

## Effects of Metallurgical Silicon Carbide and Ferro Silica Additives on Materials in Gray Cast Iron Production

<sup>1,2</sup> Mehmet Cemil Pekşen 

<sup>1</sup>Department of Metallurgical and Materials Engineering, Sakarya University of Applied Sciences, 54050, Sakarya, Turkey

<sup>2</sup> EKU Fren ve Döküm San. A.Ş., 41420, Turkey, Kocaeli.  
Corresponding author, e-mail: pekşenmehmetcemil@gmail.com

Submission Date: 10.05.2021      Acceptation Date: 01.10.2021

**Abstract** - In this study, it was investigated that changes in the mechanical and metallurgical properties of the materials could be brought about by using two different variables such as Fe-Si and Met-SiC in the production of lamellar graphite cast iron. Experimental studies of the samples prepared by using these two parameters have been carried out and it has been found out that which parameters are more advantageous in the terms of properties of materials (mechanical and metallurgical) in production of lamellar graphitic cast iron. As a result of the mechanical experiments, it was observed that Fe-Si samples were more stable than Met-SiC samples. In the hardness measurements, while the average hardness value in Fe-Si samples was 287.5 HB, the average value was measured as 252.5 HB in the samples belonging to Met-SiC. As can be seen, there is a 13.8% increase in hardness. The arithmetic averages were calculated according to the tensile test results, and it was determined as  $A.O=286.6$  N/mm<sup>2</sup> for Fe-Si and  $A.O=250$  N/mm<sup>2</sup> for Met-SiC. Fe-Si samples have higher tensile strength. As a result of the metallurgical control, it was observed that the distribution of lamellar graphites in the microstructure of the Fe-Si samples was more homogeneous and in the desired size based on the microstructure images. This is the most important factor affecting the mechanical properties. When the waste rate is calculated in the study carried out under the name of "trial" within the company, the 10% wastage rate decreased to 1.5%.

**Keywords:** Silicon Carbide, silica, cast iron, graphite.

## Gri Dökme Demir Üretiminde Metalürjik Silisyum Karbür Ve Ferro Silis Katkılarının Malzeme Üzerindeki Etkileri

**Özet** - Bu çalışmada Fe-Si ve Met-SiC gibi iki farklı değişkenin lamel grafitli dökme demir üretiminde kullanılması ile malzemelerin mekanik, metalürjik özelliklerinde ne gibi değişiklikler meydana getirebileceği araştırılmıştır. Bu iki parametre kullanılarak hazırlanan numunelerin deneysel çalışmaları yapılarak, lamel grafitli dökme demir üretiminde hangi parametrenin diğerine göre malzemenin özellikleri (mekanik ve metalürjik) açısından daha avantajlı olacağını sonuçlarına ulaşılmıştır. Yapılan mekanik deneyler sonucunda Fe-Si' ye ait numunelerin Met-SiC numunelerine göre daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Sertlik ölçümlerinde Fe-Si' ye ait numunelerde ortalama sertlik değeri 287,5 HB iken Met-SiC' e ait numunelerde ise ortalama değer 252,5 HB olarak ölçülmüştür. Görüldüğü gibi %13,8 lik bir sertlik artışı mevcuttur. Çekme deney sonuçlarına göre aritmetik ortalamalar hesaplanmış Fe-Si için  $A.O=286,6$  N/mm<sup>2</sup>, Met-SiC için ise  $A.O=250$  N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Fe-Si numunelerinin çekme dayanımı daha yüksektir. Metalürjik kontrol sonucunda mikroyapı görüntülerinden yola çıkarak Fe-Si' ye ait numunelerin mikroyapısında ki lamel grafitlerin dağılımının daha homojen ve istenilen boyutta olduğu görülmüştür. Bu durum mekanik özellikleri etkileyen en önemli unsurdur. Firma bünyesinde "deneme" adıyla yapılan çalışmada fire oranı hesaplandığında, %10 oranındaki fire oranı %1,5 seviyelerine inmiştir.

**Anahtar kelimeler:** silisyum karbür, ferro silis, dökme demir, grafit.

## 1. Giriş

Dökme demir, %2.11 ile %6.67 arası karbon içeren demir-karbon alaşımlarına verdiğimiz genel bir isimdir [1]. Bildiğiniz gibi çelikler de demirin karbonla alaşımlanması sonucunda elde ediliyor, fakat dökme demirden farklı olarak çelikler çok daha düşük miktarda karbon içeriyorlar (%2.11'den daha az).

Dökme demirler her ne kadar demirin karbonla alaşımlanmasıyla elde ediliyor olsalar da, sanayide üretilen dökme demirlere baktığımızda, alaşım içinde karbona ek olarak mutlaka yaklaşık %1 ila %3 arasında silisyum olduğunu görüyoruz. Bu açıdan bakıldığında, sanayide üretilen dökme demirleri Fe-C-Si (demir, karbon ve silisyum) alaşımları olarak değerlendirmemizin daha doğru olacağını söyleyebiliriz. Karbon ve silisyuma ek olarak, dökme demirlerde sıklıkla gördüğümüz diğer elementler arasında mangany ve az miktarda da olsa fosfor ve kükürtü de gösterebiliriz.

Dökme demirler çok geniş bir aralıkta değişen mukavemet, sertlik, işlenebilirlik, aşınma direnci, korozyon direnci ve diğer özelliklere sahip olabilirler [6,7]. Özet olarak dökme demir grubunun çok değişik mühendislik özellikleri sağlaması, bu malzemenin kullanış sahasının genişliğine devamlılığına neden olmaktadır.

Bu çalışmada; Gri dökme demirlerin üretiminde kullanılan malzemelerden olan M-SiC (metalürjik silisyum karbür) yerine Ferro Silisyum kullanılmasıyla ortaya çıkan kalite özellikleri araştırılmıştır. SiC ve Fe-Si kullanılmasıyla; Dökülen malzemelerin iç yapısının kararlılığı, Malzemelerin mekanik açıdan göstermiş oldukları performanslar incelenecektir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmamda kamyon, kamyonet ve tır gibi taşıma araçlarında kullanılan kampananın kum kalıba döküm yöntemleri ile birlikte farklı ergitme ocaklarında hazırlanan Fe-Si ve Met-SiC'li alaşımlı dökme demirlerin göstermiş olduğu mekanik ve metalürjik özelliklerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Dökümhane şartlarında yapılan bu çalışmamda döküm proses yöntemleri ayrıntılı bir biçimde ele alınıp irdelenmiştir. Ergitme ocaklarında ergitme metod kartlarına göre, Fe-Si şarjıyla hazırlanan sıvı metal (Fe-Si) döküme hazır derecelere ve çekme, sertlik ve mikroyapı numunesi için prosesde bulunan 3588 kampanası dökümü üzerinden yapılmıştır ve Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. 3588 kampana görüntüsü

Otomatik kalıplama hattında basılan derecelere istenilen sıcaklıklarda sıvı metalin dökülmesi ile kum kalıp hat üzerinde ilerleyerek içerisindeki malzeme soğumaya bırakılır. Soğumanın gerçekleşmesini sağlayacak kadar hat üzerinde devam eden kalıplar, kalıp kumunun bozulması için sarsak kısımdan geçerek yüzey temizleme hattına devam eder.

Yüzey temizleme hattındaki kancalara asılan kampanalar 8 adet tribün yardımıyla parça üzerindeki kumun tamamen temizlenmesi sağlanır. Bu aşamada eğer tamamen temizlenmeyen kampanalar varsa bu aşama tekrar yapılır. Yüzey temizlemeden çıkan kampanalar taşlama ve boyama için devam eder.

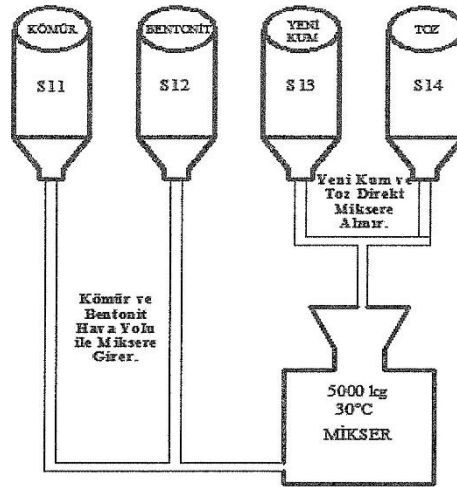


Şekil 2. Yüzey temizleme

Yüzey temizlemeden sonra sıcaklığı 50 derece civarına düşen ürünler dökümde oluşan çapaklardan temizlenmek için taşlama bölümüne alınır. Taşlamadan çıkan ürün müşterinin isteğine göre boyama hattına alınır ve otomatik boyama makinesiyle boyanır. Dökümhane prosesini tamamlayan kampanalar talaşlı imalat kısmına geçer. Şekil 2'de yüzey temizleme işlemi yapılan kampanalar görülmektedir. Bu aşamadan sonra setlik, mikroyapı ve çekme testi için 1 adet kampana prosedüre uygun olarak kesilmek üzere laboratuvara gelir ve burada testleri yapılır.

### 2.1. Döküm kumunun hazırlanması

Dökümde en çok rastlanan hata kalıpta oluşur ki bu hatalarda kumun bileşimine bağlıdır. Kumun hammaddeleri her zaman istenilen seviyede tutulmalıdır bu yüzden sürekli analiz edilmelidir. EKU' da sistemdeki kum eklemeler yapılarak tekrar işleme alınır. Kalıp kumu bentonit, silis kumu ve kömür tozundan oluşmaktadır. EKU' da kalıp kumunun %70'i silis kumu, 949'u bentonit, %6'sı kömür tozu, %4'ü nem ve %11 'i de kildir. Kum silosunun çizimi Şekil 3'de görülmektedir.



NOT: Karışımlar önemli olup modela göre dereceler

Şekil 3. Kum silosu akışı

EKU' da kalıp kumu toplanarak tekrar sisteme katılır. Bunun sağlanabilmesi için mevcut sitemde üç grup besleme bandı bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla mikser besleme bantları, pres besleme bantlar ve atık, bypass bantlarıdır. Sarsaklardan ve atık kumun toplandığı farklı yerlerden bantlar kumu kum bypass hattından geçerek eleğe gönderir daha önce sarsaktan atık hattına alınırken içindeki metal parçaları mıknatıs yardımıyla alınan kumu elekten de geçirerek istenmeyen malzemeler kumdan ayıklanır. Daha sonra kum, mikser besleme bantlarına iletir. Mikserde hammadde dengeleme işlemi yapılır.

Laboratuvarda yapılan deneylerde ne kadar hammadde eklenmesi gerektiği oranlayarak bulunur ve kuma bu oran . eklenip ölçülerek mikserde karıştırılır. Eklenen ürünlerle geri beslenen kum mikserde karıştırılır. Mikser PLC kontrolüyle çalışır. Bir mikser her vardiyada üretim planına göre ortalama 100 mikser kum hazırlar. Her mikser tek seferde 5200 kg kalıp kumunu 150 saniyelik süreçte hazırlayabilmektedir. Bu süreçte sisteme ortalama 80 — 100 litre su verir.

Laboratuvar da yapılan nem ölçümü için kum cihazın kapağı açılarak hazneye dökülür. Cihaz kapağı kapatılıp start verilir. 105 °C dereceye ısınır ve cihaz testi bittiğinde kendiliğinden durur. İlk ağırlık- son ağırlık hesabı yapıp, çıkan değer % cinsinden kaydedilir. Çıkan değere göre kum için aksiyon alınır. Ek olarak basma ve kesme testleri her saat başı kontrol etmek için yapılır. Basma ve kesme testi için kum hazne dolana kadar doldurulur. Tamamen dolan hazne Şekil 4'deki bobin yapma aparatı konularak sıkıştırılır.

Test için hazır hale gelen kum George Fisher marka (bknz. Şekil 5) kesme-basma cihazına yerleştirilir. Sabit hızda döndürülen kolla yarı otomatik olarak sonucu gösterge ekranında gözlemlenir.



Şekil 4. Bobin yapma aparatı.



Şekil 5. Basma Kesme test cihazı.

Sistem kumunun gaz geçirgenliği değerinin belirlenmesi için ise Şekil 6.'da görülen George Fisher gaz geçirgenliği test cihazından yararlanır. İlk olarak bobin yapma aparatı sıkıştırılır daha sonra sıkışan kumun cm<sup>2</sup> den geçen gaz miktarına bakılır.



Şekil 6. Gaz geçirgenliği test cihazı.

## 2.2. Kalıp hazırlama

Metallerin ergitilmesiyle aynı anda kum kalıpların yapılması başlar. Fakat daha önce kalıplar ürüne göre metalin kalıbın her yerine akması için yollar olan yolluklar da, hesaba katılarak hesaplanır. Ardından bu tasarım modelleme atölyesine gönderilir ve model arabasına takılmak üzere bir model oluşturulur. Modellerden bir üst, biri alt kalıp olmak üzere tasarlanmıştır. Yapılan modeller ayrıca macunlanarak düzeltilir. Bu modeller makinenin ayrı olan arabalarına takılır. Bu noktada kalıplama makineleri devreye girer.



Şekil 7. Savelli kalıp hattı.



Şekil 8. GF kalıp hattı.

EKU' da kum kalıpları farklı iki makinede oluşturulur; Savelli ve George Fischer sırası ile Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir. Fakat ikisinin de işleyişi aynıdır. Aralarındaki fark Savelli otomatik kalıplama hattının saatte 200 ürün üretebilmesi ve boyutlarının 800\*1400\*200/350 mm olması nedeniyle tek dökümde iki kampana kalıplayabilmesidir. GF otomatik kalıplama hattı ise saatte 87 ürün üretebilir ve 700\*700\*200/300 mm ölçülerindedir. Prosesin işleyişi Savelli otomatik kalıplama hattına (Şekil 9'da) göre anlatılsa da ikisinin de mantığı aynıdır ve işleyişte küçük farklılıklar vardır.

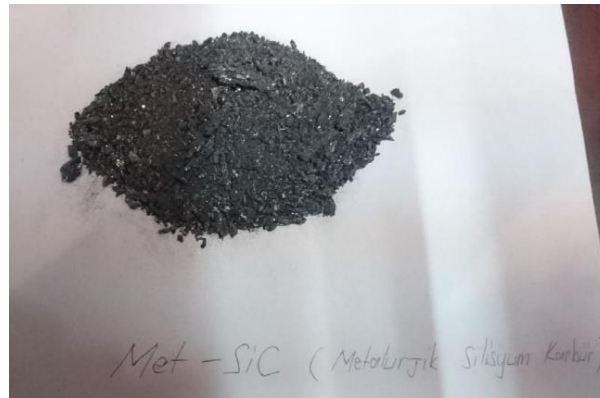


Şekil 9. Savelli kalıp hattı.

### 2.3. Ergitme ocaklarında sıvı metalin hazırlanması

Sıvı metalin hazırlanması için 9 tonluk 1, 2, 3 ve 4 nolu indüksiyon ocaklarında yararlanılmıştır. Aynı gün içerisinde 1 ve 2. Ocakta SiC, 3 ve 4 nolu ocakta Fe-Si denemesi yapılmıştır. Bu denemeler prosese tam olarak uygun şekilde hazırlanmış ve deneme formu doldurularak dökülmüştür.

**Met-SiC ile sıvı metalin hazırlanışı:** Tablo 1 ve Şekil 10'da metalürjik silisyum karbür bileşimi ve görünümü verilmiştir.



Şekil 10. Met-SiC (metalürjik silisyum karbür)

**Tablo 1.** Met-SiC kimyasal bileşimi

Kimyasal	SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Free Carbon
Element	91.2	0.43	0.52	2.49	0.07	0.39	2.49
%	91.2	0.43	0.52	2.49	0.07	0.39	2.49

Met- SiC % 90'lik saflıktadır. Saf SiC İçerisinde %66 Si, %25,20 C bulunmaktadır. Met-SiC içerisinde kullanılabilen;

Si miktarı:  $90 \times 66 / 100 = \%59,4$

C miktarı:  $90 \times 25.2 / 100 = \%22,68$

**Tablo 2.** Ocak şarj reçetesi

Şarj edilen malzemeler	Kg	%C	%Si
Pik	3100	4	0,7
Hurda	3000	0.05	0.09
Talaş	1500	3.45	1.95
Yolluk	1500	3.45	1.95

Ocağa eklenecek malzemelerin bileşimi Tablo 2'de verilmiştir. Şarj edilen malzemelerin C ve Si etkileri;

Pik

$$C \longrightarrow 3100 \times 4.0 / 9100 = \%1.96$$

$$Si \longrightarrow 3100 \times 0.7 / 9100 = \%0.24$$

Hurda

$$C \longrightarrow 3000 \times 0.05 / 9100 = \%0.016$$

$$Si \longrightarrow 3000 \times 0.09 / 9100 = \%0.03$$

Talaş ve Yolluk

$$C \longrightarrow 3000 \times 3.45 / 9100 = \%1.15$$

$$Si \longrightarrow 3000 \times 1.95 / 9100 = \% 0.65$$

İlave edilecek C ve Si miktarları ise;

$$3.41 - (1.36 + 0.016 + 1.15) = \% 0.874$$

$$0.874 \times 9100 / 90 = 90 \text{ kg C}$$

$$1.95 - (0.24 + 0.03 + 0.65) = 1,03$$

$$1.03 \times 9100 / 90 = 105 \text{ kg SiC}$$

Yukarıdaki hesaplamalardan sonra Met- SiC ile hazırlanacak olan sıvı metal için ergitme ocağına 3100 kg pik, 3000 kg hurda çelik sac, 3000 kg talaş ve yolluk, 105 kg SiC, 90 kg C şarjı yapılarak sıvı metalin istenilen kimyasal analizi yakalanmaya çalışılmıştır. Cürufu alınan sıvı metal ergitme ocağından 1500 kg'lık döküm potasına aktarılır. Aktarma esnasında pota sıvı metal miktarının %0,2'si kadar Silisyum esaslı SB5 aşılama malzeme, pota içerisinde homojen bir şekilde eritilir. Sıvı metal daha sonra derecelere boşaltılır. Şekil 11'de aşılama yönetimine ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 11. Pota aşılama yöntemi

**Fe-Si ile sıvı metalin hazırlanışı:** Fe-Si %75 saflıktadır. Tipik bileşimi Tablo 3’de verilmiştir. Ocağa şarj edilecek malzemelerin listesi ise Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. Fe-Si kimyasal analizi

Element	C	Si	Al	S	P
%	0.15 max	75	1-1.5	0.03 max	0.03 max

Tablo 4. Ocak şarj reçetesi

Şarj edilen malzemeler	Kg	%C	%Si
Pik	3100	4	0,7
Hurda	3000	0.05	0.09
Talaş	1500	3.45	1.95
Yolluk	1500	3.45	1.95

Şarj edilen malzemelerin C ve Si etkileri;

<u>Pik</u>	<u>Hurda</u>
$C \longrightarrow 3100 \times 4.0 / 9100 = \%1.96$	$C \longrightarrow 3000 \times 0.05 / 9100 = \%0.016$
$Si \longrightarrow 3100 \times 0.7 / 9100 = \%0.24$	$Si \longrightarrow 3000 \times 0.09 / 9100 = \%0.03$
<u>Talaş ve Yolluk</u>	
$C \longrightarrow 3000 \times 3.45 / 9100 = \%1.15$	
$Si \longrightarrow 3000 \times 1.95 / 9100 = \%0.65$	

İlave edilecek C ve Si miktarları;

$3.41 - (1.36 + 0.016 + 1.15) = 0.874$	$1.95 - (0.24 + 0.03 + 0.65) = 1.03$
$0.874 \times 9100 / 90 = 90 \text{ kg C}$	$1.03 \times 9100 / 75 = 125 \text{ kg Fe-Si}$

Yukarıdaki hesaplamalardan sonra Fe-Si ile hazırlanacak olan sıvı metal için ergitme ocağına 3100 kg pik, 3000 kg hurda çelik sac, 3000 kg talaş ve yolluk, 125 kg Fe-Si, 90 kg C şarjı yapılarak sıvı metalin istenilen kimyasal analizi yakalanmaya çalışılmıştır. Cürufu alınan sıvı metal ergitme ocağından 1500 kg'lık döküm potasına aktarılır. Aktarma esnasında pota sıvı metal miktarının %0,2'si kadar Silisyum esaslı SB5 aşıluyıcı malzeme, pota içerisinde homojen bir şekilde eritilir. Sıvı metal daha sonra derecelere boşaltılır.

**Yüzey temizleme, Taşlama ve Boyama:** Makine içerisinde 4 sağda 4 solda toplam 8 motor bulunan ve bu motorlara bağlı pervanelerin döndürülmesiyle kancalara asılı parçaların bu pervaneler arasından geçerken metal granüllerin parça yüzeyine çarptırılmasıyla temizleme işlemi yapılır. Metal granüller parçalara çarptırılarak üzerlerindeki çapak ve fazlalık parçalarından arındırılır. Parçaların içeride durma süresi 30 dakikadır. Eğer bu süre uzarsa parçalar erimeye başlarlar. Şekil 12'de bu işlem esnasındaki ürünler görülmektedir.



Şekil 12. Yüzey temizleme

Yüzey temizlemeden sonra sıcaklığı 50 derece civarına düşen ürünler dökümde oluşan çapaklardan temizlenmek için taşlama bölümüne alınır. Şekil 13'de taşlama hattı görülmektedir. Bu çapaklar tornada tezgâha bağlamada problem yaratabilmektedir. Taşlamadan çıkan ürün müşterinin isteğine göre boyama hattına alınır ve otomatik boyama makinesiyle boyanır. Fabrikanın sunduğu renk seçenekleri siyah, koyu gri ve acık gridir. Daha sonra kuruma hattına aktırılan ürünler yaklaşık 15 dakika bu hatta ilerleyerek kurutulurlar. Buradan tekrar paletlere istiflenip talaşlı imalatın yarı mamul bölgesine yerleştirilirler.



Şekil 13. Taşlama hattı



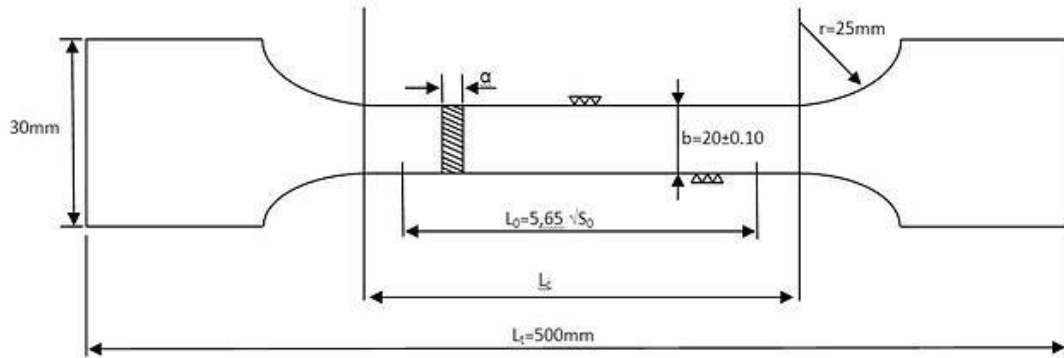
## 2.4. Deney numunelerinin hazırlanması

Deney numunelerin hazırlanması için özel bir işlem uygulanmamıştır. Bunun nedeni, hâlihazırda deneme döküm adıyla üretilen 3588 kampanasına uygulanan testlerle talep edilen testlerin aynı olmasıdır.



Şekil 14. Çekme ve mikro yapı için numune alma

**Çekme numunesinin hazırlanması:** Numunelerinin EN 1561 standardına uygun olarak testinin yapılması ve mukavemet değerlerinin hesaplanması amacıyla yapılan işlemdir. Nihai halini almış numunelerin bu cihazda test edilerek mukavemet değerleri rapora işlenir. Şekil 15’de hazırlanan çekme test numunesinin özellikleri çizilmiştir.



Şekil 15. Standart çekme testi numunesi

Bu test, nihai ürünler için aksi belirtilmediği sürece kampanadan ve diskten talimatta belirtilen yerden alınır. Cihaz mekanik bölüm ve elektronik bölüm ile iki ana bölümden oluşur. Mekanik bölüm de üst çenesi sabit, alt çenesi hidrolik yardımıyla aşağı yukarı hareket eden mekanik kısmı vardır. Elektronik bölümünde çekme testi değerlerini ve grafiklerini listeleyen bilgisayar mevcuttur. Şekilde 16’da çekme numunesi hazırlanması ve Şekil 17’de hazırlanmış numune görülmektedir.



Şekil 16. Torna da işlenen çekme çubuğu



Şekil 17. Çekme çubuğu

**Mikroyapı numunelerinin hazırlanması:** Malzemelerin dış özelliklerinin yanında kimyasal karakterlerini bilmek de mühendislik için çok önemli bir değere sahiptir. Metalografik incelemede seçilen numunenin bir değer taşıyabilmesi için bu numunenin gerek fiziksel özellik ve gerekse kimyasal bileşim yönünden esas malzemeyi tam olarak temsil etmesi gerekir. Bu nedenle, numune alınması işin temelidir. Numunenin nereden alınacağı tespit edildikten sonra sulu kesme cihazı ile kesilir. Prensip olarak, numuneyi alırken yüzeyde en az plastik şekil değiştiren ve en az ısı meydana getiren kesme yöntemi seçilmelidir. Çünkü bütün gayretler, orijinal malzeme iç yapısının mikroskop altında görülebilmesi içindir. Şekil 18’de kesme cihazı görülmektedir.



Şekil 18. Kesme takımı

Zımparalama işlemi kabadan inceye doğru sırayla yapılmalıdır. İşletmede işin hızlı olması için bir ince gruptan birde kaba zımpara gruptan zımpara seçilerek zımpara yapılır (Şekil 19 ve Şekil 20).



Şekil 19. Zımparalama makinesi



Şekil 20. Parlatma makinesi



Şekil 21. Nikon ışık mikroskobu

Dağlama ayırıcı ile parlamış numunenin belirli bir süre teması pamukla sürtünme veya numunenin çözelti içerisine daldırılması ile olur. Bu işlem oda sıcaklığında uygulanacağı gibi, oda sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda da yapılabilir. Dağlama işleminden sonra, numunenin tane yapısını incelemek için optik mikroskop cihazı kullanılır. Şekil 21’de kullanılan Nikon marka mikroskop görülmektedir. Ayrıca tane boyutu ve faz analizi yapılmaktadır.

**Brinell sertlik deneyi:** Sertlik deneyi ölçüsel olarak kritik bir ölçüye sahip değildir. Sertlik testi son kontrol de kampana üzerinde yapılır. Tahribatsız bir şekilde prosese devam eder. Şekil 22'de Brinell sertlik ölçüm düzeneği ve cihazı görülmektedir.



Şekil 22. Brinell sertlik ölçme cihazı

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1. Kimyasal analiz incelemesi

Ferro silisyum (Fe-Si) ile şarj edilen ocağın kimyasal analizi Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Fe-Si ile şarj edilen ocağın kimyasal bileşimi

Kimyasal element	C	Si	Mn	S	Cr	Cu	P
%	3,41	1,93	0,641	0,082	0,220	0,071	0,052

Sıvı metal ergitme ocağından potaya aktarıldığı esnada potanın içerisinde %0,2'lük Si ve Ba esaslı aşırı takviyesi yapılır. Bu aşırı takviyesinin amacı; sıvı metalin akışkanlığının artırılmasının yanında bu sıvı metalden alınacak numunenin mikro yapısında homojenliği sağlamaktır. Yani homojenlikten kasıt mikroyapı içerisindeki lamellerin dağılımının homojenliğidir ki bu özellikte malzemenin mekanik özelliklerine büyük fayda sağlamaktadır.

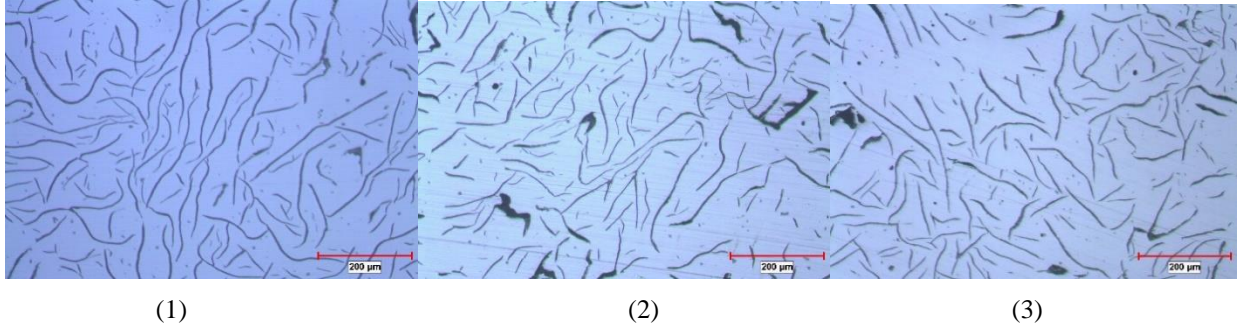
Tablo 6. SiC ile şarj edilen ocağın kimyasal bileşimi

Kimyasal element	C	Si	Mn	S	Cr	Cu	P
%	3,41	1,95	0,639	0,082	0,185	0,077	0,05

Aynı şekilde ergitme ocağından potaya sıvı metal aktarımı esnasında 1 tonluk potaya %0,2 lük Si ve Ba esaslı aşırı girilmiştir. SiC ile şarj edilen ocağın kimyasal analizi Tablo 6'de verilmiştir. Bu kısımda dikkat edilmesi gereken husus aşının pota içerisinde iyi bir şekilde erimesinin sağlanmasıdır aksi takdirde istenilmeyen hatalarla karşılaşabiliriz.

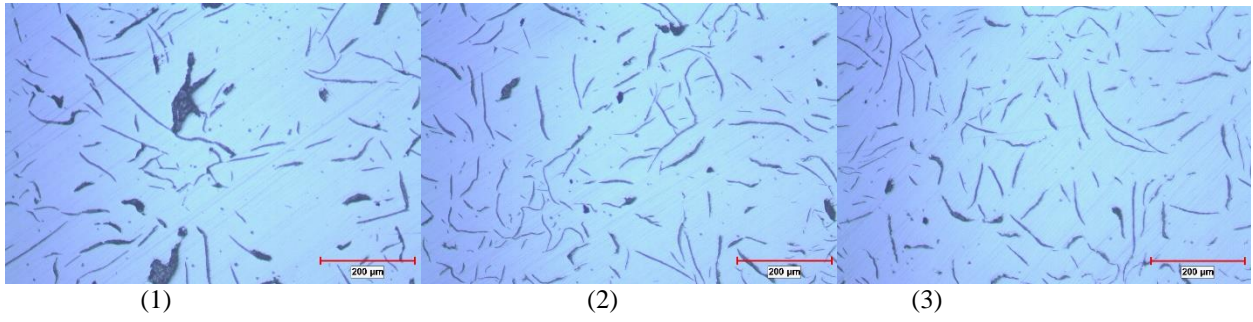
### 3.2. Mikroyapıların incelenmesi

Fe- Si ile hazırlanan numunelere ait mikroyapı görüntülerine Şekil 23’de yer verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü üzere lameller olabildiğince homojen dağılarak istenilen A tipi grafitler elde edilmiştir.



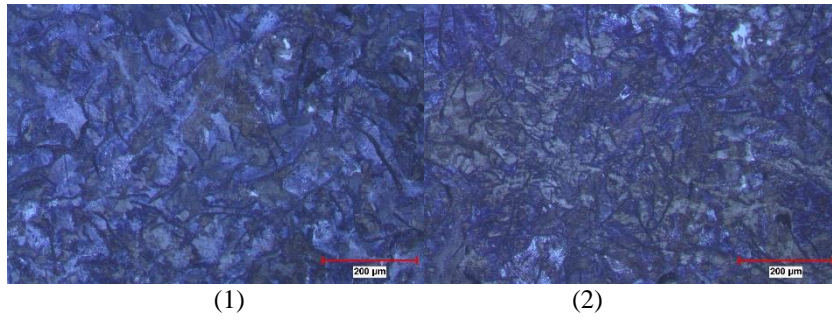
Şekil 23. Fe-Si ile şarj edilen ürünün mikroyapı görüntüleri

Şekil 24’de ise Metalurjik silisyum karbür (Met-SiC) ile hazırlanmış numunelere ait mikroyapı resimlerine yer verilmiştir.



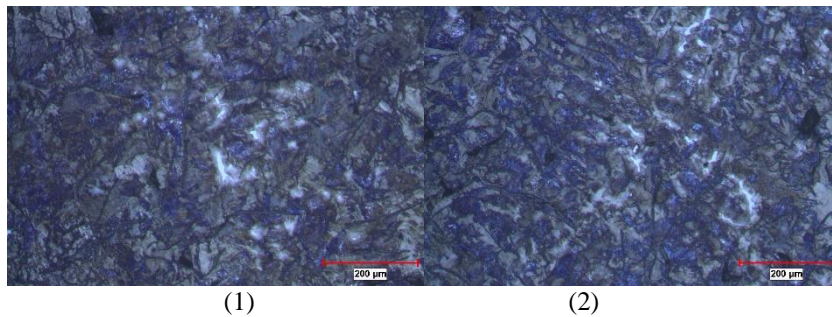
Şekil 24. Met-SiC ile şarj edilen ürünün mikroyapı görüntüleri

Yukarıdaki mikroyapılarda görüldüğü üzere çoğunlukla A tipi grafit olmasına rağmen mikroyapıda bulunan karbürler kalıntı olarak görülmüştür [3,8]. Bunun en önemli sebeplerinden biri SiC’ün yüksek sıcaklıklarda bile tam olarak ergimemesinden kaynaklanmaktadır [9,10].



Şekil 25. Fe-Si ile şarj edilen ürünün dağılmış mikroyapı görüntüleri

Şekil 25’de Fe-Si katkıli dağılmış mikroyapılarda görüldüğü gibi karbürler minimum seviyede olduğu gözlemlenmiştir.

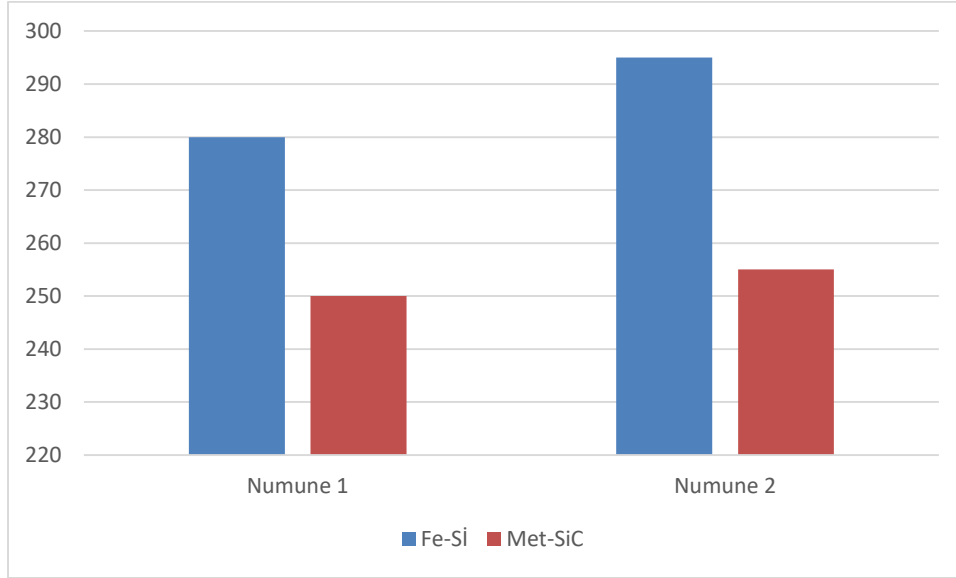


Şekil 26. SiC ile şarj edilen ürünün dağılmış mikroyapı görüntüleri

Şekil 26'da SiC katkıli mikroyapılarda görüldüğü üzere, karbürlerin gereğinden fazla olması mekanik açıdan olumsuzluk teşkil etmektedir[10].

### 3.3. Sertlik sonuçları

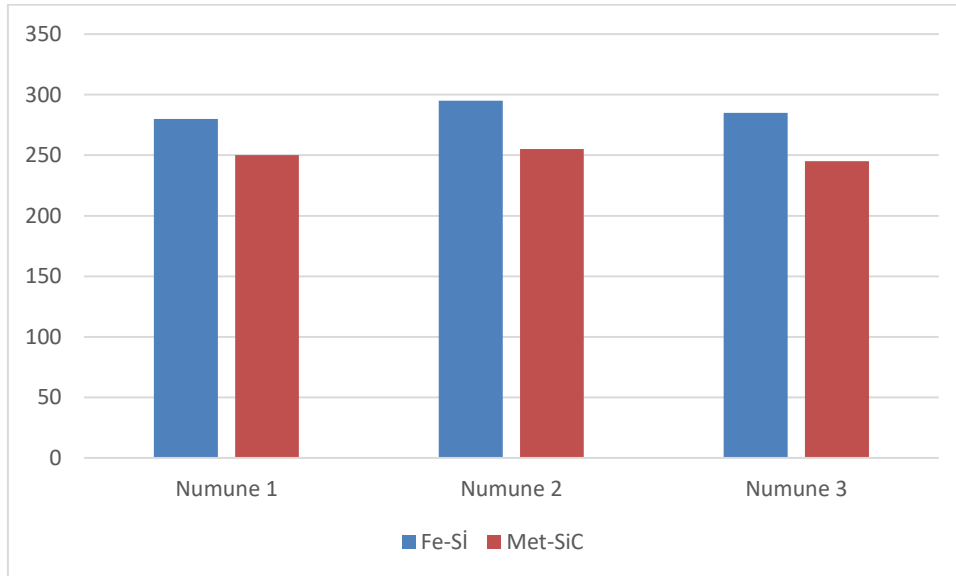
Bilindiği üzere, dökme demirlerin mekanik özellikleri, grafit morfolojisine, (şekil, dağılım, miktar ve boyuta) ve matris yapılarına (ferrit, perlit) bağlıdır. Araştırmalar sonucu grafit morfolojisindeki düzenli dağılımın sertlik değerini arttırdığını göstermektedir. Şekil 27'de Brinell sertlik sonuçları görülmektedir.



Şekil 27. Brinell sertlik sonuçları

### 3.4. Çekme Sonuçları

Şekil 28'de ki grafikten yola çıkarak Fe-Si numunelerinin Met-SiC numunelerine göre daha mukavemetli bir tavır sergilemiş olduğunu görmekteyiz.



Şekil 28. Çekme testi sonuçları.

### 3.5. Fire oranları

Çalışmamı yaptığım “EKU Fren ve Döküm San. Aş.” de deneme adı altında dökümünü gerçekleştirdiğimiz 3588 kodlu kampana üzerinden fire sayıları hesaplanmış ve bu sayılardan fire oranları hesaplanarak Fe-Si ve Met-SiC farkları da burada karşılaştırılmıştır. Tablo 7’de fire sayıları ve Tablo 8’de fire yüzdeleri görülmektedir.

**Tablo 7.** Denemelerin Fire adetleri.

Hata Tipleri	Fe-Si katkılı	Met-SiC katkılı
Mikro Çekinti Hatası	1	9
Cüruf Hatası	-	2
Salgılı Hatası	-	1
Kum düşme hatası	1	-

Bu denemelerde 120 adet ürün dökülmüştür. Bu dökümlerden çıkan fire oranları Şekil 8’de gösterilmiştir.

Hata Tipleri	Fe-Si katkılı	Met-SiC katkılı
Mikro Çekinti Hatası	0,6	7,5
Cüruf Hatası	-	1,6
Salgılı Hatası	-	0,8
Kum düşme hatası	0,6	-

**Tablo 8.** Denemelerin Fire oranları

## 4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan mekanik deneyler sonucunda Fe-Si’ ye ait numunelerin Met-SiC numunelerine göre daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Sertlik ölçümlerinde Fe-Si’ ye ait numunelerde ortalama sertlik değeri 287,5 HB iken Met-SiC’ e ait numunelerde ise ortalama değer 252,5 HB olarak ölçülmüştür. Görüldüğü gibi %13,8 lik bir sertlik artışı mevcuttur.

Çekme deney sonuçlarına göre aritmetik ortalamalar hesaplanmış Fe-Si için  $A.O=286,6 \text{ N/mm}^2$ , Met-SiC için ise  $A.O=250 \text{ N/mm}^2$  olarak belirlenmiştir. Fe-Si numunelerinin çekme dayanımı daha yüksektir.

Metalurjik kontrol sonucunda mikroyapı görüntülerinden yola çıkarak Fe-Si’ ye ait numunelerin mikroyapısındaki lamel grafitlerin dağılımının daha homojen ve istenilen boyutta olduğu görülmüştür. Met-SiC’ e ait mikroyapı görüntülerinde dağınık dağılımın yanı sıra kararsız bir yapı hakimdir. Bu durum mekanik özellikleri etkileyen en önemli unsurdur.

Firma içerisinde deneme yapılan ürün adıyla fire oranı hesaplandığında, %10 oranındaki fire oranı %1,5 seviyelerine inmiştir. Met-SiC ekonomik anlamda Fe-Si’ a göre daha avantajlıdır. Ancak malzemelerin mekanik davranışlarına baktığımız zaman Fe-Si’ a ait numunelerin daha kararlı olduğunu görmekteyiz. Met-SiC, Fe-Si ‘ye göre ekonomik anlamda daha avantajlı ancak Met-SiC’ü eritebilmek için çok yüksek güçlere çıkmak gerekmektedir. Yüksek güçlere çıkmak demek elektrik maliyetinin artması demektir. Yüksek sıcaklıklar zamanla ocak içerisindeki refrakteri yıpratarak refrakter ömrünü kısaltacaktır bu durum hem tehlikeli hem de ekonomik anlamda firmayı zarar uğratabilecek bir husustur. Ayrıca fire oranlarında deneme ürünü olan 3588 kampanasında çekinti hataları Met-SiC kaynaklı olduğu öngörülmüş ve bu çekinti hataları Fe-Si kullanımı ile minimum seviyelere düşmüştür.

Met-SiC hassas olmayan parçaların üretiminde kullanılabilir. Yüksek sıcaklıklara çıkılmadan da dökülebilen malzemeler için Met-SiC bire birdir. Ancak hassas parçalarda Fe-Si kullanılmalıdır. Çünkü bu parçaların işlenebilme kabiliyeti, sertliği, çekme mukavemeti oldukça önemlidir.

**Peer-review:** Externally peer - reviewed.

**Conflict of Interest:** No conflict of interest was declared by the authors.

## References

- [1] M. Chisamera, I. Riposan, S. Stan, C.B. Albu, C. Brezeanu, Comparison of Oxy-Sulfide Alloy Tablets and Ca-Bearing FeSi75 for Late Inoculation of Low Sulfur Grey Irons, AFS Trans. 023 (2007).
- [2] Şenol ÖZTÜRK, Küresel grafitli dökme demirlerin karakterizasyonu, Sakarya Üniversitesi, 2004.

- [3] L.C. KUMRUOĞLU, Lamel grafitli ve küresel grafitli dökme demirlerde karbon eşdeğerinin mekanik özellikler ve mikroyapıya etkisinin incelenmesi, Sakarya Üniversitesi, 2003.
- [4] Komisyon, Küresel Grafitli Dökme Demir, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2011.
- [5] O. Aranke, W. Algenaid, S. Awe, S. Joshi, Coatings for automotive gray cast iron brake discs: A review, Coatings. 9 (2019). <https://doi.org/10.3390/coatings9090552>.
- [6] D.A. Hope, Cutting fluids - pet or pest?. A review of staining and corrosion tendencies and effects on machine tool paints and seals, Tribol. Int. 10 (1977). [https://doi.org/10.1016/0301-679X\(77\)90148-7](https://doi.org/10.1016/0301-679X(77)90148-7).
- [7] Elkem, Graphite Structures in Cast Irons Graphite Distribution in Grey Cast Iron, Distribution. (2004) 5211–5211.
- [8] Gray Iron Castings, in: Casting, 2018. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v15.a0005323>.
- [9] Komisyon, Gri (Esmer) Dökme Demir, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2011.
- [10] Nurettin Burak ŞEN, Lamel grafitli dökme demirlerin üretiminde metalurjik silisyum karbür ve ferro silisyum katkılarının malzeme üzerindeki mekanik, metalurjik ve ekonomik etkisinin araştırılması, Necmettin Erbakan Üniversitesi, 2018.