

**T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MERMER KESİCİ TAKIMLARDA MATRİS  
KOMPOZİSYONUNUN AŞINMA PERFORMANSINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Selahattin BUDAK**

**Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi**

**Programı: Döküm**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet KAPLAN**

**TEMMUZ-2010**

**T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MERMER KESİCİ TAKIMLARDA MATRİS  
KOMPOZİSYONUNUN AŞINMA PERFORMANSINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Selahattin BUDAK**

**(08122106)**

**Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi**

**Programı: Döküm**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet KAPLAN**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Temmuz 2010**

**TEMMUZ -2010**

**T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MERMER KESİCİ TAKIMLARDA MATRİS  
KOMPOZİSYONUNUN AŞINMA PERFORMANSINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Selahattin BUDAK**

**Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi**

**Programı: Döküm**

Bu tez, 10 / 08 / 2010 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : **Doç.Dr. Mehmet KAPLAN**

Üye : **Prof.Dr. Halis ÇELİK**

Üye : **Yrd.Doç.Dr. Cumali İLKILIÇ**

Bu tezin kabulü, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../2010 tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, yardım ve desteklerinden ötürü danışman hocam Fırat Üniversitesi T.E.F. Metal Eğitimi bölümü Öğretim Üyesi sayın Doç. Dr. Mehmet KAPLAN'a ve Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Halis ÇELİK'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Deney numunelerinin üretimi aşamasında hiçbir yardımı esirgemeyen Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ÇELİK'e de teşekkür ederim.

Optik mikroskop resimlerinin çekilmesini sağlayan Fırat Üniversitesi T.B.M.Y.O. Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Öğretim Üyesi sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAZ'a ve aşınma deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen sayın Tanju Teker'e teşekkür ederim.

Özellikle tezim için 1913 numaralı proje kapsamında maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Birimi ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Selahattin BUDAK

ELAZIĞ – 2010



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| ÖNSÖZ .....                                               | II  |
| İÇİNDEKİLER .....                                         | III |
| ÖZET .....                                                | V   |
| SUMMARY .....                                             | VI  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                    | VII |
| TABLolar LİSTESİ .....                                    | X   |
| 1. GİRİŞ .....                                            | 1   |
| 2. MERMER KESİCİ TAKIMLAR .....                           | 7   |
| 2.1. Dairesel Testereleler .....                          | 8   |
| 2.2. Katrak Lamaları .....                                | 12  |
| 2.3. Elmaslı Teller .....                                 | 17  |
| 3. MERMER KESİCİ TAKIM ÜRETİMİ .....                      | 25  |
| 3.1. Mermer Kesici Takım Soket Üretimi .....              | 25  |
| 3.1.1. Elmaslı Soket Dizaynı .....                        | 25  |
| 3.1.2. Elmaslı Soket Matris Seçimi .....                  | 28  |
| 3.1.3. Elmas Tanecik Seçimi .....                         | 31  |
| 3.1.3.1. Elmas Tanecik Tipi.....                          | 31  |
| 3.1.3.2. Elmas Tanecik Boyutu .....                       | 36  |
| 3.1.3.3. Elmas Yoğunluğu .....                            | 37  |
| 3.1.4. Elmaslı Soket İmalatı .....                        | 38  |
| 3.1.4.1. Metal Matris Toz Karışımının Hazırlanması.....   | 38  |
| 3.1.4.2. Metal Matris-Elmas Karışımının Hazırlanması..... | 39  |
| 3.1.4.3. Soğuk Presleme .....                             | 39  |
| 3.1.4.4. Sıcak Presleme .....                             | 40  |
| 3.1.4.5. Bitirme İşlemleri .....                          | 43  |
| 3.1.4.6. Mermer Kesici Takım Soket Kalite Kontrolü .....  | 43  |
| 4. LİTERATÜR ÖZETLERİ .....                               | 44  |
| 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....                              | 46  |

|           |                                                                   |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.      | Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler .....                 | 46        |
| 5.1.1.    | Soketlerin Üretiminde Kullanılan Metal Tozların Özellikleri ..... | 46        |
| 5.2.      | Metal Tozların Hazırlanması .....                                 | 47        |
| 5.3.      | Metal Toz Karışımlarının Hazırlanması .....                       | 47        |
| 5.4.      | Metal Toz Alaşımlarının Sıcak Preslenmesi .....                   | 49        |
| 5.4.1.    | Sıcak Presleme Makinesi .....                                     | 49        |
| 5.4.2.    | Sıcak Presleme Kalıpları .....                                    | 51        |
| 5.4.3.    | Sıcak Presleme İşlemi .....                                       | 51        |
| 5.5.      | Sertlik Ölçme İşlemi .....                                        | 52        |
| 5.6.      | Üç Noktalı Eğme Deneyi .....                                      | 53        |
| 5.7.      | Aşınma Deneyi .....                                               | 54        |
| 5.8.      | Mikroyapı İncelemeleri .....                                      | 55        |
| <b>6.</b> | <b>SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b>                                  | <b>57</b> |
| 6.1.      | Sertlik Ölçme Sonuçları .....                                     | 57        |
| 6.2.      | Üç Noktalı Eğme Deneyi Sonuçları .....                            | 58        |
| 6.3.      | Aşınma Deneyi Sonuçları .....                                     | 60        |
| 6.4.      | Mikroyapı İncelemeleri .....                                      | 65        |
| 6.5.      | Taramalı Elektron Mikroskop ve EDX İncelemeleri .....             | 69        |
| <b>7.</b> | <b>SONUÇ ve ÖNERİLER .....</b>                                    | <b>79</b> |
|           | <b>KAYNAKLAR .....</b>                                            | <b>81</b> |
|           | <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                             | <b>88</b> |

## ÖZET

Mermer kesici takımlar doğal taş kesme işlemlerinde kullanılırlar ve matris kompozisyonu bu takımların aşınma performansı bakımından çok önemlidir. Matrisi meydana getiren metal tozları takım kalitesinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada Fe-Cu-Sn metal tozlarına ilave olarak Co elementi kullanılarak mermer kesici takım matrisleri üretilmiş ve bunların mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Yapılan çalışmada farklı bileşimlerde dört çeşit mermer kesici takım matrisi, 850 °C sıcaklıkta 35 MPa basınç altında dört dakika süre ile sinterlenerek üretilmiştir. Üretilen numuneler için sertlik ölçümü, üç noktalı eğme (three point bending) deneyi ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için optik mikroskop, SEM ve EDX çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda, en yüksek sertliğe % 20 Co ilaveli N4 numunesinin sahip olduğu anlaşılmıştır. Ana matrise Co ilavesiyle matris sertliğinin arttığı sonucuna varılmıştır. Üç noktalı eğme deneylerinde Co ilavesinin eğilme mukavemeti üzerine büyük bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan, artan Co ilavesiyle eğilme mukavemeti artmıştır. Aksine, Co ilavesiyle matris malzemesinin yüzde uzama miktarı ve aşınma direnci azalmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Mermer kesici takımlar, Sıcak presleme, Aşınma, SEM, EDX

## **SUMMARY**

### **Effects on the Wear Performance of Matrix Composition on the Marble Cutting Tools**

Marble cutting tools used in natural stone cutting processes, and matrix composition of this tool is very important in terms of wear performance. Tools are consist of the metal matrix powder has a significant place in determining the quality. In this study, it was made marble cutters Fe-Cu-Sn with Co metal powders element matrices and their microstructure and mechanical properties and wear performance were investigated.

It has been produced four different kinds of marble cutting matrix composition, by sintering at temperatures of 850 ° C under 35 MPa pressure for four minutes. Hardness measurements for produced samples, three-point bending tests and wear tests were performed. It was carried out microstructure examinations by means of optical microscopy, SEM and EDX techniques.

At the end of the works, it was found the highest hardness in sample N4 which was added 20 % Co. We can say that, addition of the Co to the main matrix has been increased the hardness matrix. The addition of Co, has showed that, as a major impact on the bending strength by three point bending test. On the other hand, bending strength has increased, with the increased Co additions. On the contrary, for Co additions, decreases in stroke strain and wear resistance of matrix materials.

**Keywords:** Marble cutting tools, Hot pressing, Wear, SEM, EDX

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Elmas tane büyüklüğü ile kesilen doğal taş arasındaki ilişki ..... | 8  |
| Şekil 2.2. Elmaslı dairesel testere .....                                     | 9  |
| Şekil 2.3. Katrağın yandan ve üstten şematik görünümü .....                   | 12 |
| Şekil 2.4. Katrak lama soket tipleri .....                                    | 13 |
| Şekil 2.5. Katrak lama soketleri .....                                        | 13 |
| Şekil 2.6. Katrak testere laması .....                                        | 14 |
| Şekil 2.7. Katrak makinesi (Tip 1) .....                                      | 15 |
| Şekil 2.8. Katrak makinesi (Tip 2) .....                                      | 15 |
| Şekil 2.9. Elmaslı tel ile kesme yönteminin şematik görünümü .....            | 18 |
| Şekil 2.10. Çelik tel halat .....                                             | 20 |
| Şekil 2.11. Elmaslı boncuklar.....                                            | 20 |
| Şekil 2.12. Elmaslı telin yapımında kullanılan elemanlar.....                 | 21 |
| Şekil 2.13. Elmaslı teller .....                                              | 23 |
| Şekil 2.14. Elmaslı tel ile kesme makinesi.....                               | 24 |
| Şekil 3.1. Çeşitli soket şekilleri.....                                       | 25 |
| Şekil 3.2. Elmaslı soketler.....                                              | 26 |
| Şekil 3.3. Eğimli soketler .....                                              | 27 |
| Şekil 3.4. (a) Sandwich aşınma eğrisi ve (b) normal elmaslı soket.....        | 27 |
| Şekil 3.5. Doğal elmas aşındırıcılar.....                                     | 32 |
| Şekil 3.6. Sentetik elmas tanecikleri .....                                   | 33 |
| Şekil 3.7. Çeşitli sentetik elmas taneciklerinin gösterimi .....              | 35 |
| Şekil 3.8. Toz karışımlarının grafit kalıba yerleşimi.....                    | 40 |
| Şekil 3.9. İndüksiyon ile kalıbın ısıtılması .....                            | 41 |
| Şekil 3.10. Endirekt ısıtma tekniği .....                                     | 42 |
| Şekil 3.11. Direkt ısıtma tekniği .....                                       | 43 |
| Şekil 5.1. Hassas terazi .....                                                | 47 |
| Şekil 5.2. Üç boyutlu dönebilen toz karıştırma mikseri .....                  | 48 |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.3.</b> Sıcak presleme makinesi .....                                               | 50 |
| <b>Şekil 5.4.</b> Grafit kalıpların perspektif görünümü .....                                 | 51 |
| <b>Şekil 5.5.</b> Sinterleme sıcaklık-zaman grafiği .....                                     | 52 |
| <b>Şekil 5.6.</b> Üç noktalı eğme deneyinin şematik görünümü .....                            | 53 |
| <b>Şekil 5.7.</b> Aşınma deney düzeneğinin şematik görünümü .....                             | 54 |
| <b>Şekil 5.8.</b> Optik mikroskop .....                                                       | 55 |
| <b>Şekil 5.9.</b> Taramalı elektron mikroskobu .....                                          | 56 |
| <b>Şekil 6.1.</b> Co oranına bağlı sertlik ölçüm sonuçları .....                              | 57 |
| <b>Şekil 6.2.</b> Üç noktalı eğme deneyi ile plastik şekil değişimine uğramış numuneler ..... | 58 |
| <b>Şekil 6.3.</b> Üç noktalı eğme deneyi sonuçları .....                                      | 59 |
| <b>Şekil 6.4.</b> Tüm numunelerin aşınma deneyi sonuçları (Yük = 10 N) .....                  | 60 |
| <b>Şekil 6.5.</b> Tüm numunelerin aşınma deneyi sonuçları (Yük = 20 N) .....                  | 61 |
| <b>Şekil 6.6.</b> Tüm numunelerin aşınma deneyi sonuçları (Yük = 30 N) .....                  | 62 |
| <b>Şekil 6.7.</b> N1 numunesinin aşınmış yüzey resmi, X 100 .....                             | 63 |
| <b>Şekil 6.8.</b> N2 numunesinin aşınmış yüzey resmi, X 100 .....                             | 64 |
| <b>Şekil 6.9.</b> N3 numunesinin aşınmış yüzey resmi, X 100 .....                             | 64 |
| <b>Şekil 6.10.</b> N4 numunesinin aşınmış yüzey resmi, X 100 .....                            | 65 |
| <b>Şekil 6.11.</b> N1 numunesinin optik mikroskop resmi, X 200 .....                          | 65 |
| <b>Şekil 6.12.</b> N1 numunesinin optik mikroskop resmi, X 400 .....                          | 66 |
| <b>Şekil 6.13.</b> N2 numunesinin optik mikroskop resmi, X 200 .....                          | 66 |
| <b>Şekil 6.14.</b> N2 numunesinin optik mikroskop resmi, X 400 .....                          | 67 |
| <b>Şekil 6.15.</b> N3 numunesinin optik mikroskop resmi, X 200 .....                          | 67 |
| <b>Şekil 6.16.</b> N3 numunesinin optik mikroskop resmi, X 400 .....                          | 68 |
| <b>Şekil 6.17.</b> N4 numunesinin optik mikroskop resmi, X 200 .....                          | 68 |
| <b>Şekil 6.18.</b> N4 numunesinin optik mikroskop resmi, X 400 .....                          | 69 |
| <b>Şekil 6.19.</b> N1 numunesinin SEM görüntüsü, (a)X 500 ve (b)X 1000 .....                  | 70 |
| <b>Şekil 6.20.</b> N1 numunesinin EDX analiz sonuçları .....                                  | 71 |
| <b>Şekil 6.21.</b> N2 numunesinin SEM görüntüsü, (a)X 500 ve (b)X 1000 .....                  | 72 |
| <b>Şekil 6.22.</b> N2 numunesinin EDX analiz sonuçları .....                                  | 73 |
| <b>Şekil 6.23.</b> N3 numunesinin SEM görüntüsü, (a)X 500 ve (b)X 1000 .....                  | 74 |

**Sayfa No**

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 6.24.</b> N3 numunesinin EDX analiz sonuçları .....                 | 75 |
| <b>Şekil 6.25.</b> N4 numunesinin SEM görüntüsü, (a)X 500 ve (b)X 1000 ..... | 76 |
| <b>Şekil 6.26.</b> N4 numunesinin EDX analiz sonuçları .....                 | 77 |

## TABLolar LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 1.1.</b> Yedi önemli doğal taş üreticisi ülke .....                                                 | 3  |
| <b>Tablo 1.2.</b> Türkiye'nin doğal taş üretimi .....                                                        | 4  |
| <b>Tablo 1.3.</b> Türkiye'nin doğal taş ihracatı .....                                                       | 4  |
| <b>Tablo 2.1.</b> Dairesel testere çapı ve su ihtiyacı .....                                                 | 10 |
| <b>Tablo 2.2.</b> Dairesel testere çapları ile teknik özellikleri arasındaki ilişkiler .....                 | 11 |
| <b>Tablo 2.3.</b> Katraklarda kesme verimine etki eden parametreler .....                                    | 16 |
| <b>Tablo 3.1.</b> Soket üretimi sınırlamaları .....                                                          | 30 |
| <b>Tablo 3.2.</b> Aşınan soketin bir cm <sup>2</sup> alanındaki yüzeye çıkmış elmasların toplam sayısı ..... | 37 |
| <b>Tablo 5.1.</b> Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler .....                                          | 46 |
| <b>Tablo 5.2.</b> Deneysel çalışmalarda tozlar ve imalatçıları .....                                         | 46 |



## 1. GİRİŞ

Doğal taşlar ilk zamanlardan günümüze kadar insanlar tarafından çeşitli amaçlar için kullanılmıştır. İlk zamanlarda avlanmak için kullanılan kaya parçaları bulunulan çağa adını vermiştir. Sonraları konaklama ve barınma ihtiyacı doğduğunda taşları kullanarak ev yapmışlardır. Taşların bu işlevini kullanarak kaleler, şatolar gibi daha büyük yapılar inşa etmişlerdir. Bu gelişmelerin yanı sıra teknolojinin getirmiş olduğu imkanlardan yararlanarak doğal taş ürünlerinde çeşitlilik sağlanmıştır. Bu çeşitlilik içerisinde en önemli yeri mermer ve mermer ürünleri almıştır.

Bilimsel anlamda mermer, kalker ve dolomitik kalkerlerin sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak kristalleşmesi ile oluşan metamorfik bir kayadır. Kimyasal bileşimlerinde büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranda da magnezyum karbonat olan bu gerçek mermerler kalsit kristallerinden oluşmuştur. Kalsiyum karbonat billurlardan oluşarlarda genellikle % 95 kalsit bulunur. İlave olarak az miktarda silis, silikat, feldspat, demir oksit, mangan oksit, pirit, mika, flüorin ve organik maddeler de bulunabilir [1].

Mermer çeşitli kullanım alanları bulmuş olan değerli bir doğal taş ürünüdür. Yapıların iç ve dış kaplamalarında kullanıma çok uygundur. Bunun yanı sıra süsleme amaçlı da kullanılmaktadır. Ayrıca mermer mikrop barındırmayan bir malzeme olması dolayısıyla her alanda kullanıma uygundur.

Dünyanın en zengin doğal taş oluşumlarının bulunduğu Alp kuşağında yer alan Türkiye, çok çeşitli ve büyük miktarda mermer rezervine sahiptir. Türkiye, bu kaynaklara ilaveten gelişmekte olan sanayisi ve üretimde kullandığı teknoloji ile dünyanın en önemli doğal taş üreticileri arasında yer almaktadır.

Bu önemli rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır. Afyon, Bilecik, Balıkesir, Denizli, Muğla, Amasya, Elazığ ve Diyarbakır rezervlerin yoğunlaştığı illerdir. Ülkemizde 80'nin üzerinde değişik yapıda, 120'nin üzerinde değişik renk ve desende mermer rezervi belirlenmiştir. Sektörde 500'den fazla ocak, 900'ün üzerinde fabrika ve 5000 civarında atölye faaliyet göstermektedir.

Türkiye'nin doğal taş ve mermer üretimi son yıllarda büyük bir artış göstermiştir. Özellikle son dönemde büyük firmaların yapmış oldukları yatırımlarla birlikte entegre üretim yapan tesislerin de devreye girmesiyle işlenmiş mermer üretiminde büyük artış kaydedilmiştir. Uygulanmaya başlanan modern ocak üretim yöntemleri ve son teknikler sayesinde, Türkiye dünya doğal taş üretiminde lider yedi büyük üretici ülkeden biri konumuna gelmiştir.

Üretimin tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından gerçekleştirilen mermer madenciliğinde yıllık blok üretimi 3.000.000 ton civarında olup işleme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi 13 milyon m<sup>2</sup> civarındadır. Dünya mermer rezervi bakımından önemli bir yeri olan Türkiye, 400'e varan renk ve doku kalitesine sahip mermer çeşitleri ile pazar şansı çok yüksek bir ülkedir. 1980'li yılların başında 4 milyon dolar civarında olan mermer ihracatımız 1985 yılı sonrası önemli oranlarda artış göstermiştir. Mermer sektöründeki altyapı ve teknoloji maden mühendislerinin sektör içinde yeterince yer alamaması ve eğitilmiş ara eleman sorunları sektörün gelişiminin gecikmesinde önemli faktörler olmuştur. Ancak son yıllarda teknolojik sorunları çözme yolunda önemli gelişmeler kaydedilmesi, ara eleman yetiştirmeye yönelik yüksek okulların devreye girmesi, işlenmiş mermer ihracatının gelişme trendini devam ettireceği düşünülmektedir. Üniversitelerimizin maden mühendisliği bölümü müfredatında mermere daha çok yer vererek sektöre damgalarını vurması ile olumlu gelişmeler artacaktır.

Doğal taşların, yapı ve dekorasyon malzemesi olarak kullanılmaya başlanması dünya doğal taş üretiminin artmasına neden olmuştur. Özellikle son on yılda görülen artış, kazanım ve işleme teknolojisindeki gelişmelere paralellik göstermektedir. Giderek daha mükemmel hale getirilen işleme teknikleri ile doğal taşlar, daha kolay ve ekonomik olarak istenen şekilde işlenmekte ve birçok yeni kullanım alanı bulmaktadır.

Doğal taştan yapılan malzemelerin mimar ve dekoratörler tarafından daha fazla tercih edilmesi dünyadaki tüketici sayısının artmasına neden olmuştur. Bunun yanı sıra piyasa fiyatlarının önemli ölçüde düşmesi, ekolojik ve estetik görünümlü malzemelere olan ilginin artması tüketimin artmasına yardımcı olan faktörlerdir. Uzmanlar gelecek yıllarda bu gelişimin süreceğini tahmin etmektedir. Tablo 1.1 'de günümüzde yedi önemli doğal taş üreticisi ülke ve bu ülkelerin üretim miktarları görülmektedir. Bu ülkeler, dünya üretiminin % 70'ini gerçekleştirmektedir.

**Tablo 1.1.** Yedi önemli doğal taş üreticisi ülke [2].

| Ülkeler       | Üretim Miktarları (Ton)* |
|---------------|--------------------------|
| 1 – Çin       | 11.000.000               |
| 2 – İtalya    | 8.700.000                |
| 3 – İspanya   | 4.500.000                |
| 4 – Hindistan | 4.500.000                |
| 5 – Brezilya  | 2.000.000                |
| 6 – Kore      | 2.000.000                |
| 7 – TÜRKİYE   | 2.000.000                |

\* Ham Blok Üretimleri

Dünya üretim miktarları incelendiğinde en önemli büyümeyi son yıllarda granit ve mermer üretiminin yarısını ham blok olarak ihraç eden Çin'in yaptığı görülmektedir. Avrupa dışındaki ülkeler arasında birinci sıralarda dikkati çeken Çin, ülkenin her tarafına yayılmış 8.000 ocaktan çıkartılan 1.000 çeşit doğal taşta sahiptir. Sanayinin çoğu 9 ilde ve 13.000 işletme atölyesinde yoğunlaşmıştır.

Türkiye’de doğal taş sektörü, son on yıllık dönemde önemli gelişmeler kaydetmiştir. Türkiye zengin rezervleri ve gelişmekte olan mermer işleme sanayi ile dünyanın en önemli doğal taş üreticileri arasında yerini almıştır. Özellikle son dönemde büyük firmaların yapmış oldukları yatırımlar, uygulanmaya başlanan modern ocak üretim yöntemleri ve son teknikler sayesinde işlenmiş mermer üretiminde büyük artış kaydedilmiştir.

Dünyadaki mermer rezervlerinin % 40’ının ülkemizde olduğu tahmin edilmektedir. Son yıllarda yapılan yatırımlarla, mermer üretimi yapılan iller arasına Diyarbakır’da katılmıştır. Üretimin tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından yapılmaktadır. 1999 yılında % 17,6’lık bir artışla 680 bin m<sup>3</sup>’lük mermer üretimi yapılmıştır. 2000 yılında da % 20’lik bir artışla 810 bin m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir. Tablo 1.2 ‘de Türkiye’nin 1998-2000 yıllarındaki doğal taş üretimine ait miktar ve değerler verilmiştir.

**Tablo 1.2.** Türkiye'nin doğal taş üretimi [2].

| ÜRÜN                  | 1998   |       | 1999   |       | 2000   |       | YILLIK ARTIŞ (%) |       |
|-----------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|------------------|-------|
| Mermer                | Miktar | Değer | Miktar | Değer | Miktar | Değer | Miktar           | Değer |
| (bin m <sup>3</sup> ) | 602    | 786   | 680    | 888   | 810    | 1.056 | 17,6             | 19,8  |

(Değer: Milyar TL. 1994 yılı fiyatlarıyla)

Sektörün ihracat potansiyeli, yatırımlara paralel olarak hızla gelişmektedir. Özellikle işlenmiş mermer ihracatı sürekli artış içindedir. Türkiye'nin 1999 yılında toplam doğal taş ihracatı bir önceki yıla göre miktar bakımından % 5,5 oranında artarak 158 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 114 milyon doları işlenmiş mermere, 29 milyon doları blok mermer ihracatına, 9,8 milyon doları ise granit ve diğer sert taşların ihracatına aittir. İşlenmiş mermer ihracatında en önemli pazarlar; ABD, İsrail, Suudi Arabistan, İtalya ve Almanya olmuştur [2]. Tablo 1.3 'de Türkiye'nin 1997-1999 yıllarına ait doğal taş ihracatı verileri görülmektedir.

**Tablo 1.3.** Türkiye'nin doğal taş ihracatı [2].

| Yıllar<br>Mermer<br>Çeşitleri | 1997    |         | 1998    |         | 1999    |         |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                               | Miktar  | Değer   | Miktar  | Değer   | Miktar  | Değer   |
| Blok Mermer                   | 102.845 | 14.665  | 113.914 | 17.287  | 161.769 | 29.198  |
| İşlenmiş Mermer               | 193.111 | 85.162  | 222.090 | 96.689  | 274.217 | 114.440 |
| Blok Granit                   | 65.481  | 2.829   | 76.544  | 3.703   | 86.741  | 5.247   |
| İşlenmiş Granit               | 5.862   | 4.914   | 6.680   | 5.504   | 4.052   | 4.559   |
| Değerleri                     | 35.168  | 6.638   | 40.379  | 5.650   | 15.380  | 4.612   |
| TOPLAM                        | 402.467 | 114.208 | 459.607 | 128.833 | 542.159 | 158.056 |

(Değer: Milyon \$)

Son yıllarda önemli bir gelişme trendi yakalayan Türk doğal taş sektörü, Türkiye ekonomisinin en önemli yapıtaşlarından biri olmaya adaydır. Türkiye, gerek güçlü doğal taş rezervi, gerek farklı renk ve desende doğal taş çeşidi ile, dünyanın önde gelen doğal taş üretici ve ihracatçı ülkeleri arasına girmeyi başarmıştır.

2005 yılı itibariyle, Amerika'dan Çin'e, Suudi Arabistan'dan Kanada'ya, Japonya'dan Rusya'ya, İngiltere'den İsrail'e kadar neredeyse dünyanın tüm ülkelerinde adından söz ettiren Türk doğal taşları: Afyon Beyazı, Marmara Beyaz, Bilecik Pembesi, Efes Güneşi, Karacabey Siyahı, Elazığ Vişnesi, Ayvalık Graniti, Denizli Traverteni, Akşehir Siyah, Bursa Bej, Trakya Graniti, Mustafakemalpaşa Beyaz gibi isimler altında benzersiz renk ve şekilleriyle Amerika'dan Asya'ya kadar dünyanın 160 ülkesindeki binaları ve kaldırımları süslemekte, ünlü mekanlara renk ve güzellik katmaktadır.

Geçmişin görkemli yapıtlarına, saraylarına, tapınaklarına, heykellerine, tarihi çeşmelere, camilere, şadırvanlara, kurnalara, hamamlara ve sütunlara hayat veren doğal taşlarımız, günümüzde dış cephe kaplamalarında, iç mekan dekorasyonlarında, peyzaj düzenlemelerinde ve en önemlisi kent mimarisinde kullanılmaktadır. Doğal ve etkileyici görüntüsü ile yapılara değer kazandırıyor ve mekanların gözdesi haline geliyor, sonuç olarak dünya pazarlarında gidererek daha fazla yer alıyor.

2005 yılında, Türk doğal taş sektörünün en büyük pazarını 321.6 milyon dolarlık ihracatla ABD oluştururken, ABD'yi 81 milyon dolarla Çin, 44 milyon dolarla İngiltere ve 40.5 milyon dolarla İspanya izledi. Türkiye, her geçen yıl tüm dünyada pazar payını arttırmakta. İşte dünyanın değişik ülkelerinde, değişik şehirlerinde Türk doğal taşının kullanıldığı projeler,

- Dell Şirketinin patronu Michael Dell'in 86 milyon dolarlık evinde Türk traverteni bulunuyor.
- Google'in ortaklarının San Francisco'da yaptırdığı şatonun tüm yer kaplamaları, sütun ve merdiven başlarını Türk taşlarıyla kaplı,
- Ünlü aktör Eddie Murphy'nin evi Elazığ Vişne Türk mermerleri kaplı,
- Jennifer Lopez'in evini Nevşehir taşından yapılmış şömine süslüyor,
- ABD başkanı George Bush, Beyaz Saray'da basın açıklamalarını Elazığ vişne mermerinden bir kürsü önünde yapıyor.
- Fransa Parlamentosu ve ABD Temsilciler Meclisi'nde de Elazığ vişnesi mermer kullanılıyor.

- Dünyanın en önemli eğlence merkezlerinden Disneyland da ise 18 bin metrekare Türk mermeri bulunuyor.

Türk mermeri, dünyanın dört bir yanındaki lüks otellerde, havalimanlarında, okullarda, hastanelerde, iş ve kültür merkezlerinde, evlerde, kamu binalarında soluk alıp vermektedir [3].

Kullanım alanı yukarıda saydığımız gibi çok geniş olan zengin mermer yataklarına sahip olan ülkemiz için yapılması gereken bu değerden en güzel şekilde faydalanmaktır. Bunun için de bir doğal taş ürünü olan mermerin; bloklar halinde mermer yataklarından çıkartılıp işlenmiş olarak satışa hazır oluncaya kadar geçen sürede, üretiminde kullanılan tüm cihaz ve aletlerin her yönü ile iyi bilinmesi ve bunların yerli sermaye ile üretiminin desteklenmesi gerekir. Bunun için yapılması gerekenlerden en önemlisi, mermer kesiminde kullanılan elmaslı kesici takımların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Bu literatür çalışmasında mermer kesici takımlar ve üretimi araştırılmıştır.

## 2. MERMER KESİCİ TAKIMLAR

Kesici takım üretenler iş parçası ve uygulama koşullarını göz önünde bulundurarak takım ve işleme arasında meydana gelen karışık etkileşimi iyi anlayarak elmaslı kesici takım dizaynı ve üretimi yapmaları kritik bir öneme sahiptir. Tüm elmas katkılı takımların yaklaşık % 62 'si Toz Metalurjisi (TM) yöntemiyle üretilmektedir [4]. Taş kesme uygulamaları için testere ve delici takım soketlerinin üretiminde kullanılan endüstriyel elmas dünya çapında, Avrupa'da % 61 ile en büyük pazar payına sahiptir [5].

Doğal taş ürünlerinin kesiminde en önemli faktörlerin başında kesici takımlarda kesme görevini yapan aşındırıcı soketlerin kesilecek doğal taşın uygunluğu yer alır. Çünkü soketlerin taşı aşındırarak kesmesi kadar, taşın da soketi aşındırması gerekir. Bu şekilde körelen elmasların yerine yeni elmaslar yüzeye çıkar ve kesme işlemine devam eder.

Kesim hızı her kesici takım ve doğal taş için farklıdır ve uygun hız belirlenmelidir. Çok düşük bir kesim hızı ise elmas tanelerinin iş görmeden yanmasına ve yuvalarından işlevini yerine getiremeden ayrılmasına neden olur. Her iki durumda da, kesici takım ömrü normalin birkaç katına düşer.

Ülkemizde mermer işleme tesislerinde yapılan kesim işlemlerinde en önemli konu, kesilen kayaca göre uygun testere soketlerinin seçimidir. Mermer üreticilerinin uygun soket seçimi yapabilmeleri için kesecekleri kayaçları yeterince iyi tanımaları gerekmektedir. Kayaçların fiziki ve mekanik özelliklerinin kesim sırasında elmaslı soketlerde meydana gelen aşınmalar üzerinde etkili olduğu bir gerçektir. Bu yüzden kesilecek kayacın fiziki ve mekanik özelliklerinin elmaslı soketlerdeki aşınma davranışlarına etkilerinin bilinmesi önemli bir konuyu oluşturmaktadır. Bununla birlikte, soketlerdeki aşınmalar üzerinde etkili olan diğer bir önemli konu da kesim parametrelerinin ayarlanmasıdır [6,7].

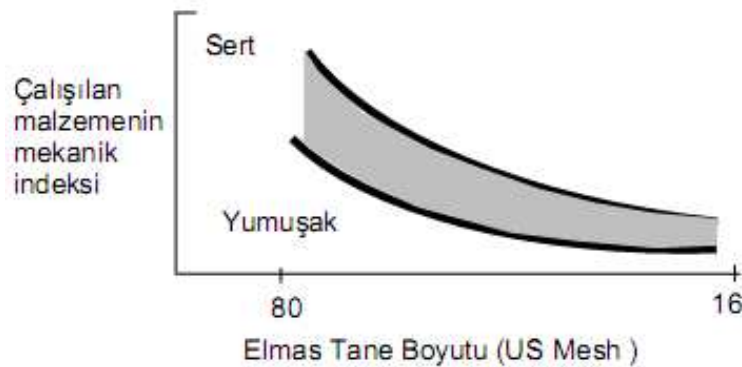
Yarı şekilli veya şekilsiz doğal taş bloklarının levhalara/plakalara ayrılması işleminde, çeşitli kesim sistemleriyle çalışan makineler kullanılmaktadır. Kesim işlemi, makinenin kesme donanımına göre aşağıdaki sistemlerle yapılmaktadır [8]:

- |                                               |                                        |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| a) Düz testere (Katrak Lama) sistemiyle kesim | b) Dairesel testere sistemiyle kesim   |
| c) Çoklu elmaslı tel sistemiyle kesim         | d) Elmas kemerli bant sistemiyle kesim |

## 2.1. Dairesel Testereler

Doğal taş endüstrisinde kullanılan kesici testereler genellikle AISI 1075 yüksek karbonlu çeliklerden imal edilmektedir. Bu çelikler, kaynak edilebilme özelliklerini iyileştirmek ve mukavemetini artırmak için ısıtılmalara tabi tutulmaktadır. Asıl kesme işlemini yapan elmaslı soketler ise; farklı (Co, Ni, Cu, Fe, Sn) elementlerin belirli oranlarda karıştırılarak toz metalürjisi yöntemi ile elde edilmektedir. Aşındırıcı özelliğe sahip ve kesme işleminde önemli rol oynayan elmas tanecikler belli oranlarda soket içerisinde katılmaktadır. Elementler karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında soğuk preslenmektedir. Belirli oranlarda preslenen matris, özel elektrik fırınlarında sinterlenmektedir. Ya da tozlar karıştırıldıktan sonra direkt olarak sıcak preslenerek üretilmektedir.

Dairesel testerelerde elmasların tane boyutu, kesilecek kayacın cinsine ve dairesele testere çapına göre değişmektedir. Elmas tane boyutu ile kesilecek malzeme arasındaki ilişki Şekil 2.1’de gösterilmiştir [12]. Genellikle sert malzemeler için elmas tane boyutu küçük (tane sayısı fazla), yumuşak malzemeler için elmas tane boyutu büyük (tane sayısı az) olması gerekmektedir [11]. İri taneli elmasların, sert malzeme kesimi için kullanılması durumunda, elmasın kayada ilerleme hızının minimum olmasından dolayı elmas tanesi bağdan kopacak veya körelme olayı gerçekleşecektir [13].



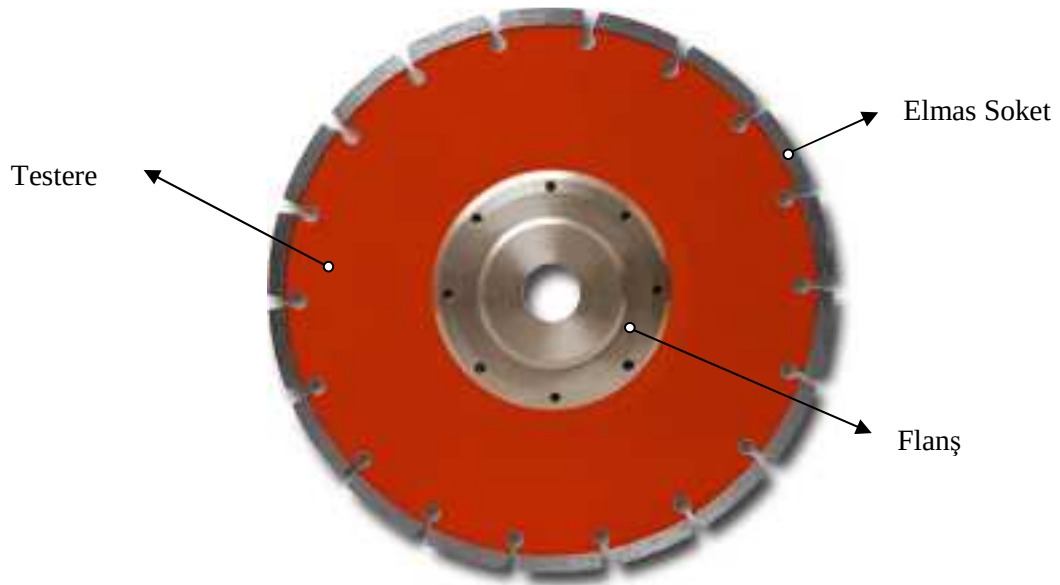
Şekil 2.1. Elmas tane büyüklüğü ile kesilen doğal taş arasındaki ilişki

Kesici testereler günümüzde kesme işleminde en çok kullanılan kesme elemanlarıdır. Bu testereler 200–3500 mm arasında değişen çaplarda, 1000–5000 devir/dakika hızlarda kesme yapan değişik boyutlarda imal edilmektedir.



Kesme işlemini yapan dairesel testere çapı ile soket boyutu ve soket adedi arasında doğrusal bir ilişki vardır. Çap arttıkça testerenin kalınlığı da artmaktadır. Dairesel testere çapı arttıkça soket adedi ve soket boyutu artmaktadır. Dairesel testere çapının sabit olduğu durumda, soket adedinin azaltılıp veya artırılması, dairesel testerenin kesme hızının düşmesine ve dairesel testere gövdesinin eğilmesine neden olmaktadır [12].

Mermer kesici dairesel testerenin geometrik yapısı Şekil 2.2 'de görülmektedir. Testere çevresindeki profil üzerine belli sayılarda elmaslı soketler uygun yöntemlerle bağlanarak, mermer kesme makinelerine takılmaktadır. Testereyi düzgün bir şekilde bağlamak, kesilen mermer parçasının boyutsal hassasiyeti ve testere ömrü açısından çok önemlidir. Ayrıca, testerede meydana gelebilecek olan salınımları azaltmak için testere çapına bağlı olarak çeşitli flanşlar kullanılmaktadır. Flanş çapının artması salınımı düşürdüğü gibi, testerenin kesme derinliğini de azaltmaktadır. Bu sebeple, optimum flanş çapı seçilmelidir [9].



**Şekil 2.2.** Elmaslı dairesel testere

Dairesel testerelerle doğal taş kesimini etkileyen fiziki ve mekanik özelliklerden tek eksenli basma dayanımı, çekme dayanımı, sertlik ve aşındırma şartları öncelikli değerlendirilmesi gereken deneyler olmaktadır [10].

Bir malzemedeki aşınma potansiyeli birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Bunlar; tane boyutu, şekli ve oluşma yüzdesi, tane sertliği vb.dir. Bütün bu faktörler,

birbirleriyle ilişki içerisindedir. Bu özelliklerin kesme işlemi başlamadan önce belirlenmesi ve testere tasarımının ona göre yapılması gerekmektedir [11]. Burada kesilecek doğal taşın hem aşınma hem de aşındırma özellikleri kesme işleminde temel kriteridir.

Kayaçlar tek bir mineralden oluşabildikleri gibi birkaç mineralden veya mineral grubundan da oluşabilmektedir. Bu minerallerin cinsleri, % miktarları, tane boyutları, tanelerin dokusal ilişkileri incelenerek tanımlamalar yapılabilmekte, bu da mineralojik analizle mümkün olmaktadır. Mineralojik analizi kesme işlemi için çok önemli yapan unsur; kayaların bünyelerinde içerdikleri sert mineraller ile kuvars miktarıdır. Kuvars miktarı ne kadar fazla olursa ve tane boyu olarak da ne kadar büyük olursa kesme işlemi o kadar zorlaşacaktır. Kuvars içeriği ilk aşamada dairesel testereleri keskinleştirmekte ve kesme hızını arttırmaktadır. Ancak ileri aşamalarda dairesel testereleri aşındırarak ömürlerini azaltmaktadır [12]. Özellikle Mohs sertliği 6 ve üstü olan tüm mineral veya mineral grupları büyük bir aşındırıcı özelliğine sahiptirler.

Kesme işlemi sırasında, testerenin ve soketteki elmasın üzerinde, sürtünme sonucu oluşan ısının azaltılması için mutlaka bol miktarda su verilmesi gerekmektedir. Su, kesme sonucu oluşan talaşları ortamdan uzaklaştırmakta ve malzemelerin yüzeylerinde oluşan ısının azaltılmasını sağlamaktadır. Soğutma suyu dairesel testerelerin her iki yanından, flanşın hemen altından gerekirse testerenin tam karşısından bolca verilmelidir. Dairesel testerelerin su ihtiyacı ile çapları arasındaki ilişki Tablo 2.1 'de verilmiştir [14].

**Tablo 2.1.** Dairesel testere çapı ve su ihtiyacı

| Testere Çapı<br>(mm) | Testere Başına<br>En Düşük<br>Soğutma Suyu<br>Miktarı (lt/dak) | Testere<br>Başına En<br>Yüksek<br>Soğutma<br>Suyu (lt/dak) |
|----------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 200/250              | 6                                                              | 10                                                         |
| 300/400              | 10                                                             | 15                                                         |
| 450/550              | 15                                                             | 22                                                         |
| 600/625              | 20                                                             | 30                                                         |
| 700/750              | 30                                                             | 40                                                         |
| 800/900              | 30                                                             | 45                                                         |
| 1000/1100            | 40                                                             | 60                                                         |
| 1200/1300            | 50                                                             | 75                                                         |
| 1400/1600            | 60                                                             | 90                                                         |
| 2000.....            | 70                                                             | 120                                                        |
| 2500.....            | 80                                                             | 140                                                        |

Bununla birlikte dairesel testere çapı ve soket sayısı; soket çapı ve soket kalınlığı; dairesel flanş çapı arasındaki bilgiler Tablo 2.2 'de verilmiştir.

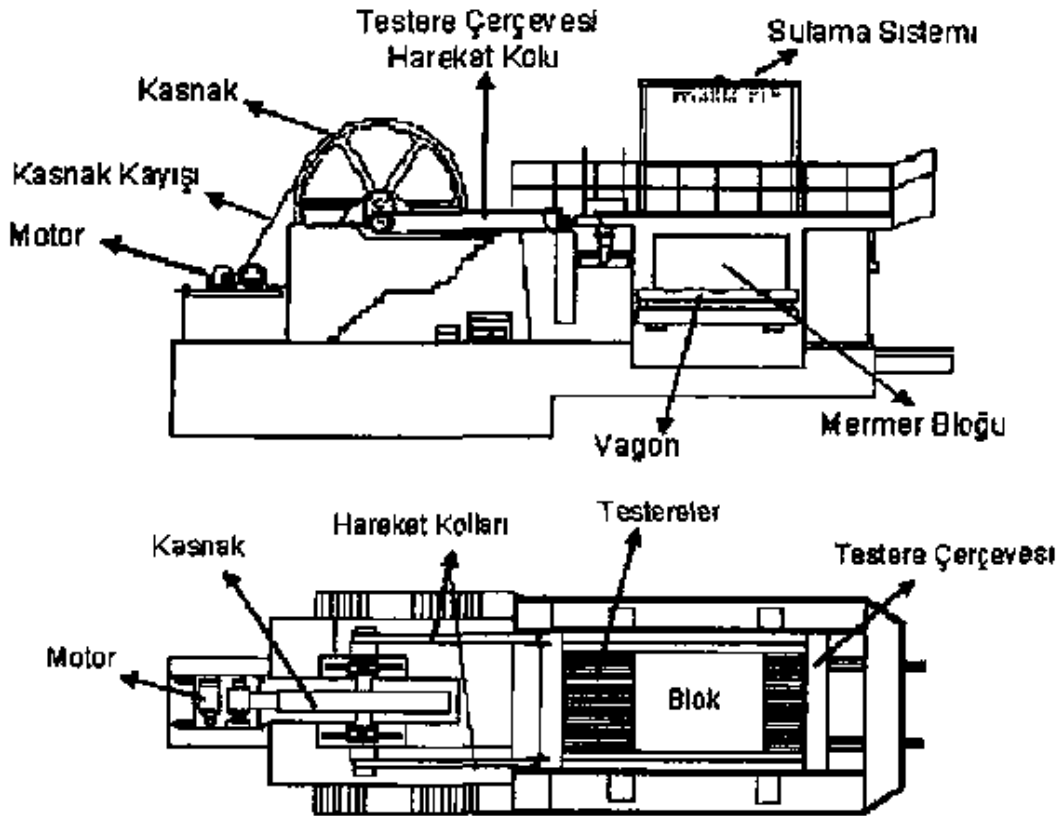
**Tablo 2.2.** Dairesel testere çapları ile teknik özellikleri arasındaki ilişkiler [14].

| Testere Çapı (mm) | Soket Sayısı | Soket Ölçüleri (mm) |           |     | Gövde Kalınlığı (mm) | Gövde Göbek Çapı (mm) | Minimum Flanş Çapı (mm) | Motor Gücü (kW) | Su İhtiyacı (lt/dak) | Ağırlık (kg) |
|-------------------|--------------|---------------------|-----------|-----|----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------|
|                   |              | En                  | Yükseklik | Boy |                      |                       |                         |                 |                      |              |
| 250               | 15           | 2,2                 | 7         | 33  | 1,6                  | 30                    | 100                     | 5,5-7,5         | 6-10                 | 0,6          |
| 300               | 21           | 2,6                 | 7         | 38  | 2,2                  | 60                    | 120                     | 7,5-11          | 10-15                | 1            |
| 350               | 21           | 3                   | 7         | 38  | 2,2                  | 60                    | 140                     | 7,5-11          | 10-15                | 1,7          |
| 350               | 25           | 3                   | 7         | 40  | 2,2                  | 60                    | 140                     | 7,5-11          | 10-15                | 1,7          |
| 400               | 28           | 3,4                 | 7         | 40  | 2,5                  | 60                    | 150                     | 7,5-11          | 10-15                | 2,6          |
| 450               | 32           | 3,8                 | 7         | 40  | 2,8                  | 60                    | 160                     | 11-15           | 15-20                | 3            |
| 500               | 36           | 4                   | 7         | 40  | 3                    | 60                    | 170                     | 11-15           | 15-20                | 4            |
| 600               | 36           | 4,6                 | 7         | 40  | 3,4                  | 60                    | 180                     | 15-18,5         | 20-30                | 7,4          |
| 600               | 42           | 4,6                 | 7         | 40  | 3,4                  | 60                    | 180                     | 15-18,5         | 20-30                | 7,4          |
| 700               | 40           | 5,3                 | 7         | 40  | 4                    | 60                    | 200                     | 22-30           | 30-40                | 11,5         |
| 800               | 46           | 5,8                 | 7         | 40  | 4,5                  | 80                    | 225                     | 30-37           | 30-40                | 14           |
| 900               | 64           | 6,5                 | 7         | 24  | 4,75                 | 80                    | 250                     | 30-37           | 30-40                | 24           |
| 1000              | 70           | 7                   | 7         | 24  | 5                    | 80                    | 250                     | 37-45           | 40-50                | 30           |
| 1200              | 80           | 7,5                 | 8         | 24  | 5,5                  | 80                    | 300                     | 45-55           | 50-60                | 52           |
| 1400              | 92           | 8                   | 8         | 24  | 6                    | 120                   | 325                     | 45-75           | 60-70                | 78           |
| 1600              | 104          | 9                   | 9         | 24  | 7                    | 120                   | 375                     | 45-75           | 60-70                | 107          |
| 1800              | 120          | 10                  | 10        | 24  | 7,5                  | 120                   | 400                     | 55-75           | 70-80                | 148          |
| 2000              | 132          | 11                  | 10        | 24  | 8                    | 120                   | 425                     | 55-75           | 70-80                | 180          |
| 2500              | 140          | 13                  | 11        | 24  | 9                    | 120                   | 450                     | 75-90           | 80-100               | 318          |

## 2.2. Katrak Lamaları

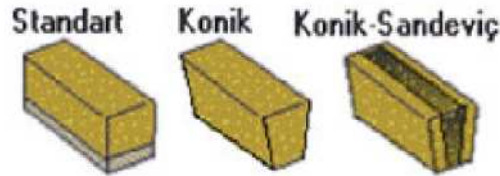
Mermer ocaklarından gelen bloklardan levha üretimi için, işleme tesislerinde çeşitli yöntemler ve bu yöntemlere uygun makineler kullanılmaktadır. Mermer işlemeciliğinde, ocaktan gelen ham mermer bloklarının fiziki durumları göz önünde bulundurularak işleme yöntemi seçilmektedir. Bu işleme yönteminin belirlenmesinde, blokların şekilleri, boyutları, kırık ve çatlak sistemleri önemli olmaktadır.

Elmas lamalı katraklar, sayalanmış (Doğal taş ocaklarında üretilen, şekilleri geometrik açıdan düzgün olmayan ham doğal taş bloklarının yüzeylerinin düzeltilmesi ve gereğinden büyük blokların daha küçük boyutta bloklar haline getirilmesi için yapılan işleme sayalama adı verilmektedir) veya ocaklardan gelen düzgün mermer bloklarından levha elde edilmesinde kullanılan makinelerdir. Şekil 2.3 'de bir katrak makinesinin şematik görünümü verilmiştir. Bununla birlikte katraklar, mermer bloklarından plaka elde etmenin en ekonomik ve en hızlı yöntemi olarak mermer sektöründe kullanılmaktadır [24].



Şekil 2.3. Katrağın yandan ve üstten şematik görünümü [6,7].

Elmas lamalı katroklarda kesme işlemi, testerelele özel kaynakla monte edilmiş, yaklaşık 20-30 mm uzunluğunda, 4-5 mm genişliğinde ve 6-7 mm yüksekliğinde dikdörtgen prizma şeklinde özel alaşım ortamında elmas içeren soket adı verilen [24] ve Şekil 2.4 ‘de görülen üç tipteki kesici uçlarla yapılmaktadır. Ayrıca Şekil 2.5 ‘de kullanıma hazır katrok soketleri görülmektedir.

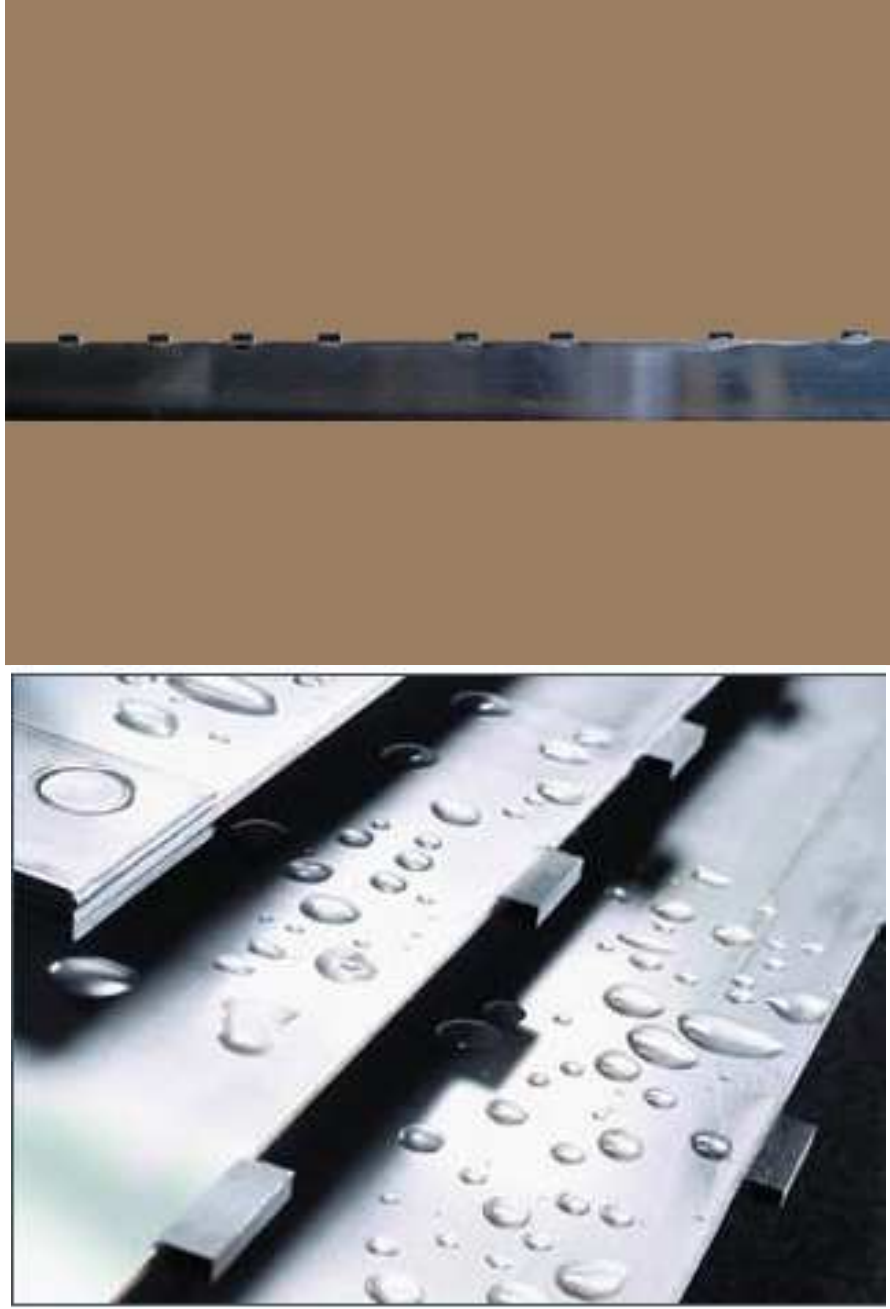


Şekil 2.4. Katrak lama soket tipleri [25].



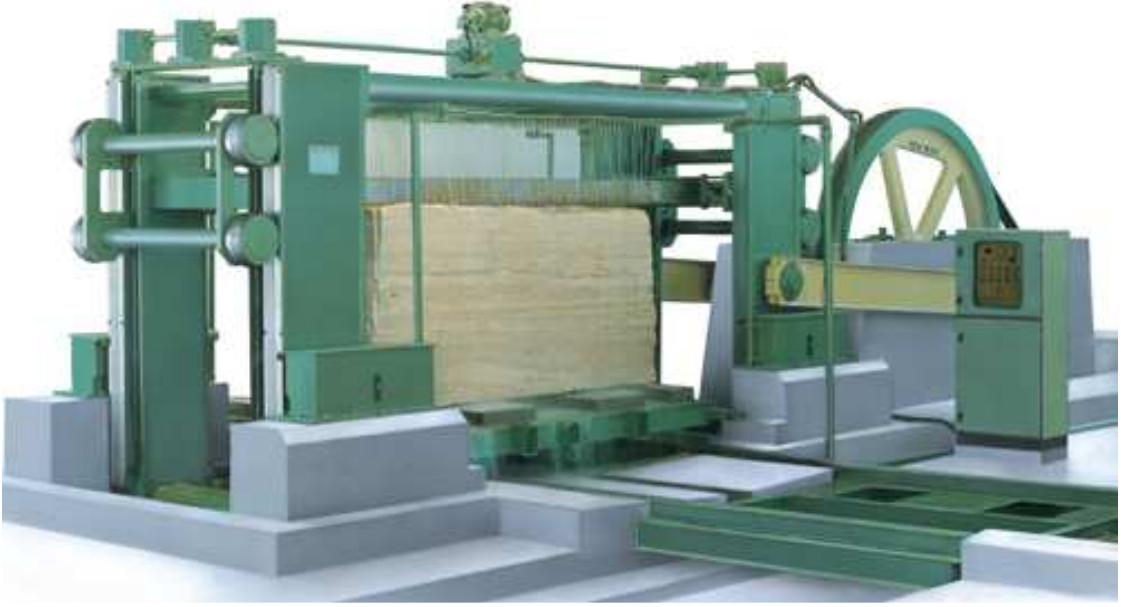
Şekil 2.5. Katrak lama soketleri

Şekil 2.5 ‘de görüldüğü gibi kullanıma hazır katrok lama soketleri uygun yöntemlerle kesme işlemini yerine getirecek olan testere laması üzerine monte edilirler. Lama sacları paslanmaya karşı mukavemetli olduğundan diğer lama saclarına göre daha uzun ömürlüdürler ve ortalama kalınlıkları 3,5 mm dir. Şekil 2.6 ‘da üzerine elmaslı soketler monte edilmiş katrok lamaları görülmektedir.



**Şekil 2.6.** Katrak testere laması

Katrak makinelerinde kesim işlemi makinenin yapısına bağlı olarak iki tipte gerçekleştirilmektedir. Bunlardan birincisinde blok sabittir ve testereler ileri-geri hareketin yanında, kesim için aşağıya doğru hareket etmektedir (Şekil 2.7). Diğer tipte ise, bloğun bulunduğu vagon yukarıya doğru hareket etmekte ve testereler yatay düzlemde sadece ileri-geri hareket etmektedirler (Şekil 2.8).



**Şekil 2.7.** Katrak makinesi (Tip 1)



**Şekil 2.8.** Katrak makinesi (Tip 2)

Üretim kapasitesinin yüksek, üretim maliyetinin düşük oluşu elmas lamalı katrakların mermer işleme tesislerinde kullanımını artırmaktadır. Elmas lamalı katrakların verimli olarak kullanılmasında önemli olan, kesim sırasında etken parametrelerin en uygun şekilde ayarlanarak en az maliyetle üretimin gerçekleştirilmesidir. Katraklarda kesme verimini etkileyen parametreler üç grupta toplanabilir [6,7].

- ❖ Sabit parametreler
- ❖ Yarı değişken veya değişken parametreler
- ❖ Ortam koşulları

Kesme verimine etki eden sabit parametreler kesilecek kayaçla ilgili parametrelerdir. Yarı değişken veya değişken parametreler kesim yapılan elmas lamalı katrakla ilgili parametrelerdir. Ortam koşulları ise, kesim yapılan ortamdaki çevresel koşullardır. Bu üç ana grup, Tablo 2.3 'de belirtilen çeşitli parametreleri içermektedir.

**Tablo 2.3.** Katraklarda kesme verimine etki eden parametreler [6,7].

| <b>Kesilecek Kayaçla İlgili Sabit Parametreler</b>                                                                                                                                                                                                                     | <b>Elmas Lamalı Katraklarla İlgili Yan Değişken veya Değişken Parametreler</b>                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Ortam Koşulları</b>                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Fiziki ve mekanik özellikler</li> <li>❖ Kimyasal özellikler</li> <li>❖ Mineralojik özellikler</li> <li>❖ Petrografik özellikler</li> <li>❖ Süreksizler</li> <li>❖ Dokusal özellikler</li> <li>❖ Yapısal özellikler</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Kesme hızı</li> <li>❖ Lamalar arasındaki mesafe</li> <li>❖ Lamaların yapısı</li> <li>❖ Su miktarı ve basıncı</li> <li>❖ Suyun temizliği ve pH'ı</li> <li>❖ Kesilen blok boyutları</li> <li>❖ Makinenin yapısı ve motor gücü</li> <li>❖ Testere boyutları, yapısı ve sayısı</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Teknik eleman</li> <li>❖ Kesimde testerelerdeki basınç dağılımı</li> <li>❖ Elmas taneleri ile mermer arasındaki kuvvetler</li> <li>❖ Titreşim</li> </ul> |



### 2.3. Elmaslı Teller

Türkiye mermer ocak işletmeciliğinde son 25 yılda kullanılmaya başlanan elmaslı tel kesme makine ve donanımları çok büyük yenilikler getirerek mermer madenciliğinin vazgeçilmez makinesi haline gelmiştir. Mermer ocaklarında üretimin maksimum seviyede gerçekleşmesini ve zayıtsız blok elde edilmesini sağlayan makinelerdir.

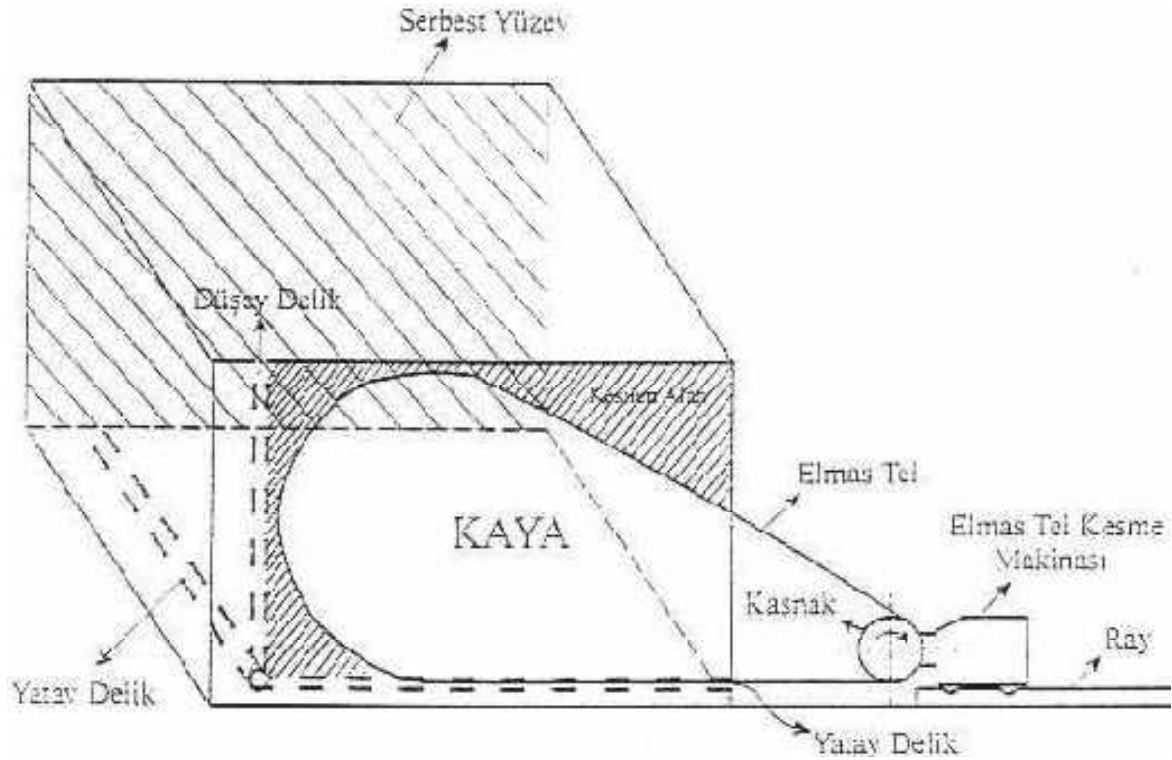
Tel ile taş kesme M.Ö. tarihlerden beri yapıla geldiği antik ocaklardaki kalıntılardan anlaşılmaktadır. O zamanlarda kol gücüne dayalı bir kesme metodu kullanılmıştır. O dönemlerde taşlar ocaklardan blok olarak değil, levha şeklinde çıkarılmaktaydı. Mermer üretiminde alışlagelmiş yöntemlerin dışında daha az enerji ve daha az insan gücü gerektirecek, patlayıcılarla üretimde oluşan kayıpları en aza indirecek üretim yöntemleri arayışları süregelmıştır. Antik tel kesme metotlarından yola çıkarak ilk defa 1854 yılında Belçika’da Eugene Chevailier tarafından tel kesme makinesi yapılmış ve patentleşmiştir. 1880 yılında Guy Michel tarafından geliştirilen bu metot, 1889 yılında en son şekliyle, helis tel kesme metodu ve makinesi olarak yapılmıştır. Carrera ocaklarında ilk kullanım 1895 yılında olmuştur [15,16].

Başlangıçta diğer yöntemlere göre büyük avantajlar içerdiği düşünülmüş olsa da, sonraları uygulama aşamasında ortaya çıkan sorunlar, araştırmacıları yeni çözümler üretmeye zorlamıştır. Helezonik çelik tel sisteminde silisli kumun yanında tungsten karbür gibi aşındırıcılarda kullanılmasına rağmen istenilen verim elde edilememiştir. Bu durumun yapılan araştırmalarda kayaç ile aşındırıcı arasındaki sertlik farkından ve aşındırıcı sıvı filminin bozulmasından ve istenilen basıncın sağlanamamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu problemin üstesinden gelebilecek en iyi aşındırıcının elmas olduğuna karar verilmiştir. Araştırmalardan yıllar sonra, 1978 yılında elmaslı tel kesme sistemi ilk olarak İtalya’nın Carrara mermer bölgesinde bulunan Apuan mermer ocağında denenmiştir. İlk tel kesme sistemi sınırlı performansa sahip olup, yalnız düşey kesim yapabilmekteydi [17]. Ancak sonraları her türlü kesimde başarıyla uygulanabilen makineler geliştirilmiştir [18].

Elmaslı telin çalışma esası; kesilecek yüzeylerde düşey ve yatay olarak açılan iki delikten geçirilen elmas telin makinenin volanından (tamburundan) geçirilerek iki ucunun birleştirilmesi ve motor tarafından volanın hareketiyle elmas telin kayacı kesmesidir. Kesme işlemini sağlayan gergi kuvveti, elmas tel kesme makinesinin bir ray üzerinde geriye hareketi ile sağlanmaktadır [19].

Elmaslı tel kesme yöntemi, her tür mermer ocağı için uygun değildir. Özellikle çatlak ve eklemlerinden açılarak çıkartılan mermer kütlelerinin bloklara bölünmesi, elmaslı tel kesme yönteminin kullanılmasından daha ekonomiktir. Çatlak ve eklem sistemi çok gelişmiş mermer ocaklarında elmaslı tel kesme yönteminin kullanılması, verim artırılmasına bir katkıda bulunmayacağı gibi, aksine üretim veriminin düşmesine de neden olabilmektedir. Elmaslı tel kesme yöntemi, çatlak ve eklemlileri az, masif yapıdaki mermerler için uygun bir yöntemdir [20].

Sonuçta elmaslı tel kesme daha çok kalite güvencesi vermekte ve bloğun değeri artmaktadır. Kare bloklar işletme verimini artırmaktadır. Elmaslı tel kesme ile kesilen blokların değeri % 10-20 oranında artmaktadır. Blok yüzeyleri daha düzgün olacağından kenar düzeltmelerinden kaynaklanan blok ve zaman kayıpları da önlenmiş olmaktadır. Teknolojik esneklik getirmekte ve işletme gürültüsünü azaltmaktadır. Ancak ilk yatırım maliyetleri diğer yöntemlere oranla daha fazladır ve kalifiye elemana gereksinim vardır [19]. Şekil 2.9 'da elmaslı tel ile kesme yönteminin şematik görünümü verilmiştir [18].



**Şekil 2.9.** Elmaslı tel ile kesme yönteminin şematik görünümü [18].

Elmaslı tel kesme yönteminin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır [18].

- ❖ Başka yöntemlerle birlikte kullanılabilen esnek bir yöntemdir,
- ❖ Büyük boyutlu kesimlerin yapılabilmesine olanak sağlar ( 200 m<sup>2</sup> ‘den büyük),
- ❖ Düşük yatırım maliyetleri sağlamaktadır,
- ❖ Makine ve ekipmanın kendini amorti etme süresi daha kısadır,
- ❖ Daha az toz artık oluşturmaktadır,
- ❖ Daha az kayıpla daha düzgün blok üretimine olanak sağlamakta, bloğa hasar vermemektedir,
- ❖ İş yoğunluğu diğer yöntemlerden daha az olduğundan, iş gücünün daha verimli kullanılmasına imkan tanır,
- ❖ Yüksek kesme hızlarında üretim kapasitesini arttırmak mümkündür.

Capuzzi 1989 yılında granit grubundaki elmaslı tel kesme hızının ve tel ömrünün oldukça düşük olma nedenleri üzerine araştırmalar yapmış ve bunların iki ana problemten kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Bunlar m<sup>2</sup> kesimin yüksek maliyeti ve telin çabuk yıpranmasıdır [18].

Mermer ocak işletmeciliğinde kullanılan elmaslı teller, bir çelik tele (Şekil 2.10) geçirilmiş elmaslı boncuklardan (Şekil 2.11) oluşmaktadır. Elmaslı boncuklar, 0.25-0.37 mm boyutlu sentetik veya sanayi elmas tanelerinden elektrolitik kaplama ve sinterleme ile elde edilmektedir. Her bir elmaslı boncukta 0.30-0.40 karat elmas bulunmaktadır. Kullanılan elmas tanelerinin tanecik boyutu mermer tipine göre değişiklik göstermekle birlikte, en uygun tanecik boyutunun bulunabilmesi için mermerin mineralojik, kimyasal ve fiziko-mekanik özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Yeterli rezervi bulunan ocaklar için özel elmaslı boncuk imalatı da yapılabilmektedir [21].

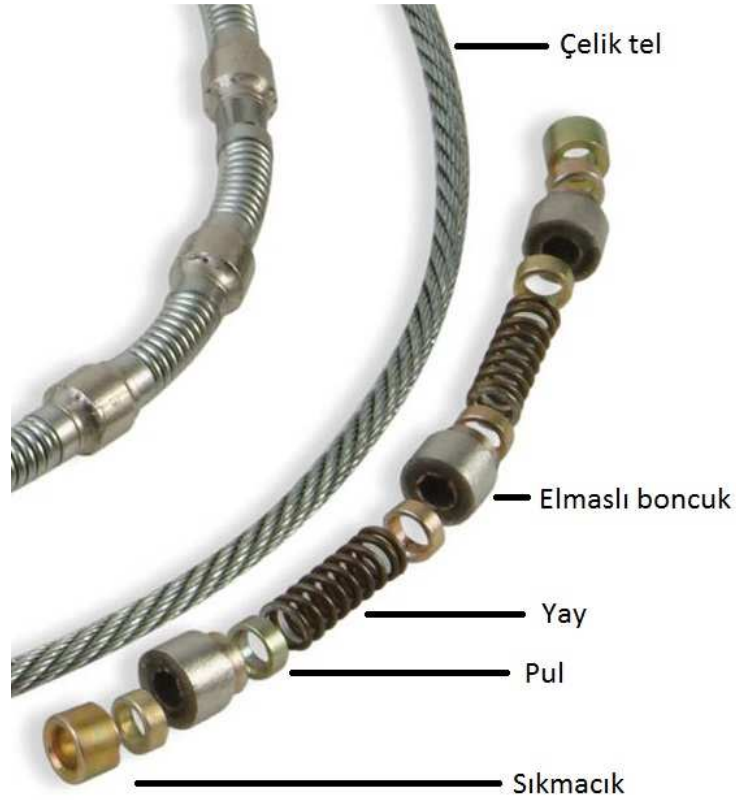


**Şekil 2.10.** Çelik tel halat



**Şekil 2.11.** Elmaslı boncuklar

Elmaslı boncuklar 5 mm kalınlıktaki çelik tele yaylarla birlikte sıralanmaktadır. Şekil 2.12 'de bir elmaslı telin yapımı için gerekli olan elemanlar görülmektedir. Elmaslı tel, tel kesme makinesinin tipine ve kullanım yerine göre 15-60 m uzunlukta hazırlanmaktadır. Elmaslı tel, ocaklarda ve fabrikalarda mevcut teknoloji ile en düşük maliyet ve en yüksek performansı sağlayan kullanışlı bir araçtır. Mermer blok işletmeciliğinde kullanılan elmaslı boncukların çapları, kullanım amaçlarına ve üretim teknolojilerine göre değişim göstermektedir. Bu elmaslı boncuklar, dış yüzey çapları itibarıyla, 8 mm, 8,8 mm, 10 mm, 10,2 mm, 10,5 mm, 11 mm ve 12 mm olarak değişim göstermektedir [19].



Şekil 2.12. Elmaslı telin yapımında kullanılan elemanlar

Elmaslı boncuğun matris yapısının hacmi hesaplandığında, en yüksek oranın, orta sert mermerlerde 11,0 mm ve sert mermerlerde ise 12,0 mm çapındaki elmaslı boncuklardan elde edildiği görülmekle birlikte, bu oran çaplar küçüldükçe azalma göstermektedir. Aynı özelliklerde matris yapının kullanıldığı iki farklı çaptaki elmaslı boncuğun performansı kıyaslandığında, doğal olarak çapı büyük olan elmas boncukta daha yüksek bir performans elde edilebilmektedir [22].

Elmaslı teller yapıları itibarı ile genel olarak üç ana gruba ayrılmaktadır;

- ❖ Elektroplate elmaslı boncuklar (Elektrolitik kaplamalı elmaslı boncuklar)
- ❖ Sinterize elmaslı boncuklar
- ❖ Kimyasal yapıştırırmalı elmaslı boncuklar

Bu her üç elmaslı boncuk türünün de teknolojik olarak üretimi yapılırken, matris yapıda bulunması gereken elmas taneleri, öncelikle bir ayırım ve sınıflama işlemine tabi tutulmaktadır. Bu işlem için, değişik boyut aralığında bulunan elmas taneleri, farklı tanecik boyutlarında olacak şekilde eleme işlemine tabi tutularak aynı boyutlardaki elmas tanelerinin ayırımı sağlanmaktadır. Kullanılan elmas türünün sentetik kökenli olması nedeniyle belirli bir kalite değerine sahip olmalıdır. Aksi takdirde uzun uğraşlar sonucu elde edilecek elmaslı boncuk, görevini yerine getiremeyecek ve beklenen performansı veremeyecektir.

Elmas boncuk imalatında kullanılan gerekli malzemeler şunlardır [22];

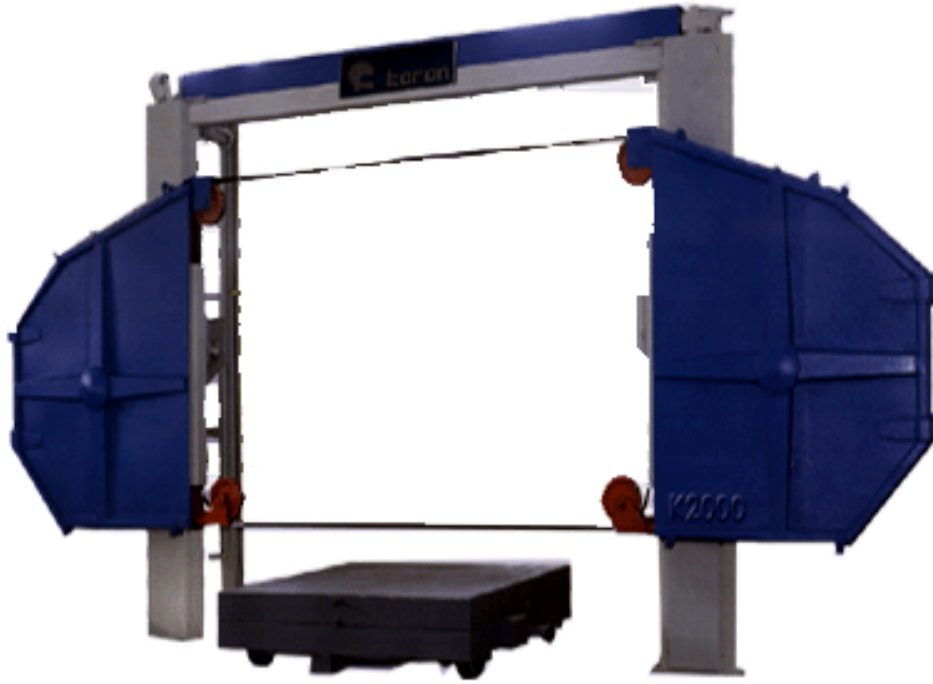
- ❖ Çelik yüzük (Normal çelikten çok daha sert olmalıdır, aksi halde imalat aşamasında çapta daralma, kullanım aşamasında ise iç çap genişlemesi söz konusu olacaktır),
- ❖ Matris yapı (Çeşitli oranlarda demir, kobalt, bakır, bronz, çinko ve nikel vb. dahil yaklaşık 30 değişik madde içeren bir karışımdır),
- ❖ Elmas taneleri (Üretilecek elmaslı boncuğun kullanım yerine uygun olmalıdır).

Şekil 2.13 ‘de kullanıma hazır çeşitli elmaslı teller görülmektedir. Şekil 2.14 ‘de de montajı yapılmış bir elmaslı tel ile kesme makinesi görülmektedir.



Şekil 2.13. Elmaslı teller





Şekil 2.14. Elmaslı tel ile kesme makinesi [23].



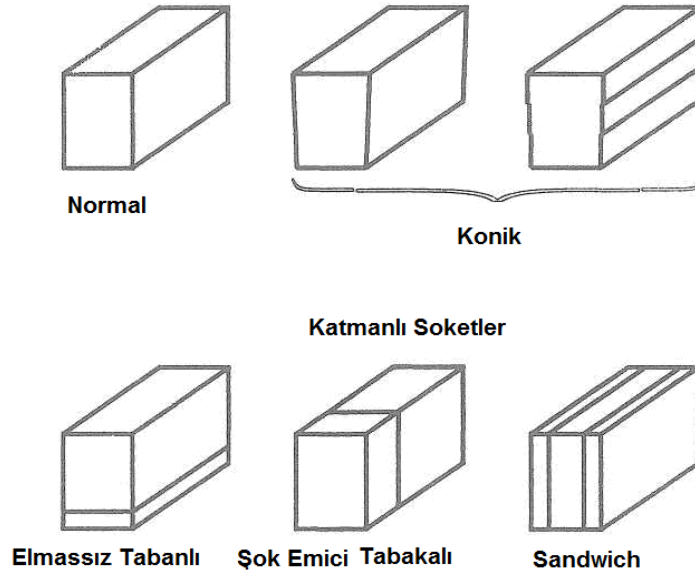
### 3. MERMER KESİCİ TAKIM ÜRETİMİ

#### 3.1. Mermer Kesici Takım Soket Üretimi

Elmaslı testere ağzı soketleri imalatında kullanılan en yaygın üretim tekniği, toz metalurjisi (TM) üretim yöntemidir. Bu yöntem sayesinde genellikle elmas taneleri ve metal tozları birlikte karıştırılarak kesici takım üretimi için kullanılırlar. Sıcak presleme çok yaygın bir üretim tekniği olmasına rağmen, tozlar basınçsız sinterleme [27-31] sıcak izostatik presleme [32] veya bu ikisinin kombinasyonu [33], ekstrüzyon [34], lazer ergitme [35], sıcak presleme ve lazer kesimin kombinasyonu [36,37] ve/veya kişiye özel başka birçok teknikle üretilebilir.

##### 3.1.1. Elmaslı Soket Dizaynı

Elmaslı kesici takım veya soket olarak kullanılan kesici takım biçimleri Şekil 3.1’de görülmektedir. Bu tür soketler endüstride çok yaygın olarak kullanılmaktadır [26].



Şekil 3.1. Çeşitli soket şekilleri

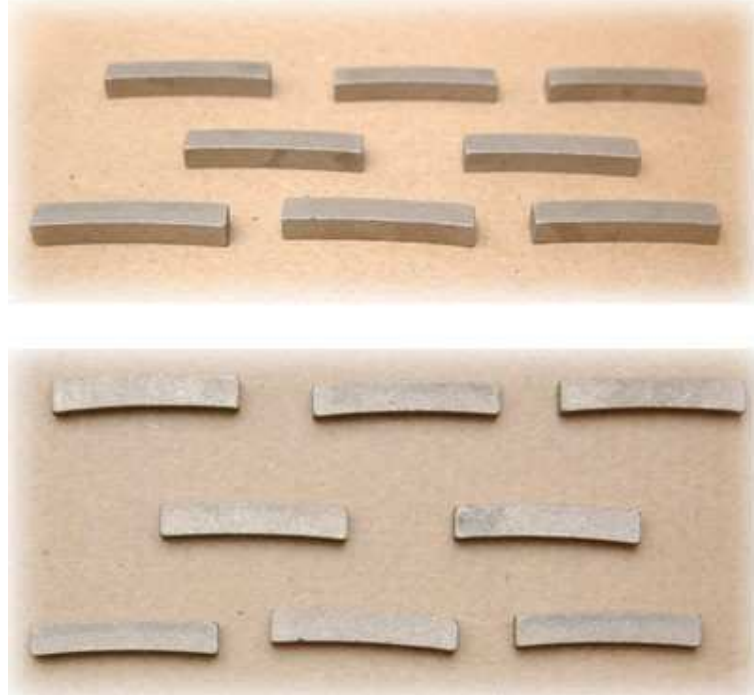
Soketin şekli ve bileşimi ne kadar karmaşık olursa üretim maliyetleri de o derecede artar. Bununla birlikte, testere ağzı, üretim gereksinimleri, kullanım özellikleri ve ekonomik nedenlerden dolayı genellikle karmaşık şekillerin seçilmesine neden olur [26]. Şekil 3.2 ‘de kullanıma hazır elmaslı soketler verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Elmaslı soketler

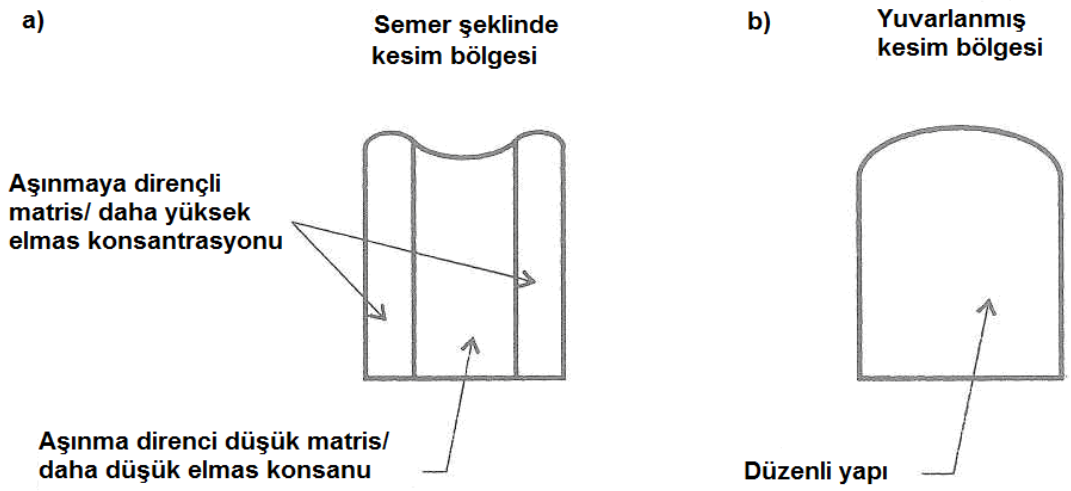
Eğimli soket uygulamaları, kesilen doğal taş ile takım yüzeyleri arasında daha az sürtünme oluşturmaları ve daha az tozla üretildiği için avantajlıdır. Şekil 3.3 ‘de eğimli soket görülmektedir.

Doğal taş kesiminde kullanılan soketler testereye kaynak edilirken elmas tabanlı veya elmas içermeyen tabanlı olarak üretilir. Soketlerde elmassız taban kullanılmasının iki nedeni vardır. Birinci olarak, soketler çelik testerede desteğe kadar nadiren aşınır ve bu nedenle tabanda elmas kullanılmadığından dolayı daha uygun maliyetli olur. İkinci olarak da, elmas içeren malzemelerin kaynaklanma güçlüğü ve aynı zamanda elmas içermeyen malzemelerin daha kolay kaynak edilebildiği için tabakanın uygun ergime özelliği sayesinde lazer kaynağının daha kolay yapılabilmesidir [38]. Ön kısımda bulunan şok sönmüleyici tabaka, yüksek kesim oranlarında soket davranışlarını kontrol edebilmek amacıyla kullanılmaktadır [39].



**Şekil 3.3** Eğimli soketler

Sandwich olarak adlandırılan üç veya daha fazla tabakadan meydana gelen takımlardaki dış tabakalar aşınmaya karşı daha duyarlı olan iç tabakalardan farklıdır. Şekil 3.4 'de gösterildiği gibi, olması istenilen ve eyere benzeyen aşınma şekli kesim sırasında oluşur. Bu da kesici takıma kesme sırasında izleyeceği yolun ortaya çıkmasını sağlar. Bu durum kesim sırasında çoğu zaman düzensiz bir hal alan kesmenin düz bir eksen üzerinde yapılmasını sağlar [26].



**Şekil 3.4.** (a) Sandwich aşınma eğrisi ve (b) normal elmaslı soket

### 3.1.2. Elmaslı Soket Matris Seçimi

Metal esaslı matrisin iki temel işlevi vardır. Bunlardan birincisi elması sıkı tutması ve ikincisi de elmas kaybı ile uyumlu olarak aşınmasıdır.

Matrisin aşınma direnci işlenen malzemenin aşınması ile uyumlu seviyede olmalıdır. Yani elmas taneleri matrisin erken aşınması sonucunda desteksiz kalarak fazla miktarda yüzeyden dışarı çıkmamalı ve zamanından önce matristen kopmamalıdır. Çok yumuşak bir matris, elmastan daha hızlı aşınır ve bu da elmas taneciklerinin kaybolma ihtimaliyle sonuçlanır. Diğer taraftan aşırı derecede aşınma direncine sahip bir matris, elmas köreldikten sonra aşınarak soket yüzeyinin parlamasına ve kesici takımın görev yapmamasına sebep olacaktır. Bu olay genellikle cilalanma olarak bilinir. Sert ve yoğun bir kaya testere ile kesilmeye başlandığı zaman, kayadan çok az miktardaki tortu parçası, çok ince bir toz halinde kayadan koparılır. Böyle koşullar altında matris aşınması yavaştır. Diğer taraftan, kesilen malzeme yumuşak, süngerimsi ve kumlu ise, iri taneli toz partikülleri kaya parçasından kopar ve matrisin oldukça hızlı aşınmasına neden olur.

Ancak, sadece kesilen malzeme değil kesimin şekli de (katrak, dairesel testere vb.) göz önünde tutulmalıdır. Katraklı kesim süresince kesimde oluşan taş partiküllerinin taşınması katrak lamasının ileri geri hareketiyle engellenir. Fakat dairesel testereli kesimde, testere tek yönde döndüğü zaman kaya partiküllerinin atılması artacağı için, katrak lamalı kesimde metal matrisin aşınma oranı döner testereye kıyasla daha fazladır.

İkinci ve aynı derecede önemli olan durum ise matrisin elmasları sıkı bir biçimde tutabilmesidir. Kesme işlemleri boyunca, matris ile elmas arasındaki bağ, elmas parçacıklarının maruz kaldığı dönme momentine dayanacak kadar güçlü olmalıdır. Burada elmas tutunmasının anlamı, elmasın matris ile mekanik ya da kimyasal yoldan bir bağ oluşturmasıdır [26].

Matrisin potansiyel tutucu özelliği çoğu zaman aşınma özellikleri ve akma dayanımıyla belirlenir. Elmasın kırılıp matristen kopması için elmas tanecikleri üzerine gelen kuvvet matrisin akma dayanımını geçmek zorundadır [40]. Bununla birlikte çekme kuvveti elmas etrafındaki elastik deformasyon değil, ayrıca gerilmeleri arttıran elmasın şekliyle de ilgili bir durumdur. Bunun sonucu olarak, malzemenin çentik hassasiyeti ve yumuşaklığı da önemli parametrelerdir [41,42]. Bilhassa ana aşınma mekanizmalarından elmasa çarpma hasarı matrisin darbe özelliklerini kritik bir seviyeye getirir (örneğin, sert ve kuvars içeren bir malzemenin yüksek çevresel hızda kesilmesi) [26].

Matris bileşimlerinin birçoğu tutunma işlemini mekanik olarak yapmasına rağmen, çok sayıdaki çalışma, ilave bileşenler vasıtasıyla matris ile elmas arasındaki kimyasal bağlanmayı geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bağlanma genellikle karbür oluşturan alaşımlar kullanılarak sağlanır. Bu alaşımlar elmas parçacıklarını ıslatmak ve çevresini sarmak için sıcak pres sinterleme sıcaklığında eriyebilir olması gerekmektedir [43]. Bu nedenle, elmas tanesi yüzeyindeki karbür çekirdeği ilk önce soğuyan elementten başlayarak ara yüzey tabakasının oluşması için devam eder. Bu noktadan sonra, ara tabaka büyümesi sertleşince, akış ya da gözenekliliğin gelişmesinden dolayı karbür kalınlığına bağlı olarak zayıflar. Ayrıca çoğu kez çok kalın karbür tabakalarının şekillenmesinden dolayı keskin elmas yüzeyinin bozulması meydana gelir. Karbür şekillendiricilerin optimum konsantrasyonu ihtiyaç duyulan ıslatma kabiliyetinden çok daha az olduğundan, matris malzemesi olarak kullanılan son derece güçlü birleştirici alaşımların kullanılmasında problemler ortaya çıkar.

Bu sorunların üstesinden gelmek için sıvı faz sinterleme tekniği uygulanmaktadır. Krom içeren önceden mekanik olarak alaşımlandırılmış [44] ya da önceden alaşımlandırılmış [42] tozlar ve tungsten içeren karışımlar endüstriyel ortamda bütünüyle incelenmiştir [44,46]. Ancak her iki teknikte de uygulanamaz hale gelmiştir. Takım performansındaki artış, eklenen özelliklere karşı neredeyse karşılığını vermemektedir. Bu işlemler zaman tüketmekte ayrıca grafit kalıbın koruması gerekliliğinden dolayı gereksiz olmaktadır. Kalıp malzemesi olan grafit matris malzemesi ile reaksiyona girer ve birleşir ve bu nedenle soket sıcak presten çıkmadan önce kolaylıkla parçalanabilir. Ayrıca bazı karbür yapıcı elementler matrisin yumuşaklığını bozar. Örneğin kobalt esaslı bir matriste artan krom miktarı Kirkendall etkisi (Bir difüzyon çiftinde eşit olmayan difüzyon hızlarından dolayı arayüzeyin hareket etmesidir) nedeniyle gözenekli yapının artmasına veya istenmeyen sigma fazının oluşmasına yol açar [45]. Yukarıdaki nedenlerden dolayı, günümüzdeki trend kimyasal duyarlı matrislerdense metal ile kaplanmış elmasların kullanılması yönündedir.

Soket üretim işlemi, elmasın bozulma aşamasına göre belirlenir. Son ürünlerdeki elmas tanelerinin özellikleri büyük oranda soket işleme sıcaklığı ve matrisin kimyasal bileşimine bağlıdır. Sentetik elmaslar 800°C 'den sonra sertliklerini kaybetmeye başlarlar. Metalik inklüzyonların (Çeliğin içerisindeki metal olmayan; Sülfür-SO<sub>3</sub>, Silika-SiO<sub>2</sub> ve Alümina-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi çeliği kirleten kalıntılardır) varlığından dolayı, bu zayıflama 1000°C 'den sonra daha hızlı bir şekilde meydana gelir. Bu nedenle, elmas tanesinin termal kararlılığı matris tozlarının sıcak presleme işlemi 1100°C civarında yapılması gerektiğinde dikkate alınmalıdır [26].

Elmas sertliğindeki azalmaya ek olarak, yüzey grafizasyonu hem sentetik hem de doğal elmas tanelerinde görülür. Bu işlem yaklaşık 700 °C civarında başlar [47]. Açık bir şekilde grafit dönüşen elmasın yüzdesi minimum seviyeye indirilmelidir, bu yapılmadığı takdirde takımın ömrü azalır. Bu olay özellikle ince taneli elmas içeren uygulamalarda önemlidir. Genellikle, soket üretiminde elmas tanecik boyutu ne kadar küçük olursa, sıcaklık o denli yüksek ve daha uzun süre sıcak presleme zamanı gerektirmektedir. Bu da elmas yüzeyinde daha fazla grafizasyon artışına neden olacaktır. Demir, kobalt, nikel ve tungsten gibi metaller fark edilir derecede karbon çözücü olduğu için elmas yüzeyini etkiler ve elmasın kullanılmadan yapıdan uzaklaşmasına neden olur [48]. Bunların dışında işlem sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, sıcak pres sarf malzemeleri tüketimi de o denli fazla olur, bu da işlemin ekonomikliğini azaltır. Bu nedenle matris tozları karışımı, sıcak presleme işleminde elde edilecek yaklaşık yoğunluğa göre sınıflandırılır. Bu tür sınıflandırma soket üretimi imalat şekline göre Tablo 3.1’de verilmiştir.

En çok kullanılan matris malzemeleri, kobalt, demir, nikel, kalay, bronz alaşımları, tungsten ve tungsten karbürden oluşur. Elmaslı takımlarda doğru matris seçimi karmaşık bir işlemdir. Bu nedenle yumuşak (aşınmaya daha az dirençli) bir matris seçilmesi testerenin kayayı daha rahat kesebilmesi için tercih edilir. Daha sonra, takım özelliklerini optimize etmek için katkı maddeleri eklenebilir. Çok aşırı koşullarda temel matris malzemesi bile matrisi sertleştirmek için değiştirilebilir.

**Tablo 3.1.** Soket üretimi sınırlamaları [26].

| Sinterleme sıcaklığı | Elmas bozulma miktarı                                                                    |                                                                                                 | Sıcak pres malzemelerinin tüketimi (Grafit kalıp ve elektrotlar, soket tutucu aparatlar, seramik izolatör vb.) |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | Elmas tipi: Sentetik (şekilsiz, aşırı sert ve yüksek oranda metalik inklüzyonlar içeren) | Elmas tipi: Sentetik ya da doğal elmas (kübik şekilli, berrak ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı) |                                                                                                                |
| 900°C’ye kadar       | az                                                                                       | az                                                                                              | az                                                                                                             |
| 900-1000°C           | orta                                                                                     | az                                                                                              | orta *                                                                                                         |
| 1000 - 1100°C        | yüksek                                                                                   | az-orta                                                                                         | yüksek *                                                                                                       |

\*Koruyucu gaz altında yapılan vakumlu presleme grafit tüketimini azaltır.

### 3.1.3. Elmas Tanecik Seçimi

Verilen herhangi bir uygulamada bütün ihtiyaçları karşılamak için, bazı faktörler dikkate alınmalıdır. Bu sebepten dolayı aşağıdaki özellikler çok büyük öneme sahiptir. Bunlar;

- Elmas tipi,
- Tanecik boyutu,
- Elmas yoğunluğu.

#### 3.1.3.1. Elmas Tanecik Tipi

Sokette kullanılacak elmas aşındırıcı tipi işlenecek taş göre belirlenir. Bundan dolayı en iyi kural kesilecek taş ne kadar sert ise, o kadar sert elmas seçilmesidir. Elmas üreticileri, takım imalatçıları için mekanik dayanım, ısısal kararlılık ve matrise tutunma karakteristiği gibi farklı özelliklerde ve çok geniş alanda doğal ve sentetik elmas seçme olanağı sağlarlar. Doğal elmas ile sentetik elmas arasındaki temel fark impürite (kirlilik, katkı) miktarıdır [26].

Doğal elmaslar, parçalanmış doğal elmas parçacıkları olduğu için metalik inklüzyonlar (kalıntılar) içermezler. Bundan dolayı, önemli derecede termal kararlılık gösterirler. Sentetik elmas tanecikleri 800°C 'de sertliklerini kaybetmeye başlamasına rağmen, doğal elmas tanecikleri sertliklerini 1400°C 'ye kadar korurlar [49]. Doğal elmas taneciklerinin matrise tutunan yüzeylerinin gözenekli olmasından dolayı mükemmel derecede yapışma kabiliyetine sahiptirler. Bu sebepten dolayı doğal elmas tanecikleri mermer, kumtaşı ve düşük sertlikteki malzemelerin kesiminde avantajlıdır. Diğer taraftan şekilsiz olan elmas yüzeyinin mekanik dayanımı azdır. Daha sert taşların kesiminde bu engel yüksek şok kuvvetlerine dayanıklı olarak dizayn edilen yuvarlatılmış elmaslı kesici takımların kullanılmasıyla bu sorun ortadan kalkar [50]. Fakat yuvarlatılmış elmaslı kesici takımlar çok daha yüksek kesme kuvveti gerektirdiğinden, sonuç olarak daha dayanıklı ve daha güçlü makineleri gerektirmektedirler. Bütün bunlara rağmen yuvarlatılmış doğal elmas taneciklerinin seçimi yüksek sinterleme sıcaklıklarına dayanabildikleri ve daha düşük fabrikasyon maliyeti gerektirdikleri için tercih edilmeleri bazı avantajlar sağlamaktadır. Bahsedilen bu iki elmas aşındırıcılar Şekil 3.5 'de gösterilmektedir [26].



(a)



(b)

**Şekil 3.5.** Doğal elmas aşındırıcılar  
(a) Şekilsiz (b) Yuvarlatılmış

Sentetik elmas kullanılmasının temel avantajı, bu elmas türünün özel uygulama ihtiyaçlarına göre tasarlanması ve üretilmesidir [29]. Üreticilerin çeşitli taleplerine göre farklı tane boyutlarında iki grup sentetik elmas vardır. Sentetik elmas kristallerinin farklı içyapıları için kobalt esaslı veya nikel esaslı alaşımlar kullanılarak bu elmaslar yapılır. Kobalt esaslı elmaslarda kobalt ara tabakalar arasına girerek metalik inklüzyon şeklinde görülür. Oysa nikel esaslı elmaslarda impüriteler elmas tanesi içinde düzenli olarak dağılır. Bunun sonucunda mükemmel berraklık ve dış görünüş, sıcak preslemeden sonra da iyi mekanik özellikler elde edilir [51,52]. Şekil 3.6 'da iki farklı elmas türü görülmektedir.





(a)



(b)

**Şekil 3.6.** Sentetik elmas tanecikleri  
(a) Kobalt esaslı sentetik elmas  
(b) Nikel esaslı sentetik elmas

Elmasın katalitik grafisasyonuna VIII. grup metallerinin neden olduğu bilinmektedir [53]. Elmasın grafitte dönüşümü % 56 hacim artışı ile sonuçlanır. Grafizasyon gerilimleri ve termal gerilmelerin oluşumu elmas-metal ara yüzeyinde ısı genleşme katsayısında zayıflamaya hatta elmas partiküllerinin parçalanmasına neden olur [50]. Sonuç olarak inklüzyonların miktarı ve hareketi sıcak presleme işlemlerine göre elmasın aşınma karakteristiklerini değiştirerek her elmas taneciğinde görülmektedir.

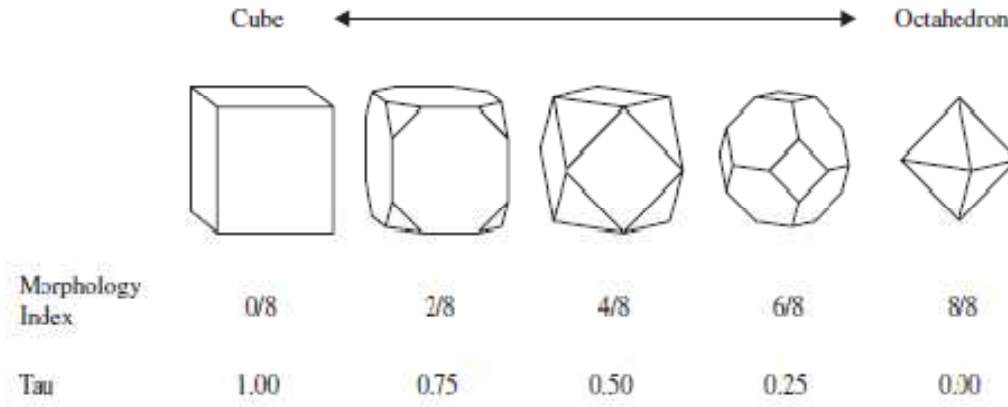
Kobalt esaslı alaşımdan üretilen elmas tanelerinde, inklüzyonların geometrik olarak düzenli ve sıralı olduğu, nikel esaslı alaşımdan üretilen sentetiklere göre kıyaslandığında daha düzensiz ve çatlama eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Bu özellik düşük kesme hızlarında kesme işlemini kolaylaştırır. Fakat güç gerektiren uygulamalarda takım yetersiz kalır [51].

Son kırk yıldan günümüze kadar, laboratuvar teknikleri elmas tanelerinin termal stabilitesi ve dayanıklılığını ölçmek için geliştirilmektedir. Günümüzdeki mevcut endüstrinin standart muayene işlemi darbe testidir. Bu işlemde, titreşen bir kapsül içinde bulunan elmas numuneleri ve deney bilyesi kapsül içindeki elmas parçacıklarına çarpar [54]. Elmas ya ısıtma işlemi görmemiş halde ya da yüksek sıcaklıklarda ısıtma işlemi gördükten sonra kullanılır [51,54]. Bir başka yöntem de, soketin sıcak preslerde üretilmesinin elmas dayanımı üzerindeki karmaşık etkilerinin önceden tahmin edilmesine yardımcı olur [49]. Gerçi matris ile elmas ara yüzeyinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlardan dolayı matrisin kendisi elmas indirgenmesini hızlandırabilir [48,55]. Elmas tanecikleri dayanımını belirlemek için iki yol vardır. Birincisi yarılanma süresi fikrine dayanır, yani eleğin altında kalan elmasın %50'nin altında olması için gerekli zamandır. İkincisi ise sabit bir sürede ufalanma zamanına bağlı olarak elek altında kalan elmasın yüzdesinin ölçülmesidir. Bu deney tokluk indeksi (TI) veya numune deneyden önce ısıtma işlemi görürse termal tokluk indeksi (TTI) olarak adlandırılır.

Son zamanlarda keşfedilen diğer bir teknik de baskılı kırılma dayanım deneyidir [53,54]. Bu deneyde iki adet dönen merdane yaylı yük ölçere bağlıdır ve test örneğindeki birbirinden ayrı elmas parçacıkları bilgisayarlı yük ölçer ile dinamik olarak yüklenir ve kırılır. Her bir kristali kırmak için gerekli olan kuvvet ölçülür ve işlenir, sonuçta parçadaki kristal dayanım deformasyonu hakkında geniş kapsamlı bilgi ile ortalama bir değer elde edilir.

Hangi yöntem seçilirse seçilsin, bu yöntemlerle elde edilen bilgiler takım üreticilerinin soket bileşimini ve üretim tekniğini tasarımlarında yardımcı olur ve önceden yapılan uygulamalar taneciklerin nasıl bir aşınma davranışı göstereceğini bilmelerine yardımcı olur.

Elmas taneciği, dayanımının bilinmesinin yanında, elmas üreticileri elmasın şeklinin elmas kalitesiyle aynı derecede öneme sahip olduğunu belirtir. Şekil 3.7 'de sentetik elmasların ideal kristal morfolojisi kübik yapıdan oktahedral yapıya kadar sıralanmıştır.



Şekil 3.7. Çeşitli sentetik elmas taneciklerinin gösterimi [26].

Elmas taneciğinin şekli, kullanımda sağlamlığını ve kırılma karakteristiklerini kesinlikle etkiler. Bu nedenle düzgün şekle sahip olan kübik-sekiz yüzlü şekilli elmaslar, düzgün olmayan köşeleri keskin ve kaba yüzeyli elmaslara göre daha dayanıklıdır. Ancak daha az miktardaki elmas tanecikler uygulamalarda daha iyi sonuçlar verir ve matrise daha iyi tutunur. Matrise iyi tutunma özelliği olan daha güçsüz elmas kristalleri genellikle katarak kesimi uygulamalarında gereklidir. Bu nedenle doğal elmas yerine uygun olarak seçilen sentetik elmaslarla soket karakteristiklerinin geliştirilmesinin çok büyük önemi vardır [27].

Elmaslı takımlarda matrisin en önemli görevi mümkün olduğu kadar uzun süre elmas kristallerini tutmasıdır. Genellikle, matristen kopan elmas parçaları miktarı ile kesme işlemi yapan elmas parçacıkları karşılaştırdığında matris elmas parçacıklarının tümünü tutamadığından dolayı kesme işlemi yapan elmas parçacıklarının miktarı azdır. Kopma oranı 1/4'den az ise bu durum normal sayılır [58]. Çünkü metalik matrislerin büyük çoğunluğu sadece elmasın mekanik olarak tutunma ilkesine dayanır. Özellikle çok güçlü blok şekilli ve oval yüzleri olan sentetik tanecikleri tutmak için matris geliştirmek kolay değildir. Bu nedenle elmasın kendisi kesme işlemi sırasında oluşan çekme kuvvetini minimize etmek için matris ile birlikte çalışmalıdır. Bu sorunun üstesinden gelmek için iki yöntem vardır. İlk yöntem; termal ya da kimyasal işlem uygulayarak elmas parçalarının yüzeylerini pürüzlü hale getirmektir [59-61]. Ancak bilinen işlemler bazı dezavantajlara sahiptir. Matrise yapışma dayanımı artmadan önce oldukça fazla miktardaki malzeme elmas yüzeyinden kaldırılmalıdır. Yüzeydeki oyulmada elmasın sağlamlığını ve dayanımını azaltacak derecede risk vardır. Bu yüzden bu yöntem genel uygulamalarda kullanılmaz.

Matristeki elmas tutulumunu geliştirmek için en etkin yol kristalleri gl karbür yapıcı elementler titanyum [58,62-64] krom ya da zirkonyum [64] gibi malzemelerle ince bir film halinde kaplamaktır. Ek tabaka olarak [58], veya iki kat tabaka olarak tercihen nikel karbür yapıcı tabakayı oksidasyondan korumak için kullanılır ve kristalin matris malzemesi ile tutunmasını sağlar. Kaplanmış elmasların sağladığı avantajlar, artan takım ömrü, düşük testere çevresel hızlarında iyi kesim [58], elması yüzey grafizasyonundan [62] oksidasyon ve istenmeyen matris bileşimlerinden koruma [65], matris özelliklerinde istenmeyen etkileri azaltmaktır. Kaplanmış elmasların kullanımları genelde granitin işlenmesi ile sınırlandırılmıştır. Fakat günümüzde kaplanmış elmaslarla kumtaşı ve mermer gibi taşlar kesilmektedir [52].

### **3.1.3.2. Elmas Tanecik Boyutu**

Elmas taneciğinin büyüklüğü, matris yüzeyinden elmas çıkıntı yksekliliğini belirler ve kesicinin kesme yüzeyinden aıklılığına etki eder. Etkili bir kesim için, elmas taneciğinin büyüklüğü ile kesilecek malzeme arasında yakın bir ilişki vardır.

Pratikte tavsiye edilen elmas tane boyutları aşağıdaki gibidir [66,67].

- 50/60 US mesh –ok sert ince taneli malzemeler için (akmaktaşı, çok sert granit),
- 40/50 US mesh - sert, ince taneli malzemeler için ( granit, bazalt),
- 30/40 US mesh – orta serlikteki malzemeler için (mermer),
- 20/30 US mesh – ok yumuşak malzemeler için (iri taneli kireçtaşı-kumtaşı).

Mkemmell yüzey bitirme işlemleri ve pah kırma işlemleri için daha ince taneli elmasların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Herhangi bir türdeki elmasın daha küçük boyutlu olanı daha dayanıklı olduğundan özellikle daha sert taşların işlenmelerinde kullanılır. İri taneli elmas kullanılması başlıca avantajı yüksek kesim hızlarında daha iyi olmasıdır. Çünkü iri taneli elmaslar talaş boşluğunun fazla olması ve kesilen taş parçacıklarının testerenin her dönüşünde daha fazla miktarda kesim bölgesinden rahat çıkması sayesinde kesilen taş daha temiz yüzeyli olarak çıkar. Ancak çok iri taneli grit çok sert malzemelerin kesme işlemlerinde kullanılırsa hem matristen elmaslar kopar hem de elmas yüzeyinde aşınmadan ötürü düzlükler oluşur. Bu da elmasın parlamasına ve kesim işleminin yapılamamasına neden olur [68].

### 3.1.3.3. Elmas Yoğunluğu

Soket içindeki elmas miktarı elmas ağırlığına bağlıdır. Teorik hacmi  $1 \text{ cm}^3$  olan matriste 4.4 karat elmas taneciği bulunur (hacim = % 25). Diğer konsantrasyonlar bununla orantılıdır. Elmas yoğunluğu elmas parçacık boyutu ile birlikte, soketin kesme yüzeyindeki her bir kesme noktası sayısı ile belirlenir. Tablo 3.2’de gösterildiği gibi elmasların toplam sayısı ve matrise bağlantı yeri, elmas yoğunluğu ile doğru ortalama parçacık boyutu ile ters orantılıdır.

**Tablo 3.2.** Aşınan soketin bir  $\text{cm}^2$  alanındaki yüzeye çıkmış elmasların toplam sayısı [69].

| Mesh    | Elmas konsantrasyonu |     |     |     |     |     |
|---------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | 15                   | 20  | 25  | 30  | 35  | 40  |
| 25 / 35 | 14                   | 19  | 24  | 29  | 34  | 38  |
| 30 / 40 | 22                   | 30  | 37  | 45  | 52  | 60  |
| 35 / 40 | 26                   | 34  | 43  | 51  | 60  | 68  |
| 40 / 50 | 38                   | 51  | 63  | 76  | 88  | 101 |
| 50 / 60 | 65                   | 87  | 109 | 131 | 153 | 174 |
| 60 / 80 | 85                   | 114 | 142 | 170 | 199 | 227 |

Soket yapımında hangi konsantrasyonun kullanılacağı çeşitli etkenlere bağlıdır. Öncelikle soket bileşimini belirlemek için kesilecek malzeme ve özellikleri dikkate alınmalıdır. Genel olarak, kesilecek malzemenin daha çok ufalanması ve aşınması isteniyorsa, elmas yoğunluğu daha yüksek olmalıdır.

Elmas yoğunluğunun azalmasıyla, her elmas başına düşen kuvvet bununla orantılı olarak artar. Her bir elmas parçasının kaldırdığı artan malzeme miktarıyla belirli bir kritik noktaya ulaşılır. Elmasın dayanım noktası ve tokluğu aşıldığı zaman parçalanmaya başlar ya da tam olarak kullanılmadan matristen kopar.

Takım ömrünü arttırmak için yüksek oranda elmas kullanıldığı için yüksek kesim gücüne de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu güç kesici makine tarafından sağlanmadığı sürece her bir tane üzerine düşen kuvvet bununla orantılı olarak azalır. Bunun sonucunda elmas kesme derinliğine ulaşamaz, matris yüzeyinde kalır ve elmas parlamaya başlar. Böyle durumlarda kesmenin çok az ya da hiç olmadığı görülür ve testeredeki soketlerin yenilenmesi gerekir [66,70].

Bazı durumlarda, ki bu optimum güç kontrolü iyi yapılmış makinelerde mevcuttur, hem soket aşınması hem de kesme maliyetleri elmas konsantrasyonu arttırıldığı zaman büyük oranlarda azaltılabilir. Bu durum farklı granit türlerinin kesimlerinde kanıtlanmıştır [67,68]. Yapılan kesme işlemleri ve deneylerin sonuçlarında matris yüzeyinden dışarı çıkan elmasların ancak az orandaki bir bölümünün (yaklaşık % 26) her zaman doğru kesim yüksekliğinde olduğu görülmüştür [72].

#### **3.1.4. Elmaslı Soket İmalatı**

Genellikle elmas içeren takımların üretiminde tipik fabrikasyon işlemleri aşağıdaki aşamalardan meydana gelir. Bunlar:

- Matris toz karışımının hazırlanması,
- Matris-elmas karışımının hazırlanması,
- Soğuk presleme (isteğe göre),
- Sıcak presleme,
- Bitirme işlemleri,
- Soket kalite kontrolü,

##### **3.1.4.1. Metal Matris Toz Karışımının Hazırlanması**

Matris tozunun hazırlanması iki işlemden oluşur. İlk olarak, partikül şekli ve tane boyutu göz önüne alınarak iyi bir şekilde seçilen metal tozları önceden belirlenen kimyasal bileşime göre karıştırılır. Bu işlem genellikle köşegen şekilli, eksenden kaçık karıştırıcılar veya 3 boyutlu mikserler kullanılarak yapılır. Bu işlemle, tozlar birbirinden çok farklı yoğunluğa sahip olduğunda bile mükemmel karışım sonuçları elde edilir. Bağlayıcı maddeler ve yağlayıcılar bu aşamada dökülen toz miktarını azaltmak, taşıma ve işleme sırasında segregasyonu engellemek için toza eklenir. Ayrıca sonraki soğuk ve sıcak pres işlemlerinde çelik kalıpların aşınmasını engellemek ve oksidasyonu önlemek için de yağlayıcılar kullanılır. İkincil olarak, toz soğuk preste hacimsel olarak basılacaksa ilaveten ikincil granülizasyon yapılır. Buradaki amaç tozun kalıp içine daha kolay konmasını sağlamak ve presleme karakteristiklerini iyileştirmektir. Granülizasyon farklı şekillerde

yapılabilir [73]. Fakat pratikte elmaslı takım endüstrisinde iki farklı teknik çok sık kullanılır. Bunlardan spartan granülatörü olarak adlandırılan ve eski olanıdır ki yüksek hızlı karıştırma tekniğinden ibarettir [74,75]. En son teknik ise mekanik olarak yuvarlama işlemidir. Bu işlemle elmas partiküllerinin de tek aşamada granüle olması sağlanır [76].

İşlenme şekline bakmaksızın, organik bağlayıcılar toz partiküllerini bir araya getirmek ve ayrıca granüllere mekanik bir dayanım vermek için kullanılır. Bağlayıcı, sıcak pres işlemleri süresince yapıdan tamamen çıkacak, uygun termal özelliklere sahip olmalıdır. Aksi takdirde soketlerin kalitelerini azaltan ve testereye lehimlenmesinde problemlere neden olan kalıcı bir gözenekli yapı oluşturur.

#### **3.1.4.2. Metal Matris-Elmas Karışımının Hazırlanması**

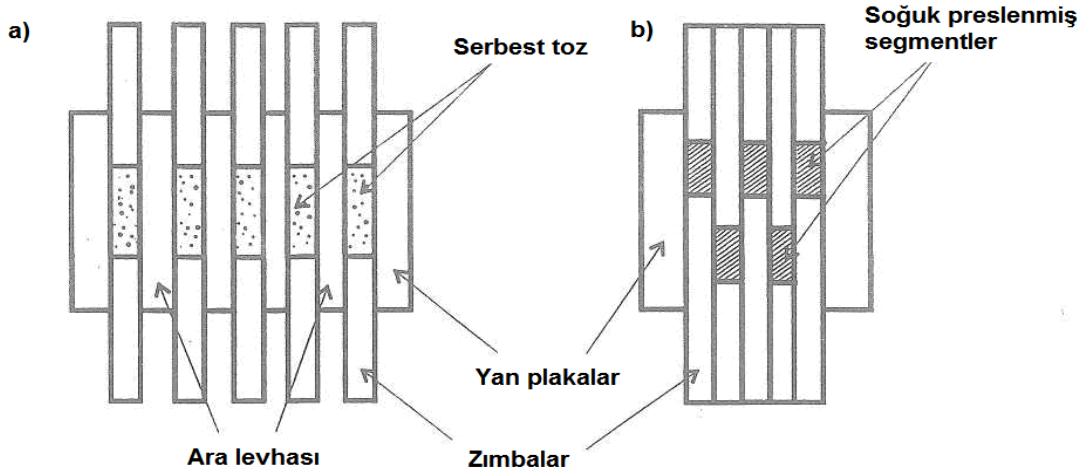
Elmaslar matris tozlarıyla karıştırılmadan önce ya alındıkları gibi ya da yüzeyleri uygun malzemelerle kaplanılarak kullanılırlar [74,76]. Şüphesiz, karışım işlemi son ürünün kalitesi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Hem matris tozlarının hem de elmas kristallerinin homojen olmayan dağılımı soketin zamanından önce aşınmasına neden olur. Bu nedenle, her bir elmas tanesi ayrı ayrı matris tozu ile kaplandığından, soket içindeki bölgesel elmas yoğunlukları (kluster) elimine edilir ve daha homojen elmas dağılımı garantilenmiş olur. Elmaslı granül kullanılmasının diğer bir avantajı ise çelik soğuk pres kalıplarının sert aşındırıcı parçalardan etkin bir şekilde ayrılmasından dolayı daha uzun ömürlü olmalarını sağlamasıdır.

#### **3.1.4.3. Soğuk Presleme**

Soğuk presleme, matris tozu-metal karışımının kalıplarda şekil verilerek sıcak presleme öncesi gerek duyulursa yapılan bir ön işlemdir. Bu işlem için ek bir donanım gerekmesine rağmen, önceden soğuk preslenmiş parçalar sıcak presleme işlemi süresince, grafit kalıbın aşınmasını azaltır ve üretim miktarını artırır. Şekil 3.8(b)'de görüldüğü gibi önceden soğuk preslenmiş parçalarla doldurulan kalıp, soğuk presleme yapılmadan toz ile doldurulan kalıptan daha fazla sayıda parça alır [26].

Bununla birlikte, soğuk presleme işlemi çok tabakalı soketler üretileceği zaman yapılması zorunlu hale gelir.

Geleneksel soğuk presleme işlemleri düşük ya da orta düzeyde basınç seviyesinde çelik kalıplar ile yapılır. Elmaslı takım endüstrisinde soğuk presleme işlemleri için iki tip makine kullanılır. Geleneksel preslerde kalıbın doldurulması için titreşimli bir yol ile gelen matris-elmas karışımı hassas terazilerle tartılarak, doğru miktarda kalıba doldurulma prensibiyle çalışır. Geleneksel ağırlık hacim ilkesiyle çalışan presler, az oranda soket imalatının gerekli olduğu yerlerde daha fazla esneklik sağlarlar. Fakat oldukça yüksek olan işletme giderlerinden ve granüle edilmiş tozların kullanılması zorunluluğundan dolayı, soketlerin seri üretiminde hacim ilkesi ile çalışan (volumetrik) ekipman 3–4 kat daha hızlı çalışması, daha uzun ömürlü olması, çelik kalıpların daha ucuz olması ve diğer soğuk pres sarf malzemelerinin daha az olmasından dolayı tercih edilir [77].



**Şekil 3.8.** Toz karışımlarının grafit kalıba yerleşimi  
(a) Serbest haldeki karışım (b) Soğuk preslenmiş karışım [26].

#### 3.1.4.4. Sıcak Presleme

Sıcak presleme işlemi, ısı ve basıncın bir araya gelerek neredeyse tamamen iç gözeneklilikten arınmış bir ürün elde etme işlemidir. Geleneksel soğuk pres-sinterleme işlemleriyle karşılaştırıldığında sıcak presleme tekniği daha az güç, daha kısa süre, (genellikle 2–3 dakika) ve daha düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyar. Ayrıca bu teknikte soğuk presleme-sinterleme işlemine göre, daha yüksek yoğunluklara ulaşılır.

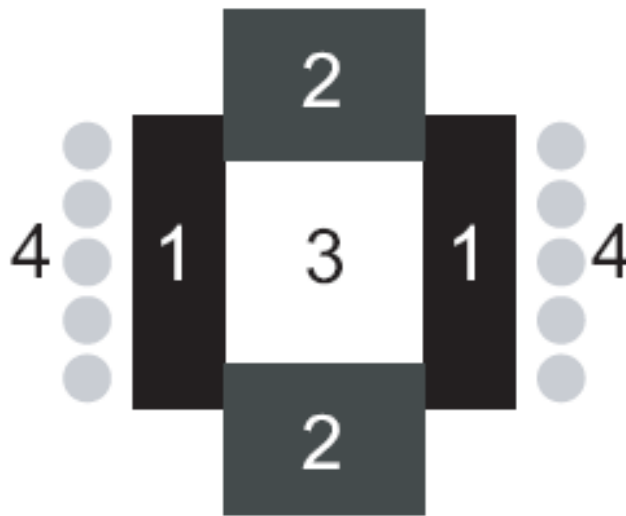
Ticari olarak satılan sentetik elmasların yüksek sıcaklıklara karşı olan dayanımı az olduğu için ve matrisin mükemmel mekanik özelliklerine karşı olan talebin artması nedeniyle, doğal olarak hızlı sıcak presleme tekniğinin elmaslı kesici takımlarda çok



geniş bir kullanım alanı vardır. Genel kullanımda ikinci olarak, yüksek sıcaklıklarda soketlerin üretiminde daha etkin, hem metal tozunu hem de elmas tanesini oksidasyona karşı koruma yolu CO/CO<sub>2</sub>’ atmosferinin kullanılmasıyla elde edilir.

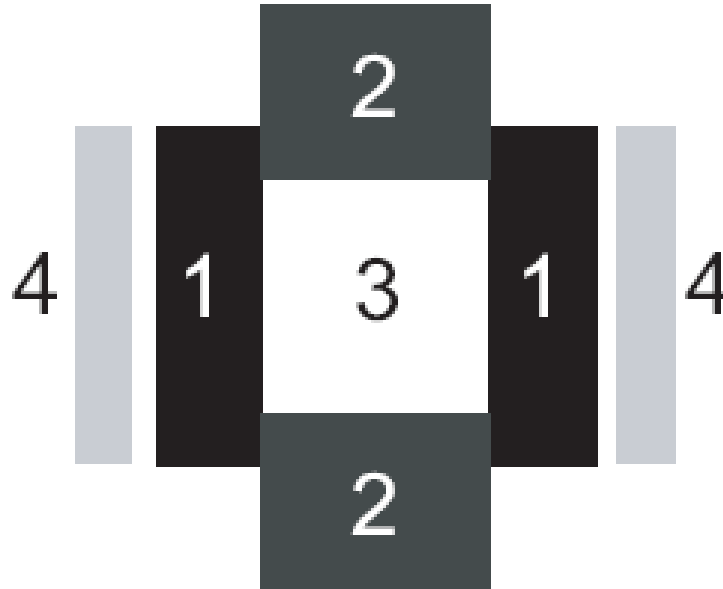
Sıcak presleme işleminde üç ayrı ısıtma tekniği kullanılmaktadır. Bunlar indüksiyon ile ısıtma, endirekt dirençli ısıtma ve direkt dirençli ısıtmadır.

İndüksiyon ile ısıtma işleminde, yüksek frekanslı akım ile kalıp içerisindeki tozların ısıtılması esasına dayanır. Metal ya da grafitten yapılan kalıplara basınç uygulanarak tozların sıkışması sağlanır. Kalıp indüksiyon sargısı içerisine bırakılır. Sinterleme işlemi süresince yüksek frekans jeneratörü ve indüksiyon sargısı ile kalıbın ısıtılması sağlanır. Bu yöntemin avantajı basınç ve indükleme gücünün tamamen birbirinden bağımsız olmasıdır. Düşük basınçlarda sıvı faz sinterleme işlemini yapmak mümkündür. Yöntemin dezavantajları yüksek frekans jeneratörünün pahalı ve kalıbın yerleşiminin çok düzenli olması gerekmektedir. Kalıp düzenli olarak yerleştirilemez ise ısı yayılımı düzgün olmaz. Sistemin temel dezavantajı, sıcaklığın tam olarak dağılımını sağlayabilmenin zor olmasıdır. Manyetik alan kalıbın içerisine sadece 0.5 ila 3 mm nüfuz etmektedir. Buradan da anlaşılabacağı gibi sıcaklık kalıbın ısıl iletkenliği ile yayılır. Kalıbın merkezinin ısıtılması çok zordur. Bu nedenden dolayı başka bir potansiyel sorun ise çok yüksek ısıtma oranlarında yüksek sıcaklık farkları kalıbı tahrip edebilmektedir. Şekil.3.9 ’da (1. Grafit yan tutucular, 2. Baskı grafitleri, 3. Preslenecek malzeme, 4. İndüksiyon sargısı.) şematik olarak indüksiyon ile ısıtma gösterilmiştir [78,79].



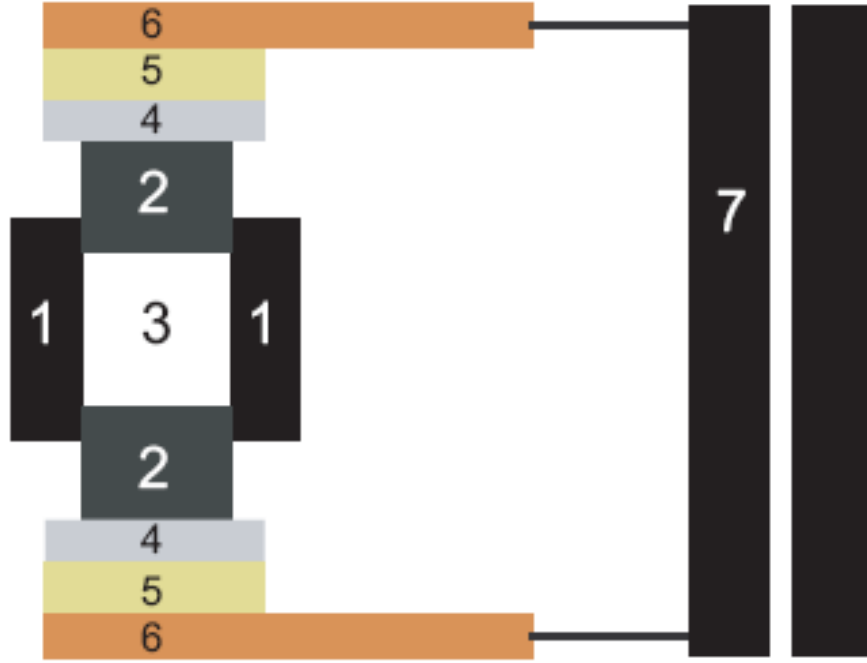
**Şekil 3.9.** İndüksiyon ile kalıbın ısıtılması

Endirekt dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp ısı bölmesine konumlandırılır. Isı bölmesi elektrik akımı ile ısıtılan grafit ısıtma elemanlarıyla ısıtılır. Isınan grafit ısıtıcılar kalıp ile temas halinde olduğundan ikincil olarak kalıbı ısıtırlar bu nedenle işlem endirekt dirençli ısıtma olarak adlandırılır. Yöntemin avantajı yüksek sıcaklıklara çıkabilmesi, kalıp malzemesinin ısıl iletkenliğinden bağımsız olması sıcaklık ve basıncın birbirinden bağımsız olarak kullanılabilmesidir. Yöntemin temel dezavantajı ise kalıbın ısıtılmasının çok zaman alması ve kalıbın dıştan içe doğru ısınması ile ısının eşit olarak dağılmasının uzun süre almasıdır. Şekil 3.10 'da (1.Grafit yan tutucular, 2. Baskı grafitleri. 3. Preslenecek malzeme, 4.Grafit ısıtıcı.) şematik olarak endirekt ısıtma tekniği gösterilmiştir [78,79].



**Şekil 3.10.** Endirekt ısıtma tekniği

Direkt dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp direkt olarak elektrik gücü ile ısıtılır. Kalıp ve toz parçanın direnci ile ısı tam olarak kalıpta oluşur. Sonuç olarak ısıtma hızı çok yüksektir. Önceki iki teknik ısı iletimi ile ilişkili iken direkt dirençli ısıtma teknolojisinde ısı ihtiyaç duyulan yerde üretilmektedir. Şekil 3.11 'de (1. Grafit yan tutucular, 2. Baskı grafitleri, 3. Preslenecek malzeme, 4.Grafit elektrot, 5. Bronz plaka, 6. Bakır elektrot, 7. Güç kaynağı.) şematik olarak direkt ısıtma tekniği gösterilmiştir [78,79].



Şekil 3.11. Direkt ısıtma tekniği

#### 3.1.4.5. Bitirme İşlemleri

Sıcak presleme işleminden sonra soketlerin temizlenmesi ve köşelerindeki tortuların alınması gerekmektedir. Bu işlem pratikte taşlama makineleri ile ya da alümina veya silisyum karbür taneleri içeren kazanlarda soketlerin yüzeysel aşınma işlemine tabi tutularak yapılmasıdır. Temizleme işlemi soketin testereye daha iyi kaynak/lehim edilmesini sağlar [26].

#### 3.1.4.6. Mermer Kesici Takım Soket Kalite Kontrolü

Soketin kalite kontrolü genellikle, sertlik testi ile sınırlıdır. Basitliği ve düşük maliyeti yüzünden en genel metot Rockwell B veya Brinell sertlik testidir. Uygun olarak yoğunlaşan matris-elmas karışımıyla matris bileşimine bağlı olarak en yüksek sertlik değeri elde edilir. Diğer taraftan, soketin yapısı herhangi bir yönden zarar görürse ya da yoğunlaşma tamamlanamaz ise, sertlik belirlenen oranda olmaz. Bunun sonucunda matris aşınma dayanımı kötü olur ve matrisin elması tutma kabiliyeti zayıflar. Bu nedenle sertlik değerlerinde en ufak bir şüphe var ise yapılan soketlerin yoğunluğunun ölçülmesi diğer önemli bir kalite kontrolüdür [26].

#### 4. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Yapılan literatür araştırması açısından bakıldığında dünya genelinde birçok çalışma yapıldığı ancak ülkemizde bu konu üzerinde yapılan çok az sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmaların birçoğu da teorik ağırlıklı olup mermer kesici takımların geliştirilmesi için yeterli düzeyde değildir.

Bunlardan Karagöz ve Zeren [80,81], yaptıkları çalışmada doğal taş ve/veya mermer kesici takım matrisini oluşturan bileşimleri sabit tutarak sinterleme koşullarını değiştirmişlerdir. Uygulanan sıcak preslemede basınç 350 Mpa ve sinterleme sıcaklığı 730 °C olarak sabitlenmiş ve sinterleme süresi değiştirilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda doğaltaş ve/veya mermer kesme koşullarında yapılan aşınma testlerinde etken aşınma mekanizmaları saptanarak malzemenin aşınma karakteristiği ortaya konmuştur.

Ersoy ve Atıcı [82], tarafından yapılan çalışmada mermer kesicilerin aşınma mekanizmaları teorik incelenmiştir. Bu bildiride mermer kesici takımların aşınmasında birinci derecede abrasiv aşınmanın etkili olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmada ayrıca, kesici takımların tasarım ve çalışma parametreleri, doğal taş tipine göre optimize edilirse; kesici ömrünün uzayacağına ve mermer üretim maliyetlerinin düşeceğine dikkat çekmişlerdir.

Ersoy ve diğ. [83], yapmış oldukları çalışma ile farklı kayaların elmaslı dairesel testere ile kesilmesinin aşınma karakteristiğini incelemişlerdir. Dairesel testerelerin kayaları aşındırma ile kesmesini etkileyen faktörleri belirlemişlerdir. Her bir kaya tipi için testerenin aşınmasını (ağırlık ya da kütle kaybı), ayrı ayrı yapmış oldukları bir dizi test sonucunda; testerenin aşınmasının birçok şekilde olabileceği ancak en yaygın aşınma mekanizmasının abrasiv aşınma olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Dwan ve Blake [84], çalışmalarında elmas katkılı kobalt esaslı metal matrisin aşınma sürecini incelemişlerdir. Özellikle kobaltın çok yönlü özelliklere sahip olduğu nedeniyle geniş bir kullanım alanı olan elmas katkılı kobalt esaslı metal matrisin özellikle de erosiv aşınma özelliklerini araştırmışlardır.

Liao ve Luo [85], mermer kesici takımlarda matris karakteristiğinin abrasiv aşınmaya etkisini incelemişlerdir. Bunun için sıcak presleme yöntemi kullanılarak kobalt esaslı birkaç matris üretilmiş ve mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerinde araştırma yapmışlardır.

Olivera ve arkadaşları [86], Fe-Cu esaslı elmaslı boncuk kesiciler üzerinde araştırma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada; Fe-Cu, Fe-Cu-SiC ve Fe-Cu-SiC-Diamond bileşimlerinden oluşan kesici takımlar üretmişler ve bu kesici takımların mikro yapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir.

Xu ve Yu [87], çalışmalarında, Ti-Cr kaplamalı elmaslı kesici takımların geliştirilmesini amaçlamışlardır. Yapılan bu çalışmada; Ti-Cr kaplamalı elmaslar ve metal tozları metal esaslı matris formunda sıcak presleme ile üretilmiştir. Numunelerin çapraz kırılma direnci için üç nokta eğme (three-point bending) deneyi yapılmıştır. Numunelerin kırık yüzey analizleri için SEM ve EDS kullanılmıştır. Numunelerin kesme performansı olarak ise granit kesme esnasında aşınma performansı ölçülmüştür.

Nitkiewicz ve Swiery [88], doğal taş kesiminde kullanılan sıcak preslenmiş elmaslı metal matris kompozisyonuna kalay katkı oranının etkisini incelemişlerdir.

Daha önce yapılan çalışmalarda da görüldüğü gibi ülkemizde mermer kesici takımlarda matris kompozisyonun aşınma performansına olan etkisi konusunda yeterince çalışma yapılmamıştır. Yapılacak olan bu çalışmanın gerek üretim gerekse literatür konusunda önemli katkılar sağlayacağı ümit edilmektedir. Bu nedenle, kobalt katkı oranının arttırılmasıyla mermer kesici takımı matris malzemesinin aşınma performansına nasıl bir etki yapacağının araştırılması amacıyla bu tez konusunun;

*“Mermer Kesici Takımlarda Matris Kompozisyonunun Aşınma Performansına Etkisi”* olması kararlaştırılmıştır.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere dört çeşit alaşım, toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Alaşımların üretimlerinde % 99,9 saflıkta ve tane iriliği 1,1 – 200 µm aralığında olan Fe, Cu, Co ve Sn tozları kullanılmıştır. Öncelikle saf Fe, Cu ve Sn'dan meydana gelen referans (N1) malzeme üretilmiştir. Daha sonra referans malzemesine değişik oranlarda Co ilave edilerek üç çeşit (N2-N3-N4) deney malzemesi (mermer kesici takım soket matrisi) üretilmiştir (Tablo 5.1).

**Tablo 5.1.** Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler

| Numune No | Alaşım Elementleri, % Ağırlığı |    |    |    |
|-----------|--------------------------------|----|----|----|
|           | Fe                             | Cu | Sn | Co |
| N1        | 78                             | 20 | 2  | -  |
| N2        | 68                             | 20 | 2  | 10 |
| N3        | 63                             | 20 | 2  | 15 |
| N4        | 58                             | 20 | 2  | 20 |

#### 5.1.1. Soketlerin Üretiminde Kullanılan Metal Tozların Özellikleri

Mermer kesici takım soketlerinin üretiminde kullanılan tozlar piyasadan hazır olarak, uygun tane büyüklüğüne sahip olacak şekilde temin edilmiştir. Tablo 5.2'de kullanılan tozların imalatçıları ve tane boyutları gösterilmektedir.

**Tablo 5.2.** Deneysel çalışmalarda kullanılan tozlar ve imalatçıları

| Metal Tozlar | Üretici                        | Tane Boyutu (µm) |
|--------------|--------------------------------|------------------|
| Fe           | Romanya                        | 200              |
| Cu           | Makin Metal Powders, İngiltere | 40–45            |
| Co           | Finlandiya                     | 1,1–1,5          |
| Sn           | Makin Metal Powders, İngiltere | 48               |

## 5.2. Metal Tozların Hazırlanması

Piyasadan hazır olarak alınan metal tozları Şekil 5.1 'de görülen 0,00001 g hassasiyetindeki SCALTEC SBC 22 tipi terazi ile daha önceden belirlenen mermer kesici takım soketi toz malzemesine uygun olarak tartılarak karıştırılmaya hazır hale getirilmiştir.

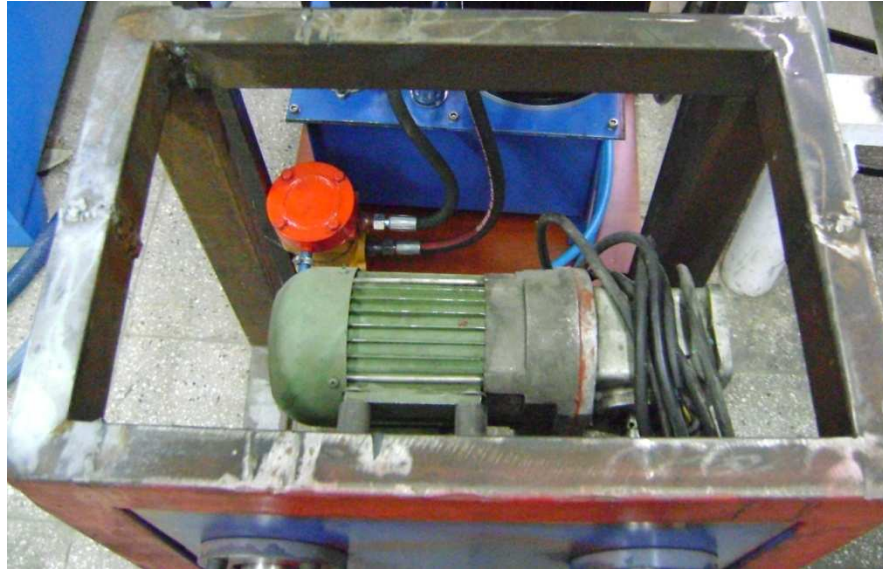


Şekil 5.1. Hassas terazi

## 5.3. Metal Toz Karışımlarının Hazırlanması

Saf haldeki metal tozlarının birbiriyle iyice karıştırılarak üretilecek mermer kesici takım soketi matrisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla karıştırma işlemi için özel olarak tasarlanmış Furbula ( $\infty$  tipi); kapalı toz hazneli, iki kg toz kapasiteli, üç boyutlu dönebilen bir mikser kullanılmıştır (Şekil 5.2). Bu mikserin toz haznesi özellikle kapalı tipte olup toz içine konulduktan sonra dış ortam ile tozların ilişkisini

kesmek amacıyla kapağı sıkıca kapatılmaktadır. Mikser çalıştırıldıktan sonra tozun iyice karışabilmesi için toz haznesi 360°'lik turlarla her yöne dönebilmekte ve böylece tozların birbiriyle iyice karışması sağlanmaktadır [26].



**Şekil 5.2.** Üç boyutlu dönebilen toz karıştırma mikseri [26].



Daha önceden tartılarak hazırlanan Fe, Cu, Sn ve Co tozları iki aşamada; yukarıda anlatıldığı şekilde tasarlanan ve özel olarak imal edilen üç boyutlu karıştırma makinesi kullanılarak karıştırılmıştır. İlk aşamada alaşım tozları uygun kaplara bırakılmış halde 15 dakika süre ile 20 dev/dak hızda karıştırılmıştır. İkinci aşamada ise çapı 8 mm olan dışı krom kaplı çelik bilyelerle birlikte numunelere % 1 Polietilen Glikol (PEG) eklenerek 30 dakika süre ve 20 dev/dak hızda karıştırılmıştır. Metal kaplı bilye kullanımındaki amaç karışıma katılan PEG'in topaklanma oluşturmalarını engellemek ve karışımın homojen olmasını sağlamaktır.

Karıştırma işlemi bittikten sonra elde edilen karışım her bir numune için gerekli olan miktara uygun olarak tekrar tartılarak hazırlanmıştır. Bu işlemin böyle yapılmasının nedeni her bir numuneyi tek tek karıştırmak yerine birlikte karıştırdıktan sonra, bir numune için gerekli olan miktarda tartarak zamandan ve enerjiden kazanç sağlamaktır. Soket üretmek için hazırlanan alaşımlar daha sonra oksitlenmeyi önlemek amacıyla hava geçirmeyen kilitli plastik torbalara konularak koruma altına alınmıştır.

#### **5.4. Metal Toz Alaşımlarının Sıcak Preslenmesi**

Mikroyapı ve mekanik özellikler bakımından toz metalurjisi üretim yöntemlerinde önemli bir yeri olan sıcak presleme, mermer kesici takım üretimi yapan tüm yerlerde kullanılmaktadır [26]. Bu nedenle bu tez çalışmasında daha önceden doktora tez projesi [26] için imal edilmiş bulunan sıcak presleme makinesi ile sıcak presleme yöntemiyle üretilcek numunelerin boyutlarına göre çeşitli ebatlarda hazır olarak grafit kalıplar da temin edilerek kullanılacaktır.

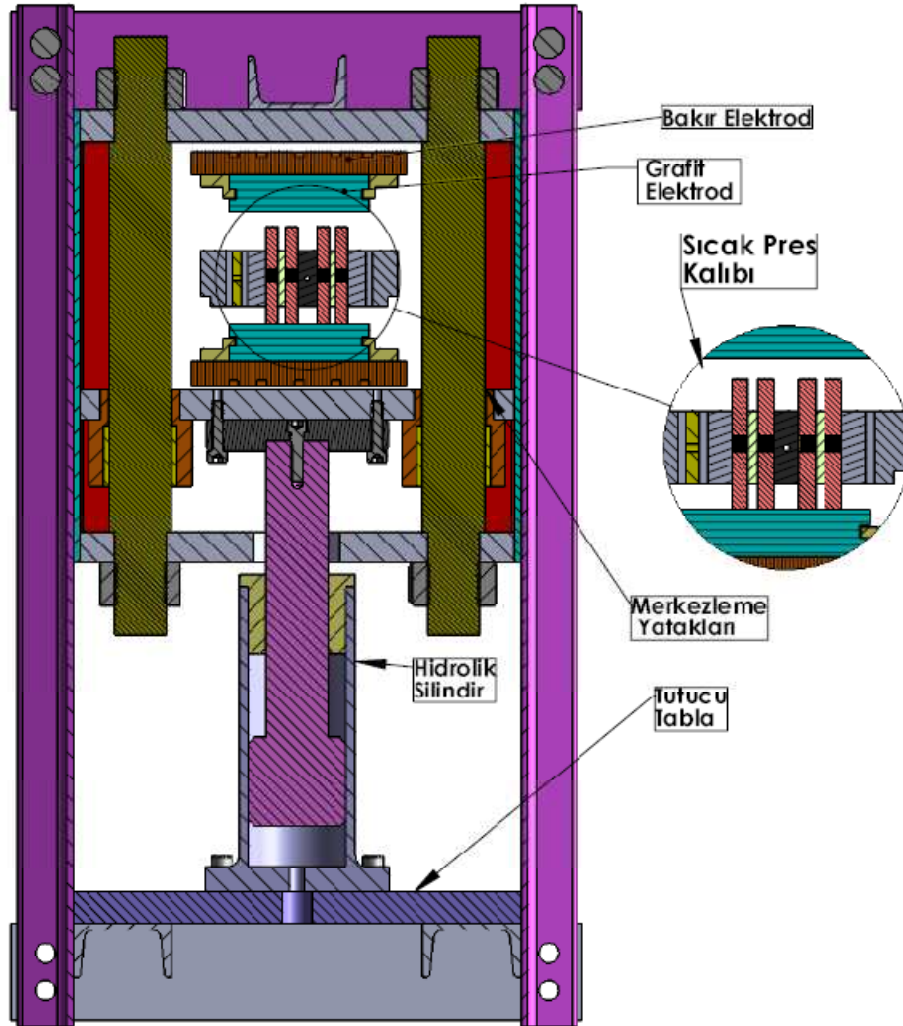
##### **5.4.1. Sıcak Presleme Makinesi**

Metal toz karışımlarının sıcak preslenebilmesi amacıyla kullanılacak “Sıcak Presleme Makinesi” Şekil 5.3 'de görüldüğü gibidir. 25 kW gücündeki bu makinede basınç bir hidrolik ünite vasıtasıyla sağlanmaktadır. Makinenin üniteleri; bakır elektrod, grafit elektrod, sıcak presleme kalıbı, hidrolik silindir ve tutucu tabladan ibarettir.

Sıcak presleme makinesi laboratuvar tipinde olup, piyasada satılmakta olan endüstriyel tip sıcak preslerin tüm özelliklerine sahiptir. Bu özellikler, koruyucu gaz atmosferinde çalışma, basınç kontrolü, sıcaklık kontrolü, sıcaklık-zaman kontrolü, yirmi

bir basamağa kadar işlem parametresi belirleyebilme, işlem sıcaklığı ve anlık sıcaklığı gösterebilme ve 1400°C sıcaklığa çıkabilme özelliklerine sahiptir [26].

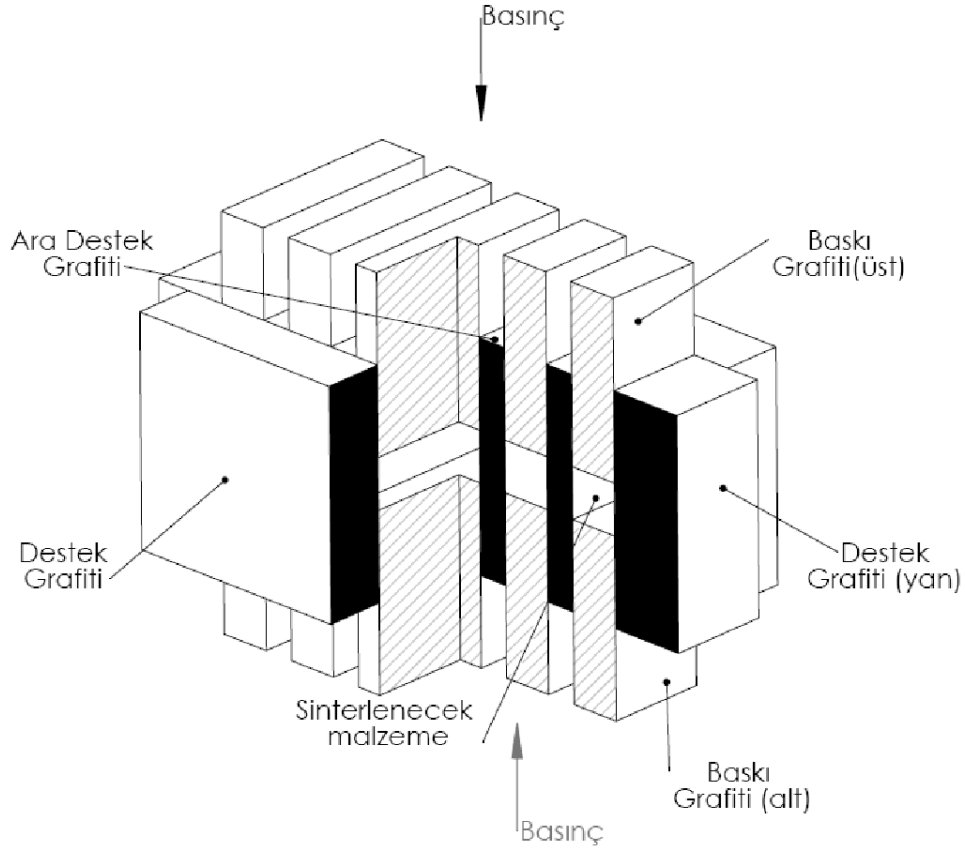
Bu makinada koruyucu gaz atmosferi altında sinterleme işlemi yapılabilmektedir. Sıcak presleme makinesi su soğutmalı bakır elektrotlar sayesinde sürekli olarak çalışmaya uygundur. Kullanılan güç kontrolü ayarlaması ile ısıtma hızının ayarlanabilmesi sağlanmıştır. Sıcak presleme makinesinde sıcaklık kontrolü için termokupl uygun bir yere entegre edilerek belirlenen sıcaklıklarda ve sürelerde ısıtma gücünün istenilen değerlere ulaşması sağlanmıştır. Makinenin kontrol panosuna yerleştirilen manometre, ampermetre, voltmetre ve sıcaklık adım kontrol cihazı ile sistemdeki tüm değişkenlerin görülmesi ve kontrol edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.3. Sıcak presleme makinesi [26].

#### 5.4.2. Sıcak Presleme Kalıpları

Sıcak presleme makinesinde metal toz karışımının üzerinden elektrik akımı geçirilmek suretiyle basınç altında sinterleme işleminin yapılabilmesi için grafit kalıplar kullanılmaktadır. Baskı grafiti, ara destek grafiti ve yan destek grafiti parçalarından meydana gelen grafit kalıplar Şekil 5.4 'de gösterildiği gibidir.

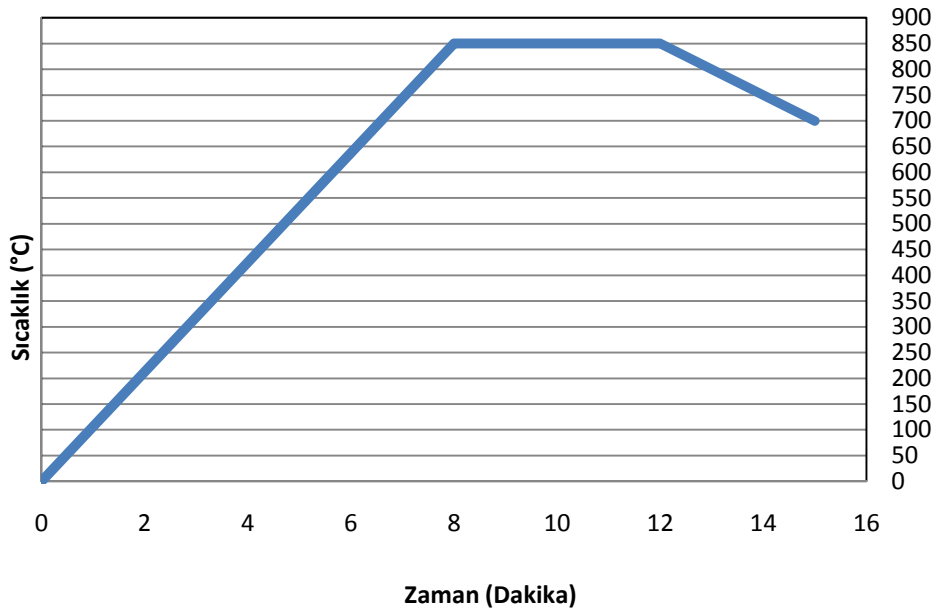


Şekil 5.4. Grafit kalıpların perspektif görünümü [26].

#### 5.4.3. Sıcak Presleme İşlemi

Hazırlanan metal toz alaşımlarını kullanarak deney numunelerinin üretimi için her bir alaşım numunesinden 20 gr olacak şekilde, metal toz karışımı  $10^{-5}$  g hassasiyetindeki bir terazide tartılarak sıcak presleme işlemine hazır hale getirildi. Hazırlanan bu metal toz alaşımı Şekil 5.4'de gösterilen grafit kalıplardaki odacıklara döküldü. Daha sonra metal tozu dökülen kalıp odacıkları üst baskı grafitleriyle kapatıldı. Grafit kalıplar çelik bir çekirdek etrafında tork anahtarı ile baskı pimlerinden kuvvetlice sıkıştırıldı. Grafit kalıpları

tutacak olan elik çekirdek kalıp gövdesi ile grafit kalıplar arasına yalıtım amaçlı olarak uygun malzemeler konuldu. Sıcaklığın doğru olarak okunması için kalıp merkezindeki grafit parçaya 3,5 mm çapında delik delinerek termokopulun ucu tam merkeze yerleştirildi. Bütün bu işlemelerden sonra sinterlenmeye hazır hale getirilen metal toz alaşımı doldurulmuş elik kalıp ve grafit kalıp bloğu koruyucu gaz atmosferi altında sıcak presleme işleminin yapılacağı bölüme yerleştirildi. Bu işlemin ardından toz karışımının birim alanı üzerine yaklaşık 5 MPa basınçtan başlayıp sıcaklık 850°C ye ulaştığında basınç 35 Mpa olacak şekilde baskı yapılarak sabit sıcaklık ve basınçta dört dakika beklendi ve basınç 35 MPa değerinde gelince 850°C’de 4 dakika bekletilerek numunelerin sinterlenmesi sağlandı. Daha sonra ısıtma nitesi devreden çıkarak numunelerin kalıp içerisinde 35 MPa basınçta oda sıcaklığına ulaşıncaya kadar soğuması beklendi. Bu işlemler koruyucu argon atmosferi altında kapalı kalıp kullanılarak yapıldı. Kalıp soğuduktan sonra zlerek içindeki sinterlenmiş numuneler çıkartılmıştır. şekil 5.5’de 850 C’de yapılan sinterleme işleminin zaman-sıcaklık diyagramı görülmektedir.



şekil 5.5. Sinterleme sıcaklık-zaman grafiği (0-850 C)

### 5.5. Sertlik lme İşlemi

Toz metalurjisi yöntemiyle sıcak preslenerek üretilen deney numunelerin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla BABA marka serlik lme cihazında 62,5 kg yük ve 2,5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği Brinell cinsinden ölçülmüştür. Ölçülen

sertlik değerlerinin tam olarak belirlenmesi için numunelerin orta, u, ara ve arka bölgelerinden ölçümler yapılmış ve her bir numuneden toplam 5 adet sertlik değeri alınmıştır. Daha sonra en yüksek ve en küçük sertlik değeri çıkartıldıktan sonra kalan sertliklerin ortalaması alınarak numunelerin ortalama sertlik değerleri bulunmuştur.

### 5.6. Üç Noktalı Eğme Deneyi (Three Point Bending)

Numunelerin eğilme mukavemeti üç noktalı eğme deneyi ile ölçülmüştür. Bu deneyde kullanılan eğme deneyi SCHIMATZU marka niversal deney makinesi ile ASTM B 528-83a standardına göre şekil 5.6 'da gösterilen ve özel olarak imal edilmiş aparat kullanılarak numunelerin eğilme mukavemetleri TRAPEZIUMX yazılımı kullanılarak ölçülmüştür. Eğilme mukavemeti aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\sigma = ( 3 \times P \times L ) / ( 2 \times t^2 \times w )$$

Bu denklemde:

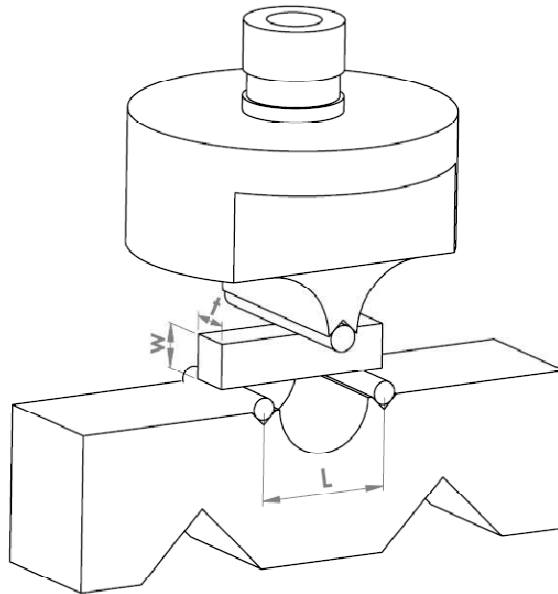
$\sigma$  : Eğilme mukavemeti (N/mm<sup>2</sup>)

P: Kırılmadan nceki yük (N)

L: Destek noktaları arasındaki mesafe (mm)

w: Numune yüksekliği (mm)

t: Numune kalınlığı (mm)



**şekil 5.6.**  noktalı eğme deneyinin şematik görünümü [26].



## 5.8. Mikroyapı İncelemeleri

Hazırlanan numunelerin mikroyapısını incelemek için öncelikle numuneler 80, 220, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh'lik su zımparalarıyla yüzeyleri düzgün hale getirildi. Daha sonra elmas yağlayıcı ve 1 mikronluk elmas pasta kullanılarak numunelerin yüzeyleri çuha ile parlatıldı. Parlatma esnasında saf alkol kullanılarak numune yüzeyleri temiz tutuldu. Temizlenen yüzeyler uygun kimyasal maddeler ( $\text{HNO}_3$  ve saf alkol) ile dağlanarak farklı renk tonlarındaki bölgelerin ortaya çıkması sağlandı.

Mikroyapı incelemeleri için hazır hale getirilen numuneler Şekil 5.8 'de görülen F.Ü. Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü'ne ait optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır.

Optik mikroskopla yapılan incelemelerden sonra numunelerin mikro yapılarını daha detaylı incelemek ve sinterleme işlemlerinin yapılmasında ne ölçüde başarılı olduğunu anlayabilmek amacıyla, Fırat Üniversitesi Elektron Mikroskop laboratuvarında bulunan JEOL JSM 7001F FE-SEM taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve bunlara bağlı elektron enerji dağılım x-ışını (EDX) spektrometreleri ile detaylı mikroyapı incelemeleri yapılmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.8. Optik mikroskop



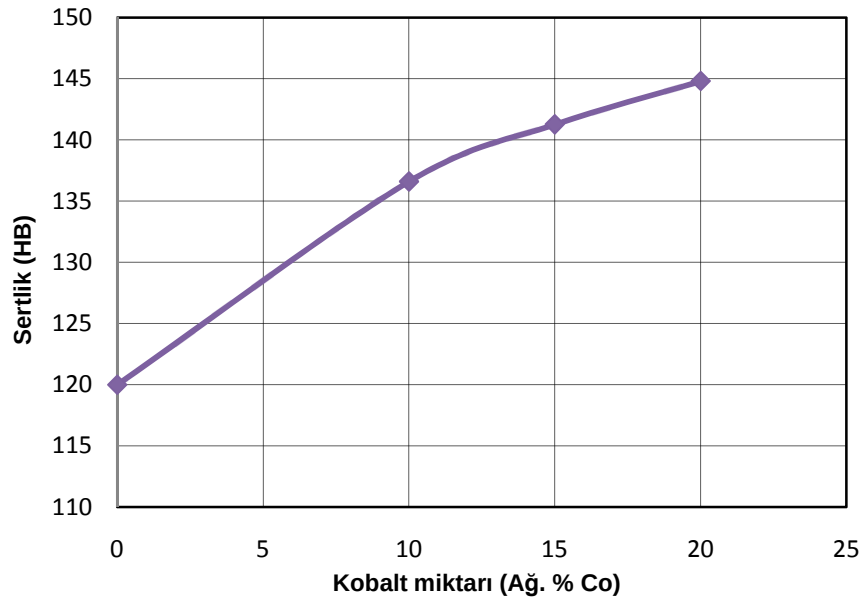
**Şekil 5.9.** Taramalı elektron mikroskobu (SEM)



## 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 6.1. Sertlik Ölçme Sonuçları

Toz metalurjisi teknikleri kullanılarak sıcak presleme yöntemiyle üretilen numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır. N1, N2, N3 ve N4 numunelerinin sertliği Brinell (HB) cinsinden ölçülmüştür. Numunelerin sertlik değerlerinin belirlenmesinde her bir numuneden 5 adet sertlik değeri alınmış ve ölçülen sertlik değerlerinin daha sonra aritmetik ortalaması alınarak numunelerin ortalama sertlik değerleri bulunmuştur. Şekil 6.1’de deney numunelerine ait Co oranına bağlı sertlik ölçüm sonuçları grafiği görülmektedir.



Şekil 6.1. Co oranına bağlı sertlik ölçüm sonuçları (HB)

Mekanik deneylerden, sertlik ölçümlerinde demir tozuna partikül ilave edildiğinde malzemenin sertliğinde artış gözlenmiştir [89]. Burada görüldüğü gibi Co ilavesi ile numunelerde belirgin bir sertlik artışı gözlenmiştir. N1 numunesinin sertlik sonucu 120 HB iken % 20 Co ilaveli N4 numunesinin sertlik değeri yaklaşık 145 HB olarak ölçülmüştür. Co ilaveli numunelerde Co oranı arttıkça sertlik değeri de orantılı olarak artmıştır. Deney numuneleri arasında en yüksek sertlik artışı N1 ve N2 numuneleri arasında görülmektedir.

N1 numunesi 120 HB iken N2 numunesi 137 HB sertlik değerine ulaşmıştır. Yine N3 numunesinde 141 HB sertlik ölçümü yapılmıştır. Bu da gösteriyor ki üretilecek mermer kesici takım soketinin kullanılacağı yere uygun olarak sert bir matrise sahip olması istenildiğinde Co ilavesiyle bu durumun elde edileceği anlaşılmaktadır. Aynı zamanda sert bir doğal taş kesiminde ise kesici takım soket matrisinin kolayca aşınması istenildiğinde Co oranında yapılacak değişikliklerle istenilen matris özelliği elde edilebilecektir.

## 6.2. Üç Noktalı Eğme Deneyi Sonuçları

Numunelerin enine kırılma mukavemetleri, üç noktalı eğme deneyi (three point bending) ile ölçülmüştür. Bu deneylerde ASTM B 528-83a standardına göre imal edilen özel aparat kullanılmıştır.

Bu çalışmada yapılan eğme deneylerinin tamamı 50.000 N kapasiteli ve bilgisayar kontrollü SCHIMATZU marka üniversal deney makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonuç grafikleri üniversal makineden alınan orijinal datalar ile elde edilen grafiklerdir.

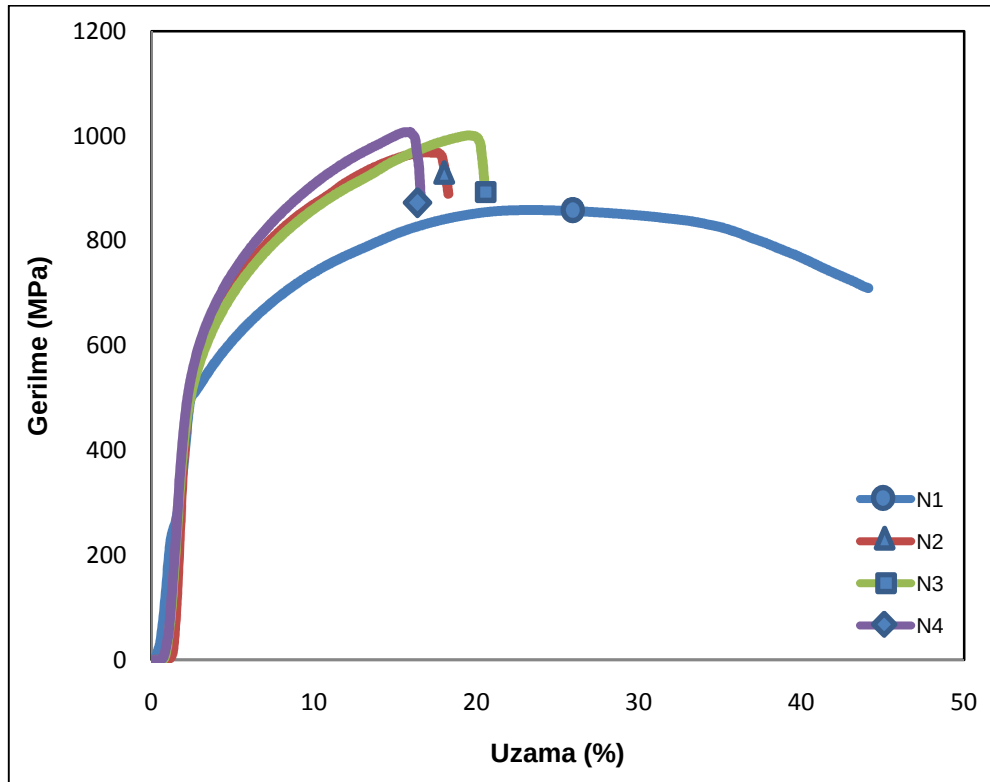
Yapılan tüm üç noktalı eğme deneylerinde numuneler teorik olarak kopma göstermiş ancak gözle görülen bir ayrılma kırılması meydana gelmemiştir (Şekil 6.2). Metal toz karıştırma işleminin iyi yapılarak homojen bir yapı elde edildiği ve yapılan sinterleme işleminde optimum değerlere ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Özellikle matriste bulunan Cu ve Sn elementlerinin de numunelerin kırılmamasında çok büyük etkisinin olduğu bilinmektedir. Bu nedenle daha önceden planlanan kırık yüzey incelemeleri yapılamamaktadır.



Şekil 6.2. Üç noktalı eğme deneyi ile plastik şekil değişimine uğramış numuneler

Şekil 6.3 'de deney numunelerine ait üç noktalı eğme deneyi sonuç grafiği görülmektedir.

Üç noktalı eğme deneyi sonuç grafiği incelendiğinde; Co ilavesiyle % uzama miktarının belirgin bir şekilde azaldığı buna karşın N2, N3 ve N4 numunelerinin eğilme mukavemetlerinin arttığı gözlenmiştir. N1 numunesi yaklaşık % 45 uzama miktarı ile N2, N3 ve N4 numunelerine göre daha fazla uzama miktarına ulaşmıştır.



Şekil 6.3. Üç noktalı eğme deneyi sonuçları

Deney numunelerine ait üç noktalı eğme deneyi grafiği incelendiğinde; N1 numunesinin eğilme mukavemeti 850 MPa olmuştur. N1 numunesi yaklaşık % 45 ile en fazla uzama gösteren numunedir. Deney sonucunda N1 numunesinde kopma/kırılma görülmemiştir. Diğer numunelerle mukayese edecek olursak tüm numunelerde Cu ve Sn oranı aynı olmasına rağmen Co ilave edilmesiyle N2, N3 ve N4 numunelerinin uzama miktarları belirgin bir şekilde azalmıştır.

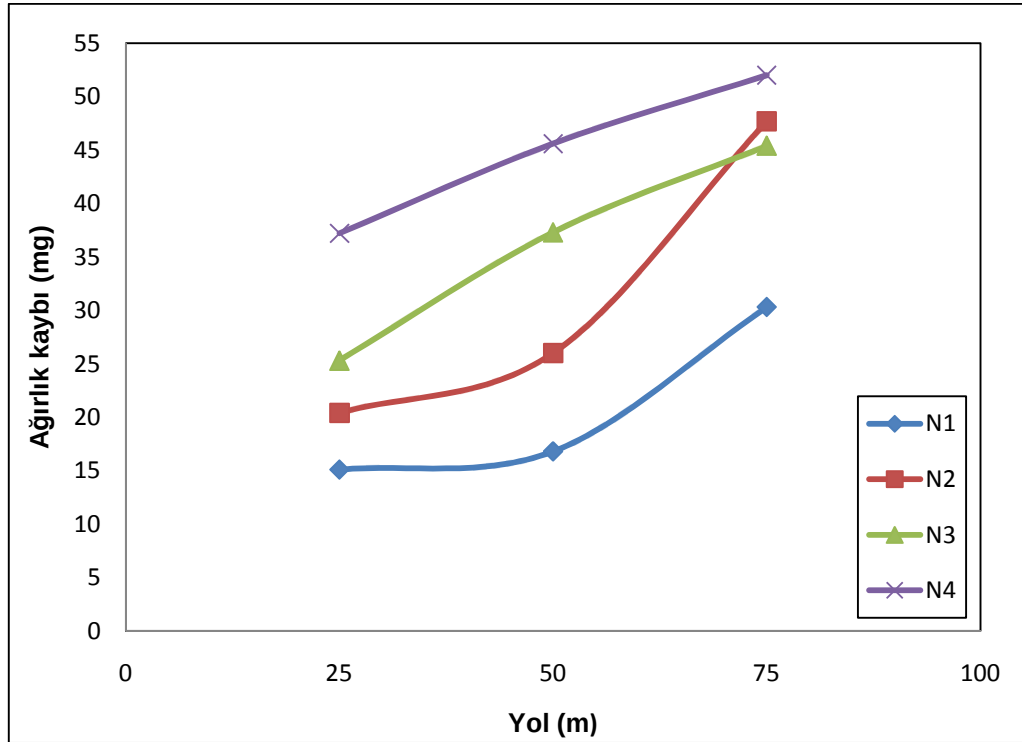
% 10 Co ilave edilmiş N2 numunesi için eğilme mukavemeti 970 MPa olurken uzama miktarı % 17 olarak ölçülmüştür. N3 numunesinin % 15 Co ilaveliyle birlikte eğilme mukavemeti 1000 MPa ve yaklaşık % 20 uzama değerlerine ulaşmıştır. Son olarak

% 20 Co ilaveli N4 numunesinin ise N3 deney numunesine yakın bir eğilme mukavemeti değeri ölçülmüştür. Ancak uzama miktarı olarak % 15 olarak tüm numuneler arasında en düşük yüzde uzama değerine sahiptir.

Sonuç olarak tüm numunelerin üç noktalı eğme deney sonuçları N1 numunesinin kompozisyonuna ilave olarak ağırlıkça % 10, % 15 ve % 20 Co eklenmesi eğilme mukavemetini artırmıştır. Ancak buna karşın yüzde uzama miktarları olarak N1 numunesine göre önemli miktarlarda azalma görülmüştür. Buna göre kobalt ilavesi ile numunelerin eğilme mukavemetleri artmış ancak yüzde uzama miktarları azalmıştır denilebilir.

### 6.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

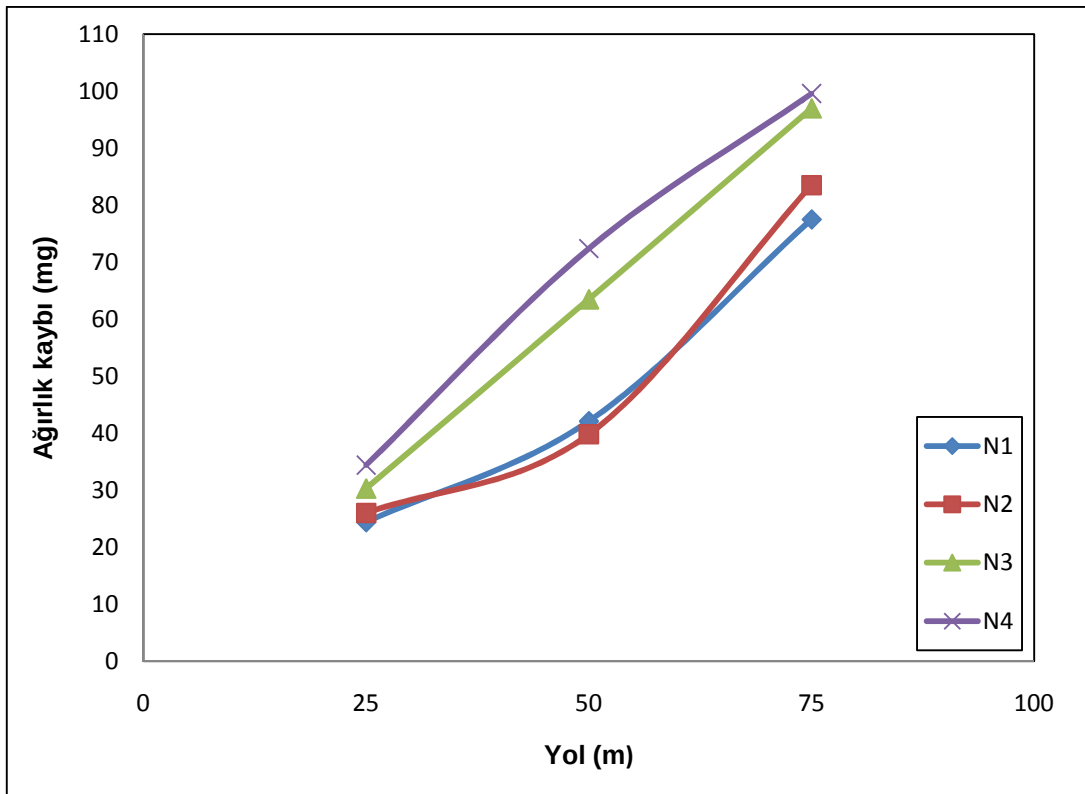
Şekil 6.4 'de tüm numunelerin 10 N yük altındaki aşınma deneyi sonuçları görülmektedir. Aşınma deneylerinde demir tozuna ilave edilen partikül miktarı arttıkça aşınma dayanımının azaldığı görülmüştür [89]. Bunun sonucunda da aşınma dayanımı azaldığı için ağırlık kaybı da artmaktadır. Bununla birlikte grafikte de görüldüğü gibi yol arttıkça numunelerdeki aşınma miktarı artmış dolayısıyla ağırlık kaybındaki da artmıştır.



Şekil 6.4. Tüm numunelerin aşınma deneyi sonuçları (Yük = 10 N)

Şekil 6.4 'deki grafik incelendiğinde N1 numunesinin ağırlık kaybı 150 m mesafede 62,2 mg 'dır. N2 numunesi 94,1 mg, N3 numunesi 108 mg ve N4 numunesi de 134,8 mg ağırlık kaybına uğramıştır. Aynı grafikte 25 m yol alındığında numunelerin ağırlık kayıpları sırasıyla 15,1 mg, 20,4 mg, 25,3 mg ve 37,2 mg olarak hesaplanmıştır. 50 m yol şartlarında sırasıyla 16,8 mg, 26 mg, 37,3 mg ve 45,6 mg ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Son olarak 75 m yol alındığında ise N1 numunesi 30,3 mg, diğerleri ise 47,7 mg, 45,4 mg ve 52 mg 'lık ağırlık kayıpları meydana gelmiştir. En fazla ağırlık kaybı 134,8 mg ile N4 numunesinde meydana gelmiştir. Bu durumda kobalt ilavesi arttıkça ağırlık kaybının da arttığı sonucuna ulaşılmıştır [89].

Şekil 6.5 'de 20 N yük altında tüm numunelerin aşınma deneyi sonuç grafiği görülmektedir. Burada yol artışına paralel olarak neredeyse lineer bir ağırlık kaybı artışı meydana gelmiştir.

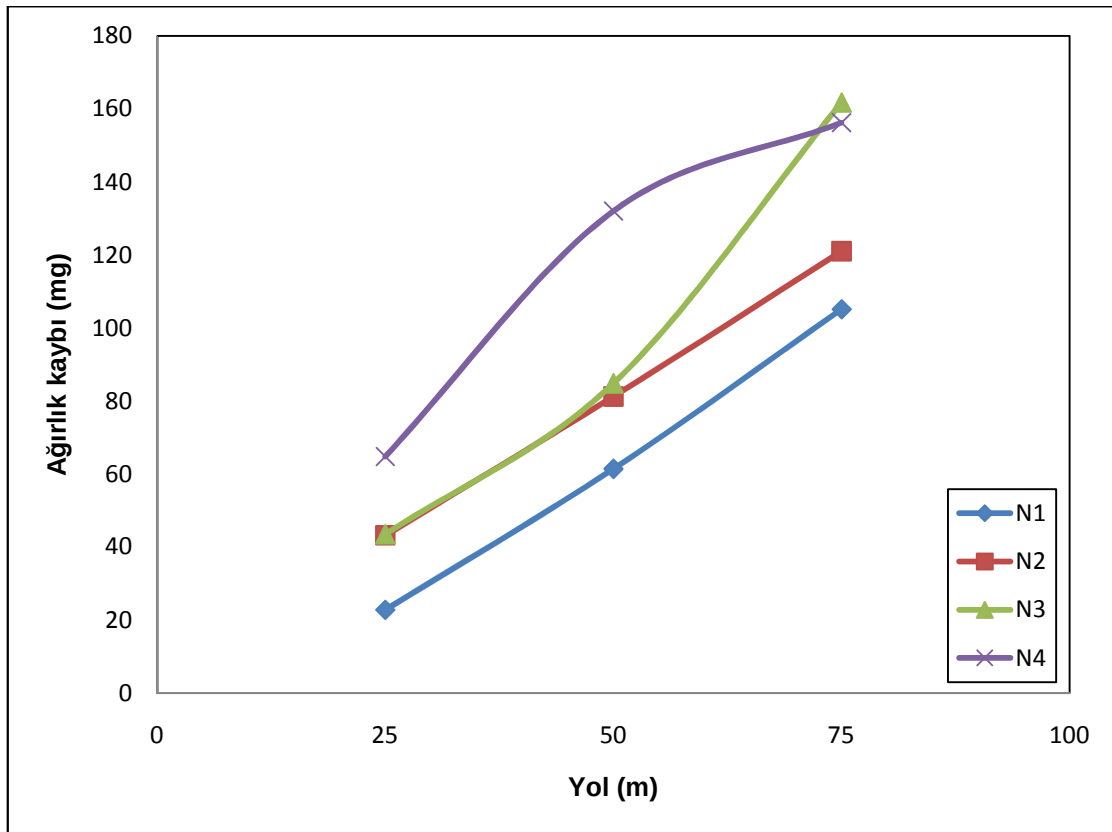


Şekil 6.5. Tüm numunelerin aşınma deneyi sonuçları (Yük = 20 N)

Grafik incelendiğinde aynı yol şartlarındaki aşınma miktarlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Burada da yine; N1 numunesi toplamda 144 mg ağırlık kaybına uğramıştır. N1 numunesiyle sırasıyla 25 m, 50 m ve 75 m mesafe alındığında

ağırlık kayıpları 24,4 mg, 42,1 mg ve 77,5 mg 'dır. N2 numunesi 26 mg, 39,8 mg ve 83,5 mg ağırlık kaybına 25 m, 50 m ve 75 m yol şartlarında uğramış ve toplamda 149,3 mg olmuştur. N3 ve N4 numuneleri ise sırasıyla 25 m yol için; 30,3 mg ve 34,4 mg, 50 m yol için; 63,5 mg ve 72,4 mg, 75 m yol için 97 mg ve 99,6 mg, toplamda ise 190,8 mg ve 206,4 mg ağırlık kaybına uğramışlardır. Bu durum bir önceki 10 N yük altında yapılan aşınma deneyi ile paralel sonuçlar vermiştir. Ancak yükün artmasıyla aşınma direnci daha da azalmış bunun sonucunda ağırlık kaybı da artmıştır.

N1, N2, N3 ve N4 numunelerine 30 N yük altında yapılan aşınma deney grafikleri Şekil 6.6 'da görüldüğü gibidir. N2 ve N4 numuneleri 25 m, 50 m ve 75 m yol alındığında birbirine çok benzer aşınma davranışı göstermiştir.



Şekil 6.6. Tüm numunelerin aşınma deneyi sonuçları (Yük = 30 N)

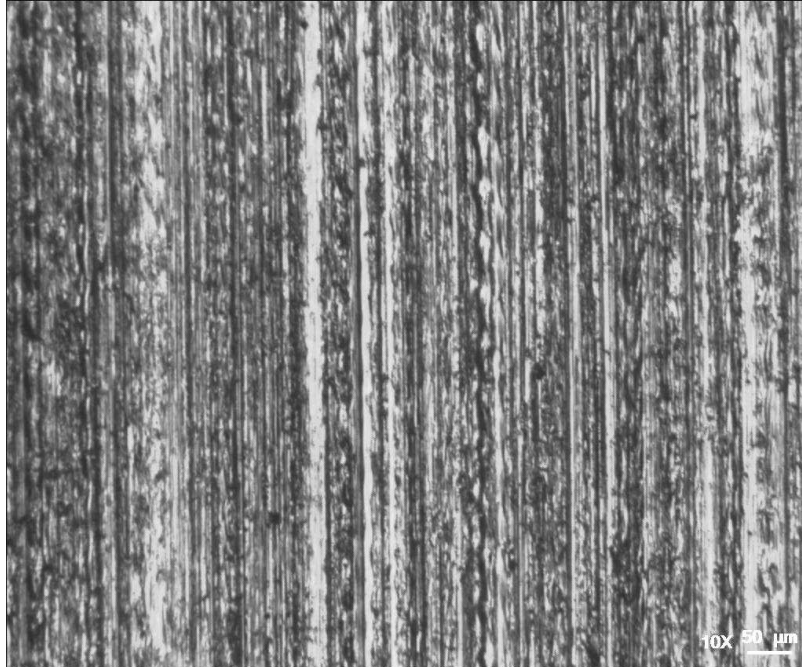
Şekil 6.6 'daki grafik incelendiğinde kobalt ilavesinin maksimum olduğu bu durumda aşınma performansı olarak da maksimum sonuçlar elde edilmiştir. Tüm numuneler için 25 m, 50 m, 75 m ve bunların toplamı olan 150 m yol koşullarında meydana gelen ağırlık kayıpları sırasıyla; 22,8 mg, 61,4 mg, 105,1 mg ve 189,3 mg; 43,2 mg, 81,2 mg, 121 mg ve 245,4 mg; 43,5 mg, 84,8 mg, 161,7 mg ve 290 mg; 64,8 mg, 132

mg, 156,2 mg ve 353 mg'dır. En fazla aşınma 30 N yük altında meydana gelmiştir. Bütün numunelerin ağırlık kaybı 1 gr'dan fazladır.

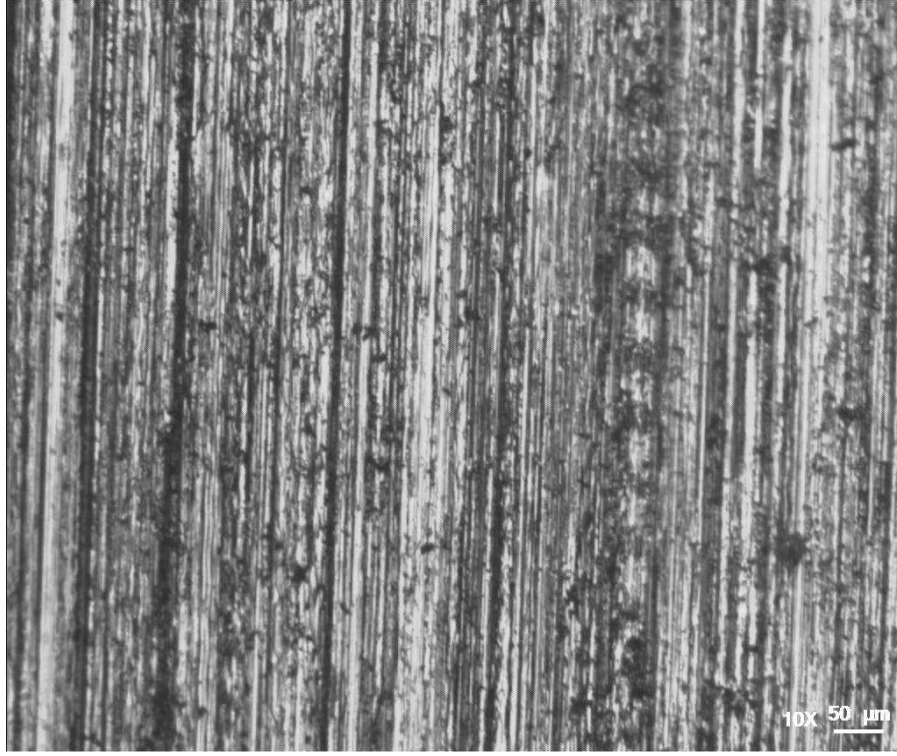
Sonuç olarak yapılan aşınma deneylerinde ortaya çıkan bu durumun sebebi partiküllerin hem boşluk etkisi oluşturmamasından hem de partiküller ile demir tozlarının tam olarak bağlanamamış olmasından kaynaklanabilmektedir [89]. Demir esaslı kompozitlerin fazla aşınmasının başka bir nedeni de aşınma deneyinin kuru ortamda yapılıyor olmasına bağlanabilmektedir [90].

N1, N2, N3 ve N4 numunelerinin aşınma deneyleri sonucunda oluşan aşınmış yüzeylerinin mikroyapıları incelendiğinde; aşınma izlerinin karakteristik yapıları Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10 'da görülmektedir. Numune yüzeylerinde aşınma sırasında oluşan çizikler belirgin bir şekilde görülmektedir. Başka bir ifadeyle aşınma izleri büyük çizikler halinde ve belirgin bir şekilde oluşmuştur.

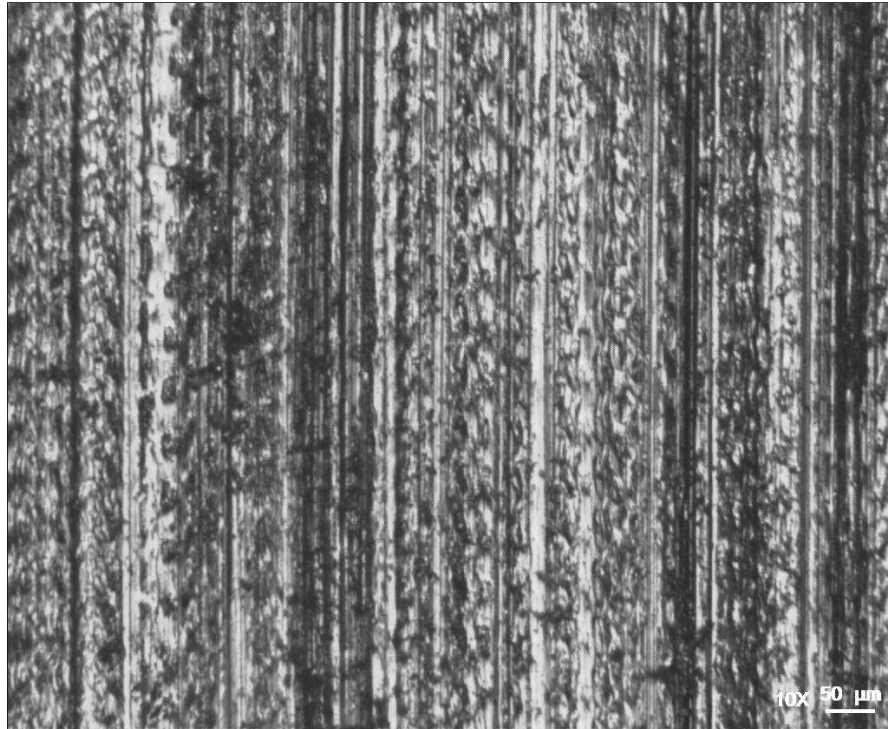
Resimler incelendiğinde yukarıda verilen aşınma deneyi grafikleri paralelinde ilave edilen % kobalt miktarı arttıkça aşınma izleri de aynı oranda artmıştır. Sonuç olarak aşınma grafikleri ve aşınmış yüzey resimleri birbirlerini destekler mahiyette artan % Co miktarına bağlı olarak aşınmayı arttırdığı dikkati çekmektedir.



**Şekil 6.7.** N1 numunesinin aşınmış yüzey resmi, X 100

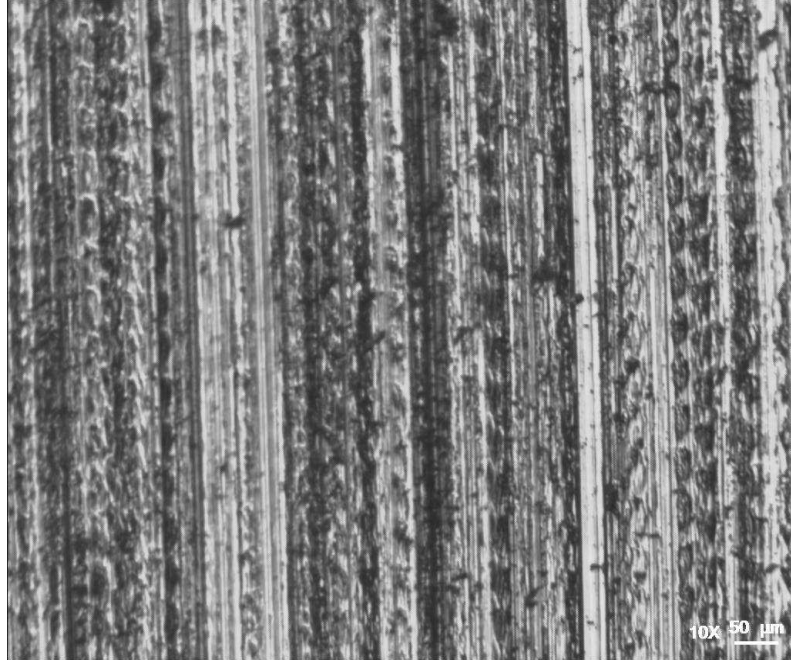


**Şekil 6.8.** N2 numunesinin aşınmış yüzey resmi, X 100



**Şekil 6.9.** N3 numunesinin aşınmış yüzey resmi, X 100

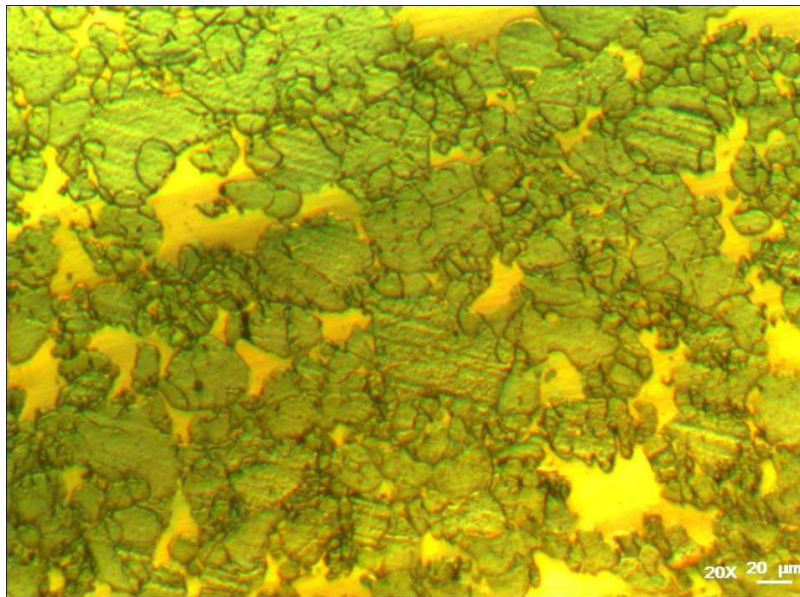




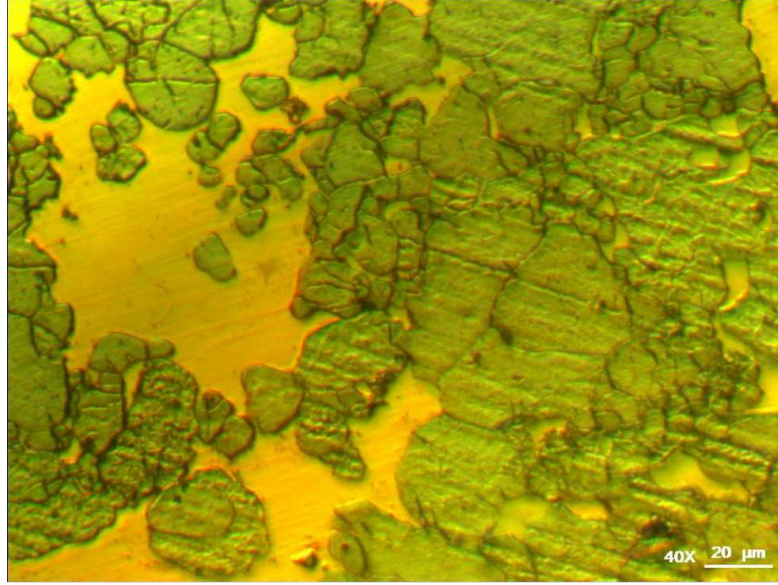
**Şekil 6.10.** N4 numunesinin aşınmış yüzey resmi, X 100

#### 6.4. Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 6.11 ve 6.12 'de N1 numunesinin optik mikroskop resimleri görülmektedir. Burada koyu renkli kısımlar demir esaslı ve açık renkli kısımlar ise bakır esaslı bileşimleri temsil etmektedir. Yuvarlak lokal bölgeler  $\alpha\text{Fe}+\beta\text{Cu}$  dan oluşmaktadır. Ancak ana matris Cu-Sn+Fe'den oluşmuştur.



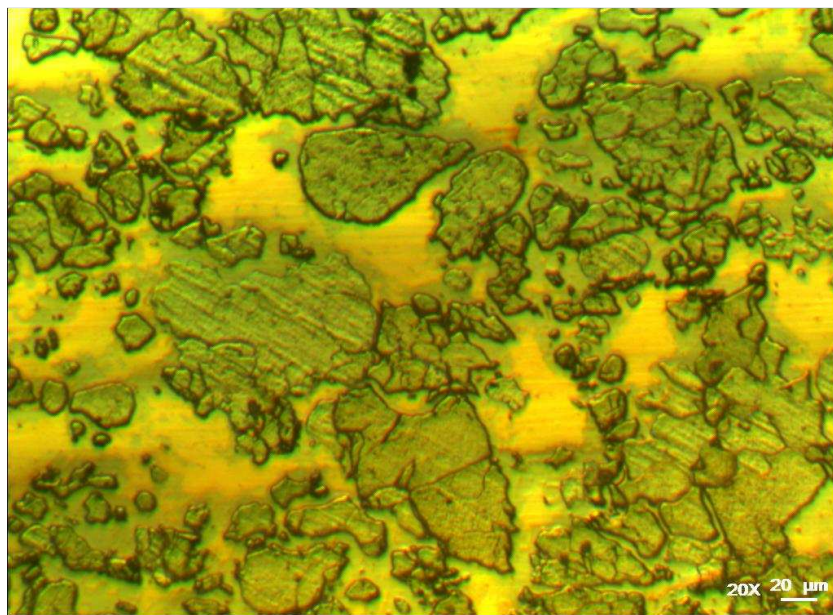
**Şekil 6.11.** N1 numunesinin optik mikroskop resmi, X 200



**Şekil 6.12.** N1 numunesinin optik mikroskop resmi, X 400

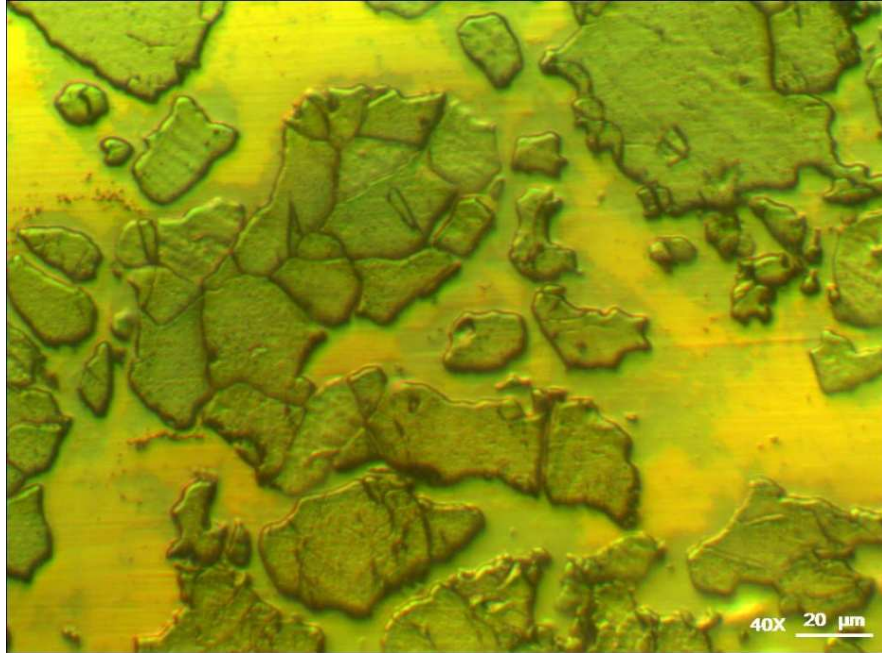
N1 numunesine ait farklı büyütmelerdeki resimlere bakıldığında diğer numunelerden farklı olarak burada kobalt ilavesi olmadığından yapı sadece  $\alpha\text{Fe}+\beta\text{Cu}$ 'dan oluşmuştur. Koyu kısımlar  $\alpha\text{Fe}$ 'ni açık renkli kısımlar ise  $\alpha\text{Fe}+\beta\text{Cu}$ 'dan oluşmuştur.

Şekil 6.13 ve 6.14 'de N2 numunesinin optik mikroskop resimleri verilmiştir. Kobalt ilavesiyle farklı renkte yeni bölgeler meydana gelmiştir. Aynı zamanda yapıda istenmeyen boşluklu kısımlar (porozite) daha az görülmektedir.



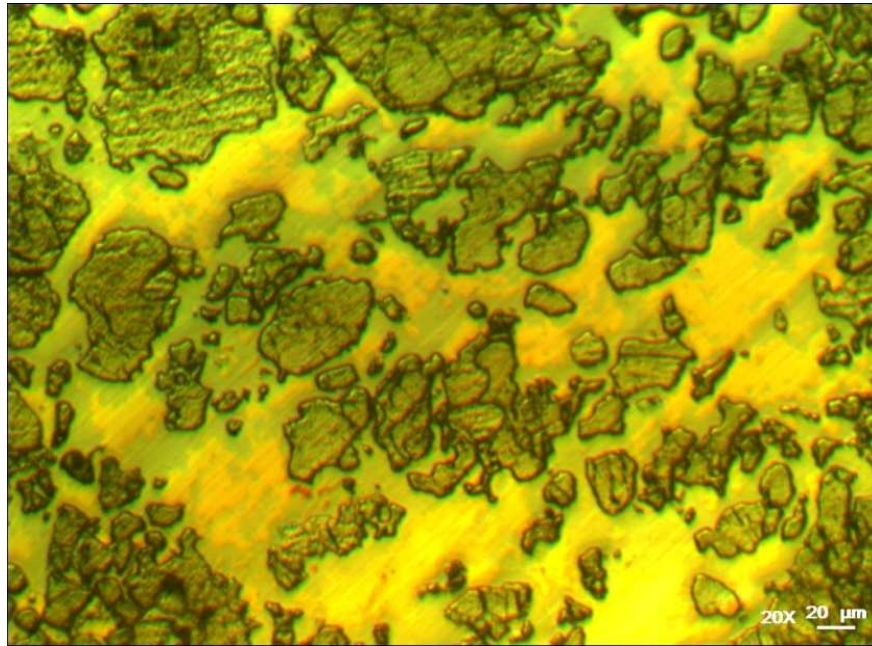
**Şekil 6.13.** N2 numunesinin optik mikroskop resmi, X 200



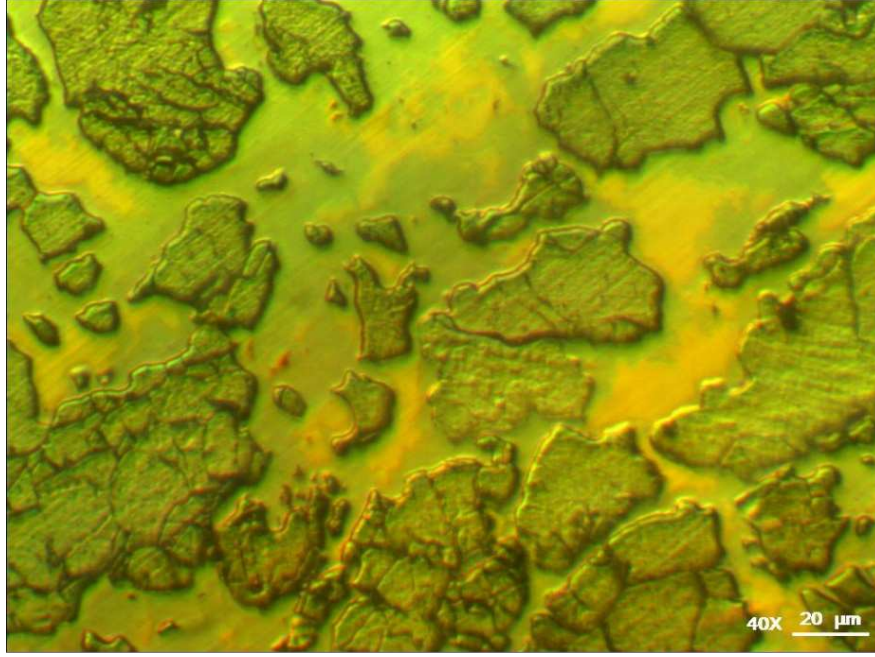


**Şekil 6.14.** N2 numunesinin optik mikroskop resmi, X 400

Şekil 6.15 ve 6.16 'da N3 numunesine ait optik mikroskop resimleri verilmiştir. Kobalt oranının artmasıyla renk farkları daha belirginleşmektedir. Koyu renkli adacıkları  $\gamma\text{Cu}$  ile  $\alpha\text{Fe}$ , açık gri bölgeler Cu-Sn+Fe fazını ve tam açık kısımlar ise  $\alpha\text{Fe}+\beta\text{Cu}$  ana matrisini oluşturmaktadır.

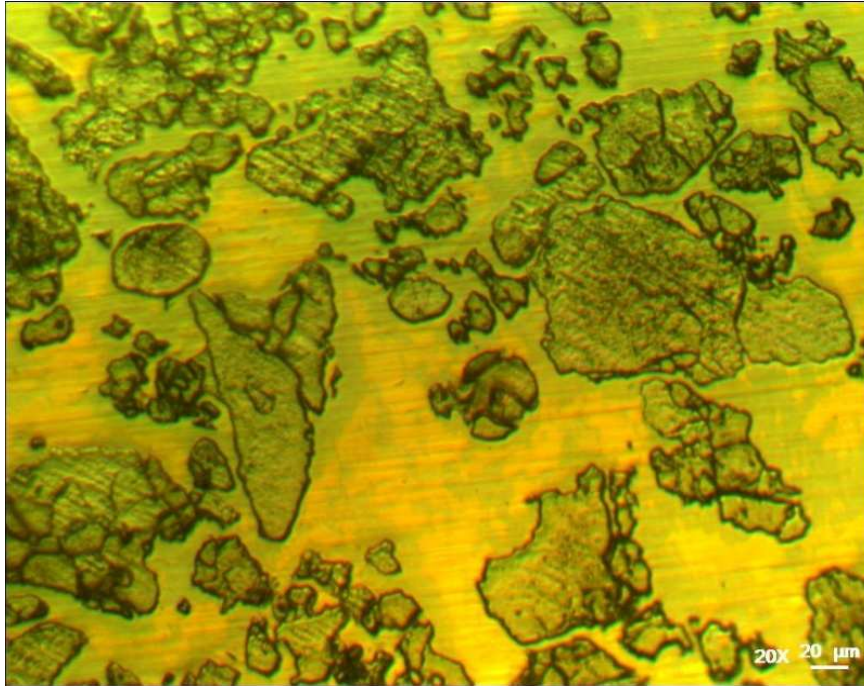


**Şekil 6.15.** N3 numunesinin optik mikroskop resmi, X 200



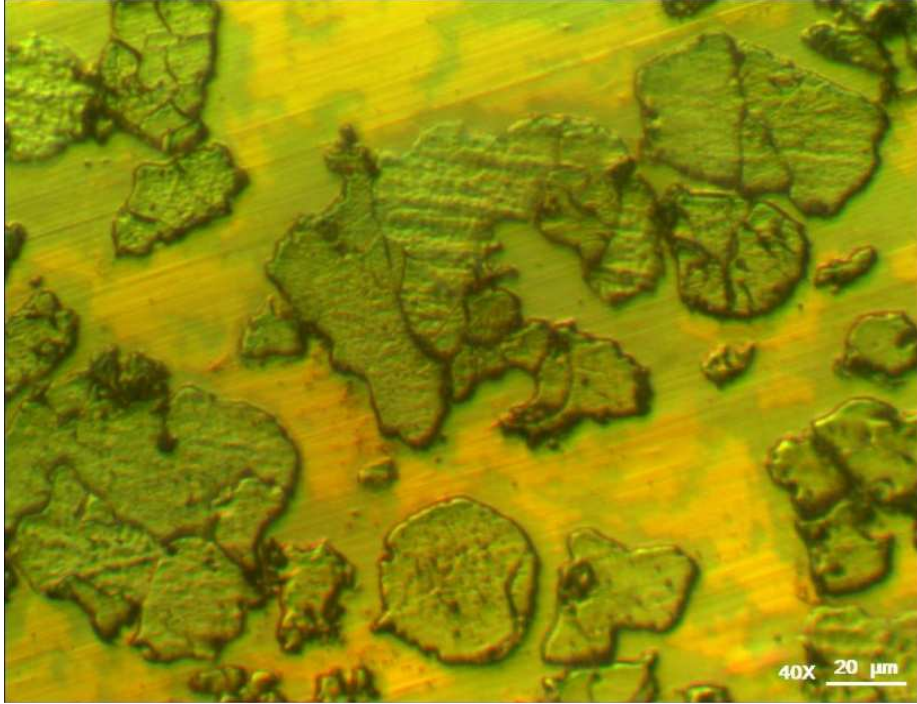
**Şekil 6.16.** N3 numunesinin optik mikroskop resmi, X 400

N4 numunesine ait optik mikroskop resimleri Şekil 6.17 ve 6.18 'de görülmektedir. Bu numunede kobalt oranı % 20'ye çıkarılmış ve dolayısıyla bu elementin bulunduğu kısımlar daha da belirginleşmiştir.



**Şekil 6.17.** N4 numunesinin optik mikroskop resmi, X 200





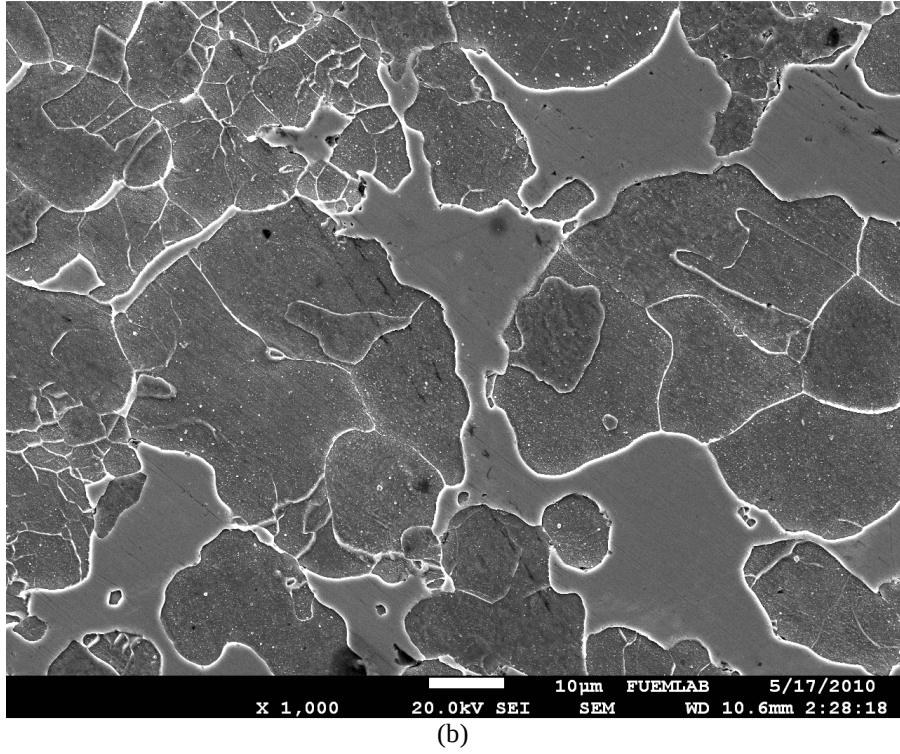
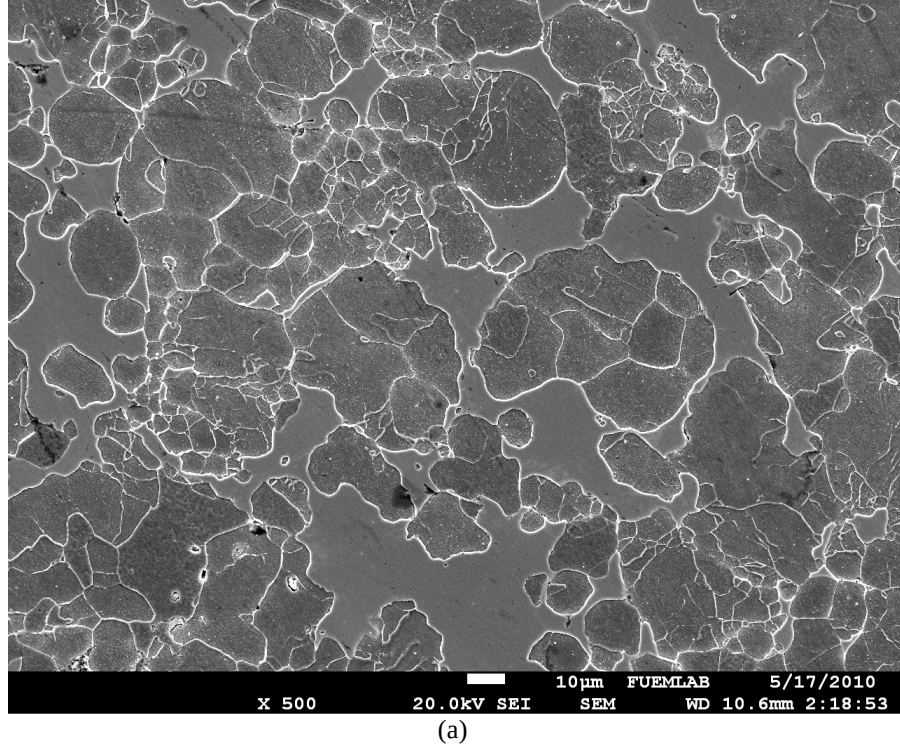
**Şekil 6.18.** N4 numunesinin optik mikroskop resmi, X 400

N1, N2, N3 ve N4 numunelerine ait optik mikroskop resimleri incelendiğinde 850 °C de yapılan sinterleme işlemi sonucunda matriste istenmeyen boşlukların azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak matris bileşiminin, sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin uygun değerlerde olduğu söylenebilir. Ancak yine bu optik mikroskop resimlerinde Co katkılarının mikroyapı özelliklerine bariz bir etkisi olmadığı anlaşılmaktadır.

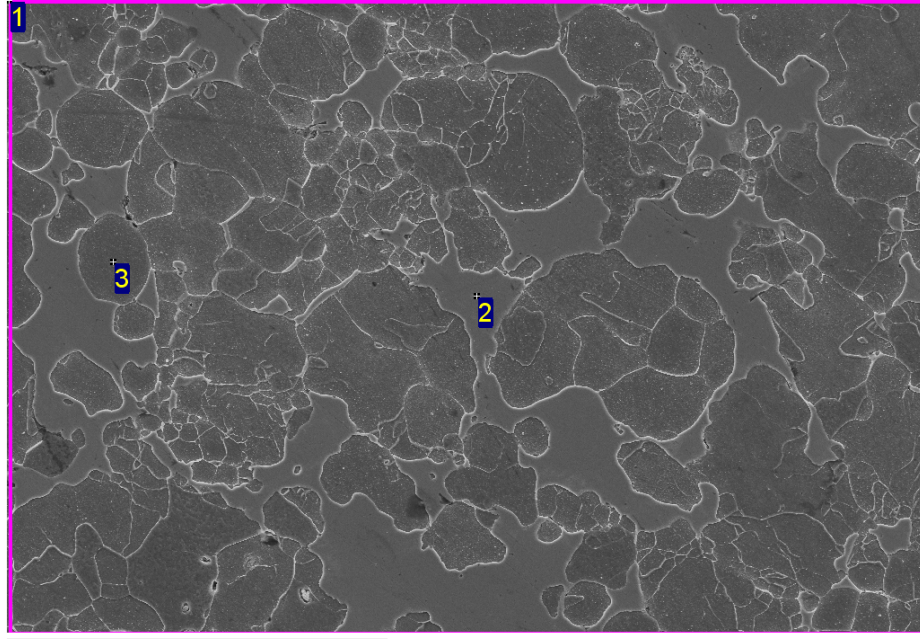
### **6.5. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve EDX İncelemeleri**

N1, N2, N3 ve N4 numunelerine ait SEM resimleri ve EDX analizleri Şekil 6.19, 6.20, 6.21, 6.22, 6.23, 6.24, 6.25 ve 6.26 'da verilmiştir.

EDX bölgesel analiz sonuçlarını, Fe-Sn, Fe-Cu, Cu-Sn, Co-Cu, Co-Sn ve Co-Fe gibi ikili veya üçlü Fe-Cu-Sn-Co faz diyagramlarıyla karşılaştırarak aşağıdaki sonuçlara varılabilir.

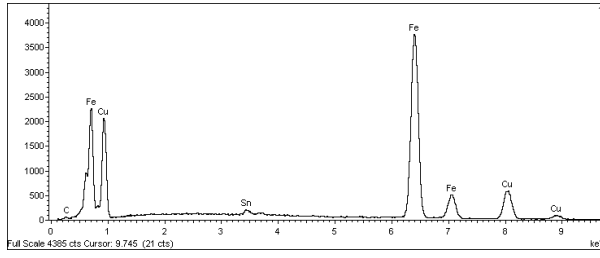


Şekil 6.19. N1 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 500 ve (b) X 1000

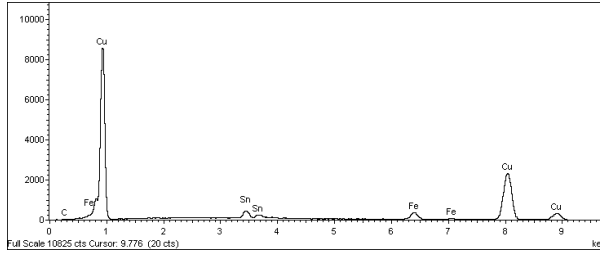


100µm

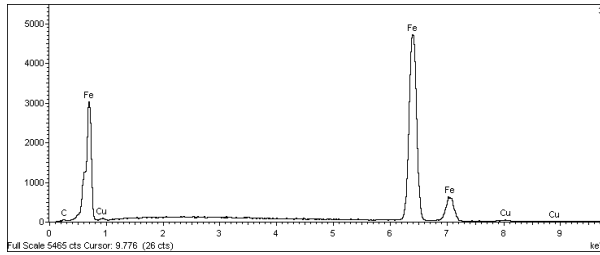
Electron Image 1



| Element | App Conc. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|---------|---------------|---------|
| C K     | 1.46      | 1.96    | 0.34          | 8.85    |
| Fe K    | 140.51    | 72.56   | 0.36          | 70.27   |
| Cu K    | 39.53     | 23.43   | 0.26          | 19.95   |
| Sn L    | 3.41      | 2.05    | 0.13          | 0.93    |
| Totals  |           | 100.00  |               |         |



| Element | App Conc. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|---------|---------------|---------|
| C K     | 1.46      | 2.27    | 0.38          | 11.23   |
| Fe K    | 12.52     | 5.58    | 0.12          | 5.93    |
| Cu K    | 161.36    | 84.67   | 0.38          | 79.10   |
| Sn L    | 12.33     | 7.48    | 0.17          | 3.74    |
| Totals  |           | 100.00  |               |         |

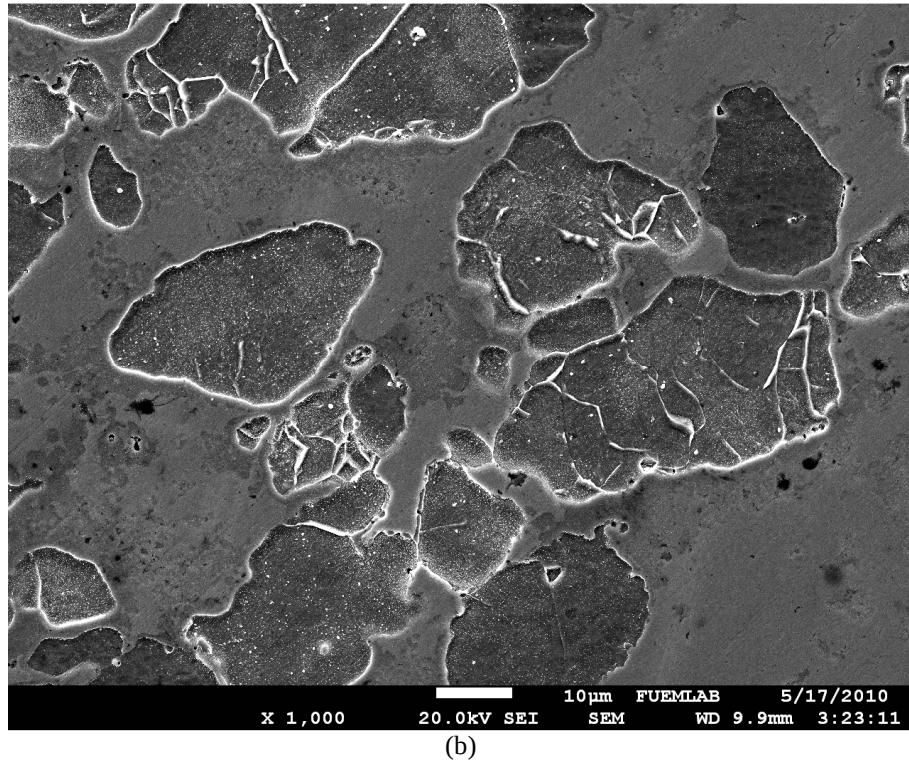
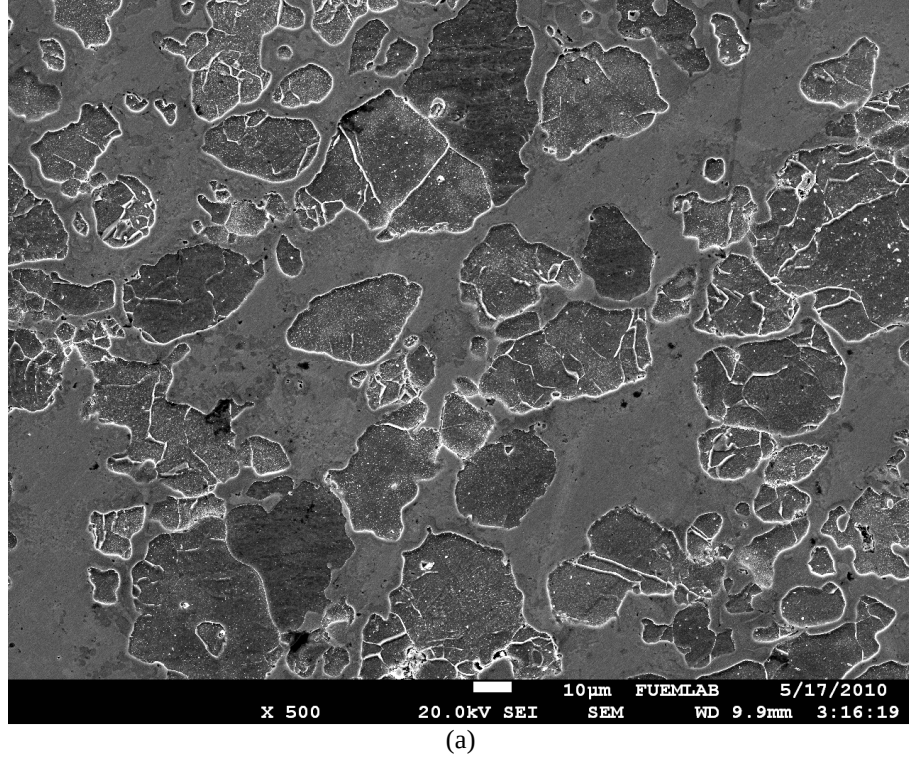


| Element | App Conc. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|---------|---------------|---------|
| C K     | 1.40      | 1.80    | 0.32          | 7.86    |
| Fe K    | 180.64    | 97.34   | 0.35          | 91.43   |
| Cu K    | 1.37      | 0.86    | 0.14          | 0.71    |
| Totals  |           | 100.00  |               |         |

Şekil 6.20. N1 numunesinin EDX analiz sonuçları

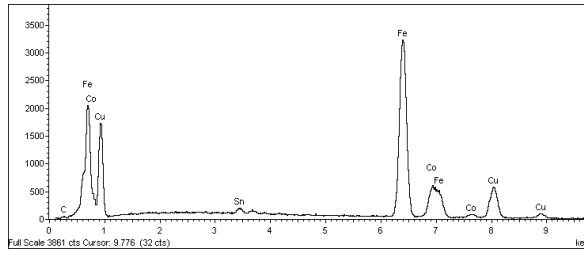
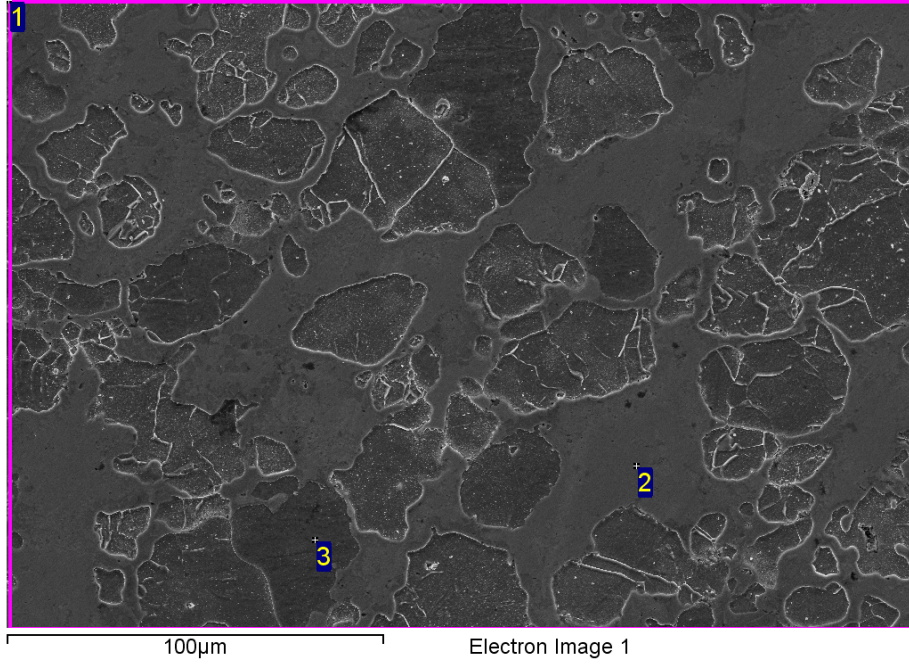
Şekil 6.20 'de X500 büyütme EDX resminde görülen ve tüm alanı kapsayan 1 numaralı yüzeyin genel analiz sonucunda matris kompozisyonunun  $\alpha\text{Fe}+\beta\text{Cu}$  [91] fazlarından oluştuğu belirlenmiştir. 2 numaralı bölgenin analizinde ise Cu-Sn fazı + Fe

bileşiminden ibarettir. Son olarak 3 numaralı bölgesel analiz sonucunda bileşim  $\alpha\text{Fe}+\text{II}$ . Sementit olarak belirlenmiştir [91].

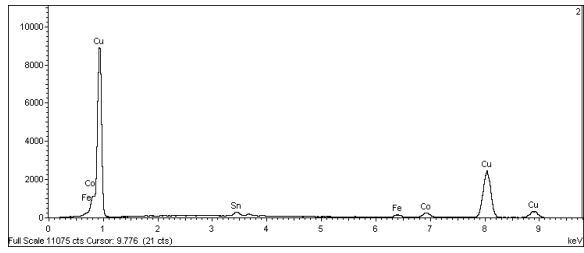


Şekil 6.21. N2 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 500 ve (b) X 1000

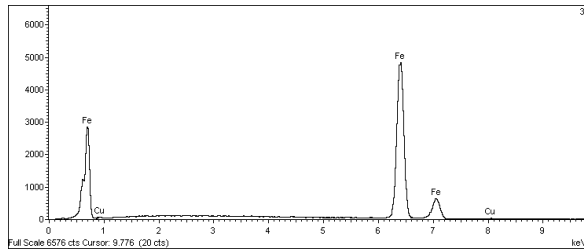




| Element | App<br>Conc. | Weight% | Weight%<br>Sigma | Atomic% |
|---------|--------------|---------|------------------|---------|
| C K     | 1.56         | 2.13    | 0.33             | 9.58    |
| Fe K    | 120.48       | 62.74   | 0.35             | 60.58   |
| Co K    | 21.67        | 11.36   | 0.20             | 10.39   |
| Cu K    | 36.61        | 21.91   | 0.26             | 18.59   |
| Sn L    | 3.09         | 1.87    | 0.13             | 0.85    |
| Totals  |              | 100.00  |                  |         |



| Element | App<br>Conc. | Weight% | Weight%<br>Sigma | Atomic% |
|---------|--------------|---------|------------------|---------|
| Fe K    | 4.18         | 1.92    | 0.09             | 2.21    |
| Co K    | 9.78         | 4.22    | 0.12             | 4.62    |
| Cu K    | 162.89       | 89.45   | 0.20             | 90.77   |
| Sn L    | 6.88         | 4.41    | 0.15             | 2.40    |
| Totals  |              | 100.00  |                  |         |

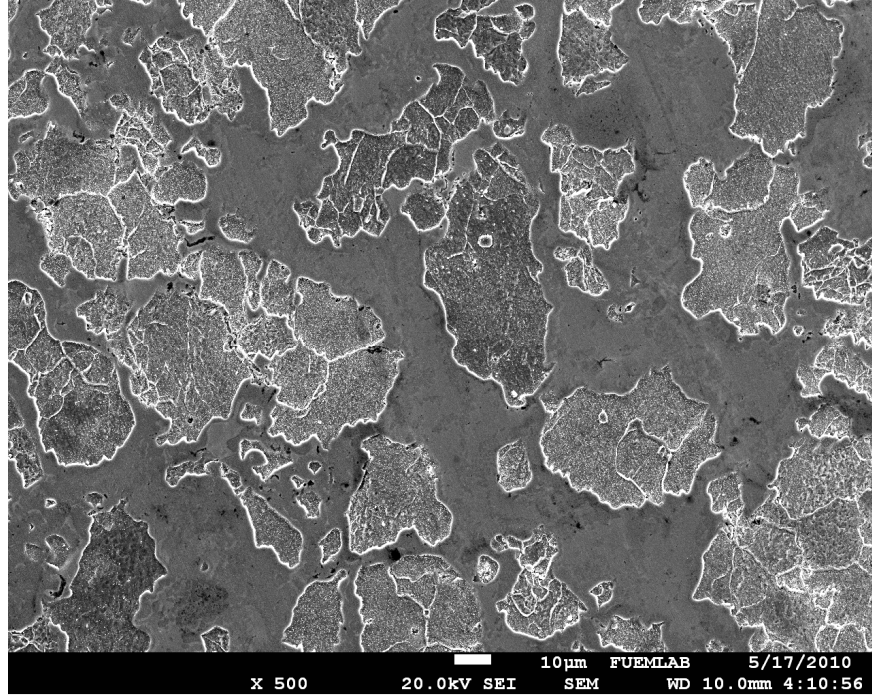


| Element | App<br>Conc. | Weight% | Weight%<br>Sigma | Atomic% |
|---------|--------------|---------|------------------|---------|
| Fe K    | 181.72       | 99.43   | 0.13             | 99.50   |
| Cu K    | 0.89         | 0.57    | 0.13             | 0.50    |
| Totals  |              | 100.00  |                  |         |

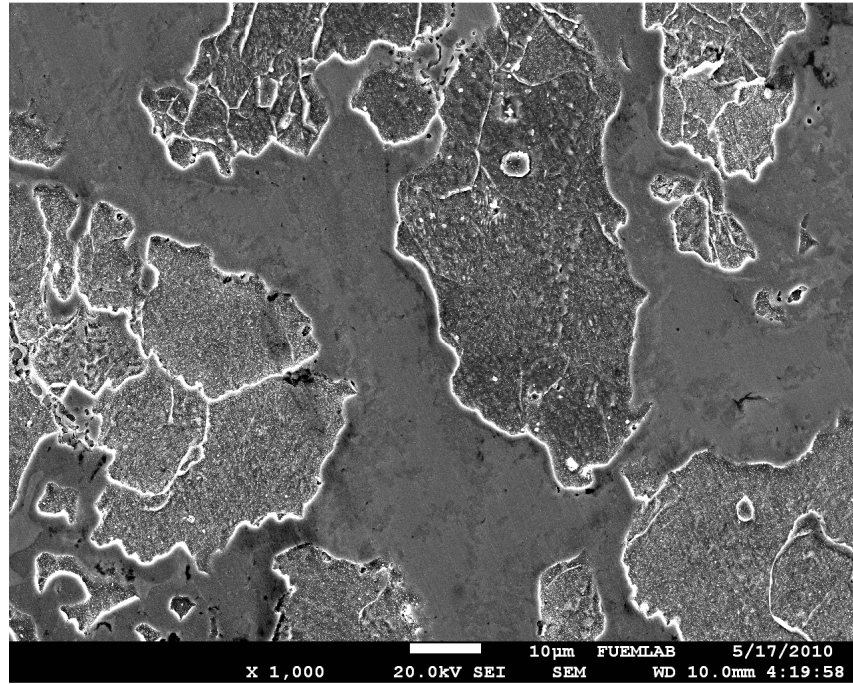
Şekil 6.22. N2 numunesinin EDX analiz sonuçları

X500 büyütmede N2 numunesine ait Şekil 6.22 'deki EDX analiz sonuçları incelendiğinde numune bütününe ait yüzey resminin kompozisyonu oluşturan elementlerin % ağırlıkları ile düşünülen kompozisyon birbirine yakındır. Ancak özellikle 2 numaralı

bölge ile 3 numaralı bölge arasındaki Co dağılım farkı dikkati çekmektedir. Aynı resimdeki 2 numaralı bölgenin analizinde; % 89,45 ile oldukça yüksek değerde bir Cu bulunduğu anlaşılmıştır. EDX resmindeki 3 numaralı bölgesel analizde ise % 90,43 Fe elementi esaslı bir bölge olduğu belirlenmiştir.

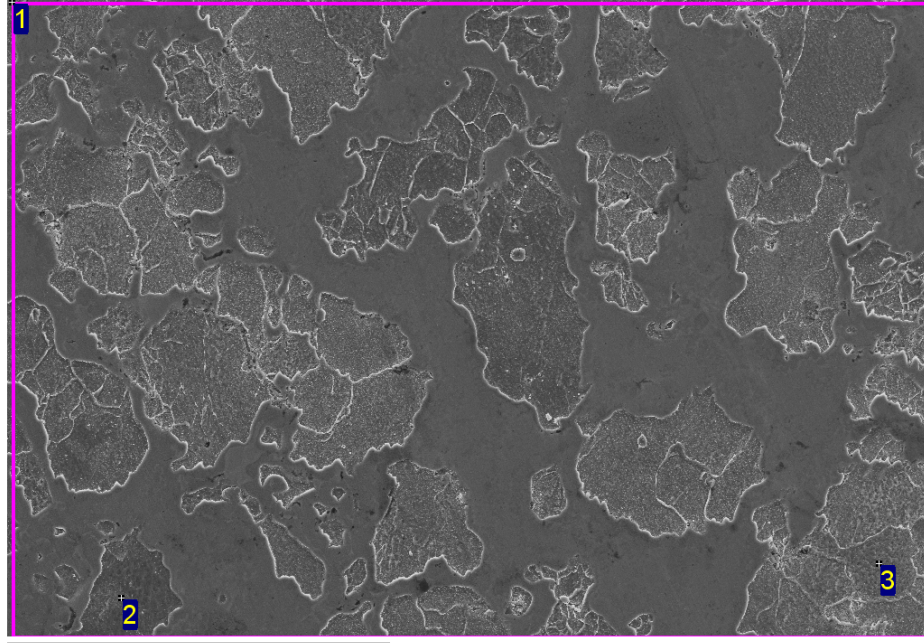


(a)



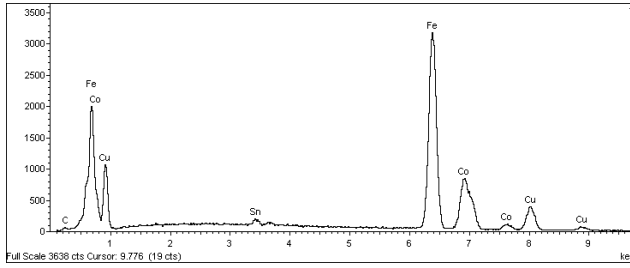
(b)

Şekil 6.23. N3 numunesinin SEM görüntüsü, a) X 500 ve b) X 1000

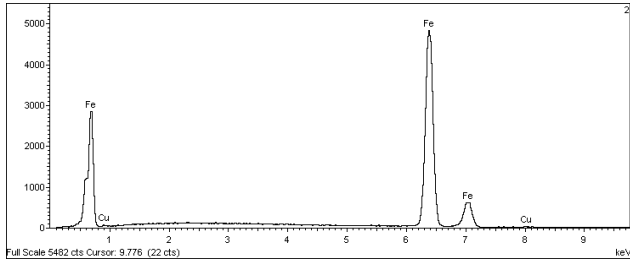


100µm

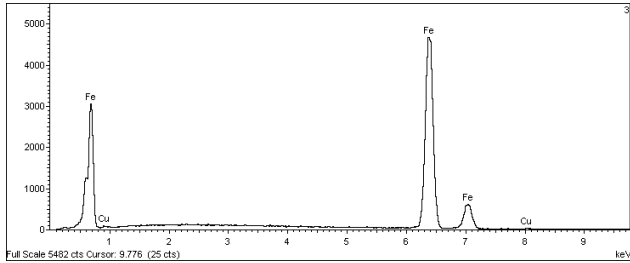
Electron Image 1



| Element | App<br>Conc. | Weight% | Weight%<br>Sigma | Atomic% |
|---------|--------------|---------|------------------|---------|
| C K     | 1.50         | 2.04    | 0.34             | 9.16    |
| Fe K    | 118.75       | 62.79   | 0.35             | 60.55   |
| Co K    | 33.71        | 18.00   | 0.23             | 16.45   |
| Cu K    | 25.24        | 15.37   | 0.24             | 13.03   |
| Sn L    | 2.97         | 1.80    | 0.13             | 0.82    |
| Totals  |              | 100.00  |                  |         |



| Element | App<br>Conc. | Weight% | Weight%<br>Sigma | Atomic% |
|---------|--------------|---------|------------------|---------|
| Fe K    | 181.66       | 99.46   | 0.13             | 99.53   |
| Cu K    | 0.84         | 0.54    | 0.13             | 0.47    |
| Totals  |              | 100.00  |                  |         |

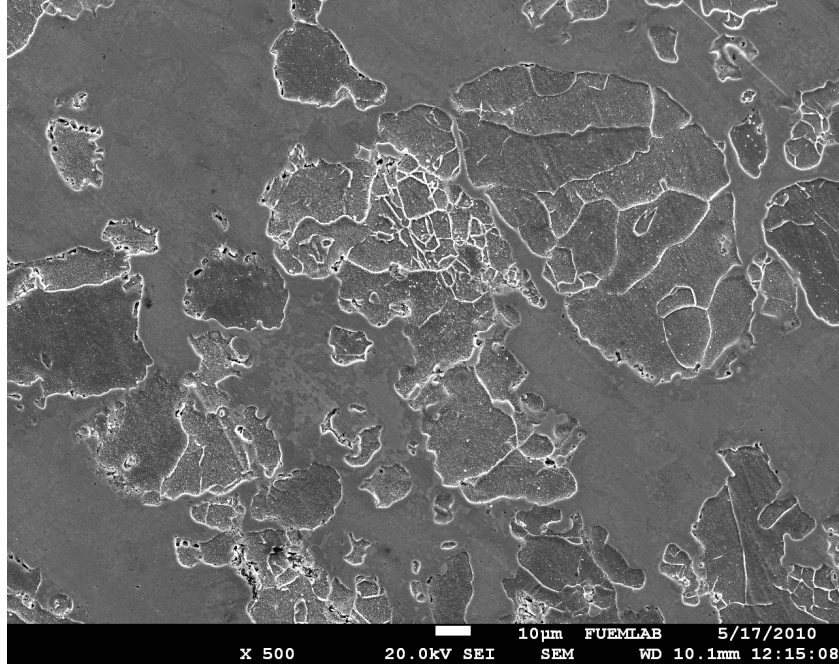


| Element | App<br>Conc. | Weight% | Weight%<br>Sigma | Atomic% |
|---------|--------------|---------|------------------|---------|
| Fe K    | 178.22       | 99.62   | 0.13             | 99.67   |
| Cu K    | 0.58         | 0.38    | 0.13             | 0.33    |
| Totals  |              | 100.00  |                  |         |

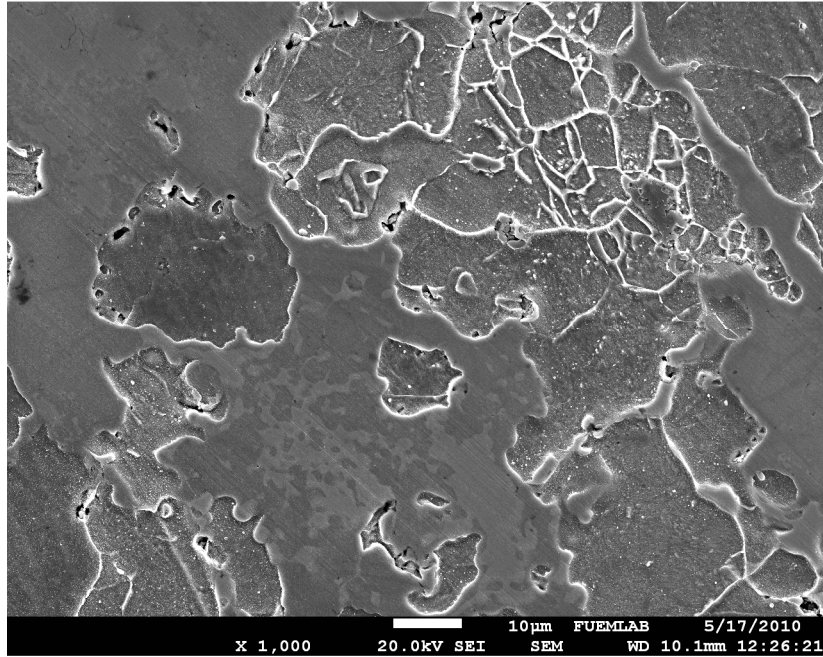
Şekil 6.24. N3 numunesinin EDX analiz sonuçları

N3 numunesinin EDX analiz sonuçları incelendiğinde N2 numunesine benzer fazlar olduğu söylenebilir. Burada değişen sadece kobalt oranının artması ve aynı oranda demir

oranının azalmasıdır. 1 numaralı analizde matris kompozisyonun başlangıçta tasarlanan ve tabloda belirtilen kompozisyona çok yakın olduğu görülmüştür. 2 ve 3 numaralı bölgesel analizlerde ise % 99 Fe geriye kalanın Cu olduğu tespit edilmiştir. Koyu renkli kısımlar ile açık renkli kısımların olduğu ve matriste homojen denilebilecek şekilde dağıldığı görülmektedir.



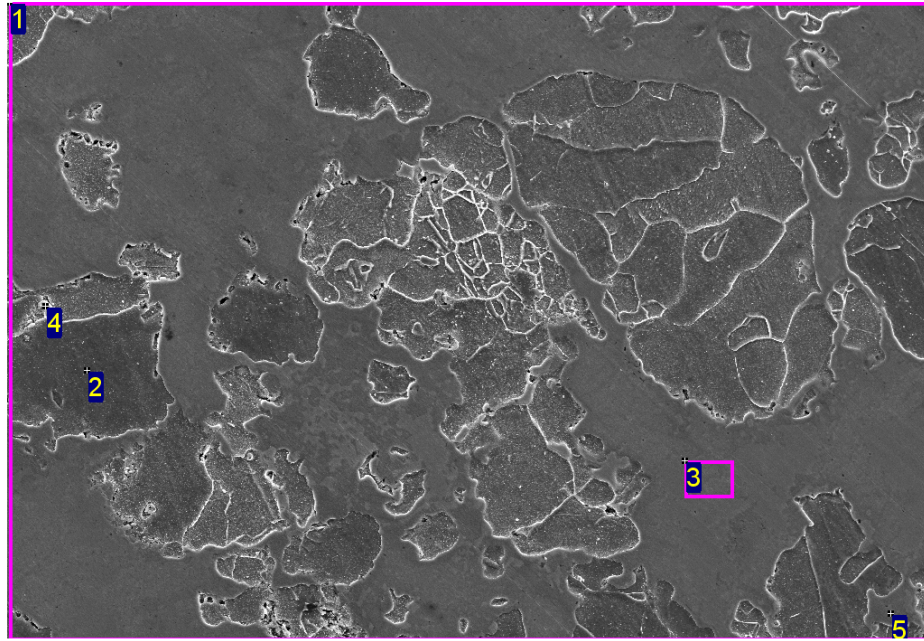
(a)



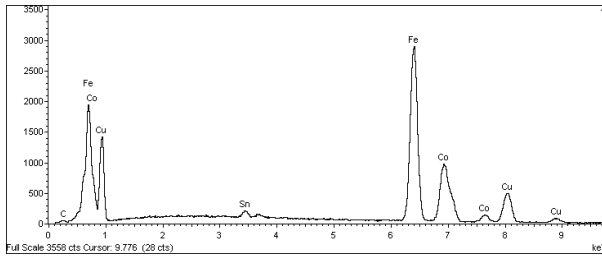
(b)

Şekil 6.25. N4 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 500 ve (b) X 1000

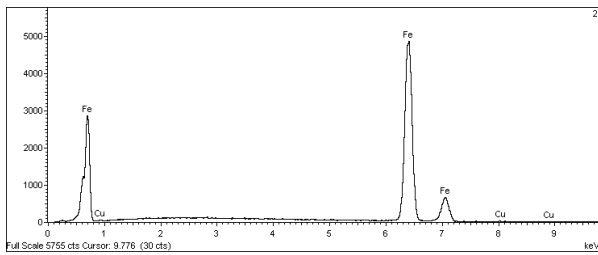




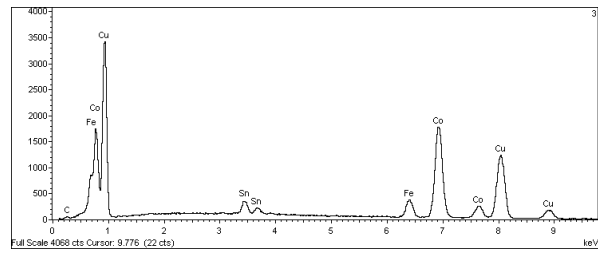
Electron Image 1



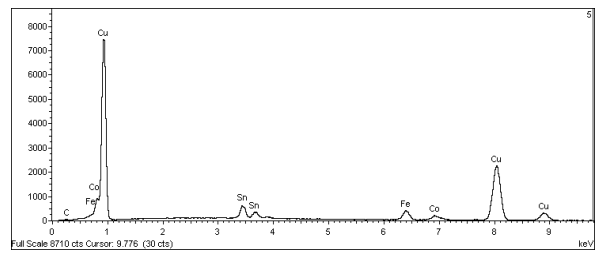
| Element | App Conc. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|---------|---------------|---------|
| C K     | 1.41      | 1.92    | 0.34          | 8.73    |
| Fe K    | 106.34    | 55.32   | 0.33          | 53.99   |
| Co K    | 40.52     | 21.24   | 0.23          | 19.64   |
| Cu K    | 32.52     | 19.46   | 0.25          | 16.69   |
| Sn L    | 3.41      | 2.05    | 0.13          | 0.94    |
| Totals  |           | 100.00  |               |         |



| Element | App Conc. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|---------|---------------|---------|
| Fe K    | 183.29    | 99.66   | 0.13          | 99.70   |
| Cu K    | 0.54      | 0.34    | 0.13          | 0.30    |
| Totals  |           | 100.00  |               |         |



| Element | App Conc. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|---------|---------------|---------|
| C K     | 1.43      | 2.13    | 0.36          | 10.17   |
| Fe K    | 12.50     | 6.21    | 0.13          | 6.39    |
| Co K    | 79.40     | 39.04   | 0.29          | 38.05   |
| Cu K    | 83.63     | 47.43   | 0.32          | 42.88   |
| Sn L    | 8.49      | 5.18    | 0.15          | 2.51    |
| Totals  |           | 100.00  |               |         |



| Element | App Conc. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|---------|---------------|---------|
| C K     | 1.34      | 1.99    | 0.37          | 10.01   |
| Fe K    | 13.55     | 6.08    | 0.12          | 6.60    |
| Co K    | 6.84      | 2.93    | 0.11          | 3.01    |
| Cu K    | 152.37    | 78.91   | 0.37          | 75.23   |
| Sn L    | 17.00     | 10.09   | 0.18          | 5.15    |
| Totals  |           | 100.00  |               |         |

Şekil 6.26. N4 numunesinin EDX analiz sonuçları

Şekil 6.26 'da görülen N4 numunesinin X500 büyütmede EDX analiz sonuçları incelendiğinde; genel yüzey analizi yapıldığında % ağırlık olarak Fe % 55.32, Co % 21.24, Cu % 19.46 ve Sn % 2.05 olarak bulunmuştur. Burada C elementinin, metal toz karışımının grafit kalıplardan dökülmemesi için kullanılan grafit tozunun alaşıma kendiliğinden nüfuz etmesiyle analiz sonuçlarında ortaya çıktığı düşünülmektedir. Aksi halde metal toz karışımına C veya bileşiğini içeren bir ilave yapılmamıştır.

2 ve 4 numaralı noktasal analiz N1, N2 ve N3 numuneleriyle benzer sonuçlar vermiştir. Buralar Fe elementinin en fazla bulunduğu ve  $\alpha$ Fe olup içerisinde % 0,34-0,89 arasında Cu çözmüş bölgelerdir. Açık renkli bölgeden alınan 3 numaralı noktasal analizde; burada asıl gelişme Co tozlarının Cu ile birleşerek (CoCu+Fe+Sn) matris içerisine yani  $\alpha$ Fe+ $\beta$ Cu fazı içerisinde dağılarak yapıyı sertleştirerek istenilen bir sonucun gerçekleşmesidir. 5 numaralı analize göre matris kompozisyonunda bulunması gereken tüm elementler burada mevcuttur. Ancak burada % ağırlık olarak Cu-Sn elementleri en fazla bulunmaktadır ve böylece CuSn fazı oluşmuştur.

Tüm numunelere ait SEM resimleri ve EDX analiz sonuçları incelendiğinde matrisi oluşturan Fe, Cu, Sn ve Co faz ve bileşiklerinin homojen bir dağılım gösterdiği saptanmıştır. Bu durumda numunelerin sıcak preslenmesinden önce yapılan iki aşamalı karıştırma işlemlerinde belirlenen sürelerin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte sıcak preslemede belirlenen ve kademeli olarak çıkılan sinterleme sıcaklığının (0-850 °C) da yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda doğru bir seçim yapıldığı anlaşılmaktadır. Aksi takdirde matris içerisinde bulunan Sn elementinin ergime sıcaklığının (232 °C) çok üzerinde gerçekleşen sinterleme işlemi sırasında Sn elementinin matrisi terk ederek olumsuz sonuçlar ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte yapılan pratik uygulamalarda Sn elementi matrisi terk ederek ağırlık kayıplarına neden olmuştur. Böylesi bir sonuç istenmeyen bir durumdur.

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

*“Mermer Kesici Takımlarda Matris Kompozisyonunun Aşınma Performansına Etkisi”* isimli çalışmada toz metalurjisi teknikleri kullanılarak sıcak presleme yöntemiyle üretilen mermer kesici takım soketleri üzerinde yapılan çalışmalarda aşağıdaki bilgi, bulgu ve sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Sertlik ölçme sonuçlarına göre Co katkı oranının artışı ile numunelerin sertliğinin arttığı ve en yüksek sertlik artışının 145 HB ile % 20 kobalt içeren N4 numunesinde olduğu tespit edilmiştir. N1 numunesinin 120 HB sertliğe sahip olduğu hatırlanırsa 25 HB değerinde bir artış olduğu anlaşılr.
2. Numunelerin enine kırılma mukavemetlerinin anlaşılması amacıyla yapılan üç noktalı eğme deneylerinde; matris malzemesine Co ilave edilmesiyle eğilme mukavemetinin arttığı buna karşın yüzde uzama miktarının önemli miktarda düştüğü sonucu elde edilmiştir.
3. Bu mermer kesici takım matris kompozisyonunun aşınma testlerinden; artan Co ilavesi ile aşınma dayanımının azaldığı ve bu paralelde ağırlık kaybının arttığı anlaşılmıştır.
4. Numunelerin optik mikroskop resimlerinden 850 °C sıcaklıkta yapılan sinterleme işleminde boşluk ve tanelerin dağılımı açısından optimum değerlere ulaşıldığı ve matriste istenmeyen boşlukların azaldığı sonucuna varılmıştır.
5. Numunelerin SEM incelemeleri ve EDX analiz sonuçlarından matrisi oluşturan elementlerin homojen denilebilecek bir dağılım göstermediği görülmüştür. Bu nedenle, sinterleme işleminden önce yapılan iki aşamalı karıştırma ve sıcak presleme işleminde belirlenen değerlerin yeniden gözden geçirilmesi sonucuna varılmıştır.

6. Başka bir ifadeyle Fe-Cu-Sn-Co ile dört bileşimli matris içerisinde çeşitli boyutlarda  $\alpha$ -Fe adacıkları bitişik ya da yan yana bir arada bulunmaktadır. Bu davranış muhtemelen yapının gerilmesine neden olmaktadır.
7. Mermer kesici takım matris malzemesinin sertliğinin ve mukavemetinin artırılmasının kobalt katkılarıyla mümkün olacağı düşünülmektedir.
8. Bununla beraber yapılan çalışmada kobalt ilavesiyle aşınma direncinin azaldığı ancak matrisin çabuk aşınması gereken şartlarda bu özellikten faydalanılabileceği düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ. ve Sarıışık, A., 1995. Mermer Teknolojisi, S.D.Ü. Yayını, Isparta, 5-57s.
- [2] TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2005. Doğal Taş ve Mermer Raporu.
- [3] <http://www.immib.org.tr/arge-raporlar.aspx> İMMİB, Rapor, Dünya Pazarlarında Türk Doğaltaşları.
- [4] Przyklenk, K., 1993. Diamond impregnated tools – uses and production, *Industrial Diamond Review*, **53(4)**, 192–195.
- [5] Tillmann, W., 2000. Trends and market perspectives for diamond tools in the construction industry, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, **18**, 301–306.
- [6] Bayram, F., 2002. Elmas lamalı katraklarda kesme verimliliğinin incelenmesi, *Yüksek Mühendislik Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 131 s.
- [7] Kulaksız, S., Özçelik, Y., Bayram, F., Yaşıtlı, N.E. ve Atasoy, K., 2002. Elmas lamalı katraklarda kesme verimliliğinin incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi, Proje No: 01 01 602 024, 149 s.
- [8] Primavori, P., 2002. Technological developments and the state-of-the art in machinery and installations for extracting and processing stone materials, Marmomacchine Directory, Associazione Italiana Marmomacchine, pp.40-197.
- [9] Uçun İ., 2004. Mermer kesici disklerinin sonlu elemanlar metodu ile gerilme ve titreşim analizi, A. Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyonkarahisar, Ağustos 2004.
- [10] Wright, D.N. and Cassapi, V.B., 1985. Factors influencing stone sawability, *Industrial Diamond Review*, **2**, 84-87.
- [11] WRIGHT, D.N., 1986. The prediction of diamond wear in the sawing of stone, *Industrial Diamond Review*, **5**, 213-216.
- [12] Jennings, M. and Wright, D., 1989. Guidelines for sawing stone, *Industrial Diamond Review*, **2**, 70-75.
- [13] Konstanty, J., 1991. The Materials science of stone sawing, *Industrial Diamond Review*, **1**, 27-31.

- [14] **Özçelik, Y., Ünver, B., Bayram, F. ve Yaşıtlı, N.E.**, 2008. Bazı doğal taşların dairesel testere kesim yöntemiyle kesilebilirlik sınıflaması ve kesme mekanizmasının sayısal modellemesi, TUBİTAK 104M384, Sonuç Raporu, 135 s.
- [15] **Mannoni, L. and Mannoni, T.**, 1984. *Le Marbre*, Sagep Yayınevi, Cenova, İtalya, 270 s.
- [16] **Cappuzzi, Q.**, 1989. *Modern Technology and Machinery for Marble Quarrying*, Banetti Macchine Yayını, 95 s.
- [17] **Conti, G.**, 1986. *Marble in The World*, Societa Editrice Apuana Srl., 1st Edition, Carrara, Italy, 247p.
- [18] **Özçelik, Y.**, 1999. Mermercilikte elmas tel kesme makinelerinin Çalışma koşullarının incelenmesi, *Doktora Tezi*, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 242s.
- [19] **Demirdağ, S.**, 2001. Mermer işletmeciliğinde elmas telle kesim performansının araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 72s.
- [20] **Urhan, S. ve Şişman, N.**, 1993. Blok mermer üretiminde elmaslı tel kesme kullanımı uygulaması ve kesme veriminin optimizasyonu, *Madencilik Dergisi*, **Cilt: XXXII, No: 3-4**, 23-30s.
- [21] **Bozkurt, R.**, 1989. Ocak işletmeciliğinde mermerin elmas telle kesim yöntemi, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir, 75- 80s.
- [22] Akpar Makine, 1999. Elmas Teller, Akpar Makine Tanıtım Kataloğu, Ankara, 1-13s.
- [23] [www.sermak.com.tr](http://www.sermak.com.tr)
- [24] **Bayram, F., Kulaksız, S. ve Özçelik, Y.**, 2003. Katraklarda mermerlerin fiziki-mekanik özelliklerinin ve kesim hızının elmas soketlerdeki aşınmalara etkisi, *Türkiye ii Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık.
- [25] [http://www.guclusoket.com/katrak\\_testereleri.htm](http://www.guclusoket.com/katrak_testereleri.htm)
- [26] **Çelik, E.**, 2009. Elmaslı kesici takımlarda alternatif bağlayıcılar, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 91s.
- [27] **Burgess R.R.**, 1978. Man-made diamond for stone processing, *Proc. 1st Technical Symposium*, Bucharest, Romania, October 5–6.
- [28] **Thakur UN.**, 1985. The role of metal powders in manufacturing diamond tools, *Proc. Superabrasives'85*, Chicago, Illinois, USAS April 22-25, MR85-307.

- [29] **Dwan J.D.**, 1998. Production of diamond impregnated cutting tools, *Powder Metallurgy*, **vol. 41, No. 2**, 84-86.
- [30] **Hamar-Thibault S., Allibert C.H. and Tillman W.**, 1999. Phase constitution of  $\text{Cu}_{77}\text{Sn}_8\text{Ti}_{14}\text{Zr}_1$  as a binder for diamond tools, *Proc. International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, November 8-10, 57-64.
- [31] **Gasik, M.M., Kervinen, Po., Kaskiala, M. and Graf, P.**, 1999. In situ sintering studies of cobalt powders for diamond tools, *Prac. International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, November 8-10, 107-112.
- [32] **Cram, A.S.D.**, 1995. Hot isostatic pressing, *Proc. Seminar on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland, November 2–3.
- [33] **Ojeda, R.G., del Villar, M., Muro, P., Iturriza, L. and Castro, F.**, 1998. Densification of diamond tools with Co, Ni and Fe based metallic binders, *Proc. PM World Congress & Exhibition*, Granada, Spain, vol. **49**, 481–486.
- [34] **Samvelion, R.V. and Manoukion, N.V.**, 1995. Extrusion for diamond tool production, *Proc. Seminar on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland, November 2–3.
- [35] **Grüneis, H.&T.**, 1998. Sintering and brazing all in one, *Industrial Diamond Review*, **No. 25**, 45-47.
- [36] **Schmid, H.G.**, 1995. Diamond tool production using the DIAPLATE process, *Proc. Seminar on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland,, November, 2-3.
- [37] **Fiechter, A.**, 1995. Schneiden und Schweissen mit gepulsten Nd:YAG Laser, *Proc. Seminar on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland,, November, 2-39.
- [38] **Weber, G. and Burckhardt, S.**, 1999. New laser welding machine for diamond sawblade manufacture, *Industrial Diamond Review*, **No. 2**, 88-89.
- [39] **Diamant Boart S.A.**, 1995. Diamond tools for the stone industry.
- [40] **de Châlus, P.A.**, 1994. Metal powders for optimum grain retention, *Industrial Diamond Review*, **No. 4**, 170-172.
- [41] **Konstanty, J.**, 1999. Developing a heller understanding of the bonding and wear mechanisms involved in using diamond impregnated tools, *Proc. International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, November 8-10, 97-106.
- [42] **Chalkley, J.R. and Thomas, D.M.**, 1969. The tribological aspects of metal-bonded diamond grinding wheels, *Powder Metallurgy*, **vol. 12, No. 24**, 582-597.

- [43] **Scott, P.M., Nicholas, M. and Dewar, B.,** 1975. The wetting and bonding of diamonds by cop-per-base binary alloys, *Journal of Material Science*, **No. 10**, 1833-1840.
- [44] **Levin, E. and Gutmanas E.Y.,** 1990. Solid-state bonding of diamond to Nichrome and Co-20 wt % W alloys, *Journal of Materials Science Letters*, **vol. 9, No. 6**, 726-730.
- [45] **Akyüz, D.A. and Hofmann, H.,** 1998. Interface aspects in cobalt-based diamond cutting tool segments, *Proc. 1998 PM World Congress & Exhibition*, **vol. 4**, Granada, Spain, October 18-22, 158-163.
- [46] The metallurgy of diamond tools, 1985. *Industrial Diamond Review*, **No. 5**, 248-250.
- [47] **Young, B.,** 1999. The graphitization of diamond during the manufacture of diamond tools, Diamond Information L2, De Beers Industrial Diamond Division.
- [48] **Tuzzeo, J.J., Bovenkerk, H.P. and Ratterman, E.,** 1999. Effective utilization of synthetic diamond in high temperature metal bonds, General Electric Company.
- [49] **Zsolnay, L.M.,** 1977. Selection of diamonds for segmental saws, *Industrial Diamond Review*, November, 382-384.
- [50] **Dyer, H.B. and Conradi V.R.,** 1972. Properties of natural Debdust and its use in diamond sawblades, *Industrial Diamond Review*, August, 335-343.
- [51] **Davis, P.R., Fish, M.L., Peacock, S. and Wright, D.N.,** 1996. An indicator system for saw grit, *Industrial Diamond Review*, **No. 3**, 78-87.
- [52] Diamante Applicazioni & Tecnologia, 1997. Old or new diamonds? **No. 9**, 63-68.
- [53] **Clifton, P.H. and Evans, S.,** 1995. XPS studies of diamond/transition-metal interfaces, *Industrial Diamond Review*, **No. 1**, 26-31.
- [54] **Belling N.G. and Dyer, H.,** 1964. Impact strength determination of diamond abrasive grit, London, *The Industrial Diamond Information Bureau (booklet)*.
- [55] **Bullen, G.J.,** 1975. The effect of temperature and matrix on the strength of synthetic diamond, *Industrial Diamond Review*, 363-365.
- [56] **Brauninger, G.,** 1999. Production and properties of synthetic diamond grit, *Proc. International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, November 8-10.
- [57] The future of diamond characterization, 1993. General Electric Company.

- [58] **Bailey, M.W. and Collin, W.D.**, 1977. Investigations into diamond sawing using Titanized grits, Stone Industries, 18-21.
- [59] **Tokura, H. and Yoshikawa, M.**, 1989. Heat treatment of diamond grains for bonding strength improvement, *Journal of Materials Science*, **No. 24**, 2231-2238.
- [60] **Borse, D.**, 1991, Process for treating diamond grains. *US*, Patent No. 5, 035,771.
- [61] **Musu-Coman, M., Fecoru, M., Baluta, G. and Amid, N.**, 1998. Surface processing of ultrahard materials used for embedding in resin or metallic matrices. *Proc. 1998 PM World Congress & Exhibition*, Granada, Spain, **vol. 4**, 234-239.
- [62] **Bullen, G.J. and Wright, D.N.**, 1976. Aspects governing diamond grit selection for stone and concrete applications, De Beers Industrial Diamond Division.
- [63] **Chen, S.H. and Sung CM.**, 1991. Multiple metal coated superabrasives grit and methods for their manufacture, *US*, Patent No. 5, 024,680.
- [64] MBS-960 diamond titanium and chromium coated products, 1995. General Electric Company (product sheet).
- [65] **Brauninger, G. and Hayden, S.C.**, 1995. MBS-960Cr<sub>2</sub> and MBS-960Ti<sub>2</sub> chromium and titanium coated manufactured diamonds for sawing and drilling applications, General Electric Company.
- [66] **Konstanty, J.**, 1991. The materials science of stone sawing. *Industrial Diamond Review*, **No. 1**, 27-31.
- [67] Properties of diamond, 1989. De Beers Industrial Diamond Division.
- [68] **Jennings, M. and Wright, D.**, 1991. Guidelines for sawing stone, *Diamonds in Industry -Stone*, De Beers Industrial Diamond Division,, 25-30.
- [69] MBS diamond products for sawing and drilling applications, 1991. General Electric Company.
- [70] **Bullen, G.J. and Bailey, M.W.**, 1979. The selection of De Beers SDA diamond abrasives for the stone industry, *Proc. IDA Conference*, India.
- [71] **Walker, R.D. and Wood, M.G.**, 1973. Granite sawing techniques, *Diamonds In Industry -Stone*, De Beers Industrial Diamond Division, 43-46.
- [72] **Wright, D.N. and Wapler, H.**, 1986. Investigations and prediction of diamond wear when sawing. *Annals of the CIRP*, **vol. 35, No. 1**, 239-244.
- [73] **Weber, G.**, 1999. A new process for diamond tool producers, *Proc. international Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, 73-82.

- [74] **Baert, M.**, 1995. Coating of diamonds and granulation of metal powders, *Proc. Seminar on PM Diamond Toolss Lausanne*, Switzerland, November 2-3.
- [75] **Van Doorslaer, T.**, 1999. Coating of abrasive grains and the granulation of metal powders. *Proc. International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, 83-88.
- [76] **Burckhardt, S.**, 1997. New technique for granulating diamond and metal powders. *Industrial Diamond Review*, **No. 45**, 121-122.
- [77] **Weber, G. and Burckhardt, S.**, 1998. Economic production of diamond segments, *Industrial Diamond Review*, **58(4)**, 111–112.
- [78] Metal Powder Report, May 2005.
- [79] Hot press properties fine cobalt powders, 1996. The Westaim Corporation.
- [80] **Karagöz, Ş. ve Zeren, M.**, 2001. Mermer kesiminde kullanılan elmas kesici takımlarda aşınma karakteristiği, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001) Bildirileri Kitabı, 3-5 Mayıs, Afyon.
- [81] **Karagöz, Ş. ve Zeren, M.**, 2002. Doğaltaş kesiminde kullanılan elmas kesici takımların aşınma karakteristiği, Toz Metalurjisi Konferansı.
- [82] **Ersoy, A. ve Atıcı, Ü.**, 1999. Mermer kesicilerin aşınma mekanizmaları, Türkiye 16. Madencilik Kongresi.
- [83] **Ersoy, A., Buyuksagıç, S. and Atıcı, U.**, 2005. Wear charecteristic of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks, *Wear* **258**, 1422-1436.
- [84] **Dwan, J.D. and Blake, Y.**, 2008. Wear properties of diamond impregnated cobalt metal, *Diamond Technology*, *Indstrial Diamond Review*.
- [85] **Liao, Y.S. and Luo, S.Y.**, 1993. Effects of matrix charecteristic on diamond composites, *Journal Of Materials Science* **28**, 1245-1251.
- [86] **Olivera, L.J. de., Bobrovnitchii, G.S. and Filgueira, M.**, 2006. Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix, *International Journal of Refractory Metals & Hard Metals* **25**, 328-335.
- [87] **Xu, X. and Yu, Y.**, 2005. Sawing performance of diamond with alloy coating, *Surface&Coatings Technology* **198**, 459-463.
- [88] **Nitkiewicz, Z. and Swiery, M.**, 2006. Tin influence on diamond-metal matrix hot pressed tools for stone cutting, *Journal of Materials Processing Tecnology* **175**, 306-315.

- [89] **Ünlü, B.S., Atık, E., Çöllü, C.,** 2006. Partikül takviyeli demir esaslı Fe-Cu-C malzemenin aşınma ve mekanik özellikleri, C.B.Ü. Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi, Cilt:2, Sayı:6, s.1-9.
- [90] **Yılmaz, S.S., Ünlü, B.S., Varol, R.,** 2005. Borlanmış demir esaslı FeCu-Grafit malzemenin aşınma ve mekanik özellikleri, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3, 11-21.
- [91] ASM Handbook, Volume 3, Alloy Phase Diagrams.

## **ÖZGEÇMİŞ**

15.11.1977 yılında Elazığ'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Elazığ'da ve lise öğrenimini 1994 yılında aynı şehirde tamamladı. 1997 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Makine Programın da önlisans eğitimine başladı. 1999 yılında önlisans diploması almaya hak kazanarak bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2001 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği Anabilim Dalında lisans eğitimime başladı. 2004 yılında bu bölümden yine bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2004-2005 yılları arasında askerlik görevini tamamladı. 2008-2009 eğitim-öğretim yılı güz döneminde Elazığ Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimime başladı. Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir. Selahattin BUDAK bekar ve İngilizce bilmektedir.