

Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Hüseyin Gümüş¹ , Süleyman Başbuğ¹ , Samet Tekelioğlu¹ , Murat Dilmeç² 

¹Mesa Makina, Konya

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya

Geliş Tarihi / Received Date: 09.12.2022

Kabul Tarihi / Accepted Date: 07.06.2024

Öz

Dünya’da ve Ülkemizde geniş bir üretim alt yapısına sahip olan döküm yöntemi avantajları ile gelişen teknolojik çağa ayak uydurmaktadır. Yüksek kaliteli gri dökme demirler, hafif mühendislik alaşımları gibi gelişen malzeme teknolojileri döküm ile imalat yönteminin gelişmesini hızlandırmıştır. Yeni nesil dökme demirler yüksek mukavemet dayanımı ve uzama kabiliyeti ile avantaj göstermektedir. Döküm malzemelerin en büyük dezavantajları arasında yer alan süneklik yeteneğinin artması sebebi ile raylı sistemler, savunma sanayi tarım, inşaat ve otomotiv başta olmak üzere yeni nesil dökme demir kullanımı artmıştır. Yapılan bu çalışmada, yeni nesil dökme demir olarak tanımlanan küresel grafitli EN 1563:2012’de yer alan kimyasal içerik ve mekanik özellikler referans alınarak üretim denemesi gerçekleştirilmiş, laboratuvar testleri ile malzemenin özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bulguların EN 1563’de yapılan tanımlara göre geleneksel dökme demirlere (EN-GJS-500-7 ve EN-GJS-600-3) kıyasla daha gelişmiş özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: küresel grafitli dökme demir, malzeme bilimi ve mühendisliği, yeni nesil dökme demir

Production of Solid Solution Strengthened Ferritic Spheroidal Graphite Cast Iron and Determination of its Mechanical Properties

Abstract

The casting method, which has a wide production infrastructure in the world and in our country, keeps up with the developing technological age with its advantages. Developing material technologies such as high-quality gray cast irons and light engineering alloys have accelerated the development of casting and manufacturing method. Solid solution strengthened ferritic spheroidal graphite cast irons show advantages with their high strength resistance and elongation ability. Due to the increase in ductility, which is among the biggest disadvantages of cast materials, the use of solid strengthened ferritic spheroidal graphite cast iron has increased, especially in railway systems, defense industry, agriculture, construction and automotive. In this study, a production was carried out in accordance with the chemical content and mechanical properties in EN 1563:2012 with spheroidal graphite, which is defined as the solid solution strengthened ferritic spheroidal graphite cast iron, and the properties of the material were determined by laboratory tests. It was determined that the findings obtained had more advanced properties compared to conventional cast iron according to the definitions made in EN 1563.

Keywords: spheroidal graphite cast iron, material science and engineering, solid solution strengthened ferritic cast iron

Giriş

Köklü bir imalat yöntemi olan ve başta parça geometrisi olmak üzere avantajları ile sürekli gelişmekte olan döküm teknolojisi günümüzde yeni alaşımlar ve hafif malzemeler üzerine ivme kazanmış olsa da demir döküm alanında da gelişme kat etmektedir. Yüksek kaliteli dökme demirler, yeni nesil dökme demirler bu gelişmelere örnektir. 2012 yılında EN 1563'e giren yüksek silisli katı çözelti ile mukavemeti arttırılmış yeni nesil dökme demirlerin özellikleri ve üretim yöntemleri halen birçok firma ve eğitim kurumu tarafından bilinmemektedir (Standards Germany, 2012). 1990'ların başında İsveç Volvo, Scania ve İsveç Döküm enstitüsü tarafından bulunan ve geliştirilen katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik dökme demirler; 1998 yılında İsveç standardı SS 140725'te tanımlanmış, 2004 yılında ISO:1083:2004'de ek kısmında yer almıştır (Glavas vd., 2016; Larker, 2008; Okunnu, 2015; Olsson, 2011; Stets vd., 2014; Şirin vd., 2017; Torre vd., 2014).

Yeni nesil dökme demirler, malzemenin akma mukavemeti ve % uzama değerleri bakımından klasik dökme demirlere göre üstün özelliklere sahiptir (Glavas vd., 2016; Stets vd., 2014; Şirin vd., 2017; Torre vd., 2014). Bu netice ile raylı sistemler, enerji, savunma sanayi, otomotiv ve tarım sektöründe yüksek oranda tercih edilen sfero dökme demirlerin yerini ana sanayide yeni nesil küresel grafitli dökme demirler almaktadır.

Mesa Makina olarak 40 yılı aşkın süredir faaliyet göstermiş olduğumuz döküm sektöründe yenilikleri ve güncel teknolojileri takip etmektedir. 1984 yılında OEM parça üretimi yapmaya başlayan Mesa Makina yıllar içerisinde edindiği vizyon ile OEM parça imalatı ile üretim faaliyetlerine devam etmektedir. Bu sürecin çıktısı olarak müşteri talepleri ve sektördeki rekabet şartlarını sağlama zorunluluğu doğmuştur. Katma değerli üretim hedefiyle gelişen üretim ve laboratuvar alt yapısı ile beraber 2018 yılında kurulan Ar-Ge merkezi faaliyetleri ile sektördeki konumunu korumaktadır. Bu çalışma kapsamında, sektördeki gelişimler ve bu gelişimler neticesinde şekillenen müşteri taleplerini karşılamak amacıyla Mesa Makina'da yeni nesil küresel grafitli dökme demir deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde yeni nesil dökme demir deneme üretimlerinin kimyasal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimi

Mesa Makina mevcut üretimi ve müşteri talepleri göz önüne alınarak EN-GJS-500-14 ve EN-GJS-600-10 malzeme kalitesine sahip deneme üretimleri yapmıştır. Deneme üretimleri neticesinde mekanik ve kimyasal özelliklerin belirlenmesi için numunelerin üretilmesi hedeflenmiştir. Deneme üretimleri neticesinde kimyasal özelliklerin mekanik özellikler üzerinde etkisi belirlenerek deneme üretimleri yapılan malzeme kalitesinde üretim amaçlanmıştır. Üretimi hedeflenen yeni nesil küresel grafitli dökme demirler için EN 1563:2012'te belirtilen mekanik özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. EN 1563'e göre Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demir Mekanik Özellikleri

Malzeme	Min. Akma Dayanımı* MPa	Min. Çekme Dayanımı* MPa	Uzama %
EN-GJS-500-14C	400	480	12
EN-GSJ-600-10C	450	580	8

* Et kalınlığı ≤ 30 mm için değerlerdir. İşlenmiş Malzemelerin mekanik özellikleri farklılık gösterebileceği belirtilmiştir.

EN1563:2012'de yeni nesil dökme demirler için referans kimyasal özellikleri Tablo 2'de verilmektedir. Ayrıca, paylaşılan kimyasal analizin beraberinde iki açıklamaya yer verilmiştir.

Tablo 2. EN 1563'e göre Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demirin Referans Kimyasal Özellikleri

Malzeme	Si % Ort. *	P % Maks.	Mn % Maks. **
EN-GJS-500-14	3,80	0,05	0,50
EN-GJS-600-10	4,30	0,05	0,50

* Si içeriği diğer elementlerin alaşımına göre daha düşük olabilir.

** Daha düşük Mn içeriği (Örneğin 0,30) işlenebilirlik ve uzama karakteristiklerini iyileştirir.

EN1563:2012'de yeni nesil dökme demirler için yüzey sertlik değerleri Tablo 3'de görülmektedir. Standart içerisinde yer alan not da tablo içerisinde sunulmuştur. Yeni nesil küresel grafitli dökme demirlerin bir diğer özelliği olan homojen yüzey sertliği malzemenin avantajları arasında yer almaktadır.

Tablo 3. EN 1563'e göre Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demirin Yüzey Sertlikleri

Malzeme	t ≤ 60 mm (HBW)	60 mm <t ≤ 200 mm (HBW)
EN-GJS-500-14	185- 215	170 – 200
EN-GJS-600-10	200 – 230	190- 220

En düşük sertlik değeri ferritik matris yapıda ve düşük silis içeriğinde erişilebilir. Sertlik değeri perlit miktarı ya da silikon içeriğindeki artış ile artacağı belirtilmiştir.

Ötektik karbürler sertliği arttırır, ancak normalde istenmeler ve sadece düşük miktarlarda bulunmalarının olası olduğu belirtilmiştir.

EN1563:2012'de yeni nesil dökme demirler için mekanik özellikler belirtilmiştir. Belirtilen özellikler Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. EN 1563'e göre Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demire Ait Özellikler

Özellik	Birim	Malzeme	
		EN-GJS-500-14	EN-GJS-600-10
Elastisite Modülü	GN/m ²	170	170
Poisson Oranı	-	0,28-0,29	0,28-0,29
Yorulma Dayanımı*(Çentiksiz)	MPa	225	275
Yorulma Dayanımı* (Çentikli)	MPa	140	165
Kırılma Tokluğu	MPa√m	72	65
Yoğunluk	kg/dm ³	7,0	7,0
Yapısal Matris	-	Ferritik	Ferritik

* Yorulma dayanımının Wöhler'e göre test edildiği belirtilmiştir.

Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demirin Mekanik ve Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi

Yeni nesil küresel grafitli dökme demir deneme üretiminin sonunda, numunelere metalürji laboratuvarında muayeneler gerçekleştirilmiştir. Deneme üretim yapılan numunenin; spektral analiz, mikro yapı, çekme ve sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Mesa Makina laboratuvar alt yapısında bulunan ekipman, makine ve teçhizatlar ile gerçekleştirilen test sonuçları değerlendirilmiştir.

Malzeme cinsini ve kimyasal içeriğinin belirlenmesi için kullanılan yöntemler arasında yer alan spektral analiz, döküm sektörü başta olmak üzere metal ve metal türevi malzemelerin muayenelerinde kullanılmaktadır. Çalışma içerisinde kullanılan spektral analiz cihazı Mesa Makina metalürji laboratuvar altyapısında bulunan Paschen-Runge yerleşimine sahip, Optimize edilmiş piksel yüksek çözünürlüğü ile 130-780 nm dalga boyunda 350 mm odaklanma mesafesinde sonuç verebilen metalografik spektral analiz cihazıdır.

Malzemenin mekanik özellikleri arasında yer alan sertlik ölçümü çeşitli yöntemler ile yapılmakta ve nitel olarak ifade edilmektedir. Mesa Makina metalürjik laboratuvarında yer alan Brinell sertlik ölçme cihazı ±4 HRB hassasiyetle 66,8 – 945 HRB aralığında ölçüm yapabilmektedir.

Malzemenin özellikleri arasında yer alan ve dökme demirlerin sınıflandırılmasın da kullanılan mikro yapı, Mesa Makina laboratuvar alt yapısında bulunan Metalografik mikroskop cihazı ile incelenmiştir.

Malzemenin mekanik özellikleri arasında yer alan mukavemet verilerinin tespitinde kullanılan en yaygın yöntem çekme testidir. Çalışmada verilerin elde edildiği cihaz Mesa Makina laboratuvar alt yapısında bulunan hidrolik çekme test cihazıdır, cihaz TSE 138 EN ISO 100002-01'e uygun, 4 kolonlu,

600 mm çekme 400 mm basma kapasitesine sahip 1/300000 kuvvet ölçüm rezilasyonuna sahip, 0.01 kN hassasiyetle 0-200 kN ölçüm aralığına sahiptir.

Bulgular ve Tartışma

EN 1563:2012 standardı verilerine uygun yeni nesil küresel grafitli dökme demir deneme üretimi gerçekleştirilmiştir. İki farklı malzeme kalitesi elde edilmek üzere gerçekleştirilen deneme üretiminde belirlenen niteliklerde malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

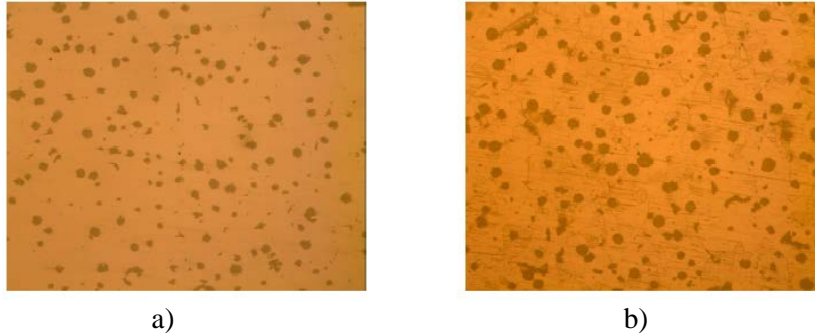
EN GJS 500-14 Bulguları

DIN EN 1563:2012-03 Standardının ekleri arasında yer alan EN-GJS-500-14 olarak tanımlanan malzemenin kimyasal kompozisyonu (bkz. Tablo 2) referans alınarak gerçekleştirilen deneme üretimi neticesinde alınan numune içeriğinde Tablo 5 içerisinde yer alan sonuç elde edilmiştir.

Tablo 5. EN-GJS-500-14 Üretimi Kimyasal Kompozisyonu

EN-GJS-500-14	DIN EN 1563:2012	Mesa Makina
Si %	3,80	3,79
P %	0,05	0,0254
Mn %	0,50	0,0302

DIN EN 1563:2021-13 Standardının ekleri arasında yeni nesil küresel grafitli dökme demir ile ilgili kısımda mikro yapı içeriğinde perlitik faz maksimum %5, sementit fazın %1'i aşmayacağı yer almaktadır. Üretim sonucu incelenen numunenin mikro yapı içerisinde %100 ferritik faz, 300 adet/mm² nodül sayısına ve EN ISO 941-1'de tanımlanan ana form V ve form VI'e uygun olması gerektiği belirtilen küre tipi form VI'e sahip olduğu gözlemlenmiştir. Numuneye ait mikro yapı görselleri Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. EN-GJS-500-14 Üretimi Mikro Yapısı

DIN EN 1563:2012-03 Standardının ekleri arasında yer alan EN-GJS-500-14 olarak tanımlanan malzemenin yüzey sertlikleri (Tablo 3) gerçekleştirilen deneme üretim ile karşılaştırılmıştır, Karşılaştırmanın neticesi Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. EN-GJS-500-14 Üretimi Yüzey Sertliği

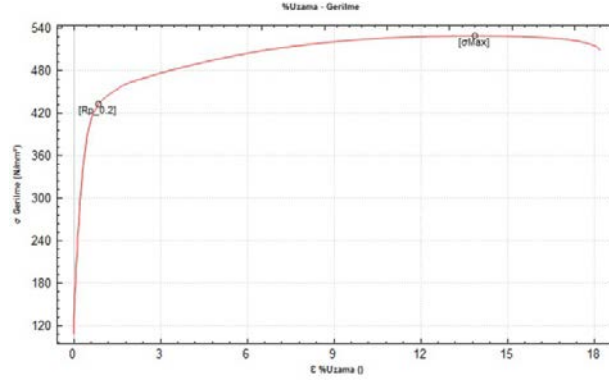
EN-GJS-500-14	DIN EN 1563:2012	Mesa Makina
Sertlik Değeri	185- 215 HBW	204 HBW

DIN EN 1563:2012-03 Standardının içeriğinde yer alan EN-GJS-500-14C olarak tanımlanan malzemenin mekanik özellikleri (Bkz. Tablo 1) gerçekleştirilen deneme üretim ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 7. EN-GJS-500-14 Üretimi Mekanik Özellikleri

EN-GJS-500-14C	DIN EN 1563:2012	Mesa Makina
Akma Dayanımı	400 Mpa	433,39 Mpa
Kopma Dayanımı	480 Mpa	529,83 Mpa
Uzama	12 %	%18,2

Test sonucu Gerilme-Uzama grafiği Şekil 2’de sunulmaktadır.



Şekil 2. EN-GJS-500-14 Üretimi Gerilme - % Uzama Grafiği

EN GJS 600-10 Bulguları

DIN EN 1563:2012-03 Standardının ekleri arasında yer alan EN-GJS-600-10 olarak tanımlanan malzemenin kimyasal kompozisyonu (bkz. Tablo 2) referans alınarak gerçekleştirilen deneme üretimi neticesinde alınan numune içeriğinde Tablo 8’de yer verilmiştir.

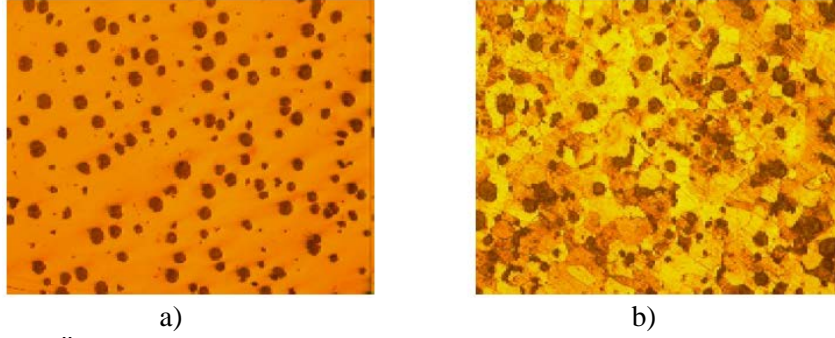
Tablo 8. EN-GJS-600-10 Üretimi Kimyasal Kompozisyonu

EN-GJS-600-10	DIN EN 1563:2012	Yeni Geliştirilen (Mesa Makina)
Si %	4,30	3,92
P %	0,05	0,0239
Mn %	0,50	0,367

DIN EN 1563:2021-13 Standardının ekleri arasında yeni nesil küresel grafitli dökme demir ile ilgili kısımda mikro yapı içeriğinde perlitik faz maksimum %5, sementit fazın %1’i aşmayacağı yer almaktadır. Üretim sonucu incelenen numunenin mikro yapı içerisinde %100 ferritik faz, 300 adet/mm² nodül sayısına ve EN ISO 941-1’de tanımlanan ana form V ve form VI’e uygun olması gerektiği belirtilen küre tipi form VI’e sahip olduğu gözlemlenmiştir. Numuneye ait mikro yapı görselleri Şekil 3’te yer almaktadır.

Yeni nesil küresel grafitli dökme demirlerin standart özelliği, mikroyapılarında perlitik fazın max %5 oranında bulunmasıdır. Bunun nedeni temel olarak; silisyum elementinin ferritik matriks içerisine girmesiyle beraber, ferrit içerisindeki karbon çözünürlüğünü azaltması ve karbon atomlarının perlit (α -Fe₃C) oluşturmak yerine, grafit üzerine çökmesini veya grafit olarak oluşmasını sağlamasıdır. Bu nedenle bu dökme demirlerde aşılama da büyük önem arz eder. Etkif bir aşılama yapmak şarttır.

Klasik küresel dökme demirlerde sertlik ve mukavemet artışı perlit yapıcı elementlerle (Cu,Sn,Cr, Mo, Mn vd.) sağlanırken, yeni nesil küresel dökme demirlerde sertlik ve mukavemet artışı silisyum elementi artışıyla sağlanır. Silisyum elementinin atom çapı, demir elementinden küçüktür ve bu ferrit matris içinde kristal büzülmeye neden olur.



Şekil 3. EN-GJS-600-10 Üretimi Mikroyapısı

DIN EN 1563:2012-03 Standardının ekleri arasında yer alan EN-GJS-600-10 olarak tanımlanan malzemenin yüzey sertlikleri (Bkz. Tablo 3) gerçekleştirilen deneme üretim ile karşılaştırılmıştır, karşılaştırmanın neticesi Tablo 9'da yer almaktadır (Standards Germany, 2012).

Tablo 9. EN-GJS-600-10 Üretimi Yüzey Sertliği

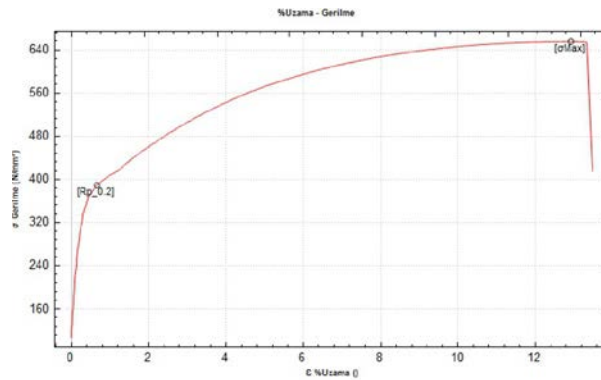
EN-GJS-600-10	DIN EN 1563:2012	Yeni Geliştirilen (Mesa Makina)
Sertlik Değeri	200 – 230	211 HBW

DIN EN 1563:2012-03 Standardının içeriğinde yer alan EN-GJS-600-10C olarak tanımlanan malzemenin mekanik özellikleri (Bkz. Tablo 1) gerçekleştirilen deneme üretim ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma Tablo 10'da yer almaktadır (Standards Germany, 2012).

Tablo 10. EN-GJS-600-10 Üretimi Mekanik Özellikleri

EN-GJS-600-10C	DIN EN 1563:2012	Yeni Geliştirilen (Mesa Makina)
Akma Dayanımı	450 Mpa	401,24 Mpa
Kopma Dayanımı	580 Mpa	659,22 Mpa
Uzama	8 %	%11,1

Test sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 4'te sunulmaktadır.



Şekil 4. EN-GJS-600-10 Üretimi Gerilme-Uzama Grafiği

Elde edilen sonuçlar neticesinde; EN-GJS-600-10C deneme üretiminin akma dayanımını EN 1563:2012 standardında yer alan değerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir (Standards Germany, 2012). Malzeme mekanik özellik olarak akma dayanımının altında kalırken, kopma dayanımının %13,5 üzerinde olduğu görülmüştür. Akma dayanımı ile kopma dayanımı arasında oluşan plastik bölgenin plastik şekillendirme prosesi için avantaj sağlayacağı bilinmektedir. Plastik deformasyon aralığı geniş olarak elde edilen sonuç, plastik şekil verme yöntemine elverişli olarak nitelendirilebilir. Basınçlı kap, muhafaza gibi kopma dayanımının yüksek olmasının talep edildiği kullanım alanlarında emniyet parçası olarak kullanım alternatifini oluşturmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Üretim yöntemleri arasında geometri ve seri üretim maliyetlerinde sağladığı avantaj ile ön plana çıkan döküm yöntemi malzeme ve metalürji alanında tasarım ve uygulamalarda avantaj sahibidir. Mekanik olarak mukavemet dayanımı, süneklik, sertlik gibi özelliklerinin yanı sıra alaşımlar ile hafif, sünek ve kimyasal aşınma direnci yüksek malzeme kompozisyonları ile üretime imkân sağlamaktadır (Özüsta, 2021). Bu çalışmada ele alınan yeni nesil küresel grafitli dökme demirler EN GJS 500-7 ve EN GJS 600-3 olarak adlandırılan dökme demirlere göre akma dayanımı ve süneklik konusunda avantajlı konumdadır. Sertlik ve sertliğin yüzeyde homojen dağılımı, yeni nesil dökme demirlerin literatürde yer alan avantajlarındandır. Çalışma neticesinde üretimi gerçekleştirilen EN 1563: 2012 standardına yer alan EN GJS 500-14 ve EN GJS 600-10 tanımlarına uygun olarak gerçekleştirilen malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiş, çalışmanın standartta yer alan tanım ve özellikler referans alındığında yeni nesil dökme demir tanımına paralel iyileştirme elde edildiği gözlemlenmiştir (Standards Germany, 2012).

Çalışma neticesinde elde edilen sonuç ile raylı sistem teknolojileri, savunma sanayi, tarım makineleri, ağır vasıta araçlar ve iş makinelerinin özellikle taşıyıcı sistemlerinde kullanımı artmakta olan ve mevcut kullanımda optimizasyonlar ile malzeme değişikliği yapılan parçaların Mesa Makina üretim kapasite ve yetkinliklerinde üretilebileceği anlaşılmıştır. Malzeme kompozisyonunda yer alan değişiklik ve Si elementinin yüksek oranda kullanılması sebebiyle üretim esnasında yaşanacak olumsuzluklar önleyici faaliyet olarak FMEA (Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi) uygulamaları ile ele alınmalıdır. Si elementinin parça geometrisi üzerine homojen malzeme dağılımı ve olası döküm hatalarına sebebiyet vereceği literatürde yer alan başlıca riskler olarak yer almaktadır.

Elde edilen sonuç neticesinde, üretim ve tasarım aşamasında tercih edilen, tasarım iyileştirmeler ile malzeme optimizasyonu ile malzeme değişikliği ile tercih edilen yeni nesil küresel grafitli dökme demir kullanımı için özellikle raylı sistemlerin aktarma sistemleri, savunma sanayi sistemleri, yenilenebilir enerji sistemi güç aktarma bileşenleri, tarım makinelerinin taşıyıcı sistemleri, iş makinelerinin taşıyıcı sistemleri, otomotiv süspansiyon sistemleri ve ticari araç süspansiyon sistemleri bileşenleri üzerinden iyileştirmeler yapılabilir. Elde edilen sonuç neticesinde literatürde yer alan riskler öngörülerek optimum şartlarda üretim ile katma değer sağlanabilir. Döküm konusunda oldukça önemli seviyede üretim kapasitesine sahip olan ülkemiz ekonomisi için katma değerli üretim yapılabilir.

Yazar Katkısı

Hüseyin Gümüş deneylerin gerçekleştirilmesinde, *Süleyman Başbuğ* deney numunelerin hazırlanması ve içyapı incelemelerinde, *Samet Tekelioğlu* deneysel yöntemin oluşturulması ve sonuçların yorumlanması ve *Murat Dilmeç* deney sonuçlarının elde edilmesi ve yorumlanmasında görev almıştır. Yazarlar makaleyi birlikte yazdı, okudu ve onayladı.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

ORCID

Hüseyin Gümüş  <https://orcid.org/0000-0002-1752-0358>

Süleyman Başbuğ  <https://orcid.org/0000-0002-6190-8288>

Samet Tekelioğlu  <https://orcid.org/0000-0002-1432-5557>

Murat Dilmeç  <https://orcid.org/0000-0002-5345-9822>

Kaynaklar

- Glavas, Z., Strkalj, A. ve Stojakovic, A. (2016). The properties of silicon alloyed ferritic ductile irons. *Metalurgija*, 55(3), 293–296. <https://hrcak.srce.hr/153603>
- Larker, R. (2008). *Solution strength ferritic ductile iron ISO 1083/JS/500-10 offer superior and consistent properties in hydraulic rotators* [Sözlü sunum]. Keith Millis Symposium on Ductile Cast Iron, İsveç.
- Okunnu, R. (2015). *High strength solution-strengthened ferritic ductile cast iron* [Yüksek lisans tezi]. Aalto University School of Engineering, Finlandiya.
- Olsson, A. (2011). *Fatigue strength of truck components in cast iron* [Yüksek lisans tezi]. Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Özüsta B., (2021). *Katı çözeltiyle güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demirlerde aşınma davranışına etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Bayburt üniversitesi, Türkiye.
- Standards Germany (2012). Founding – Spheroidal Graphite Cast Irons. DIN: EN: 1563:2012-03. Berlin, Germany.
- Stets, W., Löblich, H., Gassner, G. ve Schumacher, P. (2014). Solution strengthened ferritic ductile cast iron properties, production and application. *International Journal of Metalcasting*, 8(2), 35-40. <https://doi.org/10.1007/BF03355580>
- Şirin, B., Erkan, B., Başkaya, U., Sekmen, E. ve Bitişyılmaz H. (2017). *Yeni nesil ferritik sfero dökme demirlerin binek, ticari ve ağır iş makineleri döküm parçalarında kullanımları ve mekanik özelliklerinin klasik dökme demirler ile karşılaştırılması* [Sözlü sunum]. Tüdöksad Akademi 9. Döküm Kongresi. Eskişehir, Türkiye.
- Torre, U. D., Loizaga, A., Lacaze, J. ve Sertucha, J. (2014). As cast high silicon ductile irons with optimised mechanical properties and remarkable fatigue properties. *Materials Science and Technology*, 30(12), 1425–1431. <https://doi.org/10.1179/1743284713Y.0000000483>