

**SERAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ YÜKSEK İLETKEN BAKIR
KOMPOZİTLERİN GELİŞTİRİLMESİ**

PROJE NO: 106M118

**PROF.DR. CUMA BİNDAL
PROF.DR. SAKİN ZEYTİN
PROF.DR. HÜSEYİN CÖMERT
DOÇ.DR. İBRAHİM ÖZBEK
YRD.DOÇ.DR. MEDİHA İPEK
YRD.DOÇ.DR. ÖZKAN ÖZDEMİR
ARAŞ.GÖR. F.GÖZDE ÇELEBİ EFE**

TEMMUZ 2009

SAKARYA

ÖNSÖZ

Bakır elektrik iletkenliği açısından altın, gümüş ve alüminyum ile rekabet halindedir. Tavlanmış saf bakırın elektrik iletkenliği %100 IACS (International Annealed Copper Standart) olarak tanımlanır. Ancak, bakır bu iletkenliğini ve mukavemetini yüksek sıcaklık uygulamalarında koruyamaz, soğuk şekillendirilerek mukavemeti artırılmış olsa dahi artan sıcaklıkla çabucak yumuşar. Bu gibi uygulama alanlarında bakırın kullanılması ancak alaşımlama ile mümkün olmaktadır. %2-3 kadar alaşım katkısı bakırın ısıl işlemle sertleşmesini sağlar, elektrik iletkenliğinde ise relatif bir azalmaya yol açar. Az alaşımlı bakır veya yüksek iletken bakır alaşımları denilen bu tür alaşımlar da ısıl işlem sıcaklıklarından daha yüksek sıcaklıklarda kullanılamazlar. Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilir ve nispeten yüksek elektrik iletkenliğine sahip bir bakır iletken üretilmesi için Cu-seramik kompozitleri geliştirilmiştir. Alumina takviyeli yüksek iletken bakır kompozitleri, bakırın çalışma sıcaklıklarında alüminanın kararlı kalması nedeniyle geliştirilmiş tek ticari bakır-seramik kompozitidir. Bu tür kompozitler yüksek mekanik özelliklere sahip olmazlar, ancak özelliklerini yükselen sıcaklıklarda koruyabilirler. SiC ise alüminadan çok daha yüksek termal iletkenlik katsayısına sahip olduğundan bakır ile çok daha iyi bir çift oluşturabilir. Nitekim, bir çalışmada Cu-SiC kompozitinin yüksek mekanik özellikleriyle yeterli elektrik iletkenliğine sahip olduğundan söz edilmekte, ancak detaylar hakkında hiçbir bilgi verilmemektedir. Bu, proje çalışmasının orijinal yanlarından birisidir. Bu çalışmada, SiC partikülleri ile takviye edilmiş bakır kompozitinin üretimi ve özelliklerinin karakterizasyonu amaçlanmıştır. 106M118 no' lu "Seramik Partikül Takviyeli Yüksek İletken Bakır Kompozitlerin Geliştirilmesi" isimli proje çalışmamızı maddi olarak destekleyen TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu)'a ve her türlü pozitif desteği veren Sakarya Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ve şükranlarımızı sunarız. Ayrıca, çalışmamızın her safhasında yakın ilgilerini esirgemeyen TÜBİTAK MAG (Mühendislik Araştırma Grubu) yönetici ve çalışanlarına da teşekkürlerimizi sunarız.

Proje Ekibi

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
Önsöz.....	II
İçindekiler.....	III
Tablo Listesi.....	V
Şekil Listesi.....	VI
Özet.....	VIII
Abstract.....	IX
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Kompozit Malzeme ve Özellikleri.....	6
2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	8
2.3.1. Metal Matriksli Kompozitler (MMK).....	12
BÖLÜM 3.	
BAKIR.....	17
3.1. Bakırın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	17
3.2. Bakırın Elektriksel İletkenliği.....	18
3.3. Bakırın Kullanım Alanları.....	19
3.4. Alaşım Elementlerinin Bakıra Etkileri.....	20
3.5. Bakır Alaşımları.....	22
3.5.1. Pirinçler.....	25
3.5.2. Bronzlar.....	27
3.6. İletken Ortamlarda Kullanılacak Bakırın Mukavemetlendirilmesi	36
3.7. Silisyum Karbür.....	41
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	45

4.1. Giriş.....	45
4.2. Projenin Amacı.....	45
4.3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	46
4.4. Çalışmada Kullanılan Cihazlar.....	46
4.5. Deneysel Çalışmada İzlenen Yol.....	47
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	50
5.1. Sementasyon Yöntemiyle Bakır Tozu Üretimi.....	50
5.1.1. Sementasyon.....	50
5.1.2 Bakır Tozu Üretimi.....	53
5.2. Metalografik İnceleme.....	54
5.3. XRD İncelemeleri.....	56
5.4. SEM-EDS İncelemeleri.....	57
5.5. Relatif Yoğunluk.....	69
5.6. Sertlik	71
5.7 Elektriksel İletkenlik.....	72
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA.....	75
KAYNAKLAR.....	80

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. Bakırın bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	18
Tablo 3.2. İletkenlik uygulamalarında kullanılan bazı bakır alaşımlarının özellikleri	39
Tablo 3.3. Bakırı takviye etmek için kullanılabilircek seramik tozların bazı özellikleri.	41
Tablo 3.4. SiC ve Cu'ın tipik fiziksel özellikleri	44
Tablo 5.1. Sementasyon yolu ile üretilen bakır tozunun yaş analiz sonuçları.	54
Tablo 5.2. Cu-SiC kompozitlerinin Archimed Prensibine göre hesaplanan % relatif yoğunluk değerleri.	70
Tablo 5.3 Cu (semente)-SiC kompozitlerinin Archimed Prensibine göre hesaplanan % relatif yoğunluk değerleri	70
Tablo 5.4 Farklı tane boyutlarında SiC içeren Cu (semente)-SiC kompozitlerinin Archimed Prensibine göre hesaplanan % relatif yoğunluk değerleri.	70
Tablo 5.5 Cu-SiC ve Cu-Al ₂ O ₃ kompozitlerinin relatif yoğunluk değerleri.	71
Tablo 5.6 Cu(hazır toz)-SiC kompozitlerinin elde edilen Brinell sertlik değerleri	71
Tablo 5.7 Cu (semente)-SiC kompozitlerinin elde edilen Brinell sertlik değerleri.	71
Tablo 5.8 Cu (semente)-SiC kompozitlerinin elde edilen mikrosertlik değerleri.	72
Tablo 5.9 Cu-SiC ve Cu-Al ₂ O ₃ kompozitlerinin mikrosertlik değerleri.	72
Tablo 5.10 Cu (hazır toz)-SiC kompozitlerinin elektrik iletkenlikleri (% IACS).	73
Tablo 5.11 Cu (semente)-SiC kompozitlerinin elektrik iletkenlikleri (% IACS).	73
Tablo 5.12 Farklı tane boyutlarında SiC içeren Cu (semente)-SiC kompozitlerinin elektriksel iletkenlik değerleri.	74
Tablo 5.13 Cu-SiC ve Cu-Al ₂ O ₃ kompozitlerinin elektriksel iletkenlik değerleri.	74

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin takviye elemanının şekline göre görünümü.	10
Şekil 2.2. Fiber takviye fazlarının yaygın çeşitleri. Genel olarak takviye fazları düz sürekli fiber, süreksiz veya kısa (parçalanmış) fiberler, partikül veya ince tabakalar, yada dokuma veya örülmüş sürekli fiberler olabilir	11
Şekil 2.3. Kompozit malzemeler ve geleneksel monolithik malzemeler arasındaki kıyaslama	12
Şekil 2.4. Çeşitli motor malzemelerinin çalışma sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranına göre performans haritaları.	13
Şekil 3.1. Alaşım elementlerinin bakıra etkileri	21
Şekil. 3.2. Bakır alaşımlarının elektrik iletkenliği ve çekme mukavemeti ilişkisi	25
Şekil 3.3. Çeşitli malzemeler için mukavemet ve spesifik enerji tüketimi.	37
Şekil 4.1 Kompozit numunelerin şematik olarak üretimi.	49
Şekil 5.1. Sementasyon yöntemi ile bakır toz üretimi akım şeması.	53
Şekil 5.2 Hazır bakır tozları kullanılarak farklı sıcaklıklarda 2 saat süre ile sinterlenerek üretilen Cu-ağ.%SiC kompozit numunelerine ait optik mikroyapılar (Büyütme:200X).	55
Şekil 5.3 Semente Cu tozları kullanılarak 900 °C' de 2 saat sinterlenerek üretilen Cu-ağ.% SiC kompozitlerine ait optik mikroyapılar (Büyütme:500X).	56
Şekil 5.4 Semente Cu tozlarının XRD paterni.	57
Şekil 5.5. Semente bakır tozlarının farklı büyütmelerdeki SEM mikrografları.	58
Şekil 5.6. Semente bakır tozunun SEM-EDS alan taraması ve spektrumu.	59
Şekil 5.7. Semente bakır tozunun EDS analizi (5000X).	60
Şekil 5.8 1µm tane boyutundaki SiC' ün SEM mikrografları. a) 10000X , b) 5000X.	61
Şekil 5.9. 1µm tane boyutundaki SiC' ün EDS analizi (5000X).	61
Şekil 5.10. 5µm tane boyutundaki SiC' ün SEM mikrografları.	62
Şekil 5.11 5µm tane boyutundaki SiC' ün EDS analizi.	62
Şekil 5.12 1µm tane boyutunda SiC içeren Cu (semente)-ağ. % SiC kompozitlerinin SEM mikrografları (Cu-%1 SiC için b,c,d dağlanmış halde).	64
Şekil 5.13 5µm tane boyutunda SiC içeren Cu (semente)-ağ. % SiC	65

kompozitlerinin SEM mikrografları (Cu-%2 SiC için c,d dağlanmış halde).	
şekil 5.14 30μm tane boyutunda SiC ięeren Cu (semente)-ađ. % SiC kompozitlerinin SEM mikrografları.	66
şekil 5.15. 1μm tane boyutundaki ađ. % 2 SiC ięeren Cu-SiC kompozitinin EDS analizi.	67
şekil.5. 16 1μm tane boyutundaki ađ. % 1 SiC ięeren Cu-SiC kompozitinin EDS alan analizi	68
şekil 5.17. 1μm tane boyutundaki ađ. % 1 SiC ięeren Cu-SiC kompozitinin EDS analizi.	69
şekil 5.18. 1μm tane boyutundaki ađ. % 5 SiC ięeren Cu-SiC kompozitinin EDS analizi.	69
şekil 5.19. 30 μm tane boyutundaki ađ. % 5 SiC ięeren Cu-SiC kompozitinin EDS analizi.	69

ÖZET

Bu proje çalışmasında, hazır ve semente bakır tozları, farklı partikül boyutlarındaki seramik karakterli SiC ile takviye edilmişlerdir. Başlangıçta, hazır bakır tozlarından Cu-SiC kompoziti sırasıyla 900, 950, 1000 °C sıcaklıklarında 2 saat süre ile grafit tozuna gömülü halde sinterlenerek üretilmişlerdir. Sinterleme sonrası test numunelerinin Archimed Prensibi' ne göre ölçülen relatif yoğunlukları, 88.41 ile 96.45; sertlikleri 104-110 HB; elektriksel iletkenlikleri ise 87.1 ile 45.4 % IACS arasında değişmektedir. Optik ve SEM incelemeleri sonucu SiC partiküllerinin bakır tanelerinin etraflarında yer aldığı ve hakim bileşenlerin Cu, SiC olduğu tespit edilmiştir. Projede öngörülen semente Cu-SiC kompozitleri ise 700 °C' de 2 saat süreyle grafit ortamında sinterlenerek üretilmişlerdir. Sinterlemeden sonra 125 kN' luk yük ile sıcak olarak preslendi. Test numunelerinin Archimed Prensibi' ne göre ölçülen relatif yoğunlukları, 1µm' luk SiC için 96.82 ile 90.93; 5µm' luk SiC için, 97.01 ile 94.04; 30µm' luk SiC için, 97.3 ile 94.82; mikrosertlikleri her üç SiC boyutu için sırasıyla, 144-159; 149-170; 157-180 HV; elektriksel iletkenlikleri ise yine her üç SiC boyutu için, sırasıyla 80.17-57.76; 81.03-62.07; 81.48-68.45 % IACS arasında değiştiği gözlenmiştir. Optik ve SEM incelemeleri sonucu kompozit numunelerdeki takviye SiC partiküllerinin matriks içerisindeki dağılımı nispeten homojen olup, SiC partikülleri Cu matriks tane sınırlarında yer almıştır. XRD incelemelerinde ise kompozit bünye içerisinde hakim faz olan Cu, SiC' nin yanı sıra eser miktarda Cu₂O tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sementasyon, elektriksel iletkenlik, relatif yoğunluk, sertlik, SiC, kompozit

ABSTRACT

In this project, commercial and cemented copper powders are reinforced with SiC which has different particle sizes. At the beginning, Cu-SiC composite is manufactured from commercial copper powders by sintering at 900-950-1000 °C for 2 h in embedded graphite powders. After sintering, the relative densities measured according to Archimedes' principle were between 88.41 and 96.45; the hardness and electrical conductivities of test materials were determined between 104-110 HB; 87.1 and 45.5 % IACS, respectively. As a result of OM and SEM examinations it was found that SiC particles were located to boundaries of copper grains and Cu and SiC were detected as dominant phases. As for, cemented Cu-SiC composites proposed in project were produced by sintering at 700°C for 2 h in embedded graphite powders. Following sintering, test materials were immediately hot pressed with an axial load of 125kN. It was observed that the relative densities of test materials measured in terms of Archimedes' principle are 98.82 and 90.93 for SiC with 1 μm particle size; 97.01 and 94.04 for SiC with 5 μm particle size; 97.3 and 94.82 for SiC with 30 μm particle size; the hardness of test materials changed between 144-159 HV for SiC with 1 μm particle size; 149-170 HV for SiC with 5 μm particle size and 157-180 HV for SiC with particle sizes of 30 μm and the electrical conductivities of test materials ranged from 80.17 to 57.76 for SiC with 1 μm particle size; 81.03 to 62.07 for SiC with 5 μm particle size and 81.48 to 68.45 % IACS for SiC with 30 μm particle size. Optical and SEM studies revealed that SiC particles are partly dispersed in copper matrix and SiC particles are mainly located at grain boundaries. The presence of Cu, SiC and Cu₂O phases were confirmed by XRD analysis technique.

Keywords: Cementation, electrical conductivity, relative density, hardness, SiC, composite.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bakır, insanlar tarafından kullanılan ilk metal, çağlar boyunca kullanım açısından da demirden sonra ikinci metaldir. Tarih öncesi dönemde bulunmuştur ve yaklaşık M.Ö. 4000'den, hatta daha önceden başlayarak kullanıldığı düşünülmektedir.

Bakır ve alaşımlarının günümüze kadar en önemli mühendislik malzemeleri olarak kalmasının sebepleri; yüksek korozyon dayanımları, mükemmel elektrik ve ısı iletkenlikleri, cazip görünümleri, yüksek süneklikleri ve şekillendirme kolaylıklarıdır. Gümüşten sonra en iyi elektrik iletkenliğine ve gümüş ile altın arasında çok yüksek ısı iletkenliğine sahiptir[sağlammet]. Ancak, yüksek maliyeti nedeniyle, gümüş ve altın iletkenlik uygulamalarında az kullanılır. Kütleli uygulamalar açısından, en fazla kullanılan iletken malzemeler alüminyum ve bakırdır. Bakırın tercih edilmesinin temel sebepleri daha yüksek iletkenliği yanında alüminyuma nazaran yüksek mukavemetli olmasıdır [1-4].

Ancak, bakırın önemli bir dezavantajı 390 MPa mertebesindeki mukavemetidir. Zira saf bakır, soğuk şekil verilerek sertleştirilse dahi, 100oC'ye yakın sıcaklıklarda yeniden kristalleşmekte ve dolayısı ile mukavemetini çabucak kaybetmektedir. Hem elektriksel olarak yeterince iletken hem de saf bakıra nazaran oldukça yüksek mukavemet ve sertlik, saf bakırın alaşımlandırılması ile elde edilmektedir. Ancak, bu durumda, elektrik iletkenliğinin çok düşmesi istenmez. Bu bakımdan, saf bakıra ancak %2 mertebesinde, birçok uygulamada ise daha az miktarda alaşım elementi ilave edilmektedir. Bu tür bakır “az alaşımlı bakır”, “yüksek bakır alaşımı” veya “sert bakır alaşımı” olarak adlandırılır. Bunun için bakıra katılan alaşım elementlerinin başlıcaları Be, Cr, Zr, Si, P, Ni'dir. Az alaşımlı bakırın en önemli karakteristiği, bu alaşımların hepsinin yaşlanma ile sertleşebilir olmalarıdır. Alaşımın mukavemete veya sertliğinde bir dereceye kadar katı çözümleri sertleşmesi ile artış sağlanmakla beraber, esas sertlik artışı yaşlanma ile elde edilmektedir. Hatta, bazı uygulamalarda, yaşlanma işlemi soğuk şekillendirme ile kombine edilerek 1300

MPa'a ulaşan mukavemet değerleri sağlanabilmektedir. İletkenlik uygulamalarında kullanılan az alaşımlı bakırın en önemli handikapı yüksek sıcaklıkta özelliklerindeki hızlı kayıptır. Bu nedenle, alumina partikül takviyeli iletken bakır kompoziti (Cu-Al₂O₃) geliştirilmiştir [3,5].

Bakır, alumina partikülleri ile takviye edilmiş olarak iletkenlik gerektiren alanlarda (özellikle iletken ve kontakt malzemeleri olarak-conductor and contact materials-) kullanılmaktadır. Bu alanlarda kullanılacak bakırın yüksek elektrik iletkenliği yanında oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik özelliklere sahip olması gerekir. Bu bakımdan, alumina partikülleri ile yapılan takviye işlemi bir yandan dispersiyon sertleşmesi ile mukavemet ve sertliği artırırken, öte yandan elektrik iletkenliğinde önemli azalmalara yol açmamalıdır. Elektrik iletkenliğinin önemli olduğu uygulamalar açısından seramik partikül oranı önemlidir. Bu nedenle, bakırı takviye etmek için kullanılan alumina seramik partikül oranı yaklaşık %1 mertebesindedir [6].

Bakır alumina kompozitine alternatif olarak, diğer bazı seramik partikülleri ile bakırın takviye edilmesi çalışmaları mevcuttur. Bu takviye partikülleri arasında TiC, TiB₂, SiC sayılabilir. Bunlardan yüksek elastik modülü, yüksek termal iletkenliğinden dolayı SiC özellikle cazip olabilir. SiC ile takviye edilmiş Cu kompozitlerinin çok yüksek mukavemet yanında tatminkar elektrik iletkenliği de gösterdiği görülmüştür. Ancak konu ile ilgili detaylı bilgi yoktur [5].

Bu çalışmada, SiC partikülleri ile takviye edilmiş Cu kompozitlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için CuSO₄ tuzlarından hareketle kimyasal çöktürme yoluyla bakır tozları üretilecek ve SiC partikülleri ile karıştırılacaktır. Farklı SiC partikül boyut ve oranlarında hazırlanacak toz karışımları preslenip 700oC sıcaklıkta sinterlenmiştir. Sinterlenmiş ürünler mekanik, mikroskobik ve elektriksel olarak karakterize edilmiştir.

BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1 GİRİŞ

Çeşitli uygulamalarda kullanılacak ürünlerin dizaynı ve üretiminde mühendisler için 50.000'den fazla uygun malzeme çeşidi bulunmaktadır. Bu malzemeler yüzyıllardır kullanılan bakır, dökme demir, bronz gibi temel malzemelerden yeni geliştirilmiş ileri teknoloji ürünü malzemelere kadar değişiklik göstermekte olup [1]; genel olarak metaller, polimerler ve seramikler olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Bunların birbirlerine göre zayıf ve üstün yanları vardır. Bir malzemede, uygulama alanları dikkate alındığında aranan özelliklerden en önemlileri; akma dayanımı, elastik modülü, kırılma tokluğu, yoğunluk ve yüksek sıcaklıklara dayanma direncidir [2].

Metaller yapısal uygulamalarda geçmişten beri baskın olarak kullanılmaktadır [1]. Yüksek mukavemet, termal kararlılık, termal ve elektriksel iletkenlik özelliklerine sahiptirler. Polimerlerden yüksek olan yüksek sıcaklık dayanımlarına bağlı olarak yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadırlar.

Polimerlerin yoğunluğunun düşük ve karmaşık şekilli parçaların üretiminin kolay olması, birbirleri ile ve diğer malzemelerle birleştirilebilir olması yanında talaş kaldırma işlemlerinin kolay olması özelliklerinin arasındadır. Fakat düşük termal kararlılıkları ve mekanik özellikleri de kullanım alanlarını kısıtlamaktadır.

Seramikler, kuvvetli kovalent bağa sahip olmaları sebebiyle yüksek termal kararlılık ve mukavemet sergilerler. Seramiklerin metallerle kıyaslandığında en ayırıcı özelliği neredeyse hiç süneklik sergilemeyişleridir. Bunlar, genellikle termal ve kimyasal etkilere karşı dirençlidirler. Ancak, yüksek ergime sıcaklıkları ve sertlikleri üretim sonrası işlemlerini zorlaştırır ve yalıtıkdırlar. Kırılgan oluşları seramiklerin kullanım alanlarını kısıtlamaktadır [1, 2].

Yukarıda bahsedilen bu üç ana grubun yanında teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, geleneksel malzemelere oranla daha üstün özelliklere sahip yeni malzemelerin kullanım ihtiyacını doğurmuştur. Sürekli olarak gelişen bu teknolojik faaliyetler, beraberinde endüstriyel sanayinin temel maddesi olan malzemedeki ilerlemeyi gerekli kılmıştır. Bu sebeple, malzeme bilimciler; üstün özelliklere sahip yeni malzemeleri araştırmaya yönelmişler ve diğer malzemelerden farklı olarak, daha üstün niteliklere sahip “Kompozit Malzemeler” adı altında yeni malzemeler üretmişlerdir ve malzeme türleri arasında dördüncü grubu teşkil etmektedirler [2, 3].

Kompozit malzemelerin tarihçesi çok eskiye dayanmaktadır. Örneğin ağaç, kemik ve diş gibi doğal kompozit malzemeler insanlığın var oluşu ile birlikte kullanılmıştır. İnsanlar belki de çamura saman karıştırıp kerpiç tuğlalar üretmeye başladıklarında ilk kompozit malzemeyi yapmışlardır. Kompozit terimi geniş manada doğal veya sentetik iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesi ile oluşturulan malzeme olarak tanımlanır. Gerçekte doğayı dikkatle incelediğimizde varoluştan gelen birçok oluşumun kompozit yapıda olduğunu söyleyebiliriz. Doğanın varoluş temelini oluşturan kompozit ve özellikle gradyan yapı gerçeği en sonunda insanoğlunun da dikkatini çekmiş ve gelişen teknolojiyle ortaya çıkan farklı ihtiyaçları karşılamak için bu konular üzerinde çalışmalar başlamıştır [4].

Kompozit malzemelerin yaygın uygulamaları II. Dünya savaşı esnasında mevcut konvansiyonel malzemeler tek başlarına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile başlamıştır. O zamandan beri de bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmektedir [2] ve uzun zamandır teknolojik problemlerin çözümünde kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler otomotiv parçaları, spor araçları, inşaat sektörü, müzik aletleri, sağlık, ulaşım, uzay ve uçak bileşenleri, denizcilik malzemeleri, çeşitli cihazlar ve yağ endüstrileri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 5]

Kompozit malzemeler uzay, havacılık ve otomotiv sektörlerinde, mukavemet/ağırlık,

mukavemet/yoğunluk oranları gibi malzeme özelliklerinin önemli olduğu ağırlığa duyarlı alanlarda kullanılan malzemelerin karıştırılarak özelliklerinin geliştirilmesini önemli kılmış ve bu alanlarda da önemli gelişmelere yol açmıştır [2]. Kompozit malzemelerin kullanımındaki artış, ürün performansının farkına varılması ve dünya piyasalarında hafif malzemelerin artan yarışı ile ortaya çıkmıştır [1].

Son yıllardaki gelişmelere bakarak bu malzemelerin kullanımlarının hızla yaygınlaştığını ve giderek artacağını söylemek mümkün görünmektedir. Bu gelişmeler için tahrik edici güç malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranı elde etmek olmuştur. Bu nedenle de spesifik uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır [2]. Dolayısıyla bugünkü ve gelecekteki birçok uygulama alanında kompozit malzemelerin kullanımının katlanarak artacağı görülmektedir [1].

2.2 KOMPOZİT MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

Kompozit malzeme terimindeki kompozit kelimesi; iki veya daha fazla malzemenin, üçüncü bir malzemeyi oluşturmak için makroskobik ölçüde bir araya gelmesini ifade etmektedir. Malzemenin makroskobik incelenmesinde dikkat edilecek nokta, bileşenlerin çıplak gözle görülebilmesidir [6, 7]. Yani, içyapıları çıplak gözle incelendiğinde yapıyı oluşturan bileşenler kolayca seçilip ayırt edilebilmelidir. Sözlük anlamında kullanılan kompozit terimi çeşitli parçalardan veya elementlerden oluşan malzemeleri tanımlamaktadır. Bu tanıma göre de pek çok malzemenin kompozit grubu içerisine girmesi mümkündür [8].

Temel olarak kompozit malzemeler, şekil ve/veya kimyasal bileşimleri farklı, birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen ve aralarında bileşik oluşturmayan iki veya daha fazla sayıda makrobileşenin kombinasyonundan oluşan malzemeler olarak tanımlanabilir [6, 8]. Ancak kompozit malzeme tanımının daha açık ve anlaşılır olmasını sağlamak için; bir malzemenin kompozit sayılması için gerekli özellikleri belirtmemiz gerekir. Bu özellikler:

- İnsan tarafından üretilmelidir,
- Farklı bileşenlerle beraber kimyasal olarak birbirinden farklı en azından iki malzemenin kombinasyonundan oluşmalıdır,
- Malzemeyi oluşturan ayrı malzemeler üç boyutlu olarak birleştirilmelidir,
- Kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başlarına sahip olmayacakları özellikler göstermelidir [4].

Kompozit malzemeler matriks ile takviye elemanı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Genel olarak kompozit malzemelerde matriks sünek, hafif ve düşük dayanımlı, takviye elemanı ise rijit, yüksek dayanım ve sertliğe sahip olmaktadır [6]. Bir kompozit malzemedeki takviye elemanının ve matriks malzemesinin önemli görevleri aşağıda belirtilmiştir.

Kompozit malzemedeki takviye elemanlarının temel fonksiyonları şunlardır:

- Yük taşımak. Yapısal kompozitlerde yükün %70-90' ını fiberler taşır.
- Kompozit malzemeye tokluk, mukavemet, termal kararlılık ve diğer yapısal özellikleri sağlamak.
- Kullanılan takviye elemanının şekline göre elektrik iletkenliği veya izolasyon sağlamak.

Kompozit yapısındaki matriks malzemesinin birçok görevi vardır. Matriks malzemesinin önemli fonksiyonları aşağıda belirtilmiştir:

- Matriks malzemesi takviye elemanlarını bir arada tutar ve dışarıdan malzemeye uygulanan yükleri takviye elemanlarına transfer eder.
- Matriks takviye elemanlarının birbirlerinden ayrı durmalarını sağlar. Takviye elemanlarının serbest olarak hareket edebilmeleri malzemedeki çatlak ilerlemesini yavaşlatabilir veya durdurabilir.
- Matriks iyi bir yüzey kalitesi sağlar ve nihai ürüne yakın parçaların üretimine katkıda bulunur.
- Matriks takviye elemanını kimyasal etkilere ve mekanik hasarlara (aşınma) karşı korur.
- Seçilen matriks malzemesine göre de süneklik, darbe direnci vb. gibi performans özellikleri değişiklik gösterir.
- Hasar tipi, takviye elemanı ile uyumuna bağlı olduğu gibi kompozit malzemedeki kullanılan matriks malzemesinin tipinden fazlasıyla etkilenir [1].

Takviye fazlarının çoğu iyi termal ve elektriksel iletkenliğe, matriksten daha düşük bir termal genişleme katsayısı ve/veya iyi aşınma direncine sahiptir. Sonuçta kompozit malzeme, diğer malzeme bileşenleri ile tek başına daha üstün bir yapısal özellikler dengesine sahiptir [6].

2.3 KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemelerin doğaları ve yapılarının açıklanmasıyla bu malzemeler üzerinde işlevini koruyan sınıflandırmalar yapılmaktadır. Kompozitler genel olarak iki farklı şekilde sınıflandırılırlar. Sınıflandırmanın ilk kısmı genellikle matriks bileşenine uygun olarak yapılır. Matriks bileşenine göre başlıca kompozit çeşitleri organik matriksli kompozitler (OMK), metal matriksli kompozitler (MMK) ve seramik matriksli kompozitler (SMK) dir. Organik matriksli kompozit terimi iki kompozit türünü kapsamaktadır: polimer matriksli kompozitler (PMK) ve karbon matriksli kompozitler (çoğunlukla karbon-karbon kompozitleri olarak ifade edilirler). Araştırma ve geliştirme topluluklarında bazen intermetalik matriksli kompozitler (IMK), MMK'lerden farklı bir sınıflandırma olarak ifade edilirler. Fakat IMK'lerin önemli ticari uygulamaları henüz bulunmamaktadır ve pratikte MMK'lerden tamamen farklı özellik göstermezler [6].

- **Polimer Matriksli Kompozitler:**

Polimerler, metal ve seramiklere göre çok daha fazla komplekstirler. Matriks olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışabilen malzemelerdir. Diğer taraftan düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimer matriksler genellikle sürekli fiberlerle kullanılırlar. Bunlardan en önemli olanları sürekli fiberlerle takviye edilen poliyester ve epoksi reçine matriksleridir. Epoksi reçine matriksli kompozitlerin en önemli uygulamalarından biri havacılık uygulamalarıdır. Polimer matriksli kompozitlerle çalışırken göz önüne alınması gereken en önemli faktörlerden ikisi, sıcaklık ve nemdir. Özellikle iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matriksli kompozitlerin mekanik özelliklerinde hidro termal etkilerden dolayı düşüşler meydana gelmektedir. Polimer matriksli kompozitlerin üretilmesinde en çok bilinen ve en çok kullanılan metotlardan bazıları;

- ele sıvama,
- tel sarma,

- kese kalıplama işlemi,
- pultrüzyon metodu,
- sıvı akış tekniği,
- takviyeli reaksiyon enjeksiyon kalıplama,
- ekstrüzyon ve termo oluşum metotlarıdır.

Polimerde kullanılan takviye malzemelerinden en önemli olanları; cam fiber, kevlar fiber, boron fiber ve karbon fiberlerdir [6, 2, 9].

- **Seramik Matriksli Kompozitler:**

Seramik malzemeler çok sert ve kırılıgandırlar. Bunun yanında yüksek sıcaklıklarda bile yüksek elastik özellik gösterirlerken kimyasal olarak inertirler ve ayrıca düşük yoğunluk gibi özellik sergilerler. Seramik malzemeler termal şok direncinin düşük olduğu malzemelerdir dolayısıyla kullanımları sırasında ani hasar sergilediklerinden faciaya yol açacak özelliktedirler. Seramik malzemelerin seramik fiberlerle takviye edilmesi durumunda ani kırılmalara karşı dayanım artarken tokluklarının da artırılması amaçlanmaktadır. Bu uygulamayla monolitik seramiklere oranla tokluk 20 kata kadar artırılabilir. Seramik matriksli kompozitlerde proses parametreleri ile oynayarak mikro çatlaklar oluşturulur. Bu mikroçatlaklar, çatlak yolunun uzamasını ve gerilme konsantrasyonlarının yoğunlaşmasını engelleyerek gerilmeleri absorbe ederler.

Seramik matriksli kompozitlerin üretimi iki aşamalı bir prosestir. Birincisi takviye malzemelerinin matriks içine ilavesi, ve ikincisi ise matriksin yoğunlaştırılmasıdır. Üretim metotlarının bazıları; viskoz infiltrasyon toz metalurjisi kapsamındaki tüm metotlar, kimyasal reaksiyon, sol-jel ve polimer proliz metotlarıdır [2, 6, 9].

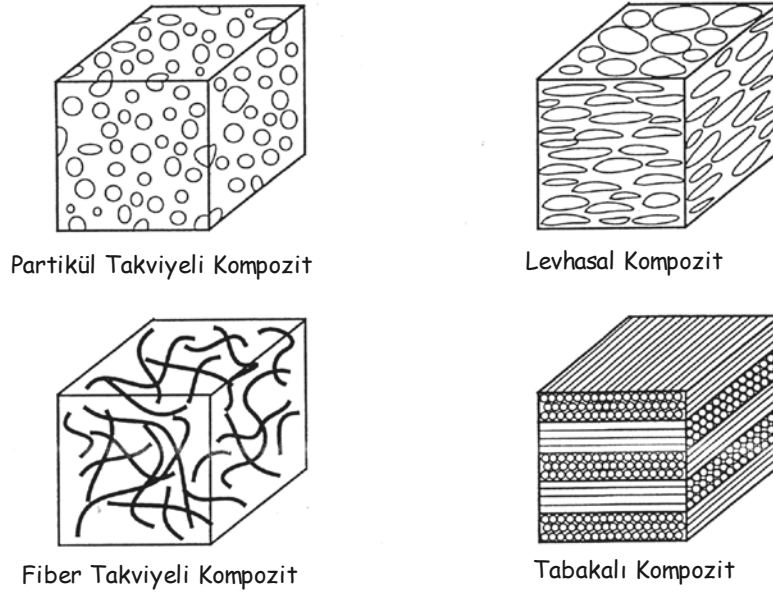
- **Metal Matriksli Kompozitler:**

Metal matriksli kompozitler genelde iki bileşenden meydana gelmektedirler. Bunlardan biri metal matriks (genelde bir metal alaşımıdır), diğeri ise takviye malzemesidir (genel olarak bir metaller arası bileşik, oksit, karbür veya nitrit). Metal matriksli kompozitlerin iki veya daha fazla sayıdaki fazlardan ayrılışı kompozit

oluşmasından dolayıdır. Kompozitin üretilmesinde matriks ve takviye malzemesi beraber karıştırılırlar. Bir kompoziti elde etmek için başlangıçta farklı komponentler seçilir. Genelde matriks bir metal veya metal bir alaşımdır [2,,6, 9].

Sınıflandırmanın ikinci kısmı takviye fazı çeşidine bağlı olarak yapılıır:

- Fiber takviyeli kompozitler,
- Levhasal kompozitler,
- Partikül takviyeli kompozitler,
- Tabakalı kompozitler (Şekil 2.1) [6].

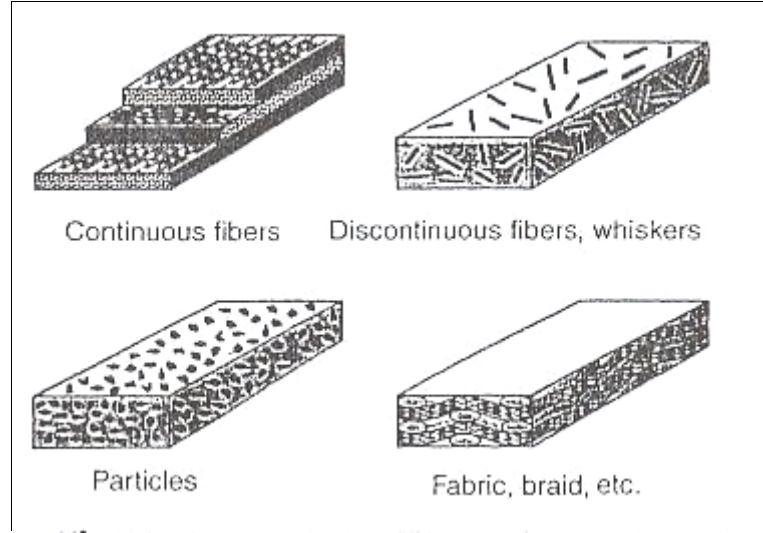


Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin takviye elemanının şekline göre görünümü.

Bu dört tip takviye elemanlı kompozit yine plastik, metal veya seramik matriks içinde olabilir. İkinci faz veya takviye elmanı her zaman beklenen özellik sağlanması için matriksten daha serttir. Burada fiber takviyeli kompozitler,

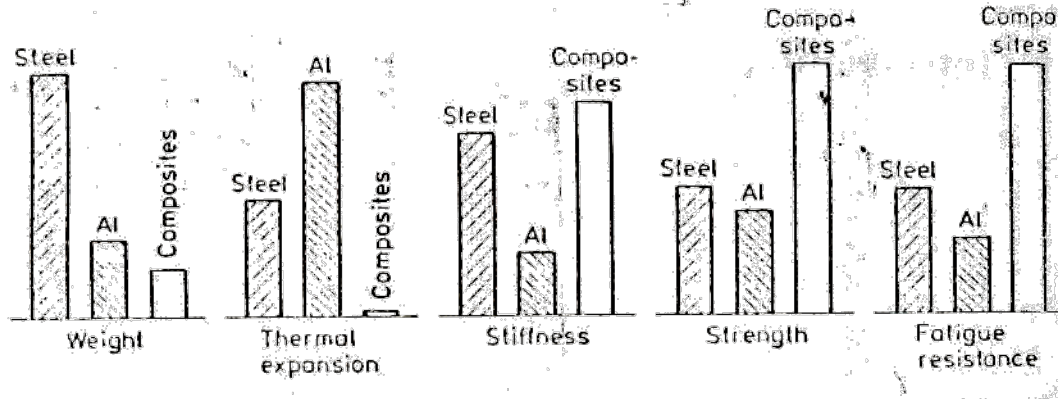
- Sürekli fiber takviyeli kompozitler,
- Süreksiz fiber takviyeli kompozitler,
- Rastgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş kompozitler olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.2).

Partikül takviyeli kompozitlere iki alt grupta incelenilebilir. Bunları da; (a) büyük partiküllerle dayanımı arttırılmış kompozitler, (b) dispersiyonla dayanımı arttırılmış kompozitler olarak ta alt gruba ayırmak mümkündür [2, 6].



Şekil 2.2. Fiber takviye fazlarının yaygın çeşitleri. Genel olarak takviye fazları düz sürekli fiber, süreksiz veya kısa (parçalanmış) fiberler, partikül veya ince tabakalar, yada dokuma veya örülmüş sürekli fiberler olabilir [6].

Kompozit malzemeler mühendisliğin her branşında tasarımcıların ufuklarını genişletmektedir. Kompozit malzemeler aslında binlerce yıldan beri mevcuttur. Doğal kompozit oluşumlarının yanı sıra çok uzun zamandan beri birçok mühendislik malzemeleri kompozit olarak pek çok alanda kullanılmaktadır. Kauçuk içindeki karbon siyahı, Portland çimentosu veya kumla karışmış asfalt ve reçinedeki cam fiberler en genel örnekleridir [10- 12]. Şekil 2.3. alüminyum, çelik ve kompozit malzemeler gibi geleneksel monolitik malzemeler arasında bir kıyaslama yapmaktadır [12].



Şekil 2.3. Kompozit malzemeler ve geleneksel monolithik malzemeler arasındaki kıyaslama [12].

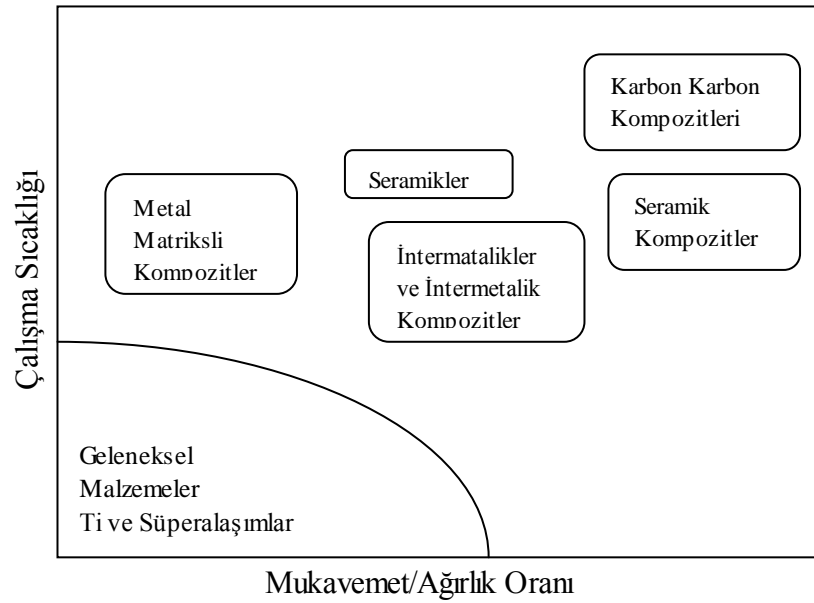
2.3.1. Metal Matriksli Kompozitler (MMK)

MMK malzemeler hakkındaki bilgiler çok eski yıllara dayanmasına rağmen, bu malzemelerin kullanımları son yıllarda, özellikle son 30 yılda oldukça yaygınlaşmıştır [13]. Çeyrek yüzyıldan daha uzun zamandan beri endüstriyel ve mühendislik uygulamalarına önemli katkılar sağlayan metal matriksli kompozit malzemeler en az iki bileşenden meydana gelmektedirler [13, 14].

MMK malzemelerin yerlerine kullanıldıkları metal ve alaşımlarına göre üstünlükleri mevcuttur. MMK'ler:

- Yüksek elastik modülüne sahiptirler,
- Yüksek sıcaklıklarda çalışırlar,
- Yüksek mukavemet (çekme, basma, aşınma, sürünme ve kayma) gösterirler,
- Düşük yoğunluk değeri verirler,
- Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modülü özelliklerini birleştirirler,
- Tekrar üretilebilir mikroyapı ve özelliklere sahiptirler,
- Sıcaklık değişikliklerine veya termal şoka karşı düşük hassasiyet gösterirler,
- Yüksek yüzey dayanıklılığı ve yüzey akışlarına karşı düşük hassasiyete sahiptirler,
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik özellikleri mevcuttur.

Kompozit performansının geliştirilmesi için en önemli anahtar parametreler, mukavemet/ağırlık veya spesifik mukavemettir. Şekil 2.4 kullanım sıcaklıklarına ve spesifik mukavemetlerine göre çeşitli yüksek sıcaklık malzemelerinin performans haritalarını göstermektedir. Bu şekilde MMK malzemeler, geleneksel malzemelerden daha iyi bir yer tutarken spesifik mukavemetlerinin seramik ve diğer yüksek sıcaklık malzemelerinden daha düşük olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 2.4. Çeşitli motor malzemelerinin çalışma sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranına göre performans haritaları.

Metal matriksli kompozitler üstün mekanik, elektrik ve termal performanslarından dolayı uzay/uçak, otomobil ve elektronik endüstrilerinde 1960'lardan beri kullanılmaktadır. Bu kompozitler düşük elektriksel direnç, iyi termal iletkenlik ve yüksek mekanik mukavemetlerinden dolayı son yıllarda elektriksel kontak ve elektronik paketleme endüstrilerinde önem kazanmıştır [6, 12, 15, 16] ve yapısal malzeme olarak da mühendislik uygulamalarında hızla ilk sıralarda yer almaktadırlar. Son zamanlarda yüksek oranda seramik içeren metal-seramik kompozitleri elektronik paketleme gibi termal yönetim uygulamalarında ilgi odağı olmuştur. Bu kompozitlerin yaygın kullanımı, bunların termal genişleme ve bazı

özelliklerini çok iyi anlamayı gerektirmektedir. Örneğin, mikro-elektronikteki paketleme malzemeleri ısıyı dağıtmak için yüksek termal iletkenliğe ve parçalar arasındaki termal genleşme uyumsuzluğunu azaltmak için düşük termal genleşme katsayısına (CTE) sahip olmalıdırlar. İyi termal iletkenlikle birlikte düşük ve uyumlu CTE'ye sahip kompozit, uygun metalik ve seramik fazları harmanlama ile elde edilebilir [17]. Seramiklerin yüksek elastik modül ve metallerin yüksek süneklik özelliklerini birleştiren bu malzemeler, havacılık ve savunma sanayinin yanında otomotiv endüstrisinde de kullanılmaya başlanmışlardır [17, 18].

Her tip metal matriksli kompozitler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

- Dispersiyonla Sertleştirilmiş Kompozit: Bu kompozit, seçilen matriks içerisinde çok ince partiküllerin düzenli bir şekilde dağıldığı yapı olarak karakterize edilir. Partikül boyutu $0,01 \mu m$ 'den $0,1 \mu m$ 'ye kadar değişebilir ve partiküllerin hacim oranı %1-15 arasında olur.
- Partikül Takviyeli Kompozit: Bu kompozitlerde ilave edilen takviye elemanının boyutu $1 \mu m$ 'den büyüktür ve hacim oranı % 5-40 aralığındadır.
- Fiber Takviyeli Kompozit: Fiber kompozit malzemelerinde takviye elemanının (fiberin) uzunluğu $0,1 \mu m$ ve $250 \mu m$ aralığında olabilmektedir. Sürekli fiberlerle takviye edilmiş MMK'lerde takviye malzemesinin hacim oranı %70'lere kadar arttırılabilmektedir. Fiber takviyeli malzemelerin ayırt edilebilen mikroyapısal özelliği; diğer iki takviye fazı partiküllerinde olmayan uzun bir boyutunun olmasıdır.

Metal matriksli kompozitler, partikül, tabaka, whisker, kısa fiber ve sürekli düzene girmiş fiber türündeki seramik fazlarla takviye edilmiş bir metalik alaşım matriksi içeren malzemelerin farklı bir sınıfıdır [6]. Yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için matriks malzemesi elyaflar arasına emdirilmeli, elyafları ıslatabilmeli, kimyasal veya belli şartlarda yapışma için bağ oluşturmalı, mümkün olan düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılaşabilmelidir. Bağdan ayrı olarak da üretim esnasında veya bundan sonraki işlemler sırasında matriks ve elyaf arasında diğer

kimyasal etkileşimler olmamalı ve matriks sürekli olarak kararlı kalmalıdır. Üretim sırasında matriksin kimyası nedeniyle elyaflar da herhangi bir fiziksel hasara maruz kalmamalıdır. Kompozitin sıcaklığa, kimyasal etkileşime ve neme karşı direnci öncelikle matriks tarafından belirlenir, takviye elemanı da sıcaklığa karşı kararlı olmalıdır [2, 6, 12].

MMK' lerde çok yaygın olarak kullanılan matriks malzemesi, düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlardır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarda tercih edilirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımının da çok yüksek olması diğer karakteristik özelliklerinden biridir. Genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn matriks malzemesi olarak kullanılır. En yaygın kullanılan metal matriksli kompozitler, ya silisyum karbür (SiC), alümina (Al_2O_3), karbon yada grafit takviyeli alüminyum, magnezyum ve titanyum alaşımlarına dayanmaktadır. [2, 6, 10].

Mühendislikte kullanılan takviye elemanlarının pek çoğu elyaf şeklinde üretildiklerinden dayanım ve rijitlikleri katı haldeki konumlarından yaklaşık 30-50 kat daha dayanıklı ve 3 kat daha rijit olduklarından kütle halinde gösterdikleri özelliklerinden daha üstün performans gösterirler. Elyaplardan aranan temel özellikler;

1. Yüksek elastik modül ve dayanım,
2. Düşük yoğunluk,
3. Kimyasal uyumluluk,
4. Üretim kolaylığı,
5. Isıl direnç gibi kriterlere göre seçilmektedir.

MMK' ler üzerindeki ilk çalışmalar sürekli fiberlerle takviye edilen malzemeler üzerine olmuş ve bu malzemelerin uygulamaları havacılık alanında kendini

göstermiştir. Fakat kullanım alanlarının daha ucuz olması ve kolay fiber üretim teknolojisinin gerektiği şekilde gelişmesinden dolayı sınırlı kalmıştır. Sürekli fiberlerle takviye edilen MMK malzemeler aslında kompozit malzemelerin spesifik olarak belli bir sınıfını teşkil etmektedirler. Fiber takviyeli metaller, metal ve alaşımların çoğunun aksine anizotropiktir. Anizotropluk derecesi her şeyden önce fiber oryantasyonuna bağlıdır. Metal matriks yükü transfer ederken ve aynı zamanda yükü fiberlere iletirken, fiberlerin ana rolü ise yükü taşımaktır. Matriksin yükü transfer edebilmesi ve fiberlerin yükü taşımadaki başarısı fiber/matriks arayüzeyindeki ıslatmaya bağlıdır. Ticari uygulamalarda dispersiyonla sertleştirilmiş ve partikül takviyeli MMK malzemeler kullanılırken, sürekli fiberlerle takviye edilmiş MMK'lerin uygulaması, havacılıktaki bazı uygulamalarla ve askeri uçakların bazı parçaları ile sınırlandırılmıştır. Bunların dışında istisna olarak sürekli paslanmaz çelik fiberlerle takviye edilen MMK malzemeler otomobil biyel kollarında kullanılmaktadırlar [2, 6, 10, 19].

Son yıllarda süreksiz fiberlerle takviye edilmiş MMK'ler takviye malzemelerinin kolay üretilebilmeleri ve kolay temin edilebilmelerinden dolayı tercih edilmektedir. Süreksiz fiberli kompozitlerin diğer bir avantajı, dönme, haddeleme ve ekstrüzyon gibi standart metalurjil proseslerle şekillendirilebilir olmalarıdır. Bu nedenle süreksiz olarak takviye edilmiş MMK'ler bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan bazılarında, tenis raketleri, SiCp/Al kompozitinden yapılan golf sopalarının kafaları, SiCw/Al kompozitinden yapılan piston biyel kolu gibi otomobil motor parçaları örnek olarak verilebilir [6, 19].

Metal matriksli kompozitlerin üretilmesinde çok değişik sayıda üretim metodu geliştirilmiş olmasına rağmen bu üretim yöntemlerini; (i)toz metalürjisi, (ii) difüzyon, (iii) ekstrüzyon ve çekme ve (iv) döküm yöntemleri olarak dört ana gruba ayırmak mümkündür. Metal matriksli kompozitler yeni ve ucuz üretim tekniklerinin bulunması ile doğru orantılı olarak uygulamaya aktarılabilmektedirler. Bu sebepten son yıllarda en ucuz ve en kolay üretim metotlarından olan döküm ile kompozit üretiminin imkanları araştırılmaktadır. [18].

BÖLÜM 3. BAKIR

3.1. Bakırın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal simgesi “Cu” ile gösterilen bakır, kırmızımsı renkli, ince tel ve levha haline getirilebilen, ısı ve elektrik iletkenliği yüksek ve kullanım sahası çok geniş olan bir metaldir. Metalik bakır Sülfütlü ve oksitli bakır cevherlerinden zenginleştirme ve izabe (metalleri eriterek sıvı hale getirme) yoluyla elde edilmektedir [20].

Saf bakır 400 W/mK mertebesinde termal iletkenliği, 390 MPa mertebesinde akma mukavemeti ve 490 MPa mertebesinde çekme mukavemeti olan bir malzemedir. Bakırın tarih boyu önemli kılan özellikleri şunlardır [21]:

- Yüksek elektriksel iletkenlik,
- Yüksek termal iletkenlik,
- Korozyon direnci,
- Dekoratif rengi,
- Orta derecedeki mukavemet ve
- Kolay şekillendirilebilirlik

Bakır, çok değerli bir maden olup ülkemizin en değerli yeraltı kaynaklarından biridir. Bakırın bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1. Bakırın Bazı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri [20 ,22, 23].

Simgesi	Cu
Sınıfı	Geçiş elementleri
Grup, periyot, blok	11, 4, d
Görünüş	Metalik kahverengi
Kristal Yapısı	Kübik (YMK)
Atom Ağırlığı	63,546 g/mol
Yoğunluğu	8.93 gr/cm ³
Mohs sertliği	3,0
Vickers sertliği	369MPa
Brinell sertliği	874MPa
Ergime Noktası	1083.0 °C (1356.15 °K, 1981.4 °F)
Kaynama Noktası	2567.0 °C (2840.15 °K, 4652.6 °F)
Ergime ısısı	43 k.cal (1 kg'ının ergimesi için gerekli ısı)- 13,26kj/mol
Buharlaşma ısısı	300,4 kj/mol
Isı kapasitesi	24,440 (25°C)J/(mol.K)
Elektrik iletme özelliği	%99.95
Elektrik direnci	16,78 nΩ.m(20°C'de)
Isıl iletkenlik	401 W/(m.K)
Isıl genleşme	16,5 mm/(m.K) (25°C'de)
Atom Numarası	29
Atomik yığın	63.546 amu

Bakırın yüksek elektriksel iletkenliği, onu enerji ve telekomünikasyon kabloları, mıknatıslı teller, iletkenler ve çok sayıdaki elektriksel uygulamalarda tercih edilen bir metal haline getirmiştir. Bakır 100°C' nin üzerindeki işlem sıcaklıklarında, bu uygulamalar için yeterli bir mukavemet, süneklik ve sertliğe sahiptir. Fakat diğer uygulamaların çoğu için bakır daha yüksek mekanik özelliklere sahip olmalı ve yüksek işlem sıcaklıklarında elektriksel özelliklerle birlikte mukavemetini korumalıdır [24].

3.2 Bakırın Elektriksel İletkenliği

Elektriksel iletkenlik, bir malzemedeki elektrik yükünün ne kadar rahat hareket edebildiğinin bir ölçütüdür. Birimi Simens per meter biriminden türetilen SI'dır, fakat iletkenlik değerleri genellikle %IACS ile gösterilir. Bakırın elektrik iletkenliği yüzde IACS (International annealed copper standart) birimi ile ifade edilir. Tavlanmış saf bakırın iletkenliği (5.8108×10^7 S/m) 20 °C' de % 100 IACS olarak

tanımlanır. Bu standart 8.99g/cm^3 yoğunluğunda, 1 metre uzunluğunda, 1 gram ağırlığında, 0.15328 ohms direncindeki tavllanmış bir bakır tel için geçerlidir. Bütün diğer iletkenlik değerleri bakırın bu tavllanmış iletkenlik değerine bağlıdır. İletkenlik değerleri Simens/metre' den %IACS' ye 1.7241×10^{-6} ile çarpılarak çevrilebilir. IACS değeri ne kadar yüksekse malzeme o kadar iletkendir [25, 26].

3.3 Bakırın Kullanım Alanları

Elektrik iletkenliği ile korozyon direncinin yüksekliği ve kolay işlenebilirliğinden dolayı değişik endüstrilerde kullanılmaktadır. Saf bakırın başlıca kullanım alanları aşağıda verilmiştir:

- Tel
- Motor bobini
- Jeneratörler
- Transformatörler
- Elektrikli trenlerin havai hatları
- Trolleybüs baraları
- Endüstrilere ve evlere elektrik enerjisi nakleden iletim hatlarında
- Radyatörler ve yağ soğutucuları
- Yüksek fırın tüyeri, yastık radyatör ve monkilerin yapımında
- Ark ocaklarının elektrod tutucu ve kollarının yapımında [27].

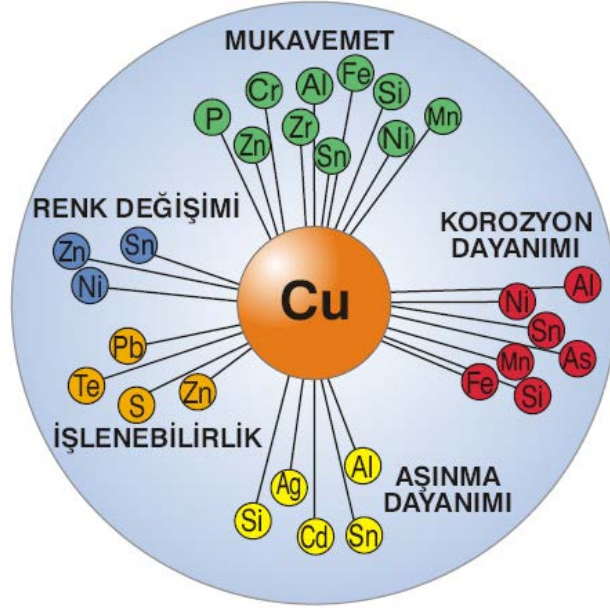
Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği özellikleri bakırın, elektrik santralleri ve iletken malzemelerin vazgeçilmez girdisi haline getirmektedir. Soğuk hava makine ve teçhizatlarında, paslanmaz özelliğinden dolayı nakliye vasıtalarında ve dış kaplamalarda bakırın büyük kullanım alanları bulunmaktadır. Bunlara ek olarak bakırın kaynak işlerinde, bronz üretiminde önemli yeri vardır. En geniş kullanım alanları sırasıyla; elektrik üretim ve iletimi ile ilgili tesislerde, inşaatta, ulaşım makine ve teçhizatındadır [20].

Elektriğin üretilmesinde (jeneratör, trafo gibi) , nakledilmesinde (enerji nakil hatları) ve kullanılmasında (elektrik motorları, elektrikli makineler v.b.) en iyi ekonomik iletken olan rafine bakır metalinin vazgeçilemez stratejik bir metal olduğu

bilinmektedir. Evlerimizdeki aydınlatma gereçleri, radyo ve TV-cihazları, çamaşır ve bulaşık makineleri, buzdolabı ve mutfak robotları gibi çağdaş yaşamın gerektirdiği tüm donanımlar bakır sayesinde insanlığın hizmetindedir. Uzun ömürlü çatı kaplaması olarak bakır levha ve mobilya malzemesi olarak pirinç kullanımına da rastlanmaktadır. Torna, freze, matkap, kaynak makineleri ve trafoları gibi elektrikli makineler de bakırın kullanıldığı önemli üretim araçlarıdır. Bu tür makinelerde bakır, elektriğin tüketimi ve dahili iletimi amacına hizmet eder. Ayrıca bakır, otomobil, gemi, tren gibi ulaşım araçlarında radyatör, boru gibi parçalarda, kimya sektöründe, mühimmat sanayinde, turistik eşya yapımında, soğutucu donanımlarda çokça kullanılmaktadır. Bunlarda bakırın elektriğin üretiminde, iletiminde ve tüketiminde hizmet ettiği gözlemlenebilir. Özetle bakırın takriben % 80'inin elektrik/(elektronik) sektöründe, kalan % 20'sinin ise pirinç, bronz v.b. alaşım halinde genelde makine sektöründe; boru ve içi boş profil halinde ısı eşanjörlerinde ve mobilya sanayinde, levha halinde inşaat ve makine sektöründe kullanıldığı söylenebilir [22, 28, 29].

3.4 Alaşım Elementlerinin Bakıra Etkileri

Saf bakıra ilave edilebilen elementler şunlardır: Alüminyum, arsenik, berilyum, kadmiyum, krom, kobalt, demir, kurşun, manganez, nikel, oksijen, fosfor, silisyum, gümüş, kükürt, tellür, kalay, çinko ve zirkonyum. Bu alaşım elementlerinin saf bakıra olan etkileri ise Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Alaşım elementlerinin bakıra etkileri

Saf bakıra ilave edilen alaşım elementlerinin sağlayacağı avantajlara göre aşağıdaki gruplara ayrılabilir.

Mukavemet Artırıcı Alaşım Elementleri

- Krom (Cr)
- Alüminyum (Al)
- Fosfor (P)
- Demir (Fe)
- Silisyum (Si)
- Manganez (Mn)
- Çinko (Zn)
- Zirkonyum (Zr)
- Kalay (Sn)
- Nikel (Ni)
- Berilyum (Be)
- Kobalt (Co)

Korozyon Dayanımını Artırıcı Alaşım Elementleri

Bakır asil metaldir, ama altın veya diğer değerli metallerin tersine bazı ortamlarda korozyona dayanmayabilir. Bazı bakır alaşımlarının hidrojen gevrekliği veya gerilme korozyonuna dayanımı zayıftır.

- Nikel (Ni)
- Alüminyum (Al)
- Kalay (Sn)
- Manganez (Mn)
- Arsenik (As)
- Demir (Fe)
- Silisyum (Si)

Aşınma Dayanımını Artırıcı Alaşım Elementleri

- Alüminyum (Al)
- Gümüş (Ag)
- Silisyum (Si)
- Kadmiyum (Cd)
- Kalay (Sn)
- Berilyum (Be)
- Kobalt (Co)

İşlenebilirliği Artırıcı Alaşım Elementleri

- Tellür (Te)
- Kurşun (Pb)
- Kükürt (S)
- Çinko (Zn)

Renk Değiştirici Alaşım Elementleri

Bazı bakır alaşımları dekoratif amaçlı da kullanılabilir. Özel bir renk ve yüzey alaşımlandırma yapılarak, mekanik özelliklerle birlikte uyumlu olarak ortaya çıkartılabilir.

- Çinko (Zn)
- Kalay (Sn)
- Nikel (Ni)

[20]

3.5 Bakır Alaşımları

Bakır ve bakır alaşımları mühendislik malzemelerinin içerisinde en yaygın ve en geniş kullanım alanı bulan gruplarından birini teşkil etmektedir. Amerika’ da yaklaşık 500 bakır alaşımı mevcuttur ve daha fazlası uluslararası standartlara göre sınıflandırılmıştır. Bu kadar geniş bir ayırım göz korkutucu olabilir fakat bakır metalleri istenen fiziksel ve mekaniksel özelliklerine göre seçilirse istenen özellikteki alaşımlar kolaylıkla bulunabilir, bu sayede doğru alaşımın seçimi basitleştirilebilir.

Bakır ve alaşımlarının bu kadar yaygın kullanılmasının ana nedeni, diğer malzemelerde bulunan yararlı özelliklerden daha üstün özellikte bir kombinasyon sergilemesidir [30]. Mükemmel elektriksel ve termal iletkenlikleri, korozyona karşı dirençleri ve hem mukavemet hem de yorulmaya karşı dirençli malzeme üretiminin

kolay olması bu özellikleri arasında sayılabilir.

Bakır ve alaşımları gerçekten iyi elektrik ve ısı ileticilerdir. Aslında bakır diğer metallere daha çok bu özellikleri için kullanılmaktadır. Alaşımlama mütemediyen elektrik iletkenliğini azaltır ve termal iletkenliğe etkisi daha azdır. Bu sebeple uygulamalarda yüksek elektrik ve termal iletkenlik istendiğinde, toplam alaşım miktarı yüzde birkaç mertebelerinde olan bakır alaşımları tercih edilir. Alaşımlama ile birlikte meydana gelen azalma, alaşım elementlerinin iletkenliğe veya diğer malzeme özelliklerine olan etkisine bağlı olmayıp, direkt olarak yabancı atomların bakır latisine olan etkisine bağlıdır.

Bakır ve alaşımlarını kodlamanın en yaygın yolu onları altı gruba ayırmaktır: bakırlar, seyreltilmiş (dilute) bakır alaşımları, pirinçler, bronzlar, bakır nikeller ve nikel gümüşlerdir (Cu-Ni-Zn). İlk grup olan bakırlar, aslında genellikle yumuşak, sünek ve %0.7' den daha düşük toplam empürite içeren ticari saf bakırlardır. Seyreltilmiş bakır alaşımları, bakırın bir veya daha fazla temel özelliklerini modifiye eden alaşım elementlerini düşük miktarda içermektedir [31].

Bakır Geliştirme Derneğine göre (CDA), bakır ve bakır alaşımları aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.

Dövme Bakır ve Alaşımları: Soğuk ve sıcak durumda, haddeleme veya dövme yoluyla talaşsız olarak biçimlendirilirler.

- Saf bakır
- Bakır çinko alaşımları (pirinçler)
- Bakır çinko kurşun alaşımları (kurşunlu pirinçler)
- Bakır çinko kalay alaşımları (kalay bronzları)
- Fosfor Bronzları
- Bakır alüminyum alaşımları (alüminyum bronzları)
- Bakır silisyum alaşımları (silisyum bronzları)
- Bakır nikel ve bakır nikel çinko alaşımları (nikel gümüşü)

bu gruba girmektedir.

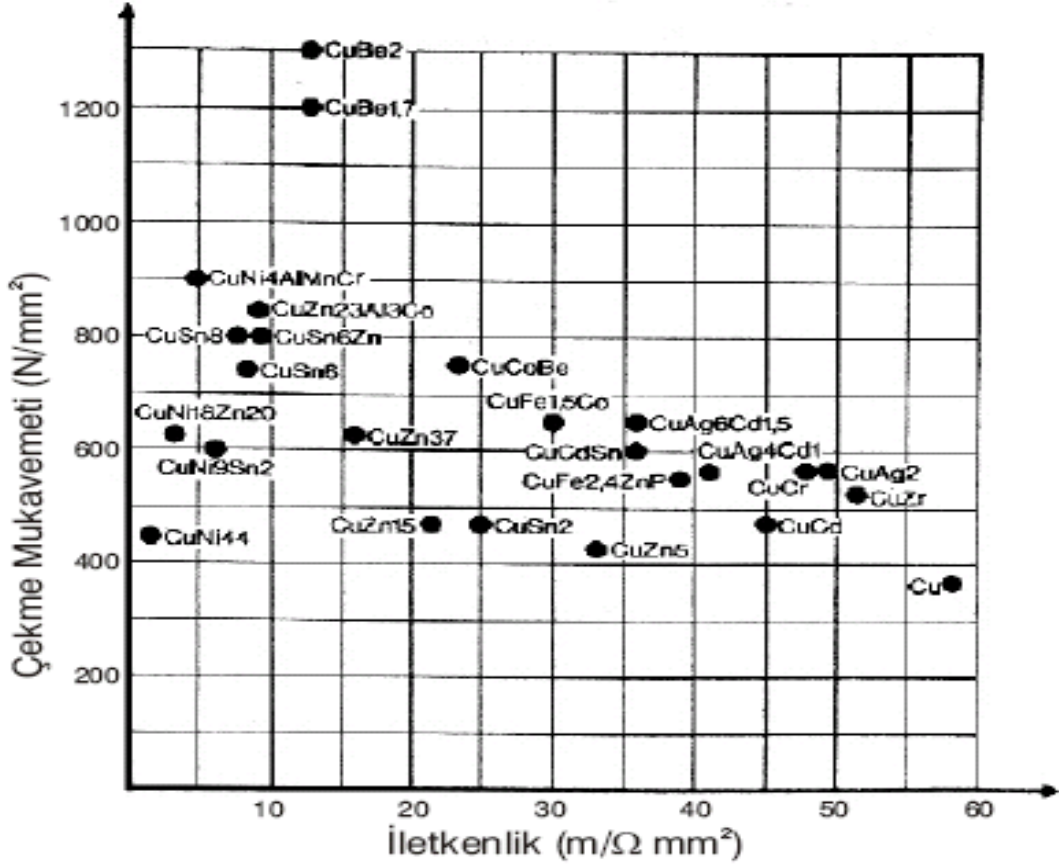
Döküm Bakır ve Alaşımları: Uygun Döküm niteliklerine sahiptir:

- Döküm bakır
- Değişik türde döküm pirinçleri
- Döküm manganez bronz alaşımları
- Döküm bakır çinko silisyum alaşımları
- Döküm bakır kalay alaşımları
- Döküm bakır kalay kurşun alaşımları
- Döküm bakır alüminyum alaşımları
- Döküm bakır nikel ve bakır nikel çinko alaşımlar

Özel Sert Bakır Alaşımları :

- Bakır krom alaşımları (CuCr)
- Bakır krom zirkonyum alaşımları (CuCrZr)
- Bakır berilyum alaşımları (CuBe)
- Bakır kobalt berilyum alaşımları (CuCoBe)
- Bakır nikel silisyum alaşımları (CuNiSi)
- Bakır alüminyum demir alaşımları (CuAlFe)
- Bakır alüminyum demir manganez alaşımları (CuAlFeMn)
- Bakır alüminyum demir nikel manganez alaşımları (CuAlFeNiMn)
- Bakır tungsten alaşımları (CuW) gibi.

Bakır alaşımlarının elektriksel iletkenliği ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki Şekil 3.2' de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi artan mukavemet ile birlikte iletkenlik azalmakta ve alaşımdan alışıma farklılık göstermektedir.



Şekil. 3.2. Bakır alaşımlarının elektrik iletkenliği ve çekme mukavemeti ilişkisi

3.5.1 Pirinçler

Bakırın (Cu) çinko (Zn) ile değişik oranlarda birleşerek yapmış olduğu alaşımlara pirinç adı verilir. Pirinç malzemelere, rengi sarı olduğu için ülkemizde "sarı" da denir. Mukavemet ve korozyon dayanım özellikleri çok yüksek olan pirinçlerin, içyapı ve mekanik özellikleri çinko miktarıyla orantılıdır. Bakır ve çinko yalnızca hadde değil aynı zamanda döküm alaşımlarında da bakırın en önemli alaşım türüdür. Demir dışı tüm bakır alaşımlarının en önemlisidir ve mühendislikte çok fazla kullanılmaktadır. Endüstriyel pirinçler bakır ve çinko ilavelerinin dışında diğer alaşım elementlerini de içerirler. Pirinçlerin en önemli özellikleri, atmosferik korozyona dirençli olması, sıcak ve soğuk şekillendirilmesi, derin çekilmeye, sıcak dövülmeye ve preslenmeye uygunluğu ve kolay lehimlenme özelliğine sahip olmalarıdır. Pirinçlerin birçok avantajları vardır. Bu, avantajların en önemli olanları aşağıda sıralanmıştır.

- Üstün işleme özelliği,
- İyi ısı ve elektrik iletkenliği,
- Özelliklerinde azalma olmadan tekrar kullanılma özelliği,
- Kolay kaynak olma,
- Kolay dövülebilirliği,
- Kıvılcım çıkarmaz,
- Değişik şekil ve ebatlarda temin kolaylığı,
- Çekici renk özelliği,
- Aşınma dayanımı,
- 200 °C altında özelliklerinde azalma olmaması,
- Güneş ışını ile renk değiştirmemesi,
- Uygun maliyetli malzeme,
- İyi mukavemet özellikleri,
- İyi korozyon dayanımı.

Endüstride kullanılan malzemelerde bakır miktarının en az % 54 olması zorunludur. Daha düşük bakır miktarlarında malzeme çok sert ve kırılabilir olur. Pirinçler iki ana gruba ayrılır:

- % 61'den fazla bakır içeren alfa alaşımları
- % 54 - 61 bakır içeren alfa + beta alaşımları

Bakır çinko alaşımlarının özelliklerini alfa ve beta fazları belirler. Örneğin alfa alaşımları soğuk şekillendirilmeye ve beta alaşımları sıcak işlemeye (dövmeye, ekstrüzyona) müsaittir.

Yüksek Mukavemetli Pirinçler (Cupress Serisi Özel Pirinçler):

Pirincin mekanik özelliklerini artırmak amacıyla, bakıra çinkonun dışında nikel, mangan, demir, kalay ya da silisyum elementleri katılabilir. Özel pirinç adı verilen bu alaşımlarda ilave elementlerin toplam miktarı % 5'i geçmez. Bu elementler uzama özelliklerine fazla etki etmeksizin çekme mukavemetini artırır. Birden çok element içeren bu alaşımlara yüksek mukavemetli pirinçler denir.

Pirinçlerin Kullanım Alanları:

- % 5-20 çinko içeren pirinçler renk özelliğinden ötürü süslü metal işlerinde, ucuz mücevherat ve mimari maksatlarda tercihen kullanılır.
- % 70-30 çinko içeren pirinçler fazla uzama kabiliyeti istenen tel, çubuk, mermi kovanı ve kondansatör boru yapımında kullanılır.
- % 40-43 çinko içeren pirinçler alfa-beta pirinçleri olarak bilinir ve daha az uzama kabiliyetine sahiptir, fakat çok kolay işlenebilirler. Bu tür pirinçler ekstrüzyona, haddelemeye, sıcak dövme ve preslemeye müsaittirler.

3.5.2 Bronzlar

Bronzlar esas olarak kalay içeren bakır esaslı alaşımlardır. Bakırın çinko içermeyen diğer alaşımlarına genel olarak bronz denilmekte ve çeşitleri ana alaşım elementleriyle belirtilmektedir. Geleneksel bronzlar bakır-kalay alaşımlarıdır ve kalay bronzu ya da çoğu zaman fosforla deokside edildiklerinden, fosfor bronzu olarak adlandırılırlar.

Kalay Bronzları

Kalay miktarları belirli sınırlar içerisinde olan bakır-kalay alaşımları endüstriyel açıdan en önemli bronzları oluşturmaktadır.

Kalay bronzlarının en belirgin özellikleri atmosferik ve su korozyonuna karşı iyi dirençli ve aşınmaya karşı fazla dirençli olmasıdır. Aynı zamanda mükemmel yağlama kabiliyetleri vardır. Endüstride en çok kullanılan bakır alaşımlarından biridir. Ülkemizde kalay bronzu imal edilmekte ancak düşük kalay içeren cinsleri üretimdeki kolaylığı nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Bu tür bronzlar ise çok çabuk aşınarak veya sarma adı verilen sertliğinin düşük olmasından kaynaklanan yapışma yaparak verimlilikte azalmaya sebep olmaktadır. % 6 kalay ihtiva eden

bronzlar soğuk ve sıcak işlenmeye müsaittirler. Kalay miktarının artması malzeme mukavemetini artırır, diğer taraftan uzama kabiliyeti bir hayli azalır. %10, 12 kalay içeren bronzlar mekanik özellikler açısından en ideal olanlarıdır. Bu tip bronzlar döküm parçalarında tercih edilirler. Döküm bronzları kalay, kurşun, fosfor ve nikel ihtiva eder.

Alüminyum Bronzları

Alüminyum bronzları % 14'e kadar alüminyum içeren bakır esaslı alaşım ailesidir. Diğer alaşımların sunamadığı mekanik ve kimyasal özellikleri alüminyum bronzları sunar. Bu özellikler alüminyum bronzlarına birçok üstünlükler sağlar. Sertlikleri 40 – 42 HRC'ye kadar çıkan cinsleri vardır. Bu malzemelerin aşınma dayanımı da yüksek olduğundan kalıpcılıkta ve makine imalatında çeliğe alternatif teşkil etmektedir. Çelikten daha iyi ısı iletkenliğinin olması sayesinde de plastik kalıplarında çeliğe alternatif teşkil eder. Örneğin plastik kova kalıplarında çekirdek tamamıyla bronzdan yapılabilir. Sürtünme katsayısının düşük olması nedeniyle, paslanmaz sacların derin sıvama kalıplarında kullanılan malzemedir.

Alüminyum Bronzlarının Çeşitleri:

Alüminyum bronzları dört ana gruba ayrılır:

1- Alfa Alaşımları:

Bu alaşımlar % 8 den daha az alüminyum içerirler. Düşük miktarlarda alaşım elementleri ihtiva ettiği için sıcak ve soğuk olarak iyi işleme özellikleri vardır. Soğuk işleme ile boru, levha, şerit ve tel şekillerine getirilmeye uygundur.

2- İki Fazlı Alaşımlar:

Bu tip alaşımlar % 8- % 11 alüminyuma ilaveten daha yüksek mukavemet için demir ve nikel içerirler. Alüminyum miktarı %8-10 olunca beta fazının oluşumu sonucu mukavemet artar. Bu alaşımlar sıcak işlemeye ve döküme uygun alaşımlardır. Alüminyum miktarı % 10'u aşınca mukavemet ve sertlik daha da artar. Bu alaşımlar çok üstün aşınma dayanımı istenen özel uygulamalar için uygundur. Diğer alaşım elementleri kristal yapıyı iyileştirir, mukavemeti ve korozyon dayanımını artırır.

3- Bakır - Alüminyum - Silisyum alaşımları (Silisyum Bronzları):

Bu alaşımlar alfa fazı alaşımlar olup iyi mukavemet ve işleme özelliğine sahiptirler. % 2'ye kadar silisyum ve % 6'ya kadar alüminyum içeren alaşımlar alüminyum-silisyum bronzları olarak adlandırılır. Bu alaşımlar tek fazlı alaşımlardan daha üstün mukavemet özelliklerine, kolay dövülme ve sıcak işleme özelliğine sahiptir. Diğer alüminyum bronzları gibi, düşük geçirgenlik ve üstün şok dayanımları vardır. Silisyum talaşlı işlemeyi kolaylaştırır.

4- Bakır - Mangan - Alüminyum Alaşımları:

Bu alaşımların iyi döküm özellikleri vardır. Öncelikle pervane imali için geliştirilmiştir. Mangan ana alaşım elementi olup % 13 civarındadır. Bu alaşımlar grubunda alüminyum % 8-9 dur. Bu alaşımlar alüminyum bronzları kadar mukavim değildir, fakat daha iyi döküm özellikleri vardır. İyi korozyon dayanımı ve üstün kaynak edilebilme özelliklerine sahiptir.

Alüminyum Bronzlarının Tipik Kullanım Alanları:

Döküm Mamüller:

Derin sıvama kalıpları	Yataklar
Haddehane ekipmanları	Dişli selektör çatalı
Burçlar	Senkronizasyon halkaları
Makine parçaları	Kıvılcım çıkarmayan el aletleri
Kızaklar	Cam kokil kalıpları
Sıvı itici pervaneler	Boru ek parçaları
Gemi pervaneleri	Dümenler ve pervane konsolu
Şaftlar	Basınçlı döküm parçaları
Pompalar ve valfler	Kontinü dökülmüş çubuklar ve profiller
Su soğutmalı kompresörler	Savurma döküm ürünü ringler
Boru levhaları	Kanal kapakları
Eşanjör parçaları	Dişli ve dişli taslak malzemeleri

Dövülmüş mamüller:

Aşınma plakaları	Zincir
Yataklar	Pervaneler
Mıknatıslanmayan parçalar	Kompresör pervane kanatları
Çubuklar ve profiller	Şaft donanımı
Serbest dövülmüş parçalar	Kıvılcım çıkarmayan aletler
Dişliler	Duvarcı tespit parçaları
Şahmerdanla dövülmüş parçalar	Yaylar
Boru levhaları	Ataşlar
Borular ve sert kılıflar	Valf milleri
Basınç tankları	Borulama işleri
Reaksiyon ve damıtma tankları	

Nikel Bronzları

Nikel demir dışı döküm alaşımlarına gün geçtikçe daha fazla ilave edilmektedir. Genelde çekme dayanımını ve önemli ölçüde akma sınırını artırır ve yüksek sıcaklıklarda malzemenin mekanik özelliklerinin azalmasını önler. Ayrıca malzemenin tane büyüklüğünü azaltır, korozyon dayanımını yükseltir ve bazı alaşımlarda, ısıl işlem sayesinde alaşıma üstün fiziksel özellikler kazandırır. Nikel bronzları kabaca dört alaşım grubu olarak sınıflandırılır.

- % 5 den az nikelli alaşım grubu
- % 5 ile % 10 nikelli alaşım grubu
- % 10 ile % 20 nikelli alaşım grubu
- Ana alaşımı nikel olan özel alaşımlar (yüksek nikelli bronz, örneğin Monel metal).

Düşük miktarlarda nikel kullanımı kurşun segregasyonunu azaltır. Doğrudan kullanılacak yataklar % 2'den fazla nikel içermemelidir. Bu miktarın üzerindeki değerlerin malzemenin yataklık özelliklerini kötüleştirme eğilimi olduğuna inanılmaktadır. Birinci alaşım grubunun dökümünde pek zorluk yaşanmamakta ve

mevcut döküm pratiği geçerli olmaktadır. % 88 Cu, % 5 Sn, % 5 Ni ve % 2 Zn alaşımı uluslararası bir alaşım olup, üstün özelliklerinden dolayı tercihen kullanılmaktadır. Isıl işlemin uygulanması ile bu 2 alaşımın çekme mukavemeti 24 kg/mm² ve kopma uzaması % 15'e çıkarılması mümkündür. % 4 -% 5 nikelli alaşım nikel bronzu karakteristikleri göstermeye başlar. Nikel yüzdesi artınca ,alaşımın ergitme ve döküm sıcaklıkları yükselir ve gaz absorbe etmesi fazlasıyla artar. Nikel miktarı % 10'u aşınca diğer bir zorluk ortaya çıkar. Karbon absorpsiyonu sonucu karbon mevcut ortamdaki oksitlerle birleşerek karbondioksit oluşturur. Bu hidrojene benzer problem yaratır. Şöyle ki; gaz, sıvı eriyiğe geçer ve katılma esnasında dışarı atılarak gaz boşluklarına sebebiyet verir.

Bakır Nikel Alaşımının Kullanım Alanları:

Nikelli Kalay Bronzları:

Bu alaşım % 4 - 6 nikel içeren döküm türü bir kalay bronzu olup, çözeltiye alma ve yaşlandırma ısıl işlemleri ile sertleştirilir. Nikelli kalay bronzu iyi aşınma ve korozyon dayanımı, iyileştirilmiş mukavemeti ve üstün elastik özelliklerinden dolayı çok yönlü kullanım alanı mevcuttur.

Nikelli Kalay Bronzlarının Kullanım Alanları:

- Yataklar
- Dişliler, somunlar, vidalı konveyörler
- Aşınma kılavuzları, nozullar
- Pompa ve valf parçaları
- Devre kesici parçalar, elektrik kontakları
- Makine ve yapısal parçalar [27].

Bakır – Nikel – Çinko Alaşımaları (Nikel Gümüşü)

Nikel gümüşü Cu – Ni – Zn alaşımıdır. Bakır ana elementtir. Ni arttıkça ergime sıcaklığı yükselir. Korozyon direncini artırır. Bakırın rengini yok ederek gümüş rengini verir. Mukavemetine olumlu etki yapar. Ancak elektrik iletkenliği düşer. Çinko mukavemeti artırır. Maliyeti azaltır. Çinko % 37 'i geçince süneklik azalır. Nikel gümüşleri döküm ve işlem alaşımı olarak ikiye ayrılır:

Döküm alaşımı: Sert ve iki fazlıdır. % 37'den fazla çinko içerir.

İşlem alaşımı: Yumuşak ve deformasyon kabiliyetleri iyidir. Tek fazlı yapıdır [32].

Sert Bakır Alaşimleri

20. yüzyıl başlarında, az miktarda Cu, Mg, Si ve Fe içeren alüminyum esaslı alaşımların sertliğinde, ergime sıcaklığının biraz altındaki bir sıcaklıktan su verildiklerinde ve oda sıcaklığının biraz üzerindeki bir sıcaklıkta bir süre tutulduklarında, sertliklerinde önemli bir artış olduğu bulunmuştur. Bunun çökeltme sertleşmesi veya benzer adıyla yaşlandırmanın, bir metalik malzemenin sertliğinin, iç yapısına ince bir şekilde dağılmış, parçacıklar (alaşım elementleri) ekleyerek artırılması olduğu artık çok iyi bilinmektedir. Sert bakır alaşımları da bu sertleştirme mekanizması kullanılarak geliştirilen ve çok geniş kullanım alanı bulan alaşımlardır.

Berilyum Bronzları:

1960'lı yıllarda berilyumlu bakırdan yapılmış bir kaç parça, kayma ve sürtünme şartları altında metalin metale değmesi ile çalıştırılmıştı. O yıllardan günümüze değin berilyumlu bakır alaşımları denizaltı telefonlarından, uçakların iniş takımlarının dişlilerine, plastik parçalar basan enjeksiyon kalıplarına kadar geniş kullanım alanı buldu. 1970'li yıllardan sonra berilyumlu bakırların uygun bir şekilde yağlanmasıyla, tüm bakır esaslı alaşımlardan ve birçok çelik cinsinden daha fazla aşınma dayanımının olduğu anlaşıldı. Tüm bakır esaslı alaşımlar arasında en sert ve mekanik mukavemeti en yüksek olanı berilyumlu bakırlardır. Bu alaşımlar % 0.35-2.85 berilyum içerir. Bakır - Berilyum alaşımları dövülmüş ve dökülmüş olmak üzere iki gruba ayrılır. Çözeltiye alma tavlamaları 570-810°C 'de yapılır. Alaşım 800 °C 'de suda soğutulduktan sonra yaklaşık 370 °C 'de yaşlandırma yapılır. Yaşlandırma ve sonrasında soğuk şekillendirme ile malzeme sertliği dört katı artar.

Bakır-Berilyum Alaşımlarının Genel Kullanım Alanları:

- Projeksiyon ve yakma alın kaynağı, paslanmaz çeliklerin punta kaynağı için elektrotlar
- Pistonlar, nozullar
- Plastik kalıplarda hızlı soğuması gereken yerlerde geçme olarak veya kalıbın tümü
- Kontak, zemberek, yaprak, bağlama, spiral yayları
- Çeşitli diyaframlar
- Takı kilitleri ve vidaları

Cupro B2 Alaşımı:

Bu alaşımlar genelde çok az kobalt içerirler. Bakırın, berilyum ve kobalt ile alaşımlandırılması ile elde edilen bu bronz yüksek mekanik özelliklerinden dolayı punta ve alın kaynağında elektrot olarak kullanılır. Ayrıca mükemmel ısı iletim özelliklerinden dolayı baskı süresini önemli oranda azalttığından plastik enjeksiyon ve şişirme kalıplarında kullanılır. Yüksek sertliği ve elektrik iletkenliği olan bir alaşımdır. Alaşım tavllanmış halde kolayca işlenir.

Cupro CB (% 0.5 Be,% 2 Co+Ni)

Bu alaşımda bir atom berilyum ile bir atom kobalt mevcut olup fevkalade yüksek ısı ve elektrik iletkenliği ile üstün fiziksel özellikler birlikte oluşmuştur. Alaşım bir çökeltme sertleşmeli tip olup su verme ve yaşlandırma işlemi neticesinde yüksek değerlerde özellikler elde edilir. Döküm durumundaki sertlik 80 Brinel'dir. 900 °C 'ye ısıtılıp suda soğutulduktan ve 500 °C 'de bir saat yaşlandırmadan sonra alaşım sertliği 220 Brinel'e yükselir.

Kullanım alanlarından örnekler:

- Plastik şişirme kalıplarında
- Plastik enjeksiyon kalıplarının hızlı soğuması gereken yerlerinde geçme olarak
- Çelik jantların kaynağında elektrot olarak
- Kıvılcım çıkarmayan el aletleri yapımında
- Aşınma dayanımı yüksek olan yatak malzemelerinin yapımında
- Çelik hasır kaynak makinelerinde elektrot olarak.
- Zincir baklalarının kaynatılmasında

Son zamanlarda bazı kalıpcıların berilyumlu bakırdan çekindiği bilinmektedir. Oysa aşağıdaki çeşitli kaynaklardan alınan bilgiler bu çekincenin gereksiz olduğunu ortaya koymaktadır.

- Berilyumlu bakırlar, çok düşük oranlarda berilyum içerirler. (% 0.5-2.0)
- Berilyum doğada bulunan bir metalik elementtir. Kayalarda mineral olarak ve dünyanın her yerinde toprakta bulunur.
- Mukavemeti, elektrik iletkenliği ve diğer özellikleri sayesinde bizi bilgisayarlar arabalarla, telefonlarla, oyuncaklarla ve sayısız araçla çevrelemiştir.
- Berilyum radyoaktif değildir.

Berilyum zehirleyicidir.

- Berilyum katı durumda berilyum buharı çıkarmaz.
- İşleme sıvısı, berilyumlu bakırı işledikten sonra tehlikeli atık olmaz.
- Berilyumlu bakır, Avrupa'da veya Dünya'da yasaklanmamıştır.
- Berilyumsuz bakır alaşımları, berilyumluyla aynı performansı gösteremez.

Bakır - Nikel - Silis - Krom Alaşımları : Cupro NS ve Cupro NSM

Yüksek sertliği, yüksek iletkenliği olan bakır bazlı alaşımlardır. Isıl işleme üstün özellikler elde edilir. Malzemeler tornalanmış olarak teslim edilir. Punta kaynağı elektrotları, elektrot tutucusu ve dikiş kaynağı diskleri, plastik enjeksiyon makinelerinde püskürtme memeleri ve hızlı soğuması gereken yerlerde geçme olarak, pirinç ve bronzların kokil kalıplarında kullanılır.

Bakır - Krom (CuCr): Cupro C

Bakır-krom alaşımı yüksek iletkenliğin ve mukavemetin birlikte gerekli olduğu uygulama alanlarında tercihen kullanılır. Zirkonyum ilavelisi olan Cupromax geliştirilinceye kadar tek alternatifti olan zirkonyum ile birlikte kullanım alanları daha da genişlemiştir.

Bakır - Krom - Zirkonyum Bronzları (CuCrZr): Cupromax

Bakır - krom - zirkonyum önemli ve sert bir bakır alaşımıdır. Yüksek iletkenliğe, sertliğe, işlenebilme özelliğine ve orta ölçekte mukavemete sahip olmasından ötürü 500 °C ye kadar sıcaklıklarda yumuşamadan kullanılır. Bu alaşımların mekanik

özellikleri saf bakırın yaklaşık iki katıdır. Bu alaşımların çeşitli türevleri gerek imalat metodları bakımından gerekse de bazı alaşım elementlerinin yüksek fiyatta olmasından (berilyum ve kobalt gibi) kaynaklanan olumsuz özelliklerini giderecek şekilde geliştirilmiştir.

Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımının Kullanım Alanları:

Düşük karbonlu çelik sacların punta kaynağında.

Galvanizli sacların kaynağında nokta kaynağı elektrodu ve dikiş kaynak diski olarak.

Punta kaynak makinelerinde elektrot tutucu olarak.

Erozyon makinelerinde dalıcı elektrod olarak.

Trafolarda irtibat barası olarak kullanılmaktadır.

Bakır Zirkonyum (CuZr) : Cupro Z

Daha iyi elektrik iletkenliği için, CuCrZr'a (Cupromax)'a alternatif olarak geliştirilmiştir. Ancak CuCrZr'un üstün mukavemet özellikleri ve geniş kullanımı nedeniyle çok sınırlı olarak üretilmektedir.

Önemli Kullanım Alanları:

- Direnç kaynağı elektrotları
- Komütatör segmanları
- Güç transistör altlıkları
- Motor ateşleme orifisler

Sert Bakır Alaşımlarının Kullanım Alanları

Bakır, insanoğlu tarafından ilk kullanılan metaldir. Alaşımlarıyla eski çağlara adını veren bakır, elektrik iletkenliği, ısıl iletkenliği ve mekanik özelliklerin önemli olduğu yerlerde geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu özellikleri optimum şekilde içinde barındıran sert bakır alaşımlarına, teknolojinin gereği olarak gün geçtikçe artan oranlarda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı çeşitli endüstri dallarında kullanılmaktadırlar.

- **Otomotiv Sanayiinde:** Yıllık üretim rakamlarının 1 milyon adede doğru gittiği ülkemizde, sektörde faaliyet gösteren fabrikaların özellikle punta kaynak

elektrotlarında, kollarında ve disklerinde tüketim miktarları yüksektir. Bu sektördeki diğer kullanım alanları arasında elektrot tutucuları, TIG kaynağı uçları vs. sayılabilir.

• **Beyaz Eşya Sanayiinde:** Yine otomotiv sektörü gibi gelişen bir sektör olan beyaz eşya imalatında da yoğun sert bakır alaşımları tüketimi vardır. Örneğin çamaşır makinesi ve buzdolabındaki sacların punta kaynağı ile birleştirilmesi, set üstü ocakların imalatı, fırın imalatı vs. tümünde sert bakır alaşımlarından yapılan elektrotlara ihtiyaç vardır.

• **Inşaat Sektörü:** Bu sektöre hitap eden mallar üreten fabrikalarda sert bakır alaşımlarına olan talep giderek artmaktadır. Örneğin, panel radyatör imalatı, su saatleri imalatı, batarya ve musluk imalatı, çelik hasır imalatı vs.

• **Kalıpcılık Sektöründe:** Artık ihracata açılan bu sektörde, artan kalıp şirketlerinin sayısı ihracatı zorlamaktadır. Hali hazırlarda yüz milyon dolarlarla ifade edilen ihracat rakamlarının yakın gelecekte milyar doları bulması beklenmektedir. Dalma erozyon elektrotları (EDM yöntemiyle) yapımında, plastik enjeksiyon kalıplarında hızlı soğuması gereken kalıplarda tamamen veya geçme olarak, şişirme kalıplarında, derin sıvama, paslanmaz çelik sac ve kalaylı sacların sıvanmasında, kullanılır. Bu malzemelerin kalıplarda kullanılması üretim miktarlarını muazzam ölçüde arttırmaktadır.

• **Demir Çelik Sektöründe:** Ülkemiz ekonomisinin lokomotif sektörlerinden biri olarak nitelendirilen demir çelik sektörü ham çelik üretimi 20.5 milyon tona yükselmiştir. Bu üretim artışı demir - çelik sektöründe kullanılan bakır ve alaşımlarına olan ihtiyacı da artırmıştır [27].

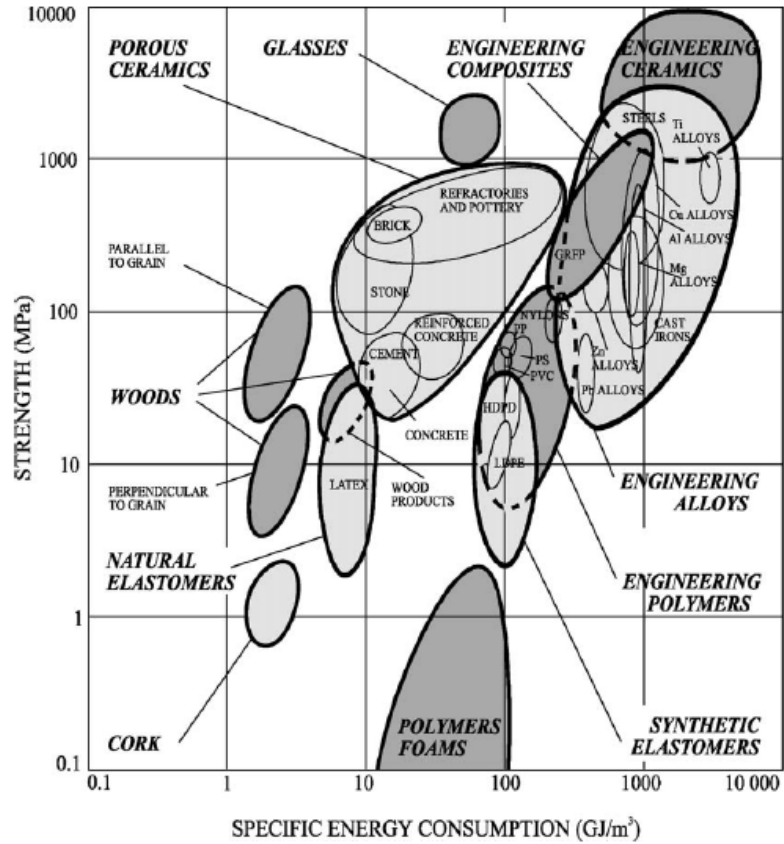
3.6 İletken Ortamlarda Kullanılacak Bakırın Mukavemetinin Arttırılması

Bakır, tüm metaller arasında gümüşten ($6,21 \times 10^7/\Omega \text{ m}$) sonra elektrik iletkenliği en yüksek metal ($5,88 \times 10^7/\Omega \text{ m}$) olup elektrik iletkenliğinin ana talep olduğu uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Gümüş, yüksek fiyatı ve tedarikindeki güçlükler nedeni ile bu tür uygulama alanlarında az kullanılmaktadır. Bakıra bir rakip yine elektrik iletkenliği yüksek olan alüminyumdur, ancak onun hem iletkenliği ($3,65 \times 10^7/\Omega \text{ m}$) hem de mukavemeti bakırınki kadar yüksek değildir.

Bakırın diğer bütün metaller içerisinde gümüşten sonra elektriği en iyi ileten metal olması, elektrik iletkenliğinin ana talep olduğu uygulama alanlarında yaygın olarak kullanımını sağlamaktadır [1, 2].

Bakırın yüksek elektriksel iletkenliği ($5,88 \times 10^7 / \Omega \text{ m}$), yüksek termal iletkenliği ($400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), korozyon direnci, dekoratif rengi, orta derecedeki mukavemet ve kolay şekillendirilebilirliği onu tarih boyunca önemli kılmıştır ve [2, 3] çeşitli mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan yapısal ve işlevsel metallerden biri yapmıştır [4].

Şekil 3.3'te bakır dahil çeşitli mühendislik malzemelerinin mukavemet ve enerji tüketimleri verilmiştir [18].



Şekil 3.3. Çeşitli malzemeler için mukavemet ve spesifik enerji tüketimi.

İletkenler, elektrotlar, açma kapama kontakları gibi elektrik iletkenliğinin birinci derecede önemli olduğu uygulama alanlarında kullanılacak olan bakırlarda şu temel özellikler aranır:

- Yüksek elektrik iletkenliği
- Yüksek oda sıcaklığı mukavemeti
- Mukavemetini yüksek sıcaklıklarda koruyabilme özelliği (yüksek sıcaklık mukavemeti)

Saf bakır, ilk özellik açısından neredeyse rakipsiz bir malzemedir. Bu noktada oksijensiz yüksek iletken bakır çok uygundur. Ancak, saf bakırın sınırlı bir mukavemeti vardır. Elektrik iletkenliğinde önemli bir kayıp olmaksızın, sadece soğuk deformasyon ile sertleştirilebilir. Bu şekilde mukavemetlendirilse bile, saf bakır 100°C'ye yaklaşan sıcaklıklarda, hızlı bir şekilde yeniden kristalleşir, sertlik ve mukavemetini kaybeder.

Bakırın mukavemetini artırmanın bir diğer yolu alaşımlamadır. Alaşımlama sonucunda, bakır alaşımının mukavemeti ya katı eriyik sertleştirilmesi veya çökelti sertleştirilmesi ile artırılabilir. Ancak, elektrik iletkenliğindeki kaybın yüksek olmaması için alaşım elementi ilavesinin sınırlı tutulması gerekir. Çünkü alaşım elementi ilavesi ile, mukavemetin artmasına karşılık elektrik iletkenliği azalır. Bu bakımdan, iletken olarak kullanılacak bakır alaşımlarında az miktarda alaşım elementi bulunur (genellikle ağırlık %2 mertebesinde). Bu tür bakır alaşımları az alaşımlı bakır, yüksek bakır alaşımları veya ısıl işlem ile sertleşebildiği için yüksek iletken sert bakır alaşımları gibi isimlerle anılır. Bakır, bu amaçla alaşımlandırmak için kullanılan başlıca alaşım elementleri Be, Cr, Ni, Co, Ag, Si ve Zr'dur.

Gerek bakır ve gerekse bu alaşım elementlerinin çoğu oksidasyona eğilimlidir. Buna bağlı olarak, alaşımın ergitilmesi ve dökümü sırasında özellikle itina göstermek gerekir. Ergitme ve döküm vakumda, koruyucu atmosfer altında veya buna benzer tedbirler alınarak yapılmalıdır. Çünkü oksidasyon alaşımın elektrik özelliklerini olumsuz yönde etkiler.

Az alaşımlı yüksek mukavemetli bakır alaşımlarında, elektrik iletkenliği %70 IACS seviyesine kadar düşebilmektedir. Ancak, buna karşılık saf bakırın 390 MPa mertebesinde olan akma mukavemeti bazı alaşımlarda 1000 MPa'ın üzerine çıkmaktadır. Elbette, alaşımlama ile % uzama değerlerinde bir miktar azalma olmakta, fakat alaşım yine de plastik olarak rahatlıkla şekillendirilebilmektedir.

Mukavemeti artırmak için bakıra katılan alaşım elementlerinden biri berilyumdur. Berilyumlu bakır gerçekten üstün özelliklere sahiptir. Ancak berilyum bir seri problemi de beraberinde taşır: Pahalıdır, bulunması zordur, üretimi zordur ve en önemlisi, sağlık problemlerine neden olmaktadır. Berilyumun oksidi (BeO) çok zehirlidir. Berilyumlu alaşımların ergitme ve dökümü bu açıdan da çok önemlidir [3, 18, 19].

Tüm bu nedenlerle, berilyumlu bakır yüksek performansına karşılık oldukça pahalıdır. Bakırın gümüş ile yaptığı alaşım çok iyi mukavemet özelliği ile yeterli elektriksel iletkenliğe de sahiptir. Tablo 3.2'de bazı alaşımların mukavemet ve iletkenlikleri verilmiştir.

Tablo 3.2. İletkenlik uygulamalarında kullanılan bazı bakır alaşımlarının özellikleri [5].

Malzeme	Akma Mukavemeti [MPa]	Çekme Mukavemeti [MPa]	İletkenlik [% IACS]
Cu	393	493	100
Cu-Al ₂ O ₃	545 -625	639 – 665	88 – 90
Cu-Ag	1000 - 1076	1109 – 1276	70
Cu-Nb	1068	1268	75 – 81
Cu-Be	716 ± 17	777 ± 17	67 ± 2

Az alaşımlı bakırlarda mukavemet artışından farklı mekanizmalar sorumludur: Katı eriyik sertleştirme, çökelti sertleştirme (yaşlandırma) ve soğuk deformasyon. Gerçekte, az alaşımlı bakırın sertliğine katı eriyik sertleştirmesinin etkisi çok önemli değildir. Bu alaşımlarda esas mukavemet artışı çökelti sertleştirme ile elde edilir. Önce alaşım, uygun bir sıcaklıkta tutularak ikinci fazların çözeltiye alınması sağlanır, takiben su verilir ve solvüs sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta yaşlandırılır. Bazı alaşımlarda, su vermeyi takiben soğuk deformasyon uygulanır, yaşlandırma son

olarak uygulanır. Bu şekilde işlem görmüş alaşımlarda sertlik değerleri 300 kg/mm²'nin üzerine çıkmaktadır. Az alaşımlı bakırlar, alaşımın türüne göre 750-950°C aralığında çözeltilmeye alınırken 350-500°C aralığındaki sıcaklıklarda yaşlandırılır [33]. Bilindiği gibi, yaşlandırılmış alaşımlar yaşlandırma sıcaklığının üzerinde kullanılmamalıdır, aksi halde hızla yumuşarlar. Yaşlandırma sıcaklığında veya buna yakın düşük sıcaklıklarda kullanılmaları halinde de kısa bir süre içerisinde aşırı yaşlanmak suretiyle yumuşamaları kaçınılmazdır. Dolayısıyla, az alaşımlı bakırların mukavemet performansları yükselen sıcaklıklarda değişmektedir.

Yüksek sıcaklıklarda da mukavemetini koruyabilir bir bakır iletken üretilmesi isteğinin sonucu olarak Cu -Al₂O₃ kompoziti geliştirilmiştir. Alumina en çok kullanılan mühendislik seramik malzemesidir. Yüksek elastik modüle (390 GPa), yüksek sertliğe (16 GPa) ve 25 W/m.K mertebesinde bir termal iletkenliğe sahip olup özelliklerini yüksek sıcaklıklarda dahi koruyabilmektedir (alumina malzemeler 1700-1800°C'ye kadar dayanabilirler). Eğer bakır içerisinde çok ince alumina partiküllerinin dağılımı sağlanabilirse, dispersiyon sertleşmesi etkisi ile sertlikte artış olur [21]. Bilindiği gibi dispersiyon sertleştirme etkisi, dispersoidlerin sıklığı (inceliği) ile ters orantılıdır. Yani alumina partikülleri ne kadar ince ve ne kadar çok olursa bakır matrisin mukavemeti o derece artar [34]. Ancak, partiküllerin miktarı arttıkça elektrik iletkenliği o derece azalır. Bu nedenle, kompozitin mukavemeti ve iletkenliği arasında bir denge gözetilmelidir. Bu noktadan hareketle, bakır matris içerisinde disperse edilecek alumina miktarı yaklaşık % 1 mertebesinde tutulmalıdır. Bu gün ağırlık % 1,1'e kadar alumina partikülleri içeren bakır iletkenler ticari olarak bulunmaktadır [28]. Bu malzemelerin iletkenlikleri, az alaşımlı bakırların elektrik iletkenliklerinden bile yüksektir (yaklaşık %85-90 IACS), buna karşılık orta derecede bir mukavemetleri vardır (yaklaşık 600 MPa) (FSU). Ancak, alumina partiküllerinin sıcaklık artışı ile büyümesi söz konusu olmayacağı için, mukavemet yükselen sıcaklıklarda sadece matrisin yumuşamasından dolayı biraz düşmektedir.

Gerçekte Cu-Al₂O₃ kompozitleri farklı tekniklerle hazırlanabilmektedir. Bunlar arasında; döküm, geleneksel toz metalurjisi, Cu-Al alaşımının iç oksidasyonla Cu-Al₂O₃'e dönüştürülmesi ve kimyasal çöktürme ile CuO-Al₂O₃ karışımının

hazırlanması ve müteakiben hidrojen atmosferinde redüksiyon ile Cu-Al₂O₃ eldesi sayılabilir [6].

Bakırı takviye etmek için, alumina dışında TiC, TiB₂ [35] gibi seramik partiküllerin etkileri de araştırılmıştır. Ne yazık ki, bu çalışmaların sonuçları umut verici olmamıştır. Tablo 3.3'te bakırı takviye etmek için kullanılacak bazı seramik tozların nitelikleri verilmiştir. Bunlardan, SiC yüksek elastik modülü ve aluminadan çok daha yüksek termal iletkenliği ile dikkat çekmektedir. Gerçekte, SiC de bakırı takviye etmek için kullanılmış ve iyi sonuçlar sergilediği görülmüştür (1300 MPa'lık mukavemet ve %70 IACS iletkenlik). Ancak, Florida State University National High Magnetic Field Laboratory'de gerçekleştirilen bu araştırma ile ilgili olarak, çok kısa bir iki satır haricinde, takviye SiC oranı, partikül boyutu, karıştırma şekli gibi konularda hiçbir bilgi verilmemiştir [5].

Tablo 3.3. Bakırı takviye etmek için kullanılacak seramik tozların bazı özellikleri.

Malzeme	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	MgO	TiC	TiB ₂	SiC	Cu
Molekül ağırlığı, g/mol	102	123,2	40,3	59,9	69,5	40,08	
Elastik modül, GPa	390	200	300	491	550	410	
Sertlik, GPa	16	12	9	26	20-27	28	
Yoğunluk, g/cm ³	3,98	5,7-6,0	3,58	4,9	4,25	3,2	
Ergime sıcaklığı, °C	2050	2710	2800	3170	2980	~2700*	
Termal iletkenlik (W/m°K)	28	2,2-2,7	48	9	25	120	400
Elektrik iletkenliği, %IACS							100

*2300'de dekompoze olur

3.7 Silisyum Karbür

SiC yüksek elastik modülü ve aluminadan çok daha yüksek termal iletkenliği ile dikkat çekmektedir ve SiC, bakır matrisi geliştirmek için takviye olarak kullanılabilir [27]. Cu/SiC kompozitleri yüksek termal ve elektrik iletkenliği ile birlikte mekanik mukavemet, kalıplanabilirlik ve düşük üretim maliyetlerini bir arada sağladığı için ilgi odağı olmuştur [36].

Silisyum karbür Si ve C'nun tek kimyasal bileşimidir. Orijinal olarak kumun ve karbonun yüksek sıcaklıkta elektro-kimyasal reaksiyonu ile üretilmektedir. Silisyum karbür çok iyi bir abrasiv malzeme olup yüzyılı aşkın zımpara diskleri ve diğer aşındırıcı ürünler olarak üretilmiştir.

Günümüzde bu malzeme çok iyi mekanik özelliklerde teknik olarak yüksek kalitede seramik bir malzeme olarak geliştirilmiştir [37].

Seramik malzeme grupları içinde;

- Mükemmel sertlik ve yüksek aşınma direnci,
- Düşük sürtünme katsayısı,
- Mükemmel korozyon direnci,
- Yüksek ısı şok mukavemeti,
- Düşük ısı genleşme
- Çeliğe göre daha yüksek ısı iletim
- ve iletkenlik katsayısı

gibi üstün özellikleri nedeniyle aşındırıcı, refrakter, seramikler ve daha bir çok yüksek performans uygulamalarında, gaz tribünlerinde ve aşınmaya maruz otomobil parçalarında kullanımı büyük önem kazanmıştır [20, 38]. Bu malzeme ayrıca elektrik iletken yapılabilmekte ve direnç ısıtıcılarda, alev tutuşturucularda ve elektronik bileşenlerde uygulamalara sahiptir [38].

“SiC” olarak da tanımlanan ve doğada direkt rastlanılmayan silisyum karbür, Acheson adı verilen proses ile “1” no'lu eşitlikte verilen reaksiyon sonunda elde edilirler.



Silisyum karbür kristal latiste kuvvetli bağa sahip karbon tetrahedraları ve silisyum atomlarından oluşmaktadır. Sentetik bir malzeme olan silisyum karbür, 1400 – 1800 °C'larda “β” formunda kübik, 2000 °C'ların üzerinde ise, “α” formunda Hegzagonal olmak üzere iki değişik kristal yapıya sahiptir. [37, 38].

Oldukça sert ve kuvvetli bir malzemedir. Silisyum karbür 800°C'ye kadar herhangi bir asit veya alkali veya erimiş tuz tarafından etkilenmemekte ve 1200°C de koruyucu bir silisyum dioksit (SiO₂) filmi oluşturmakta ve bu malzemenin 1600°C'ye kadar kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Termal genişleme ve yüksek mukavemet ile yüksek termal iletkenlik bu malzemeye olağandışı kalitede termal şok direnci kazandırmaktadır. Az miktarda empürite veya tane sınırlarında empürite olmayan SiC mukavemetini, 1600°C'ye yaklaşan sıcaklıklara kadar muhafaza etmektedir [37]. Silisyum karbür yaklaşık 2300°C civarında dekompoze olmaya başlar, orijinal niteliklerini kaybeder [38].

Kimyasal safiyeti, yüksek sıcaklıklarda kimyasal ataklara karşı direnç ve yüksek sıcaklıklarda mukavemetini muhafaza etmesi bu malzemeyi yarıiletken fırınlarda tepsi destekleri (wafer tray supports) ve kısa kürek (paddles) olarak çok popüler yapmıştır. Sahip olduğu elektrik iletkenliği bu malzemenin elektrik fırınlarında ısıtıcı elemanlar, termistorlerde (temperature variable resistor) ve varistörlerde (voltage variable resistor) bileşenlerde kullanımına yol açmıştır [37].

Son yıllarda yüksek seramik ihtiva eden metal-seramik kompozitler elektronik kutularında termal bariyer olarak kullanılmaktadır. Ancak burada kompozitin termal genişleme katsayısı ve bazı özellikleri çok iyi kritik edilmelidir. Örneğin, mikroelektroniklerde kullanılan ambalaj malzemesinin ısıyı dağıtmak ve cihazlar arasındaki termal genişleme katsayısı uyumsuzluğunu azaltmak için yüksek termal iletkenliğe ve düşük termal genişleme katsayısına sahip olması gerekir. Yukarıdaki bilgiler ışığında SiC'ün bu nitelikte bir özellik sergilediği söylenebilir.

Metal-seramik kompozitleri;

-Toz metalurjisi,

-İç oksidasyon,

-Kimyasal metodla üretilmektedir [12].

SiC/Cu kompozitleri, bakırın iyi sünekliği ve tokluğu ile SiC partikülleri takviyelerinin yüksek mukavemeti ve elastik modüllerinin her ikisini birleştirir. Bu kompozitler röleler, iletkenler, elektrik anahtarları (switches), akım devresi kesicileri,

elektronik paketleme uygulamalarında elektrik kontakt malzemeleri olarak kullanılabilirler. [27].

Cu-SiC kompozitleri bakırın üstün süneklik ve tokluk özellikleri yanı sıra SiC'ün yüksek mukavemet ve yüksek modülünü kombine etmektedir (Tablo 3.4)

Tablo 3.4. SiC ve Cu'nun tipik fiziksel özellikleri

Özellik	Birim	Malzeme	
		SiC	Cu
Yoğunluk	g/cm ³	3.20-3.26	8.96
Young Modülü	GPa	400-500	110
Ergime Sıcaklığı	°C	2600	1083
Çekme Mukavemeti	GPa	>3.2	0.20-0.24
Termal Genleşme Katsayısı	10 ⁻⁶ K ⁻¹	5.40	16.5
Poisson Oranı		0.17	0.33
Kayma Modülü	GPa	175	48.3
Termal İletkenlik	W m ⁻¹ K ⁻¹	120	392

Cu ile SiC arasındaki termal genleşme katsayısı, termal iletkenlik uyumsuzluğu ve ıslatabilirlik Cu-SiC kompozitlerinin hazırlanmasında büyük problem oluşturmaktadır. SiC'ün termal genleşme katsayısı ve termal iletkenliği sırasıyla $3.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ve $150\text{-}230 \text{ W/m.K}$, oysa Cu'nun termal genleşme katsayısı ve termal iletkenliği sırasıyla $17 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ve 400 W/m.K 'dir. Yukarıda görüldüğü gibi SiC, Cu-SiC kompozitinin hem termal genleşme katsayısını hemde termal iletkenliğini düşürecek [20].

SiC ve bakır arasındaki birlikte dağılma, ıslatma ve bağlanma SiC/Cu kompozitlerinin hazırlanmasında pratik öneme sahiptir. Yinede bakır ve SiC arasındaki kötü ıslanabilirlik SiC'ün flokülasyonuna ve bakır matristen segregasyonuna ve kompozitlerin yoğunlaşma ve fiziksel özelliklerinde azalmaya yol açabilir. Seramik takviyesini bakırla ön kaplama ıslatabilirliği artırabilir [37].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Giriş

Elektrik iletkenliği en yüksek ikinci metal olan saf bakır, elektrik iletkenliğinin ana özellik olduğu uygulama alanlarında en yaygın olarak kullanılan metaldir. Ancak, sıcaklığın da bulunduğu bu tür uygulamalarda saf bakır yeterli mekanik mukavemete sahip değildir ve soğuk şekillendirilerek mukavemeti artırılmış olsa dahi artan sıcaklıkla çabucak yumuşar. Bu gibi uygulama alanlarında bakırın kullanılması ancak alaşımlama ile mümkün olmaktadır. %2-3 kadar alaşım katkısı bakırın ısıl işleme sertleşmesini sağlar, elektrik iletkenliğinde ise rölatif bir azalmaya yol açar. Az alaşımlı bakır veya yüksek iletken bakır alaşımları denilen bu tür alaşımlar ısıl işlem sıcaklıklarından daha yüksek sıcaklıklarda kullanılamazlar. Sıcaklık artışı bu tür alaşımların da yumuşamasına yol açar ve ağır görevleri yapamazlar. Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilir bir bakır iletken üretilmesi için Cu-seramik kompozitleri geliştirilmiştir. Alumina takviyeli yüksek iletken bakır kompozitleri, bakırın çalışma sıcaklıklarında alüminanın kararlı kalması nedeniyle geliştirilmiş tek ticari bakır-seramik kompozitidir. Bu tür kompozitler yüksek mekanik özelliklere sahip olmazlar, ancak özelliklerini yükselen sıcaklıklarda koruyabilirler.

4.2. Projenin Amacı

Bakır matris içerisine sert partiküllerin ilavesi; bakır matrisin sadece mekanik performans ve aşınma dayanımını artırmakla kalmaz, aynı zamanda elektrik ve termal iletkenliğini de korur. Böylece bakırın uygulama alanı genişletilmiş olur. Bu kompozitler; röleler, iletkenler, elektrik anahtarları, akım devresi kesicileri, elektrik kontakt malzemeleri ve nokta kaynak uygulamalarında kullanılabilirler.

Bu proje çalışması, bakır matrisin SiC türü bir seramik toz ile takviye edilerek yüksek iletken ve nispeten yüksek mukavemetli bir bakır kompozitinin geliştirilmesini hedeflemektedir. Önerilen çalışmada, sementasyon yöntemi ile

çöktürülerek elde edilecek bakır tozlarının elektrik iletkenliğinden kaybı en aza indirecek fakat yeterli dispersiyon sertleşmesi etkisini sağlayacak kadar (%1-5 mertebelerinde) SiC ile takviye edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması amacı ile aynı oranlarda SiC içeren hazır bakır tozları kullanılarak Cu-SiC kompozitleri ve saf Cu üretilmiştir. Bunların yanı sıra Cu-Al₂O₃ kompozitleri de karşılaştırma amacı ile kullanılmıştır.

4.3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Matriks malzemesi olarak: * Hazır Cu tozu (10 µm, %99.9 safiyette, Merck)

* Semente Cu tozu (0.1-0.5 µm, % 98.5 safiyette)

Takviye malzemesi olarak: * SiC tozları (1, 5 ve 30 µm, % 99.5 saflıkta, Alfa-Aesar ve Struers)

Semente Cu tozu üretiminde: * Susuz CuSO₄ tozu (% 99 safiyette, Merck)

* H₂SO₄ (Sülfürik asit) (% 99 saflıkta, Alfa-Aesar)

* Saf Fe tozu (%99.5 safiyette, 1 µm, Merck)

* Destile su

Sinterleme sırasında oksitlenmeyi önleyici eleman olarak da grafit tozu kullanılmıştır.

4.4. Çalışmada Kullanılan Cihazlar

Proje kapsamında yapılan çalışmalarda şu cihazlar kullanılmıştır:

- a) Semente bakır tozlarının üretimi için ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ve cam beher,
- b) Semente bakır tozlarının kurutulmasında MMM Med Center marka vakumlu etüv,

- c) Kompozit toz karışımlarının kompaktlanmasında Dartec marka çekme cihazı, 15 mm. çapında kalıp ve iki adet zımba,
- d) Sinterleme çalışmaları için Protherm marka max. 1200 °C' lik fırın,
- e) Yoğunluk ölçümleri için GecAway marka hassas terazi ve Archimed yoğunluk ölçüm ekipmanı
- f) Optik mikroyapıların elde edilmesinde Olympus marka optik mikroskop,
- g) XRD analizlerinde Rigaku marka x-ışınları difraktometresi
- h) SEM-EDS analizlerinde EDS destekli Jeol JSM 6060-LV model SEM mikroskobu
- i) Sertlik ölçümlerinde Brinell sertlik ölçüm cihazı ve Leica WMHT-Mod model optik mikroskop destekli Vickers indentasyon cihazı
- j) Elektriksel iletkenlik ölçümlerinde GE model iletkenlik cihazı

4.5. Deneysel Çalışmada İzlenen Yol

Çalışmada izlenen yol, genel bir çerçevede, aşağıdaki gibidir.

i) Bakır tozu üretimi

- Sementasyon yöntemi ile çöktürme

ii) Toz karışımları hazırlama

- Sementasyon metodu ile elde edilen semente Cu tozu ve hazır Cu tozlarından mekanik karıştırma ile üç farklı tane boyutundaki (1µm, 5µm ve 30µm) SiC tozları kullanılarak aşağıdaki karışımlar hazırlanmıştır.

Ağırlıkça 100 Cu,

(%); 99 Cu + 1 SiC,

98 Cu + 2 SiC,

97 Cu + 3 SiC ve

95 Cu + 5 SiC bileşiminde ve

Hazır Cu tozu kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda ise sadece 1µm tane boyutunda SiC tozları ve 10 µm tane boyutlu Cu tozları kullanılmıştır.

iii) Sinterleme

Hazır bakır tozları kullanılarak yapılan çalışmalarda belirtilen bileşimlerde hazırlanan toz karışımlarından 280 MPa basınç altında sıkıştırılarak elde edilen kompaktlar sırasıyla, 900, 950 ve 1000 °C' de 2 saat süreyle açık atmosferli fırında, grafitte gömülerek sinterlenmiştir.

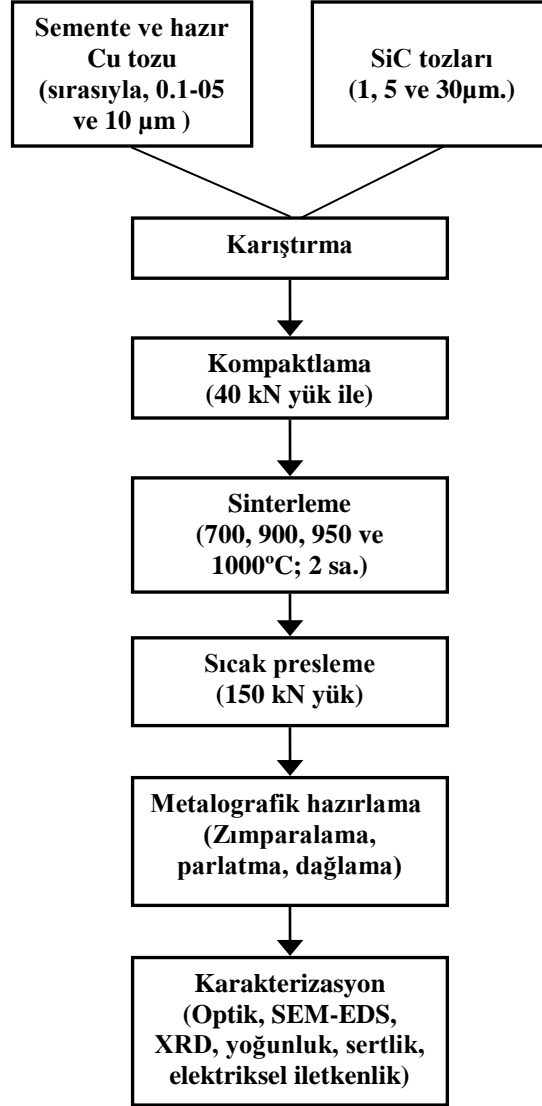
Semente Cu tozu kullanılarak yapılan çalışmalarda ise hazır tozlarla yapılan çalışmalarda yeterli ve iyi sonuçlar verdiğinden, 900 °C' de 2 saat süreyle grafitte gömülerek sinterlenmiş, sonrasında ise elektrik iletkenliklerindeki değerleri iyileştirdiği görüldüğünden kalan çalışmalarda sinterleme sıcaklığı 700 °C' y düşürülerek, 2 saat süreyle yine grafitte gömülerek aynı fırında sinterleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu defa, sinterleme işlemi takiben, düşük sinterleme sıcaklığı ve dolayısıyla düşük relatif yoğunluk ihtimali nedeniyle, numuneler 150 kN yük uygulanarak, sıcak preslenmiştir. Herhangi bir karbon difüzyonu riskini gidermek amacıyla sinterleme sonrasında numune yüzeyleri dikkatli bir şekilde taşlanmıştır. Test numunelerinin üretimi şematik olarak Şekil 4.1' de verilmektedir.

iv) Karakterizasyon

Sinterlenmiş ürünler üzerinde aşağıdaki karakterizasyonlar gerçekleştirilmiştir.

- Yoğunluk
- Mikroyapı
 - Taramalı elektron mikroskobu (SEM), optik mikroskop (OM)
- Sertlik
- Elektrik iletkenliği
- XRD analizi
- SEM-EDS analizleri

Başlangıç tozları (Semente Cu tozu) için sırasıyla; yaş analiz, XRD ve SEM-EDS çalışmaları, SiC tozları için de SEM-EDS analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.1 Kompozit numunelerin şematik olarak üretimi.

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Sementasyon Yöntemiyle Bakır Tozu Üretimi

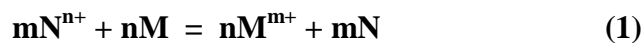
5.1.1 Sementasyon

Bakır yüksek termal ve elektrik iletkenliğine sahip, sünek ve kolay şekil verilebilen bir metaldir. Tel şeklindeki saf bakır elektrik iletkenlerinde, ince saf bakır tozu özellikle toz metalurjisi olmak üzere birçok metalurji endüstrisinde büyük bir uygulama alanı bulmaktadır. Eğer boyut nano seviyesine indirilebilirse, bakırın katalizör olarak ve diğer alanlarda şaşırtıcı özelliklere sahip olması beklenilmektedir [39].

Bakır mineralleri doğada genellikle oksit ya da sülfat formunda bulunmaktadır. Bakır, oksitli cevherlerin liç edilmesi ile sulu çözeltiliye direk olarak transfer edilebilir, fakat sülfatlı bakır cevherlerinin liçi daha zor olmaktadır. Nihai liç çözeltilisinin kompozisyonu ve saflığı liç için kullanılan reaktanların çeşidine ve mineral yapısına bağlıdır. Kuvvetli asitlerle elde edilen liç çözeltileri daha fazla empürite ihtiva etmektedir. Düşük empürite ihtiva eden liç çözeltileri ise zayıf asit, baz ve tuzlarla elde edilebilmektedir. Bu reaktanlar bakır çözünmesinde yüksek oranda seçicidir [40].

Günümüzde yüksek dereceli bakır cevherleri azalmakta ve kalan cevherlerde düşük miktarda bakır içermektedir. Bunun sonucu olarak, pirometalurjik bakır üretim metodları hidrometalurjik üretim prosesleriyle yer değiştirmektedir.

Sementasyon veya metal yer değiştirme reaksiyonu, çözeltideki daha soy olan metal iyonun elektromotif serisinde daha yüksekte olan bir metal tarafından çözeltiden çöktürülmesi esasına dayanan elektrokimyasal bir prosestir. Sementasyon prosesi genel olarak aşağıdaki reaksiyon ile ifade edilebilir:

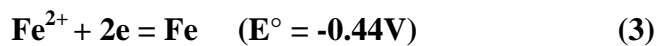
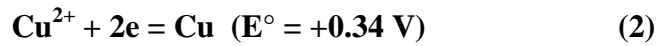


Burada N soy metali, M redükleyici metali göstermektedir. Sementasyon hidrometalurjik proseste önemli bir reaksiyondur. Sementasyon ayrıca ticari olarak siyanit liç çözeltilerinden altını geri kazanmak, elektrokaplama ve “electrowinning” çözeltilerinden empüriteleri uzaklaştırmak ve yaygın çeşitlilikteki liç çözeltilerinden bakır geri kazanımı için kullanılmaktadır [41].

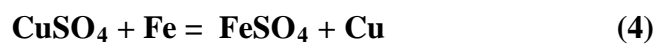
Bu doğrultuda metalurjik proseslerde metalik bakır üretmek için en uygun ve basit yol hidrometalurjik yöntemlerden biri olan, ufak demir parçaları kullanılarak bakırın sementasyonu gibi görünmektedir [42].

Bakırın sementasyonu, Cu^{2+} 'nin çözeltiden sementasyon elemanı (demir, alüminyum veya çinko) üzerine çöktürülmesi ile gerçekleşen heterojen bir elektrokimyasal prosestir. Sementasyon Cu^{2+} 'nin redüksiyonu için elektronların sementasyon ajanından büyüyen bakır birikintisi üzerine transfer edildiği kısa devre olmuş elektrokimyasal hücreler içerisinde meydana gelmektedir. Bakır iyonları bakır birikintisi yüzeyinde indirgenmektedir. Demir, alüminyum ve çinko gibi elektron sağlayıcılar ise yüzeyleri üzerindeki anodik bölgelerde okside olmaktadır. Kompakt bakır birikintileri oluşumu sementasyon etkenlerinin ayrışmasını engellemekte, böylelikle bakır sementasyon hızı azalmaktadır [43].

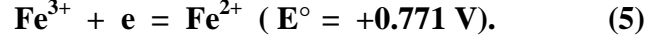
Bakırın kazanımında en yaygın ve en genel kullanılan metot, demir parçalarıyla bakırın sementasyonudur. Bakırın demir ile sementasyonunda iki element arasındaki farklı standart indirgenme potansiyellerine göre;



mevcut miktarda demir çözünürken, bakır iyonu metalik demir yüzeyinde kolayca redüklenmektedir. Standart şartlarda reaksiyon;



yaklaşık 0.78 V standart emf. değeriyle gerçekleşmektedir. Endüstriyel çözeltiler bakırın yanında Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarını da içerdiğinden, demir parçaları çözeltide olduğunda,



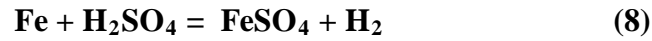
redüksiyon potansiyeline bağlı olarak; reaksiyon (7)' nin oluşumu



1.211 V standart emf. değeriyle gerçekleşebilir. Fe^{3+} 'ün varlığından dolayı biriken bakır ters reaksiyon (7) (standart emf. = 0.431 V) uyarınca çözeltiye geçebilmektedir.



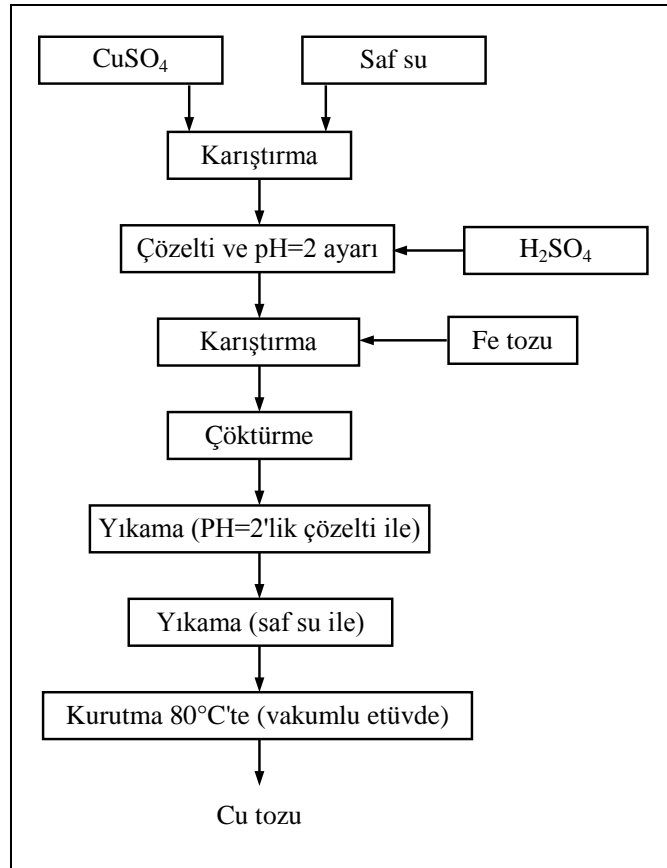
Artık bakır çözeltileri sıklıkla H_2SO_4 içerdiğinden dolayı, demir parçalarının dağlanması ayrıca göz önüne alınmalıdır (Reaksiyon 8) [42].



5.1.2 Bakır Tozu Üretimi

Bakır tozu, metalik demir tozu kullanılarak bakırın sülfatlı çözeltisinden sementasyon yöntemi ile çöktürülerek üretilmiştir.

Bakır tozu üretiminde izlenen yol Şekil 5.1'deki akım şemasında gösterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada 16 g susuz bakır sülfat (CuSO_4) ve 5.3 g demir (Fe) tozu kullanılarak ortalama 5.2 g semente bakır tozu elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Sementasyon yöntemi ile bakır tozu üretimi akım şeması.

Elde edilen bakır tozunun saflığını belirlemek için Sakarya Üniversitesi bünyesinde mevcut laboratuvarlarda yaş analiz yaptırılmış ve sonuçlar Tablo 5.1'de verilmiştir. Bu tablodan görüldüğü gibi, projede öngörülen yöntem ile üretilen bakır tozlarının saflığı analiz sonucunda %99'un üzerindedir.

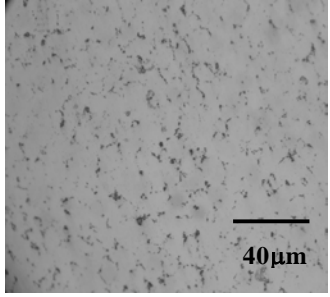
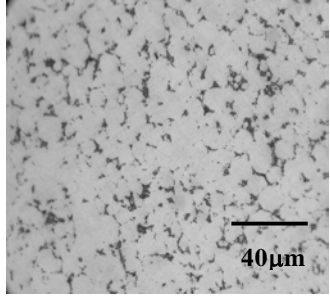
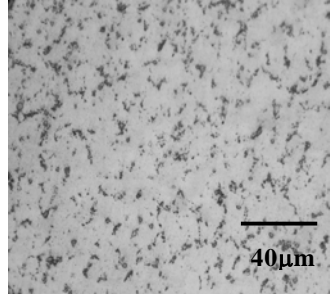
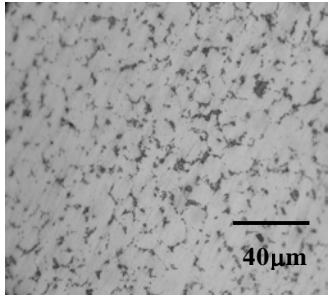
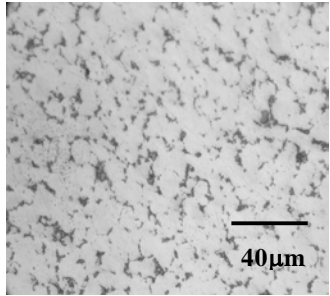
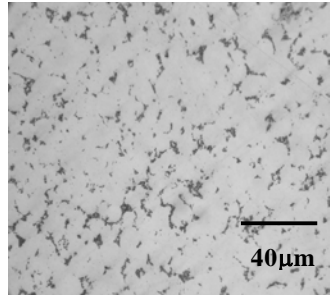
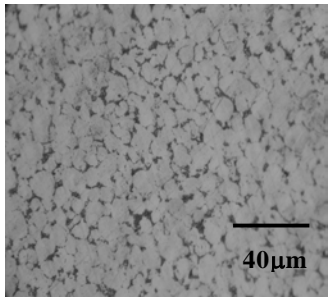
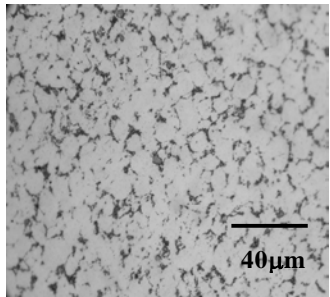
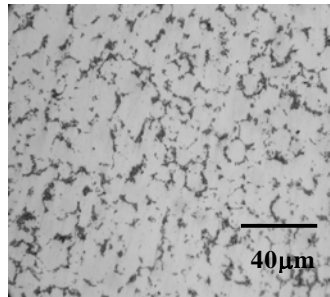
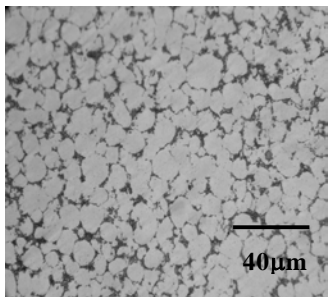
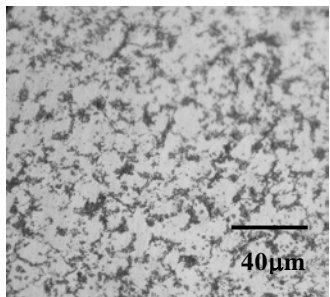
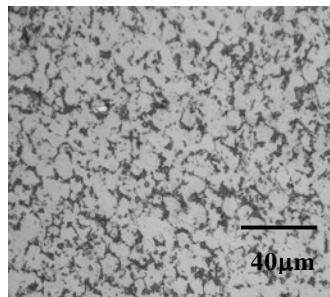
Tablo 5.1. Sementasyon yolu ile üretilen bakır tozunun yaş analiz sonuçları.

Alaşım Elementi	Ağırlıkça %
Cu	99.55
Fe	0.45

5.2. Metalografik İnceleme

Projede ilk olarak, 10µm tane boyutundaki hazır Cu tozu ve 1 µm tane boyutundaki SiC tozları kullanılarak kompozit toz karışımları hazırlanmış ve sırasıyla 900, 950 ve 1000 °C’ de 2 saat süreyle grafit içerisine gömülü halde sinterlenerek kompozit test numuneleri hazırlanmıştır. Üretilen bu ilk test numunelerine ait parlatılmış haldeki optik mikroyapılar Şekil 5.2’ de verilmiştir.

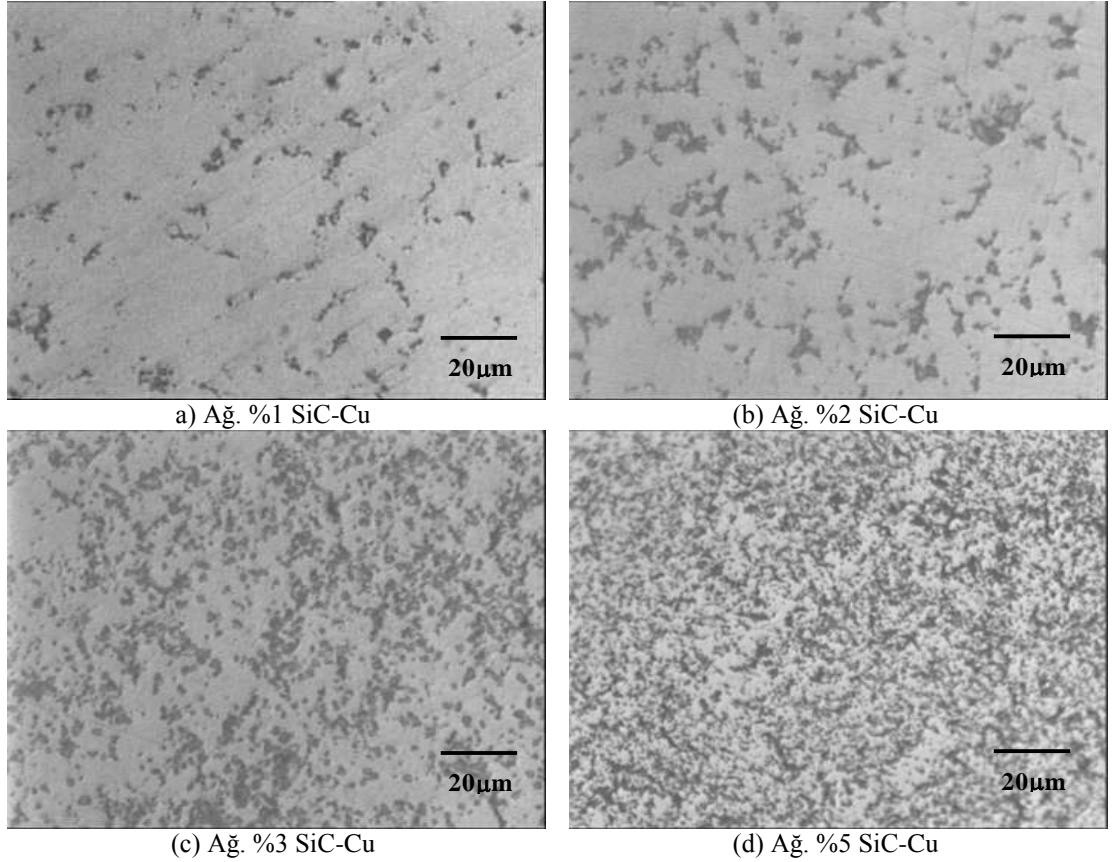
Mikrograflarda bakır matriks açık renk ve SiC partikülleri gri-koyu gri olarak görülmektedir. SiC partikülleri bakır matrikste nispeten homojen bir dağılıma sahiptir ve bakır tanelerinin etrafını sarmaktadır. Takviye miktarı arttıkça SiC tanecikleri bakırın tüm tane sınırlarına doğru yayılmakta ve çok belirgin bir ağ oluşturmakta, bakır matriksin tane boyutunu etkilememektedir. Sinterleme sıcaklığındaki artış, esasen 900°C’de sinterlenmiş numuneler üzerinde yapılan gözlemleri pek değiştirmemektedir.

% SiC	Sinterleme sıcaklığı (°C)		
	900	950	1000
1			
2			
3			
5			

Şekil 5.2 Hazır bakır tozları kullanılarak farklı sıcaklıklarda 2 saat süre ile sinterlenerek üretilen Cu-ağ.%SiC kompozit numunelerine ait optik mikroyapılar (Büyütme:200X).

Hazır bakır tozlarıyla yapılan çalışmalarda 900 °C’ de sinterlenen numunelerin istenen yoğunluklarda olması nedeni ile sementasyon ile üretilen tozlardan

hazırlanan numunelerin sinterlenmesinde başlangıçta sadece 900°C olan sinterleme sıcaklığı kullanılmıştır. Şekil 5.3’ de de semente bakır tozları kullanılarak 900 °C’ de 2 saat grafitte gömülü halde sinterlenerek elde edilen kompozitlere ait optik mikroyapılar verilmiştir. Semente bakır tozları kullanılarak elde edilen kompozitlerin mikroyapılarına bakıldığında, hazır tozlarda olduğu gibi belirgin ve küresel bir tane yapısı gözlenmemiştir. Bu muhtemelen tozlardaki aglomerasyondan kaynaklanmaktadır.

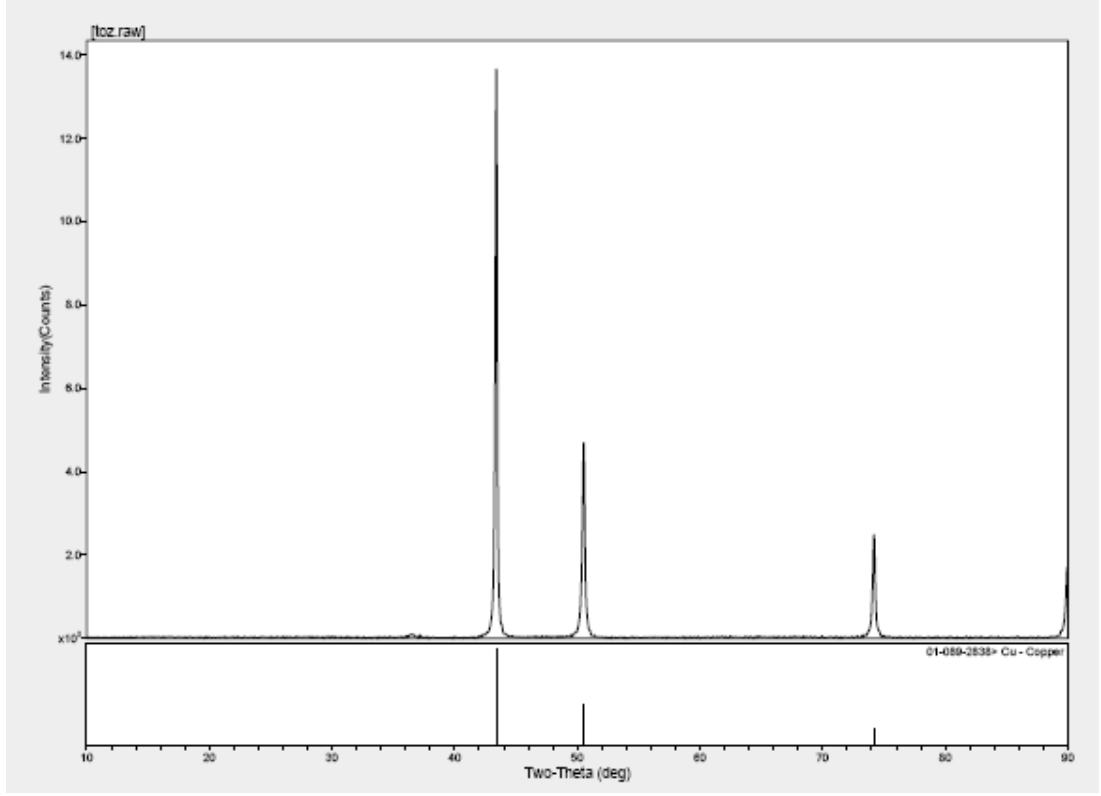


Şekil 5.3 Semente Cu tozları kullanılarak 900 °C’ de 2 saat sinterlenerek üretilen Cu-ağ.% SiC kompozitlerine ait optik mikroyapılar (Büyütme:500X).

5.3. XRD İncelemeleri

Projede ilk olarak, kompozit hazırlanması için sementasyon yolu ile üretilen semente Cu tozlarında kurutma sonrasında ortaya çıkabilecek herhangi bir bakır-oksit varlığını incelemek üzere semente Cu tozları XRD analizine tabi tutulmuştur. Sementasyon yolu ile üretilen Cu tozlarının kurutma sonrası XRD analizi Şekil

5.4’de verilmiştir.

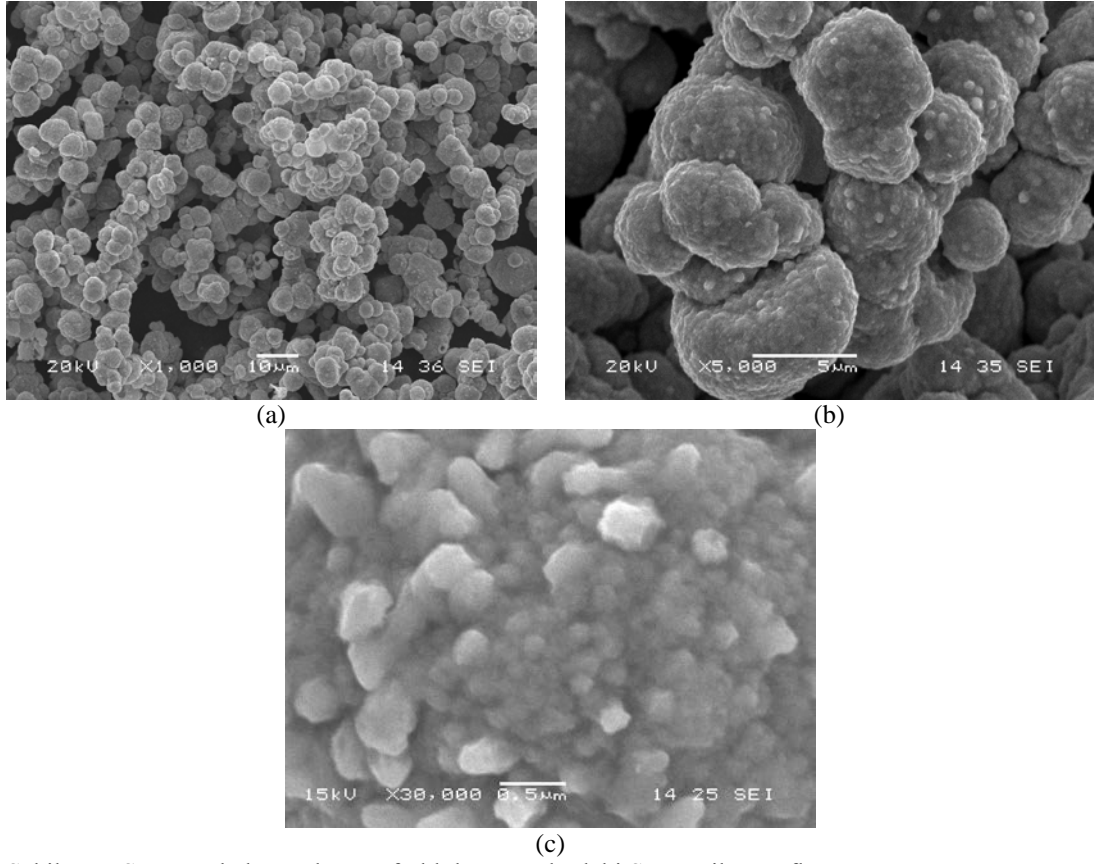


Şekil 5.4 Semente Cu tozlarının XRD paterni.

Şekilden de görüldüğü gibi semente bakır tozlarında herhangi bir bakır-oksit varlığı görülmemiştir. Ancak, bu durumu teyit etmek için yapılan SEM-EDS analizlerinde az miktarda bakır-okside işaret edebilecek oksijen varlığı tespit edilmişse de tozun saflığını çok fazla etkilememektedir.

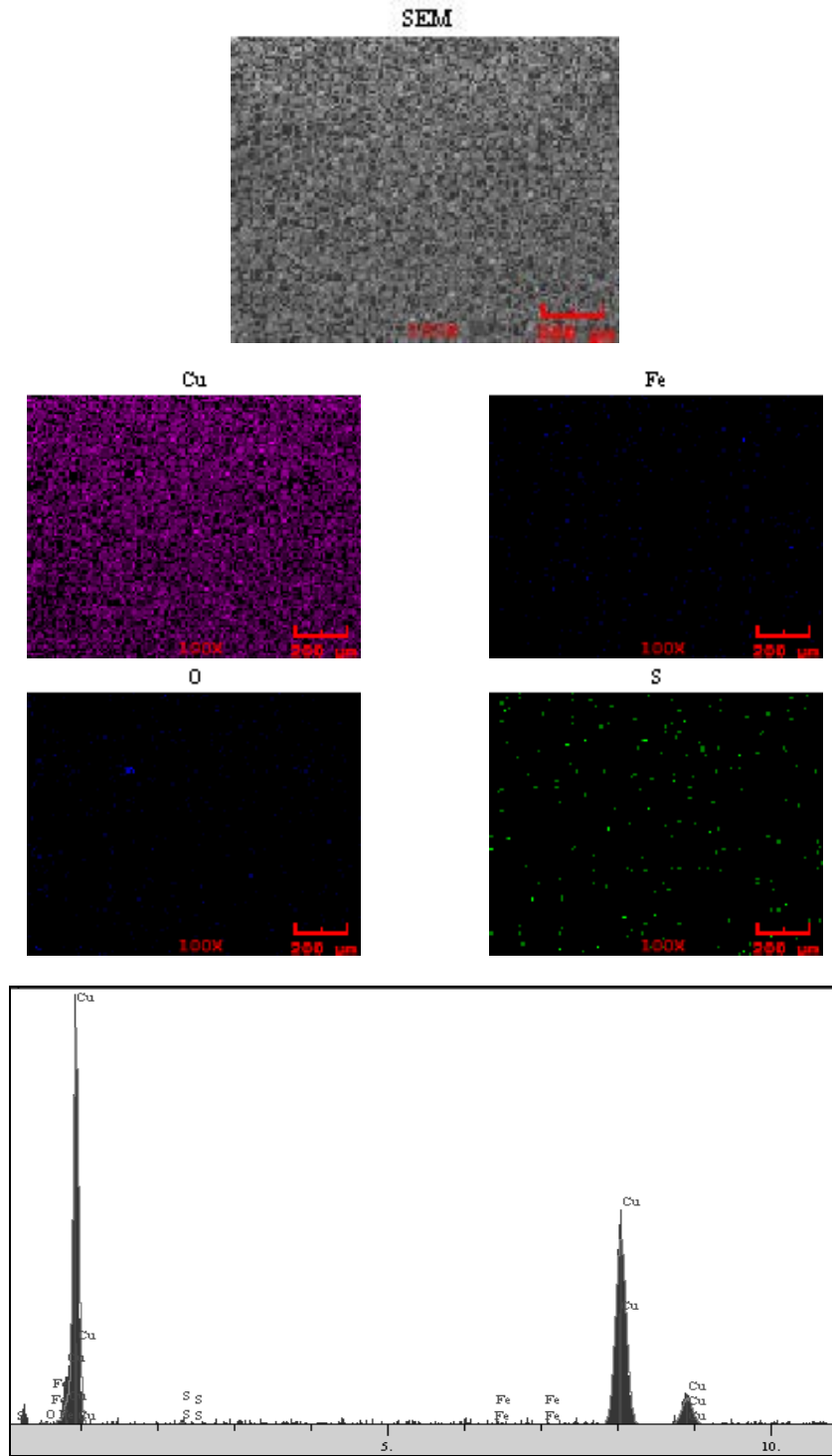
5.4. SEM-EDS İncelemeleri

Başlangıç malzemesi olarak kullanılan semente Cu tozlarına ait SEM mikrografları Şekil 5.5a-c’ de verilmiştir. SEM mikrograflarından da anlaşılacağı gibi partikül morfolojisi küresele yakın olup, tanelerde belirgin bir aglomerasyon bulunmaktadır (Şekil 5.5b). Bu aglomere Cu tanelerinin boyutları 2-6 µm arasında değişirken, partiküllerin gerçek boyutları mikron altı seviyelerde olup, boyutu 100 nm’ ye yakın tanecikler de vardır (Şekil 5.5c).



Şekil 5.5. Semente bakır tozlarının farklı büyütmelerdeki SEM mikrografları.

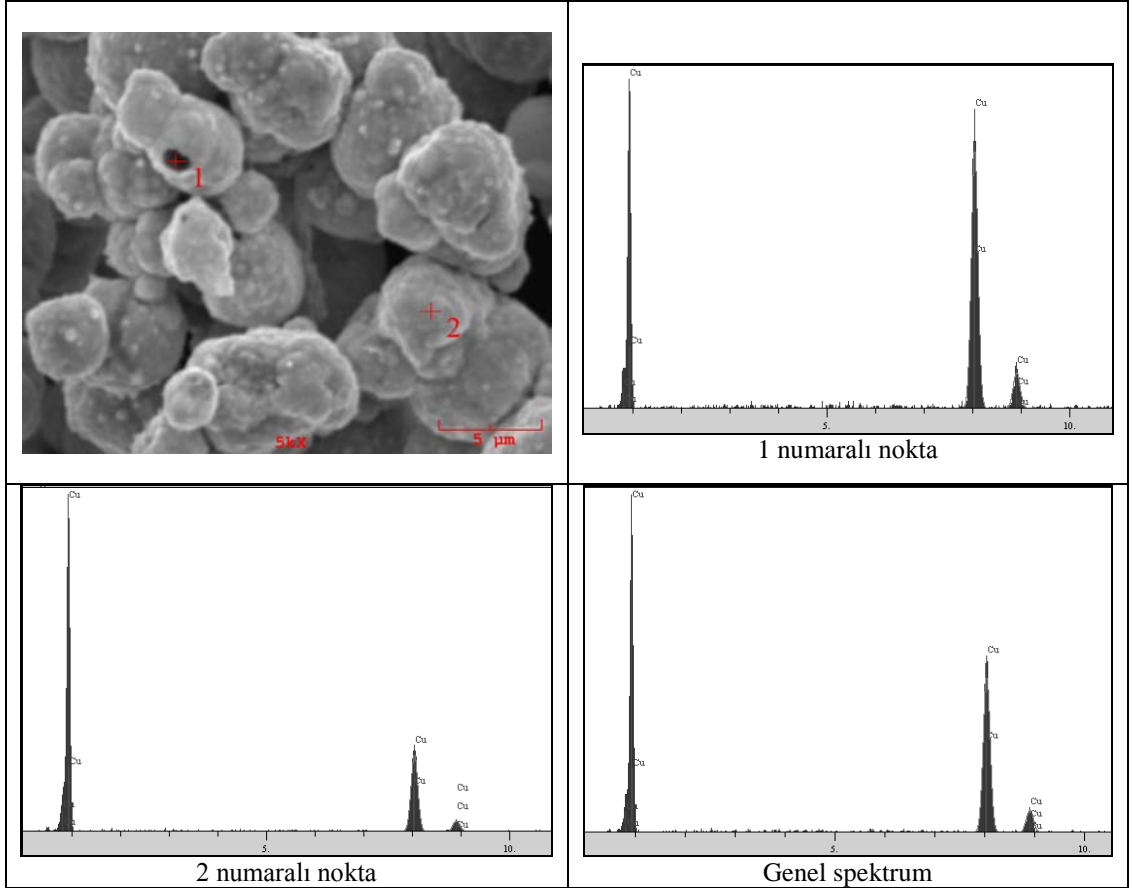
Şekil 5.6' da semente Cu tozlarının SEM-EDS alan taraması (SEM-map) ve bu alana ait (büyütme: 100X) EDS spektrumu verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi semente Cu tozunda ağırlıklı olarak Cu, eser miktarlarda O, Fe ve S bulunmaktadır. Oksijen muhtemelen sementasyon sonrası kurutma işlemi sırasında tozların oksidasyonundan, Fe ve S ise üretimden kaynaklanabilir.



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	1.12	0.669	1.048	wt. %	
S	Ka	0.81	0.567	0.195	wt. %	
Fe	Ka	0.76	0.552	0.148	wt. %	
Cu	Ka	143.12	7.564	98.609	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

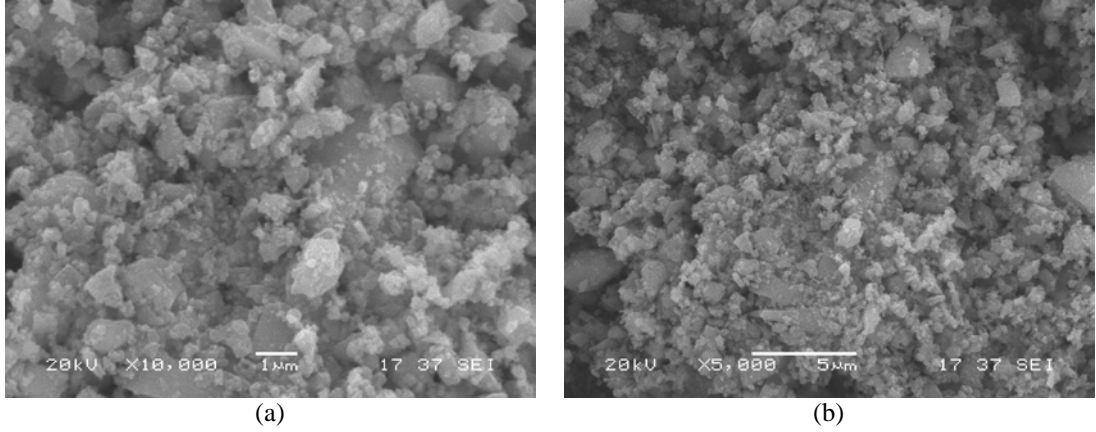
Şekil 5.6. Sementte bakır tozunun SEM-EDS alan taraması ve spektrumu.

Şekil 5.7’de semente Cu tozlarının SEM-EDS spektrumu görülmektedir (5000X büyütmede). Bu analiz yukarıdaki (Şekil 5.6’daki) daha büyük alandan alınan SEM-EDS analiz sonuçlarını teyit eder niteliktedir (% 98,6 safiyette semente Cu tozu).

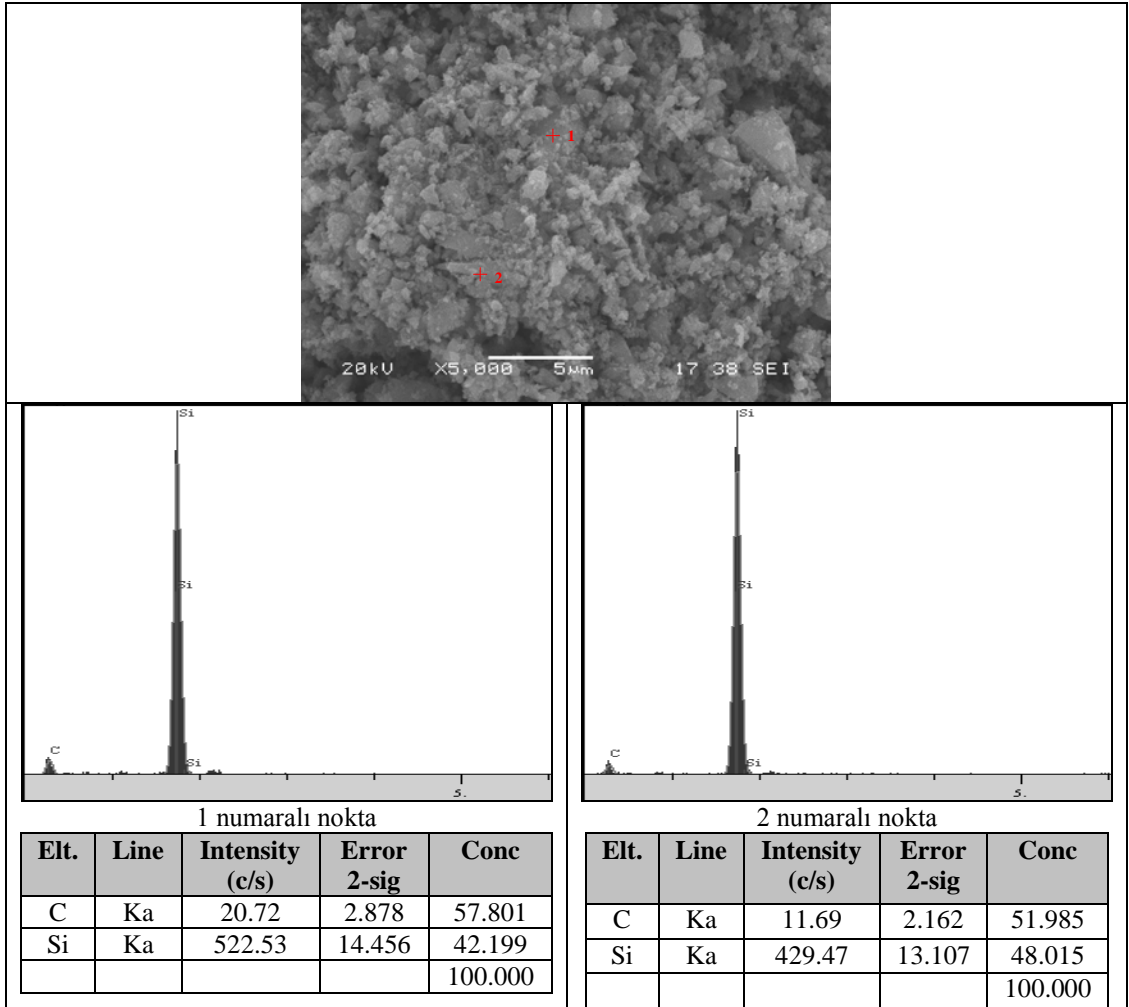


Şekil 5.7. Semente bakır tozunun EDS analizi (5000X).

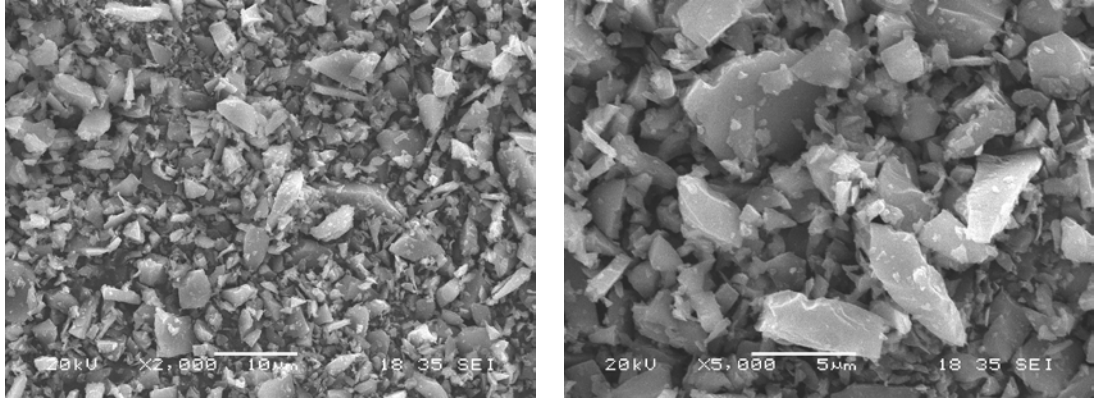
Bununla birlikte, takviye bileşeni olarak kullanılan SiC (1µm boyutunda) tozlarının SEM-EDS mikroyapı ve spektrumları Şekil 5.8-5.11’ de görülmektedir. Şekillerden görülebileceği gibi takviye bileşeni olan SiC tozları köşeli, yapraksı morfolojiye ve % 100 safiyete sahiptir.



Şekil 5.8 1µm tane boyutundaki SiC' ün SEM mikrografları. a) 10000X , b) 5000X.



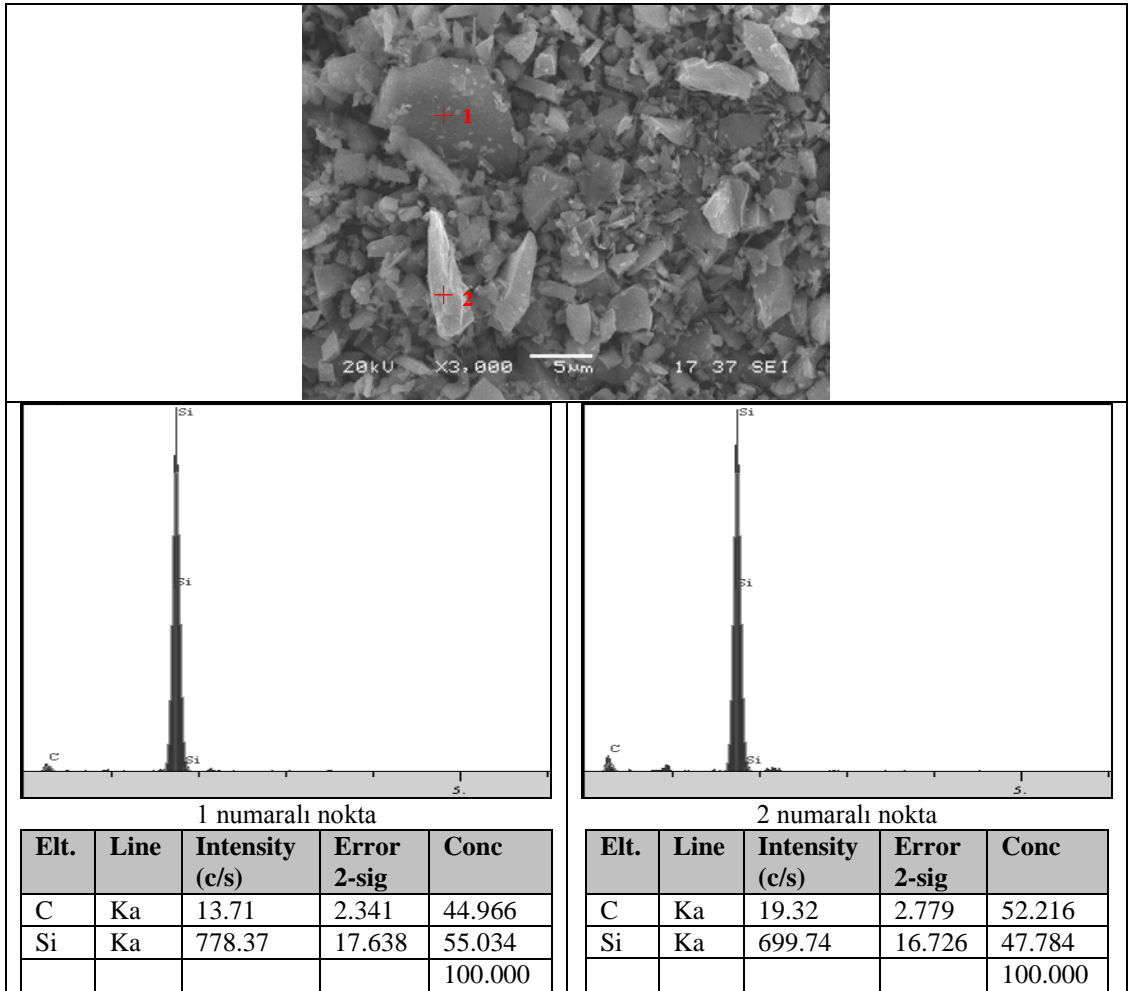
Şekil 5.9. 1µm tane boyutundaki SiC' ün EDS analizi (5000X).



(a)

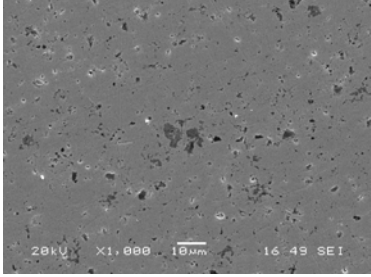
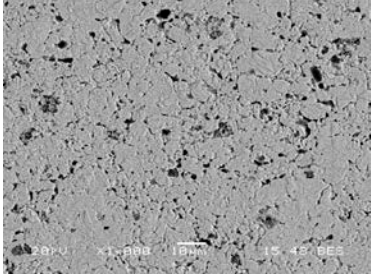
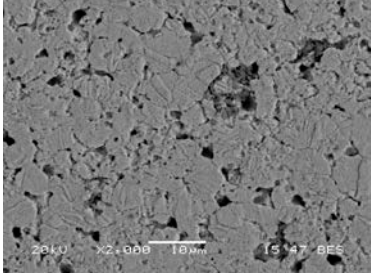
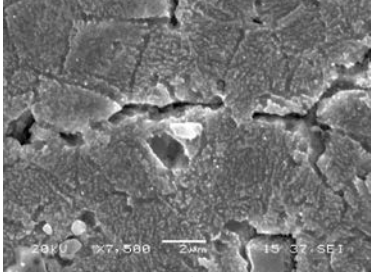
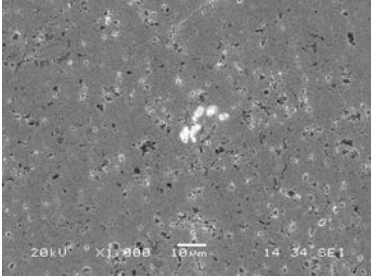
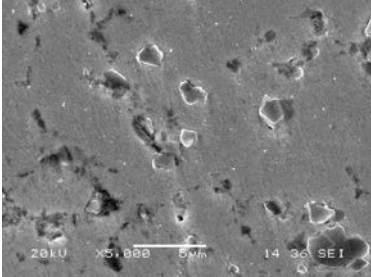
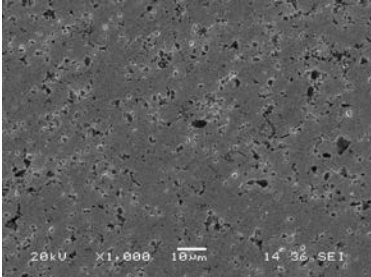
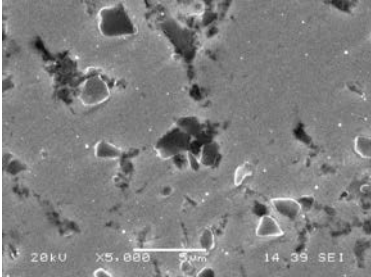
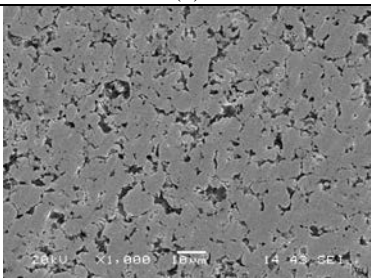
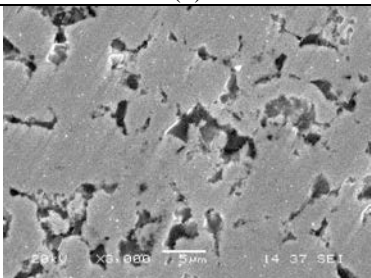
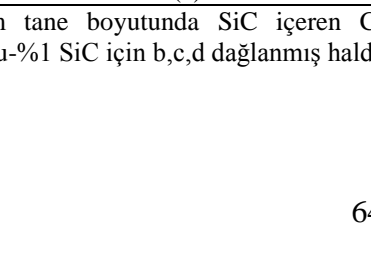
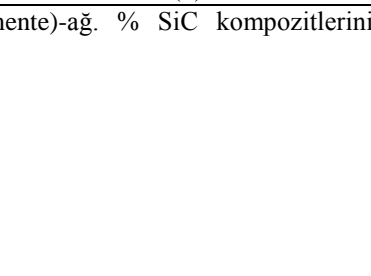
(b)

Şekil 5.10. 5µm tane boyutundaki SiC' ün SEM mikrografları.

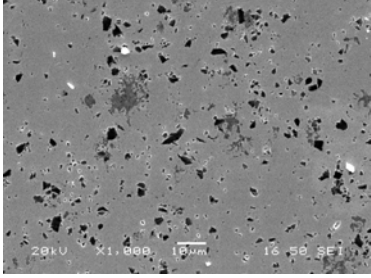
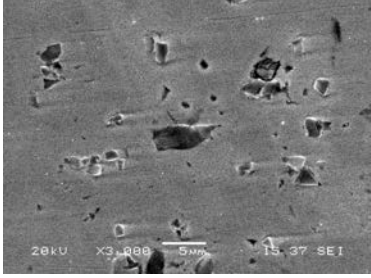
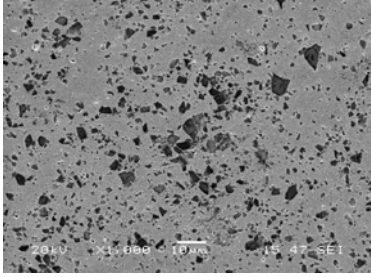
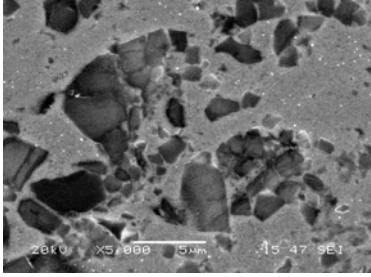
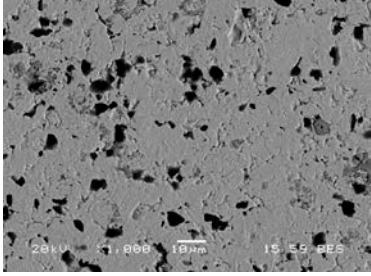
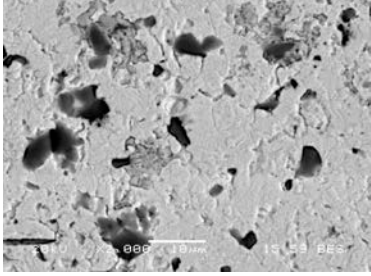
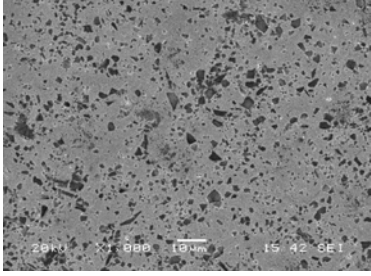
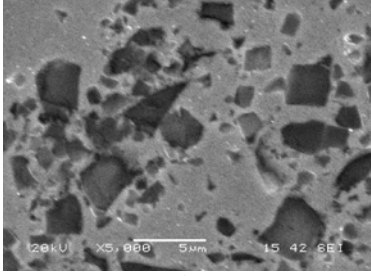
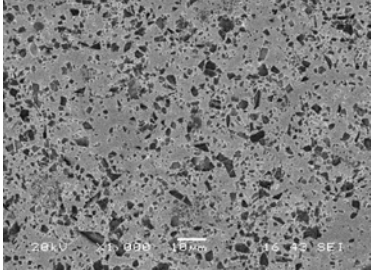
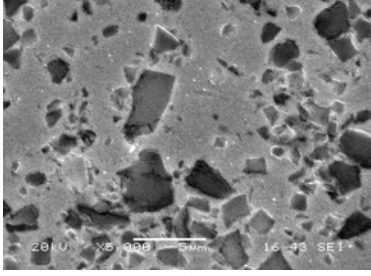
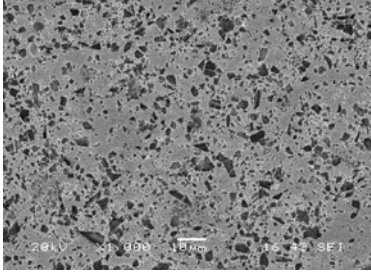
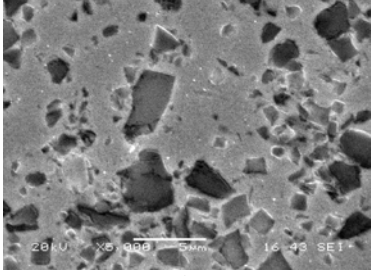


Şekil 5.11 5µm tane boyutundaki SiC' ün EDS analizi.

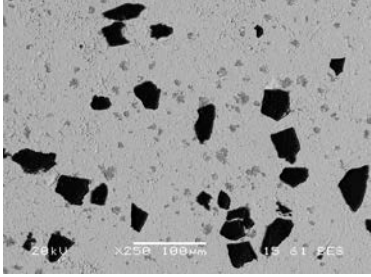
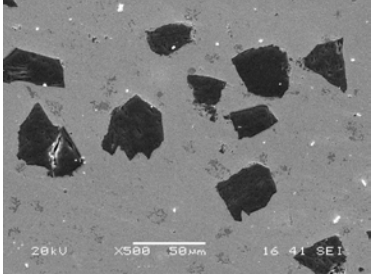
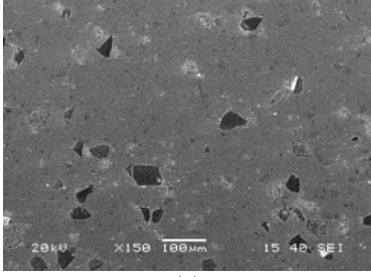
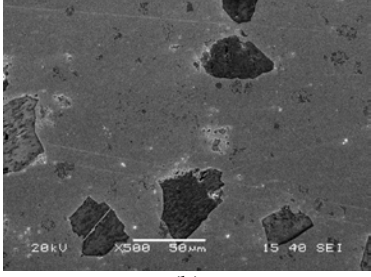
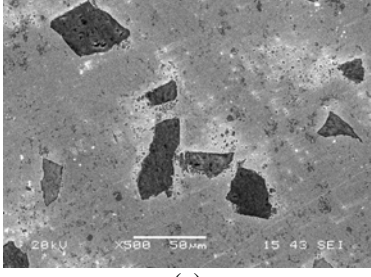
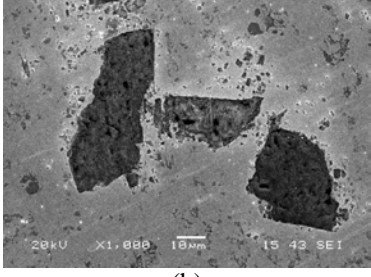
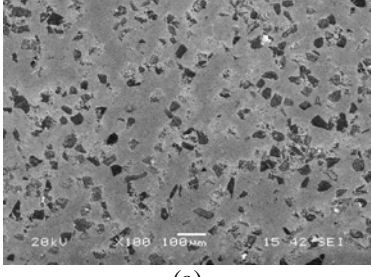
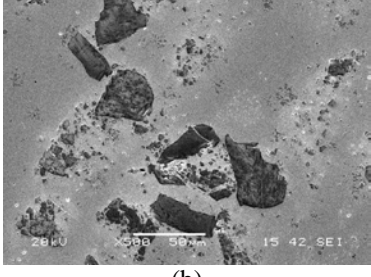
Semente bakır tozları kullanılarak 900°C’de sinterlenen kompozitlerin elektriksel iletkenlik değerlerinin düşük olması nedeni ile daha düşük sinterleme sıcaklıkları denenmiş ve 700°C sinterleme sıcaklığında beklenen elektriksel iletkenlik değerlerine ulaşılmıştır. Bu sıcaklıkta sinterlenen kompozitlere ait SEM mikrografları Şekil 5.12-14’de verilmiştir.

% SiC	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	
	700	
1	 (a)	 (b)
	 (c)	 (d)
2	 (a)	 (b)
	 (a)	 (b)
3	 (a)	 (b)
	 (a)	 (b)

Şekil 5.12 1µm tane boyutunda SiC içeren Cu (semente)-ağ. % SiC kompozitlerinin SEM mikrografları (Cu-%1 SiC için b,c,d dağlanmış halde).

% SiC	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	
	700	
1	 (a)	 (b)
	 (a)	 (b)
2	 (c)	 (d)
	 (a)	 (b)
3	 (a)	 (b)
5	 (a)	 (b)

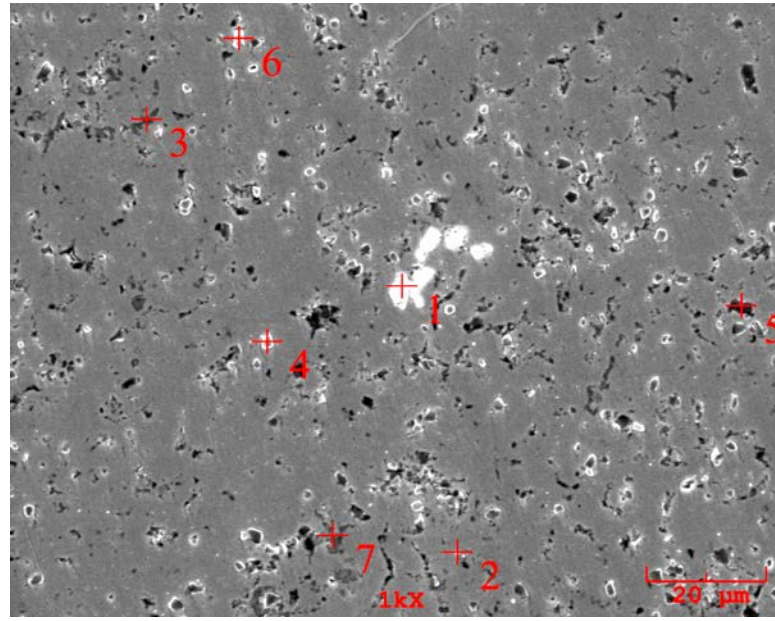
Şekil 5.13 5µm tane boyutunda SiC içeren Cu (semente)-ağ. % SiC kompozitlerinin SEM mikrografları (Cu-%2 SiC için c,d dağlanmış halde).

% SiC	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	
	700	
1		
2		
3		
5		

Şekil 5.14 30µm tane boyutunda SiC içeren Cu (semente)-ağ. % SiC kompozitlerinin SEM mikrografları.

Yapılan SEM incelemelerinde SiC taneciklerinin genel olarak matrisi içerisinde uniform bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Şekil 5.12-a' ya bakıldığında SiC partikülleri Cu matrisi içerisinde homojen olarak dağıldığı ve hakim olarak bakır tanelerinin birleşme noktalarında yer aldığı gözlenmiştir. Bunu teyit etmek amacıyla Cu-SiC kompozit malzemeleri %50 HNO₃ + %50 H₂O ile dağlanmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Mikroyapılarda koyu gri ve keskin köşeli fazlar SiC' ü açık

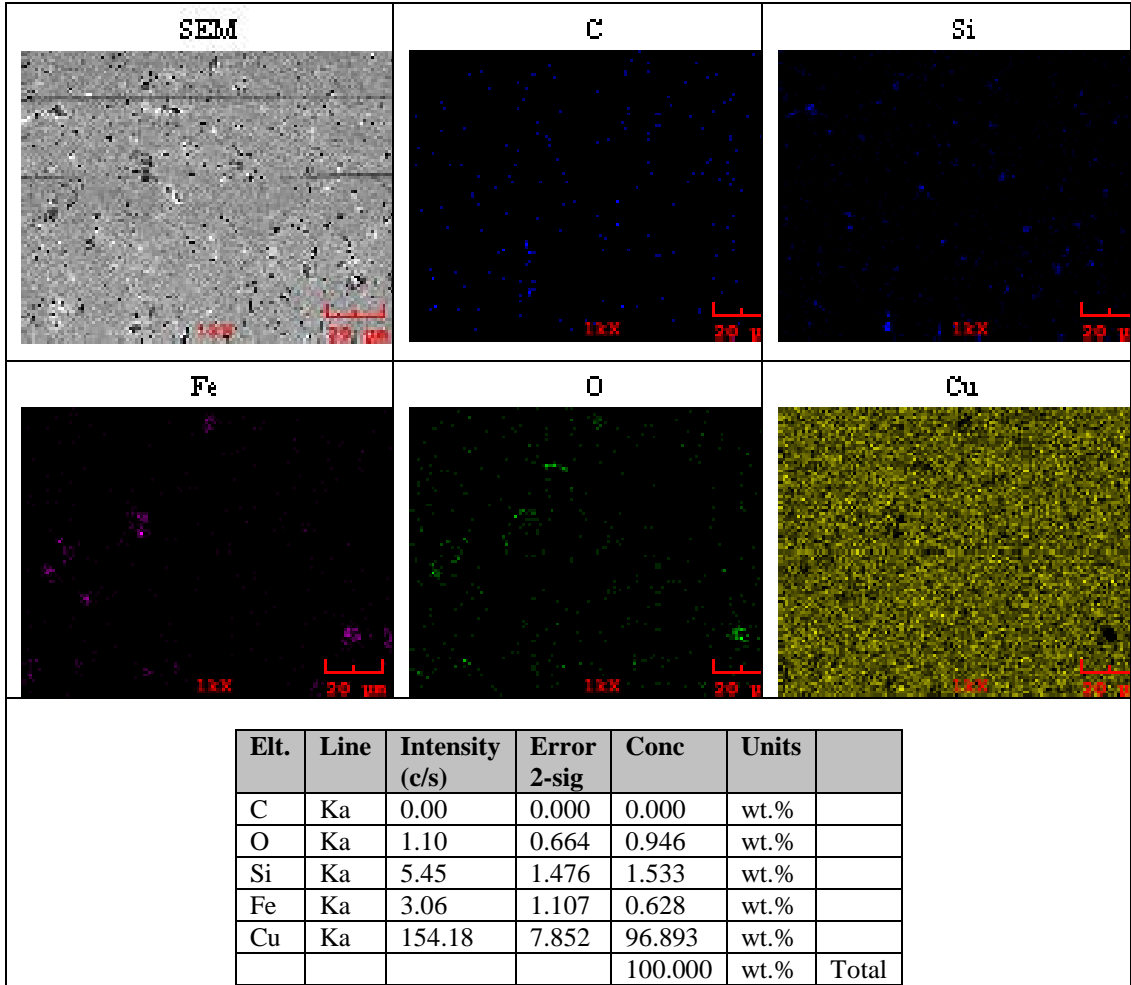
gri alanlar Cu matriksi, serbest beyaz alanlar muhtemelen parlatmadan kaynaklanan Alüminayı, Cu matriks ile takviye bileşeni SiC arayüzeyindeki beyazlıklar herhangi bir fazı karakterize etmeyip, kot farkından ileri gelmektedir. Yukarıda ifade edilen sonuçlar SEM-EDS analiz sonuçları ile desteklenmiştir (Şekil 5.15). Mikroyapılarda gri renkteki bölgelerin ise Fe ve O ihtiva ettiği SEM-EDS analizlerinde tespit edilmiştir



%	1 no'lu nokta	2 no'lu nokta	3 no'lu nokta	4 no'lu nokta	5 no'lu nokta	6 no'lu nokta	7 no'lu nokta
C				37.473	34.690	38.937	
O	42.769	0.768	20.598				22.852
Fe			33.776				19.633
Si		0.622		23.960	29.876	19.650	1.319
Al	29.123						
Cu	28.108	98.610	45.626	38.567	35.434	41.413	56.196

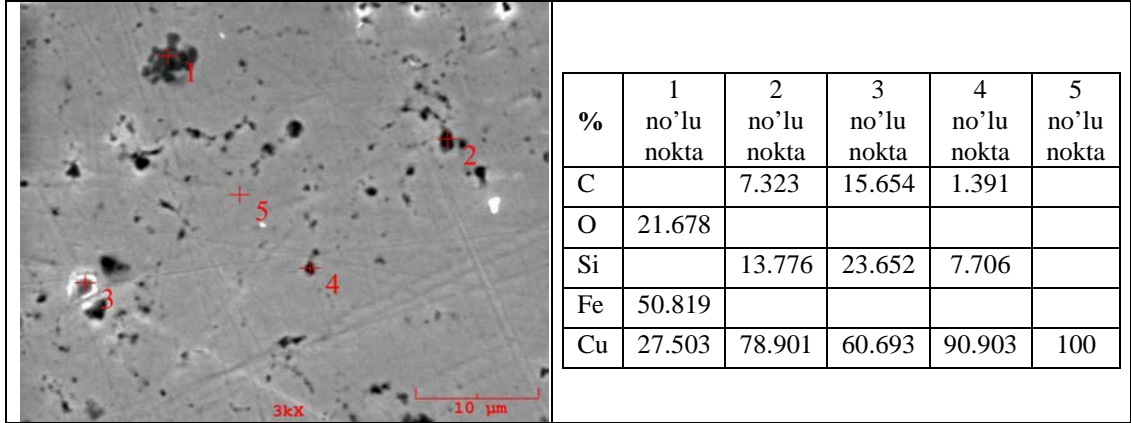
Şekil 5.15. 1µm tane boyutundaki ağ. % 2 SiC içeren Cu-SiC kompozitinin EDS analizi.

700°C' de sinterlenen ağ.%1SiC içeren Cu-SiC kompozitindeki mevcut oksit ve demir varlığını tespit etmek amacıyla genel EDS alan taraması yapılmıştır (Şekil 5.16).

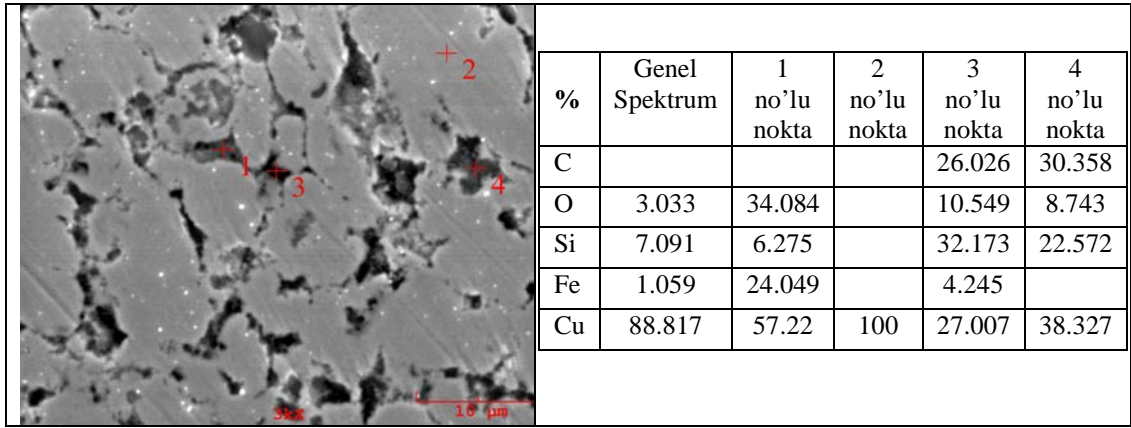


Şekil.5. 16 µm tane boyutundaki ağırlıkça %1 SiC içeren Cu-SiC kompozitinin EDS alan analizi

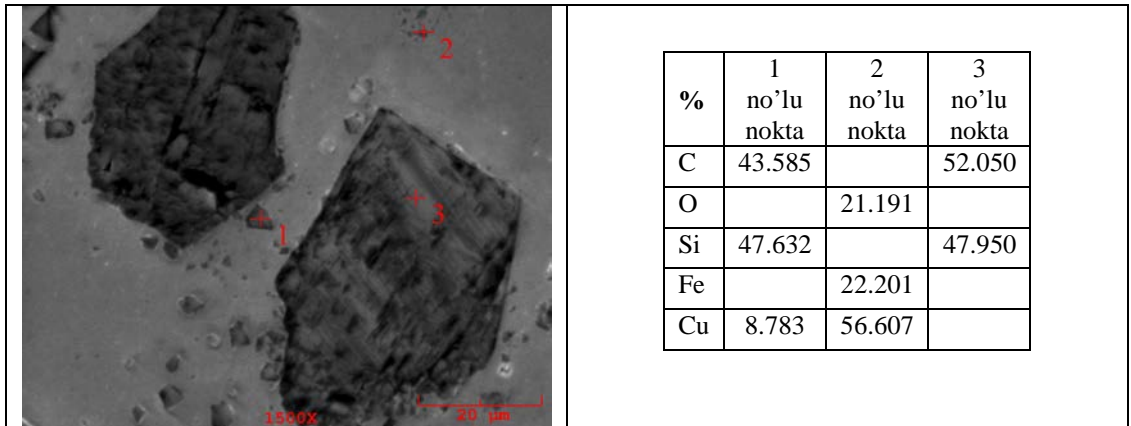
Şekil 5.16' ya bakıldığında toplam oksijen ve demir içeriği ağırlıkça %1' in altındadır ve oksijenler çoğunlukla demirin bulunduğu bölgelerde gözlenmektedir. Muhtemelen demir tozları sementasyon prosesinden ileri gelmekte olup sinterleme sıcaklığında oksitlenmektedir. Yapılan EDS çalışmalarında açık gri renkte gözükten bölgelerden alınan analizlerin sonucunda bu noktalarda demir ve oksijenin birlikte bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 5.17-5.19).



Şekil 5.17. 1 μm tane boyutundaki ağırlık % 1 SiC içeren Cu-SiC kompozitinin EDS analizi.



Şekil 5.18. 1 μm tane boyutundaki ağırlık % 5 SiC içeren Cu-SiC kompozitinin EDS analizi.



Şekil 5.19. 30 μm tane boyutundaki ağırlık % 5 SiC içeren Cu-SiC kompozitinin EDS analizi.

5.5 Relatif Yoğunluk

Hazır bakır tozları kullanılarak sinterlenmiş kompozitlerin Archimed prensibi ile belirlenen relatif yoğunlukları Tablo 5.2'de verilmektedir. Yoğunluklar üzerine

sinterleme sıcaklığının önemli bir etkisi yoktur ve SiC içeriğinin artışı ile relatif yoğunlukları azalmaktadır.

Tablo 5.2. Cu-SiC Kompozitlerinin Archimed Prensibine göre Hesaplanan % Relatif Yoğunluk Değerleri.

SiC (ağ.%)	Sıcaklık(°C)		
	900	950	1000
	Relatif Yoğunluk (%)		
1	96,45	95,52	93,76
2	93,43	93,75	94,76
3	90,60	90,32	91,61
5	89,61	88,83	88,41

Tablo 5.3’de 900°C’de sinterlenen semente bakır ve 1 mikronluk SiC kullanılarak üretilen kompozitlerin, Tablo 5.4’de ise 700°C’de sinterlenen semente bakır ve üç farklı boyuta sahip SiC ile takviye edilen kompozitlerin relatif yoğunlukları verilmektedir. Buna göre her iki sinterleme sıcaklığında elde edilen yoğunluklar birbirine yakındır ve hazır tozların sahip olduğu yoğunluklara benzerdir.

Tablo 5.3 Cu (semente)-SiC Kompozitlerinin Archimed Prensibine Göre Hesaplanan % Relatif Yoğunluk Değerleri

SiC (ağ.%)	Sıcaklık (900°C)
	Relatif Yoğunluk (%)
0	98.08
1	97.13
2	95.79
3	91.7
5	88

Tablo 5.4 Farklı tane boyutlarında SiC içeren Cu (semente)-SiC Kompozitlerinin Archimed Prensibine Göre Hesaplanan % Relatif Yoğunluk Değerleri.

Ağ. % SiC	Sıcaklık (700°C)		
	Relatif Yoğunluk (%)		
	1µm’ luk SiC	5µm’ luk SiC	30µm’ luk SiC
0	98.11	98.11	98.11
1	96.82	97.01	97.3
2	95.25	95.45	96.8
3	93.20	95	95.45
5	90.93	94.04	94.82

700 °C’ de 2 saat sinterlenerek üretilen 1 µm partikül boyutunda SiC ile takviye edilmiş Cu (semente)-SiC kompozitlerinin relatif yoğunluklarının 875 °C’ de 2 saat süre ile sinterlenerek elde edilen 0.3 µm partikül boyutunda Al₂O₃ ile takviye

edilmiş Cu-Al₂O₃ kompozitleriyle karşılaştırılması Tablo 5.5' te verilmiştir (Her iki kompozite de sinterleme işlemi sonrası sıcak olarak preslenmiştir. Ayrıca, Cu-Al₂O₃ sisteminde Cu tane boyutu 10 µm' dir).

Tablo 5.5 Cu-SiC ve Cu-Al₂O₃ kompozitlerinin relatif yoğunluk değerleri.

Takviye Bileşeni	Ağ. %	% RY
SiC	1	97.08
	3	93.20
	5	90.93
Al ₂ O ₃	1	95.39
	3	97.44
	5	97.41

5.6 Sertlik

Hazır bakır tozları ile elde edilen kompozit numunelerin farklı sinterleme sıcaklığı ve takviye miktarına karşı değişen sertlik değerleri (HB) Tablo 5.6' da verilmiştir. Cu-SiC kompozitlerinin sertlik değerleri Brinell sertlik cihazında en az dört farklı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.6 Cu(hazır toz)-SiC Kompozitlerinin Elde Edilen Brinell Sertlik Değerleri

SiC (ağ.%)	Sıcaklık(°C)		
	900	950	1000
	Sertlik Değerleri, (HB)		
1	104	105	108
2	105	106	109
3	106	106	110
5	108	109	110

Tablo 5.7' de ise semente Cu tozlarıyla hazırlanan kompozit numunelerin sertlik değerleri (HB) verilmiştir.

Tablo 5.7 Cu (semente)-SiC Kompozitlerinin Elde Edilen Brinell Sertlik Değerleri.

SiC (ağ.%)	Sıcaklık(°C)
	900
	Sertlik Değerleri, (HB)
1	109.3
2	111
3	111.6
5	112.3

Semente Cu tozlarından hareketle 700 °C’ de 2 saat sinterlenerek elde edilen farklı boyuttaki SiC ile takviye edilmiş kompozit numunelere ait mikrosertlik değerleri (HV) yine semente Cu tozlarından üretilen saf bakırla birlikte Tablo 5.8’ de verilmiştir. Sertlik ölçümü Cu ve SiC tanelerini homojen olarak kapsayacak şekilde iz oluşturulmasına dikkat edilerek yapılmıştır. Cu-SiC kompozitlerinin sertlik değerleri mikrosertlik cihazında en az beş farklı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.8 Cu (semente)-SiC Kompozitlerinin Elde Edilen Mikrosertlik Değerleri.

Ağ. % SiC	Sıcaklık (700°C)		
	Sertlik Değerleri, (HV)		
	1µm’ luk SiC	5µm’ luk SiC	30µm’ luk SiC
0	140	140	140
1	144	149	157
2	146	153	165
3	153	164	170
5	159	170	180

Tablo 5.8’ e bakıldığında, saf bakıra göre kompozitlerdeki % sertlik artışı (1µm’ luk SiC için), $((H_{komp.} - H_{Cu}) / H_{Cu}) * 100$, sırasıyla % 2.86, 4.29, 9.29 ve 13.57’ dir.

Tablo 5.8’ de Cu(semente)-SiC kompozitlerine ait mikrosertlik değerlerinin Tablo 5.5’ te adı geçen Cu-Al₂O₃ kompozitleriyle karşılaştırılması Tablo 5.9’ da verilmiştir.

Tablo 5.9 Cu-SiC ve Cu-Al₂O₃ kompozitlerinin mikrosertlik değerleri.

Takviye Bileşeni	Ağ. %	Mikrosertlik (HV)
SiC	1	144
	3	153
	5	159
Al ₂ O ₃	1	107.6
	3	125.8
	5	131.2

5.7 Elektriksel İletkenlik

Hazır bakır tozları ile elde edilen kompozit numunelerin farklı sinterleme sıcaklığı ve

takviye miktarına karşı değişen elektriksel iletkenlik değerleri GE marka iletkenlik test cihazında ölçülerek, Tablo 5.10’ da verilmiştir.

Tablo 5.10 Cu (hazır toz)-SiC Kompozitlerinin Elektrik İletkenlikleri (%IACS).

SiC (ağ.%)	Sıcaklık (°C)		
	900	950	1000
	Elektriksel İletkenlik (% IACS)		
1	87.1	72.0	80.2
2	77.1	66.9	74.4
3	67.5	64.0	67.2
5	55.2	55.3	45.4

Bu tabloya göre, SiC oranı arttıkça elektrik iletkenliği azalmaktadır (bu beklenen bir durumdur). Saf bakır içerisine katılan partiküller (veya atomlar) yapıyı (kafesi) distorse etmek suretiyle elektriksel direnci artırır. Dolayısıyla, SiC ilavesi arttıkça iletkenlik azalmıştır. Mikroyapı incelemelerinde nispeten yüksek sıcaklıklarda sinterlenen yüksek SiC içerikli numunelerde bakır partiküllerini çevreleyen silisyum karbür ağı düzenli yapısının bozulmaya yüz tuttuğu belirtilmişti. SiC’ün düzenli olmayan dağılımı, aynı içeriğe sahip düzenli SiC dağılımına karşılık elektrik iletimini daha fazla düşürmüştür. Her ne kadar, yoğunluk değerleri sinterleme sıcaklığına çok bağlı olarak değerlendirilmemiş ise de, belki küçük iletkenlik oynamaları yoğunluk ile alakalı da olabilir.

Tablo 5.11’ de ise semente Cu tozlarıyla hazırlanan, 900 °C’ de 2 saat grafitte gömülü olarak sinterlenmiş kompozit numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri saf bakırla (semente) birlikte verilmiştir.

Tablo 5.11 Cu (semente)-SiC Kompozitlerinin Elektrik İletkenlikleri (%IACS).

SiC (ağ.%)	Sıcaklık (°C)
	900
	Elektriksel İletkenlik (% IACS)
0	94
1	60.3
2	46.55
3	58.6
5	56.9

Tablo 5.11’ de kompozitlerin elektriksel iletkenlik değerlerinin (özellikle ağ. % 1 ve

2 SiC içeren kompozitlerde) projede hedeflenen değerler doğrultusunda olmaması dolayısıyla daha önce de bahsedildiği gibi, çalışmalarda sinterleme sıcaklığı olarak uzun uğraşlar sonucu 700 °C’ de başarılı olunmuş ve kalan çalışmalar 700 °C sinterleme sıcaklığında gerçekleştirilmiştir (Kademeli olarak sıcaklık 900 °C’ den 850- 800- 750 ve 700 °C’ ye indirilmiş, fakat 700 °C dışındaki sinterleme sıcaklıklarında istenen iletkenlik değerleri elde edilememiştir). Tablo 5.12’ de de farklı partikül boyutlarında SiC ile takviye edilmesi suretiyle 700 °C’ de 2 saat grafitte gömülerek sinterlenen ve sonrasında sıcak preslenerek elde edilen Cu (semente)-SiC kompozitlerine ait elektriksel iletkenlik değerleri verilmiştir.

Tablo 5.12 Farklı tane boyutlarında SiC içeren Cu (semente)-SiC Kompozitlerinin Elektriksel İletkenlik Değerleri.

Ağ. % SiC	% IACS		
	1µm’ luk SiC	5µm’ luk SiC	30µm’ luk SiC
0	94	94	94
1	80.17	81.03	81.48
2	76	77.58	80.45
3	68.96	70.69	76.21
5	57.76	62.07	68.45

SiC ilavesi arttıkça iletkenlik azalmıştır. Ancak SiC partikül boyutunun iletkenliğe az da olsa bir etkisi mevcuttur.

Cu (semente)-SiC kompozitlerine ait elektriksel iletkenlik değerlerinin Tablo 5.5 ve 5.9’ da adı geçen Cu-Al₂O₃ kompozitleriyle karşılaştırılması da Tablo 5.13’ de verilmiştir. Tablo 5.13’te görüldüğü gibi bu iki metal matriksli seramik partikül takviyeli kompozitin elektrik iletkenlikleri arasında belirgin bir fark mevcut değildir.

Tablo 5.13 Cu-SiC ve Cu-Al₂O₃ kompozitlerinin elektriksel iletkenlik değerleri.

Takviye Bileşeni	Ağ. %	Elektriksel İletkenlik (%IACS)
SiC	1	80.17
	3	68.96
	5	57.76
Al ₂ O ₃	1	83.60
	3	73.71
	5	61.21

BÖLÜM 6. TARTIŞMA

Mühendislik malzemeleri özelliklerine bağlı olarak uygulama alanları açısından farklılık gösterirler. Yüksek sıcaklık ve yalıtım uygulamaları için seramik malzemeler tercih edilirken, şekillendirilme kolaylıklarından ve yalıtkanlık özelliklerinden dolayı polimer malzemeler, termal ve elektrik iletkenlik uygulamaları için metalik malzemeler kullanılmaktadır. Birçok uygulama için malzemelerin elektrik özellikleri mekanik özelliklerinden çok daha kritik olmaktadır. Elektriği uzun mesafelere iletmek için iletken olarak kullanılan metalin elektrik iletkenliği yüksek olmalıdır, bu ise iletim esnasında ısınma kayıplarını azaltıcı rol oynar. Elektrik ve elektronik uygulamalar için malzeme seçimi çok önemlidir. Bütün bu özellikler öncelikle malzemenin içyapısı ile ilişkilidir. Bütün malzemelerin şartlar sağlandığında elektriği ileteceği bilinen bir gerçektir. Çünkü bütün malzemeler maddenin en küçük birimi olan atomdan oluşmaktadır. Atomdaki parçacıklar, elektron, proton vb malzemeyi doğal olarak iletken yapmaktadır. Malzemelerin atom ve band yapılarına ve yasak band enerji büyüklüklerine bağlı olarak malzemeler iletken, yarıiletken ve yalıtkan olarak üç gruba ayrılmaktadırlar. Elektrik iletkenliği en yüksek olan metaller gümüş ($6.8 \times 10^7 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$) ve bakırdır ($5.98 \times 10^7 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$). Gümüş en iyi iletkendir. Ancak pahalıdır. Bir diğer iletken malzeme alüminyumdur. Bu metal gerek bakır gerekse gümüşe göre daha ekonomiktir. Fakat alüminyumun oksijene olan afinitesinden dolayı yüzeyinde hemen oksit tabakası oluşmakta bu da iletkenliği düşürmektedir. Ayrıca düşük mukavemeti ve yüksek termal genleşme katsayısı ($25 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) bu malzemedeki nispeten yüksek sıcaklıklarda sürünmeye ve erken kopmalara neden olması alüminyumun iletken malzeme olarak kullanımını sınırlamaktadır. Metallerin elektrik iletkenliğini etkileyen sıcaklık, proses ve ilave edilen alaşım elementleri gibi birçok faktör mevcuttur. Malzeme biliminden hareketle tek bir malzemedeki istenilen özellikler elde edilemiyorsa alternatif olarak iki malzemenin kombinasyonu yani kompozit malzeme üreterek istenilen bazı özellikleri elde etmek mümkündür. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 106M118 No'lu "Seramik Partikül Takviyeli

Yüksek İletken Bakır Kompozitlerin Geliştirilmesi” isimli projede yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri yanı sıra elektrik özelliklerinin de uygulama alanı açısından uygun olması kaçınılmaz gerçeğinden hareketle Cu-SiC kompozitleri geliştirilmiştir.

Bakır tozu, metalik demir tozu kullanılarak bakırın sülfatlı çözeltisinden sementasyon yöntemi ile $CuSO_4 + Fe = FeSO_4 + Cu$ reaksiyonuna göre çöktürülerek üretilmiştir. Prosesde 16 g susuz bakır sülfat ($CuSO_4$) ve 5.3 g demir (Fe) tozu kullanılarak ortalama 5.2 g sement bakır tozu elde edilmiştir. Projede öngörülen sementasyon yöntemiyle üretilen bakır tozlarının safiyeti yaş analiz sonucunda %99’un üzerindedir ve eser miktarda demir ihtiva etmektedir. Elde edilen tozların vakumlu etüvde kurutulmasından sonra yapılan X-ışınları analizlerinde herhangi bir CuO formuna rastlanılmamıştır. Bu arzu edilen bir sonuçtur. Ancak eser miktarda da kurutma esnasında oluşan oksidin x-ışınlarının dedeksiyon kabiliyetinin dışında olması da muhtemeldir.

Yapılan optik incelemeler sonucu hazır Cu tozlarına ait mikrograflarda SiC partikülleri bakır matrikste nispeten homojen bir dağılıma sahiptir ve bakır tanelerinin etrafını sarmaktadır. Takviye miktarı arttıkça SiC tanecikleri bakırın tüm tane sınırlarına doğru yayılmakta ve çok belirgin bir ağ oluşturmaktadır. Yüksek SiC içerikli bazı numunelerde tane sınırlarındaki SiC ağının dağıldığı ve taneciklerin bakır taneleri içerisinde yer aldığı görülmektedir. Bu durum özellikle %5 SiC içeren ve 950°C’de sinterlenmiş numunelerde daha belirgindir.

Semente bakır tozları kullanılarak elde edilen kompozitlerin mikroyapılarına bakıldığında, hazır tozlarda olduğu gibi belirgin ve küresel bir tane yapısı gözlenmemiştir. Bu muhtemelen tozlardaki aglomerasyondan kaynaklanmaktadır. Ağırlıkça % SiC miktarı arttıkça SiC tozları tane içlerine girmiştir (Şekil 5.3).

Semente Cu tozlarına ait SEM mikrograflarından da görüldüğü gibi partikül morfolojisi küresele yakın olup, tanelerde belirgin bir aglomerasyon bulunmaktadır (Şekil 5.5b). Bu aglomere Cu tanelerinin boyutları 2-6 µm arasında değişirken, partiküllerin gerçek boyutları mikron altı seviyelerde olup, boyutu 100 nm’ ye yakın tanecikler de mevcuttur (Şekil 5.5c).

Semente Cu tozlarının SEM-EDS alan taraması (SEM-map) ve bu alana ait EDS

spektrumunda (Şekil 5.6) görüldüğü gibi semente Cu tozunda ağırlıklı olarak Cu, eser miktarlarda O, Fe ve S bulunmaktadır. Oksijen muhtemelen sementasyon sonrası kurutma işlemi sırasında tozların oksidasyonundan, Fe ve S ise üretimden kaynaklanabilir. Şekil 5.7’de yine semente Cu tozlarının SEM-EDS spektrumunda da görülebileceği gibi daha büyük alandan alınan SEM-EDS analiz yukarıdaki verileri teyit eder niteliktedir (% 98,6 safiyette semente Cu tozu). Takviye bileşeni olarak kullanılan SiC (1µm boyutunda) tozlarının SEM-EDS mikroyapı ve spektrumlarından görülebileceği gibi, SiC tozları köşeli, yapraksı morfolojiye ve % 100 safiyete sahiptir.

Hazır bakır tozları kullanılarak elde edilen optimum sinterleme sıcaklığı 900°C de istenilen elektrik iletkenlik değerleri elde edilirken, semente bakır tozları kullanılarak aynı sıcaklıkta sinterlenen kompozitlerin elektriksel iletkenlik değerlerinin düşük olması nedeni ile daha düşük sinterleme sıcaklıkları denenmiş ve 700°C sinterleme sıcaklığında beklenen elektriksel iletkenlik değerlerine ulaşılmıştır. Çalışmanın orijinal yollarından biri budur. Nitekim yapılan literatür çalışmalarında konu ile ilgili birebir örtüşen bir veriye rastlanılmamıştır. Semente bakırın 700°C de sinterlenmesiyle yüksek iletkenlik değerlerine sahip Cu-SiC kompozit üretimi tamamen bu projede üretilen bir bilgidir.

Yapılan SEM incelemelerinde SiC taneciklerinin genel olarak matriks içerisinde uniform dağıldığı ve hakim olarak bakır tanelerinin birleşme noktalarında yer aldığı gözlenmiştir. Bunu teyit etmek amacıyla Cu-SiC kompozit malzemeleri %50 HNO₃ + %50 H₂O ile dağlanmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Mikroyapılarda koyu gri ve keskin köşeli fazlar SiC’ ü, açık gri alanlar Cu matriksi, serbest beyaz alanlar muhtemelen parlatmadan kaynaklanan Alüminayı göstermektedir. Yukarıda ifade edilen sonuçlar SEM-EDS analiz sonuçları ile desteklenmiştir (Şekil 5.15). Mikroyapılarda gri renkteki bölgelerin ise Fe ve O ihtiva ettiği SEM-EDS analizlerinde tespit edilmiştir

Önerilen projede Cu-SiC kompozit üretiminde yüksek sıcaklık uygulamalarında yüksek iletkenlik hedeflenmiştir. Özellikle elektrik iletkenliğinin üretilen bulk numunelerin relatif yoğunlukları ile yakın bir ilişkisi vardır. Hazır bakır tozları kullanılarak sinterlenmiş kompozitlerin Archimed prensibi ile belirlenen relatif

yoğunlukları üzerine sinterleme sıcaklığının önemli bir etkisi olmadığı ve SiC içeriğinin artışı ile relatif yoğunlukların azaldığı gözlenmiştir.

Yine bu denemeler sonucu tespit edilen 700°C’de sinterleme sıcaklığında sinterlenen semente bakır ve üç farklı boyuta sahip SiC ile takviye edilen kompozitlerin relatif yoğunlukları birbirine yakındır ve hazır tozların sahip olduğu yoğunluklara benzerdir. Kompozitlerin relatif yoğunlukları SiC partikül boyutunun artışıyla nispeten artmıştır. Bu durum muhtemelen artan partikül boyutunun yüzey alanının küçüklüğünden kaynaklanmaktadır. Hazır ticari bakır tozları yerine semente bakırın tozlarının kullanılabilmesi ekonomik açıdan çok büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışma 700 °C’ de 2 saat sinterlenerek üretilen 1 µm partikül boyutunda SiC ile takviye edilmiş Cu (semente)-SiC kompozitlerinin relatif yoğunluklarının 875 °C’ de 2 saat süre ile sinterlenerek elde edilen 0.3 µm partikül boyutunda Al₂O₃ ile takviye edilmiş Cu-Al₂O₃ kompozitleriyle karşılaştırılması yapılmış ve nispeten benzer relatif yoğunluklar elde edilmiştir.

Hazır bakır tozları ile elde edilen kompozit numunelerin farklı sinterleme sıcaklığı ve takviye miktarına karşı değişen sertlik değerleri (HB) çok büyük farklılıklar göstermemiştir.

Semente Cu tozlarından hareketle 700 °C’ de 2 saat sinterlenerek elde edilen farklı boyuttaki SiC ile takviye edilmiş kompozit numunelere ait mikrosertlik değerleri (HV) SiC miktarı artıkça yükselmiştir. Kompozitlerin mikrosertlik değerleri SiC partikül boyutunun artmasıyla daha da artmıştır. Bunun nedeni, indenterin sert takviye bileşenine temas alanının artması olabilir.

Cu(semente)-SiC kompozitlerine ait mikrosertlik değerlerinin Cu-Al₂O₃ kompozitleriyle karşılaştırılması sonucu SiC takviyeli kompozitin sertliğinin, Al₂O₃ takviyeli kompozitin sertliğinde kayda değer oranda yüksek olduğu görülmüştür. Bu SiC’ün Al₂O₃’den daha yüksek sertliğe sahip olmasından ileri gelmektedir.

Hazır bakır tozları ve semente Cu tozlarından elde edilen kompozit numunelerin

farklı sinterleme sıcaklığı ve takviye miktarına bağı olarak elektriksel iletkenlik değerleri SiC oranı arttıkça azalmaktadır. Saf bakır içerisine katılan SiC partikülleri miktarı arttıkça matriksin kafes yapısı distorse olmakta dolayısıyla elektriksel direnci artmakta buna bağı olarak elektriksel iletkenlik düşmektedir. SiC'ün semente bakır tozundan elde edilen kompozitlerdeki düzenli olmayan dağılımı, aynı içeriğe sahip hazır bakır tozundan elde edilen düzenli SiC dağılımına karşılık elektrik iletimini daha fazla düşürmüştür. Elektrik iletkenlik değerlerindeki küçük farklılıklar relatif yoğunluk ile de ilişkili olabilir. Çalışmalarda sıcaklık arttıkça iletkenliğin düştüğü görülmüştür. 700°C de sinterlenen numunelerde hedeflenen iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Aynı sıcaklıkta gerçekleştirilen sinterleme işleminin sonucunda, SiC partikül boyutunun artışı elektriksel iletkenlikleri önemli oranda değiştirmemekle birlikte, 30 µm partikül boyutunda ağı. % 3 ve 5 SiC içeren kompozitlerin elektriksel iletkenliği 1 ve 5 µm boyutunda aynı miktarda SiC içeren kompozitlerinkinden daha fazladır. Mevcut projede üretilen Cu (semente)-SiC kompozitleri nin elektriksel iletkenlik değerlerinin Cu-Al₂O₃ kompozitleriyle karşılaştırıldığında çok yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] MAZUMDAR, S., K., Composites Manufacturing: Materials, Product and Process Engineering. CRC Press LLC, 2002.
- [2] ŞAHİN, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 2000.
- [3] AKDAŞ, H., Alüminyum Matrisli Al₂O₃ Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül 2007, Ankara
- [4] AKBULUT, H., Alümina Fiber Takviyeli Al-Si MMK' in Üretimi ve Mikroyapı Özellik İlişkileri, Doktora Tezi, İ. T. Ü. Fen Edebiyat Fakültesi, 1994.
- [5] <http://www.hho.edu.tr/huten/>
- [6] Composites, ASM Handbook, V.21, pp.1-20, 2001.
- [7] JONES, M., R., Mechanics of Composit Materials, Taylor & Francis, 1999.
- [8] ASLAN, S., SiC ve Grafit Takviyeli Çinko Alüminyum Hibrid Kompozit Malzemelerin Aşınma davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, SA.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [9] DEMİRKESEN, E., Kompozit Malzemeler, İ. T. Ü. Kimya Fakültesi, 1. baskı, 1995.
- [10] AKBULUT, H., Kompozit Malzemeler Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, 2005.
- [11] HARIS, B., Engineering Composite Materials, second edition, 1999.
- [12] KUMAR CHAWLA, K., Composite Materials, Socorro, New Mexico, 1987.
- [13] GÜLTEKİN, D., Metal Matriksli Kompozit Fren Diski Balatası Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2007.
- [14] CLYNE, T. V., Metal Matrix Composites: Matrices and Processing, Encyclopaedia of Materials: Science and Technology, 2001.

- [15] CHANG, S., Y., CHEN, C., F., LIN, S., J., KATTAMIS, T., Z., Electrical Resistivity of Metal Matrix Composites, *Acta Materials*, 51, 2003, 6191-6302.
- [16] FUKUDA, H., Micromechanical Strength Theory of Hybrid Composites, *Advanced Composite Mater*, Vol 1, No 1, cigo.J, p.39.
- [17] SHU, K-M., TU, G. C., The Microstructure and the Thermal Expansion Characteristics of Cu/SiCp Composites, *Materials Science & Engineering*, 349, 2003, 236-247.
- [18] ZHU, J., LIU, L., ZHAO, H., SHEN, B., HU, W., Microstructure and Performance of Electroformed Cu/nano-SiC Composite, *Materials & Design*, in pres.
- [19] TAYA, M., & ARSENAULT, R., *Metal Matrix Composites, Thermomechanical Behavior*, Pergamon Pres.
- [20] ARSLAN, O., *Bakır Sektör Profili*, İstanbul, 2006.
- [21] www.bpc.edu/mathscience/chemistry/electrical_conductivity.html
- [22] <http://en.wikipedia.org/wiki/Copper>
- [23] www.magnet.fsu.edu/magtech/facilities/materials/highstrength.html
- [24] www.copper.org/publications/newsletters/innovations/2006/09/
- [25] <http://64.90.169.191/aplications/industrial/DesignGuide/electrical.html>
- [26] <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials>
- [27] KOÇAK, H., *Bakır Alaşımları El Kitabı*, Yonca Ajans- Ofset Matbaacılık, Yayın No:6.
- [28] www.metalurji.org.tr/dergi/dergi133/d133_3444.pdf
- [29] www.elektrosan.com.tr
- [30] KUTZ, M., *Handbook of Material Selection*,
- [31] <http://nonferrous.keytometals.com>
- [32] <http://www.makinamuhendisi.com/idx/4/118/Malzeme-DatabaseMaterial>
- [33] GÜLFEN, M., *Kalkopirit Cevherindeki Bakırın Sülfirik Asit Çözeltilisindeki*

Çözünürlüğünün İncelenmesi, Doktora Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran, 2002.

- [34] www.maden.org.tr
- [35] <http://ansiklopedi.turkcebilgi.com/Bak%C4%99>
- [36] <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/oik511>
- [37] CANKURT, S., Ekstraktif Metalurji Uygulaması, Bakır, Dağ Matbacılık, 1973, 1-11.
- [38] KANG, H., K., Microstructure and Electrical Conductivity of High Volume Al₂O₃-reinforced Copper –Matrix Composites Produced by Plasma Spray, Surface and Coatings Technology, 190, 2005, 448-452.
- [39] FOUAD , O.A, ABDEL BASIR, S.M., Cementation-Induced Recovery of Self-Assembled Ultrafine Copper Powders from Spent Etching Solutions of Printed Circuit Boards, Powder Technology, 159, 2005, 127-134.
- [40] DEMIRKIRAN, N., EKMEKYAPAR, A., KÜNKÜL, A., BAYSAR, A., A Kinetic Study of Copper Cementation with Zinc in Aqueous Solutions, International Journal of Mineral Processing, 82, 2007, 80-85.
- [41] DÖNMEZ ,B., SEVİM, F., SARAÇ, H., A Kinetic Study of the Cementation of Copper from Sulphate Solutions onto a Rotating Aluminum Disc, Hydrometallurgy, 53, 1999, 145-154.
- [42] STEFANOWICZ, T., OSIFISKA, G., NAPIERALSKA-ZAGOZDA, S., Copper Recovery by the Cementation Method, Hydrometallurgy, 47, 1997, 69-90.
- [43] KARAVASTEVA, M., Kinetics and Deposit Morphology of Copper Cementation onto Zinc, Iron and Aluminium, Hydrometallurgy, 76, 2005, 149-152.

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Kodu: 106M118
Proje Başlığı: Seramik Partikül Takviyeli Yüksek İletken Bakır Kompozitlerin Geliştirilmesi
Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Prof. Dr. Cuma Bindal Prof. Dr. Sakin Zeytin Prof. Dr. Hüseyin Cömert Doç. Dr. İbrahim Özbek Yrd. Doç. Dr. Mediha İpek Yrd. Doç. Dr. Özkan Özdemir Araş. Gör. F. Gözde Çelebi Efe
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Esentepe kampüsü, 54187 SAKARYA
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.07.2006 – 01.01.2009 (7 ay uzatma ile 31.07.2009)
Öz (en çok 70 kelime) Bu projede, hazır ve semente bakır tozları SiC ile takviye edilmişlerdir. Hazır bakır tozlarından Cu-SiC kompoziti farklı sıcaklıklarında 2 saat süre ile grafit tozunda sinterlenerek üretilmişlerdir. Projede öngörülen semente Cu-SiC kompozitleri ise 700 °C’ de 2 saat süreyle grafit ortamında sinterlenmiştir. Sinterlemeden sonra 125 kN’ luk yük ile sıcak preslendi. Üretilen Cu-SiC kmpozitlerinin relatif yoğunlukları, sertlikleri ve elektriksel iletkenlikleri ölçülmüştür. Mikroyapı ve faz dağılımı ve bileşenlerin oranların belirlenmesi optik mikroskobu ve SEM-EDS ile gerçekleştirilmiştir. Mevcut fazların varlığı XRD ile tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler:

Sementasyon, elektriksel iletkenlik, relatif yoğunluk, sertlik, SiC, kompozit

Projeden Kaynaklanan Yayınlar:**A) Yapılan Tezler:****B) Uluslararası Hakemli Dergiler****C) Uluslararası Konferanslarda Sunulan Bildiriler**

- 1- G. Celebi Efe, I. Altınsoy, T. Yener, M. İpek, S. Zeytin, C. Bindal, “Characterization of Cu-SiC Composites”, RoPM2009 4th International Conference on Powder Metallurgy, 8-11 July 2009, Craiova-Romania.
- 2- G. Celebi Efe, I. Altınsoy, M. İpek, S. Zeytin, C. Bindal, “Investigation of Some Properties of SiC Particles Reinforced Copper Composites”, 5. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı, 8-12 Ekim 2008, TOBB, Ankara.
- 3- G. Celebi Efe, I. Altınsoy, T. Çerezci, M. İpek, S. Zeytin, C. Bindal, “The Characterization of Copper Powders Manufactures by Cementation Method”, 5. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı, 8-12 Ekim 2008, TOBB, Ankara.