir modülü hespalama ekranı



Şekil 3.19.b. GGG80 alaşımı için girilen soğuma eğrisi

Bu aşamadan sonra Novacast yazılımına ait malzeme veritabanına tüm gerçek kimyasal veriler girilerek malzeme tanımlanmıştır. Kimyasal alaşıma göre program likidüs sıcaklığını otomatik olarak hesaplamaktadır. Alaşımın termal değerleri haricindeki viskozite gibi tüm diğer veriler standart malzeme veritabanındaki aynı standart malzemedan alınmıştır.



Şekil 3.20. NovaCast malzeme veritabanı görüntüsü

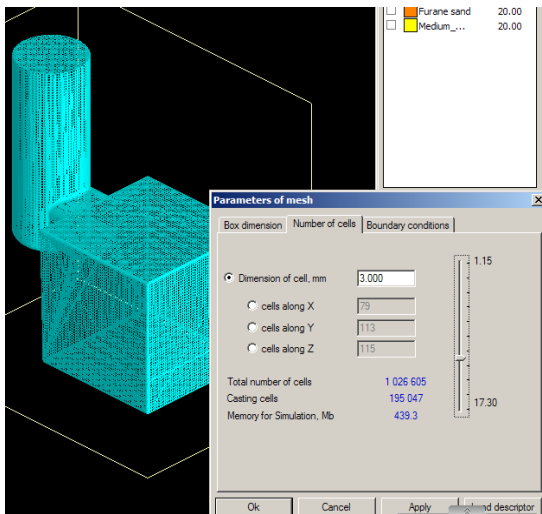
Geri kalan termal veriler A.T.A.S. cihazı ve programından alınan veriler ile Novacast yazılımının termal ölçüleme bölümüyle tamamlanır. Termal ölçüleme işleminde indüksiyon ocağından alınan numunedan alınan termal veriler aktarılmıştır.

Bu aktarım tamamlandıktan sonra termal ölçüleme çalıştırılır ve malzemenin katılaştırırken gösterdiği tepki grafik eğrileri ile elde edilmiştir. SolidCast programı için de Dökme Demir Modülünden alınan hesaplanmış veriler programın malzeme veritabanına girilerek eğrileri düzenlenmiştir.

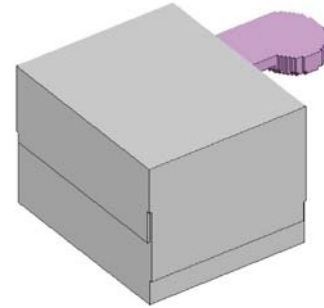


Şekil 3.21. Termal ölçümleme ekranı görüntüsü

Geometrinin aktarımının tamamlanmasından sonra parça meş edilir. Parça bu işlemden hacim kontrol yöntemine göre tanelere ayrılmıştır. Parçanın kalıplandığı derece boyutları girilerek parça kalıpla birlikte tanelere ayrılır.

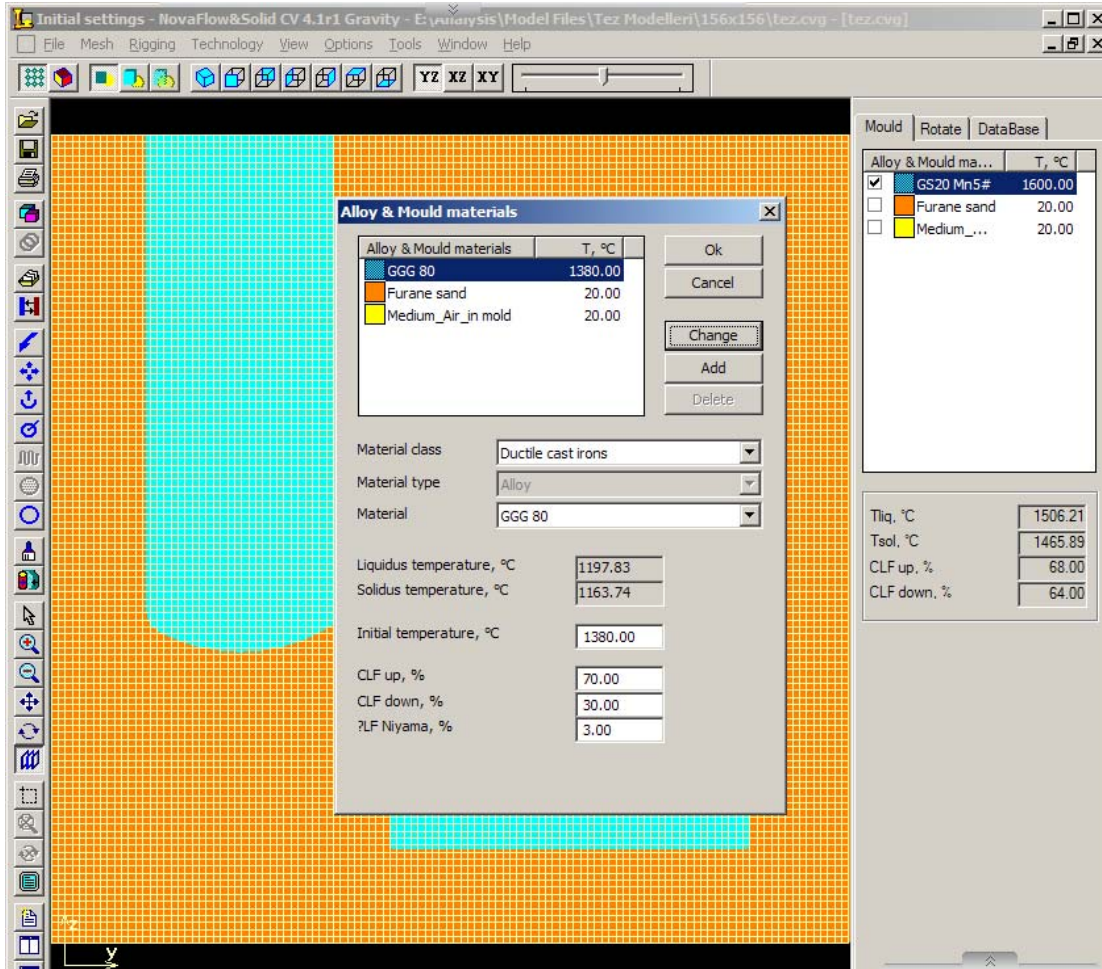


Şekil 3.22.a. NovaCast meş görüntüsü



Şekil 3.22.b. SolidCast meş görüntüsü

Bu işlemle birlikte parça sadece kendisi 195.047 tane olmak üzere toplamda kalıp ve hava ile birlikte Novacast programı tarafından parça 1.026.605 taneye ayrılmıştır. Yazılım bu esnada sadece bu parçanın analizi için 439MB sistem belleğinin boş olması gerektiğini de göstermektedir. Diğer program ise geometriyi $z = 0$ noktasından itibaren tarayarak hem tanelere ayırmakta hem de tanelere gerekli değerleri ve özellikleri atamaktadır. Bu işlem sonucunda Solidcast programı tarafından parça 1.405.000 parçaya ayrılmıştır.

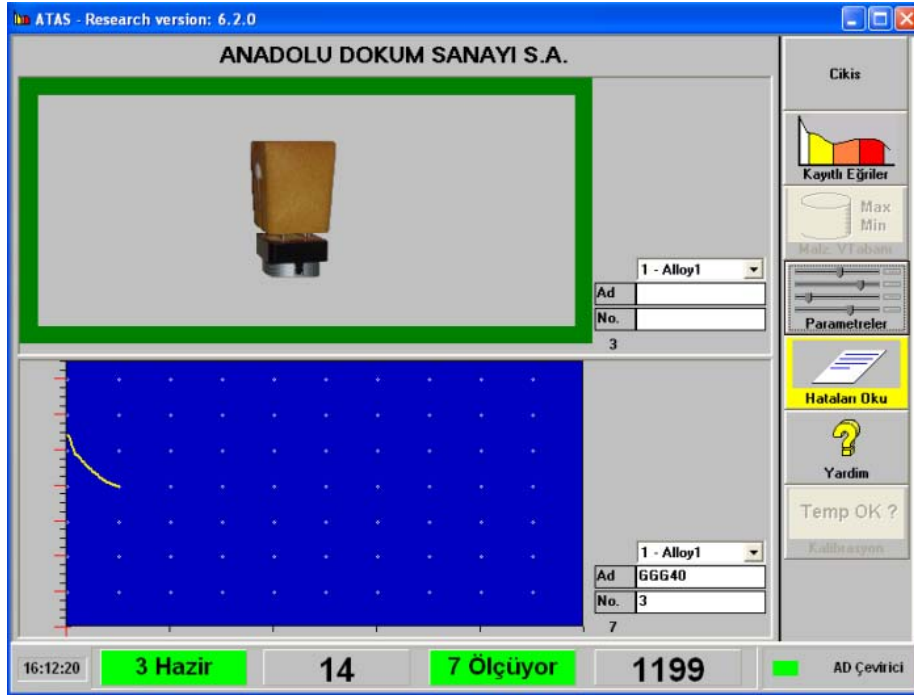


Şekil 3.23. NovaCast meş görüntüsü

Parçalar girilen kimyasal ve termal değerler ile iki farklı şekilde analiz edilmiştir. İlki kullanılan kalıbın tamamen yumuşak kabul edilen bağlayıcı olarak bentonit kullanılan ve “yaş kum” olarak tabir edilen kumdan imal edildiği varsayılmış ve böylece genişlemenin kalıp duvarınca karşılanmayarak parçanın geometrik olarak şekil değiştirmesine izin vermesi ile ortaya çıkabilecek sonuçlar elde edilmiştir.

3.3.2.1.Termal Analiz

Adaptive Thermal Analysis System in kısaltılması olan ATAS, bir adet analog/dijital çeviricinin bir termal çift bağlı ölçüsü önceden belirlenmiş küçük kapların içine dökülen



Şekil 3.26. ATAS cihazından alınan çalışma ekranı görüntüsü



Şekil 3.27.a. Atas cihazına termokapılın yerleştirilmesi



Şekil 3.27.b. Numunenin dökümü

ergimiş metale ait termal değerlerini ölçüp kaydedilmesi ve bunların simülasyon programına aktarılmasını sağlamaktadır. ATAS sayesinde gerçek termal veriler bilgisayara aktarılarak daha gerçekçi yaklaşımlar sağlanabilir.

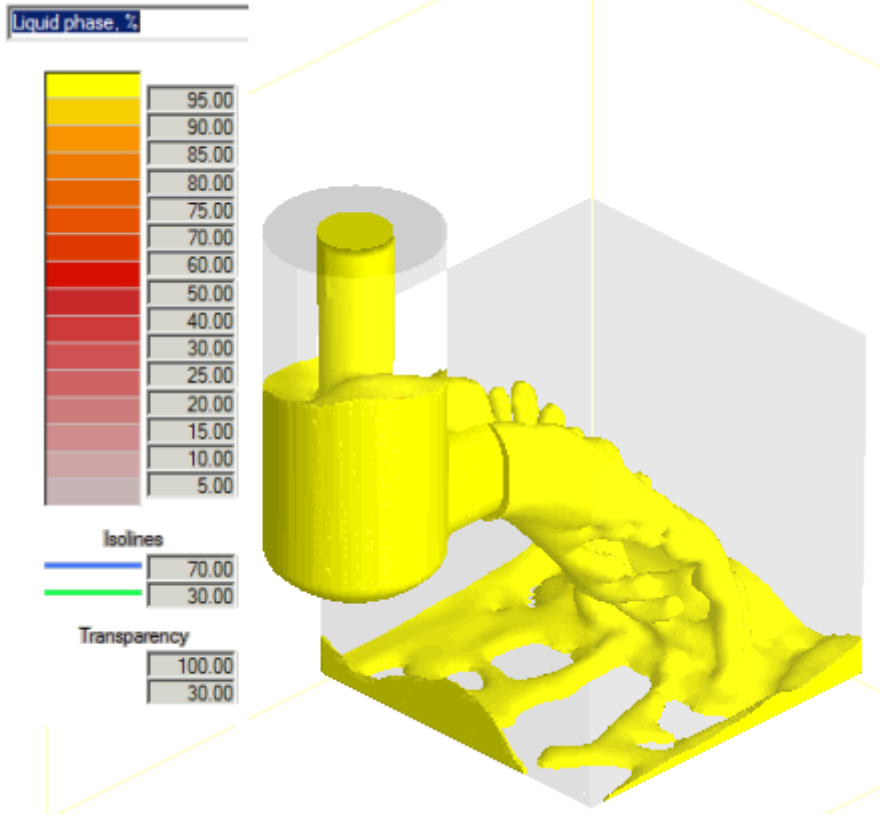


Şekil 3.28. ATAS Cihazı

ATAS sayesinde Novacast yazılımına kaydedilen soğuma eğrilerini aktararak program veritabanındaki termal değerleri, çekinti değerleri ve faz eğrileri gerçeğe yakın şekilde ayarlanabilmektedir.

3.3.2. Simülasyon programında kalıbın doldurulması ve dökümün katılaşması

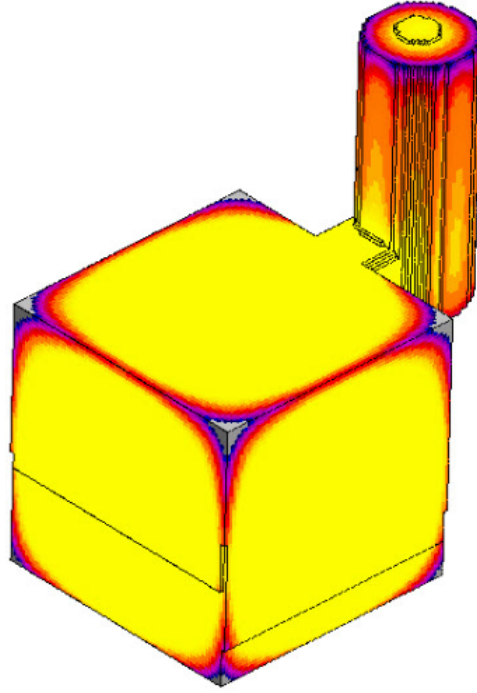
SolidCast ve NovaCast simülasyon programlarında kalıp doldurma işlemi için ayrı bir yazılım olan FlowCast ve Flow&Solid modülü kullanılmaktadır. Bu programlar akışkanlar dinamiği kıstaslarına göre sıvı metali kalıp boşluğuna doldururken türbülans, eksik doldurma, soğuk birleşme ve basınç, cüruflar vb. gibi faktörleri de hesaplamaktadır. Şekil 3.26'da simülasyon programında kalıbın doldurulmasını gösteren bir görüntü verilmiştir.



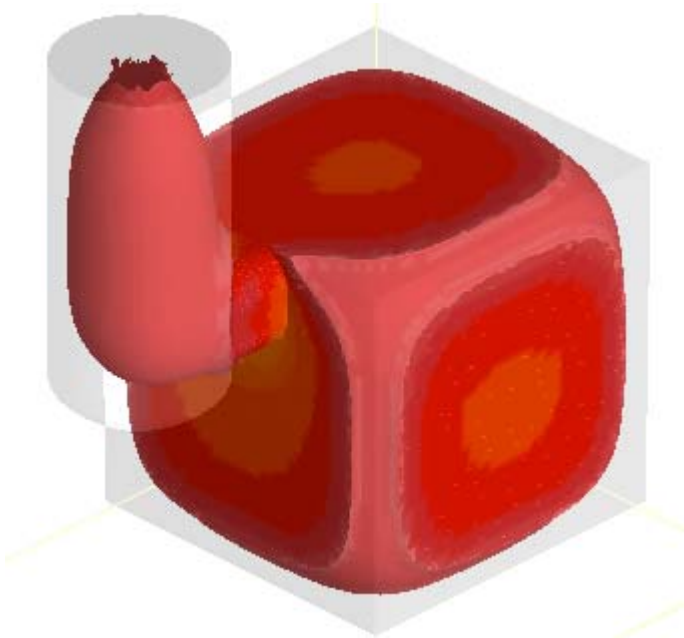
Şekil 3.24. NovaCast programında kalıbın doldurulması

Programlar dökümü soğutmaya kalıp tamamen doldurulduktan sonra geçer ve tüm döküm kesitleri katılaşmaya kadar soğutma işlemine devam eder. Program katılaşma tamamlandığı anda otomatik olarak sonlanır ve döküm parça üzerinde simülasyon sonrası analizlere geçilir. Dökümün soğumasına ait bir görüntü Şekil 3.25’de verilmiştir.

Time: 2.070 Min. Max Cast Temp: 1337.144C Min Cast Temp: 1091.109C
Time Step: 1050 Max Mold Temp: 1224.373C Min Mold Temp: 26.667C
Percent Solid: 0.05 %
Calculating volumetric feeding



Şekil 3.25.a. SolidCast'ten alınan soğuma görüntüsü



Şekil 3.25.b. NovaCast'ten alınan soğuma görüntüsü

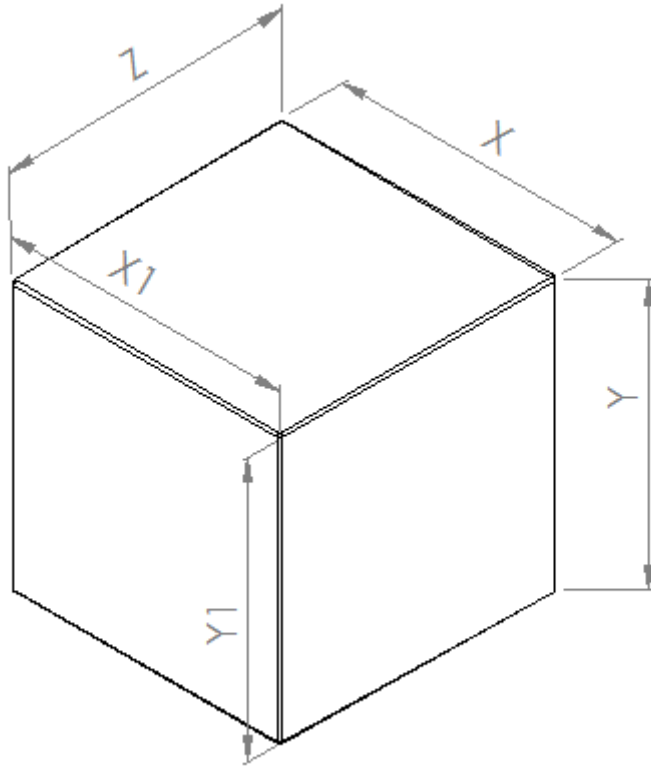
BÖLÜM 4. SONUÇLAR

Yapılan bilgisayar modellemelerinden ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar üç alt başlık altında toplanmıştır. Öncelikle döküm parçaların kesitlerinin sıvı penetrant yöntemi ile incelenmesinden elde edilen sonuçlar ve değerlendirmesi ile boyutsal ölçüm sonuçları verilmiştir. Sonra döküm simülasyon sonuçlarının sırasıyla dayanımı düşük kalıpta ve dayanımı yüksek kalıpta dökülmesi ile elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeleri sunulmuştur. Son olarak termal analiz cihazı ve SolidCast dökme demir modülü programı ile yapılan modelleme sonuçları ve bu sonuçların gerçek dökümlerle karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlar ve bunların değerlendirmeleri verilmiştir.

4.1. Gerçek Dökümlerden Alınan Sonuçlar

4.1.1. Gerçek dökümlerden alınan boyutsal ölçüm sonuçları

Küp şeklindeki deney parçalarının döküm yapıldıktan sonra ayrı ayrı boyutsal ölçümleri yapılmıştır. Boyutsal ölçümler sayesinde kalıp duvarının grafitli katılaşma esnasında oluşan genleşme basıncına gösterdiği dayanım araştırılmıştır. Tablo 4.1’de her numune için yapılan ayrı ayrı ölçümlere ait değerler verilmiş ve bu ölçümlerin yapıldığı bölgeler Şekil 4.1’de küp geometrisi üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Ölçüm yapılan bölgelerin resim üzerinde gösterimi

Tablo 4.1 Yapılan boyutsal ölçümlerin değerleri

Test Döküm Numunelerinin Boyutsal Ölçümleri						
Küp Boyutu:	Malzeme:	X	Y	X1	Y1	Z
100x100	GGG40	100	100	95	95	98
100x100	GGG60	97	98	95	94	97
100x100	GGG80	98	97	96	95	100
156x156	GGG40	153	154	151	152	152
156x156	GGG60	153	153	152	152	154
156x156	GGG80	153	152	153	153	153
210x210	GGG40	208	208	207	207	210
210x210	GGG60	209	208	205	205	210
210x210	GGG80	210	209	208	207	209

Yapılan ölçümler sonucunda küresel grafitli dökme demirlerde genellikle gözlenen %1 boyutsal küçülme dışında dökülen numunelerde kayda değer boyutsal değişiklikler gözlenmemiştir. Küresel grafitli dökme demir'e ait %1 boyutsal küçülme sonrası oluşması olası ölçüler hesaplanıp Tablo 4.2 'de verilmiştir. Bu

sonuç kullanılan döküm kumunun ve bağlayıcı reçinenin grafit oluşumuna dayalı döküm genişmesine yeterince karşı koyabildiğini göstermektedir.

Tablo 4.2 %1 boyutsal küçülme ile hesaplanan boyutsal ölçümlerin değerleri

Normal Boyutsal Küçülme İle Oluşan Ölçüler					
Küp Boyutu:	X	Y	X1	Y1	Z1
100x100x100	100,0	100,0	96,0	96,0	99,0
156x156x156	155,4	155,4	151,5	151,5	154,5
210x210x210	208,9	208,9	205,0	205,0	207,9

Yapılan ölçümler sonrası bu değerler tekrar karşılaştırılıp dökülmüş numuneler üzerinde yapılan ölçümler ile aralarındaki farklar hesaplanmıştır. Tablo 4.3'te yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.3 %1 boyutsal küçülme ile hesaplanan boyutsal ölçümleri ile yapılan ölçümlerin farkları

Test Döküm Numunelerin Boyutsal Değişimleri (mm)						
Küp Boyutu:	Malzeme:	X Fark	Y Fark	X1 Fark	Y1 Fark	Z Fark
100x100	GGG40	0	0	-1	-1	-1
100x100	GGG60	-3	-2	-1	-2	-2
100x100	GGG80	-2	-3	0	-1	1
156x156	GGG40	-2,4	-1,4	-0,5	0,5	-2,5
156x156	GGG60	-2,4	-2,4	0,5	0,5	-0,5
156x156	GGG80	-2,4	-3,4	1,5	0,5	-1,5
210x210	GGG40	-0,9	-0,9	2	2	2,1
210x210	GGG60	0,1	-0,9	0	0	2,1
210x210	GGG80	1,2	0,2	3	2	1,1

Tablo 4.3'te görüldüğü üzere 100x100x100mm boyutundaki küplerde boyutsal küçülme oluştuğu açıktır. Malzeme fark etmeksizin bu boyuttaki küplerde %1 oranı civarında küçülme oluştuğu görülmektedir. Bu küçülme oranı kalıp içerisinde oluşan genişleme miktarının kalıp duvarını hareket ettirecek veya bozacak kadar güçlü olmadığı anlamına gelmektedir.

156x156x156mm boyutundaki deney parçalarında da boyutsal küçülme net olarak görülmektedir. Taban ölçülerinde (X1,Y1) çekinti çok az da olsa normal döküm ölçü standartlarına (TSE,DIN 1683) uygun miktarlardadır. Bu boyutlardaki deney numunelerinde de kalıp duvarını hareket ettirecek ve boyutsal olarak bozulmalara sebep olacak bir genişleme görülmemiştir.

210x210x210mm boyutlarındaki döküm bloklarda ise açık olarak bir genişleme görülmektedir. Yapılan ölçümler ölçülerden bazılarında model ölçülerinden herhangi bir değişimin olmadığını göstermektedir. Bu boyuttaki küpler kalıp duvarını esnetmeyi başarmış ve boylarını bir miktar genişletebilmişlerdir. Boyutsal ölçüm sonuçlarından açıkça görülmektedir ki en büyük boyutlara ve geometrik modüle sahip olan 210x210x210 deney blokları katılma sırasında genişleme göstermiştir. Dökülen numunelerde kullanılan 3 farklı alaşımda da aynı davranış görülmektedir. Parçaların geometrik modülü diğer deney numunelerinin en büyüğüdür.

4.1.2. Gözeneklilik ölçüm sonuçları

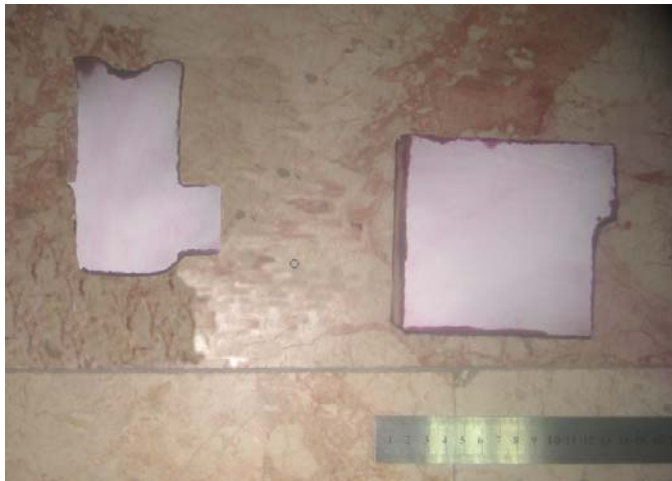
Döküm bloklar kumdan temizlendikten sonra boşluk ve gözeneklilik muayenelerine tabi tutuldu. Tamamen DIN 1690 Part1 kurallarına uygun olarak yapılan uygulamalarda numuneler tek tek besleyicileri ile birlikte görüntülenmiştir.



Şekil 4.2. GGG40 100x100x100 numunenin görüntüsü



Şekil 4.3. GGG60 100x100x100 numunenin görüntüsü



Şekil 4.4. GGG80 100x100x100 numunenin görüntüsü

GGG40, GGG60 ve GGG80 sınıfı küresel grafitli dökme demir olarak üç ayrı sınıfta dökülen dökümlerde besleyicide bir miktar yüzey çökmesi görülmektedir. Ancak parçanın ısıl merkezi ve besleyicinin alt bölgeleri dâhilinde herhangi bir gözeneklilik gözlenmemektedir. Bu sonuç kenar boyutu 100mm olan ve en küçük modüle sahip küp dökümlerin bir miktar çekme etkisi altında katılaştığını ancak besleyicilerin bu çekintiyi telafi edebilecek boyutta olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.5. GGG40 156x156x156 numunenin görüntüsü

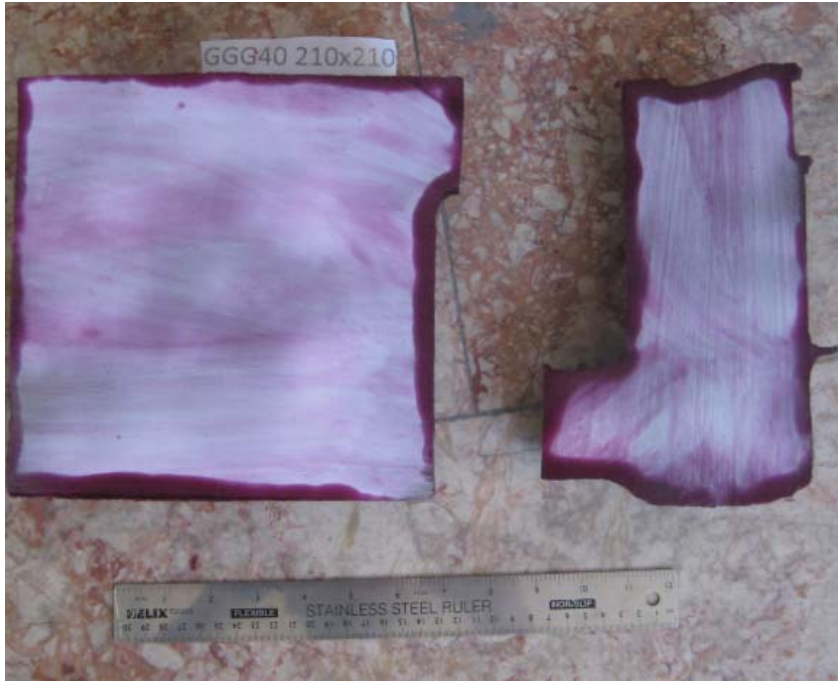


Şekil 4.6. GGG60 156x156x156 numunenin görüntüsü

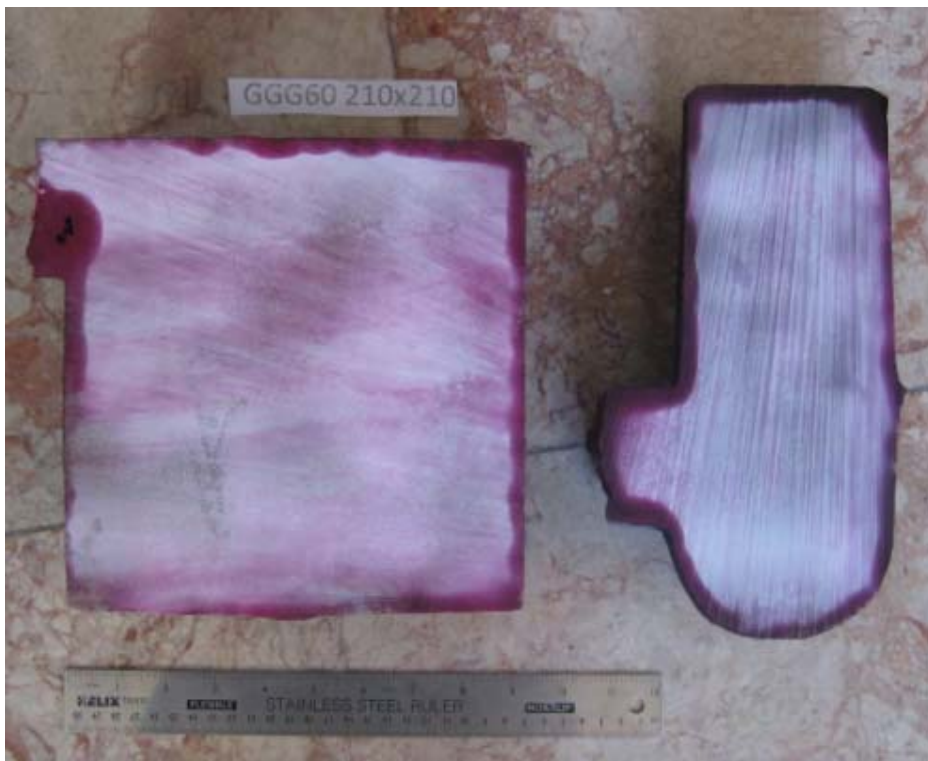


Şekil 4.7. GGG80 156x156x156 numunenin görüntüsü

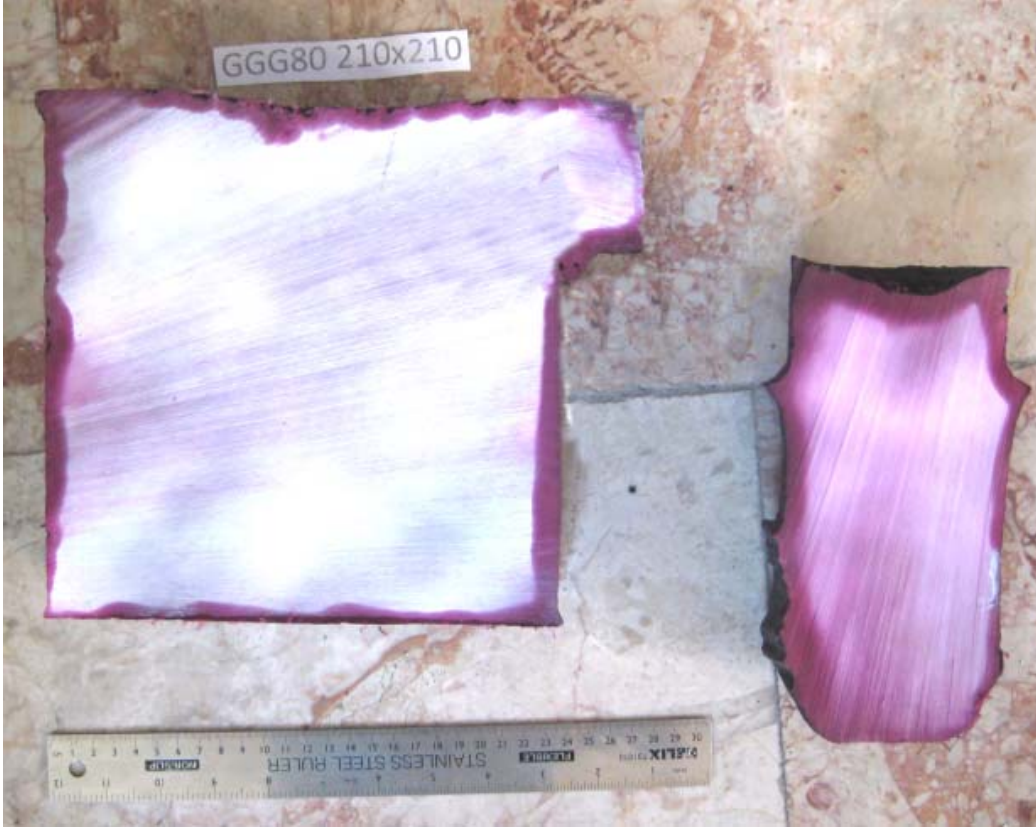
Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7 de gösterilen 156x156x156mm boyutlarındaki parçalarda herhangi bir porozite belirtisi görünmezken, besleyicilerin üst yüzeylerinde çökme ve merkezlerinde çekinti ve gözenekler gözlemlenebilmektedir. Sadece GGG40 sınıfından dökülen deney numunesinin besleyici bağlantısının bulunduğu bölgede bir miktar çekinti gözlemlenmiştir. Bu çekintinin muhtemel nedeni besleyici boğaz boyutunun gereğinden büyük yapılmasıdır. Besleyici boğazının gereğinden büyük modüle sahip olması küresel grafitli dökme demir dökümlerinde bu tür çekinti boşluklarına neden olmaktadır. Bölüm 2 (literatür) de bunun nedenleri detaylıca açıklanmıştır.



Şekil 4.8. GGG40 210x210x210 numunenin görüntüsü



Şekil 4.9. GGG60 210x210x210 numunenin görüntüsü

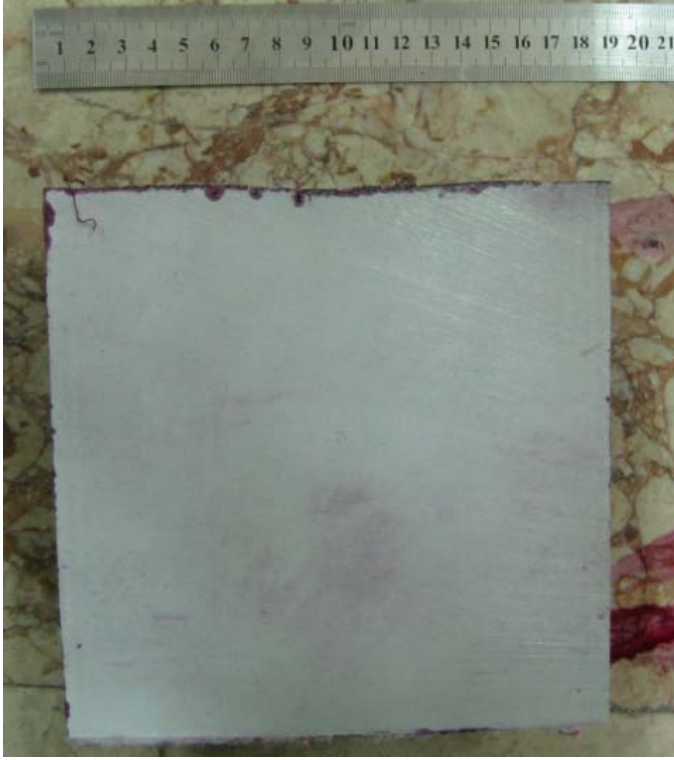


Şekil 4.10. GGG80 210x210x210 numunenin görüntüsü

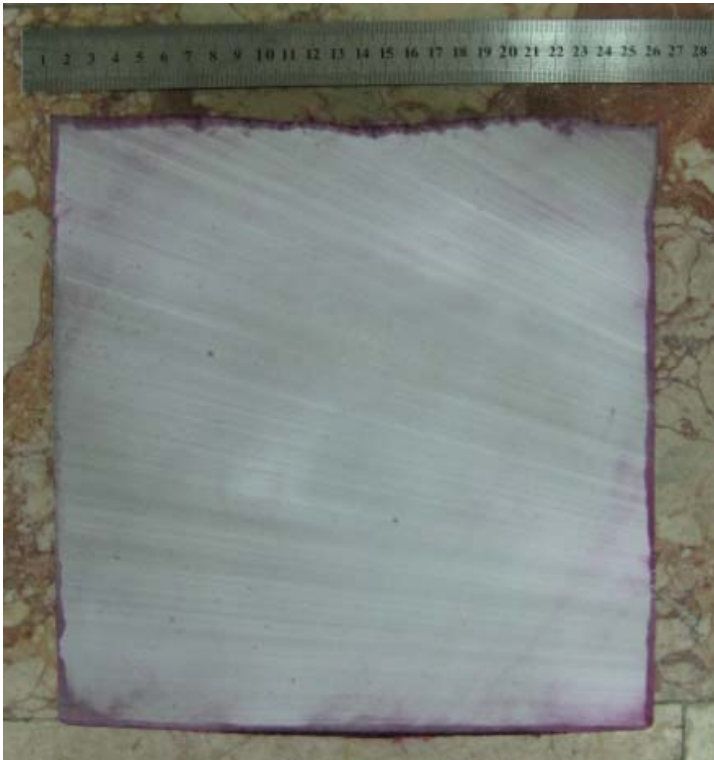
Farklı şekil ve boyutlardaki besleyici topuk geometrisi ve de geometri figürleri endüstriyel şartlardaki tekrarlanabilirliğin zayıf olduğunu göstermektedir. Her iki çalışanın yaptığı kalıplama arasında karakteristik değişiklikler gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.11. Besleyicisiz dökülen GGG60 100x100x100 numunenin görüntüsü



Şekil 4.12. Besleyicisiz dökülen GGG60 156x156x156 numunenin görüntüsü

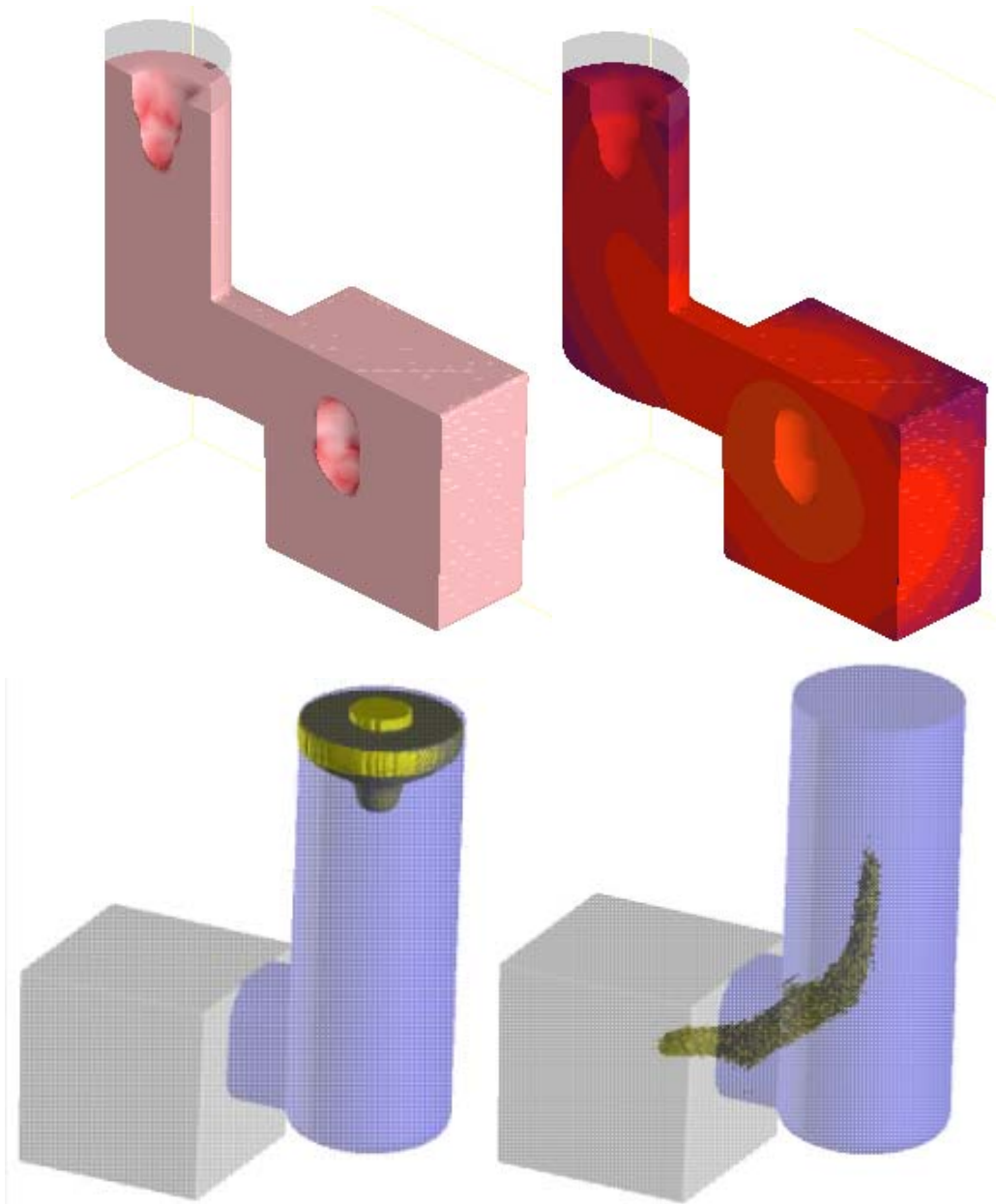


Şekil 4.13. Besleyicisiz dökülen GGG60 210x210x210 numunenin görüntüsü

4.2. Döküm Simülasyon Programında Yapılan Modellemelerden Elde Edilen Sonuçlar ve Değerlendirmesi

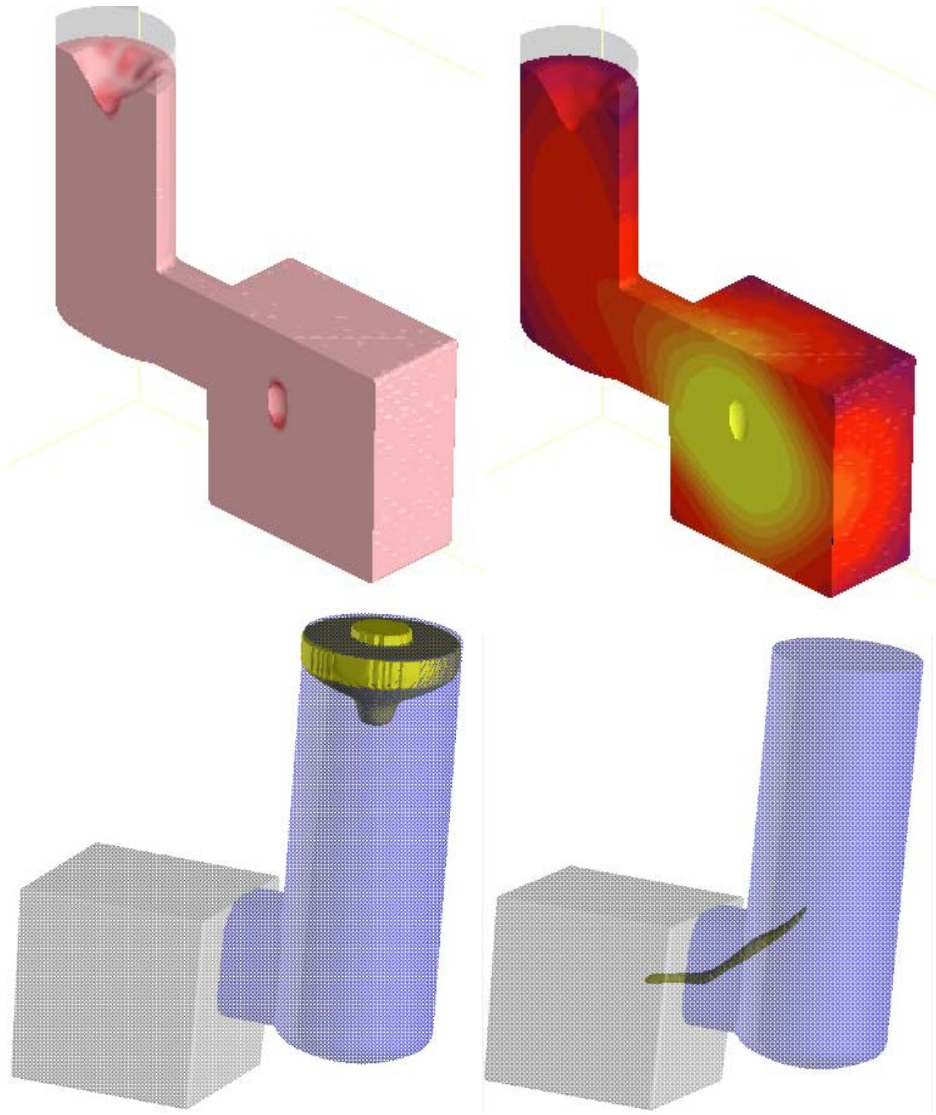
Bu çalışmada kullanılan döküm simülasyon programlarına alaşımının soğuma ve katılaşma sırasında oluşan sıcaklığa bağlı hacim değişimi ile ilgili sınır şartları gerçek dökümden alınan veriler doğrultusunda girilmiştir. Tezin daha sonraki aşamalarında bu değerler tablo ve grafikler halinde verilecektir.

Modellemelerde grafit genişmesinin hem kullanılabildiği sağlam, reçineli ve dayanıklı, hem de kullanılmadığı bentonit esaslı yaş kum gibi kalıp malzemelerinde döküm yapılmıştır.

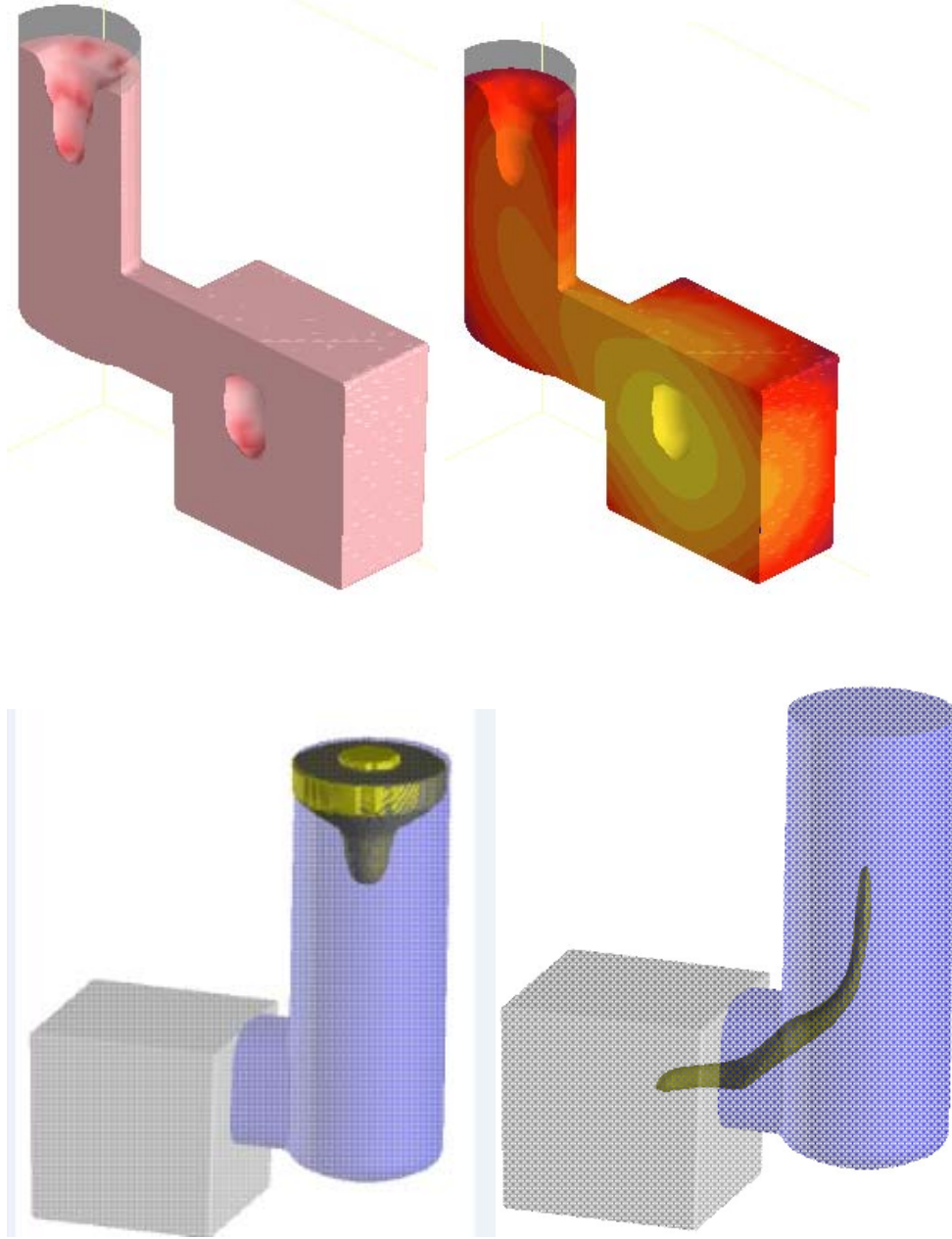


Şekil 4.14. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 100x100x100mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

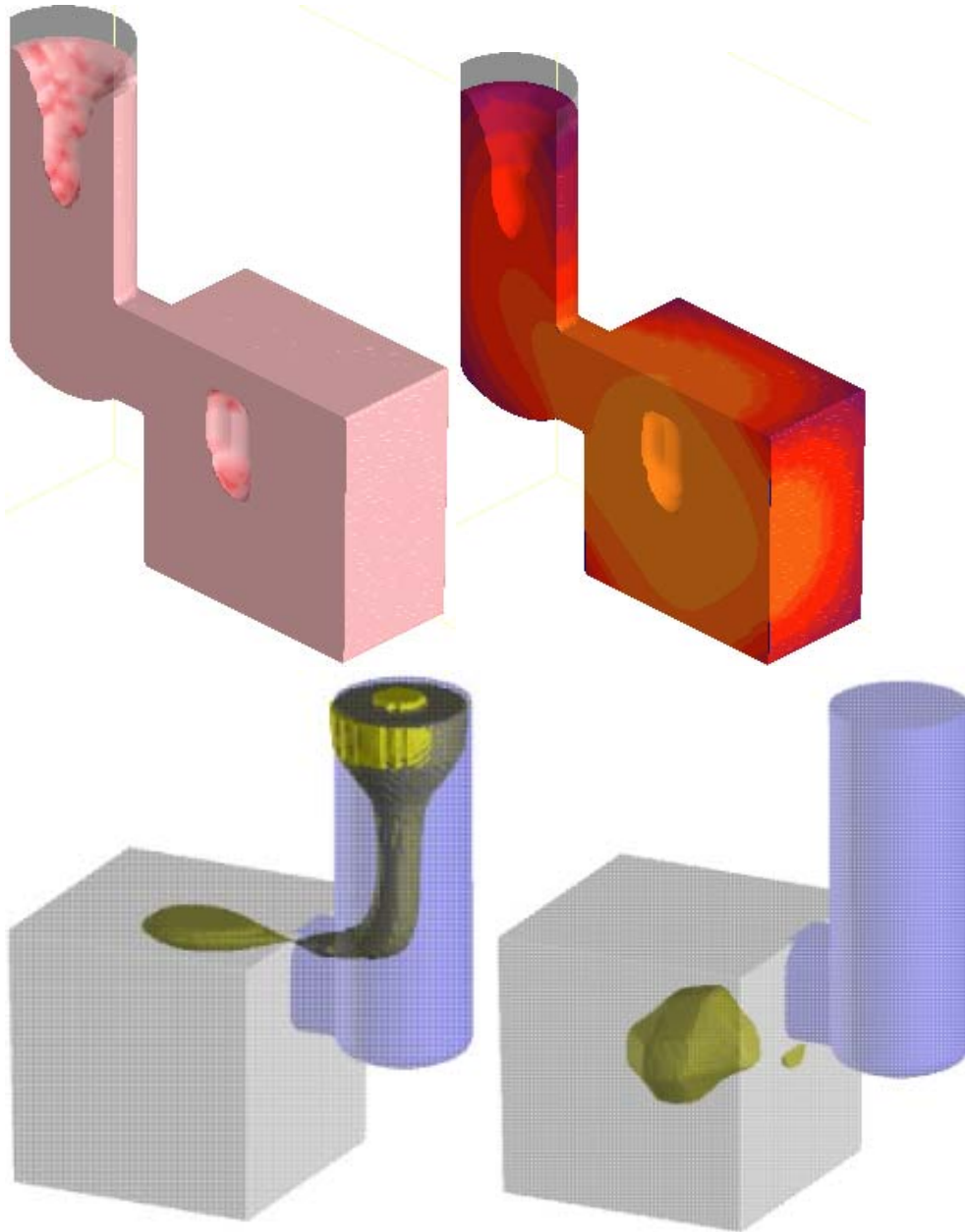
Yaş kum için yapılan bilgisayar simülasyonu sonuçlarında Novacast Programı çekinti oluşumu göstermiş, SolidCast programı ise mikro gözeneklilik sonucu göstermiştir.



Şekil 4.15. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 100x100x100mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

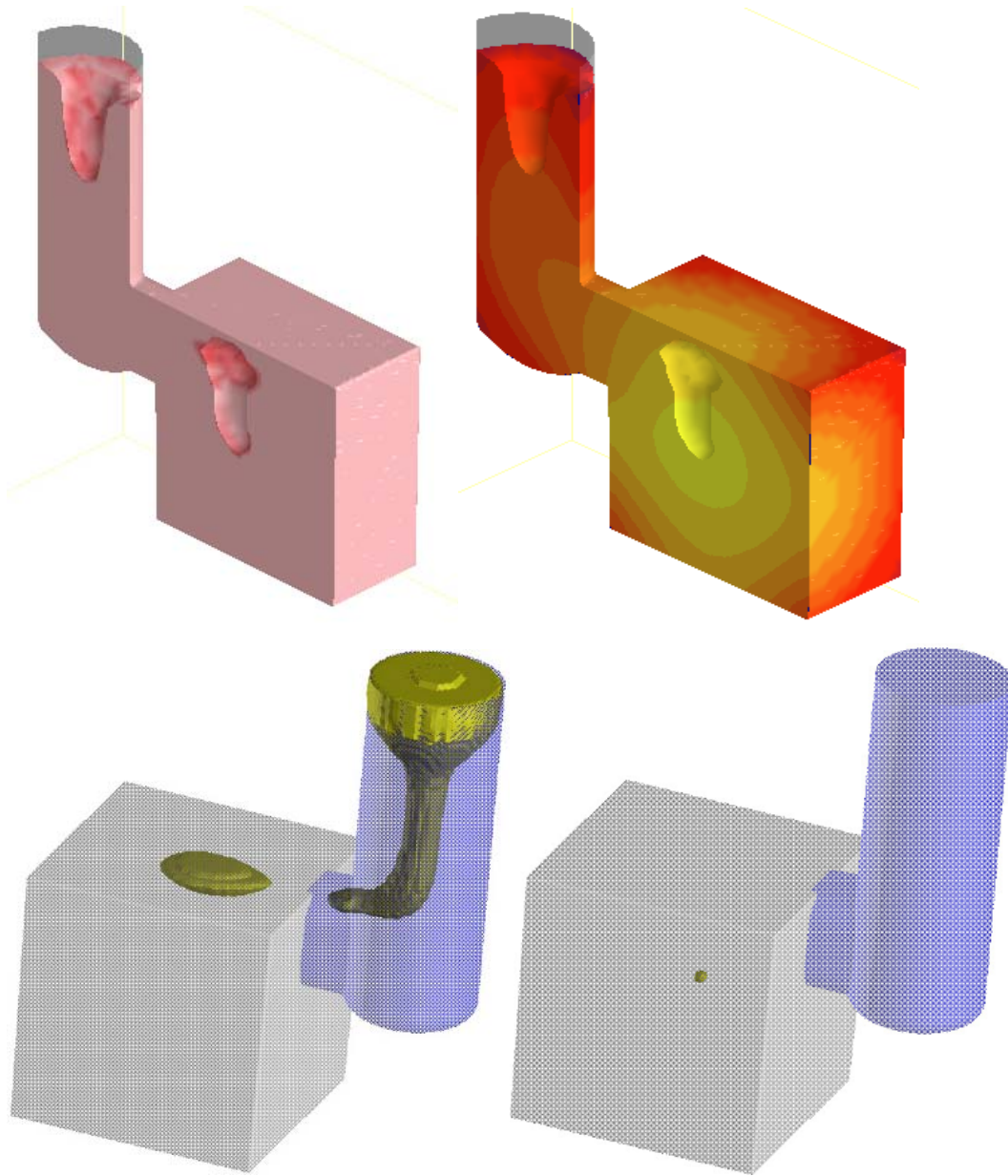


Şekil 4.16. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 100x100x100mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)



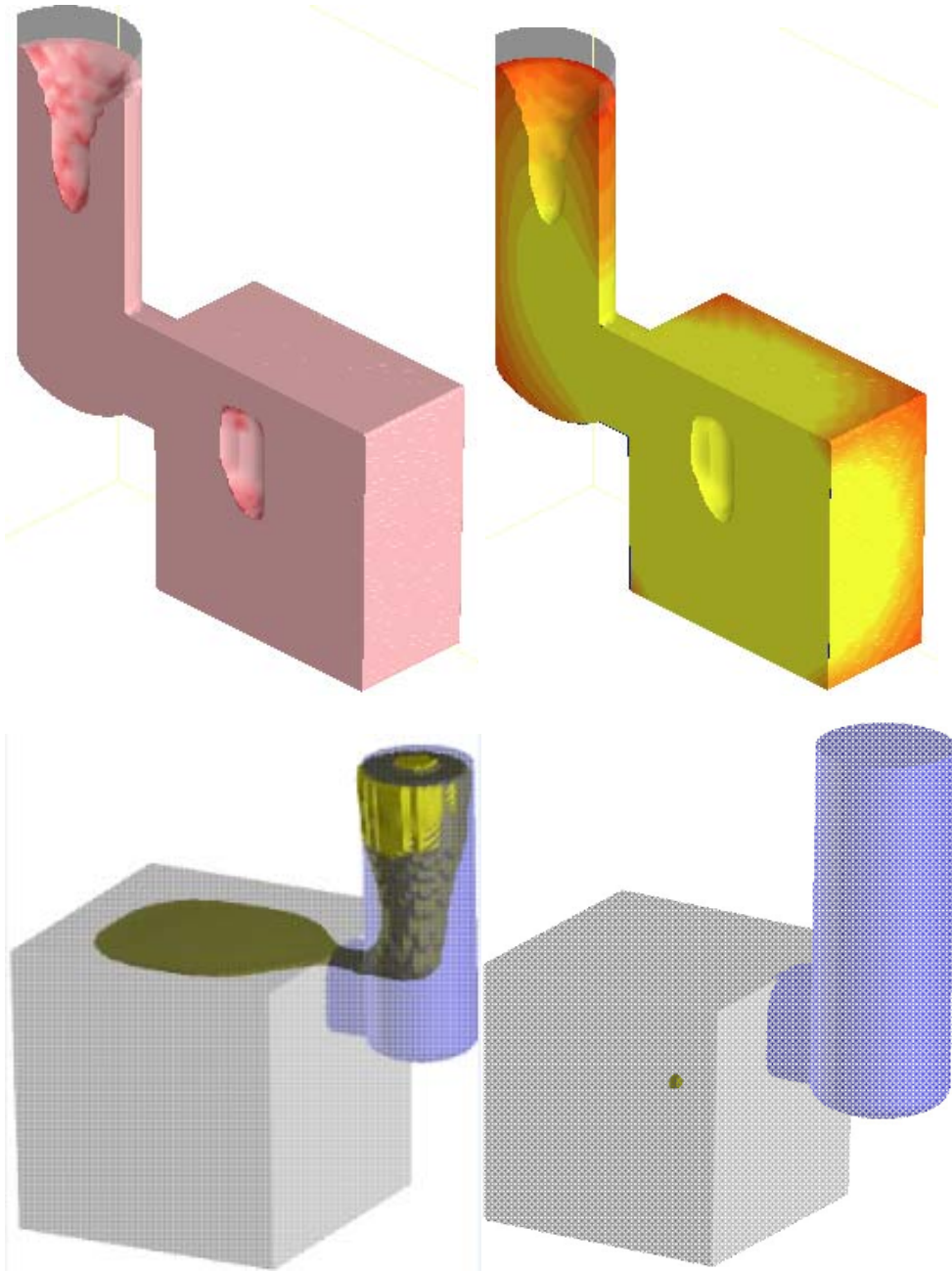
Şekil 4.17. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 156x156x156mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

156x156x156 ölçülerinde yapılan küp dökümlerine ait bilgisayar simülasyonu sonuçlarında çekinti gözlemlenmektedir. NovaCast programı modülün en yüksek olduğu noktada çekinti oluşumunu gösterirken[17], SolidCast programı besleyicide tamamen çekinti oluşturarak yüzey çökmesi olarak tabir edilen hatanın oluştuğunu göstermektedir. Bu iki program arasındaki bu fark malzeme veritabanındaki ısı ve ısı transferi değerlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



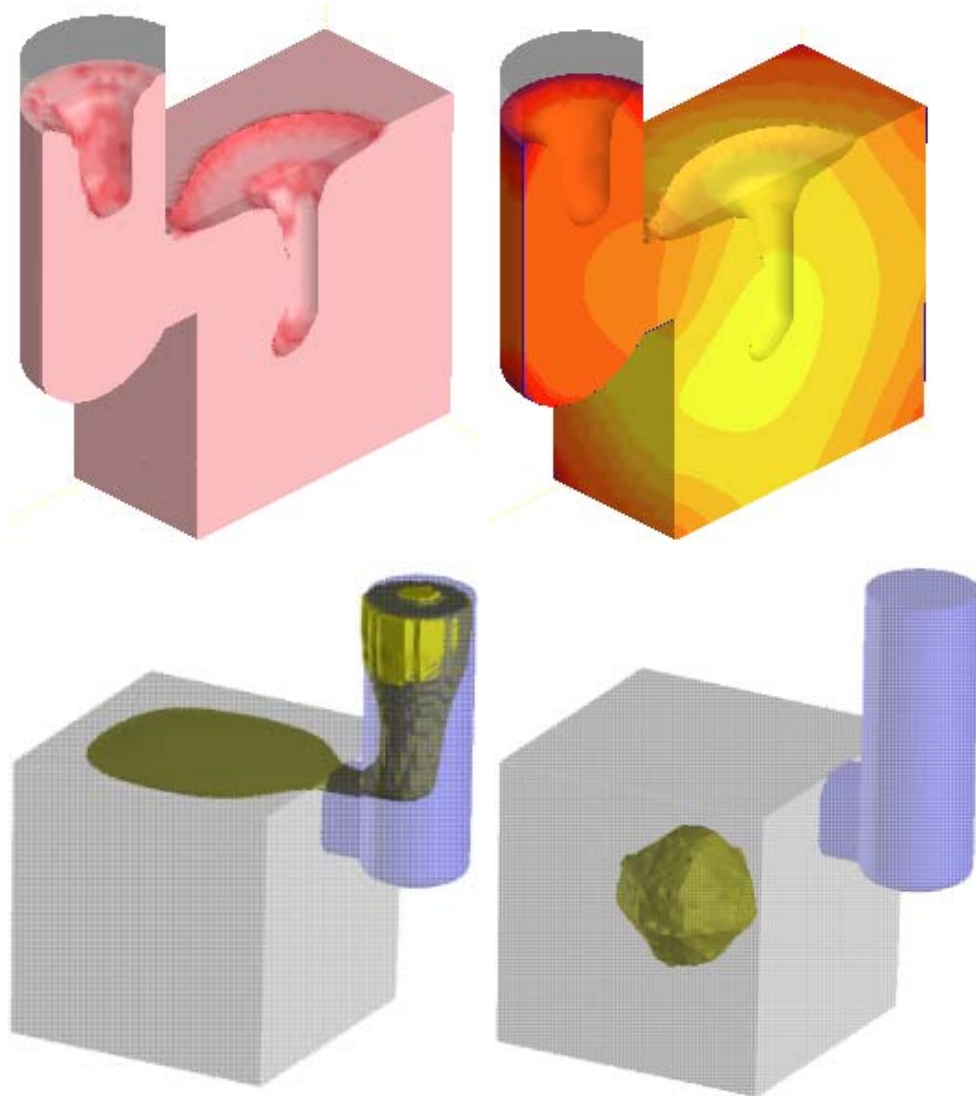
Şekil 4.18. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 156x156x156mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

GGG60 alaşımına sahip 156x156x156 test parçasının bilgisayar simülasyonu sonuçlarında NovaCast programı daha fazla miktarda çekinti oluşumu gösterirken; SolidCast programı sıcak noktanın üst bölgesinde çekinti oluşumu tahmin etmektedir. Bunun nedeni malzeme veritabanındaki farklılıklardır.

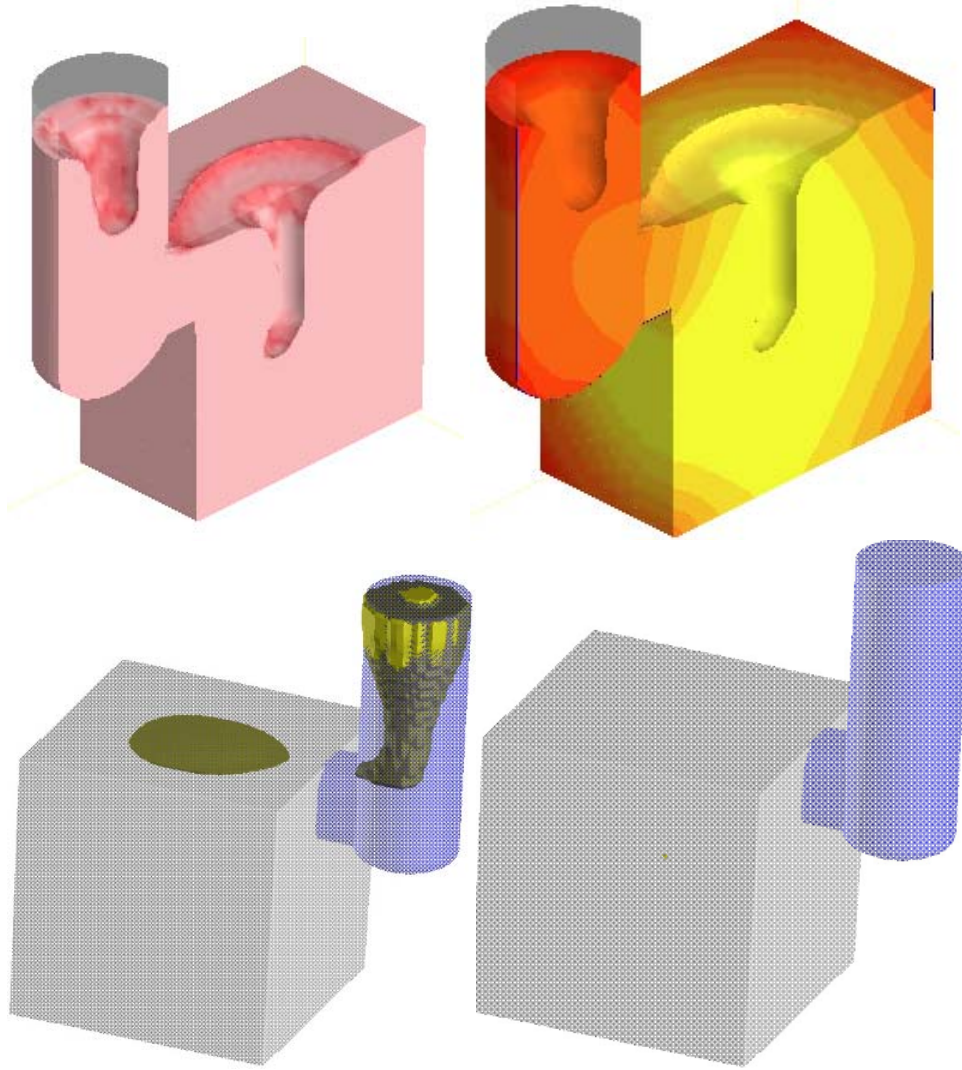


Şekil 4.19. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 156x156x156mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

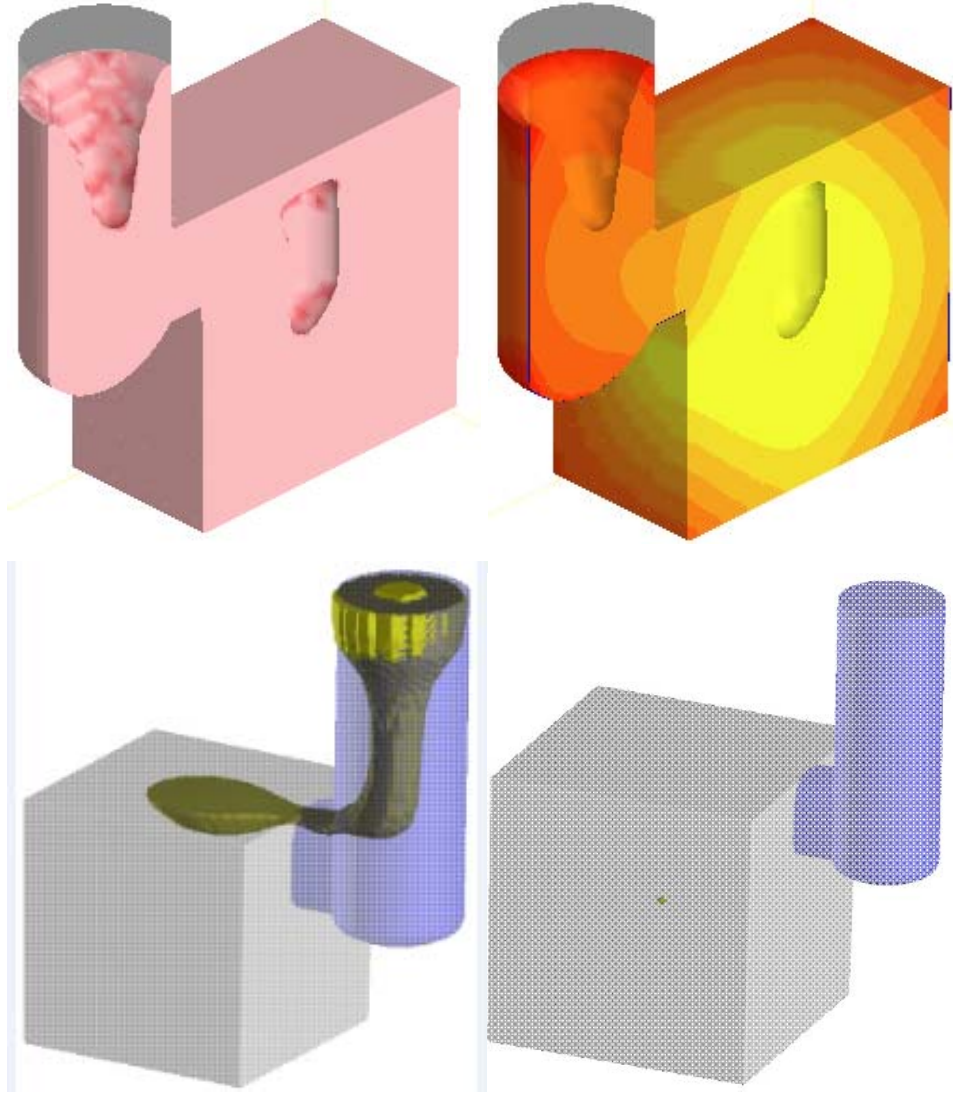
GGG80 'e ait sonuçlarda SolidCast yüzeyde çökme, NovaCast ise sıcak nokta üzerinde çekinti göstermiştir.



Şekil 4.20. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 210x210x210mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)



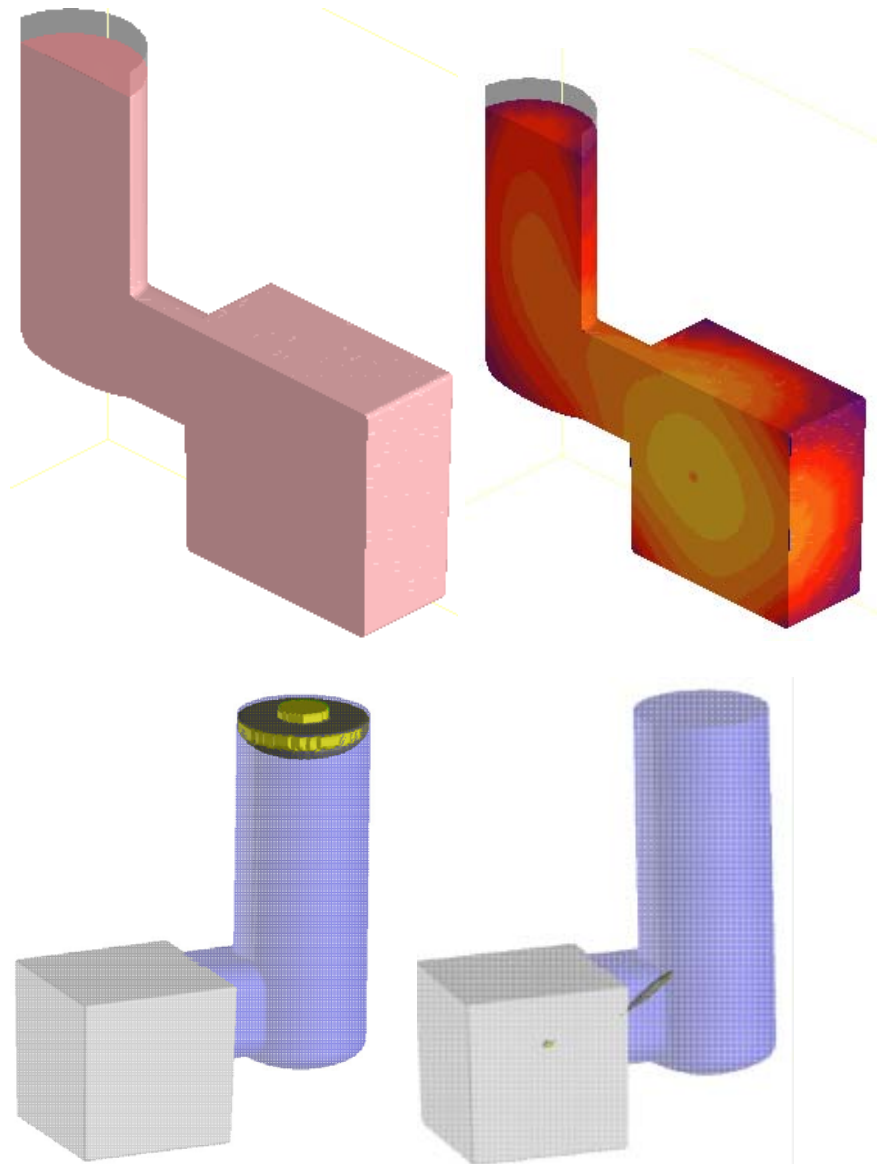
Şekil 4.21. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 210x210x210mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)



Şekil 4.22. Yaş kum ayarları kullanılarak yapılmış 210x210x210mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

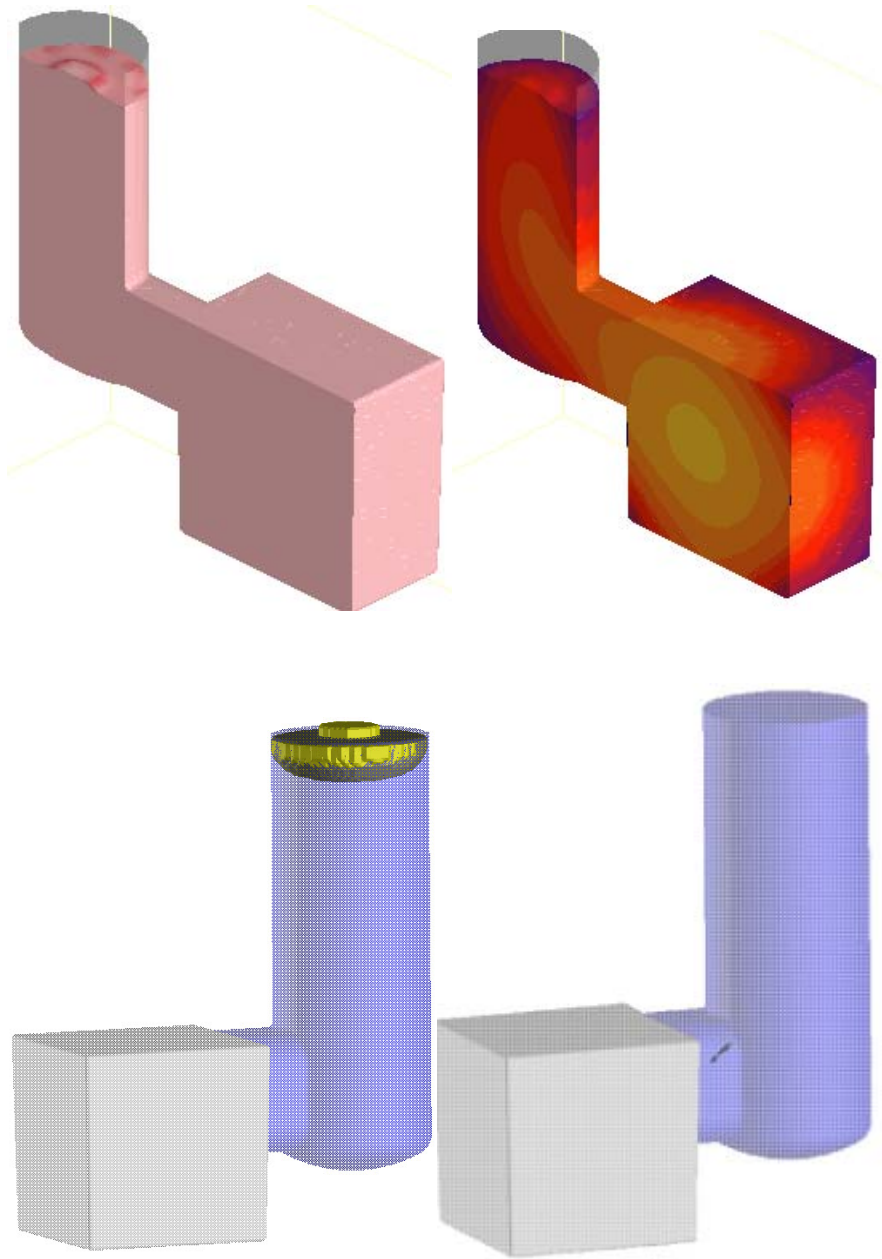
Yaş kum ayarları kullanılarak simülasyonda yapılan dökümlerin sonuçlarında açıkça görülmektedir ki var olan geometriyi beslemek için küp geometriye bağlanan besleyiciler yetersizdir. Var olan geometriyi bağlı olan besleyiciler yaş kumda döküldüğünde hiçbir şekilde işe yaramayacaklardır. Yeterli olmayan besleyiciler parça geometrisi içerisinde çekinti boşluğu oluşumunu engelleyemeyerek sakat üretim yapılmasına sebep olacaklardır.

Program ayarları furan kumu kullanılan kalıp olarak değiştirildiğinde alınan sonuçlar aşağıda verilmiştir.[8]

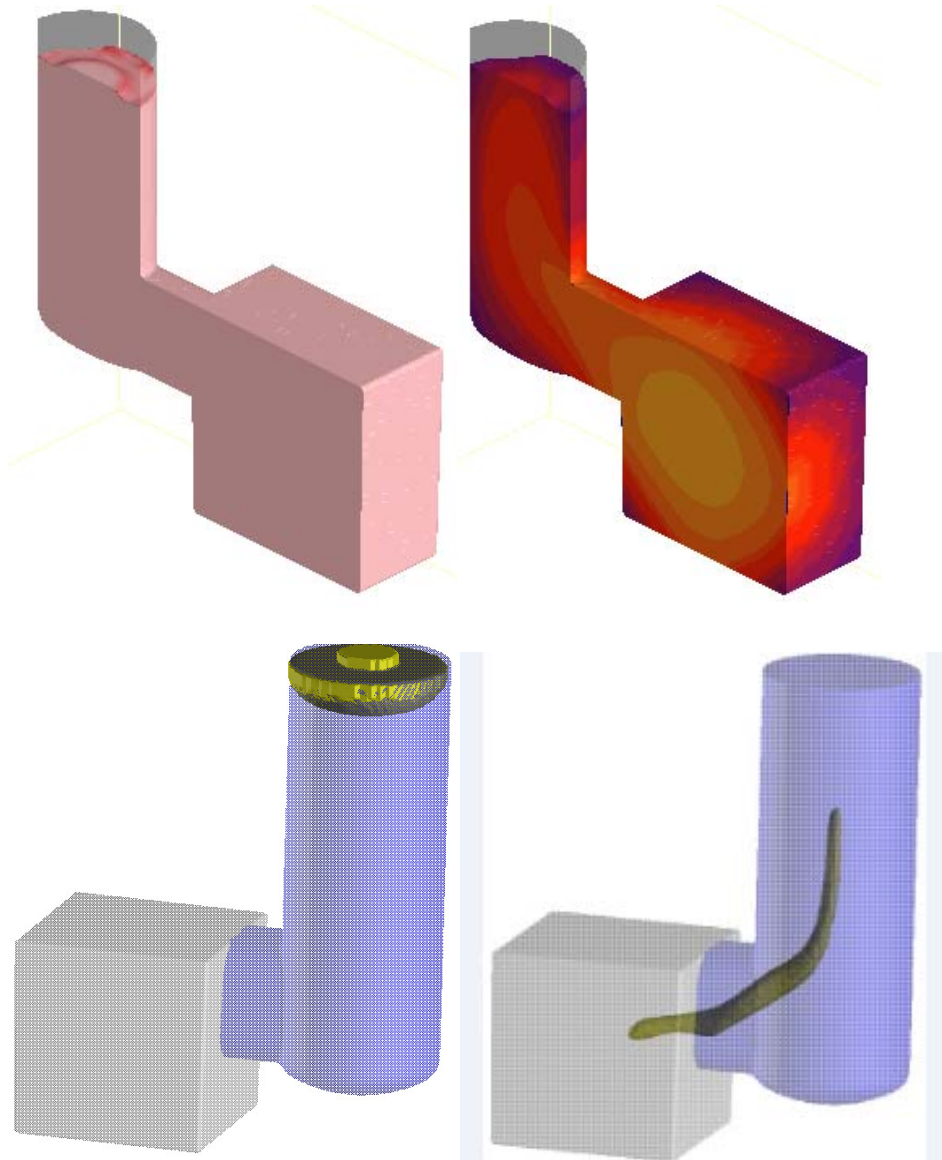


Şekil 4.23. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 100x100x100mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

Parça üzerinde sadece dikkate alınmayacak kadar küçük bir mikro gözeneklilik riski bulunmaktadır. Bu sonuçlar gerçek döküm sonuçları ile bağdaşmaktadır.

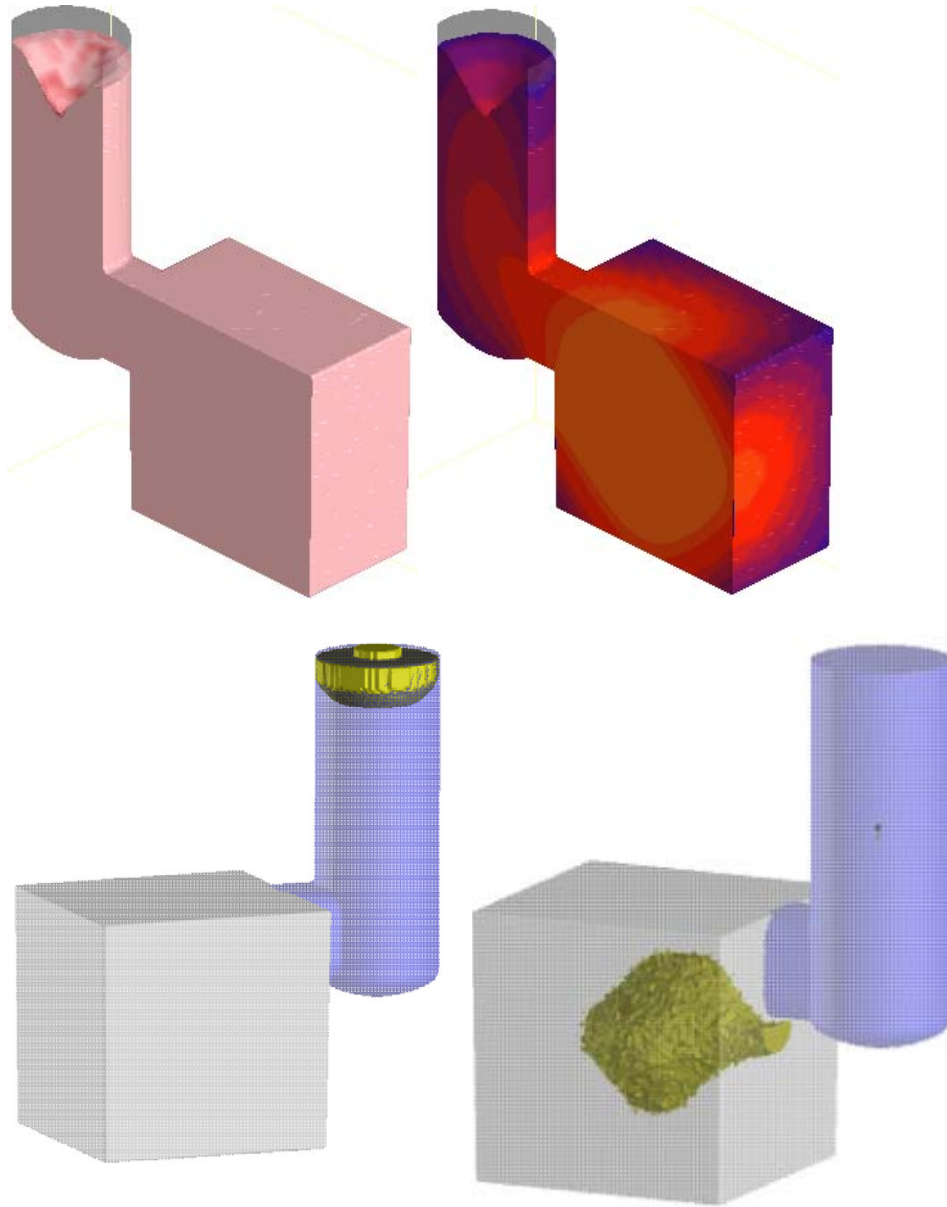


Şekil 4.24. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 100x100x100mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

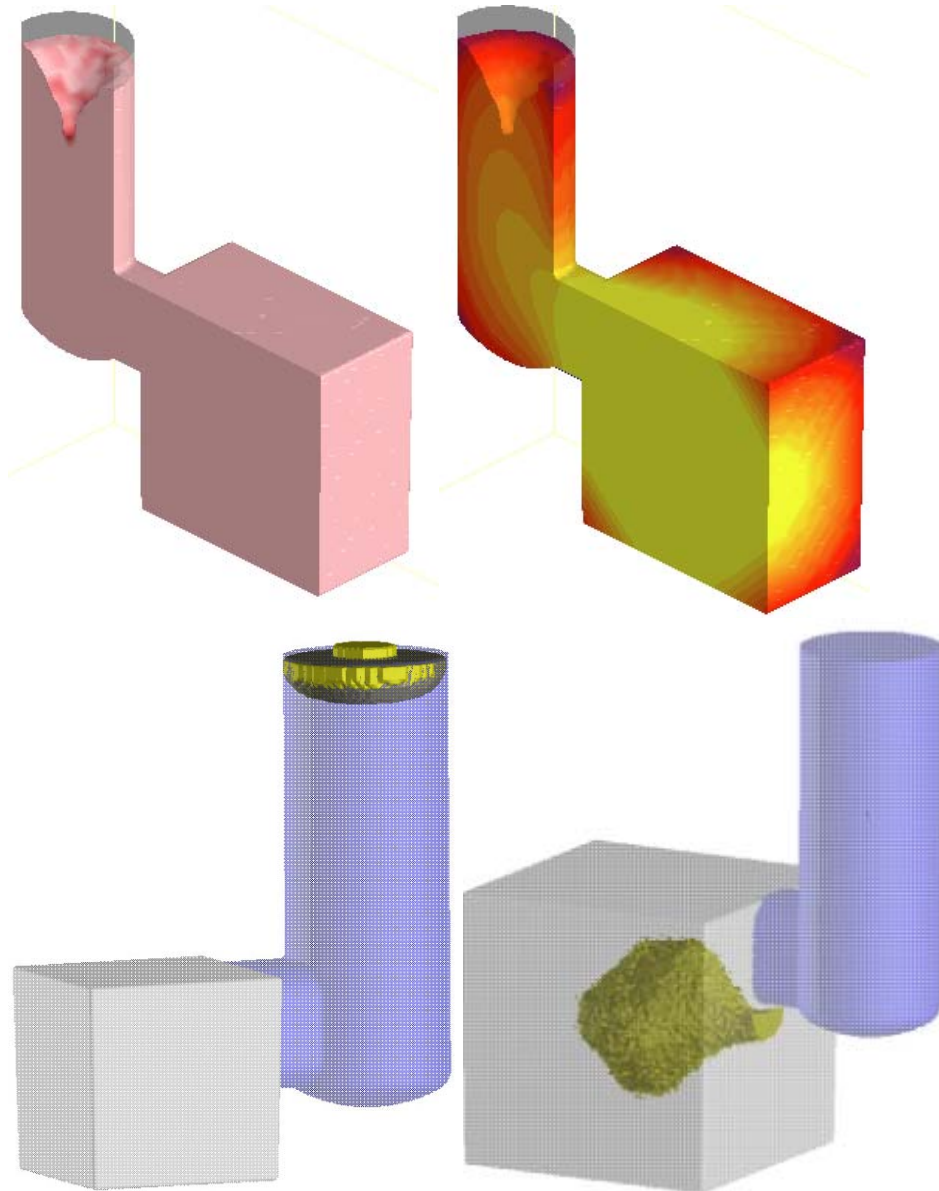


Şekil 4.25. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 100x100x100mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

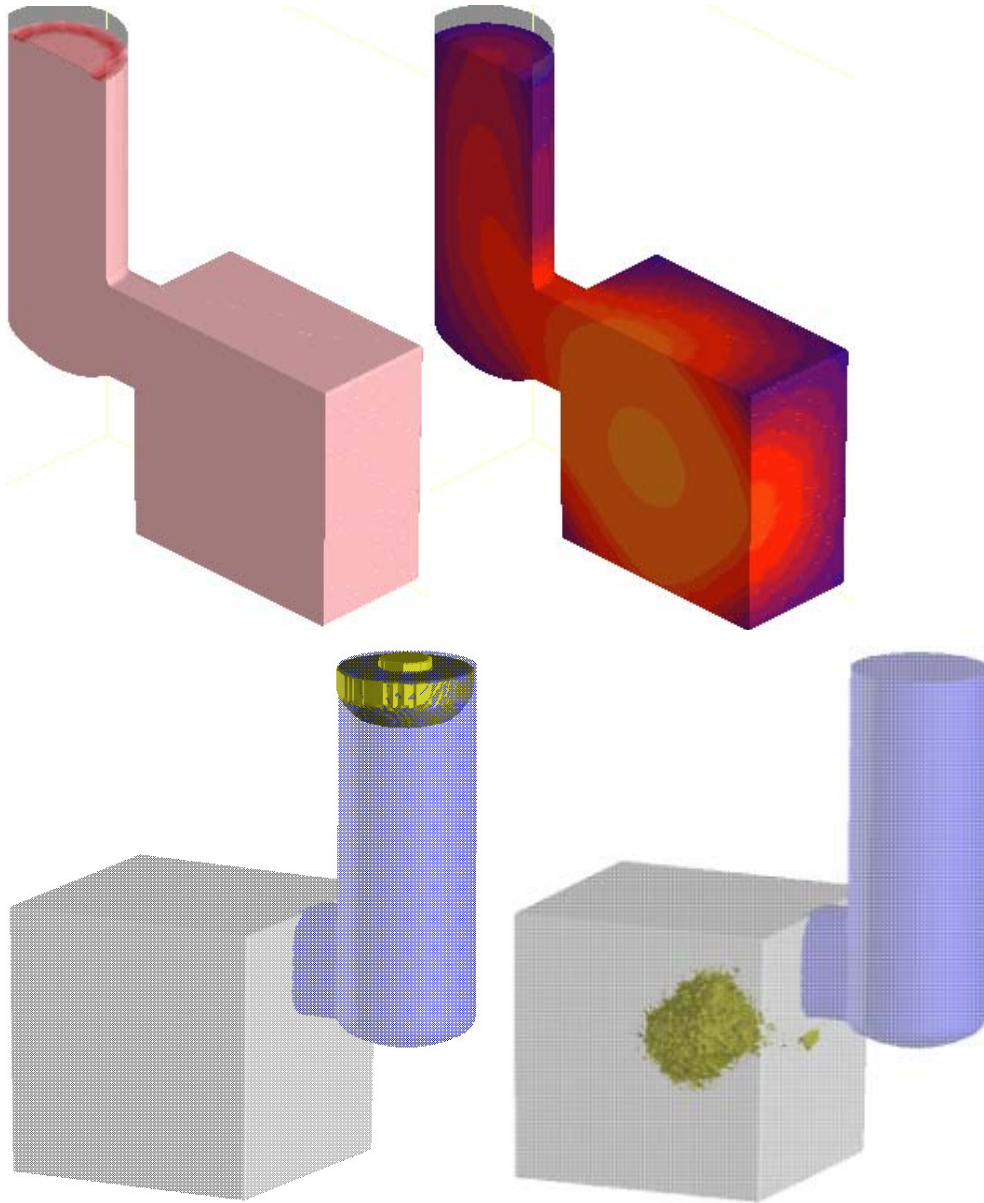
GGG80 'e ait sonuçlarda çekinti riski gözlemlenmemekle birlikte, SolidCast programı mikro gözeneklilik riski tahmininde bulunmuştur. Bu sonucun alaşım farkının oluşturduğu bir sonuç olduğu tahmin edilmektedir, zira diğer sonuçlar arasında riski en yüksek sonuç bu alaşımdadır.



Şekil 4.26. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 156x156x156mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

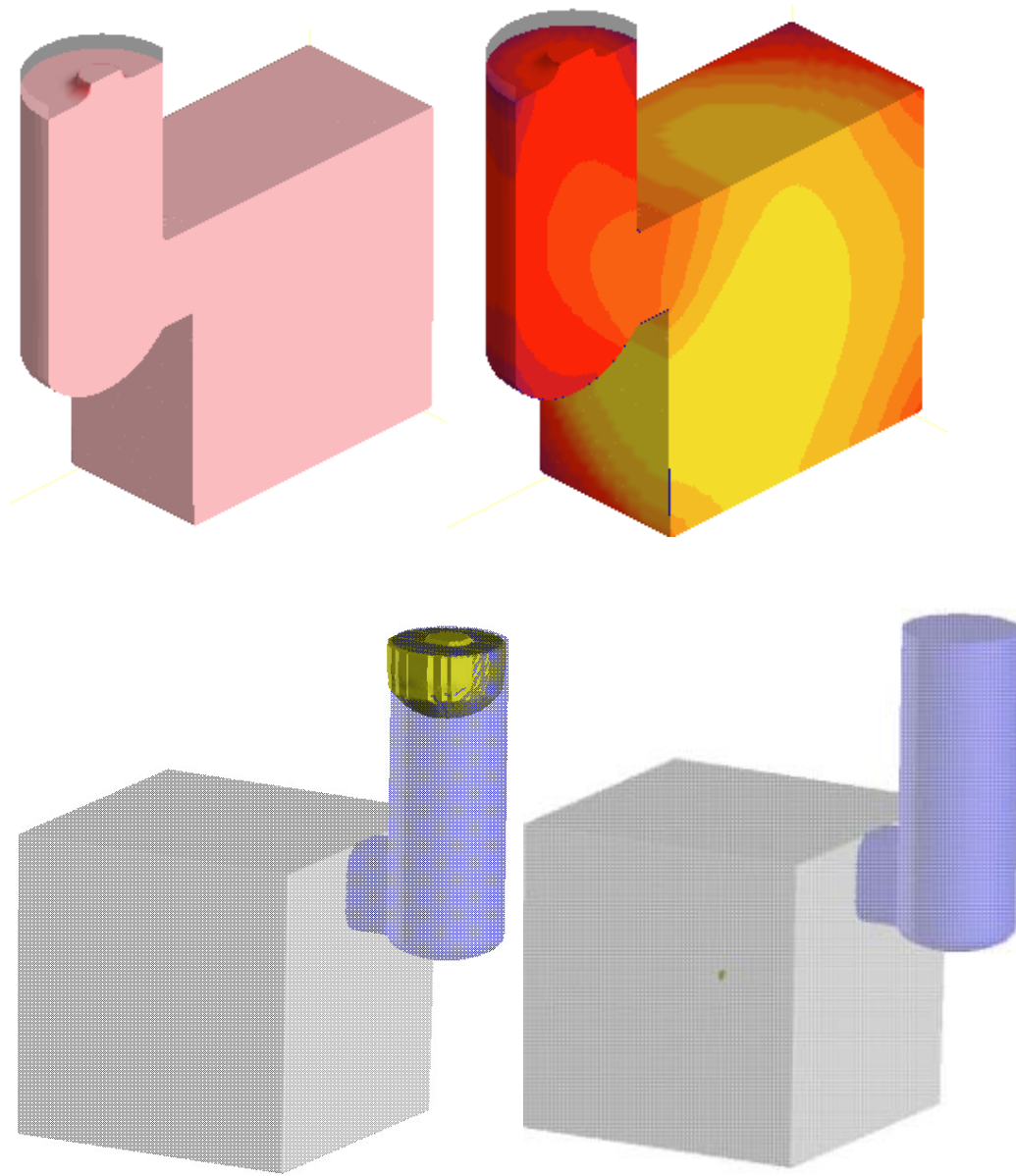


Şekil 4.27. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 156x156x156mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

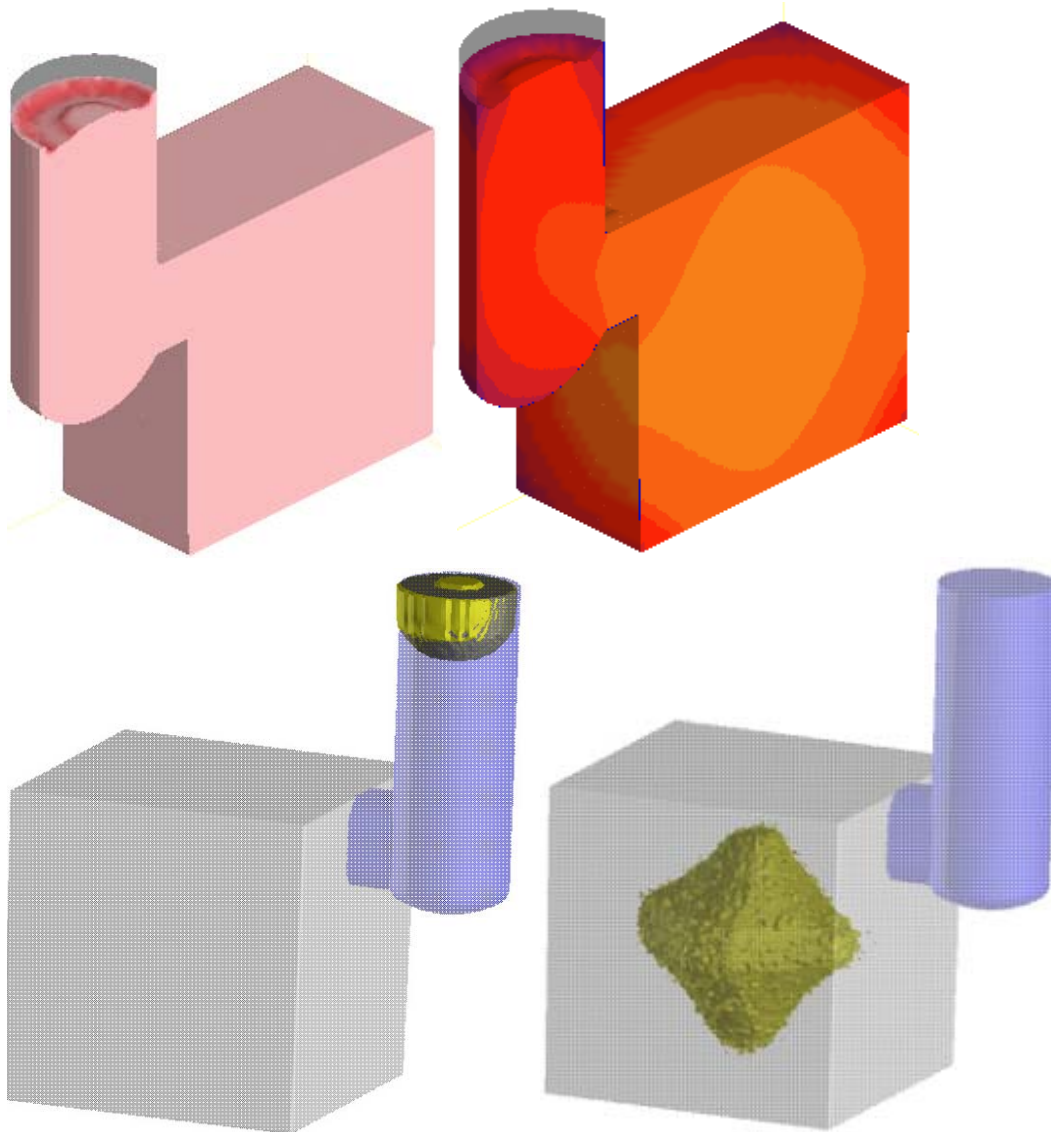


Şekil 4.28. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 156x156x156mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

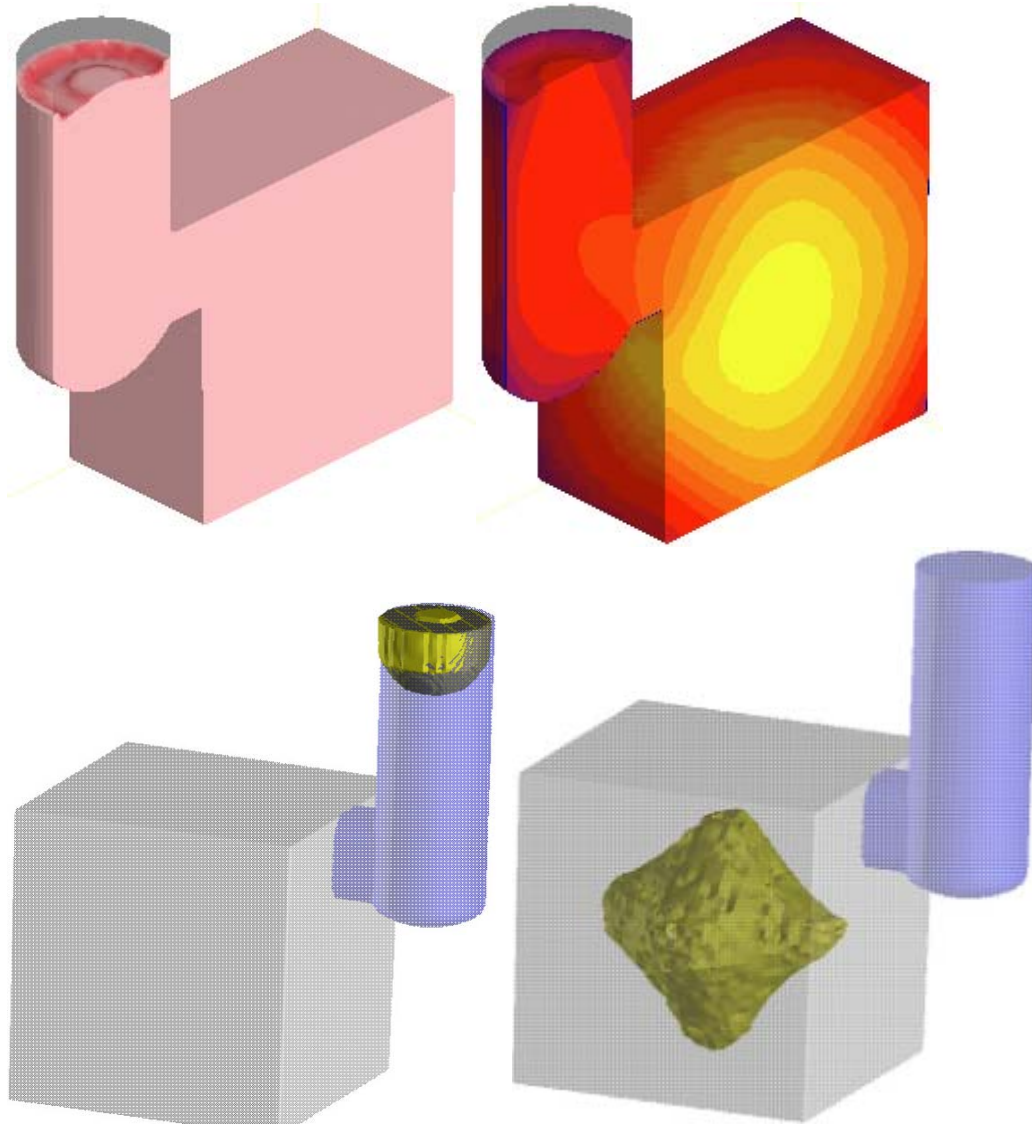
Genleşmenin etkin şekilde oluştuğu sıcak noktanın merkezi ve yakın çevresinde SolidCast programı mikro gözeneklilik riski oluşabileceğini göstermektedir. Her iki program da herhangi bir çekinti riski oluşmayacağı tahmininde bulunmaktadır.



Şekil 4.29. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 210x210x210mm GGG40 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü (Çekinti ve katılaşma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

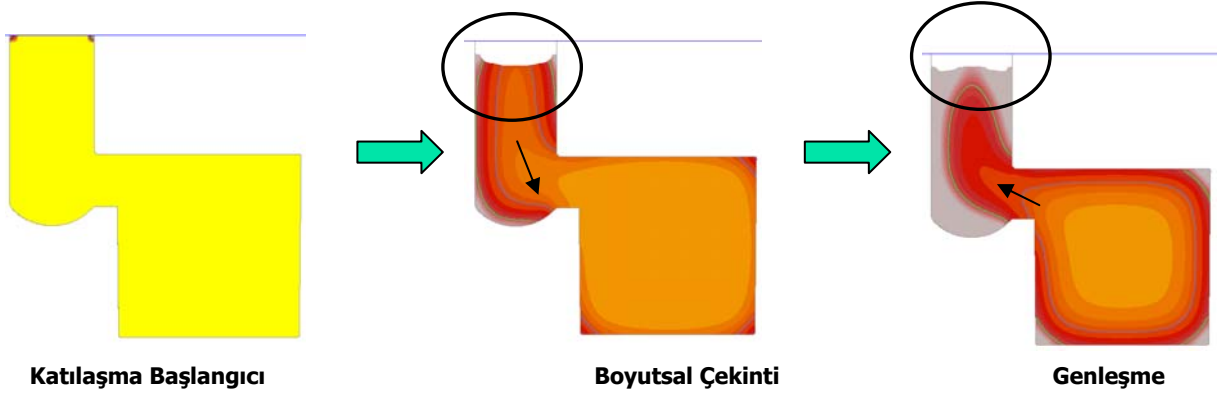


Şekil 4.30. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 210x210x210mm GGG60 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüsü ((Çekinti ve katılma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)



Şekil 4.31. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak bilgisayar ortamında dökülmüş 210x210x210mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç (Çekinti ve katılma zamanı, Novacast- Makro çekinti ve mikro gözeneklilik riski, SolidCast)

Furan reçine ile birleştirilmiş kalıp kumunun kullanılması şeklinde yapılan ayarlama ile bilgisayar ortamında yapılan dökümlerde herhangi bir çekinti görülmemiştir. Sonuçların tamamında besleyicide bir miktar çekinti ve merkezinde çok az bir miktar genişleme görülmektedir. Sıcak nokta merkezlerinde ve çevresinde mikro gözeneklilik riski gözükse de parça üzerinde çekinti bulunmamaktadır. Bu genişlemenin şematik açıklaması Şekil 4.28 de yapılmıştır.

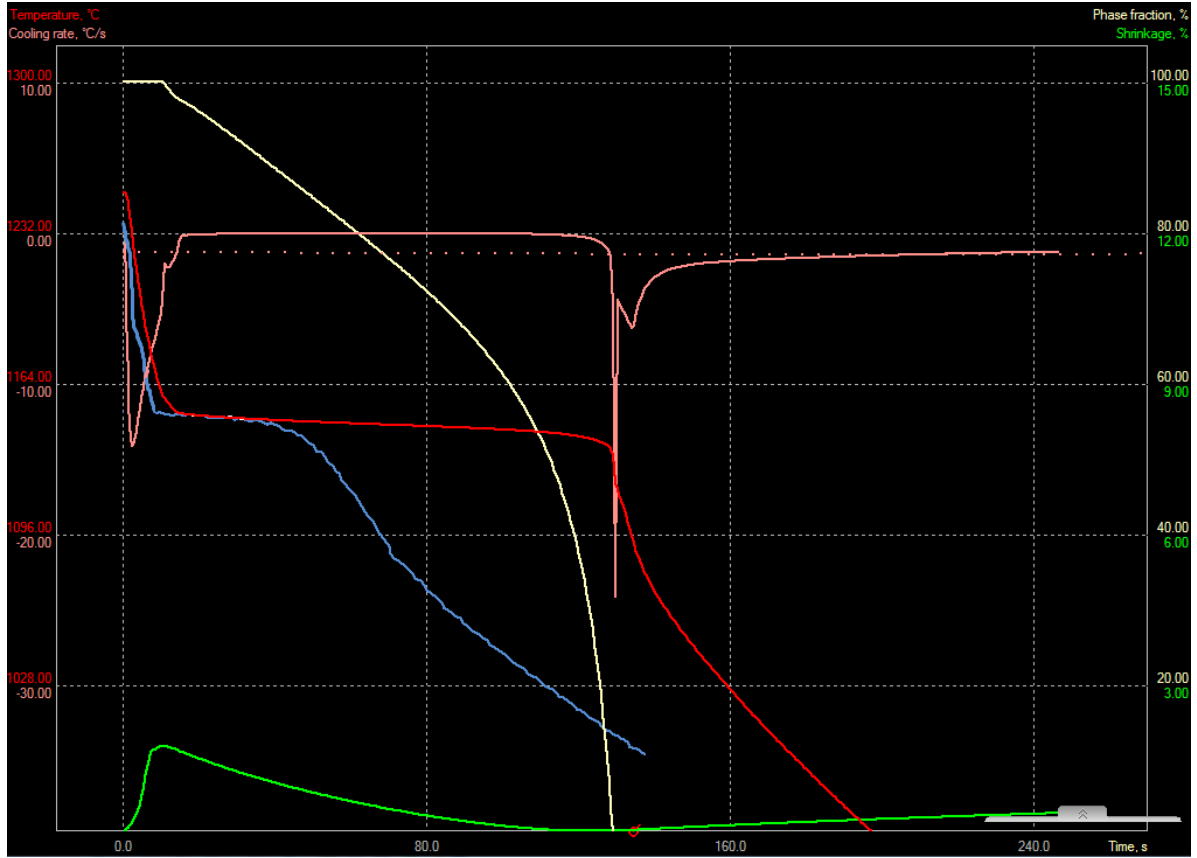


Şekil 4.32. Furan reçineli kum ayarları kullanılarak yapılmış 210x210x210mm GGG80 deney parçasının döküm simülasyonu programındaki sonuç görüntüleri. Çekinti ve genişleme durumu

Şekil 4.32 de açıkça görülmektedir ki besleyici memesinin kalınlığı gerekenden bir miktar fazla olursa basınç meme üzerinden tekrar besleyiciye aktarılmakta ve besleme için gerekli olan basınç kaybedilmektedir.

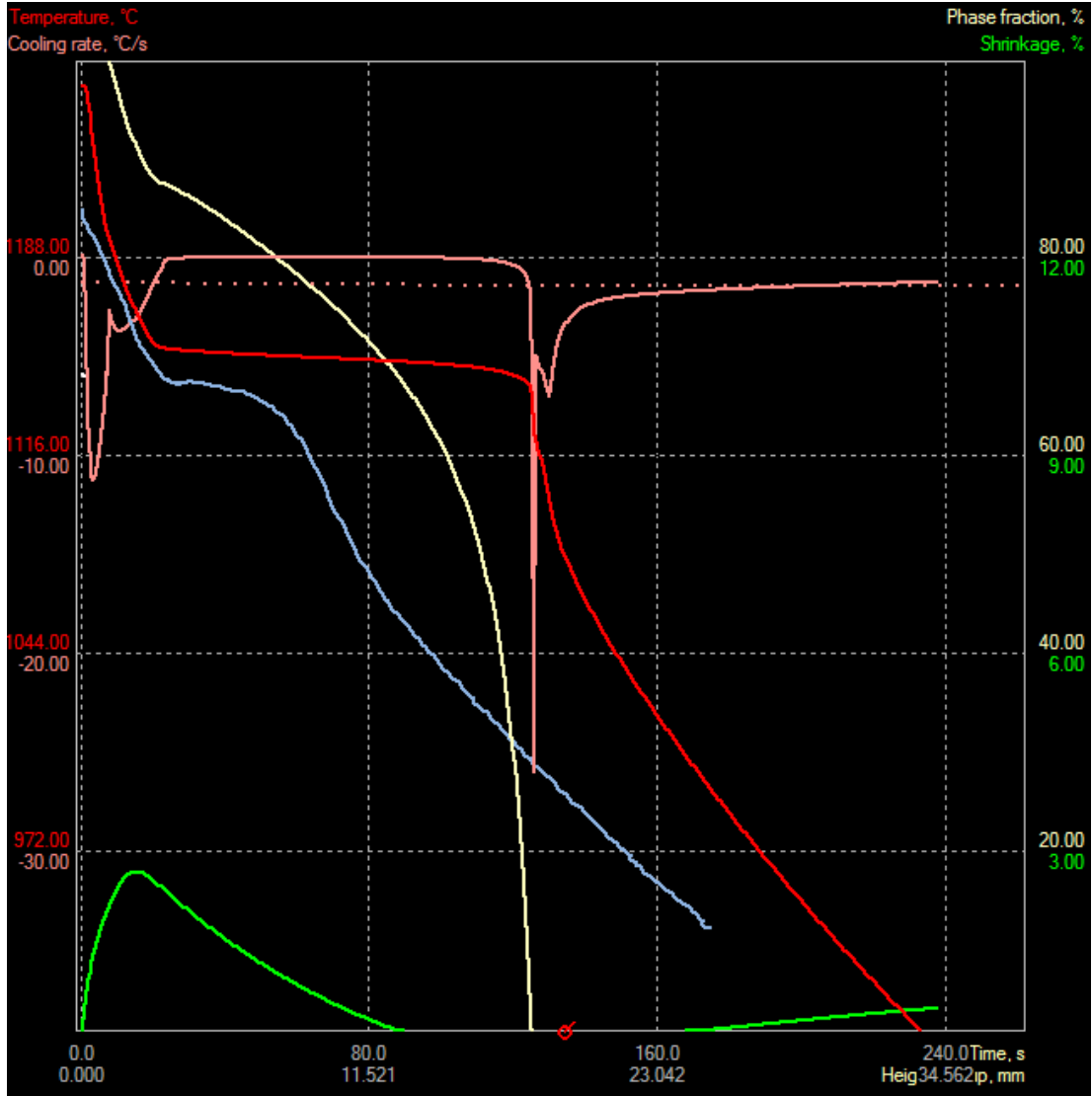
4.2.1. Termal Analiz Sonuçları

Termal analiz deneysel çalışmalarda açıklandığı şekilde numuneler alınarak bilgisayar ortamına tüm termal veriler aktarılmıştır. Doğrudan veri aktarımını ve dökme demir kalitesi hakkında bilgi de verebilen termal analiz cihazından alınan ölçümler aşağıda verilmiştir.



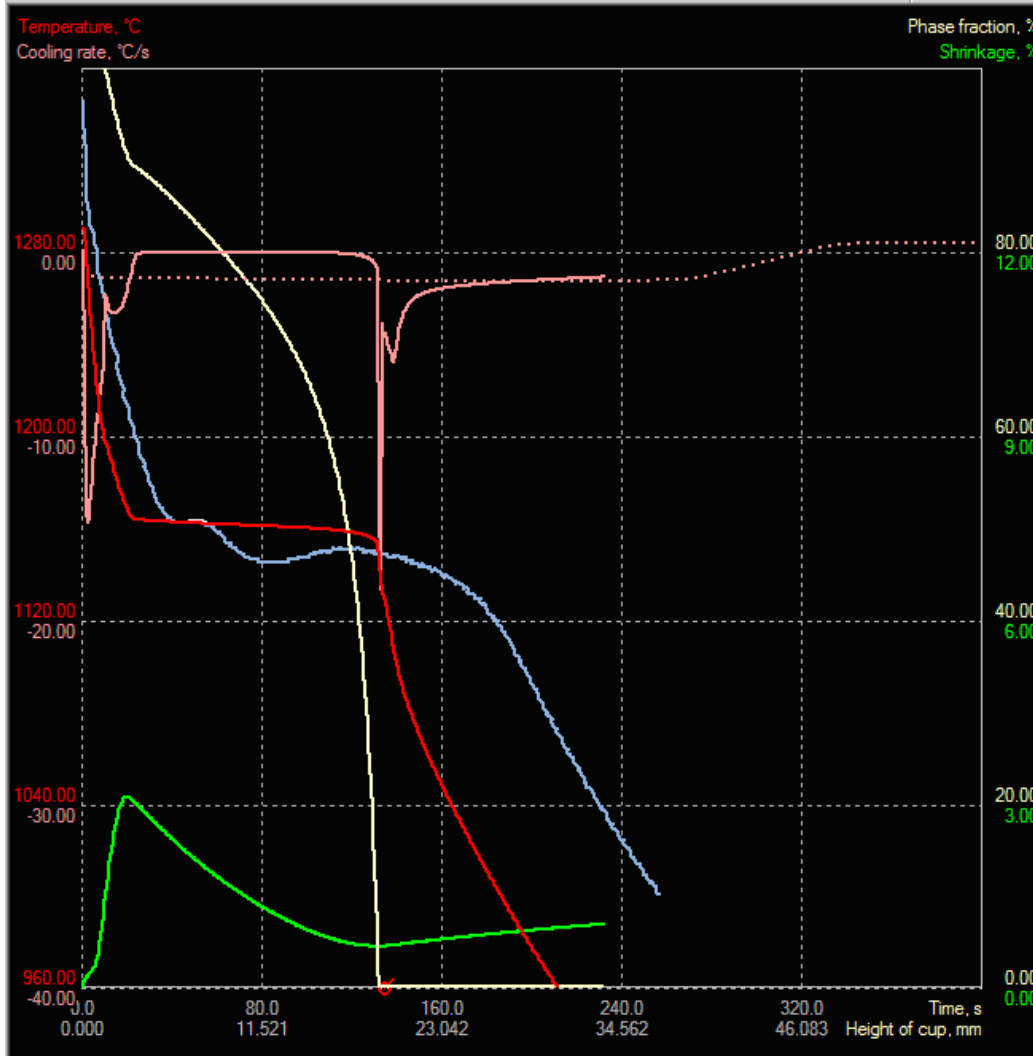
Şekil 4.33. Termal analiz cihazından alınan GGG40 alaşımının ölçümleme sonuçları.

Numune 09-0177/2 numaralı şarjdan alınmıştır. Fe: %93.58, C: %3,45, Si: %2,45
Mn: %0,88, P:%0,003, C eşdeğeri: 4,21 dir.



Şekil 4.34. Termal analiz cihazından alınan GGG60 alaşımının ölçümleme sonuçları.

Numune 09-1091/2 numaralı şarjdan alınmıştır. Fe: %92.82, C: %3,42, Si: %2,35 Mn: %0,66, P:%0,003,Cu:%0,709, C eşdeğeri: 4,13 tür.



Şekil 4.35. Termal analiz cihazından alınan GGG80 alaşımının ölçümleme sonuçları.

Numune 08-0299/2 numaralı şarjdan alınmıştır. Fe: %90.63, C: %3,43, Si: %2,32 Mn: %0,136, P:%0,03, Ni:%1,54, C eşdeğeri: 4,13 tür.

Termal analiz cihazından alınan veriler programa (NovaCast) girilerek yukarıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Yukarıdaki grafiklere açık mavi eğri termal analiz cihazından alınan gerçek verileri göstermektedir. Kırmızı eğri ise malzemenin kimyasal alaşımının girilmesi ve termal verilerin düzenlenmesi sonucu bilgisayar tarafından hesaplanarak oluşturulan soğuma eğrisidir. Pembe eğri soğuma oranını (°C/s) olarak göstermektedir. Beyaz eğri % sıvı miktarını göstermektedir. Yeşil renkli eğri ise -% çekinti miktarını gösteren eğirdir.

Sol Y eksenini sıcaklık ve soğuma oranı değerlerini barındırmaktadır. Sağ Y eksenini % çekinti ve % sıvı faz miktarını, X eksenini ise zamanı ve numune kupasındaki numune boyunu göstermektedir.

Tüm sonuçlarda alınan gerçek eğriler ile hesaplanan eğrilerin örtüştüğünü ve bu sayede programda yapılan katılma simülasyonunun gerçeğe uygun olduğunu görmekteyiz. Tüm eğrilerde katılma başlangıcında artan çekinti eğrisi katılma sonlarına doğru azalmış ve katılma sonuna kadar sıfıra veyahut %1 e kadar inmiştir. Sıfıra kadar inen katılma eğrileri daha sonra boyutsal çekinti olan %1 e kadar tekrar yükselmişlerdir.

4.2.3. SolidCast dökme demir modülü sonuçları

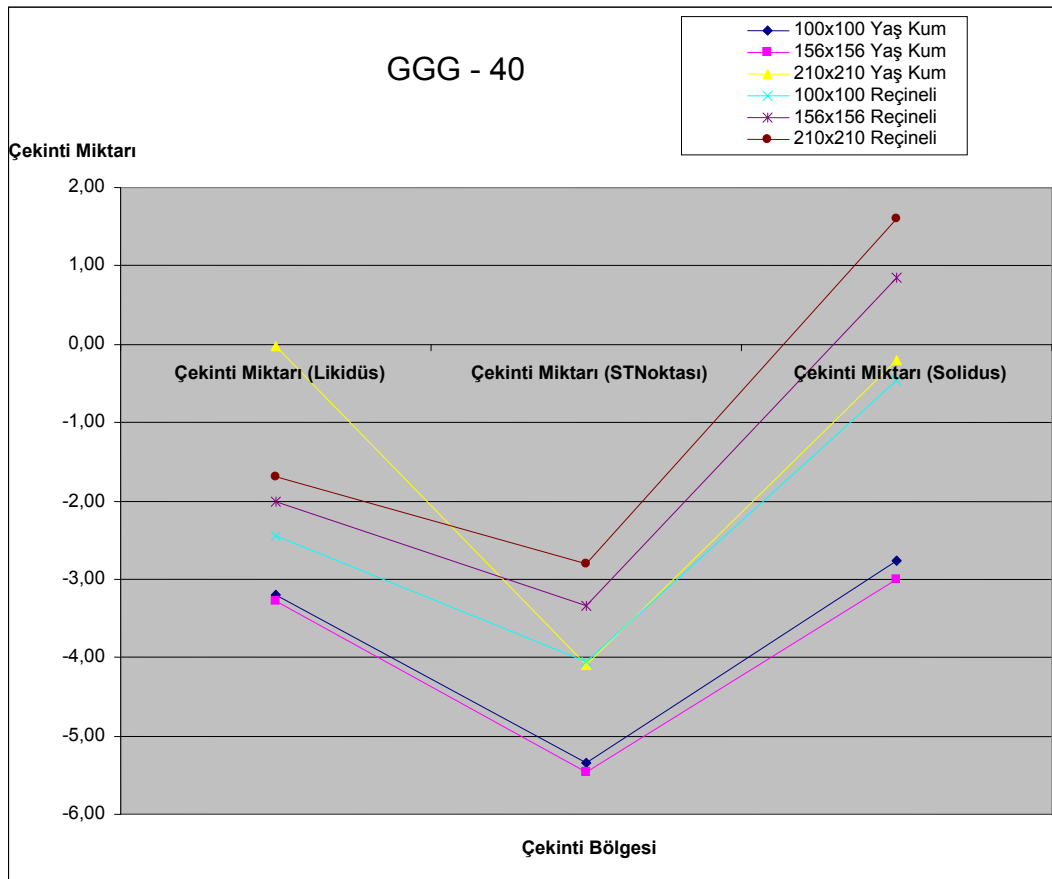
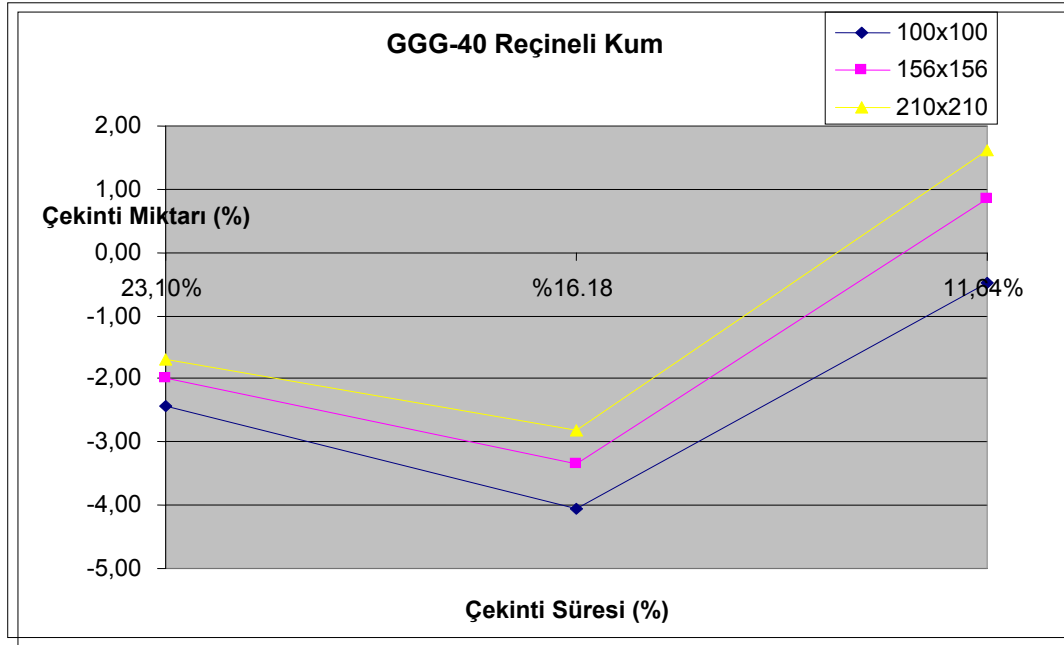
SolidCast programını dökme demirlerin analizlerini doğru sonuçlandırabilmek için ek bir modül olan SolidCast dökme demir modülü modülünü kullanmaktadır. Bu modüle tüm bilgiler girilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.4. SolidCast dökme demir modülü programından alınan yaş kum sonuçları.

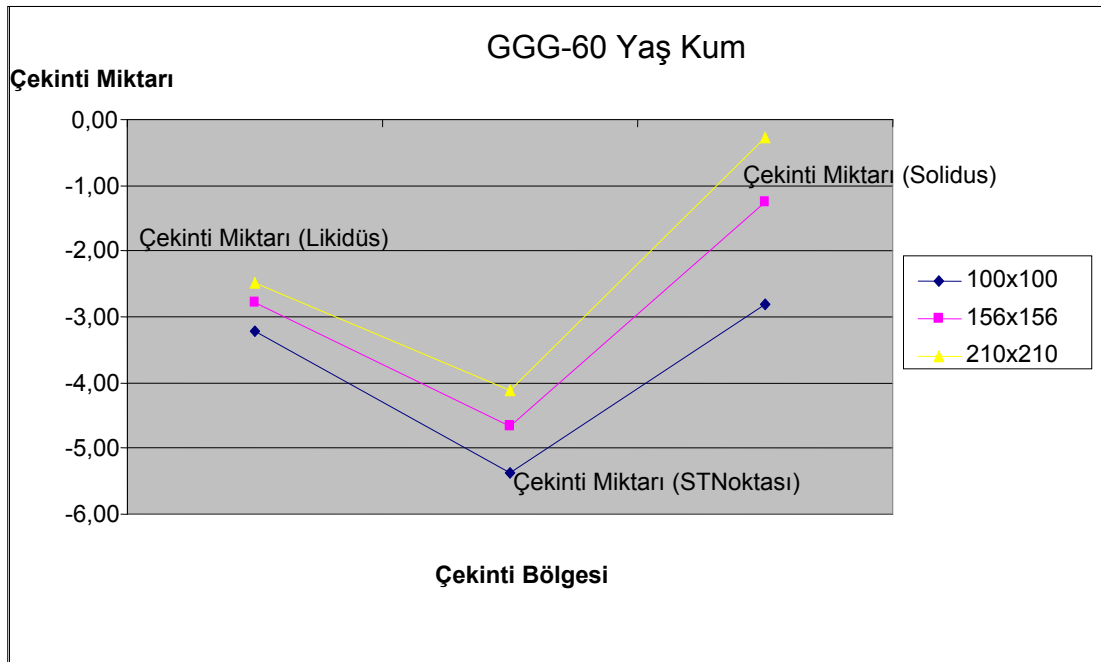
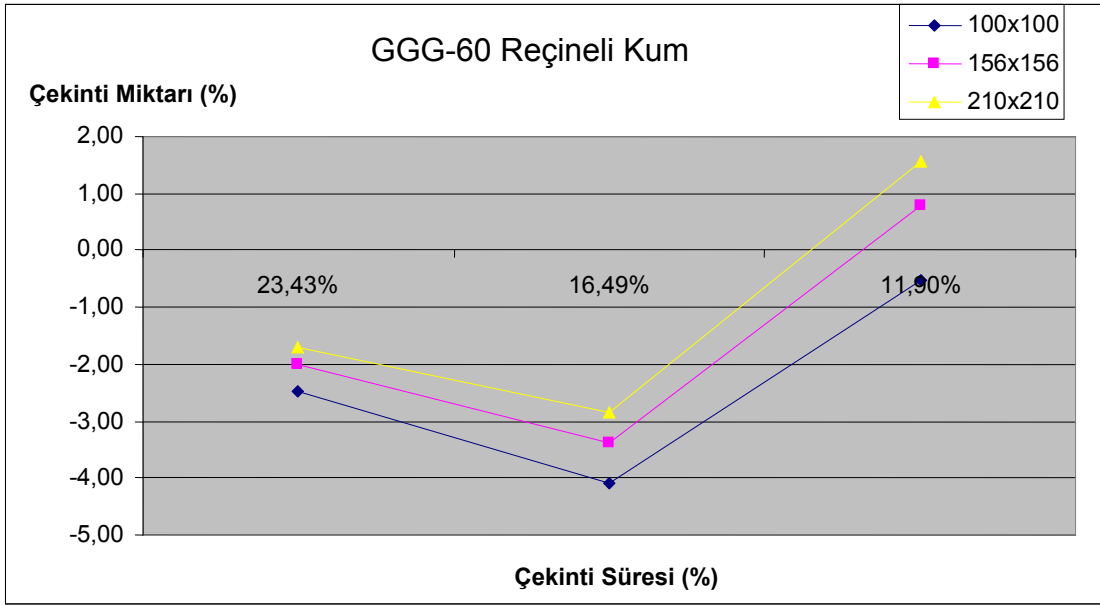
Test Numuneleri SolidCast Dökme Demir Modülü Yaş Kum Kalıp Sonuçları									
Küp Boyutu:	100x100 MR0	100x100 MR0	100x100 MR0	156x156 MR0	156x156 MR0	156x156 MR0	210x210 MR0	210x210 MR0	210x210 MR0
Malzeme:	GGG40	GGG60	GGG80	GGG40	GGG60	GGG80	GGG40	GGG60	GGG80
C:	3,42	3,40	3,33	3,42	3,40	3,33	3,42	3,40	3,33
Si:	2,45	2,30	2,30	2,45	2,30	2,30	2,45	2,30	2,30
P:	0,002	0,000	0,015	0,002	0,000	0,015	0,002	0,000	0,015
Modül:	1,75cm	1,75cm	1,75cm	2,69cm	2,69cm	2,69cm	3,62cm	3,62cm	3,62cm
Döküm Sıcaklığı:	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C
Toplam Katılaşma Süresi içinde Çekinti Süresi %:	44,77%	45,41%	47,37%	31,35%	31,95%	34,14%	22,56%	23,06%	25,17%
Çekinti Miktarı:	-3,34%	-3,37%	-3,47%	-2,61%	-2,65%	-2,77%	-2,09%	-2,12%	-2,25%
CFS Noktası:	55%	55%	57%	46%	47%	49%	43%	43%	45%
Çekinti Miktarı (Ligidüs)	-3,20	-3,22	-3,28	-2,77	-2,79	-2,86	-2%	-2,47	-2,55
Çekinti Miktarı (STNoktası)	-5,34	-5,37	-5,47	-4,61	-4,65	-4,77	-4,09	-4,12	-4,25
Çekinti Miktarı (Solidus)	-2,76	-2,82	-3,01	-1,18	-1,25	-1,48	-0,21	-0,27	-0,51

Tablo 4.5. SolidCast dökme demir modülü programından alınan sonuçlar.

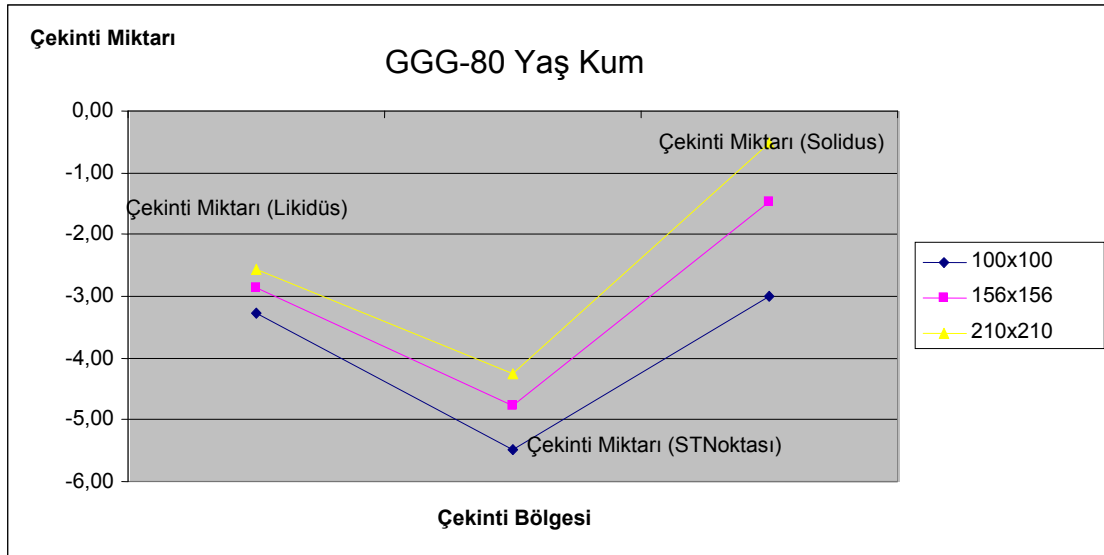
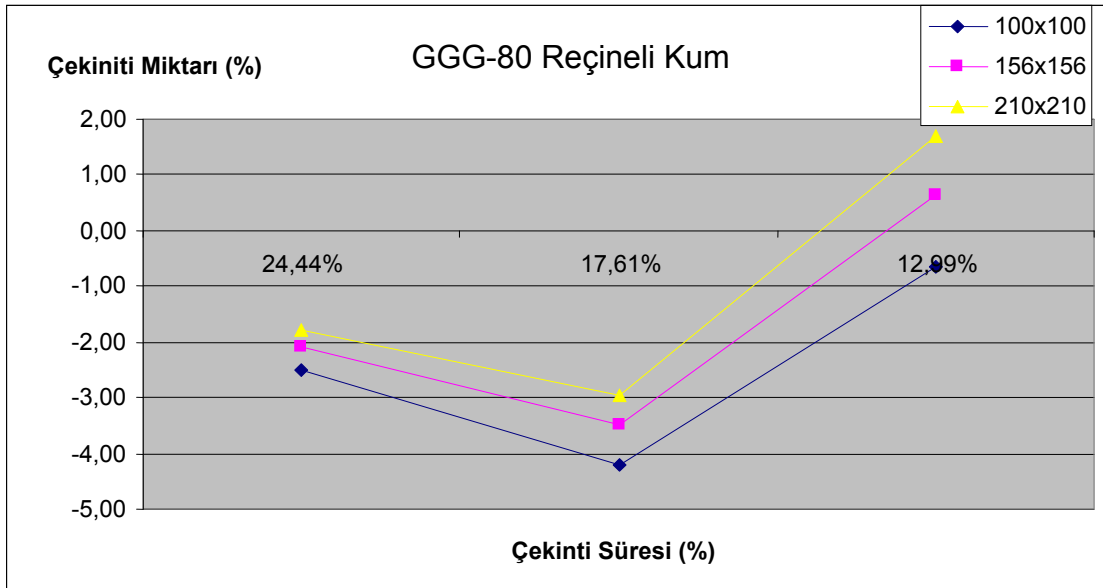
Test Numunelerine ait SolidCast Dökme Demir Modülü Sonuçları									
Küp Boyutu:	100x100	100x100	100x100	156x156	156x156	156x156	210x210	210x210	210x210
Malzeme:	GGG40	GGG60	GGG80	GGG40	GGG60	GGG80	GGG40	GGG60	GGG80
C:	3,42	3,40	3,33	3,42	3,40	3,33	3,42	3,40	3,33
Si:	2,45	2,30	2,30	2,45	2,30	2,30	2,45	2,30	2,30
P:	0,002	0,000	0,015	0,002	0,000	0,015	0,002	0,000	0,015
Modül:	1,75cm	1,75cm	1,75cm	2,69cm	2,69cm	2,69cm	3,62cm	3,62cm	3,62cm
Döküm Sıcaklığı:	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C	1380°C
Toplam Katılaşma Süresi içinde Çekinti Süresi %:	23,10%	23,43%	24,44%	%16.18	16,49%	17,61%	11,64%	11,90%	12,99%
Çekinti Miktarı:	-3,34%	-3,37%	-3,47%	-2,61%	-2,65%	-2,77%	-2,09%	-2,12%	-2,25%
CFS Noktası:	44%	45%	46%	49%	49%	50%	55%	56%	57%
Çekinti Miktarı (Likidüs)	-2,44	-2,46	-2,52	-2,00	-2,02	-2,10	-1,69	-1,71	-1,78
Çekinti Miktarı (STNoktası)	-4,06	-4,09	-4,19	-3,34	-3,37	-3,50	-2,81	-2,84	-2,97
Çekinti Miktarı (Solidus)	-0,47	-0,52	-0,66	0,85	0,80	0,62	1,61	1,56	1,68



Şekil 4.36. SolidCast dökme demir modülü programından alınan sonuçlar



Şekil 4.37. SolidCast dökme demir modülü programından alınan sonuçlar



Şekil 4.38. SolidCast dökme demir modülü programından alınan sonuçlar

SolidCast dökme demir modülü'nden alınan sonuçlar kalıp içindeki sıvı metalin ilk önce çekinti davranışında bulunduğu daha sonra katılaşma esnasında çöken grafitlerin etkisiyle genleşme yaşandığı hem tabloda hem de grafiklerde görülmektedir. Dayanıklı kalıplarda bu genleşme beslemeye yardımcı olurken, yaş kum sonuçlarında gözlemlendiği üzere kalıp dayanımı düştükçe genleşme etkisi kaybolmaktadır.

BÖLÜM 5. TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER

1. Üç farklı küresel grafitli dökme demir alaşımı (GGG40, GGG60 ve GGG80) üç farklı modül oluşturacak şekilde 100x100x100mm, 156x156x156mm ve 210x210x210mm boyutlarında küpler halinde kum kalıplara dökülerek alaşımın ve modülün hacimsel çekme ve genişleme üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. Küp boyutunun büyümesi ile geometrik modülün büyüdüğü ve modülün büyümesi ile döküm numunelerde daha fazla genişleme olduğu boyutsal ölçümlerdeki sonuçlardan gözlemlenmiştir. Yapılan besleyicisiz dökümlerde genişleme miktarının 100x100x100mm ölçülerindeki küpte yeterli olmadığı ancak daha büyük modül değerlerine sahip diğer boyutlardaki küplerde besleyicisiz döküm için yeterli olduğu görülmüştür.

3. Deneylerde kullanılan farklı küresel grafitli dökme demir alaşımlarında (GGG40, GGG60, GGG80) karbon eşdeğerleri yaklaşık aynı çıktığından alaşımın değişmesi dökme demirin hacimsel değişim davranışı üzerinde kayda değer bir etki göstermemiştir.

4. Sonuçlar küresel grafitli dökme demirlerde besleyici boğaz ölçülerinin önemli rol oynadığını göstermiştir. Gereğinden büyük besleyici boğaz boyutunun bağlantı noktalarında çekinti boşluğu oluşturduğunu göstermiştir.

5. Küresel grafitli dökme demirlerin modellenmesinde döküm simülasyon programlarının etkili ve başarılı bir şekilde kullanımının mümkün olduğu gözlemlenmiştir.

6. Bu çalışmadan alınan sonuçlar ışığında ileriki çalışmalar için aşağıdaki öneriler yapılabilir.

a-Termal analiz cihazları veya gelişmiş elektronik veri tabanları ve bilgisayar kontrollü analog/dijital çeviriciler sayesinde var olan termal verilere daha doğru ve kesin ulaşım sağlanarak simülasyon programlarına daha doğru veri aktarımı sağlanabilir.

b-Küresel grafitli dökme demir parçalar için besleyici tasarımı yapılırken grafit genişmesinin besleme için doğru kullanılabilmesi için mutlaka uygun bir döküm simülasyon programı kullanılmalıdır.

c- Grafit genişmesinin oluşumunda grafitlerin küresel ve düzgün olması da önem arz etmektedir. Bu amaçla doğru aşılama tekniklerinin araştırılması ve uygulanması gerekmektedir. Tam küreselleşmeye sahip olmayan alaşımlarda istenen genişme elde edilemeyecek ve genişme basıncı oluşturmak için istenen sonuçlar beklendiği gibi oluşmayacaktır.

d- Kalıp duvarının dayanımı sabit boyutlardaki numuneler ile farklı reçineler ve bağlayıcılar kullanılarak denenmeli ve bu önemli parametre üzerinde daha fazla bilgi edinilmelidir. Farklı besleyici boğaz boyutları kullanılarak besleyici bağlantı ve boğaz boyut ilişkileri araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] SCMIDT, D.C., “ The basics of solidification, gating and risering of cast irons” AFS Wisconsin Regional Conference, Finite Solutions Inc., Slinger WI, 8 Şubat.
- [2] MEREDITH, J.F.. “Solving porosity problems in graphitic iron castings”, Casting Solutions pty. LTD., Moorebank NSW, Australia 2008.
- [3] “Sorelmetal Ductile Iron Data Section II“ sf. 9,11 , Rio Tino Iron and Titanium Inc. Montreal, CANADA, 1990.
- [4] “Sorelmetal Ductile Iron Data Section III“, Rio Tino Iron and Titanium Inc. Montreal, CANADA, 1990.
- [5] “ATAS 6.0 User’s Guide”, Novacast Foundry Solutions AB, Ronneby SWEDEN, 2008.
- [6] Metals Handbook, Vol.15. Castings, Ed. ASM International Handbook Committee, 743-770, Metals Park, OH, ASM International, 1989.
- [7] STEFANESCU, D.M., Solidification and modeling of cast iron—A short history of the defining moments, Materials Science and Engineering A 413–414,322–333., 2005.
- [8] “Gating and Risering of Ductile Iron” Rio Tino Iron and Titanium Inc. Montreal, CANADA, 2000.
- [9] ALGARSAMY, A. “Casting Defect Analysis and A Case Study” Keith Millis Symposium on Ductile Cast Iron, 2003.
- [10] International Atlas of Casting Defects, AFS Publications, 2001.
- [11] HEMANTH, J., RAO K.V.S., “Effect of Cooling Rate on Eutectic Cell Count, Grain Size, Microstructure and Ultimate Tensile Strength of HypoEutectic Cast Iron, Journal of Materials Engineering and Performance Volume 8, JMEPEG(1999) 8-417-423, Ağustos 1999.
- [12] SKALAND, T. “A New Method for Chill and Shrinkage Control in Ladle Treated Ductile Iron” Keith Millis Symposium on Ductile Cast Iron, 2003

- [13] “Sorelmetal Ductile A Design Engineer’s Digest To Ductile Iron – Ninth Edition“, Rio Tino Iron and Titanium Inc., Montreal, CANADA 1992.
- [14] “Sorelmetal Ductile Iron Data Section VII, Rio Tino Iron and Titanium Inc. Montreal, CANADA, 1990.
- [15] SolidCast Workbook, Version 7.02, Finite Solutions Incorporated, 2007.
- [16] FREDRIKSSON, H., STJERND AHL, A., TINOCO, J., “On the solidification of nodular cast iron and its relation to the expansion and contraction”, Materials Science and Engineering, A 413–414, 363-372, 2005.
- [17] “NovaCast 4.1-r1 User’s Guide”, Novacast Foundry Solutions AB, Ronneby SWEDEN, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

1984 Diyarbakır doğumluyum. İlköğrenimimi Bursa İli Osmangazi İlçesi Mithat Paşa ilkokulunda, orta ve lise öğrenimimi de Turhan Tayan Anadolu Lisesinde tamamladım. 2002–2007 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal İşleri Öğretmenliği bölümünü bitirerek Teknik Öğretmen unvanını almaya hak kazandım. Lisans öğrenimim esnasında 2006 yılında Leonardo DaVinci mesleki eğitim programı sayesinde Almanya’da staj yaptım. Ayrıca üniversite öğrenimim sırasında 2003-2004 yılları arasında Daloğlu Döküm, 2004-2005 yılları arasında Yıldız Makine firmalarında çalıştım. Okulu tamamladıktan sonra 2007 yılında Anadolu Döküm Sanayi A.Ş’ de tasarım ve analiz uzmanı olarak göreve başladım ve halen görevime devam etmekteyim. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümünde 2007 yılında başladığım yüksek lisans eğitimini bitirme aşamasına geldim.