

# BAKIR VE MANGAN İLE ALAŞIMLANDIRILAN KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN MİKROYAPI MEKANİK VE AŞINMA ÖZELLİKLERİ

Erdu Doğuş GÜL\*, Zafer AY\*, Yaşar Uğur AKI\*, Emre AYDIN\*\*,  
Harun MİNDİVAN\*\*

\*Demisaş Döküm Emaye Mamulleri Sanayi A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Bilecik, Türkiye

\*\*Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği  
Bölümü, Bilecik, Türkiye

## ÖZET

Bu çalışmada, bakır (Cu) ve mangan (Mn) ilavesinin tek başına ve kombinasyon halinde 15 mm çapındaki döküm yapısındaki EN-GJS-500-7 kalite küresel grafitli dökme demirlerin (KKDD) mikroyapısı, mekanik ve aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Katkısız, Cu ve Mn katkılı KGDD'lerde mikroyapılar ferrit-perlit fazlarından oluşurken, her iki alaşım elementinin birlikte bulunması durumunda mikroyapı hemen hemen perlit fazını içermektedir. Katkısız KGDD'e göre Cu ve Mn'nin birlikte bulunması durumunda KGDD'nin kütleli sertliği, akma ve çekme mukavemeti önemli oranda artarken darbe tokluğu da büyük ölçüde azalmıştır. İncelenen KGDD'lerin aşınma hızları ise artan kütleli sertlik ile azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, Sertlik, Dökme Demir, Tokluk.

## ABSTRACT

In this study, the effect of copper (Cu) and manganese (Mn) addition, singly as well as in combination, on the microstructure, mechanical and wear properties of EN-GJS-500- 7 quality ductile cast iron with a diameter of 15 mm was investigated. While microstructures of unalloyed and alloyed (Cu and Mn) ductile cast irons are composed of ferrite-pearlite phases, microstructure of ductile cast iron containing both alloying elements almost includes the pearlite phase. According to the unalloyed ductile cast iron, if Cu and Mn are present together, the bulk hardness, yield and tensile strength of ductile cast iron increase significantly while the impact toughness is greatly reduced. Wear rates of the ductile cast irons decreased with increasing bulk hardness.

**Keywords:** Wear, Hardness, Ductile cast Iron, Toughness.

## 1. GİRİŞ

Küresel grafitli dökme demirler (KGDD), çeliğin mekanik özelliklerine ve dökme demirin üretim özelliklerine sahip bir dökme demir grubudur. KGDD'ler yüksek mukavemet ve tokluk ile mükemmel dökülebilirliklerinin yanı sıra düşük üretim maliyeti ve işlenebilirlikleri nedeniyle kullanım alanları her geçen gün daha da artmıştır. Günümüzde KGDD'ler özellikle otomotiv endüstrisinde krank milleri, vites dişlileri, egsoz sistemleri ve motor bağlantı çubukları gibi birçok mühendislik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3].

Teknolojik gelişmelere paralel olarak alaşımlama ve/veya ısı işlem ile KGDD'lerin mekanik özelliklerini geliştirmenin yolları araştırılmaktadır. Ancak, yapılan çalışmalarda grafitte küreselden başka bir morfoloji kazandırmanın imkânsız olduğunun anlaşılması üzerine bakır, nikel, mangan ve molibden gibi alaşım elementlerinin eklenmesi ile KGDD'lerin mikroyapısı değiştirebilir ve sertleşebilirliği artırabilir. KGDD'ye bakır ilavesi perlitik yapı oluşumunu teşvik etmektedir [4]. Perlitik yapıyı stabilize etmek ve mukavemeti artırmak için mangan gibi daha ucuz bir alaşım elementi de eklenebilir; ancak kalın kesitli döküm parçalarında segregasyonlar oluşturabilir [5]. Ayrıca KGDD'de karbür oluşumunu önlemek için mangan oranının kontrol altında tutulması gerekir. Mangan'ın karbür oluşturucu etkisinden dolayı % Si ve kesit aralığına bağlı olarak mangan miktarı bir maksimum değerde sınırlanır. Kesit kalınlığı 25 mm veya daha fazla olan ince dökümlerde, mangan'ın karbür oluşturucu etkisi, silisyum miktarının artışı ile karşılanmaktadır. 12 mm kesit kalınlığındaki bir döküm parçası için silisyum oranının % 2,5 dan % 3,0'e artışı, mangan oranının % 0,25 den, % 0,35'e artmasına imkân vermektedir [6]. Kimyasal bileşim KGDD'lerin yapısında önemli rol oynamaktadır ve başlangıçtaki kimyasal bileşim istenen özelliklere uygun olarak seçilmeli ve karbür içermeyen bir döküm yapısı elde edilmelidir. Bu nedenle bu çalışmada, 15 mm çapındaki EN-GJS-500-7 kalite KGDD'lere bakır (Cu), mangan (Mn) ve her iki alaşım elementi (Cu ve Mn) katkısıyla KGDD'lerin mikroyapı, mekanik ve kuru ortam aşınma özellikleri araştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ergitme işlemi 6000 kg kapasiteli ABB marka indüksiyon ocağında yapılmıştır. Bu çalışmada EN-GJS-500-7 kalite küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de verilmiştir. KGDD'lerin metalografik incelemesi kapsamında, reçineye alınan numuneler, standart yöntemlerle zımparalanıp parlatıldıktan sonra % 2'lik nital çözeltisi ile dağlanarak Nikon marka Eclipse LV150 model optik mikroskop (OM) ve enerji saçılımı X-ışını spektroskopisi (EDX) donanımlı Zeiss Supra taramalı elektron mikroskop (SEM) ile incelenmiştir.

Malzeme Kodu	Kimyasal Bileşim (% Ağı.)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
1	3,7	2,1	0,2	0,019	0,005	0,057	0,5
2	3,7	2,3	0,2	0,018	0,004	0,061	<b>0,8</b>
3	3,7	2,2	<b>0,8</b>	0,019	0,003	0,054	0,5
4	3,7	2,2	<b>0,8</b>	0,019	0,003	0,055	<b>0,8</b>

**Çizelge 1 :** İncelenen EN-GJS-500-7 KGDD'lerin kimyasal bileşimleri.

Mekanik özellik karakterizasyonu sertlik, çekme ve darbe deneyleriyle yapılmıştır. İncelenen KGDD'lerin kütle- sel sertliği, mikroyapı çalışmalarında kullanılan numuneler üzerinde Shimadzu HVM mikrosertlik cihaz ile 1 kg yük altında Vickers sertlik değeri cinsinden ölçülmüştür. Sertlik izi, matrisi ve grafiti kapsadığından elde edilen mikrosertlik değeri, dökme demirin kütle- sel sertliğini karakterize etmektedir. Ayrıca incelenen KGDD'lerin matris bileşenlerinden ferrit ve perlit fazlarının sertlikleri 25 gr yük altında ölçülmüştür. Sertlik değerleri, en az 5 ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Çentiksiz charpy darbe deneyi Mohr & Federhaff A.G. marka darbe testi cihazı yardımıyla ASTM A327 standardına uygun olarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyi için 10x10x55 mm boyutlarında hazırlanan standart numunelerin kırılması için gerekli enerji, Joule cinsinden en az üç numuneden alınan verilerin ortalaması ile belirlenmiştir. DIN 50125 standardına göre ha-

zırlanmış çekme test numuneleri 100 KN kapasiteli Zwick Z100 marka test cihazında 5 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

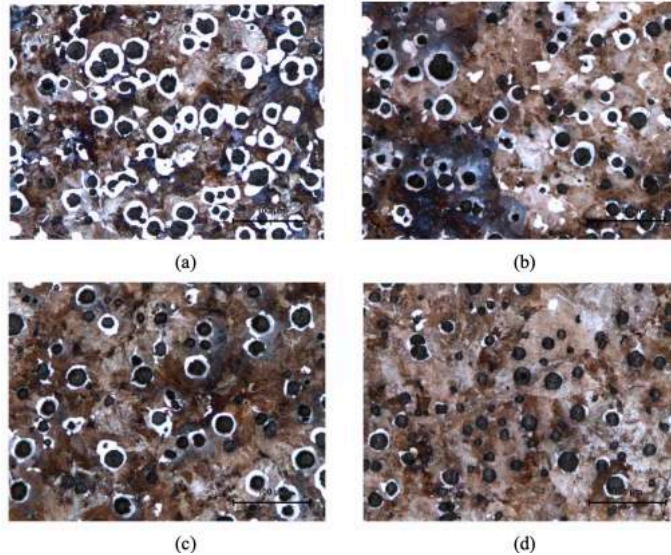
Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışları, 20 N'luk normal yük altında oda şartlarında doğrusal zıt yönlü düzlem-bilye aşınma (reciprocating ball-on-flat) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karşı malzeme olarak 5 mm çaplı alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) bilye kullanılmıştır. Sürtünme kuvveti bilgisayar tarafından aşınma cihazındaki yük hücresi (loadcell) ile sürekli olarak kaydedilmiştir. Aşınma deneyi sonrasında aşınma izlerinin profili Mitutoyo Surtest SJ-400 profilometre cihazı ile ölçülmüştür. Her bir numune için 2 adet aşınma izi topografik profilleri çıkarılmıştır. Aşınma deneylerine ait diğer şartlar Çizelge 2'de verilmiştir. Aşınma deneylerinin ardından KGDD'lerin aşınmış yüzeyleri OM ve SEM ile incelenmiştir.

Normal Yük (N)	20
Aşınma izi uzunluğu (mm)	10
Kayma hızı (cm s <sup>-1</sup> )	1,9
Aşındırma süresi (s)	2880
Aşındırma mesafesi (m)	50
Nem (%)	44±1
Sıcaklık (°C)	25±1

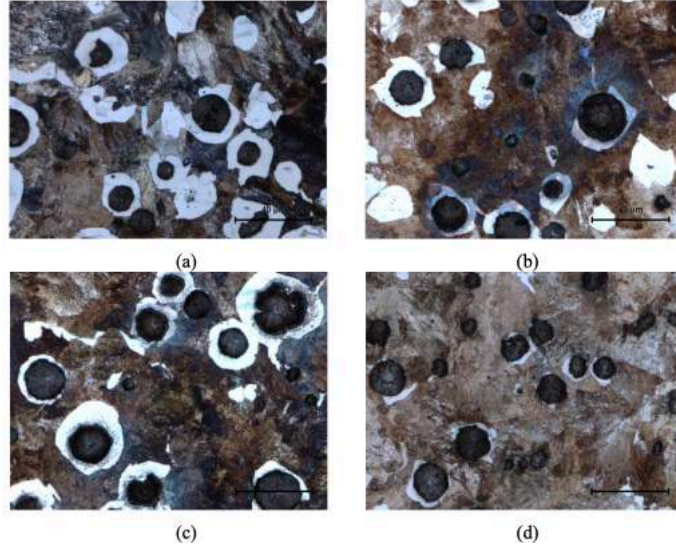
Çizelge 2 : Aşınma deney şartları.

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

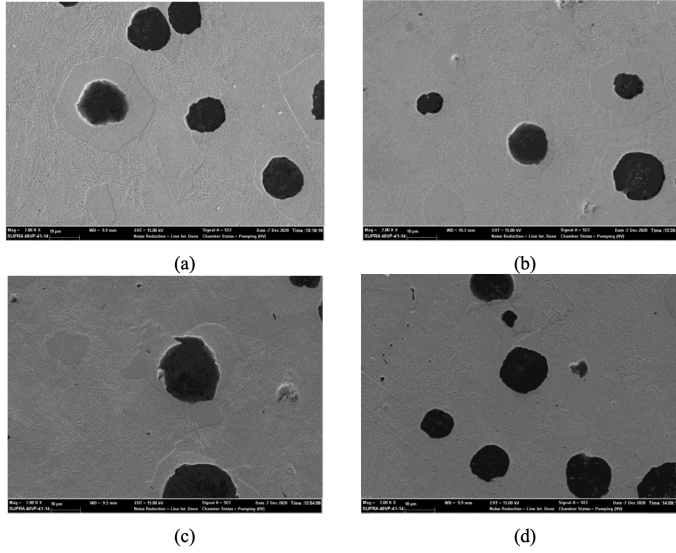
İncelenen EN-GJS-500-7 kalite KGDD'lerin düşük ve yüksek büyütme OM görüntüleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 1'den görüleceği üzere 1, 2, 3 ve 4 numaralı KGDD'in yapısı ferrit, perlit ve küresel grafitten oluşmaktadır. Cu ve Mn katkılı 4 numaralı KGDD'in yapısında çok az miktarda ferrit fazı içermekte iken, 1, 2 ve 3 numaralı KGDD'lerde grafitler ferrit fazı tarafından çevrilmiş olup, ferrit halkaları arasındaki kısımda perlit fazı yer almaktadır ve bu mikroyapı tipik "boğa gözü" olarak adlandırılmaktadır. Cu ve Mn katkısı mikroyapıyı neredeyse tamamen perlitik yapıya dönüştürmüştür. Yapılan SEM incelemeleri sonucunda bu durum daha belirgin olarak görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 1: (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin düşük büyütme OM (X200) görüntüleri.



**Şekil 2:** (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin yüksek büyütme OM (X500) görüntüleri.

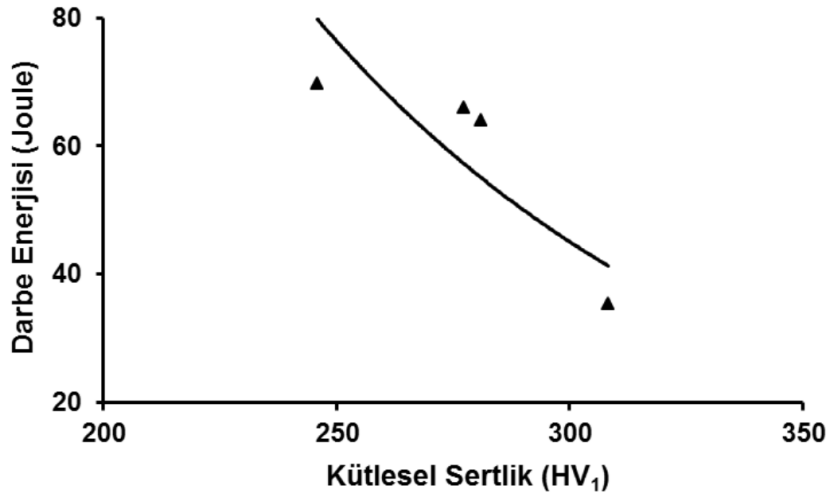


**Şekil 3:** (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin SEM görüntüleri (X2000).

Çizelge 3'de görüldüğü gibi katkısız 1 numaralı KGDD'ye nazaran sırasıyla Cu ve Mn içerikli 2 ve 3 numaralı KGDD'lerin mikroyapısında sert ve mukavemetli bir karakterde olan perlit fazının artması ile malzemenin kütlelesel ve perlit fazının sertliğinde, akma ve çekme mukavemetinde artış sağlarken darbe tokluğunda ise azalma meydana getirmiştir (Şekil 4). Ancak her iki alaşım elementinin beraber bulunması ile yapının neredeyse tamamen perlitik olması (Şekil 1-Şekil 3), malzemenin kütlelesel sertliğini, perlit fazının sertliğini, akma ve çekme mukavemetini önemli oranda artırırken darbe tokluğunu ise büyük ölçüde azaltmıştır (Çizelge 3 ve Şekil 4).

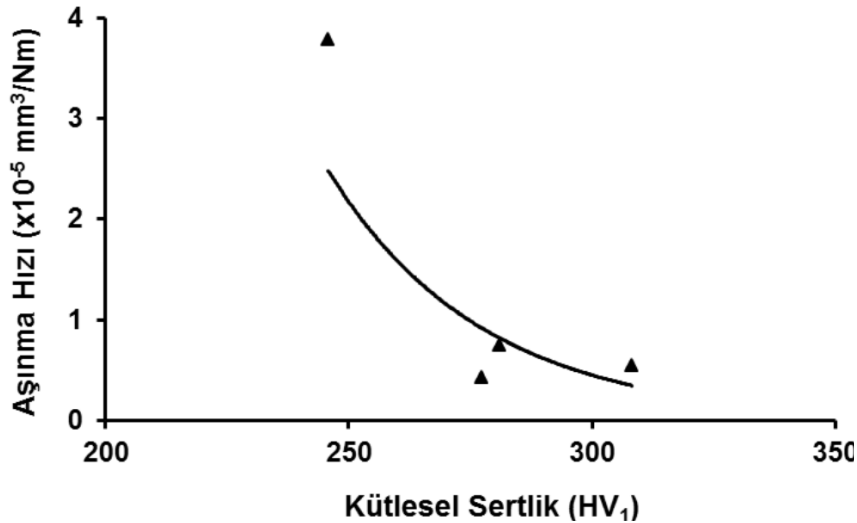
Malzeme Kodu	Çekme Sonuçları		Darbe Enerjisi (Joule)	Kütlesel Sertlik (HV <sub>1</sub> )	Mikrosertlik (HV <sub>0.025</sub> )	
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)			Ferrit	Perlit
1	472±7,5	737±14,8	69,6±10,9	245±5,7	121±8,0	321±7,0
2	552±15,9	805±13,2	64±19,9	281±10,5	170±8,0	345±28
3	530±2,8	815±22,5	66±25,9	283±8,3	-	356±41
4	602±8	875±16,5	35,3±24	308±10,4	-	378±38

**Çizelge 3 :** İncelenen KGDD'lerin akma ve çekme mukavemetleri, darbe enerjisi, kütlesel sertlikleri ve mikro-yapı bileşenlerine ait mikrosertlik sonuçları.yüksek büyütme OM (X500) görüntüleri.



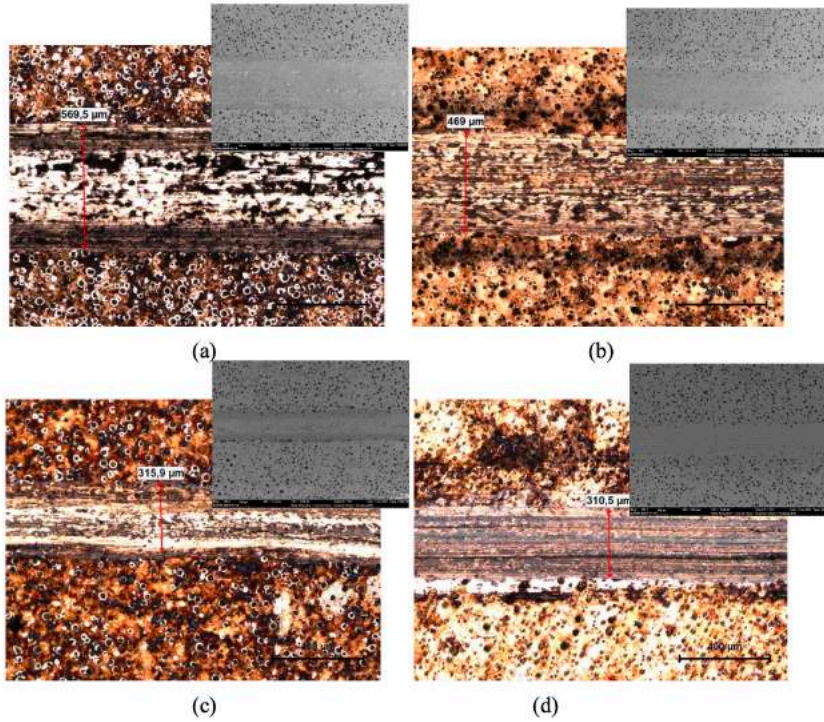
**Şekil 4 :** İncelen KGDD'lerin kütlesel sertliğine bağlı olarak darbe enerjisinin değişimi.

İncelenen KGDD'lerin aşınma hızlarının sertliğe bağlı olarak değişimi Şekil 5'de verilmiştir. KGDD'lerin aşınma hızları, sertliğin artışıyla birlikte düşmektedir. Bu sonuç, aşınmada malzemenin sertliğinin en etkili parametre olduğunu vurgulayan literatür çalışmaları [1, 7] ile uyumludur.

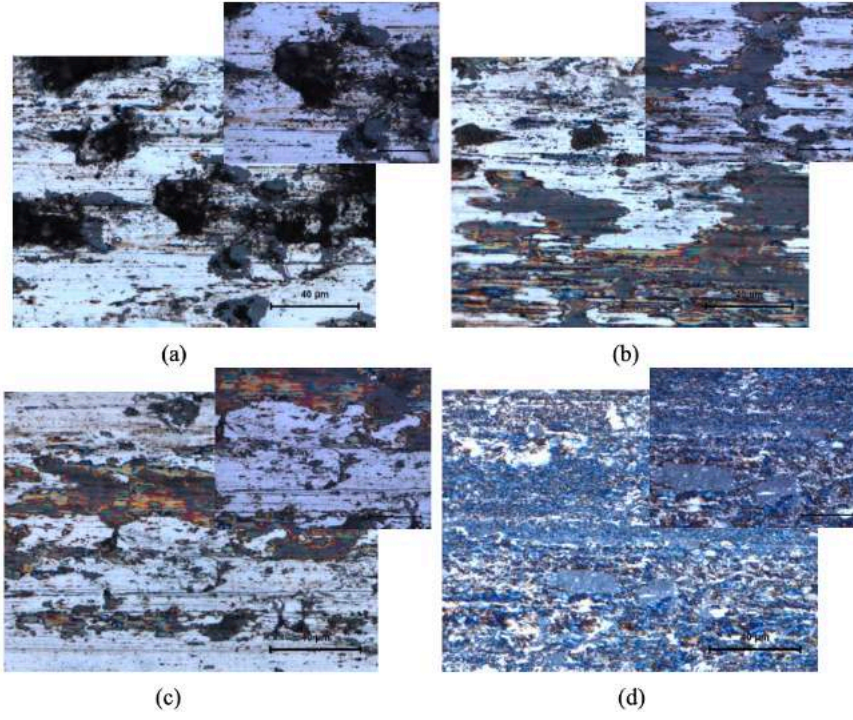


**Şekil 5 :** İncelenen KGDD'lerin aşınma hızının ölçülen kütlesel sertliğe bağlı olarak değişimi.

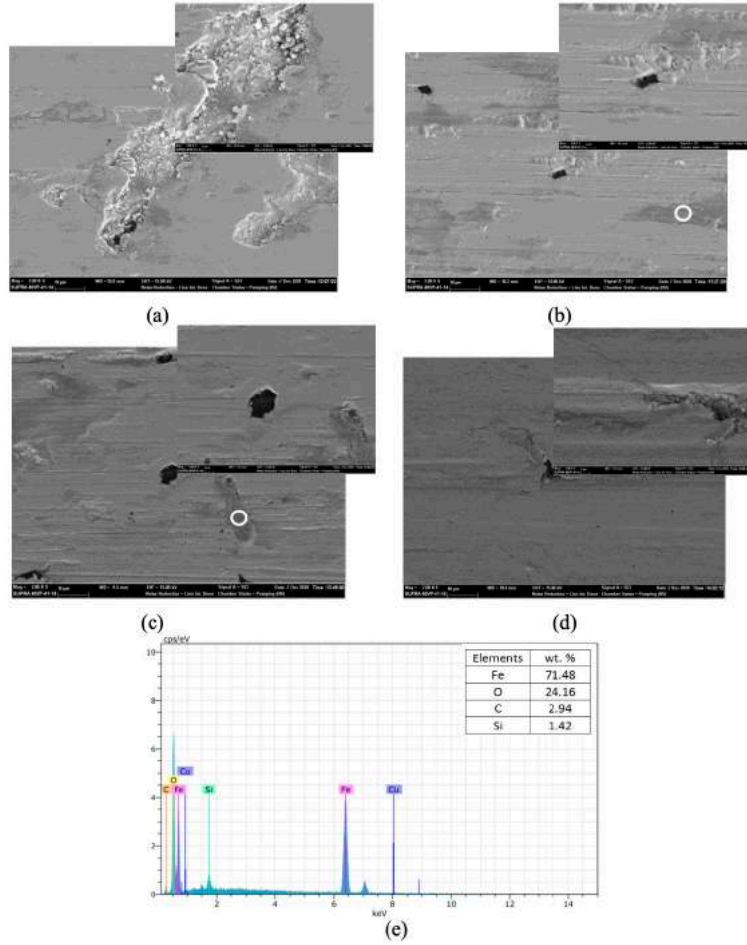
Aşınma deneyleri sonrası incelenen KGDD'lerin aşınma yüzey görüntüleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Aynı mikroskobik büyütmelerdeki aşınma yüzeyleri kıyaslandığında daha düşük sertlik ve daha yüksek aşınma hızına sahip katkısız 1 numaralı KGDD, diğer KGDD'lere nazaran daha geniş aşınma izi sergilemiştir. Ayrıca aşınma yüzeyinde yapılan detaylı incelemelerde katkısız 1 numaralı KGDD'nin aşınma yüzeyinde şiddetli aşınma yüzünden (Şekil 7 a ve Şekil 8 a) grafit nodüllerinin ayrıldığı görülmektedir ve 40 m kayma mesafesinden sonra sürtünme katsayısı hızlı bir şekilde artma eğilimindedir (Şekil 9). Ancak katkısız 1 numaralı KGDD'ye nazaran Cu katkılı 2 numaralı KGDD'nin aşınma yüzeyinde hasarlı bölgenin azalması (Şekil 7 b ve Şekil 8 b) ve kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayısının tedricen artması (Şekil 9) grafit nodüllerinin bir kısmının matriste kaldığını göstermektedir. Şekil 7'de görüldüğü gibi Cu katkılı 2 numaralı KGDD, Mn katkılı 3 numaralı KGDD ile her iki alaşım elementi içeren 4 numaralı KGDD'nin aşınma yüzeyleri gri ve kahverengi bir filmle kaplı olup aşınma yüzeylerinde demir oksit oluşmasından (Şekil 8 e) dolayı oksidatif aşınma görünümü hakimdir. Perlitik yapının, ferritik olanlardan daha büyük bir oksit tabakası oluşturma eğilimine sahip olduğunu belirtmek gerekir [8]. Özellikle Mn katkılı 3 numaralı KGDD ile her iki alaşım elementi içeren 4 numaralı KGDD'nin aşınma yüzeyinde oksitlenme ile sürtünme katsayısı değerleri düşük salınımla yakın değerdedir (Şekil 9).



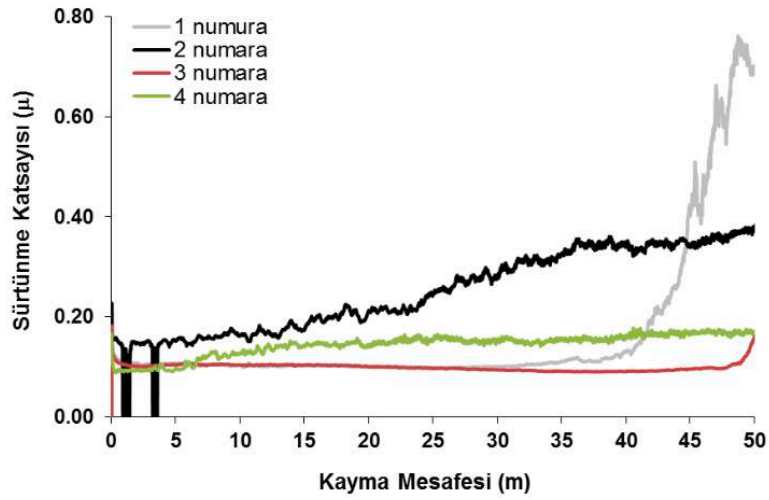
**Şekil 6 :** Aşınma deneyine tabi tutulan (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin düşük büyütme OM ve SEM aşınma yüzey görüntüleri.



**Şekil 7 :** Aşınma deneyine tabi tutulan (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin yüksek büyütme OM aşınma yüzey görüntüleri.



**Şekil 8 :** Aşınma deneyine tabi tutulan (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin aşınma izlerine ait detaylı SEM görüntüleri ve (e) halka içerisinde gösterilen gri şekilli bölgeler üzerinde gerçekleştirilen EDX analiz sonuçları.



**Şekil 9 :** İncelenen KGDD'lerin kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayısı grafikleri.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, KGDD'lerin mikroyapı, mekanik ve kuru ortam aşınma özellikleri incelenmiş ve aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Cu ve Mn katkılı KGDD'lerde mikroyapılar ferrit-perlit fazlarından oluşurken, her iki alaşım elementinin birlikte bulunması durumunda mikroyapı hemen hemen perlit fazını içermektedir.
- 2- Katkisız KGDD'e göre Cu ve Mn'nin birlikte bulunması durumunda KGDD'nin kütleli sertliği, akma ve çekme mukavemeti önemli oranda artarken darbe tokluğu da büyük ölçüde azalmıştır.
- 3- İncelenen KGDD'lerin aşınma hızları ise artan kütleli sertlik ile azalmaktadır.

#### KAYNAKLAR

1. ASM Specialty Handbook, Cast Irons, ASM International, 1996.
2. M. Mourad, S. El-Hadad, M. Ibrahim, "Influence of Inoculant Type on the Microstructure Characteristics and Mechanical Properties of Ductile Iron", Transactions of the Indian Institute of Metals, Vol. 73, 2020, P. 1027.
3. X. Chen, J. Xu, H. Hu, H. Mohrbacher, M. Kang, W. Zhang, A. Guo, Q. Zhai, Effects of Niobium Addition on Microstructure and Tensile Behavior of As Cast Ductile Iron", Materials Science & Engineering A, Vol. 688, 2017, P. 416.
4. C-H. Hsu, K-T. Lin, "A Study on Microstructure and Toughness of Copper Alloyed and Aus-tempered Ductile Irons" Materials Science and Engineering A, Vol. 528, 2011, P.5706.
5. R. K. Dasgupta, D. K. Mondal, A. K. Chakrabarti, A. C. Ganguli, "Microstructure and Mechanical Properties of As-Cast Ductile Irons Alloyed with Manganese and Copper", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 21(8), 2012, P. 1728.
6. B. Kılınc, GGG 50 Sınıfı Dökme Demire Bakır İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisi", Y. Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2009.
7. I.M. Hutchings, Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, CRC Press, London, 1992.
8. H.R. Abedi, A. Fareghi, H. Saghafian, S.H. Kheirandish, "Sliding Wear Behavior of a Ferritic-Pearlitic Ductile Cast Iron with Different Nodule Count", Wear, Vol. 268, 2010, P. 622.