

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

KGDD'lerin yüksek mukavemet ve tokluk ile mükemmel dökülebilirliklerinin yanı sıra düşük üretim maliyeti ve işlenebilirlikleri nedeniyle kullanım alanları oldukça geniştir.

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 üretim hacmi yüksek olan, 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.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

- **Ergitme** için 6 ton kapasiteli ABB marka indüksiyon ocağı kullanılmıştır.
- Model DISAMATIC 230B **Kalıplama Hattında** kalıplanmıştır.
- Kimyasal Analiz EN-GJS-500-7 seçilmiştir.

Çizelge 1 : Numunelerin kimyasal analizleri.

KOD	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	0,8
3	3,7	2,2	0,8	0,019	0,003	0,054	0,5
4	3,7	2,2	0,8	0,019	0,003	0,055	0,8

- Metalografik İnceleme; Reçineye alınan numuneler, standart yöntemlerle zımparalanıp parlatıldıktan sonra % 2'lik nital çözeltisi ile dağlanarak Nikon marka Eclipse LV150 model **optik mikroskop (OM)** ve **enerji saçınımlı X-ışını spektroskopisi (EDX)** donanımlı Zeiss Supra taramalı **elektron mikroskop (SEM)** ile incelenmiştir.

- Mekanik özellik karakterizasyonu **sertlik, çekme ve darbe deneyleriyle** yapılmıştır.
- **Kütlesel sertlik**, mikroyapı çalışmalarında kullanılan numuneler üzerinde Shimadzu HVM mikrosertlik cihaz ile 1 kg yük altında Vickers sertlik değeri cinsinden ölçülmüştür.
- **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.
- **Çekme testi** DIN 50125 standardına göre hazırlanmış numunelerle 100 KN kapasiteli Zwick Z100 marka test cihazında 5 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

- **Aşınma testi**, 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_2O_3) bilye kullanılmıştır. Sürtünme kuvveti bilgisayar tarafından aşınma cihazındaki yük hücresi (loadcell) ile sürekli olarak kaydedilmiştir.

Normal Yük (N): 20	Aşınma izi uzunluğu (mm): 10
Kayma hızı ($cm\ s^{-1}$): 1,9	Aşındırma süresi (s): 2880
Aşındırma mesafesi (m): 50	Nem (%): 44 ± 1
Sıcaklık ($^{\circ}C$): 25 ± 1	

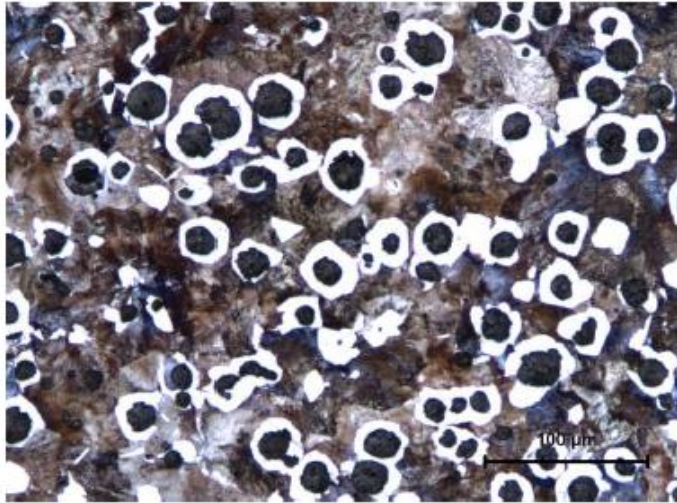
Çizelge 2 : Aşınma deney şartları.

- Aşınma testi sonrası **aşınma yüzeyleri OM ve SEM** ile incelenmiştir.
- **Aşınma izlerinin profili** Mitutoyo Surtest SJ-400 profilometre cihazı ile ölçülmüştür. Her bir numune için 2 adet aşınma izi topografik profilleri çıkarılmıştır.

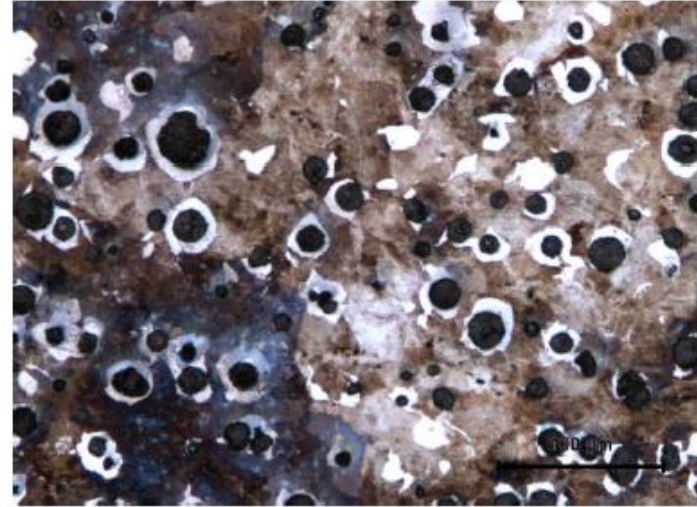
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME



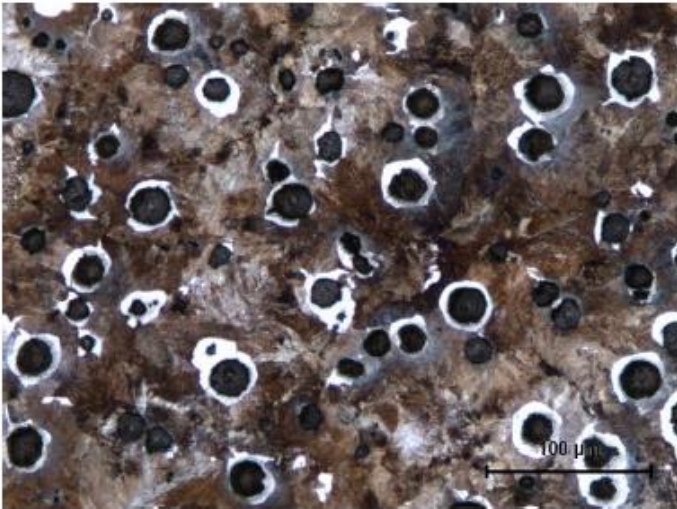
İMİSAŞ



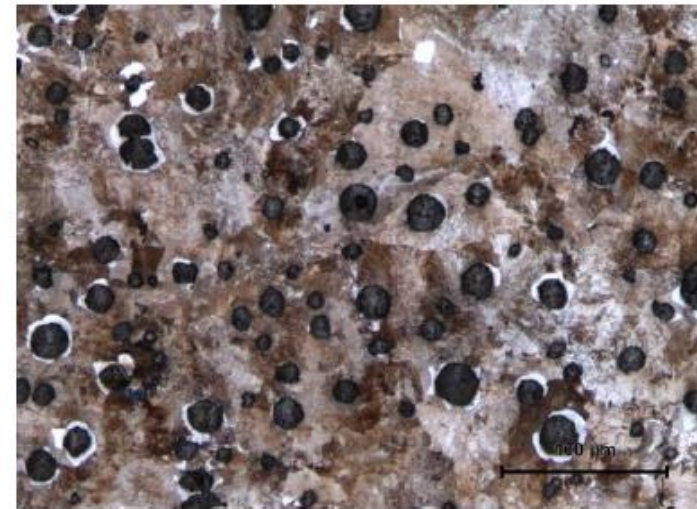
(a)



(b)



(c)



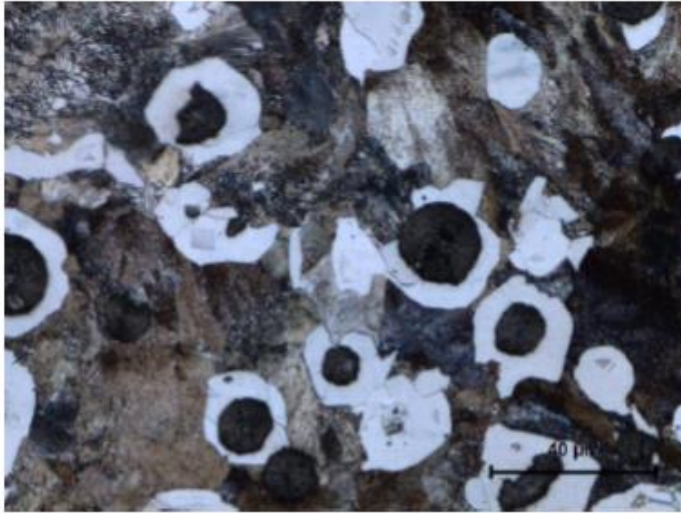
(d)

Şekil 1: KGDD'lerin düşük büyütme OM (X200) görüntüleri; (a) 1 no, (b) 2 no, (c) 3 no, (d) 4 no.

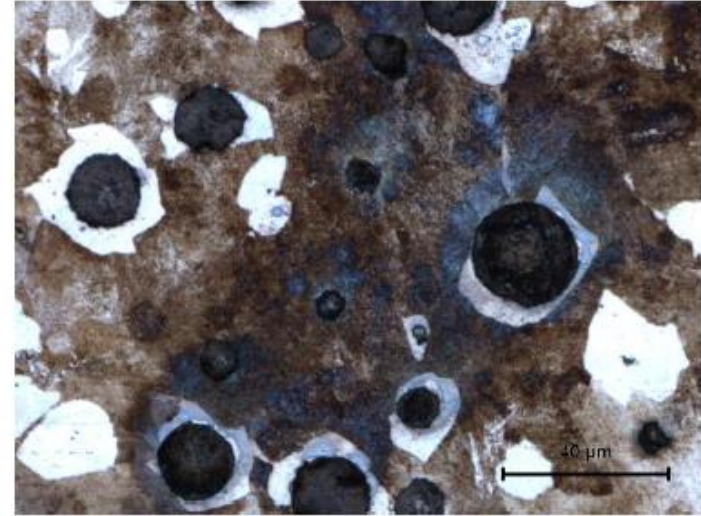
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME



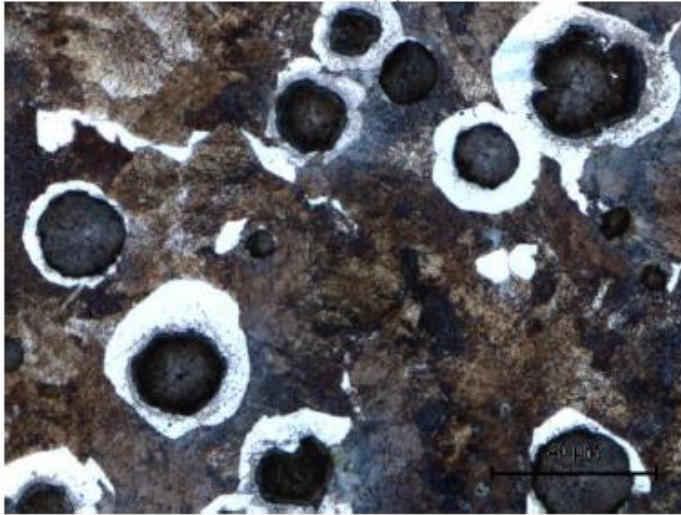
İMİSAŞ



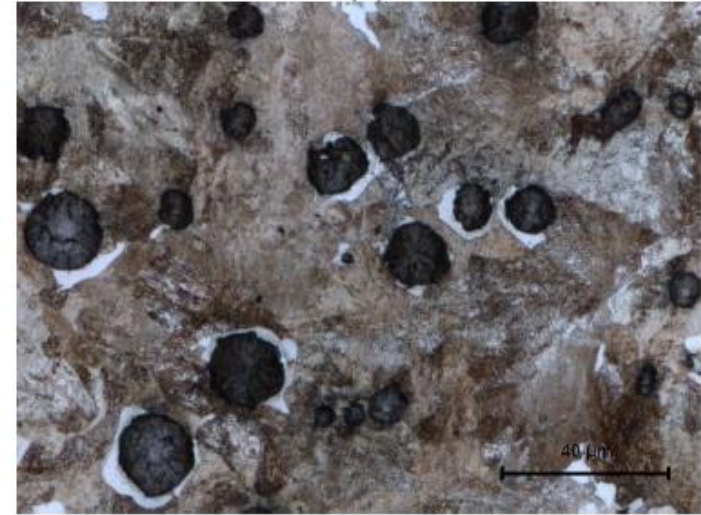
(a)



(b)



(c)



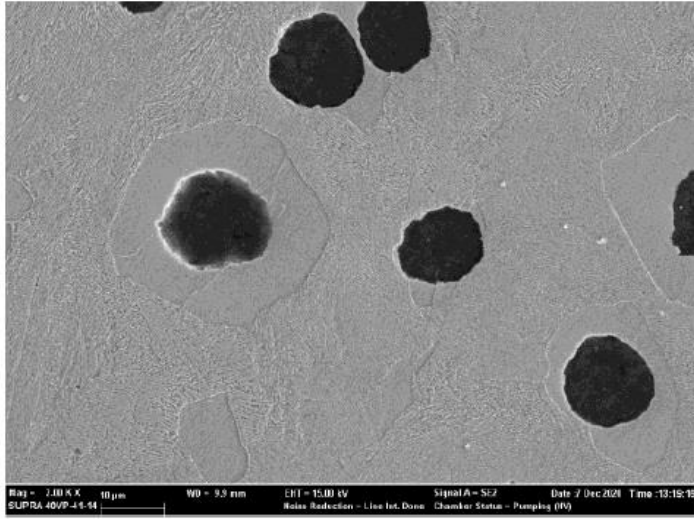
(d)

Şekil 2: KGDD'lerin yüksek büyütme OM (X500) görüntüleri; (a) 1 no, (b) 2 no, (c) 3 no, (d) 4 no.

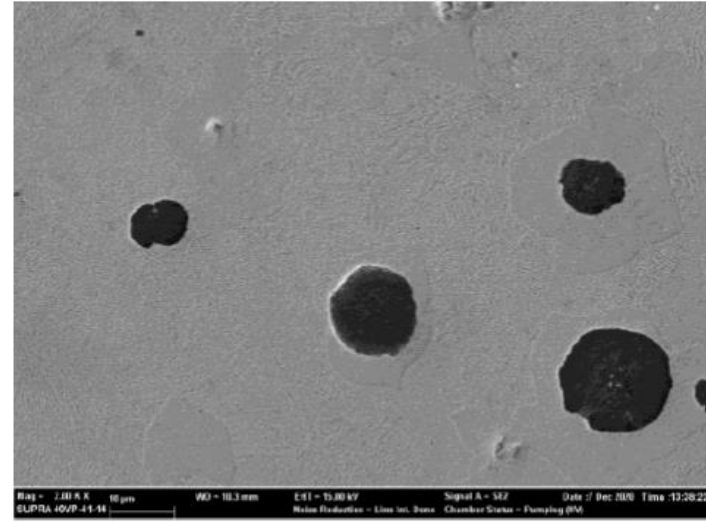
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME



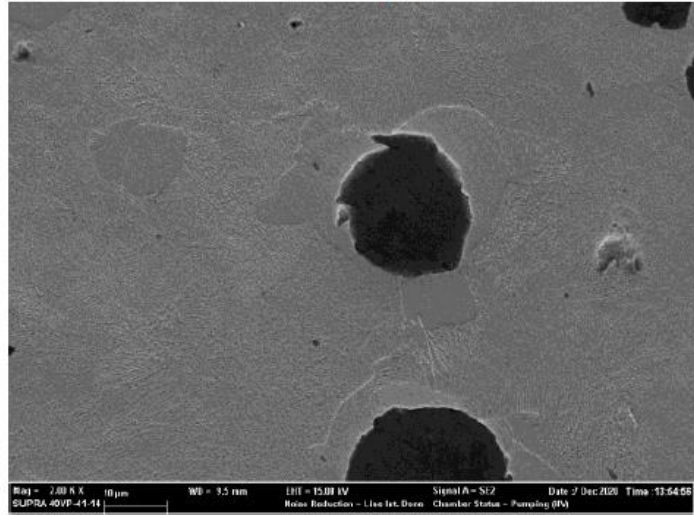
EMİSAŞ



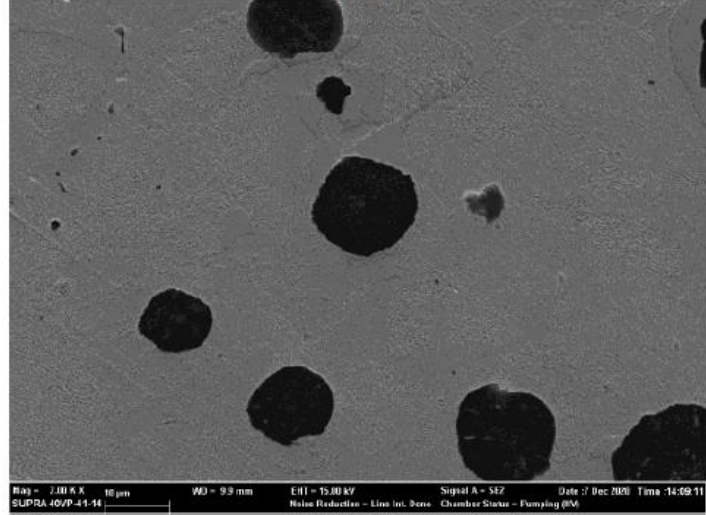
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3: KGDD'lerin SEM görüntüleri (X2000); (a) 1 no, (b) 2 no, (c) 3 no, (d) 4 no.

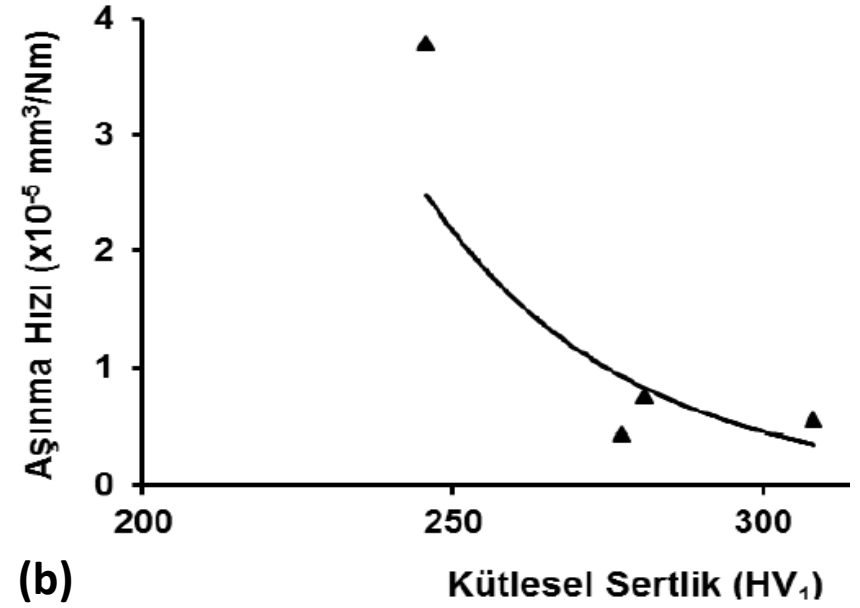
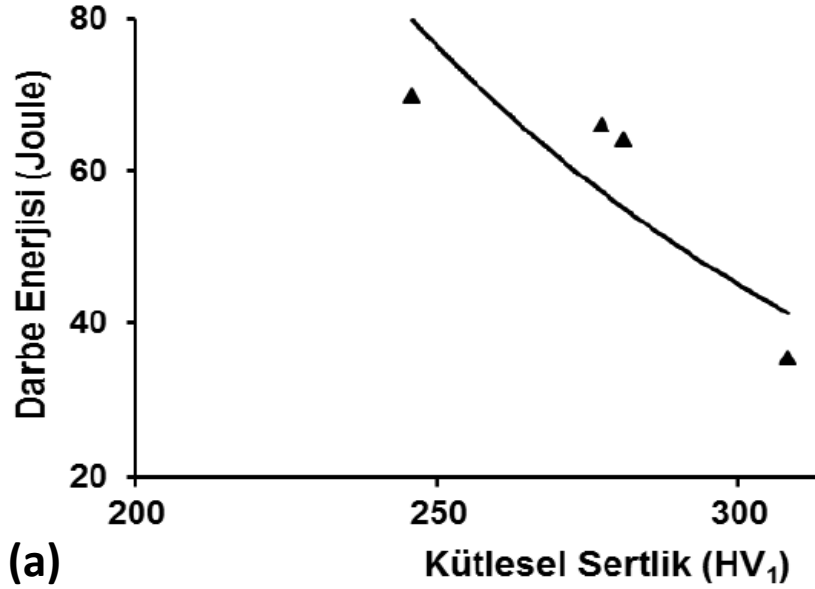
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

Malzeme Kodu	Çekme Sonuçları		Darbe Enerjisi (Joule)	Kütlesel Sertlik (HV ₁)	Mikrosertlik (HV _{0,025})	
	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 mikroyapı bileşenlerine ait mikrosertlik sonuçları.

Görüldüğü gibi katkısız 1 no.lu KGDD'ye nazaran 2 ve 3 no.lu KGDD'lerin mikroyapısında sert ve mukavemetli bir karakterde olan perlit fazının artması ile malzemenin kütlesel sertliğinde, perlit fazının sertliğinde, akma ve çekme mukavemetinde artış sağlarken darbe tokluğunda ise azalma meydana getirmiştir (Şekil 4-a). Ancak her iki alaşım elementinin beraber bulunması ile yapının neredeyse tamamen perlitik olması (Şekil 1-Şekil 3), malzemenin kütlesel sertliğini, perlit fazının sertliğini, akma ve çekme mukavemetini önemli oranda artırırken darbe tokluğunu ise büyük ölçüde azaltmıştır (Çizelge 3 ve Şekil 4-a).

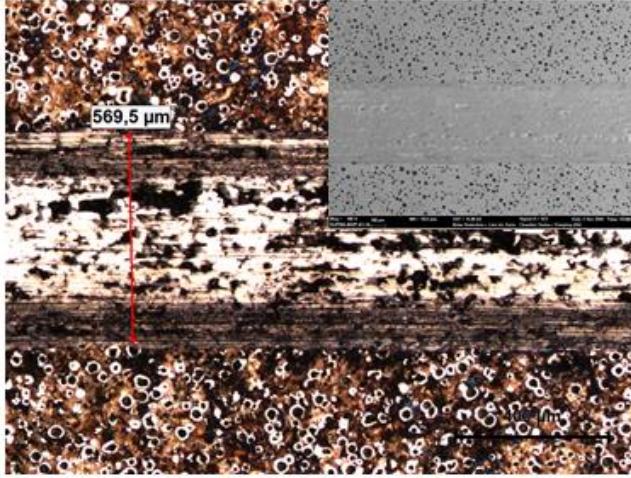
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME



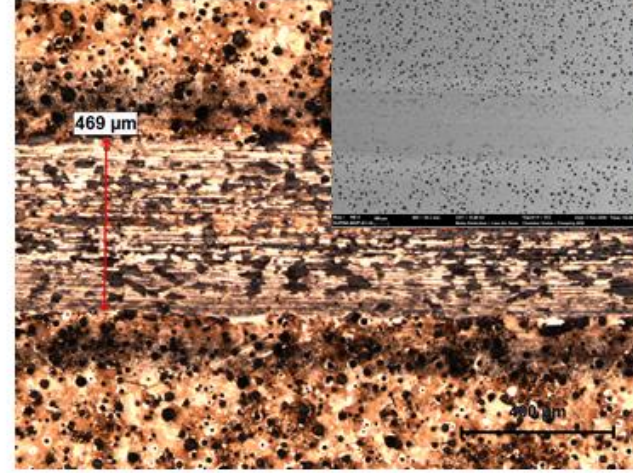
Şekil 4: İncelen KGDD'lerin (a) kütlelesel sertliğine bağılı olarak darbe enerjisinin değışimi, (b) aşınma hızının ölçülen kütlelesel sertliğe bağılı olarak değışimi.

İncelenen KGDD'lerin aşınma hızlarının sertliğe bağılı olarak değışimi Şekil 4-b'de verilmiştir. KGDD'lerin aşınma hızları, sertliğin artışıyla birlikte düşmektedir. Bu sonuç, aşınmada malzemenin sertliğinin en etkili parametre olduğunu vurgulayan literatür çalışmaları ile uyumludur.

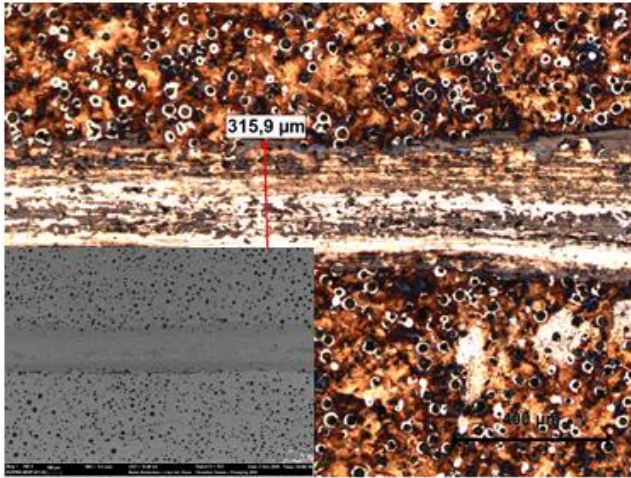
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME



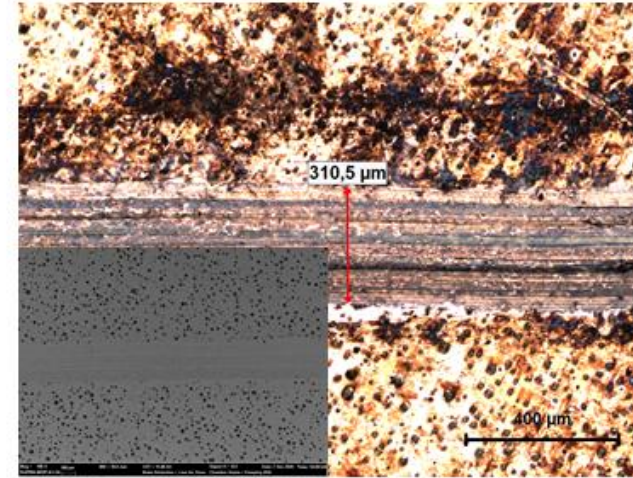
(a)



(b)



(c)



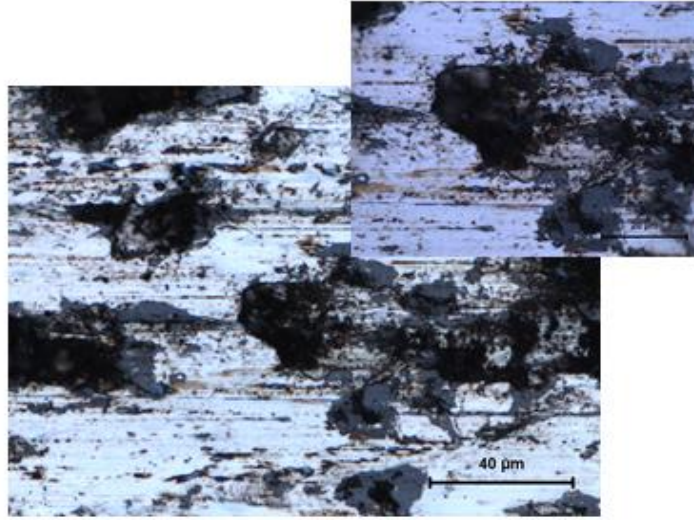
(d)

Şekil 5 : Aşınma deneyine tabi tutulan (a) 1 no, (b) 2 no, (c) 3 no, (d) 4 no KGDD'lerin düşük büyütme OM ve SEM aşınma yüzey görüntüleri.

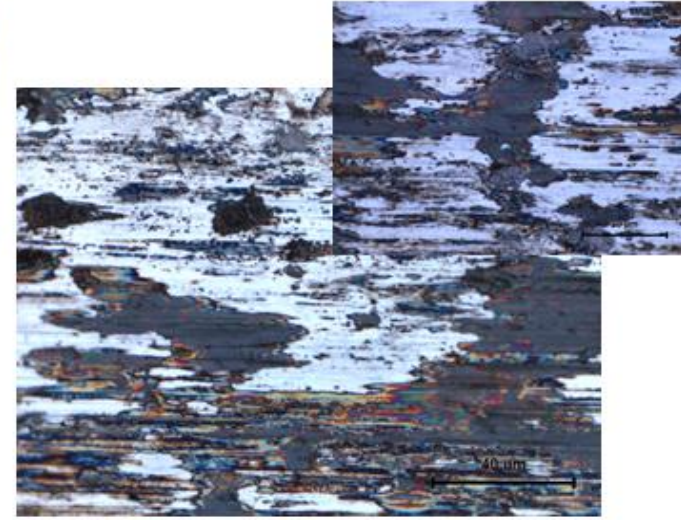
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME



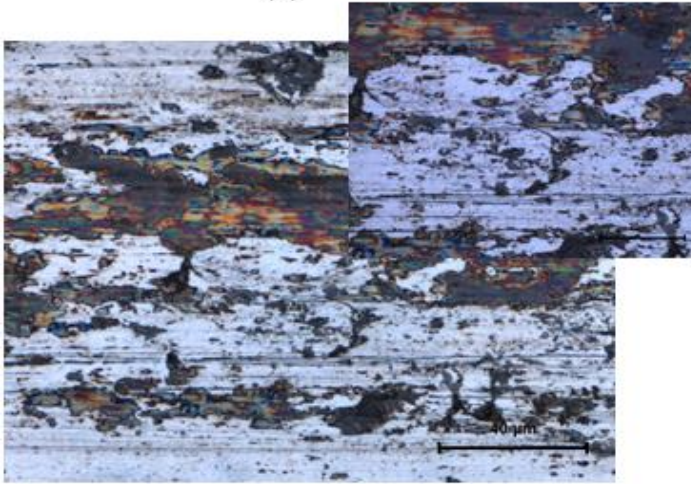
EMİSAŞ



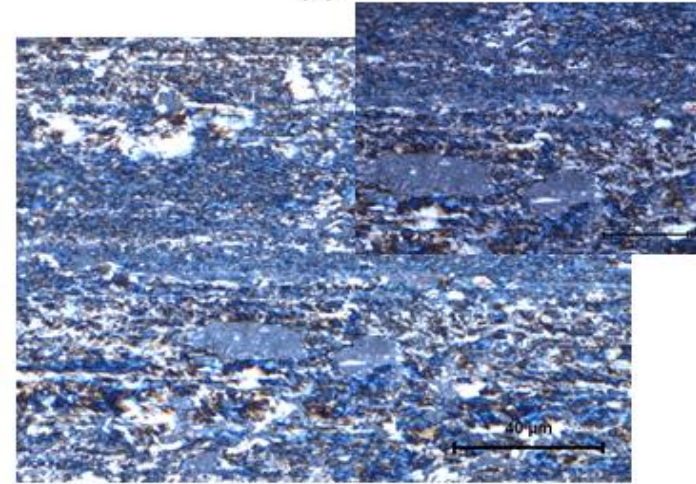
(a)



(b)



(c)



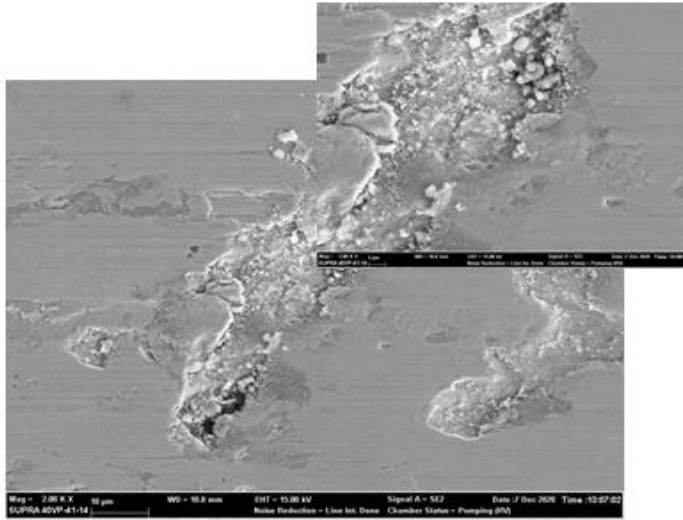
(d)

Şekil 6 : Aşınma deneyine tabi tutulan KGDD'lerin yüksek büyütme OM aşınma yüzey görüntüleri
(a) 1 no, (b) 2 no, (c) 3 no, (d) 4 no.

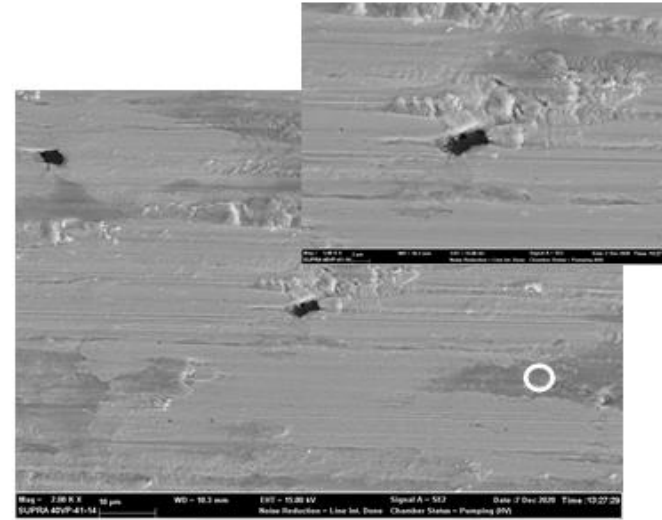
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME



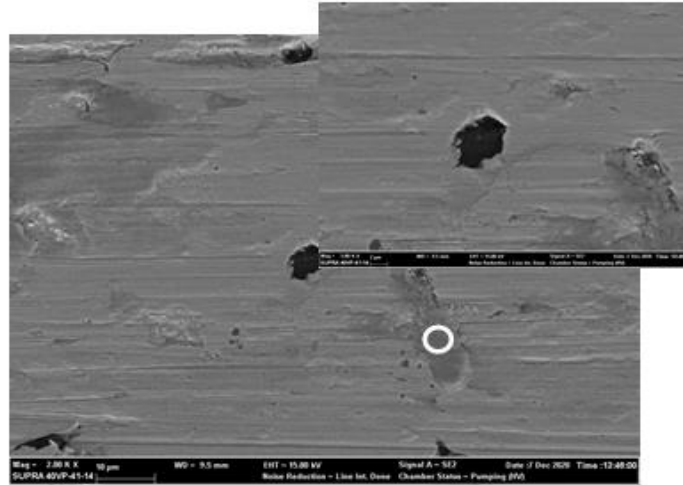
DEMİSAŞ



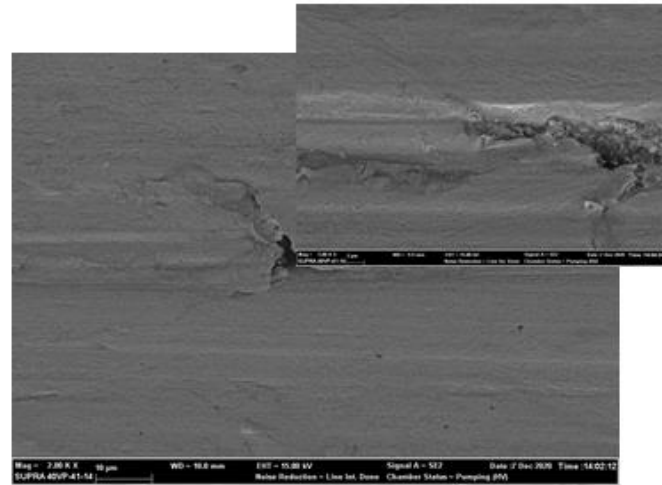
(a)



(b)



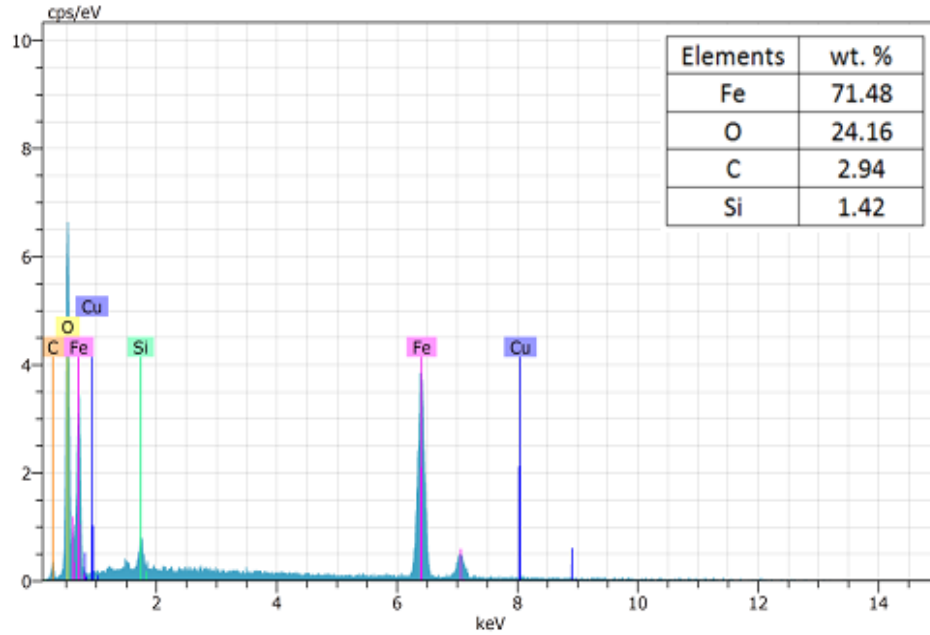
(c)



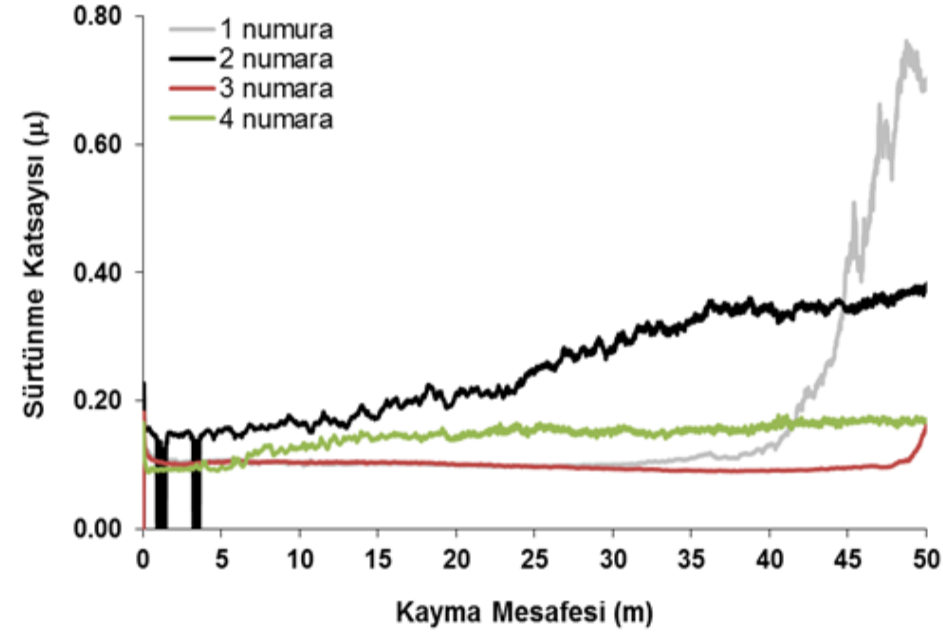
(d)

Şekil 7 : Aşınma deneyine tabi tutulan KGDD'lerin aşınma izlerine ait detaylı SEM görüntüleri (a) 1 no, (b) 2 no, (c) 3 no, (d) 4 no.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME



(a)



(b)

Şekil 8 : (a) Şekil 7’de halka içerisinde gösterilen gri şekilli bölgeler üzerinde gerçekleştirilen EDX analiz sonuçları, (b) İncelenen KGDD’lerin kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayısı grafikleri.

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 neredeyse tamamen perlit fazını içermektedir.
2. 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.
3. İncelenen KGDD'lerin aşınma hızları ise artan kütleli sertlik ile azalmaktadır.