

## **G GG-60 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR ÜRETİMİNDE AŞILAYICI TÜRÜ VE MİKTARININ İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Erdal KARADENİZ<sup>1</sup>, Murat ÇOLAK<sup>2\*</sup>, Fadıl BARUTÇU<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye

*Geliş / Received:* 22.06.2016

*Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form:* 01.08.2016

*Kabul / Accepted:* 01.08.2016

### **ÖZ**

KGDD ailesinden GGG-60, yüksek aşınma direnci ve mukavemet değerlerine sahip olabilen bir metaldir. Ayrıca döküm yöntemleriyle şekillendirildiklerinden uygun maliyetlerde ve seri bir şekilde iş parçaları elde edilebilmektedir. Döküm yöntemleriyle şekil vermede ürün içyapıları, dolayısıyla da mekanik özellikleri üzerinde katılma aşaması çok etkilidir. Homojen ince taneli grafitlerden oluşan içyapı üstün mekanik özellikleri nedeniyle istenilen bir ürün içyapısıdır. KGDD malzemelerin katılma aşamasında aşılama işlemi ve aşılama çeşitleri istenilen mekanik özellikleri elde etmek için en önemli faktördür. Ticari üretim yapan dökümhaneler arasında piyasada kullanım bulan çok farklı aşılama malzemeleri bulunmaktadır. Ayrıca bunların ilave miktarları ve yöntemleri dökümhaneye bağlı farklılık göstermektedir. Bu sebeple çalışmada piyasada en yaygın kullanım bulan 3 farklı aşılama ve 2 çeşit aşılama farklı oranlarda kullanılarak GGG-60 malzeme ile döküm deneyleri yapılmıştır. Böylece aşılama türü ve miktarına bağlı olarak üretilen malzemenin içyapı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. İçyapı değerlendirmeleri optik mikroskop, mekanik özellikler ise çekme dayanımı ve sertlik değerleri sonuçları olarak sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Küresel grafitli dökme demir, aşılama, GGG-60, mikro yapı, mekanik test

## **INVESTIGATION OF IMPACT OF AMOUNT AND TYPE OF INOCULANTS ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF GGG60 SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRONS**

### **ABSTRACT**

A ductile iron metal GGG-60 has a major abrasion resistance and strength value. In addition, since they can be formed by casting methods, parts can be obtained rapidly and cost effectively. The solidification step has an important impact on products internal structure and thereby on the mechanical properties in giving form by casting methods. Because of its excellent mechanical properties, the microstructure consisted of homogeneous fine-grained graphite is a desired product microstructure. The most important factors in solidification phase of ductile irons are inoculation and inoculant types to achieve the desired mechanical properties. Among the commercial foundries, many different inoculant materials are found use in the market. As well as their addition amounts and methods varies depending on the foundry. Therefore, in this study, the most commonly used three different types of inoculants, and different ratios of two types of inoculants were used for GGG-60 material casting experiments. Thus, the effects of type and amount of inoculant on microstructure and mechanical properties of the material were investigated. Internal structure evaluations are presented as optical microscope data, and mechanical properties are presented as data of tensile strength and hardness results.

**Keywords:** Spheroidal graphite cast iron, inoculant, GGG-60, microstructure, mechanical test

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 458 211 1177; e-mail/eposta: mcolak@bayburt.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Dökme demirlerin çok geniş aralıkta değişen mukavemet, sertlik, korozyon direnci, kolay işlenebilme, aşınmaya dayanıklılık ve titreşimleri yutma gibi özellikleri vardır. Bu özelliklerin yanı sıra ekonomik olması dökme demirlere çok geniş bir kullanma alanı açmıştır. Dökme demirlerde karbonun katılma sonrası içyapıda oluşturduğu şekil ve biçim dökme demirin tipini belirlemektedir. Dökme demirlerde değişik gurupların oluşumunu, malzemenin kimyasal kompozisyonu, soğuma hızı, üretim yöntemi, üretimden sonraki ısı işlem yöntemleri gibi değişkenler belirlemektedir [1, 2].

Küresel grafitli dökme demir (KGDD), dökümden önce ergiyik demire çok küçük miktarda magnezyum veya seryum gibi küreleştirici ilaveler yapılarak aşılama işlemi sonucu karbonun grafit küreleri şeklinde olduğu dökme demir türüdür. KGDD'ler, gri dökme demirlerin başlıca avantajları olan düşük ergime derecesi, iyi akışkanlık ve iyi işlenebilirlik özelliklerine sahip olmasının yanı sıra çeliğin mühendislik açısından avantajı olan yüksek mukavemet, süneklik ve tokluk gibi özelliklere de sahiptir. Bu sebeple dökme demir grubu içerisinde en çok tercih edilen malzemelerdir [2, 3]. KGDD ailesinden GGG-60 yüksek aşınma direnci ve mukavemet değerlerine sahip olabilen bir metaldir. Bu sebeple özellikle kırıcı gövdeleri, konveyör dirsekleri, pres makinaları, krank pres dişlileri, pompalar gibi malzemelerin üretiminde tercih edilmektedir.

Döküm yöntemleriyle şekil vermede ürün içyapıları, dolayısıyla da mekanik özellikleri üzerinde katılma aşaması çok etkilidir. Homojen ince taneli grafitlerden oluşan içyapı üstün mekanik özellikleri nedeniyle istenilen bir ürün içyapısıdır. KGDD malzemelerin katılma aşamasında küreleştirme işlemi, aşılama işlemi istenilen mekanik özellikleri elde etmek için en önemli faktördür.

Küreleştirme işlemi dökme demir içerisindeki küre şekilli grafitleri oluşturmak için en yaygın kullanılan Mg ve bunun dışında Ca, Ce gibi bazı diğer toprak metallerinin sıvı metale katılması ile gerçekleştirilir. Küreleştirme işlemi için ilave edilmesi gereken alaşım elementi miktarı, dökme demirin ana bileşimindeki kükürt ve oksijen miktarlarına büyük ölçüde bağlıdır. Küreleştirme esnasında sıvı metale ilave edilen elementlerin reaksiyon şiddetini azaltmak ve optimum metalürjik şartları sağlamak için başka elementlerle alaşımlandırılarak ve buharlaşmanın minimum olacağı şekilde tasarlanmış özel potalarda işleme tabi tutulur. Nihai alaşımda istenen kalıcı Mg miktarı %0,04 ile %0,05 aralığında kontrol edilmelidir [4, 5]. KGDD üretiminde Mg ile küreleştirme işleminin etkisi, oksidasyon ile magnezyumun yanması başta olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olarak zamanla azalmaktadır. Etki kaybının artması ile nihai döküm yapısında oluşan hücre sayısının azalması ve grafit şeklinin bozulması şeklinde sonuçlar ortaya çıkarır [6]. KGDD küreleştirme ve ilave yöntemleri için kullanılan çeşitli Mg alaşımları Tablo 1'de verilmiştir. Bireysel bir dökümhane için işlem yönteminin seçimi önemlidir ve birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

**Tablo 1.** Tipik Mg küreselleştirme alaşımları ve kullanılan ekleme yöntemleri [7]

Alaşımlar	İlave Etme Metodu
NiMg	Açık Pota
CuMg	
FeSiMg (%3-5)	Sandviç, Tandış kapak
FeSiMg (%5-7)	Flotret, İnconod, Kalıp içinde
FeSiMg (%8-10)	Gazal
FeMg pelletleri (%6-10)	
Mg kaplı tel	Daldırma, Dönen pota
Mg kok	Daldırılmış ilaveli pota
FeSiMg (%30-40)	
Saf Mg çubuk	Konvertör, Basıncılı pota
Saf Mg toz	Daldırma, Enjeksiyon

KGDD üretiminde aşılama katılmasındaki amaç; malzemenin düzensiz şekilde katılmasını önlemek, grafit kürelerinin fazla büyümesini önlemek ve karbür oluşumunu azaltmaktır. Böylece istenilen düzgün şekilli küresel grafitler elde edilebilir. Aşılama için bir nevi çekirdeklenme noktalarının sayısını arttıran işlemde denilebilir [8]. Dökme demirlerde aşılamanın etkisi ile çekirdek merkezi sayısı artırılarak karbon atomlarının daha kısa mesafeye ulaşması için yeterli zaman bulma şansı çoğalacağından, ince taneli küçük grafit parçaları oluşur, böylelikle de dökme demirde kesit hassasiyeti azaltılarak grafitin oluşumu kontrol edilmektedir [9]. Aşılama hangisi oranda ilave edileceği ise çok sayıda değişkene bağlıdır. Başlıca değişkenleri, sıvı metal bileşimi, döküm sıcaklığı, dökülen parça kalınlığı, kalıp malzemesi, ergitme ortamı ve döküm süresi olarak saymak mümkündür.

## GGG-60 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR ÜRETİMİNDE AŞILAYICI TÜRÜ VE MİKTARININ İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Aşılama maddesinin boyutu hızlı ergiyecek kadar küçük ve hemen okside olmayacak ve aniden patlama yapmayacak kadar büyük olmalıdır. Bir genelleme olarak iyi bir sonuç almak için mümkün olduğu kadar geç aşılama gerekir, aşılama sonrası geçen zamanla aşılamanın etkisi kaybolduğu gibi bu zaman ısı kaybına da yol açmakta ve azalan ısı grafit küre sayısını da azaltmaktadır [10].

KGDD'e ilave edilen aşılama maddelerinin çoğunu çok bileşenli Ferro-Silisyum teşkil etmektedir. Diğer aktif aşılama maddeleri; Ca, Al, Ba, Sr gibi elementlerdir. Bu aşılama maddeleri çeşitli sınıflar halinde üretilirler. En çok bilinenleri %50-80 Si içerenlerdir. Bu aşılama maddeleri çoğunlukla kalsiyumda içerirler. Bazı aşılama maddeleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Bazı aşılama maddelerinin nominal kimyasal bileşimleri (%)

No	Si	Ca	Al	Ba	Mn	Mg	NaNO <sub>3</sub>	Fe
1	75	15	1	-	-	-	-	Kalan
2	63	20	1	5	10	-	-	Kalan
3	63	10	0,75	1	-	-	-	Kalan
1-4	50	0,75	1	-	-	1,25	-	Kalan
1-5	61	0,50	-	-	-	1,25	10	Kalan

Aşılama başarısı iki ana faktöre bağlıdır. Bunlar sıvı metal kalitesi ile ilave edilen aşılama maddesinin kalitesi ve miktarıdır. Aşılama maddesinin hangi oranda ilave edileceği ise çok sayıda değişkene bağlıdır. Değişkenlerin başlıcaları; sıvı metal bileşimi, döküm sıcaklığı, dökülen parça kalınlığı, kalıp malzemesi, ergitme ortamı ve döküm süresidir. Dolayısıyla çok sayıda değişken sabit bir aşılama oranının tespitini imkânsızlaştırmaktadır. KGDD'le yapılan deneyler, %75 veya %85'lik ferro silisyumun %0,5-1,0 (döküm parça kesit kalınlığına göre) oranlarında ilavesinin en iyi sonuçları verdiğini göstermektedir. %75 ferro silisyum aşılama maddelerinin miktarlarının artırılması küresel grafit miktarını artırır [11-14]. Aşılama maddeleri kesit kalınlığı arttıkça zaman daha etkili olmaktadır [15].

KGDD üretimindeki, küreselleştirme ve aşılama işlemleri ve bu işlemlerin etkileri birçok faktöre bağlı olarak değişiklik göstererek nihai ürün mikro yapısına ve döküm kalitesine doğrudan etki etmektedir. Dökümhaneler arasında özellikle üretilecek olan dökme demir tipine bağlı olarak aşılama maddesi seçimi ve aşılama maddesi ilave miktarı değişiklik göstermektedir. Bu sebeple çalışmada GGG-60 tipi KGDD üretiminde piyasada yaygınca kullanım bulan 3 farklı aşılama maddesi, tedarikçi firmaların tavsiyeleri doğrultusunda ilave edilen miktarlara göre değişen oranlarda ilave edilerek numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler metalografik olarak hazırlanarak mikro yapı incelemeleri ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Döküm deneyleri ticari olarak üretim yapan orta ölçekli bir dökümhanede yapılmıştır. Sonuç olarak GGG-60 malzeme üretiminde farklı aşılama maddesi ve oranlarında metalografik ve mekanik özellikler bakımından ne gibi farklılıklar oluşacağı incelenmiş, deneyler yapılmış ve bunlara bağlı olarak sonuçlar elde edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada yapılan döküm deneyleri ticari olarak faaliyet gösteren bir dökümhanede gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'de döküm deneylerinde kullanılan aşılama maddesi türü ve miktarları verilmiştir. Ürünler ticari olarak kullanım bulduğundan ilgili ürünlerin isimleri yazılmamış ve ürünler kodlanarak verilmiştir. Aşılama maddesi ilave miktarları; ilgili aşılama maddesi için tedarikçi firma için tavsiye edilen değerlere göre deney parametreleri belirlenmiştir.

**Tablo 3.** Döküm deney parametreleri

Deney	Aşılama maddesi Çeşidi	Aşılama maddesi Boyutu (mm)	İlave miktarı (%)
1	İlavesiz	---	---
2	1. Aşılama maddesi	3 – 6	0,2
3	2. Aşılama maddesi	1 – 3	0,2
4	2. Aşılama maddesi	1 – 3	0,5
5	3. Aşılama maddesi	0,2 – 0,5	0,2
6	3. Aşılama maddesi	0,2 – 0,5	0,5

E. KARADENİZ, M. ÇOLAK, F. BARUTÇU

Çift taraflı plak model olarak hazırlanan sandık tipi derece içerisinde kum kalıpların hazırlanmasında CO<sub>2</sub> gazı ile sertleşen reçineli kum (%2,5 reçine + kuru silis kumu) kullanılmıştır. Kalıplama işlemi sonrası hazırlanan kalıp dereceye ve modellere verilen koniklik sayesinde rahatça modelden ayrılabilir. Hazırlanan kalıplar birbirine merkezleme maçaları ile yerleştirilmekte ve dereceler kapatıldıktan sonra plakalar arasında işkence ile sıkıştırılarak döküme hazır hale gelmektedir. Şekil 1’de döküm deneylerinde kalıpların hazırlanmasında kullanılan model plakası ve döküme hazır kalıp görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Model plakası ve döküme hazır kalıp görüntüsü.

Çalışmada deney parametresine uygun olarak Tablo 3’te görüldüğü gibi aşılmalı eleman ilaveleri GGG-60 standardı malzeme içerisinde yapılmıştır. Aşılmalı ilave yöntemi, işlem potası döküm sıcaklığı gibi parametreler her deney için sabit tutulmuştur. Döküm numuneler katılma ve soğuma sonrası kalıp içerisinden çıkarılarak kumlama işlemi uygulanmıştır. Şekil 2’de döküm numunelere ait fotoğraf görüntüsü mevcuttur. Aşılmalı farkı ve miktarının etkisinin incelenmesi için numuneler mikro yapı incelemeleri, sertlik ve çekme testlerine tabi tutulmuştur.



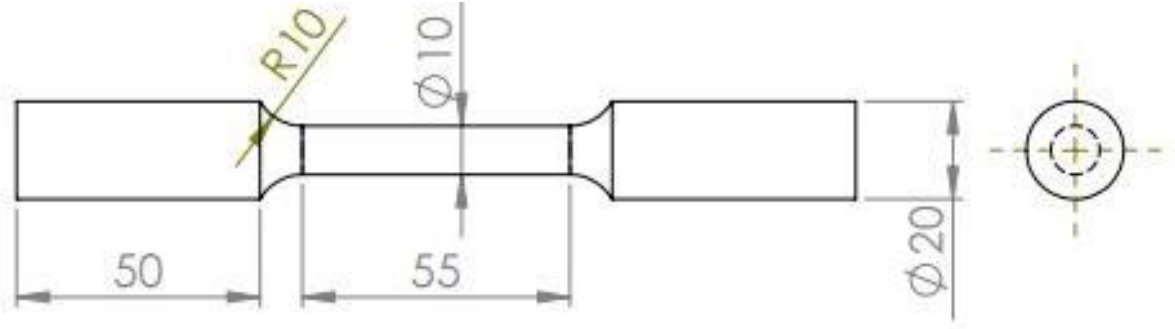
Şekil 2. Döküm deneylerinden elde edilen numunelere ait fotoğraf görüntüsü

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Mekanik Test İncelemeleri

Döküm numunelere mekanik test deneyleri kapsamında sertlik incelemeleri ve çekme dayanımı incelemeleri yapılmıştır. Sertlik incelemeleri için döküm parça alt ve üst yüzeyler 180 gritlik zımpara ile zımparalanmıştır. Sertlik deneyleri 187,5 kg yükte 2,5 mm çaplı bilya ile yapılmıştır. Çekme testi için dökülen çubuklar CNC işleme tezgahlarında Şekil 3’de verilen ölçülere göre hazırlanmıştır. Çekme testi numuneleri sırasıyla çekme cihazında çekme kuvvetlerine maruz bırakılmış ve maksimum gerilme ve yüzde uzama değerleri elde edilmiştir.

*GGG-60 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR ÜRETİMİNDE AŞILAYICI TÜRÜ VE MİKTARININ İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ*



Şekil 3. Çekme Testi numunesinin ölçüleri.

Çekme testleri sonucunda elde edilen numunelere ait fotoğraf görüntüsü Şekil 4’de verilmiştir. KGDD üretimindeki uygunluğun kontrolüne yönelik yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Çekme testi sonucu numunelerin kırılma görüntüsü.

Çekme deneyi sonucu elde edilen değerler GGG-60 malzemeden beklenen özelliklerin altında kalmaktadır. Bunun nedeninin yüzey işleme sırasında gözle görülemeyecek küçük çentiklerden ötürü olabileceği düşünülmektedir. Ancak numuneler kendi içlerinde karşılaştırıldıklarında en düşük mukavemeti mikro yapısı yetersiz ve heterojen küreselleşen 1. numune ve aşılایıcı tane boyutu diğerlerine nazaran büyük olan 2. numune vermektedir. En yüksek mukavemet değerini %0,5 oranında ve tane boyutu daha küçük aşılایıcının kullanıldığı 6. numune vermektedir. KGDD’lerin mikro yapısında bulunan küreler yağlayıcı gibi özellik göstererek malzemenin mukavemetini arttırdığı düşünülmektedir. Yine aynı şekilde kullanılan oranlara göre inceleme yapıldığında %0,5 aşılایıcı kullanılan 4. ve 6. numunelerin sırasıyla %0,2 aşılایıcı kullanılan 3. ve 5. numunelere göre daha mukavim oldukları anlaşılmıştır. Yapılan sertlik incelemeleri sonucunda aşılایıcı ilavesine bağlı olarak sertlik değerlerinde düşüş görülmüştür. Literatürde aşılایıcı ilavesinin mekanik özelliklere etkisinin incelendiği benzer çalışmalarda sonuçların tutarlı olduğu gözlenmiştir [16, 17]. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde dökme demir çeşidi ve aşılایıcı ilavelerine bağlı olarak değişen oranlarda çekme dayanımı değerlerinde artış ve sertlik değerlerinde azalma tespit edilmiştir.

**Tablo 4.** Çekme Testi sonuçları

Deney No	İnce Aşılama(kalıpta)	İlave Miktarı (%)	Sertlik Değeri (HBN)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1	İlavesiz	-	220,4	434,0	348,9	8,7
2	1. Aşılama (3-6 mm)	0,2	213,3	485,6	371,8	10,9
3	2. Aşılama (1-3 mm)	0,2	211,2	533,9	426,8	9,2
4	2. Aşılama (1-3 mm)	0,5	206,5	551,3	396,5	10,3
5	3. Aşılama (0,2-0,5 mm)	0,2	208,7	550,6	403,6	10,8
6	3. Aşılama (0,2-0,5 mm)	0,5	205,4	577,1	445,1	9,7

### 3.2. Mikro yapı İncelemeleri

Döküm numuneler mikroyapı incelemeleri için bakalite alınmış ve sırasıyla 180, 320, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanmıştır. Sonrasında 6 ve 3  $\mu\text{m}$ 'lik elmas pasta süspansiyonu ile keçe üzerinde parlatılmıştır. Parlatma sonrası numunelerin mikro yapı fotoğrafları Nikon marka Eclipse L150 model optik mikroskopta çekilmiştir. Bu fotoğraflar Clemex Vision Lite İmaj Analiz programında işlenmiştir. Böylece her bir numuneye ait küresellik yüzdesi, küresel grafitlerin kapladığı yüzde alan, yapıda ortalama küre sayısı ve ortalama küre çapı tespit edilmiştir. Tablo 5'de numunelerden elde edilen sonuçlar görülmektedir.

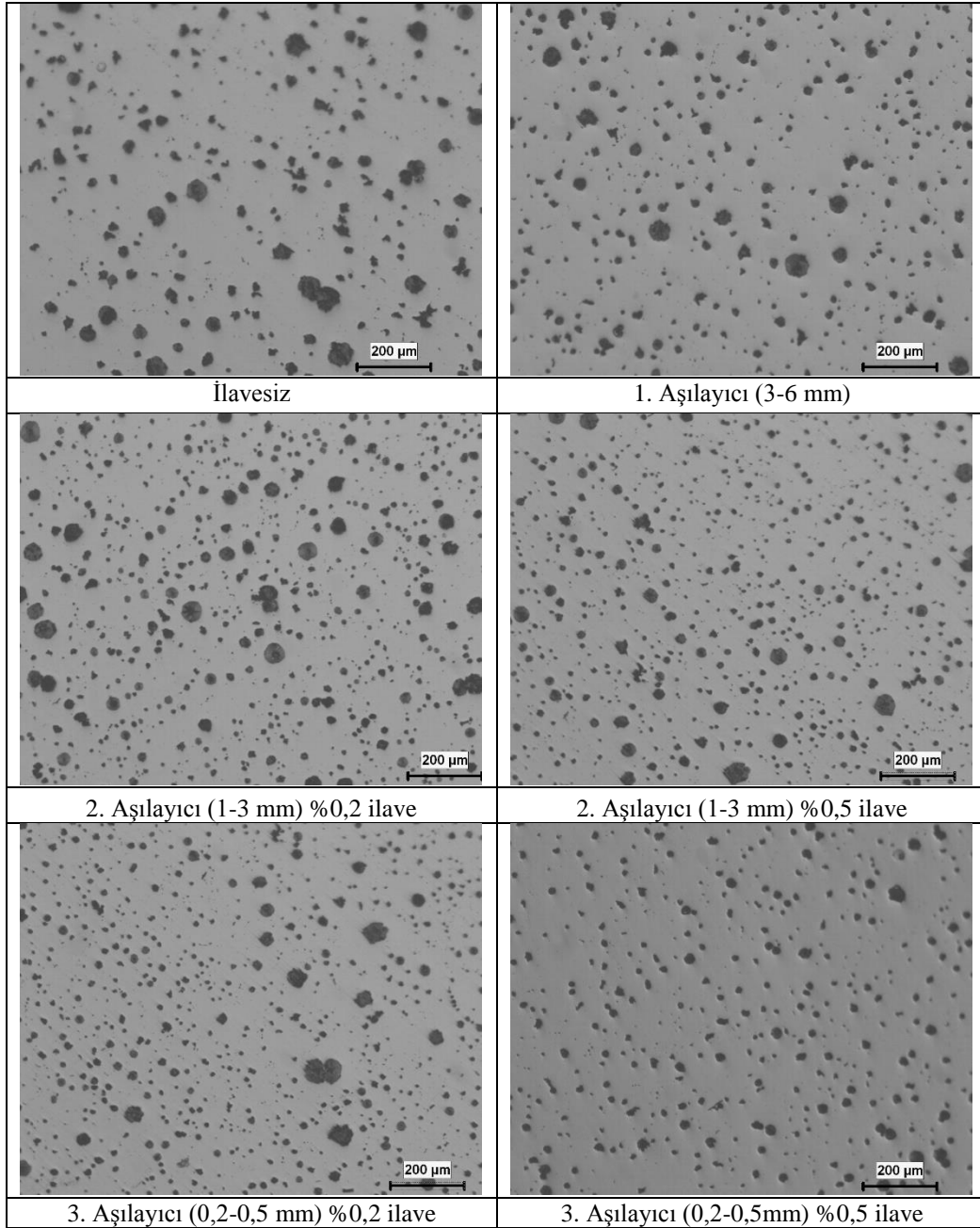
**Tablo 5.** Mikro yapı imaj analiz ölçüm sonuçları

Numune	% Küresellik	Küre çapı ( $\mu\text{m}$ )	% Küresel Grafit miktarı	100X Büyütmede Küre Sayısı
İlavesiz	72,3	19,1	9,9	208
1. Aşılama (3-6 mm) %0,2	80,4	16,3	10,1	246
2. Aşılama (1-3 mm) %0,2	83,3	14,9	10,5	255
2. Aşılama (1-3 mm) %0,5	84,2	14,4	10,4	267
3. Aşılama (0,2-0,5 mm) %0,2	86,6	14,1	10,4	295
3. Aşılama (0,2-0,5 mm) %0,5	87,8	13,7	10,6	306

İmaj analiz sonuçları incelendiğinde aşılama ilave edilen dökümlerin % küresellik değerlerinin, küre sayısı ve küresel grafit çaplarının uygun olduğu anlaşılmaktadır. Aşılama miktar ve boyutlarına bağlı olarak sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte değişkenlik göstermektedir. Aşılama çeşidine bağlı olarak ebatlar küçüldükçe aşılama etkisi daha iyi olmakta nihai mikro yapıda ortaya çıkan küre çapı ve küresellik yüzdesi artmaktadır. İlave edilen miktar arttırıldıkça mikro yapı üzerinde olumlu etkiler göze çarpmaktadır. Aşılama ilave edilmeksizin yapılan dökümlere ait ölçümlerde GGG-60 standardı malzeme için gerekli %80 küresellik değeri ve küre adedi hedeflerine ulaşamadığı tespit edilmiştir. Ancak aşılama ilave edilerek yapılan dökümlerin her biri standart değerleri sağlamaktadır. Bu sebeple dökümhanenin aşılama tercihinde ekonomikliği de göz önünde bulundurularak %0,2 oranında seçim yapması uygun olacaktır. Mikro yapı resimleri de imaj analizde alınan nicel değerleri görsel olarak destekler niteliktedir. Şekil 5'te numunelerden elde edilmiş 50X büyütmede parlatma sonrası çekilmiş mikro yapı fotoğrafları verilmiştir.

Farklı element ilavelerinin farklı kalınlıktaki KGDD üretiminde mikro yapı üzerinde etkisinin incelendiği ve nodül sayılarının belirlendiği çalışmada kesit kalınlığının incelenmesi ve aşılama özellikteki elementlerin ilavesi ile küre çapının azaldığı ve küre sayısının arttığı tespit edilmiştir [18]. Farklı aşılama kullanılarak yapılan çalışmalarda; çeşidine bağlı olarak değişimle birlikte aşılama ilavesi ile döküm içyapısında oluşan kürelerin daha düzgün yapıda oluşarak % küresellik değerlerinin arttığı, ortalama küre çapının azalarak, birim alana düşen küre sayılarının arttığı tespit edilmiştir [17, 19].

**GGG-60 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR ÜRETİMİNDE AŞILAYICI TÜRÜ VE MİKTARININ İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**



Şekil 5. Numunelere ait parlatma sonrası çekilen mikro yapı görüntüleri (50X)

#### 4. SONUÇLAR

Ticari olarak kullanımı bulunan üç farklı aşılایıcı elementin farklı kombinasyonlarda kullanılarak KGDD üretimindeki uygunluğunun kontrolüne yönelik yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özet şekilde sıralanmıştır.

- 1- Tane boyutu daha ince aşılایıcı kullanılan numunelerin tane boyutu büyük olan aşılایıcı kullanılan numunelere göre daha üstün mekanik özellikler gösterdiği anlaşılmıştır.
- 2- Aşılایıcı ilave edilerek yapılan dökümlerden elde edilen numunelerden parlatma sonrası yapılan mikro yapı incelemeleri yapıda oluşan grafit kürelerini şeklinin uygun olduğu, küre çapının ortalama 15 µm civarında olduğu ve mm<sup>2</sup> başına düşen küre sayısının standartlarda gerekli değerler içerisinde olduğu tespit edilmiştir.
- 3- Aşılایıcı ilave edilmeden yapılan dökümler KGDD standartlarına uygun olmadığı tespit edilmiştir.

E. KARADENİZ, M. ÇOLAK, F. BARUTÇU

- 4- Döküm numuneler üzerinde yapılan sertlik testi incelemelerinde; sertlik değerleri 205-225 HBN arasında değişiklik göstermiştir. Aşılmalı ilavesi ile sertlik oranlarında azalma tespit edilmiştir.
- 5- Aşılmalı çeşidi ve miktarına bağlı olarak yapılan çekme testi sonuçlarında da farklılıklar gözlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde %0,2 oranında aşılmalı ilave edilen döküm numunelerin çekme testi sonuçlarının, %0,5 aşılmalı ilave edilen döküm numunelere göre düşük olduğu gözlenmiştir. Aşılmalı etkisinin aşılmalı ebatlarına bağlı olarak değiştiği ve daha küçük ebatlı aşılmalıların ilavesinde mekanik değerlerin arttığı gözlenmiştir. Çekme dayanımı değerleri aşılmalı ilavesiz dökümde 433 MPa iken en kaba taneli aşılmalı ilavesi ile 485 MPa seviyelerine çıkmıştır. 0,2-0,5 mm ebatlarında aynı oranda (%0,2) 3. aşılmalı ilavesi ile çekme dayanımı 550 MPa seviyelerine çıkmış ilave miktarının %0,5 oranına artırılmasıyla çekme dayanımı 577 MPa seviyelerine ulaştığı gözlenmiştir.
- 6- Yapılan deneylerde döküm numunelerin mekanik testlerinde aşılmalı ebat ve ilave miktarının etkili olduğu tespit edilmiştir.
- 7- Elde edilen verilere göre optimum sonuçlar tane boyutu 0,2-3,0 mm arasında değişen ve %0,5 oranda aşılmalı ilave edilerek yapılan dökümlerden elde edilmiştir.

Aşılmalı ilave edilerek yapılan dökümlerin her biri GGG-60 standardı malzeme için standart değerleri sağlamaktadır. Bu sebeple dökümhanenin aşılmalı tercihinde ekonomiklik ve parça kullanım durumunu göz önünde bulundurarak seçim yapması uygun olacaktır. Üretilen parçanın yüksek dayanım, emniyet gerektiren ve insan sağlığını tehdit edebilecek yerlerde kullanılacak olması durumunda maliyet/performans oranı göz önüne alınarak elde edilen sonuçlar içerisinde en iyi sonuç veren %0,5 oranında 3. aşılmalı ilavesi gereklidir.

## KAYNAKLAR

- [1] ÇAVUŞOĞLU, N., “Döküm Teknolojisi 1, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası”, Gümüşsuyu, İstanbul, 1981.
- [2] STEFANESCU, D.M., “ASM Handbook Metals Handbook, Vol.15, Casting”, ASM International, Metals Park, pp. 296-307, Ohio, 1988.
- [3] FREDRIKSSON H., STJERNDAL 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.
- [4] OLSEN, S.O., HARTUNG, C., “Recovery of Mg in a Ductile Iron Process”, Elkem Foundry Products, Kristiansand, Norway, 2003.
- [5] ECOB, C.M., HARTUNG, C., “An Alternative Route for the Production of Compacted Graphite Irons”, ASA, Eklem, Norway, 2004.
- [6] METALS HANDBOOK, “Nondestructive Evaluation and QUALITY CONTROL”, Sintercast Yayını, 231-236, 2006.
- [7] YAZMAN, Ş., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kesme Parametrelerinin İşlemeye Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [8] PEARCE, J., “Dökme Demirlerin Aşılması: Uygulama ve Gelişmeler”, Metal Casting Technologies, 2007.
- [9] SKALAND, T., “Nucleation Mechanisms in Ductile Iron”, Elkem foundry products, Kristiansand, Norway, 2005.
- [10] DAWSON, S., HOLLINGER, I., ROBBINS, M., DAETH, J., REUTER, U., SCHULTZ, H., “The Effect of Metallurgical Variables on the Machinability of Compacted Graphite Iron”, Society of Automotive Engineers, Inc., 2001.
- [11] WEBSTER, P.D., “Fundamentals of Foundry Technology”, First Published, Portcullis Press Ltd., s:246-252, 1980.
- [12] JAIN, P.L., “Principles of Foundry Technology”, Second Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi, s:184 – 188, 1992.
- [13] AFS Iron Castings Engineering Handbook, AFS, Chapter 6D, pp. 171-193, 2003.
- [14] AFS Transactions, “Quality Control Committee Cast Iron Division, Factors Affecting Ductile Iron Nodule Count: A Literature Review”, 93(224), s:1031 – 1097, 1993.
- [15] HEINE, R.W., “Nodule Count: the Benchmark of Ductile Iron Solidification”, AFS Transactions, 93(84), 879-884, 1993.
- [16] RASHIDI, M.M., IDRIS, M.H., “Effect of Inoculation on Microstructure, Mechanical and Corrosion Properties of High Manganese Ductile Ni-resist Alloy”, Materials and Design, 51, 861-869, 2013.
- [17] HSU, C. H., CHEN, M. L., HU, C. J., “Microstructural and Mechanical Properties of 4% Cobalt and Nickel Alloyed Ductile Irons”, Materials Science and Engineering A 444, 339-346, 2007.
- [18] CHOI, J.O., KIM, J.Y., CHOI, C.O., KIM, J. K., ROHATGI, P.K., “Effect of Rare Earth Element on Microstructure Formation and Mechanical Properties of Thin Wall Ductile Iron Castings”, Materials Science and Engineering A 383, 323-333, 2004.
- [19] PEDERSEN, K. M., TIEDJE, N. S., “Graphite Nodule Count and Size Distribution in Thin-Walled Ductile Cast Iron”, Materials Characterization 59, 1111-1121, 2008.