

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KİMYASAL BİLEŞİMLERDEKİ SERT DOLGU AŞINMA  
PLAKALARININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ, GELİŞTİRİLMESİ VE  
OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Umut Doğan TURUNÇ**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Yüksek Lisans  
Programı**

**OCAK 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KİMYASAL BİLEŞİMLERDEKİ SERT DOLGU AŞINMA  
PLAKALARININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ, GELİŞTİRİLMESİ VE  
OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Umut Doğan TURUNÇ  
506121222**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Yüksek Lisans  
Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yılmaz TAPTIK**

**OCAK 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121222 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Umut Doğan TURUNÇ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“FARKLI KİMYASAL BİLEŞİMLERDEKİ SERT DOLGU AŞINMA PLAKALARININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ, GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Yılmaz TAPTIK**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Servet TİMUR**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Gökhan ORHAN**      .....  
İstanbul Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **11 Aralık 2014**  
**Savunma Tarihi :**      **23 Ocak 2015**



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca tez danışmanım olan engin bilgi ve tecrübeleriyle bana yardımda bulunan çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Yılmaz TAPTIK'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Üretim metalürjisi ve teknolojileri mühendisliği yüksek lisans programında bilgi ve tecrübesiyle beni aydınlatan sayın hocalarım; Prof. Dr. İsmail DUMAN, Prof. Dr. Servet TİMUR, Prof. Dr. Onuralp YÜCEL, Yard. Doç. Dr. Murat ÇINAR'a teşekkürleri bir borç bilirim.

Yüksek Lisans tez çalışmam boyunca gösterdikleri her türlü destek ve yardımdan dolayı Eczacıbaşı - Lincoln Electric ASKAYNAK ailesine, özellikle de bu projenin gerçekleşmesine olanak tanıyan Genel Müdür Ahmet SEVÜK, Satış Müdürü İzzet ALKIN, Teknik Müdür Erkan YEĞEN, Teknik Hizmetler Müdürü Sertaç ÖZEN, Mesut IŞIK, Ümit UZUN, Murat ÖZGEN, Özge IŞIKSAÇAN ve Semih OTMAN'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen ve yol gösteren Sakarya Üniversitesi'nden Prof.Dr.Fatih ÜSTEL, Uzm.Garip ERDOĞAN ve Uzm.Fatih BAŞTAN'a minnettarlıklarımı sunarım.

Dünyaya gözlerimi açtıktan sonra eğitimimin temel taşlarını dizmeye başlayan; sevgiyi, saygıyı, adaleti, paylaşmayı, çalışma ahlak ve disiplinini bana öğreten, her türlü desteklerini bana sunan, akademik hayatımı sürekli teşvik edip, bu günlere gelmemi sağlayan sevgili annem İdil DOĞAN ve babam Ahmet Mithat TURUNÇ'a en içten dileklerimle teşekkür ederim..

İTÜ 54 mezunları buluşmalarıyla beni hep İstanbul Teknik Üniversitesi kültürün içine sokmaya çalışan, beni lisansüstü eğitim konusunda teşvik eden, yüksek lisans tezimi koşa koşa kendisine götürmeyi çok isteyeceğim, hep gülüryüzü ve nazikliğiyle hatırlayacağım betonun duayeni çok sevgili dedem Dr. İnş. Müh. Ruşen DOĞAN'a bana kattıkları için çok teşekkür ederim.Beni sürekli aydınlatan ve yanımda olan sevgili halam Prof. Dr. Nermin UYSAL ve sevgili teyzelerim Işın DOĞAN ve Aslı DOĞAN'a çok teşekkür ederim.

Beni yüksek lisans eğitimim boyunca ve hayatımın önemli dönemeçlerinde yalnız bırakmayan, varlığıyla her zaman hayatımı renklendiren Bahar DOĞRU'ya sonsuz sevgilerimi sunarım.

Çalışmalarıyla kendini hissettiren çalışma arkadaşım Hasan Fehmi ÇAPIN'a tüm sohbetleri ve destekleri için teşekkür ederim.

Benim buralara gelmem de çok önemli rolleri olan İstanbul Üniversitesi'ndeki çok değerli hocalarıma en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Ocak 2015

Umut Doğan TURUNÇ  
Metalurji ve Malzeme Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                |      |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                     | v    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                              | vii  |
| KISALTMALAR .....                                                              | ix   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                           | xi   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                             | xiii |
| ÖZET.....                                                                      | xix  |
| SUMMARY .....                                                                  | xxi  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                 | 1    |
| 1.1 Sürtünme .....                                                             | 2    |
| 1.2 Aşınma .....                                                               | 4    |
| 1.2.1 Aşınmaya etki eden faktörler .....                                       | 6    |
| 1.2.2 Aşınma mekanizmaları .....                                               | 7    |
| 1.2.3 Aşınmanın türleri .....                                                  | 8    |
| 1.2.3.1 Abrasif aşınma .....                                                   | 10   |
| 1.2.3.2 Erozyon aşınması .....                                                 | 21   |
| 1.2.3.3 Adhezif aşınma.....                                                    | 26   |
| 1.2.3.4 Yorulma aşınması .....                                                 | 28   |
| 1.2.3.5 Korozyon aşınması.....                                                 | 29   |
| 1.2.4 Aşınmanın ölçümü .....                                                   | 32   |
| 1.2.4.1 Aşınmanın ölçümünde kullanılan farklı yaklaşımlar .....                | 32   |
| 1.2.4.2 Abrasif aşınma ölçümünün standardizasyonu.....                         | 33   |
| 2. DOLGU KAYNAĞI İLE AŞINMANIN AZALTILMASI.....                                | 45   |
| 2.1 Dolgu Kaynağı .....                                                        | 45   |
| 2.2 Sert Dolgu Malzemeleri .....                                               | 46   |
| 2.3 Sert Dolgu Alaşımlarının Sınıflandırılması ve Standardizasyonu .....       | 48   |
| 2.3.1 Sert dolgu alaşımlarının standardizasyonu .....                          | 48   |
| 2.3.1.1 TS EN14700'e ve BS EN14700'e göre standardizasyonu.....                | 49   |
| 2.3.2 Sert dolgu alaşımlarının sahip olduğu yapıya göre sınıflandırılması..... | 50   |
| 2.3.2.1 Ferritik alaşımlar .....                                               | 52   |
| 2.3.2.2 Martensitik alaşımlar.....                                             | 52   |
| 2.3.2.3 Östenitik alaşımlar .....                                              | 53   |
| 2.3.2.4 Karbürlü sert dolgu alaşımları.....                                    | 54   |
| 2.4.Sert Dolgu Kaynağının Uygulanması .....                                    | 56   |
| 2.5 Sert Dolgu Kaynağıyla Üretilen Aşınma Plakaları .....                      | 57   |
| 2.5.1 Aşınma plakalarının özellikleri ve kullanım alanları .....               | 58   |
| 2.5.1.1 Aşınma plakalarının özellikleri.....                                   | 58   |
| 2.5.1.2 Aşınma plakalarının kullanım alanları.....                             | 60   |
| 3. KONU HAKKINDA DAHA ÖNCE YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR.....                       | 67   |
| 4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....                                                      | 73   |
| 4.1 Deneysel Çalışma Parametrelerinin Tespit Edilmesi .....                    | 75   |
| 4.2 S235JR Çelik Sac, Tel ve Toz Temini .....                                  | 78   |
| 4.3 Kaynak Düzenekinin Kurulması .....                                         | 79   |

|                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4 Sert Dolgu Kaynağının Yapılması.....                                    | 79         |
| 4.5 Kimyasal Bileşim Analizi Deneyleri.....                                 | 82         |
| 4.6 Mikroyapı İncelemeleri .....                                            | 83         |
| 4.6.1 Optik mikroskop ile mikroyapı incelemeleri .....                      | 83         |
| 4.6.2 Taramalı elektron mikroskobu ile mikroyapı incelemeleri .....         | 83         |
| 4.7 Sertlik deneyleri.....                                                  | 84         |
| 4.8 Aşınma dayanımı testi .....                                             | 84         |
| 4.9 Sonuçların Değerlendirilmesi .....                                      | 85         |
| 4.9.1 Kimyasal bileşim analizi sonuçları .....                              | 85         |
| 4.9.2 Mikroyapı incelemeleri sonuçları.....                                 | 86         |
| 4.9.3 Sertlik ölçümü sonuçları.....                                         | 99         |
| 4.9.4 Aşınma testi sonuçları .....                                          | 100        |
| 4.10 Sonuçların Değerlendirilmesi .....                                     | 103        |
| <b>5. YENİ AŞINMA PLAKALARININ TASARLANMASI VE OPTİMİZASYONU .....</b>      | <b>105</b> |
| 5.1 İlk Aşınma Plakasının Tasarlanması .....                                | 105        |
| 5.1.1 Tasarım 1 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi ve sonuçları..... | 105        |
| 5.1.2 Tasarım 1 aşınma plakasının mikroyapı incelemesi ve sonuçları .....   | 106        |
| 5.1.3 Tasarım 1 aşınma plakasının sertlik deneyi ve sonuçları.....          | 108        |
| 5.1.4 Tasarım 1 aşınma plakasının aşınma deneyi ve sonuçları.....           | 109        |
| 5.2 İkinci Aşınma Plakasının Tasarlanması.....                              | 111        |
| 5.2.1 Tasarım 2 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi ve sonuçları..... | 111        |
| 5.2.2 Tasarım 2 aşınma plakasının mikroyapı incelemesi ve sonuçları .....   | 111        |
| 5.2.3 Tasarım 2 aşınma plakasının sertlik deneyi ve sonuçları.....          | 115        |
| 5.2.4 Tasarım 2 aşınma plakasının aşınma deneyi ve sonuçları.....           | 115        |
| 5.3 Üçüncü Aşınma Plakasının Tasarlanması .....                             | 117        |
| 5.3.1 Tasarım 3 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi ve sonuçları..... | 117        |
| 5.3.2 Tasarım 3 aşınma plakasının mikroyapı incelemesi ve sonuçları .....   | 117        |
| 5.3.3 Tasarım 3 aşınma plakasının sertlik deneyi ve sonuçları.....          | 120        |
| 5.3.4 Tasarım 3 aşınma plakasının aşınma deneyi ve sonuçları.....           | 121        |
| 5.4 Dördüncü Aşınma Plakasının Tasarlanması.....                            | 122        |
| 5.4.1 Tasarım 4 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi ve sonuçları..... | 122        |
| 5.4.2 Tasarım 4 aşınma plakasının mikroyapı incelemesi ve sonuçları .....   | 123        |
| 5.4.3 Tasarım 4 aşınma plakasının sertlik deneyi ve sonuçları.....          | 126        |
| 5.4.4 Tasarım 4 aşınma plakasının aşınma deneyi ve sonuçları.....           | 126        |
| 5.5 Beşinci Aşınma Plakasının Tasarlanması.....                             | 128        |
| 5.5.1 Tasarım 5 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi ve sonuçları..... | 128        |
| 5.5.2 Tasarım 5 aşınma plakasının mikroyapı incelemesi ve sonuçları .....   | 128        |
| 5.5.3 Tasarım 5 aşınma plakasının sertlik deneyi ve sonuçları.....          | 131        |
| 5.5.4 Tasarım 5 aşınma plakasının aşınma deneyi ve sonuçları.....           | 132        |
| <b>6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>                                | <b>135</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                       | <b>141</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                        | <b>145</b> |

## **KISALTMALAR**

|           |                            |
|-----------|----------------------------|
| <b>T1</b> | : Tasarım 1 aşınma plakası |
| <b>T2</b> | : Tasarım 2 aşınma plakası |
| <b>T3</b> | : Tasarım 3 aşınma plakası |
| <b>T4</b> | : Tasarım 4 aşınma plakası |
| <b>T5</b> | : Tasarım 5 aşınma plakası |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 1.1:</b> Bazı malzemelerin Prosedür A ve Prosedür B standartlarındaki hacim kayıpları..                              | 35  |
| <b>Çizelge 1.2:</b> Klorobütıl içeren kauçuğun malzeme oranları ..                                                              | 37  |
| <b>Çizelge 1.3:</b> Aşındırıcı boyutlandırması ..                                                                               | 38  |
| <b>Çizelge 1.4:</b> ASTM G65 test prosedürlerine göre test parametreleri. ....                                                  | 40  |
| <b>Çizelge 2.1:</b> Alaşım grupları için kimyasal bileşim sınıflandırması.....                                                  | 49  |
| <b>Çizelge 2.2:</b> Alaşım grupları için özellik sınıflandırması.....                                                           | 49  |
| <b>Çizelge 4.1:</b> S235JR çeliği kimyasal bileşimi ..                                                                          | 78  |
| <b>Çizelge 4.2:</b> Toz kimyasal bileşimi ..                                                                                    | 79  |
| <b>Çizelge 4.3:</b> Deneysel çalışmada kullanılan kaynak parametreleri ..                                                       | 79  |
| <b>Çizelge 4.4:</b> Deneysel çalışma kapsamında kullanılan tel elektrotun kimyasal bileşimi.....                                | 80  |
| <b>Çizelge 4.5:</b> Deneysel çalışma kapsamında kullanılacak telin mekanik özellikleri ..                                       | 80  |
| <b>Çizelge 4.6:</b> Aşınma plakası numunelerinin yüzde kimyasal bileşim değerleri.....                                          | 85  |
| <b>Çizelge 4.7:</b> Aşınma plakası numunelerinin sertlik ölçüm değerleri.....                                                   | 99  |
| <b>Çizelge 4.8:</b> Aşınma plakası numunelerinin ortalama sertlik değerleri.....                                                | 99  |
| <b>Çizelge 4.9:</b> Aşınma dayanımı testi numunelerinin ilk ağırlık, son ağırlık, ağırlık kaybı ve % ağırlık kaybı değerleri .. | 101 |
| <b>Çizelge 4.10:</b> Aşınma dayanımı testi numunelerinin % ağırlık kaybı miktarlarına bağlı aşınma miktarları ..                | 101 |
| <b>Çizelge 5.1:</b> Tasarım 1 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi sonuçları.....                                          | 105 |
| <b>Çizelge 5.2:</b> Tasarım 1 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları.....                                                   | 108 |
| <b>Çizelge 5.3:</b> Tasarım 1 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçlarını içeren grafik ..                                     | 109 |
| <b>Çizelge 5.4:</b> Tasarım 1 aşınma plakasının aşınma dayanımı deneyi sonuçları.....                                           | 109 |
| <b>Çizelge 5.5:</b> Tasarım 2 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi sonuçları.....                                          | 111 |
| <b>Çizelge 5.6:</b> Tasarım 2 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları.....                                                   | 115 |
| <b>Çizelge 5.7:</b> Tasarım 2 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçlarını içeren grafik ..                                     | 115 |
| <b>Çizelge 5.8:</b> Tasarım 2 aşınma plakasının aşınma dayanımı deneyi sonuçları.....                                           | 115 |
| <b>Çizelge 5.9:</b> Tasarım 3 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi sonuçları.....                                          | 117 |
| <b>Çizelge 5.10:</b> Tasarım 3 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları ..                                                    | 120 |
| <b>Çizelge 5.11:</b> Tasarım 3 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçlarını içeren grafik ..                                    | 120 |
| <b>Çizelge 5.12:</b> Tasarım 3 aşınma plakasının aşınma dayanımı deneyi sonuçları.....                                          | 121 |
| <b>Çizelge 5.13:</b> Tasarım 4 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi sonuçları.....                                         | 122 |
| <b>Çizelge 5.14:</b> Tasarım 4 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları.....                                                  | 126 |
| <b>Çizelge 5.15:</b> Tasarım 4 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçlarını içeren grafik ..                                    | 126 |
| <b>Çizelge 5.16:</b> Tasarım 4 aşınma plakasının aşınma dayanımı deneyi sonuçları.....                                          | 126 |
| <b>Çizelge 5.17:</b> Tasarım 5 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi sonuçları.....                                         | 128 |
| <b>Çizelge 5.18:</b> Tasarım 5 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları.....                                                  | 131 |

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 5.19:</b> Tasarım 5 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçlarını içeren grafik..... | 131 |
| <b>Çizelge 5.20:</b> Tasarım 5 aşınma plakasının aşınma dayanımı deneyi sonuçları.....         | 132 |
| <b>Çizelge 5.21:</b> Tasarım aşınma plakalarının aşınma dayanımlarının karşılaştırılması.....  | 133 |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 1.1:</b> Statik sürtünme ve dinamik sürtünme esnasında cisme etki eden kuvvetleri şematik gösterimi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 3  |
| <b>Şekil 1.2:</b> Aşınmanın malzemeye göreceli hareketi yapan bileşenin hareket türüne göre sınıflandırılması.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 6  |
| <b>Şekil 1.3:</b> Çeşitli aşınma türlerinin sınıflandırılması.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 6  |
| <b>Şekil 1.4:</b> Endüstriyel makinelerde meydana gelen aşınma türlerinin gösterimi .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 9  |
| <b>Şekil 1.5:</b> Seramik parçacık tarafından abrasif aşınmaya uğrayan bakır yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 10 |
| <b>Şekil 1.6:</b> Endüstriyel uygulamalarda karşılaşılan aşınma çeşitlerinin oransal gösterimi. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 11 |
| <b>Şekil 1.7:</b> Malzemeler arasında sıkışan sert parçacıkların neden olduğu abrasif aşınma .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 12 |
| <b>Şekil 1.8:</b> Temasin yapısına göre abrasif aşınma türlerinin gösterimi (a) açık-iki cisimli. (b) kapalı – iki cisimli. (c) açık – üç cisimli. (d) kapalı – üç cisimli .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 13 |
| <b>Şekil 1.9:</b> Madenlerde kullanılan ve abrasif aşınmaya maruz kalmış toprak kazıcı..                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 13 |
| <b>Şekil 1.10:</b> Abrasif aşınma mekanizmalarının gösterimi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 14 |
| <b>Şekil 1.11:</b> Düşük gerilimli abrasif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 15 |
| <b>Şekil 1.12:</b> Yüksek gerilimli abrasif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 15 |
| <b>Şekil 1.13:</b> Yoğun abrasif aşınma etkisine maruz kalmış iş makinası kovanının görüntüsü. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 16 |
| <b>Şekil 1.14:</b> Yüzeye belli bir açıyla çarpan sert dolgu kaplanmış ekipmanın görünümü. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 16 |
| <b>Şekil 1.15:</b> Dört abrasif aşınma türünün şematik gösterimi. (a) malzemenin daha sert ve keskin parçacıklar tarafından çıkarılmasını içeren düşük gerilmeli abrasif aşınma. (b) Hasarının düşük gerilmeli abrasif aşınmaya göre çoğunlukla çok daha ciddi olduğu ve yüzeyin çizilmesi ve plastik deformasyonu ile özdeşleşen yüksek gerilmeli abrasif aşınma. (c) Kaya gibi çok sert malzemenin metal gibi daha yumuşak bir malzemeye karşı tekrarlı ve baskılı yüklemenin olması sonucu malzemenin kaybını içeren oymalı abrasif aşınma. (d) Görünür çizilme, kırılma ya da plastik deformasyon gibi durumları içermeyen malzemenin diğer yüzeyden ayrılmasının, malzemenin diğer katılara sürtme hareketiyle gerçekleştiği parlatmalı aşınma.. .... | 17 |
| <b>Şekil 1.16:</b> Abrasif aşınmanın beş mekanizmasının gösterimi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 18 |
| <b>Şekil 1.17:</b> Bazı karbürler, mineraller ve alaşımların sertlik değerleri.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 20 |
| <b>Şekil 1.18:</b> Düşük basınçlı buhar baloncuklarının yığılmasıyla oluşan kaviteasyon erozyonu aşınmasının etkisinin gösterimi. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 22 |
| <b>Şekil 1.19:</b> Yüksek hızlı akışkan içerisindeki sert parçacıkların neden olduğu erozyon aşınması.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 23 |
| <b>Şekil 1.20:</b> Su besleme pompasının pervanesinde meydana gelen kaviteasyon aşınması.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 24 |

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 1.21:</b> Çamur erozyonu aşınması sürecinin gösterimi.....                                                                          | 24 |
| <b>Şekil 1.22:</b> Pompa pervanesinde meydana gelen çamur erozyonu aşınmasının görünümü.....                                                 | 25 |
| <b>Şekil 1.23:</b> Adhezif aşınmanın farklı formlarının görünümü. ....                                                                       | 26 |
| <b>Şekil 1.24:</b> Adhezif aşınma sonrası yüzey görüntüsü.....                                                                               | 27 |
| <b>Şekil 1.25:</b> Adhezif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi. ....                                                                     | 28 |
| <b>Şekil 1.26:</b> Yorulma aşınması meydana gelmiş malzemenin görüntüsü. ....                                                                | 29 |
| <b>Şekil 1.27:</b> Yorulma aşınmasına maruz kalan bir çeliğin farklı çevrim sayılarında yüzeylerinde oluşan hasarlar. ....                   | 29 |
| <b>Şekil 1.28:</b> Korozyif aşınma meydana gelmiş malzemenin görüntüsü.....                                                                  | 30 |
| <b>Şekil 1.29:</b> Korozyif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi.....                                                                     | 31 |
| <b>Şekil 1.30:</b> ASTM G65 aşınma test sisteminin şematik gösterimi. ....                                                                   | 36 |
| <b>Şekil 1.31:</b> Klorobütül kaplı çelik diskin genel ölçüleri. ....                                                                        | 37 |
| <b>Şekil 1.32:</b> AFS 50/70 Ottawa silis kumunun 25 kez büyütülmüş görüntüsü .....                                                          | 38 |
| <b>Şekil 1.33:</b> ASTM G65 aşınma test sonrası malzeme üzerinde elde edilen düzgün ve düzensiz aşınma izlerinin görüntüsü.....              | 44 |
| <b>Şekil 2.1:</b> Dolgu kaynağı kullanım alanları .....                                                                                      | 46 |
| <b>Şekil 2.2:</b> Tambur üzerinde gerçekleştirilen kaynak uygulaması. ....                                                                   | 47 |
| <b>Şekil 2.3:</b> Kotecki diyagramı .....                                                                                                    | 51 |
| <b>Şekil 2.4:</b> Martensitik bir alaşımın mikroyapı görüntüsü .....                                                                         | 53 |
| <b>Şekil 2.5:</b> Östenitik bir alaşımın mikroyapı görüntüsü. ....                                                                           | 54 |
| <b>Şekil 2.6:</b> Karbür parçaları abrasif parçacığın hareketini kısıtlaması, kopması ve geriye kalan karbürlerin aşınmayı geciktirmesi..... | 56 |
| <b>Şekil 2.7:</b> S235JR çelik plaka ve aşınma plakasının abrasif parça karşısındaki dayanımı. ....                                          | 57 |
| <b>Şekil 2.8:</b> Aşınma plakasının üst yüzey görüntüsü. ....                                                                                | 58 |
| <b>Şekil 2.9:</b> $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürlerin hegzagonal mikroyapı şekli.....                                                                 | 59 |
| <b>Şekil 2.10:</b> Aşınma plakalarının kesit ve üst yüzey görüntüsü .....                                                                    | 60 |
| <b>Şekil 2.11:</b> Aşınma plakalarının kullanıldığı iş parçaları .....                                                                       | 61 |
| <b>Şekil 2.12:</b> Madencilikte aşınma plakalarının kullanıldığı iş parçaları. ....                                                          | 62 |
| <b>Şekil 2.13:</b> İletim sistemlerinde aşınma plakalarının kullanıldığı iş parçaları.....                                                   | 62 |
| <b>Şekil 2.14:</b> Aşınma plakalarının kullanıldığı iletim parçaları.....                                                                    | 63 |
| <b>Şekil 2.15:</b> Aşınma plakalarının bükülerek kullanıma hazır şekli .....                                                                 | 63 |
| <b>Şekil 2.16:</b> Aşınma plakalarının bunkerlerde kullanımının görüntüsü .....                                                              | 64 |
| <b>Şekil 2.17:</b> Çimento sanayisinde toz tutucularda kullanılan aşınma plakalarının görüntüsü .....                                        | 64 |
| <b>Şekil 2.18:</b> Kanatlarda aşınma plakalarının kullanıldığı parçalar.....                                                                 | 65 |
| <b>Şekil 2.19:</b> Demiryolu hat değişim noktalarında kullanılan aşınma plakası parçaları .....                                              | 65 |
| <b>Şekil 2.20:</b> Kırık cam dökülen bunkerlerde aşınma plakalarının kullanımı .....                                                         | 65 |
| <b>Şekil 2.21:</b> Sanayide aşınma plakası kullanımı öngörülen iş parçalarının kesitleri... ..                                               | 66 |
| <b>Şekil 4.1:</b> Farklı üretim sistemlerinin sahip olduğu olumlu ve olumsuz özellikler ...                                                  | 74 |
| <b>Şekil 4.2:</b> Deneysel çalışma planı adımları. ....                                                                                      | 75 |
| <b>Şekil 4.3:</b> Sert dolgu kaynağının genel uygulamaları için hazırlanmış balık kılçığı .                                                  | 76 |
| <b>Şekil 4.4:</b> Deneysel çalışma planına özel sert dolgu kaynağı uygulaması için hazırlanmış balık kılçığı .....                           | 77 |
| <b>Şekil 4.5:</b> Tambur üzerinde (silindirik) sert dolgu kaynak düzeneğinin çalışma anı ve öncesi görüntüsü . ....                          | 80 |
| <b>Şekil 4.6:</b> Sert dolgu kaynağı sırasında toz ve telin beslenme anının görüntüsü.....                                                   | 74 |

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.7:</b> Aşınma plakasının düzleştirme işlemi anının, öncesinin ve sonrasında görüntüsü. ....                         | 81  |
| <b>Şekil 4.8:</b> Aşınma plakasının çeşitli görüntüleri.....                                                                   | 82  |
| <b>Şekil 4.9:</b> Çeşitli aşınma plakası numunelerinin görüntüleri.....                                                        | 82  |
| <b>Şekil 4.10:</b> Deneysel çalışmada kullanılan aşınma plakası numunelerinin ve numunelerin analiz bölgesinin gösterimi ..... | 83  |
| <b>Şekil 4.11:</b> ASTM G65 aşınma testi sisteminin çalışma anı ve öncesi görüntüsü. ...                                       | 84  |
| <b>Şekil 4.12:</b> Başlangıç kumunun ve bir defa kullanılmış kumun görüntüsü.....                                              | 85  |
| <b>Şekil 4.13:</b> Ötektiküstü ve ötektikaltı kromkarbür mikroyapıları.....                                                    | 86  |
| <b>Şekil 4.14:</b> 1 numaralı numunenin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü .....                                         | 87  |
| <b>Şekil 4.15:</b> 1 numaralı numunenin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü.....                             | 87  |
| <b>Şekil 4.16:</b> 1 numaralı numunenin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....            | 88  |
| <b>Şekil 4.17:</b> 1 numaralı numunenin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü.....                           | 88  |
| <b>Şekil 4.18:</b> 1 numaralı numunenin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit görüntüsü ve EDX analizi .....        | 89  |
| <b>Şekil 4.19:</b> 2 numaralı numunenin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü .....                                         | 90  |
| <b>Şekil 4.20:</b> 2 numaralı numunenin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü.....                             | 90  |
| <b>Şekil 4.21:</b> 2 numaralı numunenin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....            | 91  |
| <b>Şekil 4.22:</b> 2 numaralı numunenin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi. ....           | 91  |
| <b>Şekil 4.23:</b> 2 numaralı numunenin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit görüntüsü ve EDX analizi .....        | 92  |
| <b>Şekil 4.24:</b> 3 numaralı numunenin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü. ....                                         | 92  |
| <b>Şekil 4.25:</b> 3 numaralı numunenin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü.....                             | 93  |
| <b>Şekil 4.26:</b> 3 numaralı numunenin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....            | 93  |
| <b>Şekil 4.27:</b> 3 numaralı numunenin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....           | 94  |
| <b>Şekil 4.28:</b> 3 numaralı numunenin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi.....   | 95  |
| <b>Şekil 4.29:</b> 4 numaralı numunenin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü .....                                         | 96  |
| <b>Şekil 4.30:</b> 4 numaralı numunenin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü.....                             | 96  |
| <b>Şekil 4.31:</b> 4 numaralı numunenin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....            | 97  |
| <b>Şekil 4.32:</b> 4 numaralı numunenin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi. ....           | 97  |
| <b>Şekil 4.33:</b> 4 numaralı numunenin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit görüntüsü ve EDX analizi .....        | 98  |
| <b>Şekil 4.34:</b> ASTM G65 testi sonrasındaki aşınma izinin temsili görüntüsü.....                                            | 100 |
| <b>Şekil 4.35:</b> S235JR numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüleri .....                               | 100 |
| <b>Şekil 4.36:</b> Diğer numunelerin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüleri .....                                | 102 |

|                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.37:</b> Fe-Cr-C üçlü sisteminin, (a) liküdüs faz diyagramı, (b) katılaşma sıcaklıklarına göre deneysel olarak elde edilmiş faz diyagramı, (c) Kotecki diyagramı ..... | 104 |
| <b>Şekil 5.1:</b> Tasarım 1 numunesinin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü.....                                                                                            | 106 |
| <b>Şekil 5.2:</b> Tasarım 1 numunesinin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü .....                                                                              | 106 |
| <b>Şekil 5.3:</b> Tasarım 1 numunesinin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi.....                                                               | 107 |
| <b>Şekil 5.4:</b> Tasarım 1 numunesinin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi.....                                                              | 107 |
| <b>Şekil 5.5:</b> Tasarım 1 numunesinin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                                                    | 108 |
| <b>Şekil 5.6:</b> Tasarım 1 numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü .....                                                                                 | 110 |
| <b>Şekil 5.7:</b> Tasarım 1 numunesinin aşınma testi sonrası 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü.....                                                         | 110 |
| <b>Şekil 5.8:</b> Tasarım 2 numunesinin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü.....                                                                                            | 111 |
| <b>Şekil 5.9:</b> Tasarım 2 numunesinin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü .....                                                                              | 112 |
| <b>Şekil 5.10:</b> Tasarım 2 numunesinin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                                                             | 113 |
| <b>Şekil 5.11:</b> Tasarım 2 numunesinin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                                                            | 114 |
| <b>Şekil 5.12:</b> Tasarım 2 numunesinin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                                                   | 114 |
| <b>Şekil 5.13:</b> Tasarım 2 numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü .....                                                                                | 116 |
| <b>Şekil 5.14:</b> Tasarım 2 numunesinin aşınma testi sonrası 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü.....                                                        | 116 |
| <b>Şekil 5.15:</b> Tasarım 3 numunesinin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü...                                                                                             | 117 |
| <b>Şekil 5.16:</b> Tasarım 3 numunesinin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü .....                                                                             | 118 |
| <b>Şekil 5.17:</b> Tasarım 3 numunesinin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                                                             | 119 |
| <b>Şekil 5.18:</b> Tasarım 3 numunesinin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                                                            | 119 |
| <b>Şekil 5.19:</b> Tasarım 3 numunesinin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                                                   | 120 |
| <b>Şekil 5.20:</b> Tasarım 3 numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü .....                                                                                | 121 |
| <b>Şekil 5.21:</b> Tasarım 3 numunesinin aşınma testi sonrası 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü.....                                                        | 122 |
| <b>Şekil 5.22:</b> Tasarım 4 numunesinin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü..                                                                                              | 123 |
| <b>Şekil 5.23:</b> Tasarım 4 numunesinin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü .....                                                                             | 123 |
| <b>Şekil 5.24:</b> Tasarım 4 numunesinin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                                                             | 124 |
| <b>Şekil 5.25:</b> Tasarım 4 numunesinin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                                                            | 124 |

|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.26:</b> Tasarım 4 numunesinin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....           | 125 |
| <b>Şekil 5.27:</b> Tasarım 4 numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü.....                                         | 127 |
| <b>Şekil 5.28:</b> Tasarım 4 numunesinin aşınma testi sonrası 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü .....               | 127 |
| <b>Şekil 5.29:</b> Tasarım 5 numunesinin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü...                                                     | 128 |
| <b>Şekil 5.30:</b> Tasarım 5 numunesinin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü.....                                      | 129 |
| <b>Şekil 5.31:</b> Tasarım 5 numunesinin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                     | 129 |
| <b>Şekil 5.32:</b> Tasarım 5 numunesinin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....                    | 130 |
| <b>Şekil 5.33:</b> Tasarım 5 numunesinin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi .....           | 130 |
| <b>Şekil 5.34:</b> Tasarım 5 numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü.....                                         | 132 |
| <b>Şekil 5.35:</b> Tasarım 5 numunesinin aşınma testi sonrası 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü .....               | 133 |
| <b>Şekil 5.36:</b> Aşınma plakası numunesinin aşınma testi sonrası 1000x ve 5000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ..... | 134 |



# **FARKLI KİMYASAL BİLEŞİMLERDEKİ SERT DOLGU AŞINMA PLAKALARININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ, GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

## **ÖZET**

Sistem ekipmanlarının aşınması sanayide karşılaşılan en önemli ve en yaygın problemdir. Sektörlerde süregelen pahalı kesintiler ve makine bileşenlerinin değiştirilmesinin maliyetini azaltmak için yöntemler ve malzemeler geliştirmek için sürekli bir mücadele olmuştur. Sert dolgu işlemi çok yönlü tekniklerden en önemlisi olup metal altlık üzerine çeşitli metal ve alaşımları sert ve aşınmaya dayanıklı tabakalar şeklinde kullanıcıya sunmaktadır. Sadece aşınmaya dayanımı arttırmakla kalmayıp, servis ömrünü uzatmaya ve maliyetleri düşürmeye yardımcı olmaktadır. Sertdolgu kaynak yöntemiyle üretilen aşınma plakaları; abrasif aşınma etkisi altında çalışan sistemlerin üretilmesi ve aşınmış sistem yüzeylerinin yenilenmesi için maliyeti de azaltarak sanayiye hizmet eden güncel çözümdür. Aşınma plakaları birçok kaynak uygulamasının yerine doğrudan uygulanarak tamir - bakım masraf ve zaman kayıplarının önüne geçmektedir. Bu sayede abrasif aşınma içeren birçok uygulamada çalışabilmeye olanak sağlamıştır.

Bu akademik çalışmada, şu anda ülkemizde gelişime açık durumda olan sertdolgu aşınma plakalarının gerektirdiği teknolojik ve bilimsel bilgiye ulaşmak istenmektedir. Yapılan araştırmada Fe-Cr-C esaslı ve Si, Mn ihtiva eden sertdolgu aşınma plakalarının karmaşık kimyasal bileşiminin geliştirilerek abrasif aşınma dayanımlarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneyler; kimyasal bileşim deneyleri, metalurjik mikroyapı incelemeleri, abrasif aşınma dayanımı deneyleri, sertlik deneyleri, aşınma deneyi sonrası mikroyapı incelemeleri kontrol edilerek standartlara ve proje hedeflerine uygun olup olmadığı belirlenmiştir.

Bu tez çalışma aşamasında aşınma plakaları melez bir toz altı kaynak yöntemiyle sertdolgu kaynakları yapılmıştır. ASTM G65 abrasif aşınma testi esas alınarak ve Avrupa standardı EN 14700 standardı çerçevesinde yapılan karakterizasyon deneyleri ile çeşitli miktarda element içeren aşınma plakalarının mekanik ve mikroyapısal özellikleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra bu veriler ve literatür çalışmaları değerlendirilerek yeni aşınma plakası tasarımları yapılmıştır. Yapılan beş aşınma plakası tasarımıyla birlikte istenilen mekanik değerlere ulaşarak gelişme sağlanmış ve başarılı olunmuştur.

Aşınma plakalarının özelliklerin incelenmesi ve karakterizasyonu için deney planı oluşturulmuştur. Bu deney planına göre kaynak deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tecrübeler doğrultusunda sert dolgu kaynağıyla üretilen aşınma plakaları uygulamalarına özelleştirilmiş balık kılçığı hazırlanmıştır. Literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırmalar yapılarak elde edilen sonuçların geçerliliği araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Aşınma Plakalarının sanayideki birçok alanda kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Aşınma Plakalarının kullanımının yaygınlaşması sonucunda sanayi kuruluşlarında aşınmaya bağlı üretim ve hizmet kesintisinin daha aza indirilmesiyle beraber maliyetlerde belirgin azalma öngörülmektedir.

Deneysel çalışmalar kapsamında aşınma plakaları istenilen kaynak kalitesini sağlamakla beraber tasarım aşamasından sonra uygulamanın gerekli mekanik ve kimyasal özellikleri sağladığı görülmektedir. Aşınma plakaları diğer muadil malzemelere göre üstünlük sağlamaktadır. Abrasif aşınma dayanım performansı ve fiyatı gibi tekno-ekonomik faktörler de göz önüne alındığı takdirde aşınma plakaları birçok uygulama için rakipsiz konuma gelmektedir.

## **CHARACTERIZATION, IMPROVEMENT AND OPTIMIZATION OF DIFFERENT CHEMICAL COMPOSITION HARDFACING WEAR PLATES SUMMARY**

Wear of the system equipment is the most important and the most common problems encountered in the industry. To reduce the cost of replacing expensive ongoing interruptions and machine components; industry has been in a constant struggle to develop methods and materials. Hard-facing process as one of the most important versatile techniques offers the user various metals and alloys in the form of hard and wear-resistant layers on the metal base. Not only increase wear resistance and helps extend the service life and reduce costs. Wear plates produced by the hard-core welding- through developing working systems under the influence of abrasive wear, and reducing the cost of system renewal of worn surface-is the current solution serves the industry. Wear plates when applied directly instead of multiple welding applications, prevents repair and maintenance costs and time loss. Thus, providing an opportunity to be able to work with many applications involving abrasive wear.

In this academic work, it is desired to achieve clear technological and scientific knowledge that is required by technical hard-facing wear plates which is currently in development. The survey aimed to improve the abrasive wear resistance of Fe-Cr-C based, and Si-Mn containing hard-facing wear plates by developing the complex chemical composition. Verified by experimental studies; chemical composition tests, metallurgical micro-structure examinations, abrasive wear resistance tests, hardness tests, and determined whether it is appropriate to wear tests with standards and project objectives.

In this thesis, hard-facing wear plates are made with a hybrid open-submerged arc welding method. Under ASTM G65 abrasive wear test basis and within the framework of the European standards of EN 14700 standards characterization experiments has been conducted through which mechanical and micro-structural properties of wear plates containing various amounts of elements are compared with each other.

An experimental design (test plan) to investigate the characterization and properties of wear plates has been formed and welding test carried out according to this test plan. In accordance with the experience obtained, a fish-bone has been prepared which is customized to the applications produced by hard-facing wear plates. The validity of the results obtained by comparison with other studies in the literature have been investigated.

Based on the results obtained to extend the use of wear plates in many areas of the industry has been aimed. As a result of widespread use of Wear Plates in industrial establishments minimizing interruptions in production and service due to wear and a significant cost reduction is expected. Following the characterization studies above mentioned, the following results were obtained:

- After hardfacing coating process has been carried out, the investigation of the properties of the wear plate and characterization has been performed and conformity to standards EN 14700 FE-14 through chemical composition and hardness values of samples investigated and verified.
- During cross sectional upper surface examination of the micro-structure through optical microscope and scanning electron microscope, except for Sample number 3 expected in all wear plate samples containing the primary chromium carbides hyper-eutectic system occurs and hexagonal  $M_7C_3$  primary chromium carbide has been observed. In the wear plate number 3 in, unwanted lower-eutectic primary austenite structure which is assumed to occur from the failure of the carbon content and to affect adversely the strength properties, and  $M_7C_3$  eutectic carbides dispersed in the primary austenitic phase has been detected. The results of EDX analysis of all wear plates samples has been confirmed consistency with the experimental results of the chemical composition. When results of cross-sectional EDX analysis are analyzed the carbon content of primary chromium carbides has increased as expected while moving towards the surface of the coating from the metal base of the coating.
- Hardness test results supporting micro-structure analysis results to be the lowest and under the usual was obtained in the wear plate sample number 3.
- Wear tests has been conducted in accordance with ASTM G 65 test by providing the most appropriate test equipment and components within the framework of standard ASTM G65 procedure A which is most suitable to abrasive wear seen with work environment in targeted areas of the wear plate. Abrasion resistance tests have also been clearly observed to be compatible with other test results; as per No. 3 sample showed the significant lowest abrasion resistance among wear plates. As another but important results of the ASTM G65 abrasive wear test the samples of abrasive wear plates have been found to show very high abrasion resistance as compared to the samples of Hardox S235JR. Wear test results showed parallelism with the sample hardness.
- Considering the above assessments, the wear plate sample No.3 although associated with chemical composition, range values of hardness standard; due to not meeting expected value in terms of wear resistance performance and hardness value as per ASTM G65 the new wear plate designs have been realized.

Provided that, wear resistance and toughness properties of designed wear plates based on the Fe-Cr-C phase diagrams is at least 3.5% carbon content under the operating temperature. Thus, the prediction of expected formation and requested basic features rise due to the increase of  $(Cr,Fe)_7C_3$  of  $(M_7C_3)$ , carbide density rise, significant increase of the hardness and abrasion resistance rate have been assumed; and after the development studies on the five wear plate designs the following results have been achieved;

- In the first three wear plate design, carbon ratio has been increased gradually. Then the element C is kept constant but Si and Mn ratio is increased. The chemical % composition of the final fifth wear plate design formed as; C: 5.0 / Cr: 28.2 / Si: 1.03 / Mn: 1.29. When both cross-sectional of and upper surface images of the welding area of the T5 wear plate analyzed by optical microscopy and scanning electron microscopy, the desired primary chromium carbides  $M_7C_3$  has been observed.  $M_7C_3$  hexagonal chromium carbide grains are observed comfortable than the previous samples. And EDX analyses are consistent with the chemical composition analysis. Due to improved micro-structure and carbide

density of the T5 design has achieved better abrasion resistance values than the other samples. This result supports the result of the improvement in wear resistance performance.

- Average hardness values as of the status in the final design results as compared to the initial sample No. 3, increased by 10 Rockwell C. In this case, increase of the rate C is in the foreground.
- Depending on the % weight loss compatible with the increase of the hardness of abrasion resistant material even though there is no linear relationship between hardness and wear resistance.
- The amount of carbide is increasing due to the increase of carbon content, and thus hardness and abrasive wear resistance increase too.
- Chemical composition of all design values have been in accordance with standards EN 14700 FE-14, FE-15. Therefore, in all wear plate designs the micro-structure content specified in the standards have been observed. Moreover, all the hardness test results of the design are consistent with hardness range of the same standards and abrasive wear resistance, which are consistent with standard usage.
- After the abrasive wear test ASTM G65, regions subject to wear and not exposed to wear has been studied. Abrasive wear of the eutectic phase has been found to be more. Hexagonal primary chromium carbide grains are making stops as barrier effect against abrasive wear, they prevent erosion and have been identified fragmentation not completed.

Within in the scope of the experimental applications, although the wear plates provide the quality desired by welding work, but it is seen that the required mechanical and chemical properties provided only after the design stage. Wear plates is superior as compared to other similar materials. If techno-economic factors such as abrasive wear resistance and price are taken into consideration the wear plates reach unbeatable competitive performance and position for many applications.



## 1. GİRİŞ

Günümüzde, kar odaklı kitlesel üretim ön planda olduğundan, hızlı üretime yönelik sistemler ve ekipmanlarının sanayideki yeri her geçen gün artmaktadır. Bu tür ekipmanların yedek parçalarının teminlerinin zor ve pahalı olmasının yanı sıra aşınarak fonksiyonel ölçülerini kaybeden parçalar veya kırılarak kullanılamaz hale gelen birçok parça servis dışı kalarak üretimi aksatmaktadır. Ağır makina parçaları gibi ciddi aşınmaya maruz kalarak tahrip olan birçok sistem parçalarının aşınması da sadece sektörde çalışanlara ve operatörlerine değil ülke ekonomilerine de ciddi ekonomik maliyetlere neden olmaktadır. Aşınan bu yüzeyler artık sert dolgu aşınma plakalarıyla kaplanarak sorunun çözümü çok daha etkin ve ekonomik bir şekilde kullanıcıya sunulmaktadır.

Aşınma plakaları; abrasif aşınma etkisi altında çalışan sistemlerin üretilmesi ve aşınmış sistem yüzeylerinin yenilenmesi için maliyeti de azaltarak sanayiye hizmet eden güncel çözümdür. Aşınma plakaları birçok kaynak uygulamasının yerine doğrudan uygulanarak tamir - bakım masraf ve zaman kayıplarının önüne geçmektedir. Bu sayede abrasif aşınma içeren birçok uygulamada çalışabilmeye olanak sağlamıştır. Aşınma plakalarının kullanımıyla önlenen aşınma kaynaklı israf neticesinde sağlanacak ekonomik fayda neredeyse tek başına satış gelirleriyle sağlanamayacak kadar çoktur. İçinde bulunduğumuz tüketim çağının da ötesinde gelecek yıllarda insanlar Dünya'dan hammadde ve daha kaliteli tüketim malzemeleri talebini sürdüreceklerdir. Sert dolgu aşınma plakalarının sadece günümüzün ihtiyaçlarına değil, geleceğin de ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte olduğu şüphesizdir.

Bu tez kapsamında ülkemizde çimento sektörü başta olmak üzere birçok sektörde yaygınlaşan sert dolgu aşınma plakalarının içyapı ve mekanik özellikler açısından karakterize edilmesi ve optimize edilerek geliştirilmesi, buna bağlı olarak aşınmanın neden olduğu ekonomik kayıpların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

## 1.1 Sürtünme

Genel anlamda sürtünme, temas halinde olan ve birbirine göre bağıl hareket yapan elemanlar arasında harekete karşı ortaya çıkan direnç olarak tanımlanır.

Sürtünme hareketli makineleri içeren endüstride israfa ve çok fazla enerji kaybına neden olmaktadır. Örneğin, Dünya'daki yağ tüketiminin %10'u sadece sürtünmeyle baş edebilmek için kullanılmaktadır. Sürtünmeye giden enerji kaybı aslında kayma hareketinin sürdürülebilmesi için devamlı sağlanması gereken enerji gereksinimidir. Gereken bu enerji sürtünmenin neden olduğu başlıca ısı nedeniyle kaybolmaktadır. Enerjinin bir bölümü de kayan yüzeylerin aşınması ve kopması gibi bütün bu bileşenlerinin ikamesinin ve yenilenmesinin gerekli olduğu çeşitli deformasyon süreçlerinde harcanmaktadır. Kayan yüzeylerin sürtünmesi tek başına ekonomik açıdan yeterince önemli olmasının yanı sıra kendisine ek neden olduğu aşınma gibi bir başka çok önemli ve maliyetli bir süreç olmasından da iyi anlaşılması gereken bir konudur.

Genel olarak sürtünmenin önlemesi ve düşük sürtünme katsayısı esas amaçlanan durum olsa da frenler ve yollar gibi elemanlarda yüksek sürtünme katsayısı amaçlanmaktadır. Bütün bu durumları göz önüne aldığımızda bileşenlerin tasarımı ve makinelerin etkin, verimli ve güvenli çalışabilmesi için sabit, tekrarlanabilir ve tahmin edilebilir sürtünme değerleri gerekmektedir [1].

Sürtünme kuvveti ile bilinen ilk çalışma Leonardo da Vinci'ye aittir. Da Vinci'ye göre sürtünme katsayısı; sürtünme kuvvetinin normal kuvvete olan oranına eşittir [2].

Kaymayı başlatan kuvvet ( $F_s$ ) ile temas yüzeyine etki eden normal kuvvet ( $F_n$ ) arasında;

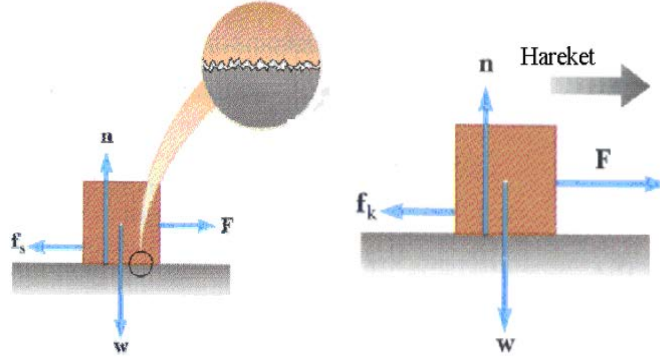
$$F_s = \mu_s F_n \quad (1.1)$$

Bağıntısı mevcuttur. Burada  $\mu_s$  statik sürtünme katsayısıdır.

Kayma başladıktan sonra, sürtünme kuvvetinde bir azalma olur ve bu durumda;

$$F_k = \mu_k F_n \quad (1.2)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada  $\mu_k (< \mu_s)$  kinetik sürtünme katsayısıdır [3].



**Şekil 1.1 :** Statik sürtünme ve dinamik sürtünme esnasında cisme etki eden kuvvetleri şematik gösterimi [6].

Sürtünme ve aşınma mekanizmalarını anlamak için yüzey temas teorilerini iyi bilmek gerekmektedir. Mikroskobik seviyede yüzeyler tamamen düz değildir. Yüksek büyütmelerde, çok iyi parlatılmış yüzey bile tepeler ve çukurlar, pürüzlülükler ve girintiler gösterecektir. İki yüzey bir araya getirildiğinde, pürüzlülüklerin tepe noktalarından temas etmeye başlamaktadırlar. Bu noktada; temas kuvveti daha yumuşak olan malzemenin sertliğine yakın olabilir ve plastik deformasyon yerel bölgede yer alır. Soğuk kaynak iki malzeme arasında kuvvetlice bağlı birleşme yerini oluşturabilmektedir. Kayma olayı başladığında, bu birleşme yerleri sürtünme kuvvetinin etkisiyle kırılmış olacaktır ve bu sürtünmenin adhesif bileşenini sağlamaktadır. Bazı pürüzlülükler malzeme çifti yüzeyi zorlayarak ilerleyebilir ve sürtünme kuvvetine katkıda bulunan plastik deformasyona veya elastik gecikmeyle sonuçlanabilir. Kayan yüzeyler arasında sıkışmış olan aşınma kalıntıları nedeniyle ilave katkılar da olabilir.

Sürtünme kuvvetinin yaratılmasında birçok mekanizma bulunduğundan, sürtünmenin sadece malzemeye bağlı bir özellik olmadığı açıktır ancak bunun yerine ölçüm koşulları, yüzey pürüzlülüğü, yüzeyde oksitlerin veya adsorbe filmlerin varlığı ve daha çeşitli koşullar etkileyebilmektedir. Birleşme yerleri ve pürüzlülüklerin deformasyonu son derece yereldir bu yüzden de çok yüksek sıcaklıklara çok kısa zaman diliminde çıkılmış olunması mümkündür. Bu sıcak bölgelerde, hızlı oksidasyon, plastik akma ya da yayılım gerçekleşebilir ve bunların tümü aşınma sürecini etkilemektedir. Bazı durumlarda kıvılcım bile oluşabilmektedir. Meydana gelen sıcaklık ısının ne kadar hızlı yaratıldığına (çalışma koşullarındaki uygulanan yük ve hız ile ilgilidir) ve ısının ne hızda uzaklaştığına (kayan yüzeylerin ısı özellikleriyle ilgilidir) bağlıdır.

Malzemeler arasındaki sürtünme katsayısı aşağıdaki faktörlerden etkilenmektedir,

- Malzemelerin kompozisyonuna
- Her bir katının yüzey bitirme işlemine
- Dış ortamın yapısına
- Temas eden katıları etkileyen kuvvete (Yük)
- Göreceli hareketin hızına
- Göreceli hareketin yapısına (tek yönlü - çok yönlü, ileri – geri, sabit – sabit olmayan gibi)
- Temasın yapısına (uygun – uygun olmayan yüzeyler)
- Ara yüzey bölgesindeki sıcaklığa
- Yüzeylerin daha önceki kayma geçmişlerine
- Makinelerin özelliklerine ve eklenen malzemelere [1].

## 1.2 Aşınma

Birbirine temas eden mühendislik malzemelerinin, birbirlerine sürtünmesi neticesinde meydana gelen aşınma, çeşitli makine ve teçhizatın kullanımı sırasında çok büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Genel olarak aşınma; bir katıyla temas halindeki katı, sıvı ve gazın mekanik etkisiyle, katı malzemenin yüzeyindeki kopma ve ayrılma olarak tanımlanabilir. Aşınma, bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu neticesinde ortaya çıkan malzeme kaybıdır [1]. DIN 50320'de aşınma; "kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik" olarak tanımlanmaktadır. OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) aşınmayı; başka bir yüzeye temas halindeki ana malzemenin göreceli hareketi sonucu malzemenin temas yüzeyinde meydana gelen ilerleyen malzeme kaybı olarak tanımlamıştır [4].

Aşınmanın tamamen mekanik gerçekleştiği varsayılsa da, unutulmamalıdır ki kimyasal korozyon aşınma faktörleriyle birlikte görülebilir. Aşınmayı azaltmak her bir durumda hangi aşınma mekanizmasının meydana geldiğini anlamak önemlidir. Çeşitli farklı aşınma türleri mevcuttur ve her bir farklı aşınmanın azaltılabilmesi için farklı pratik yaklaşımlar gerekmektedir [5].

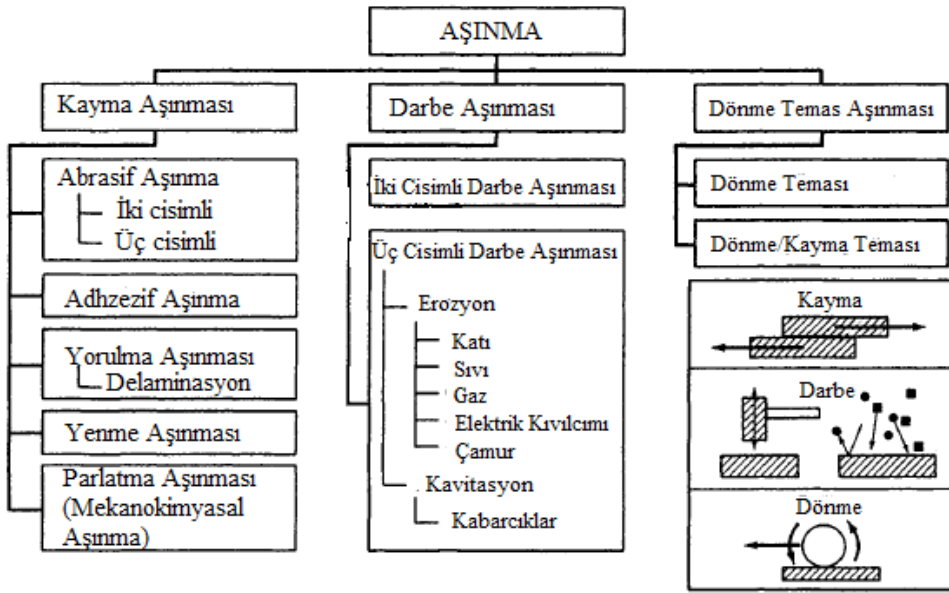
Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleşebilir. Bunlar bölgesel erimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel anlamda oluşan ayrılmadır. Uygulamada aşınma kapsamında, daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dahil edilmektedir.

Bir aşınma sisteminde; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve hareket aşınmanın temel unsurunu oluşturur. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem teknikte "Tribolojik Sistem" olarak isimlendirilir. Bir aşınma sistemindeki önemli etkenlerden biri de çevre şartlarıdır. Sistem elemanlarının nem ve korozyon etkileri ile karşı karşıya kalması aşınmayı hızlandırır [6].

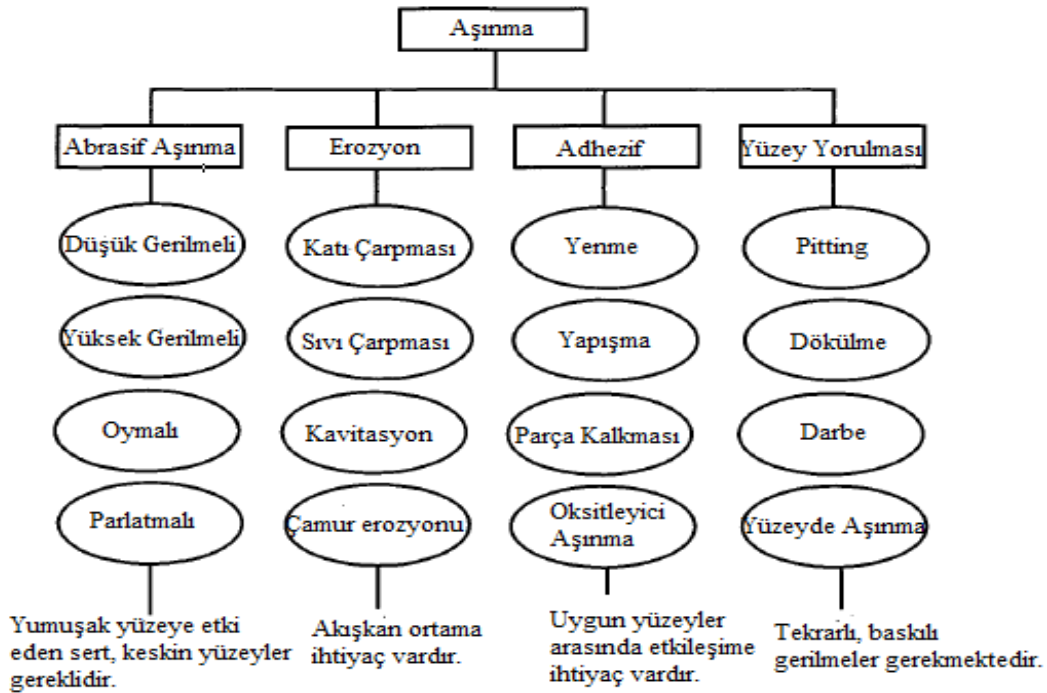
Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için aşağıdaki şartların mevcut olması gerekir.

1. Mekanik bir etken olması,
2. Sürtünmenin olması,
3. Hareketin devamlı olması,
4. Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi [7].

Aşınma çeşitli gruplar altında sınıflandırmak mümkündür. Yağlayıcı varlığına ya da yokluğuna bağlı olarak sınıflandırılabilirdiği gibi etkin olan temel aşınma mekanizmasına göre de sınıflandırmak mümkün olmaktadır.. Ancak aşınma sırasında çoğu zaman birden farklı aşınma mekanizmaları aynı anda etki edebildiğinden bu sınıflandırma da biraz güç olmaktadır. Aşınma mekanizmalarına bağlı farklı sınıflandırmaların varlığından ve bu sınıflandırmalardan hiçbirinin evrensel olarak kabul edilmemiş olmasına rağmen bu sınıflandırmaların çoğu makul benzer özelliktedir. Şekil 1.2 ve şekil 1.3 iki farklı aşınma sınıflandırmasını göstermektedir. Bu sınıflandırmalar yapılmış olmasına rağmen, mekanizmalarının benzerliğine dayanan aşınma süreçlerinin sınıflandırılmasındaki güçlüğüne varlığına dikkat çekilmiştir [1].



Şekil 1.2 : Aşınmanın malzemeye göre hareketi yapan bileşenin hareket türüne göre sınıflandırılması [1].



Şekil 1.3 : Çeşitli aşınma türlerinin sınıflandırılması [1].

### **1.2.1 Aşınmaya etki eden faktörler**

Aşınmayı etkileyen faktörleri dört ana grup halinde toplayabiliriz.

#### **1-Ana (Aşınan) Malzemeye Bağlı Faktörler**

- Malzemenin kristal yapısı
- Malzemenin sertliği
- Malzemenin boyutu
- Elastisite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlülüğü

#### **2- Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi**

#### **3- Ortam Şartları**

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

#### **4- Servis Şartları**

- Basınç
- Hız
- Kayma yolu [6].

Aşınan ve aşındıran malzeme beraberce “aşınma çifti” olarak isimlendirilir. Aşınma çifti arasındaki bağıl hareket aşınmanın cinsini belirler. Tribolojik sistemde küçük bir değişiklik aşınmayı çok şiddetli etkiler. Bu değişiklikler dinamik parametreler, çevre parametreleri veya malzeme parametreleri olabilir [8].

### **1.2.2 Aşınma mekanizmaları**

Metal parçaların kullanıldığı ortamlara göre aşınma durumları şu malzeme grupları ile olmaktadır.

1. Metal – Metal
2. Metal – Ametal

### 3. Metal – Sıvı veya Buhar

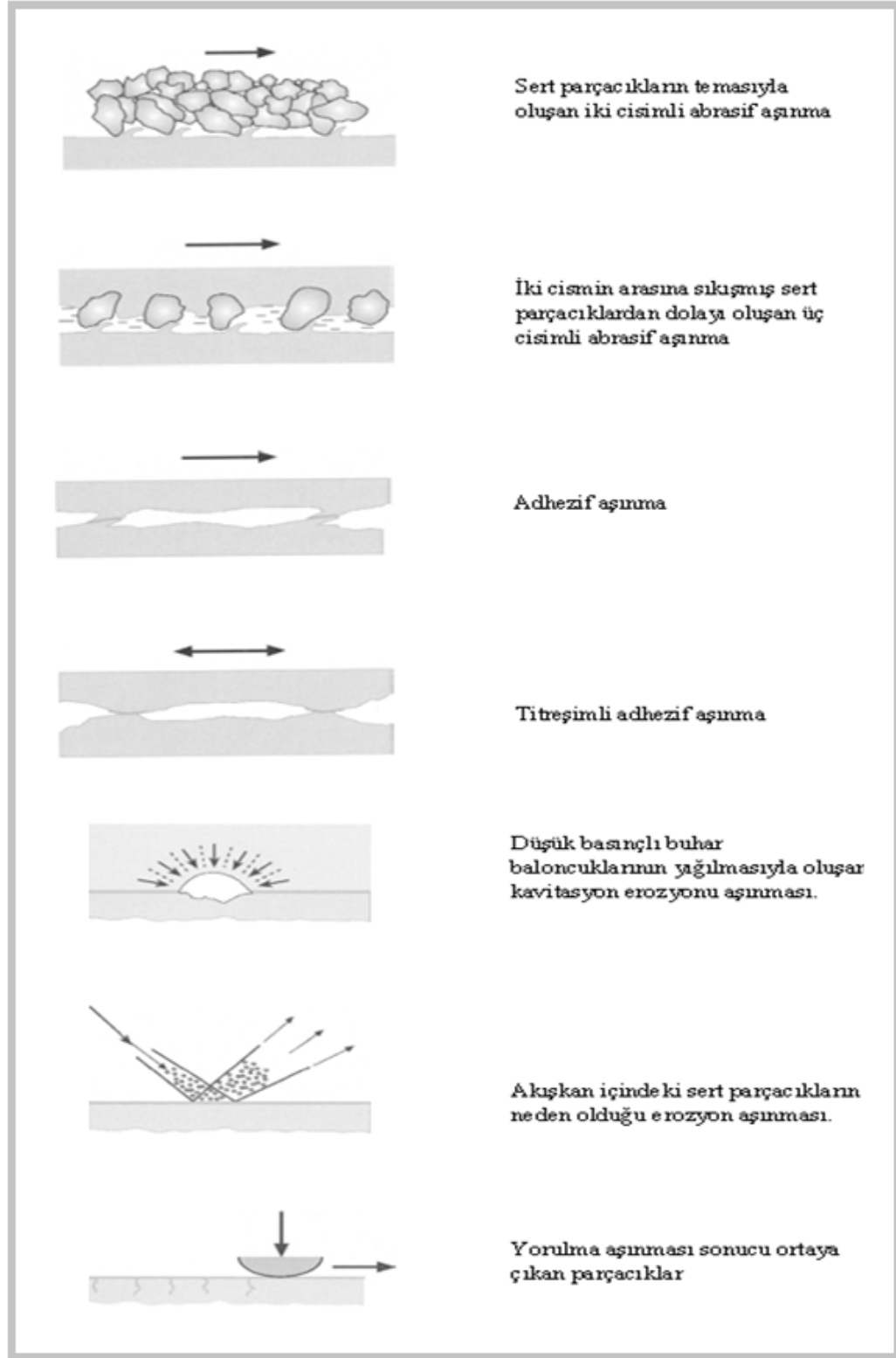
Bu sınıflandırmanın, yağlamanın olduğu veya olmadığı durumlar, kayma veya yuvarlanma sürtünmesi dolayısıyla aşınma şeklinde kısımlara da ayrılması gerekmektedir. Ayrıca şartlar değişebilir ve önceden metal – metal olan durum, metal – ametal haline dönüşebilir veya başlangıçtaki yeterli olan yağlama sonradan yetersiz kalabilir. Bu nedenlerden dolayı yukarıdaki sınıflandırma gerçek mühendislik uygulamalarında kullanılabilirliğini kaybedebilir ve bunun yerine yaygın olan terimlerle gruplandırma tercih edilir. Aşınma olayına etki eden bir ya da birkaç etken değişik aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarır. Bu aşınma mekanizmaları, abrasif aşınma, adhezif aşınma, erozyon aşınması, korozyon aşınması, kimyasal aşınma ve diğerleri olmak üzere endüstride değişen oranlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu aşınma mekanizmalarından en çok karşılaştığımız ise abrasif aşınmadır [1].

#### 1.2.3 Aşınmanın türleri

Aşınma türleri ve mekanizmaları çoğu zaman iç içe geçen kavramlar olduğundan literatürde pek çok aşınma mekanizması ve türü tanımlanmıştır. Genel olarak aşınma 5 ayrı türde tanımlanabilir.

1. Abrasif aşınma
2. Adhezif aşınma
3. Erozyon aşınması
4. Yorulma aşınması
5. Korozyon Aşınması

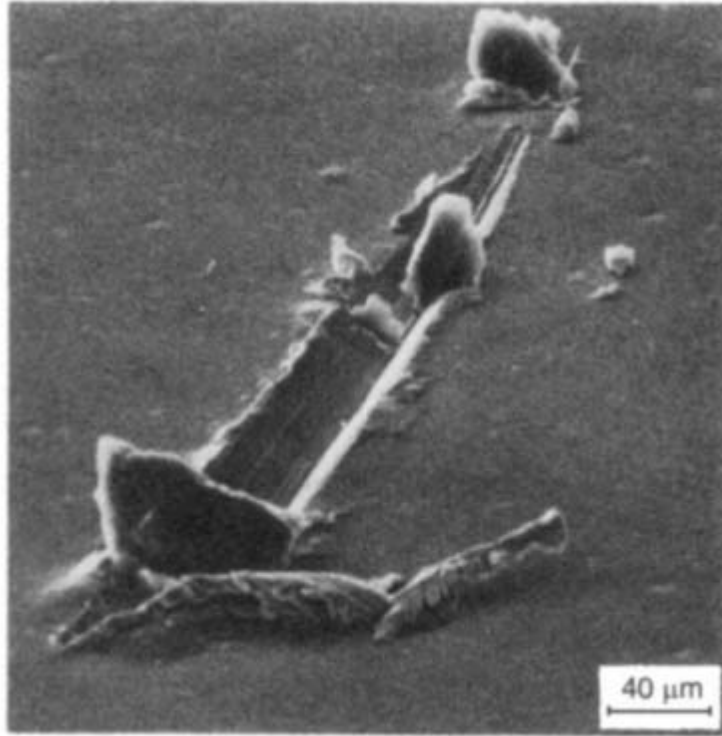
Şekil 1.4 endüstriyel ekipmanlarda meydana gelen aşınma mekanizmalarının süreçlerini detaylı olarak göstermektedir.



Şekil 1.4 : Endüstriyel makinelerde meydana gelen aşınma türlerinin gösterimi [3].

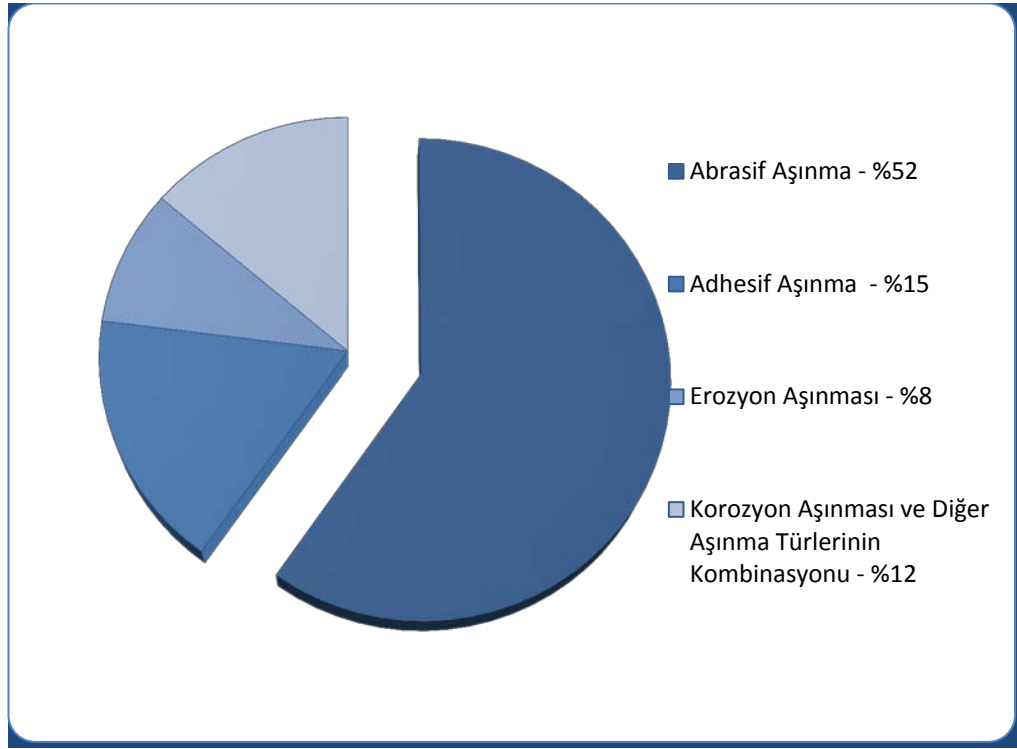
### 1.2.3.1 Abrasif aşınma

Abrasif aşınma, katı yüzey boyunca hareket eden ve yüzeye karşı zorlayan sert parçacıklardan veya sert çıkıntıların neden olduğu aşınma olarak tanımlanmaktadır. [9] Abrasif aşınma; yük altında yumuşak yüzey boyunca hareket eden sert pürüzlülüklerin, yumuşak yüzeyi delmesi ve yumuşak yüzeyde bir oyuk bırakacak şekilde yumuşak malzemenin yüzeyinden malzeme ayrılmasına neden olması olarak da tanımlanabilmektedir. Bahsedilen pürüzlülükler; küçük ayrı parçacıklar olabileceği gibi, büyük bir yüzeydeki pürüzlülükler de olabilmektedir. Bu aşınma türünün en büyük göstergesi yüzeyde neden olduğu oyuklardır. [10] Metallerdeki bu aşınma türüne daha sıklıkla metal olmayan malzemeler neden olmaktadır, ancak metal parçacıklar da sebep olabilmektedir. Genellikle, karşısındaki malzemedен daha sert olan parçacıklardan dolayı ciddi olarak abrasif aşınma veya çizilme oluşmaktadır. Şekil 1.16'da yumuşak bakır yüzeyin daha sert seramik bir yüzey tarafından abrasif aşınmasının etkisini göstermektedir. [1]



**Şekil 1.5 :** Seramik parçacık tarafından abrasif aşınmaya uğrayan bakır yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü [1].

Abrasif aşınmanın maliyeti oldukça yüksektir ve sanayileşmiş bir ülkenin gayri safi milli hasılasının %1-4'ünü oluşturmaktadır. Abrasif aşınmanın etkisi madencilik, tarım, mineral işleme, toprak kazı işleri gibi sanayi alanlarında ve özellikle kir, kaya ve mineraller bulunan her hangi bir ortamda açık olarak görülmektedir. Cevher veya taş yükleme/boşaltma, küreme araçları, kepçeler, kırıcılar, damperli kamyonların damperleri örnek olarak verilebilir.



**Şekil 1.6 :** Endüstriyel uygulamalarda karşılaşılan aşınma çeşitlerinin oransal gösterimi [10].

İki yüzey temas ettiğinde, aşınma her iki yüzeyde de oluşmaktadır. Araştırmacılar ve sanayiciler kendi ekonomik kayıpları için daha çok potansiyel oluşturduğundan, diğer yüzeyi abrasif aşındırıcı olarak değerlendirip, aşınma yüzeyine odaklanma eğilimindendirler. Mesela, bir binada merdivenlerde yukarı çıkan bir kişi muhtemelen kendi ayakkabılarını merdiven basamaklarına kıyasla daha çok düşünmektedir tabi binanın bakım ekibiye merdiven basamaklarındaki abrasif aşınmaya odaklanacaktır. Aslında, her iki yüzey de abrasif aşınmayla ilişkidir. Abrasif aşınma; kaldırımlar ve yerler vb. günlük hayattaki bir çok alanda karşımıza çıkmaktadır [1,10]. Şekil 1.6 abrasif aşınmanın endüstriyel uygulamalarda da en çok karşılaşılan aşınma çeşidi olduğunu göstermektedir.

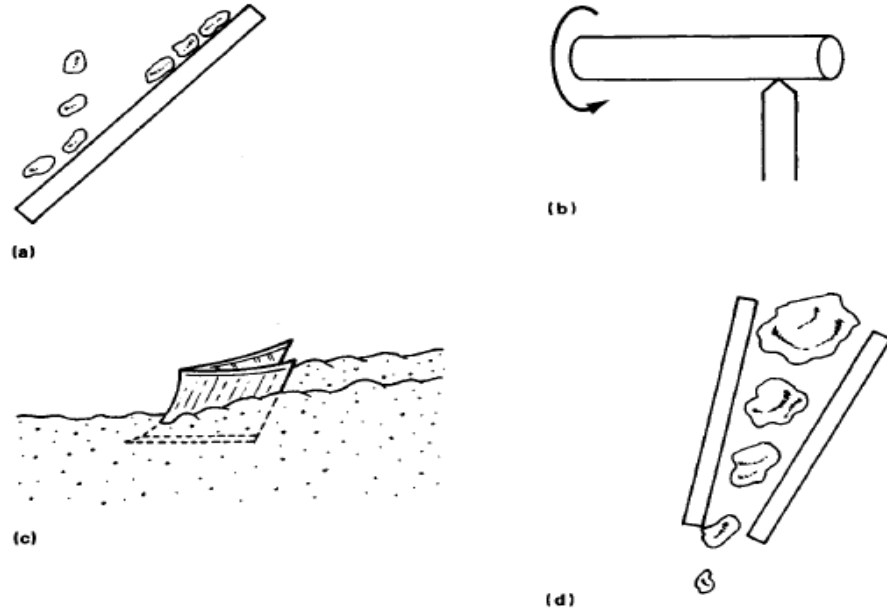


**Şekil 1.7 :** Malzemeler arasında sıkışan sert parçacıkların neden olduğu abrasif aşınma [5].

Yüzeydeki abrasif aşınmanın miktarı, her iki yüzeyin özelliklerine, iki yüzey arasında bulunan abrasif malzemelerin varlığına, temas hızına ve diğer çevresel faktörlere bağlıdır. Kısacası, aşınma miktarı malzemenin özülüyle doğrudan ilgili değildir. Yukarıdaki örneğe dönmemiz halinde, bir yüzeydeki malzemenin (ayakkabı – merdiven basamağı) değişimi, karşı yüzeyin aşınmasını değiştirecektir. Abrasif aşındırıcıya ilaveten, merdiven basamağında bulunması mümkün kum gibi bir tabaka da aşınma durumunu değiştirebilmektedir ve bu durumda kum, ayakkabı ve merdiven basamağıyla temas oluşturan ikinci bir yüzeyi oluşturmaktadır [1,5].

#### **1.2.3.1.1 Abrasif aşınma türleri**

Abrasif aşınma türleri temasın türüne ve temas ortamına göre sınıflandırılmaktadır. Temasın türü iki cisim ve üç cisim aşınmasının içermektedir. İki cisimli aşınması, abrasif aşındırıcının yüzey boyunca hareketiyle oluşmaktadır. Üç cisim aşınmasında ise abrasif aşındırıcı iki yüzey arasında bulunmaktadır. Genellikle, uygulanan aşınmanın yükü ve mesafesi, iki cisim sistemlerinde, üç cisim sistemlerine göre 10 ile 1000 kez daha fazla kayba neden olduğu deneyimlenmiştir. Temas ortamları açık ve kapalı ortam olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.



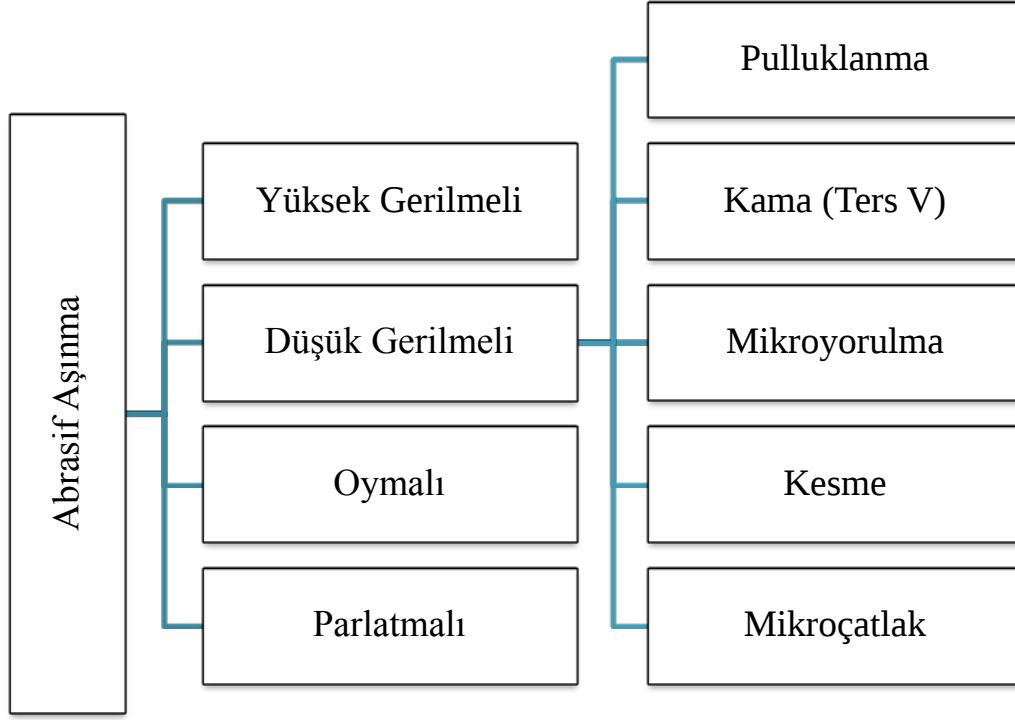
**Şekil 1.8 :** Temasin yapısına göre abrasif aşınma türlerinin gösterimi (a) açık-iki cisimli. (b) kapalı – iki cisimli. (c) açık – üç cisimli. (d) kapalı – üç cisimli [1].

Testler, açık ve kapalı sistemlerde uygulanan aşınmanın yük ve mesafe için aşınma miktarının yaklaşık aynı olduğunu göstermektedir. Ancak, kapalı sistemlerde ölçülen aşınma kayıpları, açık sistemlere göre çoğunlukla daha yüksek görülmektedir. Bu muhtemelen, kapalı sistemlere uygulanan yüklerin daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır [1].



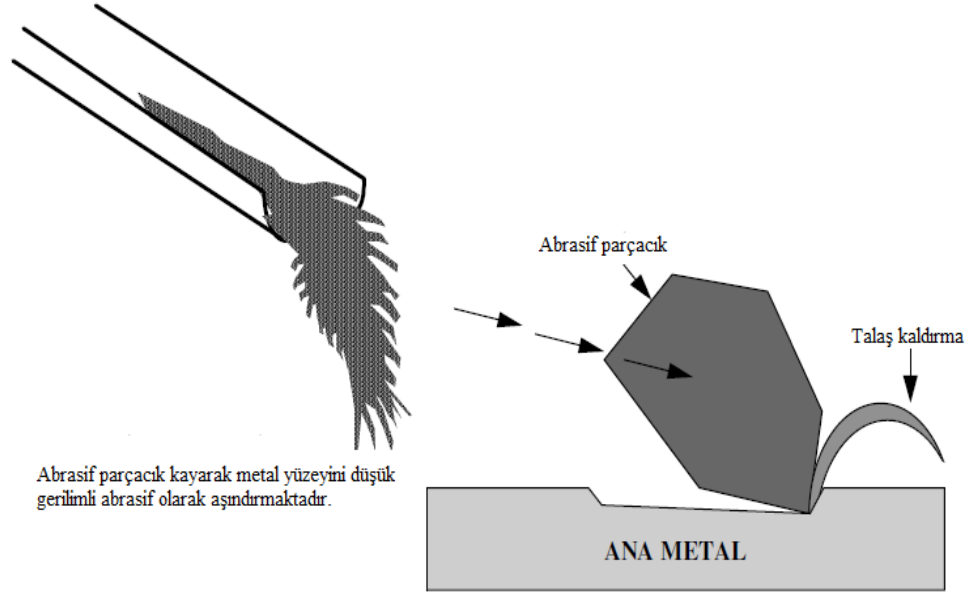
**Şekil 1.9 :** Madenlerde kullanılan ve abrasif aşınmaya maruz kalmış toprak kazıcı [7].

Şekil 1.11’de görüldüğü üzere abrasif aşınma genellikle düşük gerilimli abrasif aşınma, yüksek gerilimli abrasif aşınma, oymalı abrasif aşınma, parlatmalı abrasif aşınma. Aşağıdaki paragraflarda her bir aşınma türü ayrıca belirtileceği üzere, abrasif aşınmanın türü değişen miktarlardaki yüzey ve alt yüzey hasarı tarafından nitelendirilir [11].



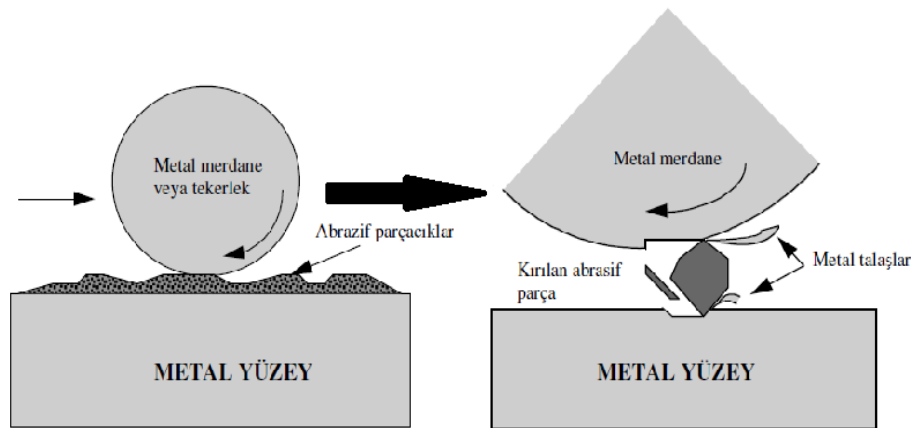
Şekil 1.10 : Abrasif aşınma mekanizmalarının gösterimi [1].

**Düşük gerilimli abrasif aşınma (çizilme abrasif aşınması)**, abrasif parçacıklarla metalin nispeten hafif sürtünme temasının olduğu abrasif aşınmayı nitelendirir. Abrasif aşındırıcının kırılmasına neden olmayacak kadar düşük sınırdaki bir yük olması, düşük gerilimli abrasif aşınma olması için bir kıstas olarak belirtilmektedir. Aşınma izleri çoğunlukla çizikler şeklindedir ve alt yüzey deformasyon miktarı oldukça azdır. Sonuç olarak, kayda değer bir yüzey ve sertleşmesi olmamaktadır. Elekler, oluk astarları, pervaneler gibi parçalar kum harmanları veya buna benzer abrasif ortamların etkisiyle düşük gerilimli abrasif aşınmaya maruz kalabilmektedirler. Kalıplar, civatalar ve zincirler gibi toz altında çalışan birçok makine parçası düşük gerilimli abrasif aşınma tarafından etkilenebilmektedirler. Şekil 1.11 düşük gerilimli abrasif aşınma etkisindeki yüzeyi göstermektedir.



**Şekil 1.11 :** Düşük gerilimli abrasif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi [15].

**Yüksek gerilmeli abrasif aşınma,** abrasif aşındırıcının kırılmasına neden olabilecek gerilme değerindeki abrasif aşınmadır. Metalin yüzeyinde önemli ölçüde şekil değişimi sertleşmesi olmaktadır. Madencilik endüstrisindeki cevher öğütücü bilyeler yüksek gerilmeli abrasif aşınmayı örneklemektedirler. Haddeme silindirleri, dişliler, makaralar gibi dönen temaslı yataklar diğer örnekler olarak verilebilir. Şekil 1.12 bunu örneklemektedir.



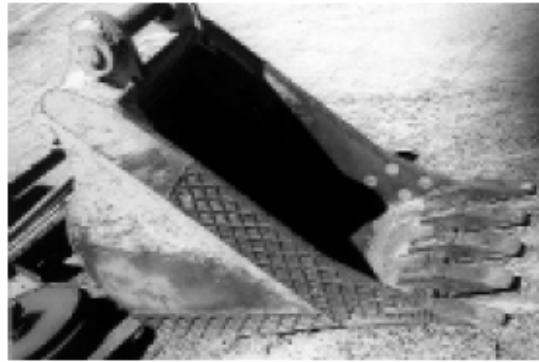
**Şekil 1.12 :** Yüksek gerilimli abrasif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi [15].

Abrasif malzemeler iki metal arasında sıkıştırıldığında ana parça tane boyları küçülür. Abrasif parçaların köşeli küçük parçalara bölünerek kırılmasını ve bu sırada iki metal yüzeyden küçük talaşlar kaldırmasını göstermektedir.

**Oymalı abrasif aşınma;** oymalı abrasif aşınma genel olarak, yüksek gerilimli abrasif aşınma sonucunda oluşan büyükçe oluklara veya oyuklara sebep olan aşınma olarak tanımlanabilir. Değirmen veya tozlaştırmacılarıdaki darbe çekiçleri, sert kayaları yükleyen kepçe dişleri gibi parçalarda görülmektedir. Şekil değişimi sertleşmesi ve plastik deformasyon baskın faktörlerdir.

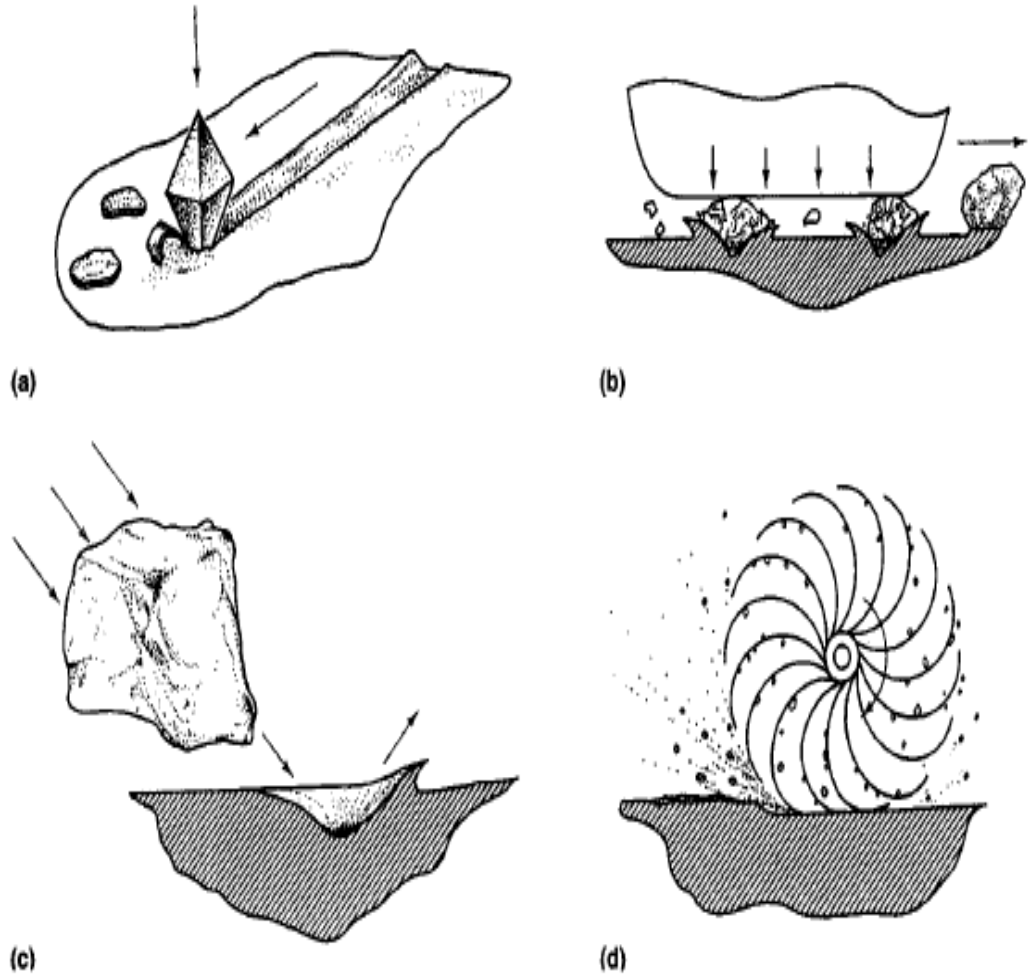


**Şekil 1.13 :** Yoğun abrasif aşınma etkisine maruz kalmış iş makinası kovasının görüntüsü.



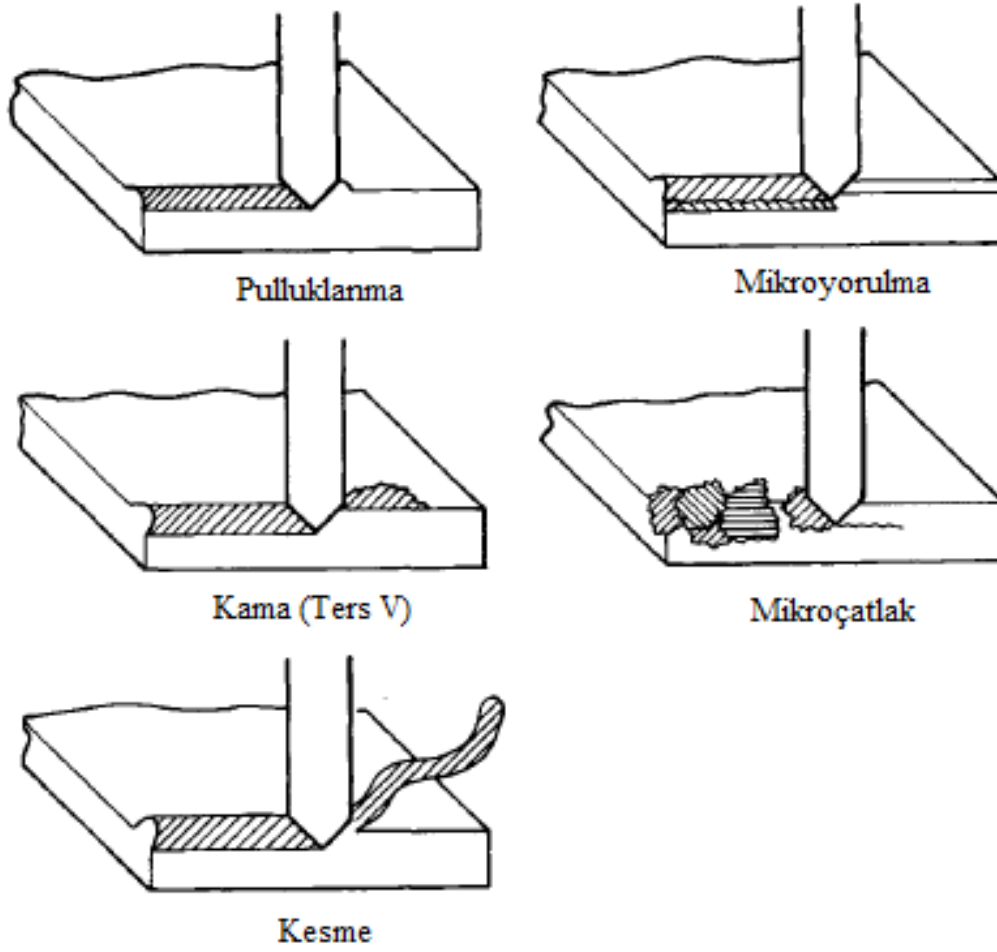
**Şekil 1.14 :** Sert dolgu tabakası kaplanmış kepçenin görünümü [10].

**Parlatma aşınması,** henüz tam olarak tanımlanamayan abrasif aşınmanın oldukça hafif bir varyasyonudur, ancak oldukça hafif ölçülü abrasif aşınma, mikro pürüzlerin sıvanması ve/veya kimyasal korozyon içerebilir. Parlatma aşınmasıyla ilişkili yüzeyler genellikle pürüzsüz ve parlaktırlar ancak bu pürüzsüzlük veya parlaklık malzeme kaybını gerektirmektedir. Aşınmış ve kaygan merdiven basamaklarında olduğu gibi servis edilebilirliğin kaybına neden olabilmektedir. [1]



**Şekil 1.15 :** Dört abrasif aşınma türünün şematik gösterimi. (a) malzemenin daha sert ve keskin parçacıklar tarafından çıkarılmasını içeren düşük gerilmeli abrasif aşınma. (b) Hasarının düşük gerilmeli abrasif aşınmaya göre çoğunlukla çok daha ciddi olduğu ve yüzeyin çizilmesi ve plastik deformasyonu ile özdeşleşen yüksek gerilmeli abrasif aşınma. (c) Kaya gibi çok sert malzemenin metal gibi daha yumuşak bir malzemeye karşı tekrarlı ve baskılı yüklemenin olması sonucu malzemenin kaybını içeren oymalı abrasif aşınma. (d) Görünür çizilme, kırılma ya da plastik deformasyon gibi durumları içermeyen malzemenin diğer yüzeyden ayrılmasının, malzemenin diğer katılara sürtme hareketiyle gerçekleştiği parlatmalı aşınma. Örnek olarak parlatma çarkı verilebilir[1].

Abrasif aşınma sırasında malzemenin nasıl ayrıldığını açıklayan birçok mekanizma mevcuttur. Kırılma, yorulma, ergime bu mekanizmalardandır. Abrasif aşınmanın karmaşıklığından dolayı, hiçbir mekanizma tamamen tüm malzeme kaybına neden olmamaktadır. Şekil 1.16’te tek bir abrasif uç yüzeyi kat ederken oluşabilen süreçlerden bazılarını anlatmaktadır.



**Şekil 1.16** : Abrasif aşınmanın beş mekanizmasının gösterimi [1].

Pulluklanma, malzemenin oyuktan diğer tarafa doğru yerinden çıkması sürecidir. Hafif yükler altında gerçekleşir ve gerçek anlamda herhangi bir malzeme kaybına sebep olmaz. Hasar, soğuk işlem yoluyla dislokasyonların artışı şeklinde malzemenin yüzeyine yakın oluşur. Daha sonra çizikler bu soğuk işlenmiş yüzey üzerinde meydana gelirse, o zaman bu sonraki işlem mikro yorgunluk yoluyla malzeme kaybına neden olabilir. Tüm kütlenin kesme dayanımı, temas ara yüzü kesme mukavemeti oranına göre yeterince yüksek bir düzeye (0.5-1.0) yükseldiğinde, bir abrasif aşındırıcı ucunda kama (ters V şekli) gelişebilmektedir. Bu durumda, oyuktan ayrılan toplam malzeme miktarı, yerinden ayrılıp yana taşınan malzeme miktarından daha fazla olmaktadır. Bu kama oluşumu hala abrasif aşınmanın oldukça hafif formudur.

Sünek malzemeler için abrasif aşınmanın en ciddi türü kesmedir. Abrasif uç, kesme işlemi sırasında, makine takımının yaptığına yakın bir talaş kaldırma gerçekleştirmektedir. Bu durum, malzemenin kaldırılmasıyla sonuçlanır, ancak oluğun ölçülerine göre çok az malzeme kaydırılır. Keskin bir abrasif parçacık için, pulluklanmadan kesmeye geçiş için kritik açı değeri bulunmaktadır. Bu açı abrasif aşınmaya uğrayan malzemeye bağlıdır. Örneğin bu açı değeri bakır için 45°, alüminyum içinse 85°'dir.

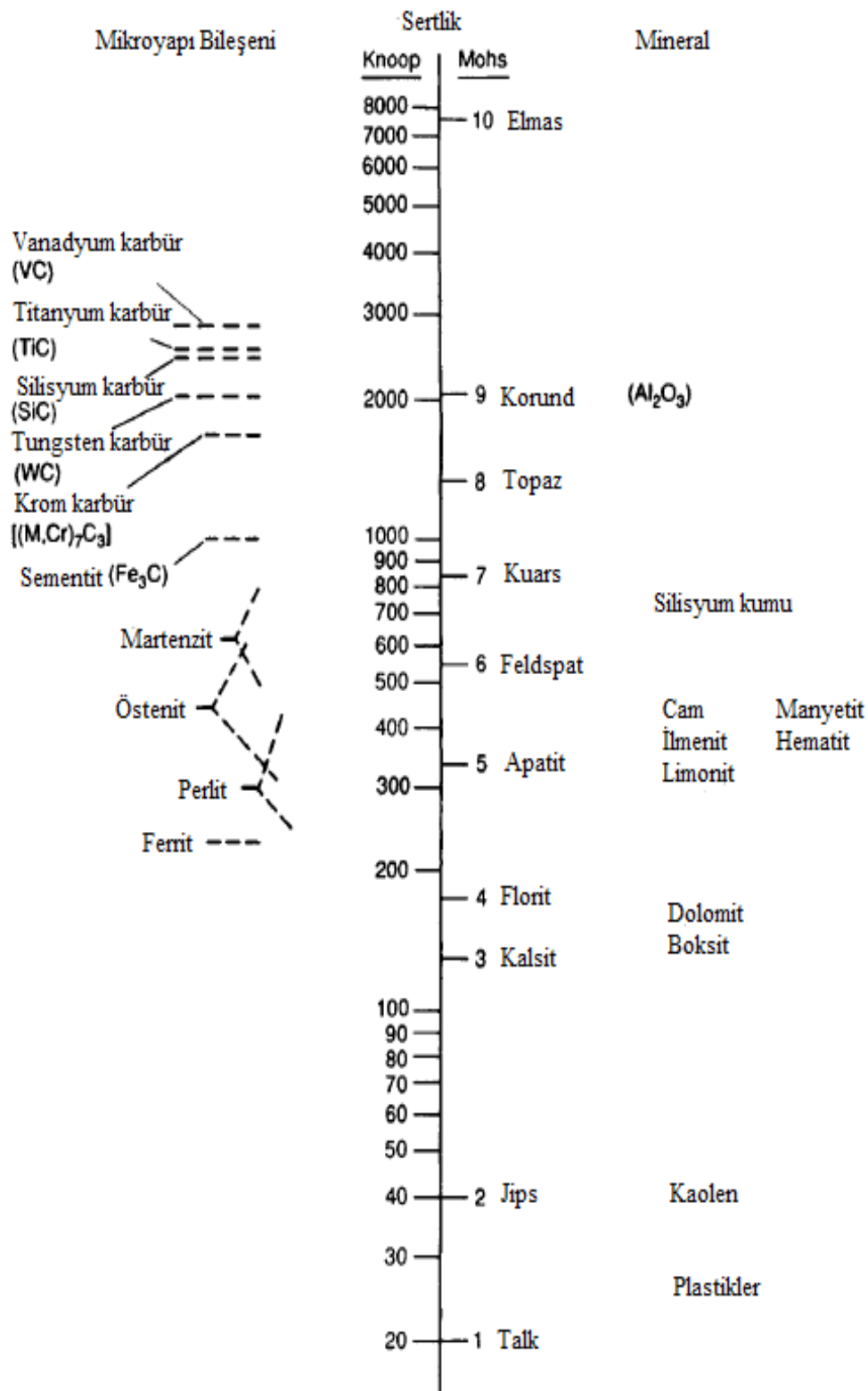
Gevrek malzemelerin abrasif aşınmasında mikroçatlak veya mikroyorulma olarak adlandırılan ayrı bir türü mevcuttur. Abrasif tane tarafından uygulanan kuvvetin malzemenin kırılma tokluğunu aştığı zaman, bu olay meydana gelmektedir. Genellikle seramik malzemeler için baskın olan ciddi aşınma türü olup, beyaz dökme demir gibi malzemelerde de görülmektedir.

Malzeme özelliğinin abrasif aşınma üzerine etkisi, mikroyapı ve sertlik dışında elastik modül, akma dayanımı, kırılma tokluğu, bileşim gibi özellikler de abrasif aşınmaya etki etmektedir. Örneğin; ferritik malzemelerin abrasif aşınmaya dayanımı mikroyapı, sertlik ve karbon miktarı gibi üç metalürjik kritere oldukça bağlıdır. Daha yumuşak olan ferritik veya östenitik yapılara göre sert martensitik yapılar tercih edilmektedir. Bu tercih, özellikle, alt yüzey aşınmasının az olduğu düşük gerilmeli abrasif aşınma da oldukça önemli olmaktadır.

Uygun malzeme seçimi ve yüzey mühendisliği işlemlerinin uygulanmasıyla abrasif aşınmanın önlenmesi mümkün olmaktadır. Abrasif aşınmaya iyi direnç gösterebilen malzeme grupları şekilde gösterilmiştir [1,5].

Uygulanabilen yüzey işlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Sertdolgu alaşımlarıyla kaynak yapmak, örneğin; yüksek karbonlu demir-krom alaşımı veya nikel-krom-bor alaşımları vb.
- Plazma sprey teknolojisi ile seramik termal bariyer kaplamalar.
- Buhar biriktirme yöntemiyle üretilen sert kaplamalar. Örneğin; TiN.
- Krom kaplama.
- Sementasyon yöntemleri [1].



**Şekil 1.17 :** Bazı karbürler, mineraller ve alaşımların sertlik değerleri [1].

### 1.2.3.2 Erozyon aşınması

#### Katı parçacık erozyonu

Küçük, katı parçacıkların hafif ancak tekrarlı etkileri sonucunda oluşan malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Katı parçacık erozyonu kum püskürtme ve yüksek hızda aşındırıcılı su püskürtmeli kesme işlemi gibi bazı durumlarda yararlı bir durum olarak karşımıza çıksa da buhar ve jet türbinleri, boru sistemleri, taşıyıcı valfler ve akışkan yatak yakma sistemlerini içeren birçok mühendislik uygulamalarında ciddi bir problemdir.

Sıvı veya gaz ortamına katılarak herhangi hızda katıya çarpan, sert parçacıkların olduğu her yerde katı parçacık erozyonu beklenebilmektedir. Bileşenlerin incelmesi, gaz/parçacık akışında görülen makro boyutlu çukur oluşumu, yüzey pürüzleşmesi (parçacığın boyutuna ve hızına bağlı olarak parlatmadan ciddi pürüzlenmeye kadar), abrasif aşınma özelliği olan yünlü oyuk oluşumunun eksikliği ve her durumda görülmesi de metaller üzerinde dalga patternleri oluşumu katı parçacık erozyonunun uygulamalardaki habercilerindendir.

Katı parçacık erozyonu, katı parçacıkları içeren gaz ya da sıvı ortamlarda meydana gelebilmektedir. Akışa göre parçacıklar hızlanabilmekte ya da yavaşlayabilmekte ve yönleri değişebilmektedir. Sıvı ortamda bu daha belirgin olmaktadır ve çamur erozyonu olarak tanımlanmaktadır. Erozyon testlerinde, gaz ortamında en az 50 $\mu$ m' den büyük olan parçacıklar için gaz akışından kaynaklı parçacıkların dalgalanması ihmal edilebilmektedir. Ancak bir mühendislik uygulamada, bu tür etkiler oldukça önemli olabildiğinden akılda olmalıdır. Örneğin; yüzeyden parçacıklar geri sektirdiğinde veya döndüğünde, parçacıkların o hacimdeki dağılımı, türbindeki erozyon hasarının ciddiyeti, parçacık boyutunun, yön ve hızın değişimin etkisi gibidir.

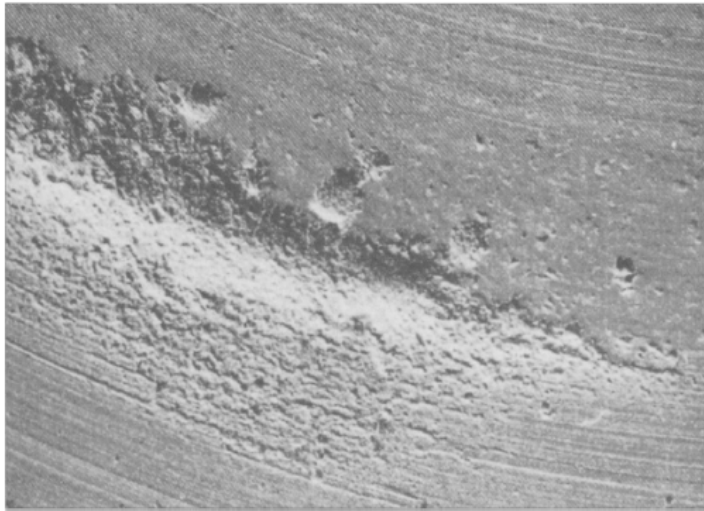
Abrasif aşınma ile erozyon aşınması arasındaki ayrım belirgin olmalıdır çünkü erozyon kavramı abrasif aşınmanın iyi olduğu durumlarda da kullanılabilir. Abrasif aşınma yüzeye uygulanan aşırı yükün hareketi altında kayan abrasif parçacıkların sonucuyken, katı parçacık erozyonu, yüzeye çarpan ve yüzeyden geri seken parçacıkları ifade etmektedir. İki aşınma türü arasındaki ayrımı en açık şekilde; “abrasif aşınmada yük dıştan uygulanmakta ve neredeyse sabit olmaktadır, erozyonda aşınmasında ise malzeme üzerindeki parçacıklar tarafından uygulanan kuvvet parçacıkların yavaşlamalarından kaynaklıdır” açıklamaktadır. Erozyon aşınması ve abrasif aşınmanın çalışma mekanizmalarının tanımı yeterince farklı olsa

da, kesme davranışlarının ayrımı özellikle sıvı ya da gaz ortamında çok yoğun parçacık dağılımının olduğu bazı durumlarda oldukça zor olmaktadır. Çok yoğun parçacık dağılımı, parçacıkların kümelenmesine neden olabilir ve böyle bir parçacık paketi yüzeyde kayarsa abrasif aşınma olarak sınıflandırılır [1,5].

### **Sıvı erozyonu**

Katı yüzeylerin erozyon aşınması, abrasif aşındırıcı katı parçacıkların ortamda bulunmaması ve ortamın sıvı olması durumunda olmaktadır. Kavitasyon aşınması sıvı erozyon aşınmasının bir alt türü olup sıvı içinde kabarcık oluşumunun ve daha sonra çökmesini içermektedir. Kavitasyon erozyonu malzeme yüzeyden çıkartılması süreci olup, sonucunda meydana gelen hasar ise kavitasyon hasarı olarak adlandırılır. Sıvı damlacıkların yüksek hızda bir biçimde katı yüzeyle çarpışmasının neden olduğu sıvı erozyon aşınmasına sıvı çarpma erozyon aşınması denmektedir.

Gemi pervaneleri, suda kayma kayakları olan deniz taşıtlarının kayak kısımları, sıvı kanalları, hidrolik yapılar ve pompalar, türbinler, su tünelleri gibi yerlerde kavitasyon hasarı görülebilmektedir. Bu yapılardaki yüksek hızdaki sıvı akışı hızlı ve geniş çapta bölgesel hidrodinamik baskılara neden olmaktadır. valfler, conta yerleri, mil yatakları, ısı değiştirici tüpler ve daralan tüpler gibi içinden sıvının aktığı mekanik cihazların ağız kısmında ve aşağı doğru eğimli kısımlarında kavitasyon hasarı ciddi kısıtlamalara sebebiyet verebilmektedir. Kavitasyon erozyonu aşınmasının hasarları su soğutmalı silindirik veya lineer dizel motorlarda da Şekil 1.18'deki gibi görülebilmektedir [1,3,5,12].



**Şekil 1.18 :** Düşük basınçlı buhar baloncuklarının yığılmasıyla oluşan kavitasyon erozyonu aşınmasının etkisinin gösterimi [5].

Sıvı çarpması erozyon aşınması, geniş buhar türbinlerinin düşük basınçlı çıkış pervanelerinde olduğu gibi nem damlacıkları içeren yüksek hızlı buhara maruz kalan birçok parçada görülebilmektedir. Uçaklar ve füzeler ses hızından düşük ya da fazla hızlarda sağanak yağışlarda uçtuklarında aerodinamik yüzeyleri sıklıkla zarar görmektedir. Bu aşınma türüne ise sıvı çarpması erozyon aşınmasının bir türü olan yağmur erozyonu aşınması denilmektedir. Kavitasyon erozyonu aşınması ve sıvı çarpması erozyon aşınması, alışlagelmiş buhar sistemlerinden daha düşük buhar kalitesinde çalışan ve çalışma metal sıvısı olarak parçaların hızlıca erozyon aşınmasına maruz kalmasını arttırabilen korozif özellikteki metal sıvıları kullanan nükleer enerji santrallerinde de görülebilmektedir.



**Şekil 1.19 :** Yüksek hızlı akışkan içerisindeki sert parçacıkların neden olduğu erozyon aşınması [5].

Genel olarak sıvı erozyon aşınması, mikroskobik küçüklükteki alanlarda tekrarlanan darbe yüklemesinin tarafından yüzeyden malzemenin artarak kopmasının gerçekleştiği bir mekanizmayı içeren aşınma şeklidir. Hasarın oluşum sürecinde korozyonun da rol oynamasına rağmen, hasarın oluşumunda sıvı – malzeme kombinasyonlarını etkileşimini içeren sıvı dinamikleri temel öneme sahiptir. Sıvı erozyon aşınması birçok diğer aşınma mekanizmaları gibi iyi anlaşılamamıştır. Yüzeyden parçacıkların ayrıldığı erozyon aşınmasına ve metalürjik süreçlere neden olan hidrodinamik koşulları tanımlamak zor olmaktadır.



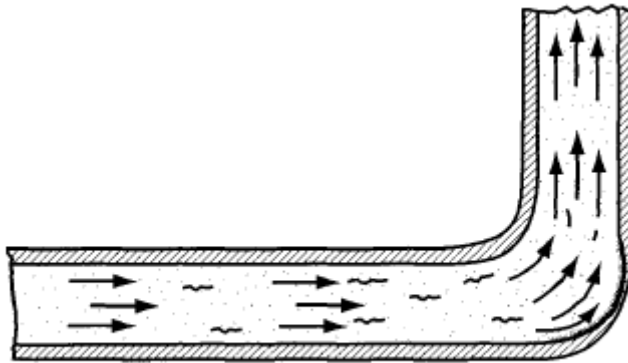
**Şekil 1.20 :** Su besleme pompasının pervanesinde meydana gelen kavitasyon aşınması [1].

Şekil 1.20’de kanatçık hızının maksimum olduğu pervanenin dış kısımlarının aşınmadan daha çok etkilendiği görülmektedir

Sıvı erozyon aşınmasının hasarı, sıvı çarpması ve kavitasyonun şiddetini azaltan tasarımlar yaparak veya kobalt esaslı alaşımlar ve takım çelikleriyle bunların sert dolgu alaşımı kaynak kaplamalarını içeren malzemeler ya da bazı durumlar için elastomer kaplamalar gibi erozyon aşınmasına dirençli malzemeler ile önlenebilmekte veya azaltılabilmektedir [1,3,5].

### **Çamur erozyonu**

Çamur erozyon aşınması, katı yüzeye göre hareket halinde olan sıvı (çamur) içindeki katı parçacıklar karışımının hareketiyle yüzeyden malzemenin artan kaybı olarak tanımlanmaktadır. Eğer ki çamurun sıvı kısmındaki katı yüzey korozyona uğramaya elverişli durumunda ise, çamur erozyonu korozyon bileşeni içerecektir.

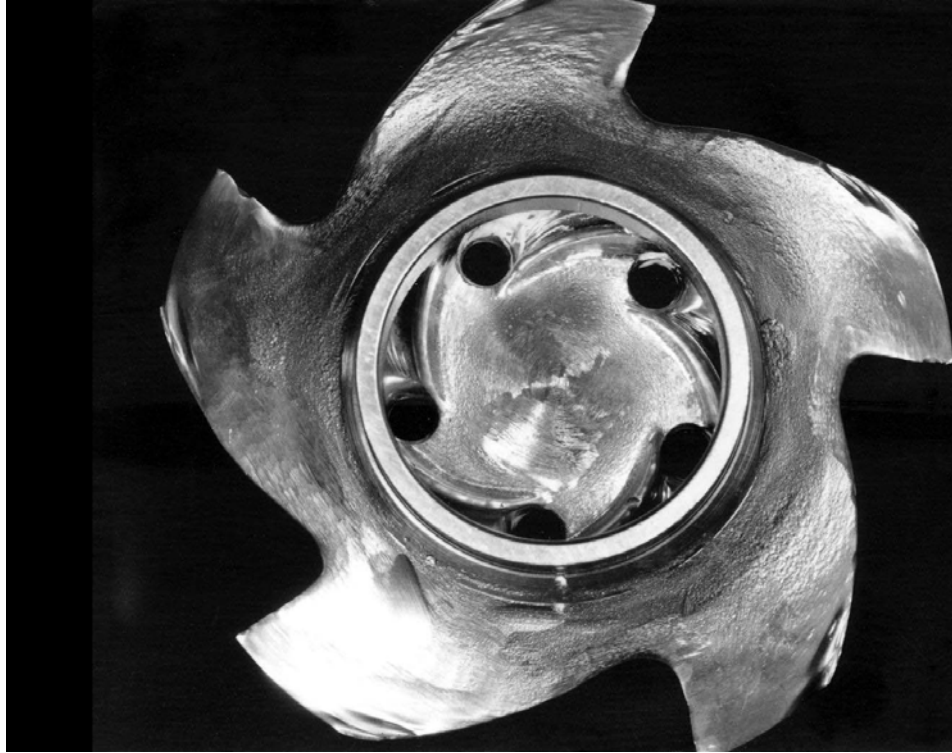


**Şekil 1.21 :** Çamur erozyonu aşınması sürecinin gösterimi [1].

Çamur erozyon aşınmasındaki çamur kavramı, katı parçacıklar ve sıvının (genellikle su) pompalanabilen bir kıvamdaki fiziksel karışımı olarak tanımlanmaktadır. Katı parçacıklar sıvı içinde süspansiyonda olmalıdır. Çoğu pompalanabilen çamur en az %10 katı içermektedir.

Çamur kullanımında, görünür abrasif aşınma, abrasif aşınma – korozyon, oyulma aşınması, abrasif metal –metal aşınması (kıрма ve delme), yüksek hız erozyon aşınması, düşük hız erozyon aşınması, sıçrama aşınması(saltation, alt yüzeyden ara ara seken parçacıkların seri ve kısa sıçramaları sonucunda oluşan hızlı bir aşınma türü) ve kavitasyon aşınması.

Çamur erozyon aşınmasının önlenmesi, yüksek hızlı çamur boru hatlarında boru kıvrım yerlerinin açısını azaltarak ya da 90° boru dirseklerinde değiştirilebilir aşınma destekleri ve koruyucu kaplamalar kullanılarak başarılabılır. Sert dolgu kaplamalarından yapılan aşınma plakları, plazma sprey seramikleri ve sermetleri, sert kaplamalar, seramik ve karbür aşınma döşemeleri, seramik dolgulu tamir çimentoları, kromajlı çelikler, dökme demir silindir gömlekleri, plastik astarlı borular ve bazalt astarlı borular örnek olarak verilebilir [1].

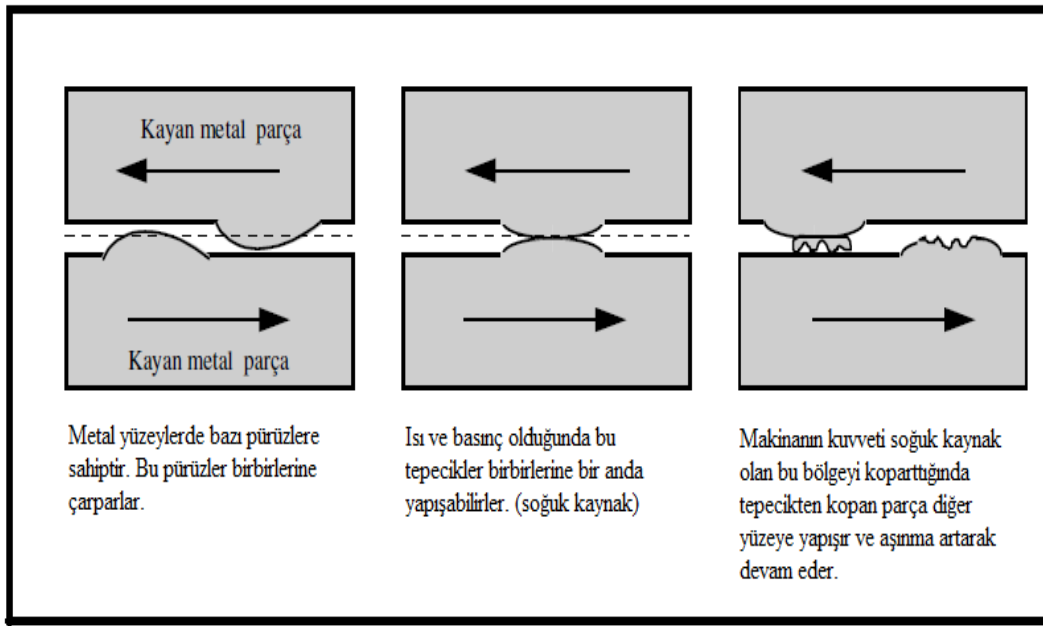


**Şekil 1.22 :** Pompa pervanesinde meydana gelen çamur erozyonu aşınmasının görünümü [3].

### 1.2.3.3 Adhezif aşınma

Adhezif aşınma; yük altında birbirlerine göre hareket halindeki malzemelerden birinin yüzeyinden kopan parçacığın diğerine kalıcı ya da geçici olarak geçişini içeren aşınma olarak tanımlanmaktadır.

Adhezif aşınma; metalik, seramik ve polimer malzemeler arasında veya bu malzemelerin kombinasyonları olarak gerçekleşebilir. Bu malzemeler arasındaki temas ve yapışmaya yani dolayısıyla oksitler gibi yüzey filmlerine veya yağlayıcılara bağlıdır.

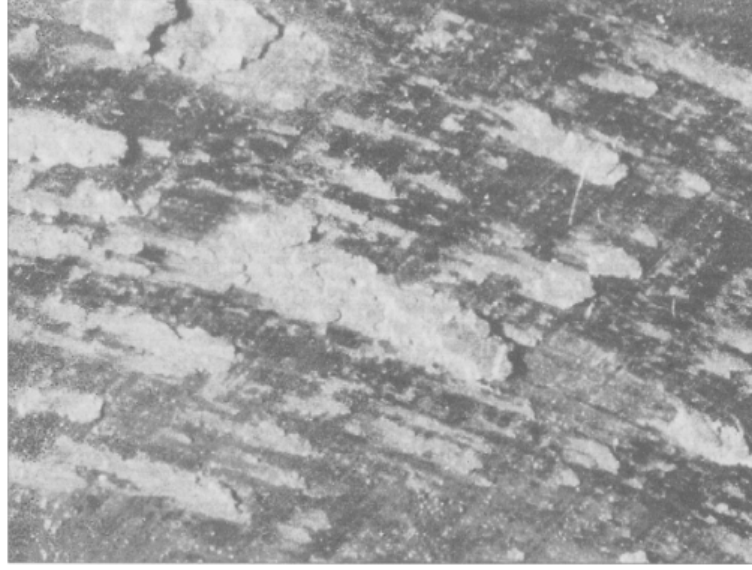


**Şekil 1.23 :** Adhezif aşınmanın farklı formlarının görünümü [15].

Şekil 1.23'deki bazı farklılıklara rağmen bu aşınma formları mühendislikte adhezif aşınma başlığı altında toplanabilmektedirler.

Eğer yükler hafif ve metalin kendiliğinden doğal oksidasyonunun aşınma tarafından kaldırması değerini sürdürebiliyorsa, bu aşınma değeri nispeten düşük olacaktır (burada oksit yağlayıcı rolünde davranmaktadır). Bu hafif aşınma olarak adlandırılır.

Eğer ki yükler yüksek ve çok yakın metal – metal teması ve yapışmasına olanak sağlayan koruyucu oksit devamlı kesintiye uğruyorsa, aşınma miktarı yüksek olacaktır. Bu aşınma ciddi aşınma olarak tanımlanır [1,3,5].



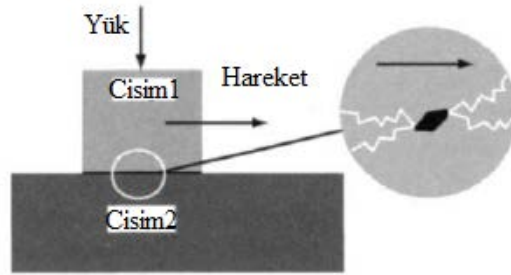
**Şekil 1.24 :** Adhezif aşınma sonrası yüzey görüntüsü [5].

Teori, katı yüzeyler neredeyse hiç mükemmel pürüzsüzlükte olmamaktadır aksine mikro ve makro boyutta çeşitli şekiller pürüzler içermektedirler. İki yüzey, yüzeylerinin genel düzlemlerine dik bir yük altında temas durumuna getirildiği zaman, pürüzlülükler temas durumuna gelmektedir ve temasın gerçek alanı yükü taşımak için yeterli olana kadar elastik olarak veya plastik olarak deforme olmaktadır. Temas halindeki iki malzemenin zayıf olanının yapısal kuvvetinden daha kuvvetli bir bağ iki yüzey arasında oluşabilir. İki yüzey arasında bağlı hareket meydana geldiğinde, iki malzemeden zayıf olan bozulur ve malzeme temas yüzeyine geçer. Temas yüzeyine geçmiş olan bu malzeme daha sonra ki etkileşimlerde orijinal malzeme yüzeyine (muhtemelen farklı bir konuma) yeniden geçebilir ya da düzensiz yapıda tamamen ayrı bir aşınma artığı parçası haline gelebilir.

Adhezif aşınma dayanımı için malzeme seçimi, iş parçasının toplam fonksiyonel performansının yanı sıra iş parçasının uygulama ortamının dikkatli değerlendirilmesini de gerektirmektedir. Çeliklerin aşınma özellikleri ısıtılma işlemi gibi çeşitli işlemler dolayısıyla geniş yelpazede özellik göstermektedir. Polimerle ise kendiliğinden yağlayıcı özellik gösterebilmeleri dolayısıyla kayma yüzeyi uygulamalarında için seçilmektedir. Seramik malzemeler ise yüksek sıcaklık oksidasyonuna aşırı dayanım ve yüksek korozyon malzemelere ya da gazlara direnç gerektiren durumlarda kullanılmaktadır.

Metal, polimer ve seramik malzemelerdeki adhezif aşınmayı engelleyebilmek için;

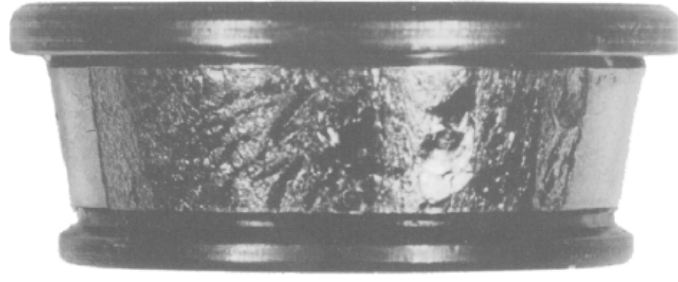
- Özellikle metal olan, aynı tür malzemelerin birlikte kaymasından kaçınmak,
- Eğer tekrarlanan yüksek temas basıncından kaynaklı yorulma mevcutsa muhtemelen bir sorun olmayacaktır ve yüksek sertlik istenen bir özelliktir. Ancak, yağlanmış sistemlerde sert metallere karşı sert metal kaymasını önlemek için sürtünmeden ve yığınlar parçalardan kaçınılmalıdır.
- Malzemelerde fazın nispi sertlik etkisini göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin; yüksek kromlu dökme demir orta derece olan 400 HB sertliğinde olabilmektedir. Ancak, bu dökme demir sertliği 400 HB'den 4 kat daha fazla olan  $(Cr,Fe)_7C_3$  içerebilmektedir.
- Eğer yapılanlar yetersiz ise, yağlama aşınmayı azaltmaktadır. Bazı yağlamalar yüzey filmi yapmak amacıyla çoğu yüzey filminin olmadığı durumdan daha düşük sürtünme katsayısına sahip korozif atmosfer dilm tabakaları tarafından uygulanabilmektedir [1,3,5].



Şekil 1.25 : Adhezif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi [7].

#### 1.2.3.4 Yorulma aşınması

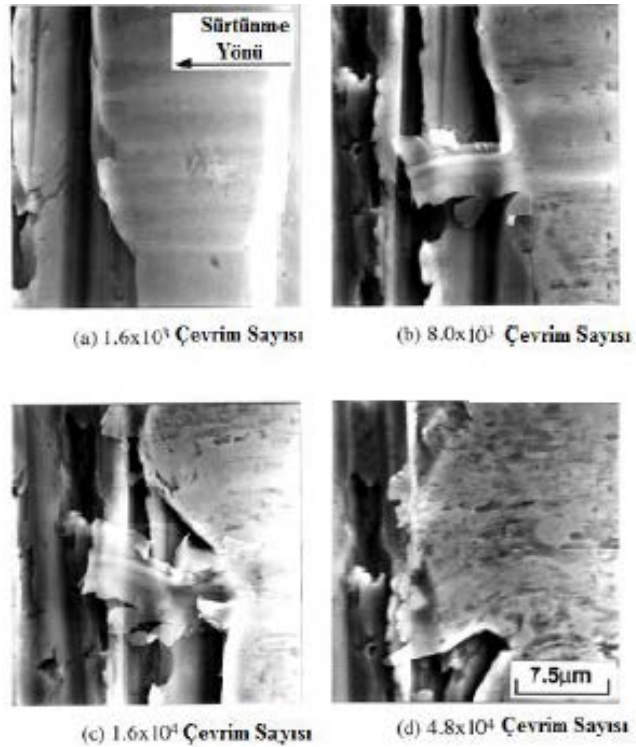
Birbirine temas eden yüzeylere, değişken, tekrarlı yükler etki ettiğinde ortaya çıkan aşınma hasarı türüdür. Temas halindeki iki yüzey, birbirleriyle sürekli yük altında periyodik olarak temas ettirildiği zaman, yüzeyler arasında adhezif aşınmaya ek olarak yorulma aşınmasının da olması beklenmektedir. Tribolojik yüklemeler, genellikle yüzeyde, büyüklüğü, zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmelerden kaynaklandığı için, pek çok aşınma mekanizmasında yorulma aşınmasının izleri görülmektedir. Sonuçta malzeme yüzeyinde çatlak oluşumu ile başlayan süreç, çukur ve oyukların meydana gelmesiyle devam eder ve yüzeyden parça ayrılmasıyla hasar oluşmuş olur.



**Şekil 1.26 :** Yorulma aşınması meydana gelmiş malzemenin görüntüsü [5].

Genellikle fren dişlileri ve otomobil valflerinde görülmektedir. Bunun dışında silindirik temas yüzeyli makine parçalarında da sık sık görülebilmektedir.

Yorulma aşınması, uygun yükleme ve tasarım, yağlama ve komple sertleştirilmiş ya da yüzeyden sertleştirilmiş birincil kalite alaşım çeliklerinin kullanımıyla önlenmektedir [1,3,5].



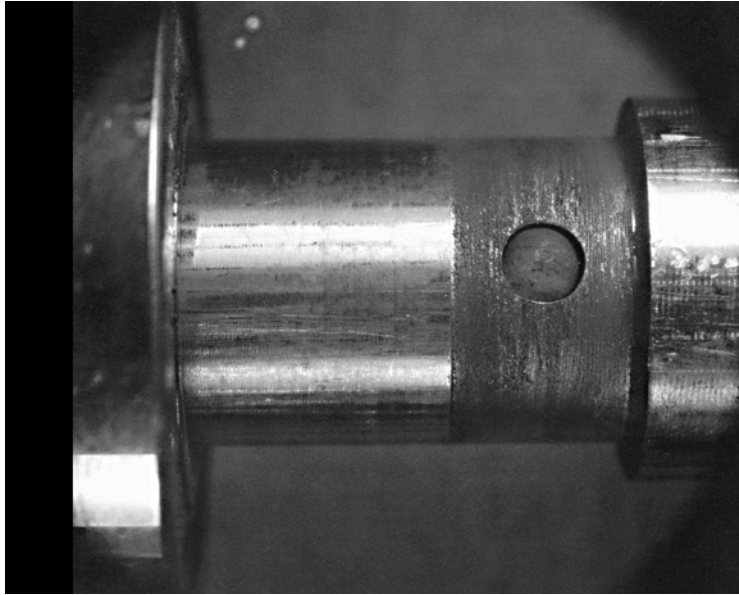
**Şekil 1.27 :** Yorulma aşınmasına maruz kalan bir çeliğin farklı çevrim sayılarında yüzeylerinde oluşan hasarlar [7].

#### 1.2.3.5 Korozyon aşınması

Korozif bir ortam söz konusu olduğunda parçaları oluşturan metal ve alaşımlar bileşik oluşturmak için çevre ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girerler

ve çeşitli bileşikler oluşturarak metalin içyapısında bir zayıflama yaratırlar. Oluşan bu bileşiklerin ana metalle bağlantıları zayıflar ve bileşikler ana metalden koparlar. Aşınmanın ve korozyonun beraber yarattığı malzeme kaybı miktarı, her birinin tek başına neden olduğu malzeme kaybı miktarından çok daha fazla olmaktadır.

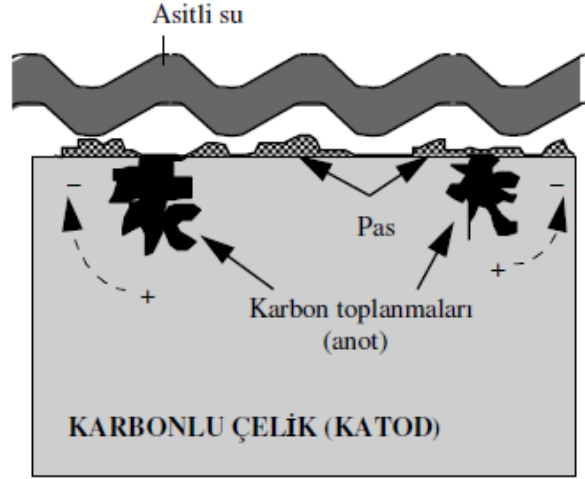
Korozyon, mekanik bir aşınma olmamasına rağmen meydana gelebilse de mekanik aşınma nadir olarak korozyon mekanizmasını tetiklemektedir dolayısıyla bunun tersi çok nadir gerçekleşmektedir. Korozyon, aşınma sürecine bir şekilde, vakum ve inert atmosfer dışında her ortamda eşlik edebilmektedir. Korozyon ve aşınma genellikle, maden, mineral işleme, kimyasal proses, enerji üretimi, ve kereste - kağıt üretimi gibi sanayi alanlarında ciddi hasarlara neden olmaktadır. Abrasif aşınma ve korozyon birlikte sinerjik etki yaratarak ıslak ve sulu ortamda malzeme aşınmasını ve kaybını belirgin şekilde arttırdığı belirtilmektedir.



**Şekil 1.28 :** Koroziif aşınma meydana gelmiş malzemenin görüntüsü [3].

Korozyonun ve aşınmanın birlikte etkisi, cevherlerin kırma ve öğütme gibi bazı uygulamalarında galvanik korozyona neden olabilmektedir. Aşınma parçaları ve korozyon ürünlerinin kimyasal ve elektrokimyasal özellikleri ve etkileşimlerine dikkat edilmelidir. Korozyon ürünleri aşınma hızını arttıran bir etkidir. Mineraller ve kırılan ortam arasında galvanik çift oluşturup korozyon aşınmasını arttıran elektrokimyasal etkileşim olabilir. Korozyon aşınmasında, aşınma olayı iki kademedede gerçekleşmektedir.

1. Temas halindeki yüzeyler ortamla reaksiyona girer ve reaksiyon ürünleri yüzeyde bir tabaka oluşturur.
2. Daha sonra, temas noktasında çatlak oluşumu ve/veya abrasif aşınma etkilerinden dolayı reaksiyon tabakası hasara uğrar.



**Şekil 1.29 :** Korozyon aşınma mekanizmasının şematik gösterimi. [10]

Korozyonu kontrol edebilmek için;

Çeliğin birçok mühendislik uygulamaları için sertlik, tokluk, süneklik gibi mükemmel mekanik özelliklere sahip olduğu, bunun yanı sıra şekil verme ve kaynak yapabilme gibi üretilebilirlik için iyi özellikler sunduğu, üstüne üstlük ferromanyetik özellikler, geri dönüştürülebilirlik ve maliyet gibi özellikler dolayısıyla çok uygun olduğu ve yaygın kullanımı bilinmektedir. Yüksek sıcaklıkta veya nem varlığında çelik korozyona karşı savunmasızdır buna koruma sağlayacak dayanım bazı türde korumalarla gerçekleştirilir.

Çeliği korozyondan korunmak için yöntemler:

- Metali alaşımlandırarak çeşitlendirmeyi içeren ve standart karbon çeliği ya da düşük alaşımlı bir çelik yerine daha yüksek alaşımlı ve pahalı paslanmaz çeliklerin kullanılmasıdır.
- İnhibitör kullanarak ortam şartlarının değiştirilmesidir.
- Anodik ya da katodik akım uygulamalarıyla elektrokimyasal potansiyelin anodik ve katodik koruma ile kontrol edilmesi.
- Organik, inorganik(camlar ve seramikler) veya metalik kaplamaların uygulanması.

Korozyon dayanımlı kaplamaların uygulamaları çeliğin korunmasında en yaygın kullanılan yöntemdir. [1,3,5]

#### **1.2.4 Aşınmanın ölçümü**

Aşınma nedeniyle makine parçaları gibi sistem parçaları kullanım ömürlerini olması planlanandan erken doldurmaktadır. Ekipmanların ömrünü erken doldurmasının ekonomik maliyeti dışında, üretimin aksaması ve planlama maliyeti gibi işletmeleri yük altına sokacak sorunlara neden olmaktadır. Bu sebeple aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Laboratuvar şartlarında yapılan deneyler, ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Ana malzemeyi temsil edebilecek özellikleri taşıyan basit geometrik şekilde üretilebilir. Test cihazıyla uyumunu da mutlaka göz önünde bulundurmak gerekmektedir ki deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bu model üzerinden yapılabilir.

ASLE (American Society of Lubrication Engineers) tarafından temelde 100 civarı farklı prosedürleriyle birlikte 300'ü aşkın aşınma deney sistemi belirtilmiştir [1,3,5].

##### **1.2.4.1 Aşınmanın ölçümünde kullanılan farklı yaklaşımlar**

###### **Ağırlık farkı metodu**

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün cihaz duyarlılık kapasitesi dahilinde olması nedeniyle en çok tercih edilen yöntemdir. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkartılıp ölçüm yapılması, yani numune yerindeyken ölçü alınamaması, bu yöntemin dezavantajıdır. Ağırlık kaybının ölçülmesi  $10^{-3}$  veya  $10^{-4}$  gram hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi ile yapılır. Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse, metre ve kilometre cinsinden tespit edilen sürtünme mesafesine göre, birim sürtünme mesafesine karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı, (g/km), (mg/m) ile ifade edilebilmektedir. Hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle, kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek de bulunabilir [13].

###### **Kalınlık farkı metodu**

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırılmasıyla elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır [13].

### **İz Değişimi metodu**

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile, geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin çapı gibi karakteristik bir boyutunun değişimi ölçülür. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet vickers veya brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyenin bıraktığı iz boyutundaki değişme mikroskop ile ölçülerek belirlenir [7,13].

### **Radyoizotop metodu**

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya alfa parçacıklarıyla bombardıman edilerek, radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içersinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi yöntemin avantajı olmakla beraber, ekonomik olmamasından dolayı nadir olarak yalnızca özel amaçlarda kullanılmaktadır [7,13].

#### **1.2.4.2 Abrasif aşınma ölçümünün standardizasyonu**

##### **ASTM G65-kuru kum/kauçuk disk aparatı kullanılarak yapılan abrasif aşınma ölçümü için standart test yöntemi**

##### **ASTM G65 testinin özeti**

Kuru kum/kauçuk disk aşınma testi, boyutu ve bileşimi belirli kumtaşı ile standart test numunesinin aşındırılmasını içerir. Aşındırıcı, test örneği ile belirli sertlikteki dönen klorobütıl lastik kaplı diskin arasına yerleştirilir. Kontrollü kum akışı numunenin yüzeyini aşındırırken, bu test numunesi kaldırıcı kolu vasıtasıyla dönen tekerleğe belirtilen kuvvetle sıkıştırılır. Tekerlek dönerken, temas yüzü kum akışı yönünde ilerler. Kaldırıcı kolunun mil ekseninin lastik tekerlek yüzeyine yaklaşık olarak teğet durumdaki bir düzlem arasında olmasına ve yük uygulanan yatay çap boyunca normal olmasına dikkat edilmelidir. Test süresi ve kaldırıcı kolu tarafından uygulanan kuvvet, Prosedür A'dan E'ye kadar belirtildiği gibi çeşitlidir. Numuneler, testten önce ve sonra tartılır kütle kaybı kaydedilir. Malzemelerin yoğunluk farklarından dolayı, kütle kaybını metreküpteki hacim kaybına çevirmek gerekmektedir. Aşınma; her belirtilen prosedür için hacim kaybı olarak kaydedilir [9].

## ASTM G65 testinin kapsamı

Bu test yöntemi; kuru kum/lastik tekerlek deneyi vasıtasıyla metalik malzemelerin düşük gerilimli aşınmaya karşı direncini belirleyen laboratuvar prosedürlerini kapsar. Test şartları altında malzemeleri düşük gerilimli aşınma direncine göre sıralama gayesindedir. Aşınma test sonuçları metreküpteki hacim kaybı olarak bu test yönteminde belirtilmiştir. Yüksek aşınma direncine sahip malzemeler, düşük hacim kaybına sahiptir. Genel olarak bu deneyde hacim kayıp miktarlarına göre farklı prosedürler uygulanır.

- Prosedür A: Bu prosedür, metalik malzemelerin abrasif aşınma direncini, çok hacim kaybından, düşük hacim kaybına doğru sıralayan göreceli bir testtir. Özellikle; orta şiddetten, aşırı şiddete abrasif aşınma dayanımlarını sıralamakta kullanışlıdır.
- Prosedür B: A'nın daha kısa formudur. Yüksek abrasif aşınma dayanımına sahip malzemeler için de kullanılabilir ama bilhassa orta dereceli olanları ve düşük aşınma dayanımı olan malzemeleri sıralamada kullanışlıdır. Prosedür A koşullarında yapılan testte, hacim kaybı miktarı  $100\text{mm}^3$ 'ü geçtiğinde Prosedür B kullanılmalıdır.
- Prosedür C: Prosedür A'nın daha kısa varyasyonu olup ince kaplamalarda kullanım içindir.
- Prosedür D: Özellikle malzemeleri düşük aşınma direncinde sıralamak için yararlı olan Prosedür A'nın hafif yük versiyonudur. Hacim kaybı oranları çok yakın olan belirli bir genel tür veya malzemelerin sıralanmasında tavsiye edilmektedir.
- Prosedür E: Prosedür B'nin kısa formudur. Düşük ve orta aşınma dayanımlı malzemelerin sıralanmasında kullanışlıdır [9].

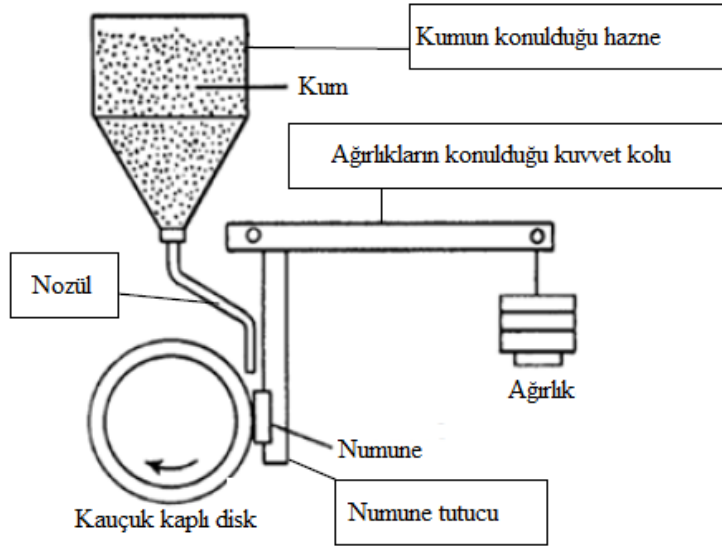
**Çizelge 1.1:** Bazı malzemelerin Prosedür A ve Prosedür B standartlarındaki hacim kayıpları [9].

| Alaşım                       | Sertlik (HV) | Hacim Kaybı (mm <sup>3</sup> ) |            |
|------------------------------|--------------|--------------------------------|------------|
|                              |              | Prosedür A                     | Prosedür B |
| Paslanmaz Çelikler           | 207          | 408.0                          | 170.8      |
| Düşük alaşımlı çelikler A514 | 256          | ...                            | 134.1      |
| Düşük alaşımlı çelikler 4340 | 540          | ...                            | 74.0       |
| Takım çelikleri              | 689          | 45.5                           | 14.6       |
| Yüksek kromlu dökme demir    | 661          | 31.5                           | 12.7       |
| Karbonlu çelikler            | 785          | ...                            | 32.1       |

#### **ASTM G65 testinin kullanımının önemi**

Herhangi bir sistemdeki abrasif aşınmanın şiddeti; abrasif parçanın boyutuna, şekline, sertliğine, bu parçaya uygulanan yükün şiddetine ve abrasif parçaların temas sıklığına bağlıdır. Deney bütün bu parametreleri kapsar ve düşük gerilimli abrasif aşınma için standart koşullara getirir. Uygulama, çeşitli abrasif aşınma ortamındaki malzemelerin göreceli sıralanması hakkında öngöründe bulunmak adına önemlidir. Uygulama, tüm sürecin bütün koşullarını (abrasifin boyutu, şekli, basıncı, şiddeti, korozyon unsurları) birebir tekrarlamaya/kopyalamaya çalışmadığı için, spesifik bir ortamdaki bir malzemenin aşınma direncini ön görmek için kullanılamaz [9].

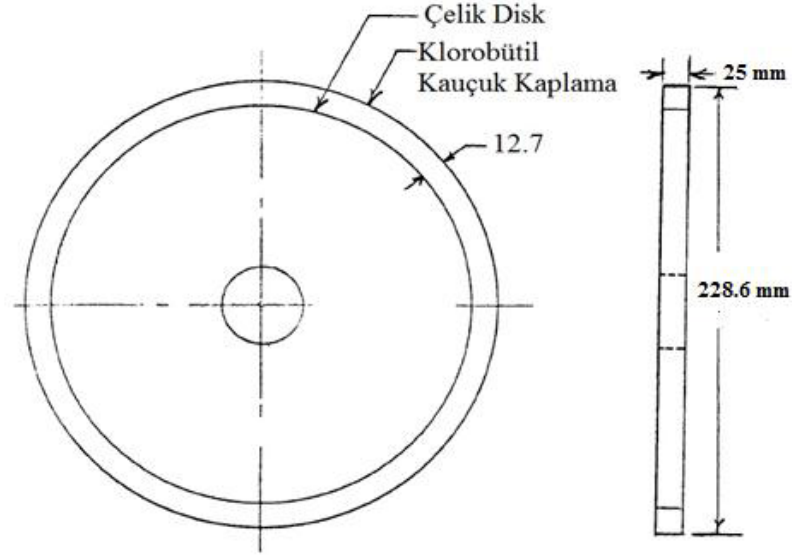
Uygulamanın önemi, aşınma ortamında görece benzer özellikteki malzemelerin sıralanmasını öngörmesindedir. Belirli bir aşındırma ortamındaki ömürleri bilinmeyen test malzemelerinden elde edilen hacim kaybı verileri; aynı aşınma ortamındaki ömürleri bilinen malzemelerin test verileriyle karşılaştırılabilir. Bu kıyaslama, eğer aşınma malzemelerin bozulmasındaki ağır basan sebep ise bilinmeyen malzemelerin değerine dair genel bulgu sağlayacaktır [9].



**Şekil 1.30 :** ASTM G65 aşınma test sisteminin şematik gösterimi [9].

### **ASTM G65 testinin aparatları ve malzemeler**

Testte kullanılan aparatlar Şekil 1.30’da gösterilmiştir. Laboratuvarlar arasında test sonuçlarında tek tip sonucun sağlanması için pek çok unsurun kritik önemi bulunmaktadır. Tekerlekte kullanılan lastik türü, abrasif aşındırıcının türü ve şekli, kum hortumunun ucunun şekli ve pozisyonu, kuvvetin uygulanacağı uygun bir kaldırma kolu sistemi bunlardandır. Kauçuk disk, Şekil 1.31’de gösterilen ve ölçüleri belirtilen disk çelikten üretilmiştir ve üzerinde klorobütıl kauçuk kaplanmıştır. Optimum kauçuk sertliği Durometre A-60’tır. A58-A62 arası da kabul edilebilir aralıktır. Çelik disk üzerine kaplanan kauçuğu oluşturan malzemeler ve malzemelerin oranları Çizelge 1.2’de verilmiştir. Klorobütıl kauçuk Çizelge 1.2’deki malzemeler kullanılarak 1.15 Bar basınç altında 160°C’de 20 dakika pişirilerek elde edilmiştir [9].



**Şekil 1.31 :** Klorobütül kaplı çelik diskin genel ölçüleri [9].

**Çizelge 1.2:** Klorobütül içeren kauçuğun malzeme oranları [9].

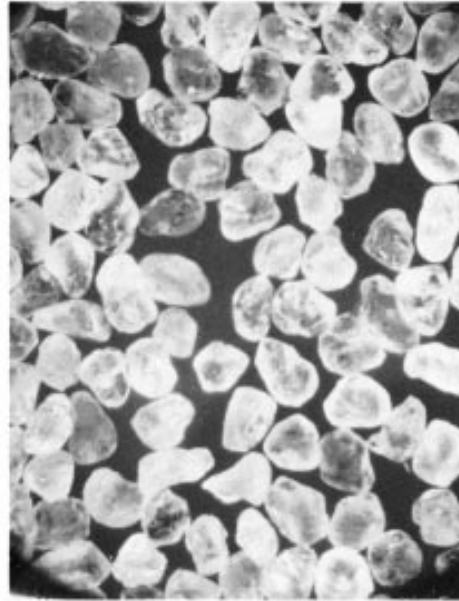
| Malzemeler                               | Ağırlık Oranları |
|------------------------------------------|------------------|
| Klorobutil No. HT 10-66 (Enjay Chemical) | 100              |
| Agerite Staylite-S                       | 1                |
| HAF black                                | 60               |
| Circolight oil                           | 5                |
| Stearic acid                             | 1                |
| Zinc oxide                               | 5                |
| Ledate                                   | 2                |

Abrasif aşındırıcı; Aşındırıcının tipi AFS 50/70 Test kumu (Şekil 1.32) standartize edilmiş olduğu üzere yuvarlatılmış kuvars kum tanesi olmalıdır. Nem içeriği ağırlık yüzdesinin 0.5'ini geçmemelidir. Islaklığa maruz kalan veya görece yüksek rutubette kalan kum nemlenerek test sonuçlarını etkileyebilir. Nemin içeriğinin tespiti bir numunenin yaklaşık olarak 120°C'de en az 1 saat ısıtılmasından sonra ağırlık

kaybının ölçülmesiyle saptanabilir. Eğer test kumu %0.5'ten fazla nem içeriyorsa 100°C'ye kadar en az 1 saat ısıtılarak kurutulmalı ve nem testi tekrarlanmalıdır. Yüksek rutubet ortamlarında kum sabit sıcaklıkta ve rutubet odalarında veya 100W lambayla teçhiz edilmiş çelik kaplarda saklanabilir. Kaynak elektrodlu kurutma fırınları da bu işleme uygundur. Kumun bir defadan fazla kullanımı, test sonuçlarını etkileyebilir ve bu nedenle tavsiye edilmez. AFS 50/70 test kumu ABD eleklerini kullanan aşağıdaki boyut aralığında belirlenir [9].

**Çizelge 1.3:** Aşındırıcı boyutlandırması [9].

| U.S. Elek Boyutu | Elek Başlangıç Boyutu | % Elek Üzerinde Birikme |
|------------------|-----------------------|-------------------------|
| 40               | 425 $\mu\text{m}$     | Yok                     |
| 50               | 300 $\mu\text{m}$     | max 5                   |
| 70               | 212 $\mu\text{m}$     | min 95                  |
| 100              | 150 $\mu\text{m}$     | Elekten geçmez          |



**Şekil 1.32 :** AFS 50/70 Ottawa silis kumunun 25 kez büyütülmüş görüntüsü [9].

Kum Hortumu Ucu (Nozülü); hortum ucunun uzunluğu, plastik tüplü kum kabına bağlanmasına olanak veren herhangi bir uzunlukta olabilir. Yeni hortum uçlarında 300-400 gram/dakika kum akış hızını sağlamak amacıyla hortum ucu ağız açıklığı aşındırma yoluyla genişletilerek istenen kum akış hızına ayarlanabilir. Kullanım esnasında, hortum ucu açıklığı test numunesinin bağlantısına ve tasarımının izin verdiği ölçüde de lastik tekerleğe yakın konumlandırılmalıdır. [9]

Motor Sürümü; test esnasında tüm güç sağlamak için tekerlek 0.7 kW de 10/1 dişli/vites kutusuyla çalıştırılır. Dönüş hızı ( $200 \pm 10$  dakikada tur) yük altında sabit kalmalıdır. Yük altında dakikada 200 tur sağlayan diğer sürümler uygundur. Disk devir sayacı; tekerlek dönüş sayısını izleyecek sayaçla teçhiz edilmelidir. Önceden saptanmış tekerlek dönüş sayısına erişilmesinden sonra veya 12000 adet dönüşün tamamlanmasıyla makineyi kapatabilen, artış hızlı tipte bir sayaç tavsiye edilir. Numune Tutucu ve Kaldıraç Kolu; tekerleğin yatay çapı çizgisi boyunca kuvvet uygulanacak şekilde ağırlıkların eklendiği kaldıraç koluna numune tutucu eklenir. Test numunesi ile tekerlek arasında doğru kuvvetin uygulanması için doğru sayıda ağırlıkların elde hazır olması gerekir [9].

#### **ASTM G65 testi için numune hazırlama**

Malzemeler- Bu metot; işlenmiş, döküm, dövme, gaz veya elektrik kaynak kaplamaları, plazma sprey kaplamaları, toz metaller, metal elektroliz kaplamalar, sermetler, seramikler vb. her türlü malzeme tipinin aşınma testine uygunluğu amacındadır. Malzemenin tipi, bir dereceye kadar, numunenin toplam boyutunu belirleyecektir.

Tipik Numune- 25mm'den 76mm'ye dikdörtgen şeklinde ve 3.2 ile 12.7 mm kalınlıktadır. Testte gelişen aşınma uzunluğunun tümü gözükmesine yeterli olan uzunluk ve genişlik kısıtlamasında, kullanıcının ihtiyacına göre çeşitli boyutta olabilir. Test yüzeyi düz maksimum 0.125 mm olmalıdır.

Dolgu kaynağı yapılmış numuneler- Kaplamalar test parçasının yüzeyine tek kat olarak uygulanır. Çift katlı kaynak geçişi ana taban malzemenin kaynak seyreltmesini engellemek için tavsiye edilir. Kaynak sıcaklığı numunenin biçimini bozabilir. Bu olduğunda numune mekanik düzleştirilebilir. Kaynak parametreleri kaynak yapılan dolgunun kaplamasının aşınma direncini etkiler.

Son İşlem - Test numunesi düzgün, pürüzsüz olmalıdır. Yüzey hataları (porozite, pürüzlülük vb.) test sonucunu olumsuz yönde etkileyebilir, bunlardan kaçınılmalıdır. Tipik uygun yüzeyler soğuk çelik gibi haddelenmiş yüzeyler, elektroliz ve benzer kaplamalar, taban yüzeyleri, iyi işlenmiş veya haddelenmiş yüzeyler. Taban yüzeyi bitimi yaklaşık 0.8µm ve altı kabul edilebilir [9].

### ASTM G65 testinin parametreleri

Testin seçtiğimiz prosedürler doğrultusunda standart bir şekilde yapılması için test parametreleri ayarlanır. Çizelge 1.4'te Prosedür A'dan E'ye, numuneye uygulanan yükü ve lastik dönüş sayısını belirtmektedir.

**Çizelge 1.4:** ASTM G65 test prosedürlerine göre test parametreleri [9].

| ASTM Test Prosedürü | Uygulanan Kuvvet (N) | Toplam Disk Devir Sayısı | Kayma Mesafesi (m) |
|---------------------|----------------------|--------------------------|--------------------|
| A                   | 130                  | 6000                     | 4309               |
| B                   | 130                  | 2000                     | 1436               |
| C                   | 130                  | 100                      | 71,8               |
| D                   | 45                   | 6000                     | 4309               |
| E                   | 130                  | 1000                     | 718                |

Aşındırıcı Akış Hızı - Kum akış hızı 300-400 gram/dakika olmalıdır. Aşındırıcı akış miktarı sabit şekilde ayarlanmadan disk dönüşü başlatılmamalıdır. İşleme başlamadan önce aşındırıcı tozu istenilen akış hızına ayarlanır. Daha sonra disk istenilen hıza getirilir ve ardından tutucuya ağırlıklar eklenir ve teste başlanır.

Teste başlamadan önce aşındırıcı toz akış hızı istenilen değere (300 g/dak) gelene kadar disk döndürülmez ve ağırlık eklenmez. Süre; gerçek tekerlek dönme hızına bağlı olarak; Prosedür A ve D için test süresi 30 dakika, B için 10 dakika, E için 5 dakika, C için 30 saniye olmalıdır.

Doğrusal Aşınma - Belirtilen dönüş sayıları için kullanılan 228.6 mm çaplı dönen lastiğin düşük gerilimli abrasif aşınma gelişimini göstermektedir. Kauçuk lastiğin çapı azalırsa, tekerleğin dönme sayısı yeni lastiğin kayma mesafesine eşit olacak şekilde ayarlanmalı veya azalmış aşınma oranı; aşınmış tekerlek tarafından üretilen hacim kaybını, yeni lastiğin oluşturduğu normal hacim kaybına ayarlanarak dikkate alınmalıdır [9].

## **ASTM G65 testi işlem yöntemleri**

Tartımdan önce doğrudan, numune solvent ya da temizleyici ile temizlenip kurulanmalıdır. Numunedeki bütün pisliklerin ve/veya yabancı maddelerin uzaklaştırılmış olduğuna dikkat ediniz. Malzeme içinde yakalanabilecek olan temizleyici solvent izlerinin tamamından kurtulmak için açık taneli malzemelerle (bazı toz metaller, seramikler) kurulayın. Kalıntı manyetizmalı çelik numuneler, manyetik olmamalı ya da kullanılmamalıdır. Numunenin ağırlığı 0.001 gram'a yakındır. (Prosedür C için 0.0001gr). Numuneyi dikkatlice tutucuya oturtun, tekerleğin numuneye uygun yükü uygulaması için kaldırıcı koluna uygun ağırlığı ekleyin. Numuneyi saran ve tekerleği numuneden uzağa kaldırmak için geri çekilen bir yay ölçeği vasıtasıyla doğru şekilde ölçebiliriz. Testin başlangıcından önce takoz kaldırıcı kolunun altına yerleştirilmelidir, böylece numune tekerlekten uzak tutulmuş olunur. Belirlenen tekerlek dönme sayısı için tekerlek dönme sayacını kurunuz [9].

Kum Akışı ve Kum Ayırıcısı – Nozülünden kum akış hızı 300-400 gram/dakika olmalıdır. Tekerlek dönüşünü kum ayırıcısı uygun kurulana kadar başlatmayınız. İki test arasındaki bekleme süresi, tekerleğin sıcaklığının oda sıcaklığına düşmesi için gerekli süre kadar olmalıdır. Prosedür B için bekleme süresi en az 30 dakika olmalıdır. Tekerlek dönüşünü başlatın ve tekerlek ile numunenin temasına izin vermek için direk ve dikkatlice kaldırıcı kolunu alçaltın. Testte istenilen tekerlek dönüş sayısı düzeyi geçilince numuneyi tekerlekten uzağa kaldırınız, kum akışını ve tekerlek dönüşünü durdurunuz. Eğer ki tutarlı tutarlı bir akış hızı yoksa, kum akış hızı testten önce ve sonra ölçülmelidir. Numuneyi çıkarın ve 0,001 gram ağırlık için tekrar tartın. (Prosedür C için 0,0001gram)

Aşınma izi; aşınma izini gözlemleyin ve aşınma izlerinin Şekil 1.33'deki tektip (uniform) ve tektip olmayan (nonuniform) fotoğraflarıyla karşılaştırınız. Tektip olmayan model, test numunesinin lastik janta uygunsuz hizalandığını veya düzensiz aşınmış lastik tekerlek olduğunu belirtir. Bu durum testin doğruluğunu azaltabilir. Lastik Tekerleklerin Hizalanması ve Bakımı; tüm yeni lastik tekerleklerin çevresini giydirin ve lastik monte edilmiş çelik diskin çapı ile eş olun, jantın eşliği 0.05mm olacak şekilde göstergeden okuyunuz. Kullanılmış tekerlekler üzerinde oluklar oluşturan aynı giydirme yöntemini uygulayın veya eşitsiz yırtığı öyle izleyinki test numunesi üzerinde yamuk şeklinde veya eşitsiz çizikler oluşsun. Numuneye; titreşime neden olmayacak veya kaldırıcı kolu atlaması olmayacak şekilde, teget

çalışacak, tektip bir yüzey elde etmek niyetindedir. Aşınma izleri; dikdörtgen şeklinde, genişliği boyunca herhangi bölümünde eşit derinlikte olacaktır. Lastik tekerlek 215.9mm çapına aşınana kadar kullanılabilir. Yeni lastik tekerlek çelik diske yetkin kişi tarafından monte edilebilir. Tekerlek Giydirme Prosedürü; Lastik tekerlek çevresi için tercih edilen giydirme prosedürü, tutucudaki numune yerine, elmas kesimli eğe koyup, tekerlek temiz olana kadar yükü ile makineyi çalıştırmaktır. Bir diğer yöntem ise, tekerleği bir torna tezgahına yerleştirerek yüzeyini bir aletin ucuyla temizlemektir; lastik uygulamalarında özellikle toz (ground) kullanılarak bu işlem yapılabilir. Karbür veya yüksek hız çeliğin takımını derin eğim açısıyla zımparalayın. Kalıbı lastik yüzey boyunca çeliğin işlenmesi için normalde kullanılanın aksi yönünde besleyin. Bu şekilde çalışmak aletin ucunun açılal yüzeyinin, aletin sivri kenarlarının kullanılması durumunda lastik yüzeyinde oluşan yiv ve yırtıkları önler ve lastik yüzeyindeki ince katmanları temizler [9]. Önerilen işleme parametreleri;

Besleme; 25mm/dk

Hız; 200 tur/dk

Kesik derinliği; 0,254 mm

Giydirilmiş tekerlek ilk olarak yumuşak karbon çeliğinden test numunesi Prosedür A (AISI 1020 eşdeğeri) üzerinde kullanılmalıdır.

Kısaca özetlemek gerekirse;

Teste başlamak için aşağıdaki parametreler ayarlanmalıdır.

1. Aşındırıcı toz akış hızı
2. Disk devir sayacı
3. Ağırlık uygulama

Parametreler ayarlandıktan sonra disk dönüşü başlatılır ve ardından denge kolunun dikkatlice aşağı inmesi sağlanır. Dolayısıyla önceden ayarlanmış disk devir sayısına ulaşıldığında, numune diskten uzaklaştırılır ve kum akışı ve disk dönüşü durdurulur. Numune, numune tutucudan çıkartılır ve ağırlığı ölçülür.

Numunenin ağırlık ölçümleri için teste ara verildiğinde kauçuk diskin oda sıcaklığına dönmesi için gerekli bir bekleme süresi olmalıdır.

Testten sonra aşınma izleri gözlemlenir ve düzgün ya da düzensiz aşınma izlerinin fotoğraflarıyla karşılaştırılır. Düzgün hazırlanmayan örnek kauçuk disk kenarında bir uygunsuzluk gösterir [9].

Test şu sırayla sonlandırılır.

1. Ağırlık kaldırılır.
2. Kum akışı durdurulur.
3. Disk durdurulur.

### **ASTM G65 testinin sonucu ve raporlanması**

Testte kullanılan belirtilen prosedüre göre, aşınma test sonuçları milimetreküpteki ağırlık kaybı veya hacim kaybı olarak raporlanır.

Eşit yoğunluktaki malzemeleri karşılaştırmak için test laboratuvarlarında, kütle kaybı sonuçları kullanılabilirken, bu yöntemi bütün kullanıcıları için temel alan, sonuçları tektip hacim kaybı olarak yayınlamaları veya raporlamaları, böylece yoğunluktan dolayı herhangi bir karşılık olmamış olur. Kütle kaybı, hacim kaybına şu şekilde çevrilir.

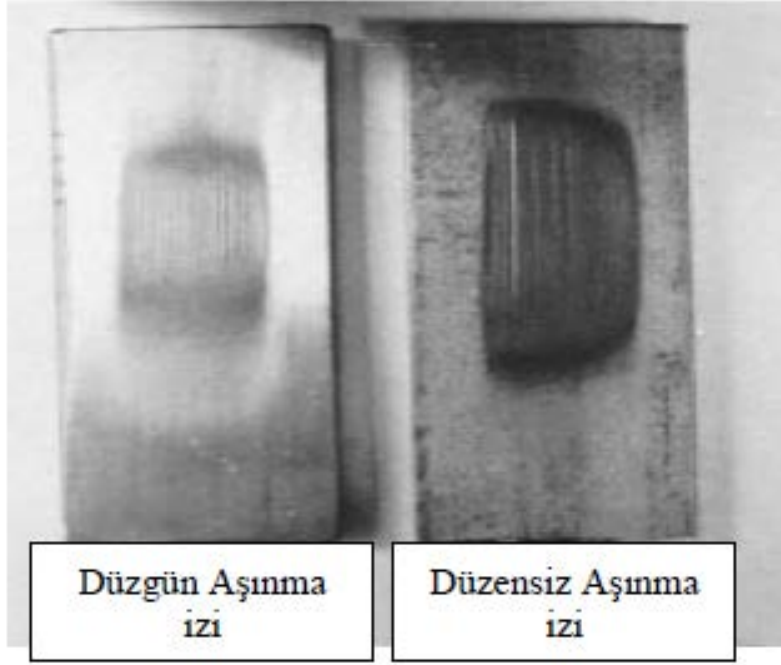
$$\text{Hacim Kaybı mm}^3 = \frac{\text{Kütle Kaybı (gram)}}{\text{yoğunluk } (\frac{\text{g}}{\text{cm}^3})} \times 1000 \quad (1.3)$$

Kauçuk tekerlek çapı azaldıkça buna bağlı olarak belirli bir uygulamada geliştirilmiş düşük gerilimli abrasif aşınma miktarı azalacaktır. Bu biraz daha küçük lastik tekerlekler tarafından üretilen hacim kaybı; bu nedenle yanlış olacaktır. Düzeltilmiş hacim kaybı değeri dikkate alınmalıdır, bu gerçek aşınma miktarını belirtir. 228.6 mm çaplı tekerlek tarafından üretilen gerçek aşınma miktarını gösterir ve bu değer “düzeltilmiş hacim kaybı “ olarak dikkate alınır.

$$\text{Düzeltilmiş Hacim Kaybı} = \text{DHK} = \frac{\text{ölçülen hacim kaybı X}}{\frac{228.6 \text{ mm}}{\text{kullınımdan sonraki tekerlek çapı}}} \quad (1.4)$$

Testle elde edilen ölçümlerin doğruluğu ve sapması test süresince, test parametrelerine, uygun kum akış hızı ve kum ayırıcısının bakımına bağlıdır.

Aynı malzeme üzerindeki tekrarlanan testlerin sayısı; malzemenin homojenliğine, cihaza ve malzemelerin etkileşimine, yetkili test operatörünün yakın gözlemine bağlıdır. [9]



**Şekil 1.33 :** ASTM G65 aşınma test sonrası malzeme üzerinde elde edilen düzgün ve düzensiz aşınma izlerinin görüntüsü [9].

## 2. DOLGU KAYNAĞI İLE AŞINMANIN AZALTILMASI

Sistem parçalarının aşınması sanayide karşılaşılan en önemli yaygın problemdir. Dolgu işlemi çok yönlü tekniklerden en önemlisi olup metal altlık üzerine çeşitli metal ve alaşımları sert ve aşınmaya dayanıklı tabakalar şeklinde üretilebilmektedir. Aşınmaya maruz kalan parça yüzeylerini dolgu yöntemleri ile doldurulması halinde aşınmaya karşı ömrü, diğer yöntemlerle elde edilen parçaların yüzeylerinin aşınma ömrüne göre daha uzundur Sadece aşınmaya dayanımı arttırmakla kalmayıp, korozyon ve yüksek sıcaklık korozyonunu da önlemeye de yardımcı olmaktadır.

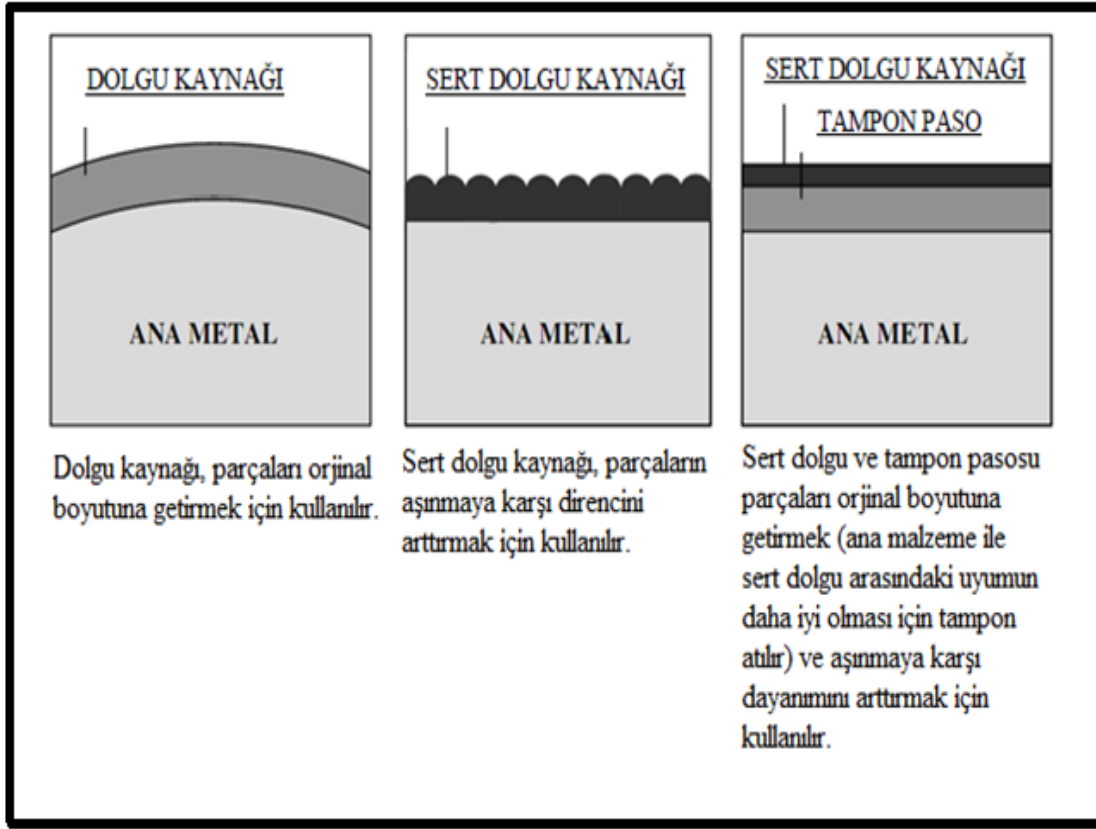
### 2.1 Dolgu Kaynağı

Ergitme kaynak yöntemlerinden biri ile gerçekleştirilen sert dolgu kaynağı uygulamaları, fazla aşınan sistem parçalarının yenilenmesinde yaygın olarak kullanılır. Günümüzde mevcut standartları, sert dolguyu, aşınmayı azaltmak veya aşınma mekanizmaları ile kaybolmuş malzemeyi telafi etmek amacıyla esas malzeme üzerine yapılmış kaplama olarak tanımlanmaktadır. Dolgu kaynağının gerçekleştirilmesinin iki ana amacı vardır. Bunlar;

► **Koruyucu amaçlı dolgu kaynağı:** Kullanılmış ya da kullanılmamış, ancak çalışma koşulları nedeni ile aşınacağı önceden bilinen iş parçalarının ömürlerini uzatmak amacıyla yapılan dolgu kaynağı,

► **Tamir amaçlı dolgu kaynağı:** Kullanım sonucu aşınmış parçaların kaynak dolgusu ile fonksiyonel ölçülerine getirilip, yani yenilenip tekrar daha uzun süre kullanılması için yapılan dolgu kaynağıdır.

Her iki amaç için gerçekleştirilen olay, aşınacak veya aşınmış yüzeyleri esas malzeme ile aynı veya farklı teknik özelliklere sahip kaynak malzemeleri ile kaplamaktır. Burada ideal işlem, teknik açıdan en uygun sert dolguyu kaplamaktır [7,14,15].



**Şekil 2.1 :** Dolgu kaynağı kullanım alanları [13].

## 2.2 Sert Dolgu Malzemeleri

Sert dolgu, bir parçanın aşınmaya karşı korunması için, bir alaşım türünün, ana malzeme üzerine biriktirilmesi veya kaplanmasıdır. Sert dolgu kaynağı, metal parçaların kullanım ömrünü arttırmak amacıyla yüzeylerinde aşınmaya dirençli yüzey oluşturulmasında düşük maliyetli bir metottur. Metot, daha az parça değişimi gereksinimi sağlaması, bakım zamanının azalmasına neden olması, ana parçanın ucuz malzemelerden yapılabilmesine ve genel maliyette düşüşe sebep olması gibi birçok avantajı kullanıcıya sunmaktadır. Günümüzde sert dolgu aşınma plakalarıyla kitlesel biriktirme yapılarına kadar pek çok sert dolgu kaynağı bakımın bir parçası veya tamir işlemi olarak yapılmaktadır fakat en etkin sonuca yalnızca sertliği göz önünde bulundurarak bir kaynak metali elde etmekle ulaşılamadığı görülmektedir.

Metal-metal sürtünmesi, aşınma, darbe, ve darbe ile birlikte aşınmanın da bulunduğu servis şartlarında yüksek aşınma etkisinde kalan yeni parçaları korumak veya ömrünü uzatmak amacıyla sert dolgu yapılabilir.

Sert dolgu, çok farklı alaşım türleri ile yapılabilir. Karşılaşılan aşınma faktörlerinin kombinasyonuna direnç gösterecek optimum alaşımın seçimi kolay bir konudur, fakat bunun için her alaşımın aşınmaya dirençte katkısını belirleyen davranışları ve özellikleri dikkate alınmalıdır. Kimyasal bileşim ve termo-mekanik geçmiş tarafından belirlenen alaşımın mikroyapısı ve sertlik abrasif aşınmaya karşı savaşmada en önemli ve belirgin katkıyı sağlayan özelliktir. Aynı makro sertliği taşıyan farklı alaşımların abrasif aşınma dayanımları mikroyapıları ve mikro sertlik değerlerinden dolayı farklı olabilmektedir. Dolayısıyla “En sert en iyisidir” efsanesi unutulacaktır. Bu efsane muhtemelen sert malzemelerin basit abrasif aşınmaya iyi dayanımlarının bilinmesinden doğmuş olmalıdır. Ayrıntılarıyla görüleceği üzere metalurjik yapı genelde sertlikten daha önemlidir [7,14,15].



**Şekil 2.2 :** Tambur üzerinde gerçekleştirilen kaynak uygulaması

Kitlesel kaynak alanındaki çalışmalardan sonra sert dolgu aşınma plakaları ticari olarak yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu sayede, %3-4 karbon içeren aşınmaya dayanıklı krom karbür alaşımını, sünek karbon plaka üzerine biriktirmek ekonomik olarak mümkün hale gelmiştir. Günümüze kadar önemli gelişmeler göstermiştir, mevcut kaplanmış plakaların aralığı krom karbür ve tungsten karbür içerecek, dış ortam ve artan sıcaklıktaki abrazif aşınma, erozyon ve darbeye karşı üstün

dayanıklılık gösterecek hale gelmiştir. Temel abrasif aşınma ortam koşullarında krom karbür alaşımları en ekonomik çözümdür. Yapılan çalışmalar sertliğin aşınma direncini tahmininde zayıf bir etken olduğunu göstermiştir.

Bunun yanında ortaya çıkan önemli sonuçlardan biri Fe esaslı sert dolgu alaşımlarının düşük gerilimli aşınma direncini belirleyen en önemli faktörün sertlik değil mikroyapı olduğudur.

Abrasif aşınma direnci en yüksek alaşımlar mikroyapılarında, birincil karbür ile östenit-karbür ötektiklerinin bulunanlardır. Abrasif aşınma direnci ikinci yüksek malzeme, östenit-karbürün ötektik yanı kompozisyonudur. Fe-bazlı sert dolgu alaşımlarının mikroyapısını ve dolayısıyla aşınma direncini belirlemekte en önemli element karbondur. % 4'ün üzerinde karbon ve % 16'nın üzerinde krom içeriği birincil karbürler  $(Cr,Fe)_7C_3$  ile birlikte östenit-karbür ötektik sert dolgu mikroyapısını verir. Aşınma dayanımını arttırmak için demir esaslı koruyucu tabakadaki sertliği ve aşınma dayanımını arttırmaya çalışılmaktadır. Demir esaslı sert dolgu alaşımları daha ucuz olduğundan çok tercih edilmektedir. Demir esaslı sert dolgu alaşımları dışında, kobalt esaslı sert dolgu alaşımları ve nikel esaslı sert dolgu alaşımları mevcuttur. Bunlar maliyetinden dolayı daha çok yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmektedir. Ayrıca, yüzey işlem teknikleri arasında sert dolgu kaplama yakın boyutsal toleransı olmadığından özellikle etkin bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Sert dolgu kaplamaları kaynakla  $750\mu m$  den birkaç mm'ye kadar olan kalınlıklarda biriktirebilmektedir [15,16].

## **2.3 Sert Dolgu Alaşımlarının Sınıflandırılması ve Standardizasyonu**

### **2.3.1 Sert dolgu alaşımlarının standardizasyonu**

Sert dolgu alaşımları çeşitli normlara göre standartlaştırılmıştır. Günümüzde geçerli olan standartlar aşağıda açıklanmıştır. Sert dolgu kaynağıyla üretilen aşınma plakaları TS EN 14700 (Şubat 2006) ve EN 14700 (Mayıs 2005) standartlarına göre aşınım grubu Fe 14 ve Fe 15 ile ilişkilidir.

### 2.3.1.1 TS EN14700'e ve BS EN14700'e göre standardizasyonu

**Çizelge 2.1:** Alaşım grupları için kimyasal bileşim sınıflandırması [18].

| Alaşım Sembolü | Kullanım Alanı | Kimyasal Bileşim (%) |        |        |       |      |      |       |      |            |              |
|----------------|----------------|----------------------|--------|--------|-------|------|------|-------|------|------------|--------------|
|                |                | C                    | Cr     | Ni     | Mn    | Mo   | W    | V     | Nb   | Diğer      | Esas Element |
| Fe1            | P              | ≤0,4                 | ≤3,5   | -      | 0,5-3 | ≤1   | ≤1   | ≤1    | -    | -          | Fe           |
| Fe2            | P              | 0,4-1,2              | ≤7     | ≤1     | 0,5-3 | ≤1   | ≤1   | ≤1    | -    | -          | Fe           |
| Fe3            | s t            | 0,2-0,5              | 1-8    | ≤5     | ≤3    | ≤4,5 | 10   | ≤1,5  | -    | Co,Si      | Fe           |
| Fe4            | s t (p)        | 0,2-1,5              | 2-6    | ≤4     | ≤3    | ≤10  | ≤19  | ≤4    | -    | Co,Ti      | Fe           |
| Fe5            | c p s t w      | ≤0,5                 | ≤0,1   | 17-22  | ≤1    | 3-5  | -    | -     | -    | Co,Al      | Fe           |
| Fe6            | g p s          | ≤2,5                 | ≤10    | -      | ≤3    | ≤3   | -    | -     | ≤10  | Ti         | Fe           |
| Fe7            | c p t          | ≤0,2                 | 4-30   | ≤6     | ≤3    | ≤2   | -    | ≤1    | ≤1   | Si         | Fe           |
| Fe8            | g p t          | 0,2-2                | 5-18   | -      | 0,3-3 | ≤4,5 | ≤2   | ≤2    | ≤10  | Si,Ti      | Fe           |
| Fe9            | k (n) p        | 0,3-1,2              | ≤19    | ≤3     | 11-18 | ≤    | -    | ≤1    | -    | Ti         | Fe           |
| Fe10           | c k (n) p z    | ≤0,25                | 17-22  | 7-11   | 3-8   | ≤1,5 | -    | -     | ≤1,5 | Si         | Fe           |
| Fe11           | c n z          | ≤0,3                 | 18-31  | 8-20   | ≤3    | ≤4   | -    | -     | ≤1,5 | Cu         | Fe           |
| Fe12           | c (n) z        | ≤0,08                | 17-26  | 9-26   | 0,5-3 | ≤4   | -    | -     | ≤1,5 | -          | Fe           |
| Fe13           | g              | ≤1,5                 | ≤6,5   | ≤4     | 0,5-3 | ≤4   | -    | -     | -    | B,Ti       | Fe           |
| Fe14           | g (c)          | 1,5-4,5              | 25-40  | ≤4     | 0,5-3 | ≤4   | -    | -     | -    | -          | Fe           |
| Fe15           | g              | 4,5-5,5              | 20-40  | ≤4     | 0,5-3 | ≤2   | -    | -     | ≤10  | B          | Fe           |
| Fe16           | g z            | 4-7,5                | 10-40  | -      | ≤3    | ≤9   | ≤8   | ≤10   | ≤10  | B,Co       | Fe           |
| Fe20           | c g t z        | Sert malzeme         | -      | -      | -     | -    | -    | -     | -    | -          | Fe           |
| Ni1            | c p t          | ≤1                   | 15-30  | Esaslı | 0,3-1 | ≤6   | ≤2   | ≤1    | -    | Si,Fe,B    | Ni           |
| Ni2            | c k p t z      | ≤0,1                 | 15-30  | Esaslı | ≤1,5  | ≤28  | ≤8   | ≤1    | ≤4   | Co,Si,Ti   | Ni           |
| Ni3            | c p t          | ≤1                   | 1-15   | Esaslı | 0,3-1 | ≤6   | ≤2   | ≤1    | -    | Si,Fe,B    | Ni           |
| Ni4            | c k p t z      | ≤0,1                 | 1-15   | Esaslı | ≤1,5  | ≤28  | ≤8   | ≤1    | ≤4   | Co,Si,Ti   | Ni           |
| Ni20           | c g t z        | Sert malzeme         | -      | -      | -     | -    | -    | -     | -    | -          | Ni           |
| Co1            | c k t z        | ≤0,6                 | 20-30  | ≤10    | 0,1-2 | ≤10  | ≤15  | -     | ≤1   | Fe         | Co           |
| Co2            | t z (c s)      | 0,6-3                | 20-30  | ≤4     | 0,1-2 | -    | 4-10 | -     | -    | Fe         | Co           |
| Co3            | t z (c s)      | 1-3                  | 20-35  | ≤4     | ≤2    | ≤1   | 6-14 | -     | -    | Fe         | Co           |
| Cu1            | c (n)          | -                    | -      | ≤6     | ≤15   | -    | -    | -     | -    | Al,Fe,Sn   | Cu           |
| Al1            | c n            | -                    | -      | 10-35  | ≤0,5  | -    | -    | -     | -    | Cu,Si      | Al           |
| Cr1            | c g            | 1-5                  | Esaslı | -      | ≤1    | -    | -    | 15-30 | -    | Fe,B,Si,Zr | Cr           |

**Kullanım Alanı:**

c: paslanmaya dayanım  
g: abrasif aşınmaya dayanım  
k: sertleştirilebilir  
t: ısı direnci  
z: tufala dayanım  
() bu alaşım her türü için geçerli olmayabilir

n: manyetize edilemez  
p: darbe dayanımı  
w: çökeltme sertleşmesi  
s: kenar koruması

**Çizelge 2.2:** Alaşım grupları için özellik sınıflandırması [18]

| Alaşım Sembolü | Uygulama Özellikleri |        |                 |          |         |                 |             | Alaşım / Mikroyapı                  | Sertlik |
|----------------|----------------------|--------|-----------------|----------|---------|-----------------|-------------|-------------------------------------|---------|
|                | Mekanik              |        | Isıl            |          | Korozif | Çatlak Dayanımı | İşlenebilme |                                     | HRC     |
|                | Sürtünme             | Darbe  | Yüksek Sıcaklık | Isıl Şok |         |                 |             |                                     |         |
| Fe 14          | 1                    | 3 ve 4 | 3               | 4        | 2       | 4               | 4           | Martensitik / östenitik + karbürler | 40 - 60 |
| Fe 15          | 1                    | 4      | 2               | 4        | 3       | 4               | 4           | Martensitik / östenitik + karbürler | 55 - 65 |

Uygunluk Koşulları:  
1 mükemmel  
2 iyi  
3 kabul edilebilir  
4 kabul edilemez

### 2.3.2 Sert dolgu alaşımlarının sahip olduğu yapıya göre sınıflandırılması

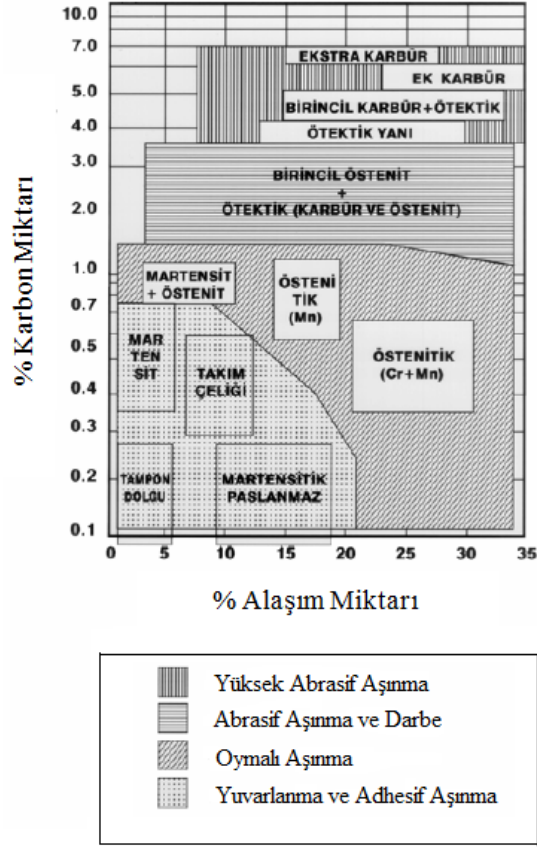
Demir esaslı sert dolgu alaşımları, metalurjik fazlarına veya mikro yapılarına göre alt gruplarda incelenebilmektedir. Bu alt grupların aşınma dayanımı davranışları da birbirlerine göre değişiklik göstermektedir. Bu yüzden esas hedeflenen aşınma dayanımı için aranılacak yapı da farklı olmalıdır. Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) ticari demir esaslı sert dolgu kaynak metallerini standardizasyonu için yaptığı çalışmalarda da alaşımın mikro yapılarını esas almaktadır. Basitleştirmek amacıyla bu alaşımlar dört ana grupta toplanabilir.

1. Ferritik alaşımlar
2. Östenitik alaşımlar
3. Martensitik alaşımlar
4. Karbürlü alaşımlar

Her uygulama için ihtiyaçlar değişiktir. Endüstride genel uygulamalarda malzeme kaynak metalinin sertliğine ve alaşım miktarına göre seçilir. Fakat bu konudaki araştırmalar bunu desteklememektedir. Örneğin, bir parçada yüzey sertliğinin 50-55 Rockwell C olması gerekebilir. Bu sertlik martensitik, çalışma ile sertleşmiş östenit veya krom karbür mikroyapı ile sağlanabilir fakat, her biri farklı tür aşınmaya direnç gösterirler. Martensit, metal-metal aşınması için en iyi sonucu verirken, krom-karbür abrasif aşınmaya karşı daha yüksek direnç sağlar [15].

Bazı uygulamalarda aşınma türlerinin kombinasyonları etkilidir. Örneğin; tek bir örtülü elektrotla, birincil östenit ile ötektik karbürleri birleştirerek, darbe ve aşınma direnci özelliği kazandırılabilir. Alternatif olarak, manganlı çelik üzerine veya manganlı dolgu kaynağı üzerine bir paso krom-karbür kaynak metali yığılarak darbe ve aşınma direnci birleştirilebilir. Bileşik elektrot (birincil östenit ile ötektik karbür) darbe direnci direncinin daha önemli olduğu yerde tercih edilebilirken, östenitik manganlı çelik üzerine krom-karbür malzeme de aşınmanın daha önemli olduğu yerlerde tercih edilebilir.

Çeşitli sert dolgu alaşımlarının mikro yapıları Kotecki Diyagramında verilmiştir. Karbon miktarı bir eksen ve alaşım miktarı da diğer eksen gösterilmiş ve diyagram mikro yapı ve alaşım türüne göre bölünmüştür. Sert dolgu ürününün mikro yapısal özelliği ve direnç göstereceği aşınma türü diyagramdan bulunabilmektedir.



**Şekil 2.3 :** Kotecki diyagramı [7, 15].

Elektrodlardaki gelişmeler, karşılaşılan spesifik aşınma türüne göre, en yüksek direnç gösterecek malzemenin seçimine olanak sağlamaktadır. Bazı uygulamalarda aşınma türlerinin kombinasyonu etkilidir. Mesela; tek bir örtülü elektroda, birincil östenit ile ötektik karbürleri birleştirerek, darbe ve aşınma direnci özelliği kazandırabilir. Alternatif olarak, manganlı çelik üzerine veya manganlı dolgu kaynağı üzerine bir paso krom-karbür kaynak metali kaynak yaparak darbe ve aşınma direnci kombine edilebilir. Bileşik elektrod (birincil östenit ile ötektik karbür) darbe direncinin daha önemli olduğu yerde tercih edilebilirken, östenitik manganlı çelik üzerine krom-karbür malzeme de aşınmanın daha önemli olduğu yerde tercih edilebilir. Çeşitli elektrodların alaşım içerikleri, karbon içerikleri ile mikroyapıları şekil 2.3'te verilmiştir. Karbon miktarını bir eksen ve alaşım miktarını da diğer eksen gösterilmiş ve diyagram mikroyapı ve aşınma türüne göre bölünmüştür. Sert dolgu ürünün mikroyapısal özelliğini ve direnç göstereceği aşınma türü diyagramdan bulunabilir. Pek çok ürün burada birbiri ile kıyaslanabilir ve uygulama için en iyi ürün seçilebilir [3].

### **2.3.2.1 Ferritik alaşımlar**

En fazla %0.15 C, ve en fazla %5 alaşım elementi (Mn, Cr, Mo) içerirler. Düşük karbon ve düşük alaşım miktarına sahip oldukları için yapı baskın olarak ferrittir. Karbon ve alaşım miktarı arttıkça artan miktarda martensit/beynit ikinci fazı görülür. Bu alaşımların kaynak sonrası sertlikler 200 HB ile 300 HB arasında değişir. 450°C'nin üzerindeki kaynak sonrası ısıtıl işlemlerde martensitin temperlenmesi nedeniyle sertlikte düşme görülür. Darbe direnci ve metal-metal aşınma direnci iyi düzeyindedir. Abrazif aşınmaya karşı direnci düşüktür. Sertlik ne kadar yüksekse, aşınma direnci o kadar yüksek olur. Aşınma indeksleri 80-85 arasındadır. Bu özelliklerinden dolayı: tampon paso, dolgu, yüksek darbe ve düşük aşınmaya maruz parçaların kaplanması için kullanılır [7, 15].

### **2.3.2.2 Martensitik alaşımlar**

Havada sertleşebildiklerinden soğuma hızı, sonuçta oluşacak yapı sertliği de etkiler. Çatlaksız bir kaynak metali için (120-320°C) arasında bir ön tav uygulanmalı, bu işlem yapılırken ana malzeme de dikkate alınmalıdır. Düşük karbonlu ve % 6'in altında düşük alaşımlı martensitik alaşımlar çeliklerin dolgu kaynaklarında kullanılır. Bu tür alaşımlar metal-metal sürtünmesine, sıkışma dayanımına ve bir miktar da darbe dayanımına sahip olduklarından, dolgu kaynaklarında ve daha sert alaşımlar kullanırken tampon tabaka olarak kullanılabilir. Aşınma direnci sertliğe bağlıdır. Aşınma direnci ortalama 75'dir. Yüksek darbe ve orta aşınmaya maruz parçalarda kullanılabilir [7, 15].

Biraz daha yüksek karbonlu ve daha yüksek alaşımlı (% 6-12) martensitik alaşımlar, oldukça yüksek kaynak sonrası sertliğe sahiptir. Bu sertlik bunlara mükemmel metal-metale sürtünme direnci ile abrazyon direnci sağlar, fakat tokluk düşer. Aşınma indeksi 50-55 civarındadır. Tokluğu arttırmak için temperleme yapılır. Bu alaşımlar daha çok tampon tabaka olarak kullanılır. Diğer grup martensitik alaşımlar da martensitik paslanmaz çeliklerdir. Bu alaşımların ısıtıl şoklara direnci, yüksektir [7, 15].

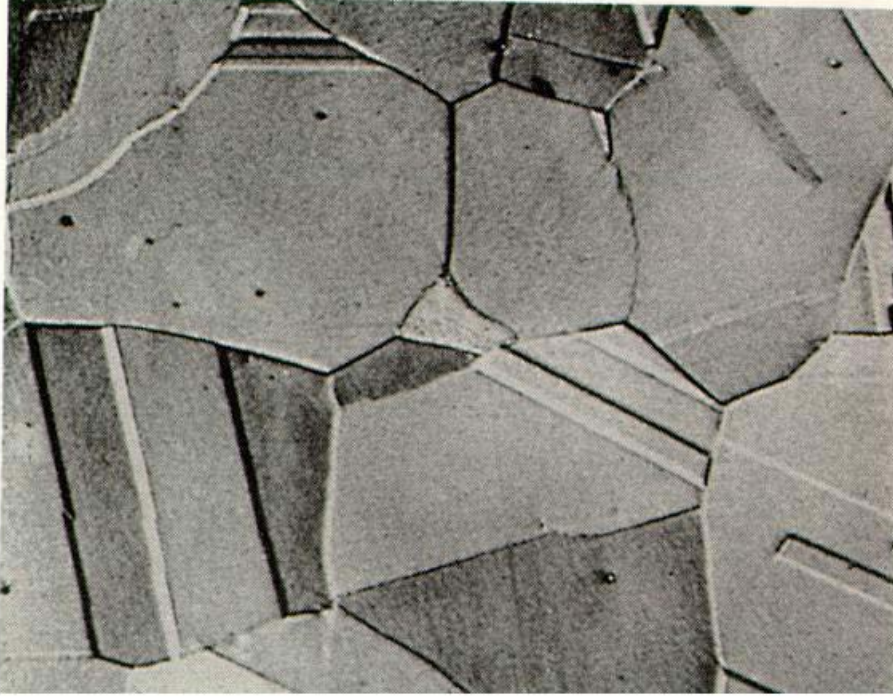


**Şekil 2.4 :** Martensitik bir alaşım mikro yapı görüntüsü [15].

#### **2.3.2.3 Östenitik alaşımlar**

Oda sıcaklığında dahi mikroyapıları östenittir. % 0.5-1 karbon ve % 13-20 alaşımlı (başlıca mangan ve çok az oranda nikel ve krom) çelikler östenit manganlı veya “Hadfield Manganlı” çelikler olarak adlandırılır. Bunlar genellikle temiz yüzey elde edilmesi istenen dolgularda ve karburlü alaşımlarla doldurulacak östenitik manganlı çeliklerde tampon tabaka olarak kullanılır. Yüksek darbe ile birlikte metal-metal aşınmasının veya abrazyon aşınmanın bulunduğu her durumda kullanılabilir. Östenitik alaşımların, % 0.7 C ve % 20-30 alaşım elementi (Mn, Cr ve Ni) ihtiva edenleri, düşük alaşımlı ve karbonlu çelikler üzerine yapılan ve ana metalden fazla karışma olan durumlarda dahi, tam östenitiklerdir. Bu durum bu tip çelikleri karbonlu veya düşük alaşımlı çeliklerle manganlı çeliklerin birleştirilmelerinde, ya da karbonlu çeliklerin sert dolgu tabakalarında çok daha avantajlı kılar.

Östenitik dolgu alaşımları oldukça toktur ve soğuk sertleşme (çalışma şartlarında sertleşirler) gösterirler. Aynı zamanda mükemmel darbe, orta abrazyon direnci ve genellikle gerilim çatlakları oluşturmama özellikleri de vardır. Bu tip alaşımlar kadar darbe ile 50 HRC'ye kadar sertleşirler, bu durum onlara darbe direnci yanında iyi bir abrazyon direnci de sağlar. Östenitik dolgu alaşımları aynı östenitik manganlı ana malzeme gibi 260°C'nin üzerine çıkmamalıdır aksi halde gevrekleşir ve çatlayarak kırılır.



**Şekil 2.5 :** Östenitik bir alaşımın mikroyapı görüntüsü [15].

% 0.03 ile % 1.0 arasında karbon içeren malzeme martensit veya manganlı östenitik yapıdadır. Martensitler (düşük alaşımlı, takım çeliği, veya paslanmaz) manganlı östenitiklerden daha serttir. Karbür yapı içermeyen bu iki malzemenin ana fazları aşınmaya direnç gösterir ve martensit yapı aşınmaya dirençte daha avantajlıdır.

#### **2.3.2.4 Karbürülü sert dolgu alaşımları**

Mükemmel abrasif aşınma direncine, iyi ısı direncine, orta korozyon direncine ve hafif darbelere karşı orta dirence sahiptirler. Aşınma faktörünün esasen abrasif aşınma olduğu hallerde başlıca krom ve diğer karbürleri en az % 12 oranında içeren dolgu alaşımları kullanılır. Karbürler, kendilerini çevreleyen ana yapıdan daha serttir ve mükemmel abrasif aşınma dayanımı sağlarlar.

Abrasif aşınma ve darbenin birlikte olduğu hallerde karbon oranı düşük seviyelerde (% 3'ten az) olmalıdır. % 2 ile % 3 arasında, yapı daha çok birincil östenittir ve daha az östenit karbür ötektiği içerir, bu nedenle aşınma dayanımı bir miktar artar. Karbürler ana yapı içinde az miktarda dağılmıştır ve bunlar iyi tokluk değerinin yanında iyi bir abrazyon direnci sağlarlar.

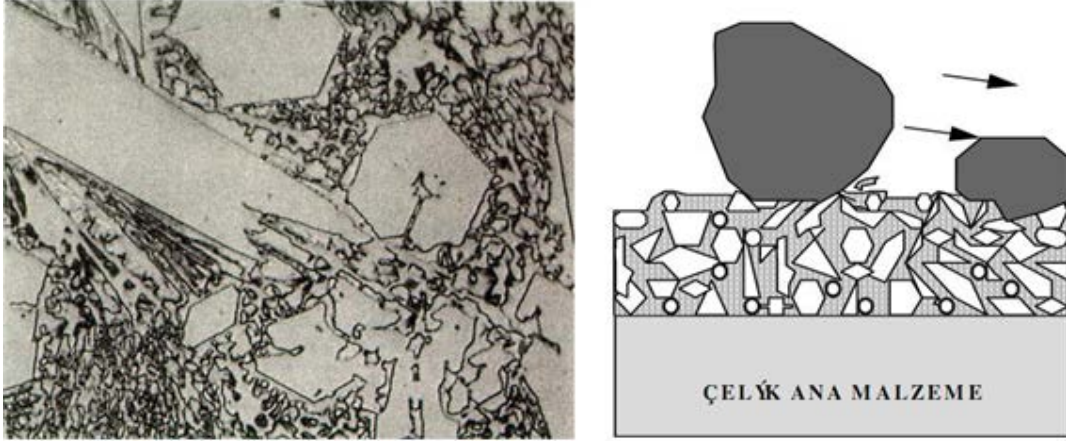
Karbon miktarı % 3.5'i aştıktan sonra birincil  $(Cr,Fe)_7C_3$  karbürler görülmeye başlanır, fakat aralıklı olarak bulundukları için aşınma direncini belirlemekte östenit-karbür yapı baskındır. Karbon miktarı % 4'ün üzerindeki malzemenin aşınma direnci, aşınma direnci çok yüksek olan birincil  $(Cr,Fe)_7C_3$  karbürler tarafından belirlenir ve % 5 karbon miktarına kadar aşınma direncinde az bir iyileşme görülür. Abrasif aşınma ve yüksek sıcaklığın birlikte olduğu hallerde, karbon oranı %7 gibi karbür alaşımı içinde arttığında abrasif aşınma direnci yükselir fakat tokluğu düşer.

Tüm yüksek karbürlü sert dolgu alaşımları gerilim nedeniyle oluşan çatlakları ihtiva ederler. Bu tip alaşımlar kesinlikle birleştirme amaçlı kullanılamazlar, karbonlu, düşük alaşımlı, östenitik manganlı çeliklerde ve dökme demirlerde özel kaynak prosedürleri ile kullanılırlar. Ana metal hatasız ve tok olmalıdır, aynı zamanda kaynak dikişlerinin pullanıp kalkmasını önlemek için karbürlü sert dolgu alaşımı en fazla 2-4 paso olarak uygulanmalıdır. Çatlaklar ince malzemeye etki edebilir. İnce malzemeler üzerinde uygulamada gerilim çatlakları oluşması nedeniyle özel bir dikkat gösterilmelidir. Bu tür alaşımlar iyi abrasif aşınma direnci yanında yüksek sıcaklıklarda (650°C) abrasif aşınma direncine sahiptirler [15].

Bir mikroyapı grubunda, krom miktarının aşınma direnci üzerinde etkisi olsa dahi çok azdır. Fakat, korozyonun etken olduğu bir aşınma türünde örneğin yaş aşınmada, krom miktarının yüksek olmasının avantajı vardır. Aynı mikroyapı grubu içinde % 16 Cr'lu malzeme, % 32 Cr'lu malzeme kadar aşınma direncine sahiptir. Aşınma direncini mikroyapı belirler, mikroyapıyı da genelde karbon miktarı belirler.

Krom karbür sistemleri başlıca demir, krom ve karbon ile az miktarda mangan, silisyum, molibden, nikel, bakır ve bor gibi alaşım elementlerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla mikroyapısında  $(Cr,Fe)_7C_3$  karbürleri ve östenit bulunmaktadır. Krom karbür sistemlerinin ötektik altı ve ötektik üstü olmak üzere iki ana mikroyapısı mevcuttur. Ötektik altı alaşımları %3'ten fazla karbon ve %11'den fazla krom oranına sahip olan ötektik üstü alaşımlardan korozyona daha çok dayanım göstermekle birlikte daha az karbon (yaklaşık %C 2-3) olduğu durumlarda oluşmaktadır. Ötektik üstü alaşımları krom karbürlerin yüksek sürtünme etkisi sebebiyle abrasif aşınmaya daha fazla direnç gösterdikleri için aşınmaya dayanımlı kaplamalarda daha çok tercih edilmektedirler. Ötektik üstü alaşımlar erime bölgesindeki seyrelme etkisinden dolayı ötektik altı mikroyapı özellikleri gösterebilecekleri unutulmamalıdır. Krom karbürlerin aşınma dayanımları esas

olarak karbürlerin morfolojisine, yönlenmesine, hacimsel oranına, boyutuna ve kimyasına dayanmaktadır. Tabakanın aşınmaya dayanımını ve sertliğini belirlemekte en önemli rolü karbon oynamaktadır [19].



**Şekil 2.6 :** Karbür parçaları abrasif parçacığın hareketini kısıtlaması, kopması ve geriye kalan karbürlerin aşınmayı geciktirmesi [15].

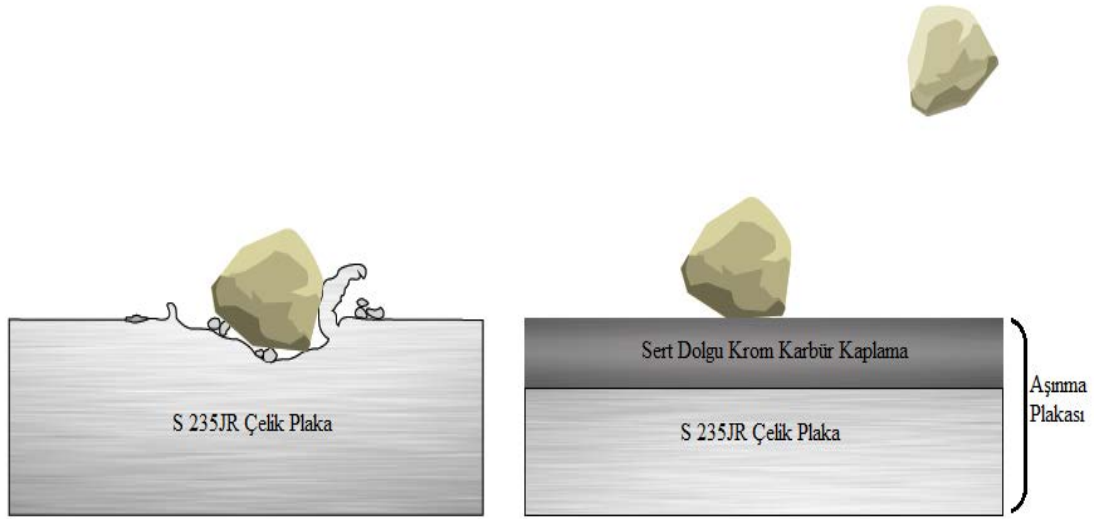
#### 2.4. Sert Dolgu Kaynağının Uygulanması

Sert dolgu kaynağında, gerçek dolgu kalınlığı uygulamanın ihtiyaçlarına göre değişir. Fakat genelde malzeme ne kadar sert ise o kadar ince uygulanır. Krom karbürli malzemeler gibi çok sert malzemeler için fazla çatlak oluşumunu engellemek üzere iki pasodan fazla uygulanmamalıdır. Krom-karbürlü malzemeler gerilim giderme sırasında çatlak oluşması için tasarlanmıştır. İlk paso büyük birkaç çatlak yerine ince, fakat çok sayıda çatlakların oluşumunu kontrol etmek için yüksek kaynak hızı ile yapılmalıdır. Sert dolgu malzemesini seçerken darbe, korozyon, erozyon, termik şok gibi etkiler tek tek veya bileşim olarak dikkate alınmalıdır. Bazı uygulamalar özel kaynak yöntemleri gerektirir. Büyük aşındırıcı ve sert bir malzemeyle çalışan bir değirmen veya çene, malzemenin hareket yönünde kaynak yapılması, sıvıli karışımın aktığı bir taşıyıcı da hareket yönüne dik olarak kaynak yapılması aşınmayı azaltmakta etkili olabilir. Sert dolgu süreci ana metal ile kaplama arasında yüksek biriktirme oranıyla kuvvetli bağlanmayı amaçlamaktadır. Bu yüzden sert dolgu kaynak kalitesini arttırmak için toz altı kaynak işleminin parametrelerinin uygun seçilmesi çok önemlidir [15,20].

## 2.5 Sert Dolgu Kaynağıyla Üretilen Aşınma Plakaları

Aşınma plakası; çelik bir sac üzerine, aşınmaya dayanıklı yeni bir tabakanın sert dolgu kaynağı şeklinde kaplanması ile elde edilir. Aşınma Plakaları, yapı çeliğinin üzerine abrasif aşınmaya son derece dayanıklı olan krom karbür aşınma tabakasının kaynak yöntemiyle biriktirilmesiyle elde edilir. Aşınma plakalarının olumlu katkıları şu şekilde olmaktadır. Bunlar;

- ❖ Yüksek aşınma direnci
- ❖ Yüksek sertlik
- ❖ Erozyon ve darbeye karşı direnç
- ❖ Termal ve korozif etkilere dayanım
- ❖ Uzun Servis Ömrü
- ❖ Ekonomik Fayda



**Şekil 2.7 :** S235JR çelik plaka ve aşınma plakasının abrasif aşındırıcı parça karşısındaki dayanımı

Aşınma Plakaları olarak bilinen Fe-Cr-C alaşımları; abrasif aşınma, erozyon ve korozyona karşı mükemmel dayanım sağladığı için madencilik, mineral işlemleri, çimento üretimi, kağıt üretim endüstrileri gibi agresif şartların olduğu ortamlarda yaygın olarak kullanıldıkları bilinmektedir [21].



**Şekil 2.8 : Aşınma plakasının üst yüzey görüntüsü**

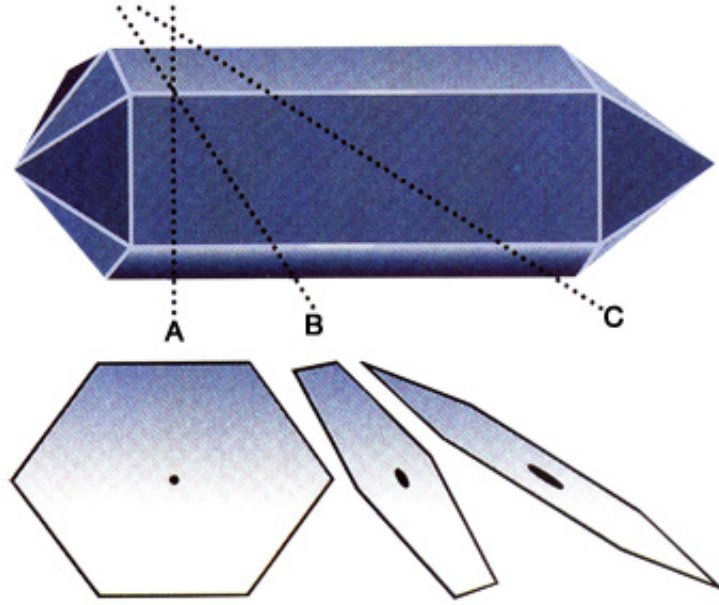
### **2.5.1 Aşınma plakalarının özellikleri ve kullanım alanları**

#### **2.5.1.1 Aşınma plakalarının özellikleri**

Yaklaşık üçte bir oranında krom, yüzde dört civarı karbon içeren yüksek kromlu demir alaşımı en çok karşılaşılan alaşımdır. Bu standart alaşım bileşim bakımından çeşitlendirmek, bunu yaparken de abrasif aşınma dayanımını arttırıp tokluğu azaltmak mümkündür.

Yüksek kromlu demir alaşımlarının abrasif aşınma dayanımı; krom, demir ve karbondan veya krom demir karbürden yani kısaca krom karbürden oluşan birincil karbürlerin oluşumundan kaynaklıdır. Saf krom karbür üretilmektedir ancak geniş alanda uygulaması oldukça pahalı olduğundan, krom ve demirin birlikte olduğu  $M_7C_3$  birincil karbür kullanılır. (M = krom ve demir'den oluşmaktadır.)

Tipik bir kaplama alaşımı; Fe-Cr-C alaşımı matriksinin içinde Fe-Cr karbürlerinin karışımını kapsamaktadır.  $(Cr,Fe)_7C_3$  birincil krom karbürlerin sertliği yaklaşık 1700HV'dir ki sertliği 600 HV olan standart çelik plakaların oldukça üzerinde setlik gösterir. Genellikle, bu alaşımların sertliği Rockwell sertlik testiyle ölçülür. Bu test, alaşımların sertliği hakkında kabul edilebilir genel bilgi verir. Rockwell testinde sertlik değeri 54-60 HRC'dir. Alaşım kimyasının yanısıra en önemli özellik alaşım tabakasının mikroyapısıdır.



**Şekil 2.9 :**  $(Cr,Fe)_7C_3$  karbürlerin hegzagonal mikroyapı şekli

Mikroskop altında bakıldığında karbürler, siyah arka planda beyaz maddeler olarak görülmektedirler. Maksimum abrasif aşınma dayanımı için en uygun mikroyapı, iğnesel karbürlerin sıkıca yerleşimiyle ortaya çıkmaktadır. Bunların kesiti; merkezinde küçük bir boşluk olan uzatılmış altıgenler şeklinde görülür. Balık kılıcı gibi düzensiz şekilli bölgelerin veya beyaz bölgelerin ya da merdiven tipi gibi yapıların varlığı maksimum abrasif aşınma dayanımı için gerekli olan optimum karbon değerinin altında olunduğunun belirtisi olmakla beraber, darbe dayanımının da arttığının göstergesidir.

Aşınma plakalarının görünümü aşınma dayanımlarını tam olarak yansıtmaz ve en iyi aşınma dayanımı özelliği taşıyan malzemelerden birisi olmasına karşın, çoğunlukla yüzeysel çekicilikleri diğer malzemelerden daha azdır. Aşınma plakasındaki karbon miktarı %4'ü aştığında, kaplama git gide viskoz davranır ve düzensiz davranma eğiliminde olur. Bunun plakada sonucunda yüzeyden aşağıya doğru genişleyen küçük delikler oluşabilir. Birçok uygulama açısından bu pürüzlülük önem taşımamaktadır. Eğer ki malzeme akışının kritik olduğu durumlar gibi yüzeyin pürüzsüz olması önemliyse, plakanın üzerine toz altı kaynağı uygulanarak pürüzsüz yüzey elde edilebilir.

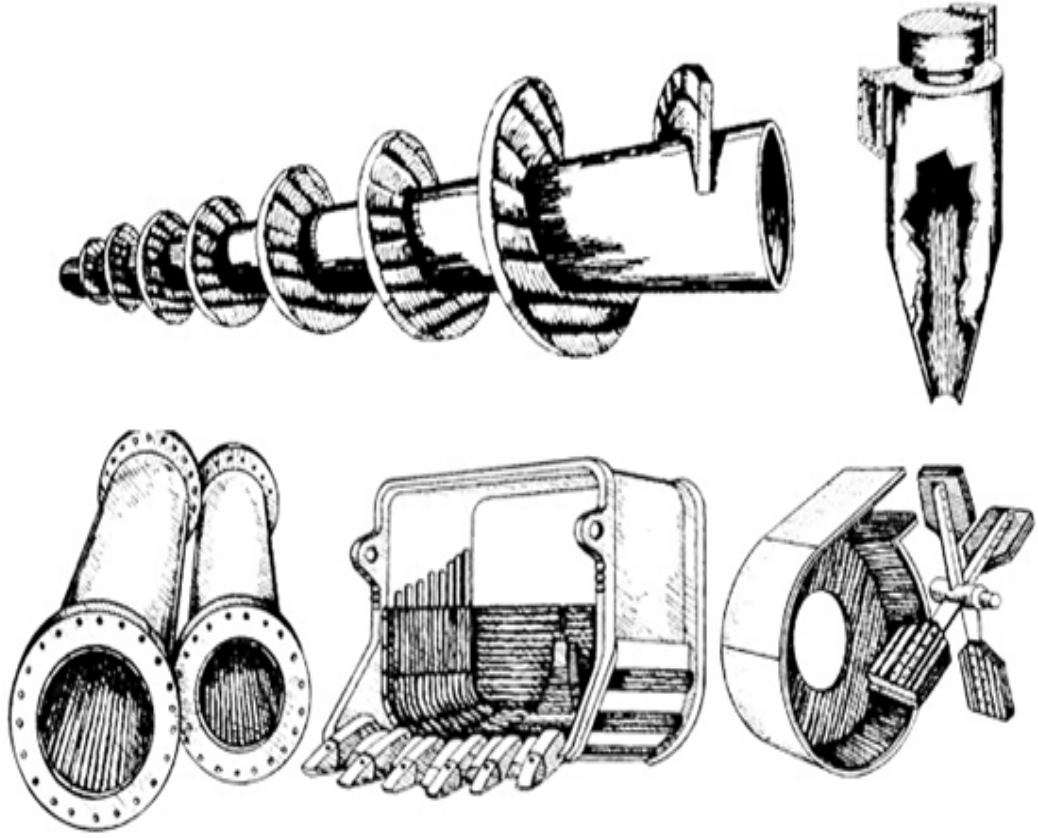


**Şekil 2.10 : Aşınma plakalarının kesit ve üst yüzey görüntüsü**

Görünenin aksine plakadaki gerilim giderme çatlaklarının varlığı aslında malzemeye yararlıdır ve iyi kalitede plaka olduğunun göstergesidir. Bu sert dolgu plakasında doğru yoğunlukta ve sıklıkta çatlakların varlığı, plakanın hasar görmeden işlenmesine, bükülmesine ve haddelenmesine imkan vermektedir.

#### **2.5.1.2 Aşınma plakalarının kullanım alanları**

Çimento sanayisinde, aşınan makine parçalarının değiştirilmesi ve tamir/bakımından kaynaklanan üretim kesintileri ile sık sık karşılaşılmaktadır. Aşınan veya değiştirilen parçalar ile üretim kaybının getirdiği maliyetler son derece yüksek boyutlara ulaşabilmektedir. Bu konudaki maliyetlerin azaltılması için çeşitli yöntem ve malzemelerin geliştirilmesi tüm işletmeler için bir zorunluluktur. Sert dolgu aşınma plakaları bu amaca hizmet eden en uygun çözümlerden biridir. Aşınma plakaları, yüksek abrazif aşınma ve darbenin birlikte görüldüğü çalışma ortamlarında bu amaca başarıyla hizmet etmektedir. Aşınma plakaları, seramiklere yakın abrasif aşınma dayanımı, hafif alaşımlı çeliklere benzer kaynak kabiliyeti ve orta düzeyde darbe direncinin mükemmel uyumunu bir araya getirir. Aşınma plakaları bu benzersiz özellikleri ile makina ve ekipman bileşenlerinin ömrünü uzatmak ve arıza süresini azaltarak işletmelere ekonomik fayda sağlamak için kullanıcılara önemli fırsatlar sunmaktadır.



**Şekil 2.11 :** Aşınma plakalarının kullanıldığı iş parçaları

Çimento, maden, çelik ve diğer birçok endüstride; kırma, sınıflandırma veya taşıma gibi ham maddeleri işlemekte kullanılan birçok temel uygulama mevcuttur. Kırıcılar gibi temel bileşenler yüksek aşınmaya maruz kalırlar. Maliyeti yüksek zaman kayıplarından kaçınmak ve pahalı yedek parça maliyetini azaltmak için etkili yüzey koruması önlemleri gerekmektedir. Abrasif aşınmaya karşı dayanımını arttırmak sistem ekipmanlarının kullanım ömrünü de etkin şekilde uzatmaktadır. Kaynak bu gereklilikleri tamamıyla karşılayan ve sert dolgu alaşımlarını uygulayabilen temel teknolojidir.

Sıradan krom karbür aşınma plakaları bile çelikten çok daha uzun ömürlüdür. Aşınma, plakalarının çeşitliliği de göz önüne alındığında, neden alüminyum, asfalt, cam, petrokimya, kağıt, çelik üretimde ve madencilik, arıtma, gıda, geri kazanım gibi sektörlerde iyi bir maliyet düşürücü olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 2.12 :** Madencilikte aşınma plakalarının kullanıldığı iş parçaları

Demir-çelik sanayi, madencilik sanayi ve çimento sanayi üretim ekipmanlarında mükemmel aşınma ve ısı dayanımı için düşük maliyeti olan Fe-Cr-C alaşımları yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çelik üretim endüstrisinde sert dolgu koruması olmadan çabucak aşınabilen; silolar, taşıyıcı bantlar, çubuklu elekler, yüksek fırın gaz sistemleri, şutlar, sinter sistemleri için aşınma koruması gerekmektedir.

Madencilikte ise sert dolgu koruması olmadan; oluk astarları, yükleyici hatlarının önü ve arkası, konveyörler, aşınma yastıkları ve kırıcı astarları gibi kısımlar silis içeriklerin etkisi yüzünden kullanılabilirliklerini zamanından önce kaybetmektedirler.



**Şekil 2.13 :** İletim sistemlerinde aşınma plakalarının kullanıldığı iş parçaları

Atık işleme tesislerinde aşınma ürünleri, karıştırıcı, öğütücü, spiral konveyörler, aktarma noktaları ve boruları, havalandırma kanatları ve kül atma sistemlerinde de kullanılmaktadır.



**Şekil 2.14 :** Aşınma plakalarının kullanıldığı iletim parçaları

Çimento sanayisinde ise aşağıdaki gibi birçok sistem bileşeninde kullanılmaktadır.

- Şutlar ve Bunkerler
- Toz Giderme Üniteleri
- Değirmen Vals ve Tablaları
- Fanlar ve Fan Gövdeleri
- Klinker Aktarma Boruları
- Karıştırıcı Astarları
- Hadde Yatakları
- Yönlendirme/ Ayırıcı Levhaları
- Siklonlar ve Ayırıcılar



**Şekil 2.15 :** Aşınma plakalarının bükülerek kullanıma hazır şekli

Çok aşındırıcı olan çimento yarı mamülü olan klinker, direk temas ettiği noktaları, özellikle kot farkı olan dökülme noktalarını direk ve sürekli aşındırmaktadır. Örneğin, elevatörlerden alınan klinker akışının stabiletisini sağlayan merdivenlerin hemen önüne koyulduğu takdirde aşınma dayanımına yaptığı katkı sayesinde sistemin çalışma ömrüne ve fabrikanın revizyon süresine önemli etkisi olmaktadır . Buna ek olarak; kalker, kireç ,alçı ve silis içerikli doğadan çıkarılan bu malzemeler karşısında sistem ekipmanlarının dayanımı koruması gerekmektedir.



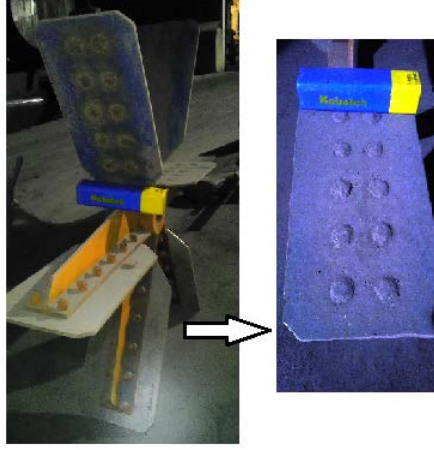
**Şekil 2.16 :** Aşınma plakalarının bunkerlerde kullanımının görüntüsü

Diğer örnekler ise klinkerin bunkere ve akış şutuna döküldüğü noktalar, merdaneler arası ve yan duvarlardır.



**Şekil 2.17 :** Çimento sanayisinde toz tutucularda kullanılan aşınma plakalarının görüntüsü

Çimento değirmeninin fırın ağızlarında klinker dökülürken tozların uçtuğu ve ayrıldığı, tozu çeken filtre borularını da içeren, toz tutucu fanları ve elektro filtrelerde kullanılması ön görülmüş ve başarıyla uygulanmıştır. Daha az aşınmasının yanında tutunmayı da arttırarak sistemin çalışmasını daha etkin hale getirmektedir.



**Şekil 2.18 :** Kanatlarda aşınma plakalarının kullanıldığı parçalar

Demiryollarında rayların hat değıştirme yerlerinde de kullanılması öngörölmüş ve başarıyla uygulanmıştır.

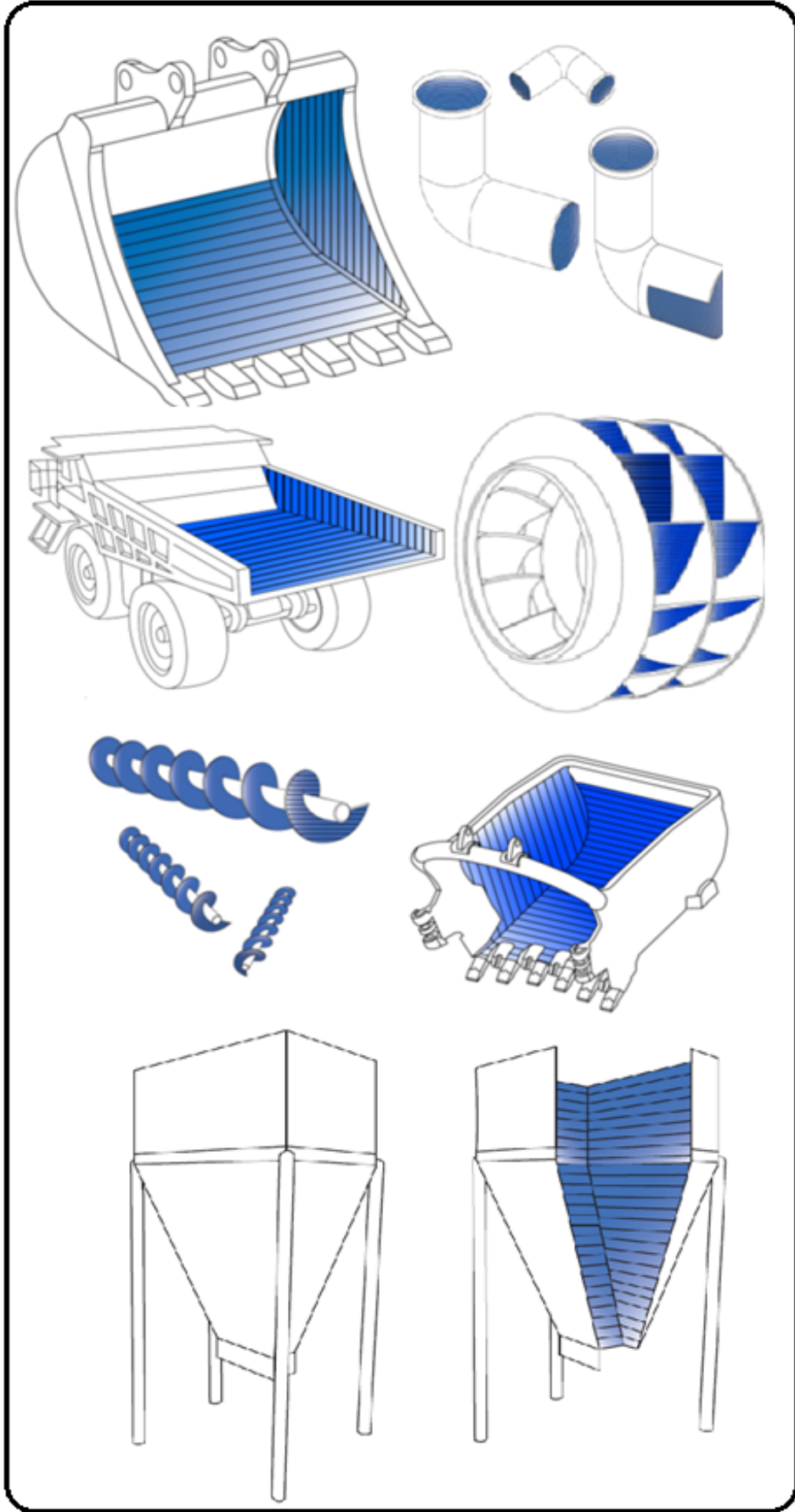


**Şekil 2.19 :** Demiryolu hat değışim noktalarında kullanılan aşınma plakası parçaları

Cam sanayisinde kırık camların aktığı bunkerlerde de etkin bir şekilde kullanılmaktadır.



**Şekil 2.20 :** Kırık cam dökölen bunkerlerde aşınma plakalarının kullanımı



Şekil 2.21 : Sanayide aşınma plakası kullanımı öngörülen iş parçalarının kesitleri

### 3.KONU HAKKINDA DAHA ÖNCE YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR

Birçok sanayi için aşınmanın azaltılması çok önemlidir. İşlemler sırasında ekipmanlar agresif şartlarda yoğun bir şekilde maruz kalınan abrasif aşınmaya dayanıklı olmak durumundadır. Aşınmanın neden olduğu bu kesintiyi ve makine bileşenlerinin değiştirilmelerinin maliyetini azaltmak için yöntemler ve malzemeler geliştirmek için sürekli bir mücadele olmuştur. Bu dayanımı, yıllardır insanın en temel ihtiyaçlarına olanak veren kaynak ile yapmak mümkün olmaktadır. Sert dolgu kaynağı ile üretilen aşınma plakaları, aşınmanın ve darbenin bulunduğu bu amaca başarıyla hizmet etmektedir. Aşınmanın, her yıl Kanada sanayisine maliyeti 2.5 milyar dolar olmaktadır. Sadece petrol kumu operatörünün her yıl aşınmadan kaynaklı parça değişimi ve işçilik maliyeti 40 milyon doları bulmaktadır. Aynı durum ülkemizde çimento, madencilik ve çelik, tuğla, şeker vb. sanayilerinde de geçerli olmaktadır ve bu yüzden mevcut olan optimum kaplamayı kullanabilmek dayanımı iyice arttırmak ve çalışma süresi açısından çok kritik olmaktadır. Tamir ve bakım maliyetini azaltmak ve imal edilebilirlik açısından sıradan çelik bir tabaka üzerine aşınmaya dayanımı iyi olan demir esaslı krom karbür sert dolgu tabaka kullanmak çok önemli tasarruflara olanak vermektedir.

Mendez PF. ve arkadaşları aşınmaya dayanım amacıyla kullanılan malzeme sistemlerini ve kaynak yöntemleri incelemişler ve Ni-WC ve krom karbürlerin aşınmaya özgü sorunları ortadan kaldırmaları nedeniyle en çok tercih edilen sistemler olduğuna değinmişlerdir. Ni-WC sistemlerin aşınma dayanımı krom karbür sistemlerine göre daha iyi olmasına rağmen, Ni-WC sistemlerinin 10-15 kat daha pahalı olduğunu dolayısıyla da endüstride krom karbür sistemlerin pazar hacminin 20 kat daha fazla olduğunu vurgulamışlardır. Krom karbür sistemlerini uygulamada önde gelen yöntemin toz altı esaslı kaynak yöntemi olduğuna da değinmişlerdir. Demir esaslı sert dolgu alaşımları, düşük maliyetleri ve iyi aşınma dayanımları sayesinde sanayide abrasif aşınmaya maruz kalan kırıcılar gibi yüzlerce alanda servis ömrünü arttırmak sıklıkla kullanıldığını vurgulamışlardır. Demir esaslı sert dolgu alaşımlarının iyi abrasif aşınma dayanımına sahip olması ağırlıklı olarak  $(Cr,Fe)_7C_3$  sert karbürlerinin düzenlenmesiyle ilişkisinden bahsetmişlerdir [19].

Dashuang Liu, Renpei Liu ve Yanhong Wei titanyum içeren kendinden korumalı özlü tel elektrot kullanarak kaplama yapısına titanyum ilavesi üzerinde çalışmışlardır. Seyrelmenin etkisinin önüne geçebilmek adına beş pasoda gerçekleştirilmiştir. Yapıda %24 oranında titanyumun bulunmasıyla mikroyapının ötektik üstü  $(Cr,Fe)_7C_3$  ( $M_7C_3$ )’ten ötektik altı MC’ye geçtiği gözlemlenmiştir. Daha sıkı bir yapı sonucunda daha fazla aşınma dayanımı elde edilmiştir. Eğer karbürler orijinal  $M_7C_3$  karbürlerinden düzenli bir şekilde daha sert, daha sıkı ve daha yakın dağılım gösterirlerse, bu şekilde abrasif aşındırıcılar matrise etkili şekilde giremezler ve karbürler matristen kolaylıkla ayrılamazlar tanımını yaparak görüşlerini ifade etmişlerdir. Bu yüzden, araştırmacılar  $M_7C_3$  karbürlerinden daha sıkı ve daha sert olduğunu savundukları MC karbürleri elde etmek amacıyla W, V, Nb ve Ti gibi sert karbür yapıcı alaşım elementlerini eklemeyi önermektedirler [22]. Titanyumun sert dolgu alaşımı üzerine etkisini inceleyen bir başka çalışma da ise Chung ve arkadaşları yaptıkları çalışmada demir esaslı %25 Cr ve %4 C içeren sert dolgu alaşımına sırasıyla %0, 1, 2, 6 oranlarıyla ilave edilen titanyumun alaşımın aşınma dayanımı ve sertlik değerleri üzerindeki etkisinin değişimini incelemişlerdir. İlk başta ötektiküstü  $M_7C_3$  birincil krom karbür yapıda olan alaşımın mikroyapısının Ti ilavesiyle özelliklerin gelişmesi beklentisine karşın, giderek ötektikaltı yapıya ulaşıldığı ve bunun sonucunda da başlangıçtaki aşınma dayanımı ve sertlik değerlerinden daha kötü değerler elde ederek, Ti ilavesiyle oluşan TiC’lerin birincil  $M_7C_3$  karbürlerin karbon oranını azaltarak yapının ötektikaltı yapıya geçmesi olarak yorumlamışlardır [23].

Özlü tel elektrotun sert dolgu kaynak kalitesine ve bağlı olarak aşınma dayanımına etkisi üzerine gerçekleştirdikleri çalışmalarında X.Wang ve arkadaşlarının demir esaslı sert dolgu plakalarının üretiminde özlü tel ile molibden ilavesini incelemişlerdir. Seyrelmenin etkisini önleyebilmek için dört paso yapılmış olan çalışma sonucunda molibden ilavesinin sertliği arttırdığı ancak molibden oranının %5’i aşmasıyla kırılma ve çatlak hassasiyeti yaratmış olduğuna değinilmiştir. Bu yüzden molibden oranının %4’ü aşmaması gerektiğini vurgulamışlardır. Buna ek olarak Dört pasoya varan denemeleri sonucunda elde edebildikleri maksimum sertlik 64 HRC olmuştur [16,17].

Özlü tel ile yapılan bir diğer çalışma da ise %4’e kadar seryum ilavesini incelemişler. %2’ye kadar olan seryum içeriğinde alaşımdaki  $M_7C_3$  karbürlerinin azaldığını ve

var olanların daha küçüldüğünü ve MC karbürlerinin arttığını ve yapının daha sıklaştığını bunun sonucunda da sertliğin arttığını ve aşınmaya bağlı kütle kaybının da azaldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, %2'den daha fazla seryum içeriğinde malzeme özelliklerin tekrar gerilediği ve kırılabilirliğin arttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, Seyrelme etkisini altlıktan yüzeye doğru azalmakta olduğunu, çelik altlıkla Fe-Cr-C ilk kaplamanın ilk tabakasında seyrelme etkisine bağlı olarak yapının dendritik krom karbürler gözlendiğini açıklamışlardır [24].

Sert dolgu aşınma plakalarının mikroyapıları ve alaşım elementlerinin aşınma dayanımına etkilerinin incelenmesinin yanı sıra literatürde daha az sıklıkla karşılaşılsa da diğer kaynak parametrelerin de etkisi konusunda yapılmış çalışmalar yer almaktadır. Shan-Ping Lu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, proses parametrelerinin AISI 1045 çeliklerinin %0.2C, %2.8Cr, %2.0Mn, %1.3Si içeren özlü tel elektrot ile kaynaklanması üzerindeki etkilerini incelemişleridir. Akım değeri, kaynak hızı ve paso miktarı üzerine yoğunlaşan bu çalışmada, bu parametrelerin sertlik ve aşınma direnci üzerine etkileri gözlemlenmektedir. Yapılan çalışma sonucunda, sertlik ve aşınma dayanımının akım değerinin artması ile azaldığı fakat ve kaynak hızının artmasıyla beraber arttığı belirtilmektedir. Ayrıca, çift tabaka dolgu yapınca sertlik değerinin ikinci tabakada ilk tabakaya göre daha az olduğu, çünkü ilk biriktirilen dolgu tabakasının sıcak olmasından dolayı soğumayı azalttığına işaret edilmektedir [25].

Veinthal ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, diğer alımlardan farklı olarak soğuma şartları üzerinde durulmuştur. Plazma transfer ark kaynak yöntemiyle Fe-Cr-C plakaları elde edilmiştir. Deneylerinde; standart soğuma şartları ve düzeneğinin altından gaz verilerek gerçekleştirilen aktif soğuma karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda standart soğuma şartlarında  $M_7C_3$  fazı oranının %55, aktif soğuma şartlarındaki  $M_7C_3$  fazı oranının %39 olduğu, soğuma sırasında yeterli zamanı bulamadığından çözünmemiş halde kalan Fe-Cr-C miktarının da aktif soğuma şartlarındaki tabakada %16'lık oranıyla standart soğuma altında üretilen tabakadan yaklaşık üç kat fazla olduğu gözlenmiştir. Bunun sonucunda da aktif soğuma şartlarında üretilen Fe-Cr-C tabakanın sertlik değerinin ve abrasif aşınma dayanımının daha düşük olduğu belirtilmiştir [25].

Karakterizasyon yöntemlerinin gelişmesi ve daha önce yapılmış çalışmaların bir sonraki çalışmalara ışık tutması sayesinde, kaynak işlemi sırasında ve sonrasında meydana gelen malzeme davranışları açıklığa kavuşmaktadır [26].

Araştırmacıların yaptığı çalışmalar başarılı bir şekilde gerçekleşmiş olsa da sürekli üretimi en ekonomik maliyette talep eden sanayi kuruluşlarımız için mükemmel kimyasal bileşim, mikroyapı, sertlik ve aşınma dayanımı uyumu tam sağlanamamıştır. Bu uyumu sağlayan bazı çalışmalar da sanayideki beklentilere fiyat-kalite ölçüsünde tam yanıt verememektedir. Her sektörün ihtiyacı olan aşınma dayanımı ve sertlik değerleri farklıdır bundan fazla olan dayanımı araştırmak sanayiye hizmet etmemektedir. Bizim bu çalışmadaki amacımız ve ön görüşümüz sanayinin beklentisi doğrultusunda bu temel özellikleri sağlayarak, ihtiyaçlarına cevap verebilecek bir çalışma yapılmasıdır. Başta çimento sanayisinde olmak üzere, sanayide yeterli olacak gerekli optimum aşınma dayanımını aramaktayız.

Günümüz Türkiye’inde yüksek katlı bina inşaatında da kaynak uygulamaları geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ülkemiz için inşaat sektörü, ekonomin lokomotifi olmakla beraber, köyden kente göçün engellenememesi dolayısıyla konut ihtiyacımız hızla yükselmektedir. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla yeni binalar yüksek katlı olarak tasarlanmaktadır. Bu yeni tasarımlar, kaynak teknolojisinin, çimento sanayiinin ve çelik sanayisinin kendini bu yönde geliştirmesini ve yeni uygulamaların hayata geçirilmesini gerektirmektedir.[26] Üretimde devamlılık için gereken aşınma dayanımı ve mekanik özelliklerin karşılanması üzerine yapılan çalışmalara yoğunlaşılması kaçınılmaz olmaktadır.

Adamiak M. ve arkadaşları aşınma plaklarının türü ve özellikleri makine parçalarının dayanımını doğrudan etkilediğini belirterek. Sisteme uygun aşınma plakasının yerleştirilmesinin ekonomik olarak tasarruf sağlamadığını önemle vurgulamışlardır. Aşınma plakaları; yüksek abrasif aşınma etkisi altında çalışan sistemlerin üretilmesi ve aşınmış sistem yüzeylerinin yenilenmesi için maliyeti de azaltan en yeni çözüm olarak karşımıza çıktığına işaret edilmektedir. Ayrıca, aşınma plakalarının istenilen çok farklı şekillerde kesilebilmekte ve bükülebilmekte olduğu sonucuna varmışlardır [28].

Endüstride aşınma performansının tabakalar arasında bile önemli ölçüde değiştiğine inanılmaktadır. Bu yüzden tanımlamalar son derece önemlidir. Krom karbür sistemleri henüz yeteri kadar incelenmemiş olduğundan muhtemelen üretilen krom karbür ürünleri standardın altındadır [19]. Aşınma Plakaları konusunda yapılmış çalışmalara literatürde sıklıkla rastlanmamaktadır. Endüstriyel bir uygulama olması nedeniyle akademik anlamda yapılmış çalışma sayısı oldukça azdır.

Buchely M. ve arkadaşları da  $(Cr,Fe)_7C_3$  tipi karbürler abrasif aşındırıcıların neden oldukları kesme, oyuklanma ve ayrılma etkilerine karşı bariyer etkisi sağladığını ifade ederek hem bir katmanlı hem de iki katmanlı krom karbür içerikli numunenin aşınma dayanımının kompleks karbür içerikli numunenin aşınma dayanımından daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır [29].



#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Günümüzde artan rekabet nedeniyle fabrikatörler, kaynak yöntemlerinin uygun maliyetli, yüksek biriktirme oranlı, iyi nüfuz etme ve çevre şartlarından daha az etkilenen kontrole sahip kaynak yöntemini tercih etmektedirler. Deneysel çalışma sistemimiz için, yeterli kimyasal bileşimin elde edilmesi ve fazla miktarda seyrelme gibi maksimum aşınma direncinin elde edilmesindeki güçlüklerin minimum olması nedeniyle tozaltı kaynak sistemi esaslı açık arklı melez kaynak sistemimiz üstün nitelikte aşınma plakası elde edilmesinde en uygun yöntem olarak gözükmektedir.

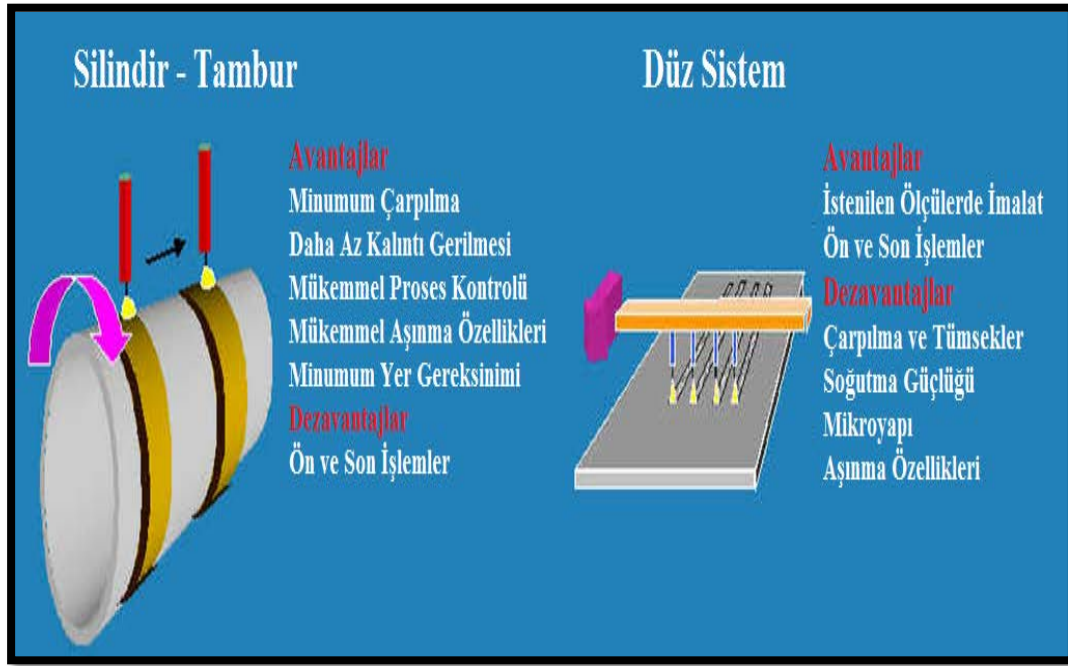
Tozaltı kaynak yöntemi; kaynak hızında yüksek biriktirme oranı, derine nüfuziyet özelliklerini barındırıp, operatör gereksinimi daha az olan otomatikleşmiş uygulama şartları nedeniyle operatörün yorgunluğu ve buna bağlı standardizasyon veya bekleme süresi gibi aksaklıkları içermediğinden tercih edilmektedir [30].

Toz altı kaynağı en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Sert dolgu alaşımları Fe-Cr-C veya Fe-C-B gibi maliyet olarak çok etkili alaşımları kapsadığı gibi daha pahalı tungstenle güçlendirilmiş çok fazlı kompozit malzemeleri içeren uygulamaları da kapsamaktadır. Farklı abrasif dayanıma sahip sert fazların çökelmeleri ve optimize matriks özelliklerinden dolayı; niyobyum, titanyum, molibdenin bor ve karbon ile kombinasyonlarını içeren karmaşık demir esaslı alaşım yüksek aşınma dayanımı sağlamakta önem kazanmıştır.. Tozaltı kaynak yöntemi derine nüfuziyet ve otomasyon gibi yapısal avantajlarından dolayı sanayide en çok tercih edilen kaynak yöntemlerinden biridir [31].

Kaynak sisteminde düz tabaka sistemiyle çalışmanın en iyi yanı her kaynak istemini kolayca adapte edebilmektir. Kaynak sonrası istenilen ölçülere getirmek ve tasarım yapabilmenin kolaylığı bu sistemin en büyük avantajıdır. Ancak, bu sistemde kaynak ve ürün kalitesini etkileyen büyük miktarda çarpılmalar olmaktadır. Bu çarpılmalar sonucu yükselti oluşturan kısımlar, seyrelme ve penetrasyonda dengesizlikler oluşturacağından maksimum aşınma dayanımı için istenilen kimyasal bileşimin tutturulması mümkün olamayacaktır. Minimum çarpılma ve çıkıntı, alan

gereksiniminin azlığı ve istenilen maksimum aşınma direncinin elde edilmesi gibi özellikleri taşıyan silindirik sistem ön görülmektedir. Optimum özelliklerin sağlanabildiği bu yöntemdeki en büyük zorluk taban malzemesinin sisteme konulması ve üretilen aşınma plakasının düzleştirme işlemidir [31].

Şekil 4.1’de tambur üzerinde gerçekleştirilen aşınma plakası üretimiyle, düz plaka halinde gerçekleştirilen aşınma plakası üretiminin olumlu ve olumsuz yanlarının karşılaştırılması yer almaktadır.



**Şekil 4.1 :** Farklı üretim sistemlerinin sahip olduğu olumlu ve olumsuz özellikler.

Bu unsurları göz önüne alarak optimum ürün kalitesi, zamanını ve diğer özellikleri elde edebileceğimizi ön gördüğümüz çalışmalarımız, sertdolgu kaynağıyla aşınma plakası üretimi, toz altı kaynak sistemi esaslı açık hava kaynağını içeren silindirik melez bir sistem ile gerçekleştirilmiştir [32,33].

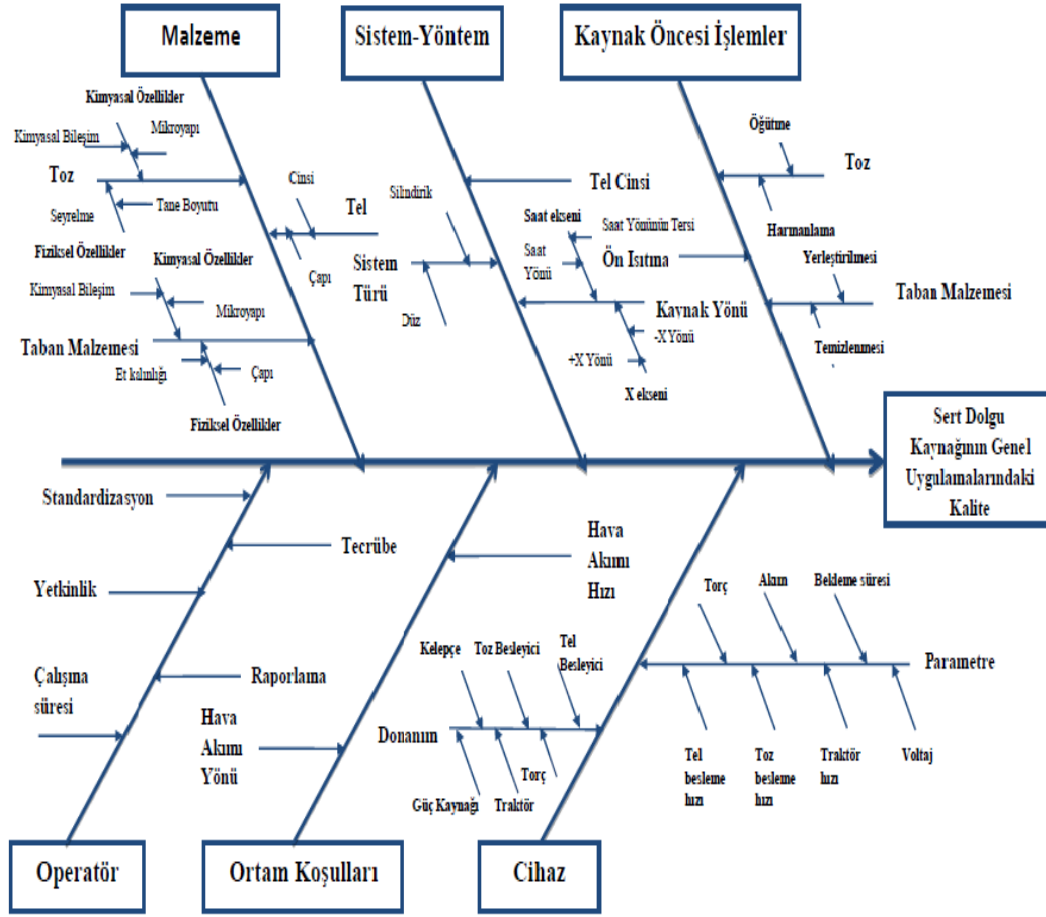
Deneyisel çalışma süresince gerçekleştirilen prosesler için iş-akış şeması oluşturulmuş ve sırasıyla süreçler takip edilmiştir. Takip edilen süreç adımları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.2 : Deneysel çalışma planı adımları**

#### **4.1 Deneysel Çalışma Parametrelerinin Tespit Edilmesi**

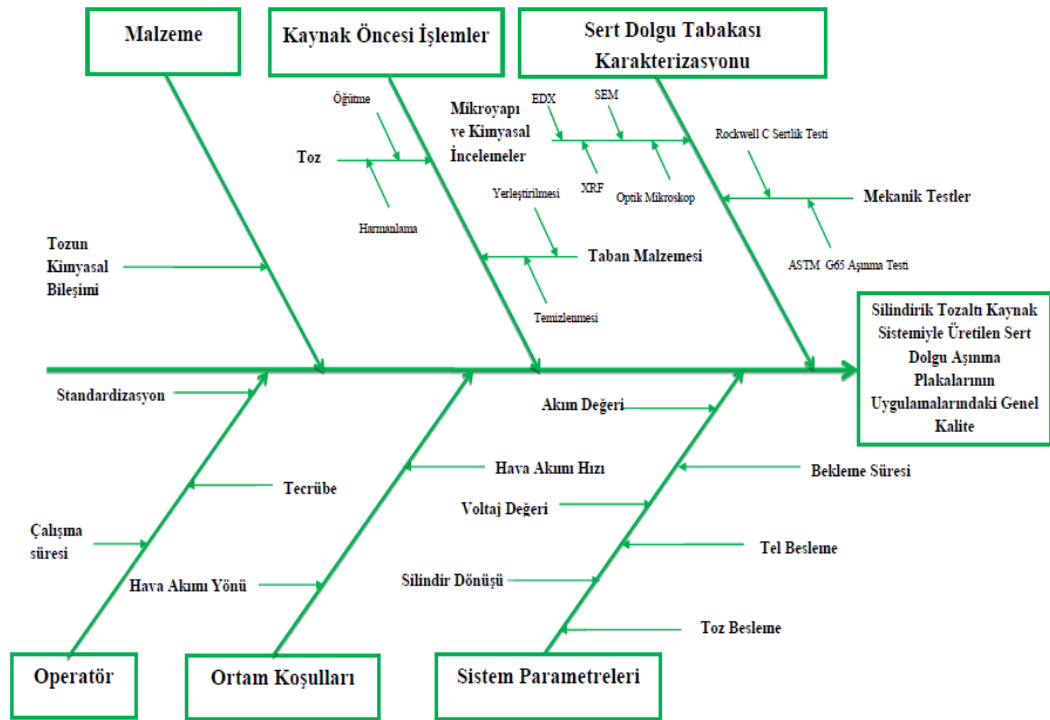
Bölümde, sert dolgu kaynağının uygulamalarında kaynak kalitesini etkileyen parametreler ve bu parametrelerdeki değişimin sertdolgu kaynak metalurjisi ve sertdolgu kaynak bölgesinin mekanik özellikleri üzerine etkisi açıklanmaktadır. Deneysel çalışmaların ilk adımında Şekil 4.3'te belirtilen balık kılçığı hazırlanmıştır. Balık kılçığı yardımıyla, sert dolgu kaynak uygulamaları için kaynak kalitesini etkileyen faktörler belirlenmekte ve kaynak çalışmaları öncesi ortaya çıkabilecek muhtemel sorunların nedenleri araştırılmaktadır. Cihaz, operatör, malzeme, ortam koşulları, sistem-yöntem ve kaynak öncesi işlemler olarak altı ana başlık altında toplanılan faktörler yapılacak deneyisel çalışmalara ışık tutmakla beraber, kaynak kalitesinin geliştirilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Hedeflenen aşınma plakası ve kaliteli sert dolgu kaynağının elde edilebileceği en uygun yöntem seçilerek sert dolgu kaynağı uygulaması için özelleştirilmiş yeni bir balık kılçığı hazırlanarak, gerçekleştirilecek kaynak çalışmalarının kaynak kalitesinin yükseltilmesi hedeflenmektedir [28].



**Şekil 4.3 :** Sert dolgu kaynağının genel uygulamaları için hazırlanmış balık kılçığı

Sert dolgu kaynağı, ana taban metali ile biriktirilecek sert dolgu malzemesini yüksek biriktirme hızıyla güçlü şekilde bağlanması hedeflemektedir. Bu yüzden, sert dolgu kaynağının kalitesi için uygun tozaltı kaynağı yöntemi parametrelerinin seçimi çok önemlidir [34].

Şekil 4.3' te gösterilen balık kılçığı temel alınarak, sert dolgu kaynağı uygulamasında kaynak kalitesi arttırmak amacıyla yeni bir balık kılçığı hazırlanmıştır. Şekil 4.4'de gösterilen balık kılçığı doğrultusunda nihai kaynak uygulaması öncesinde kaynak kalitesini etkileyen tüm faktörler ortaya konmaktadır.



**Şekil 4.4 :** Deneysel çalışma planına özel sert dolgu kaynağı uygulaması için hazırlanmış balık kılçığı

Silindirik melez kaynak yöntemi ile sert dolgu kaynak kalitesi için balık kılçığı oluşturulup parametreler seçilirken;

- Sert dolgu kaynağının uygulama özelliklerinin öngörülen ürüne uygun olması,
- Kaynak kusurlarını kabul edilebilir seviyede tutup sert dolgu kaynak kalitesini standart hale getirmek,
- Kaynak sırasında tozun uygun beslenmesi, fazla kısmın rejenere edilecek şekilde biriktirilmesiyle verimli ve etkin bir üretimin gerçekleştirilmesi,
- Aşınma plakası ürünün, sert dolgu kaynağı kalitesine bağlı olarak optimum maliyet-kalite dengesinin sağlanabilmesi amaçlanmıştır.

Hazırlanan ikinci balık kılçığında ilk balık kılçığında yer alan tel cinsi, sistem, kaynak yönü, ön ısıtma ve taban malzemesi gibi faktörler yer almamaktadır. Bu faktörler seçilen en uygun sisteme göre olacak şekilde belirlenmiştir. Kaynak parametreleri ikinci balık kılçığı doğrultusunda kaynak kalitesini belirleyen temel faktörlerden biri olarak görülmektedir. Kaynak parametrelerinin doğru seçilmesiyle beraber kaynak uygulamasını standartlaşmış bir şekilde gerçekleştirilmesi kaynak

kalitesi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Toz altı kaynağı gibi otomasyona sahip bir sistem bu gereksinimi sağlamaktadır.

Ortam koşulları, kaynak uygulamasının gerçekleşeceği alanın bölgesel özelliklerini belirtmektedir. Özellikle hava akımı gibi sistemdeki tozun geçişini engelleyebilecek etmenler kaynak kalitesi üzerinde olumsuz etki bırakmaktadır. Kapalı alandaki hava akımı ya da havalandırması yetersiz alanlarda yapılan çalışmalarda ise kaynak kalitesiyle beraber iş güvenliği tehlikeye girmektedir [28].

Sert dolgu kaynak kalitesi üzerine önceki bölümlerde geniş anlamda bahsedilmektedir. Nihai kaynak uygulaması için özelleştirilmiş balık kılçığının en önemli bölümünü karakterizasyon kısmı oluşturmaktadır. Yapılan çalışmanın yeterliliğini belirlemek ve gelecek çalışmalara ışık tutmak adına sert dolgu tabakasının sertlik deneyi, abrasif aşınma deneyi, mikroyapı analizleri ile karakterize edilmesi gerekmektedir.

#### 4.2 S235JR Çelik Sac, Tel ve Toz Temini

Tez çalışması kapsamında, S235 JR alaşımsız çelik saclar, S2 masif tel ve toz harmanı kullanılmıştır. Sertdolgu kaynağı sonrası mekanik özellikleri karşılayabilmesi ve iyi kaynaklanabilirlik özelliği nedeniyle S235 JR alaşımsız çelik sac tercih edilmektedir. Temin edilen saclar üretilmesi planlanan aşınma plakalarına istinaden 6mm kalınlığında seçilmiştir. Toz harmanı; yüksek karbonlu ferrokrom, karbon, ferroalaşımlar ve flaks'tan oluşmaktadır.

**Çizelge 4.1:** S235 JR çeliği kimyasal bileşim [26].

| Alaşım Elementi | En Fazla Değer |
|-----------------|----------------|
| C               | 0,170 %        |
| Mn              | 1,400 %        |
| P               | 0,035 %        |
| S               | 0,035 %        |
| N               | 0,012 %        |

**Çizelge 4.2:** Toz kimyasal bileşimi

| Fe-Cr Toz | C  | Si | Cr  | Fe    |
|-----------|----|----|-----|-------|
|           | %8 | %1 | %64 | Kalan |

#### 4.3 Kaynak Düzeneginin Kurulması

Aşınma plakası üretiminde kullanılmak üzere temin edilen çelik sac lar merdaneli presten geçirilerek bükülmesi sağlanmıştır. Kaynak düzeneğinin merdanesine uygun hale gelen silindirik çelik sac, kaynak düzeneğinin merdanesine bir vinç yardımıyla geçirilmiştir. Merdane etrafında geçirilen sac ın birleştirilmesi işlemi %100 CO<sub>2</sub> gazı ve SG2 tel ile gaz altı kaynak yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Kurulumun diğer bir aşaması için, toz malzemeler öğütüldükten sonra 15 dakika boyunca karıştırılmak üzere harmanlama tankına alınmıştır. Harmanlama işleminden sonra kaynak düzeneğinin şut bölümüne konulmuştur. S2 masif tel düzeneğe eklenmiştir. Güç kaynağının sisteme bağlanmasıyla beraber sistem uygulamaya hazır hale getirilmiştir.

**Çizelge 4.3:** Deneysel Çalışmada Kullanılan Kaynak Parametreleri

| Numune | Tel Adı | Tel Cinsi | Akım (A) | Voltaj (V) | Tel Çapı (mm) | Tel Sürme Hızı (m/dk) | Torç Mesafesi (mm) | Osilasyon (rpm) | Tambur Hızı (tur/dk) | Tambur Dönüş Yönü |
|--------|---------|-----------|----------|------------|---------------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| 1      | S2      | Masif Tel | 400-450  | 30-35      | 2,4           | 2,5-3,5               | 40                 | 66              | 0,0625 - 0,0667      | Saat Yönü         |
| 2      | S2      | Masif Tel | 400-450  | 30-35      | 2,4           | 2,5-3,5               | 40                 | 66              | 0,0625 - 0,0667      | Saat Yönü         |
| 3      | S2      | Masif Tel | 400-450  | 30-35      | 2,4           | 2,5-3,5               | 40                 | 66              | 0,0625 - 0,0667      | Saat Yönü         |
| 4      | S2      | Masif Tel | 400-450  | 30-35      | 2,4           | 2,5-3,5               | 40                 | 66              | 0,0625 - 0,0667      | Saat Yönü         |
| T1     | S2      | Masif Tel | 400-450  | 30-35      | 2,4           | 2,5-3,5               | 40                 | 66              | 0,0625 - 0,0667      | Saat Yönü         |
| T2     | S2      | Masif Tel | 400-450  | 30-35      | 2,4           | 2,5-3,5               | 40                 | 66              | 0,0625 - 0,0667      | Saat Yönü         |
| T3     | S2      | Masif Tel | 400-450  | 30-35      | 2,4           | 2,5-3,5               | 40                 | 66              | 0,0625 - 0,0667      | Saat Yönü         |
| T4     | S2      | Masif Tel | 400-450  | 30-35      | 2,4           | 2,5-3,5               | 40                 | 66              | 0,0625 - 0,0667      | Saat Yönü         |
| T5     | S2      | Masif Tel | 400-450  | 30-35      | 2,4           | 2,5-3,5               | 40                 | 66              | 0,0625 - 0,0667      | Saat Yönü         |

#### 4.4 Sert Dolgu Kaynağının Yapılması

Hali hazırda üretilen aşınma plakalarının özelliklerin geliştirilmesi ve daha üstün özelliklere sahip bir aşınma plakası geliştirmek için, mevcut kullanılan aşınma plakaları kullanılmak üzere bir deney planı oluşturulmuş ve alaşım elementlerinin mekanik özellikler (aşınma dayanımı ve sertlik) ve mikro yapı üzerindeki etkilerinin saptanması amaçlanmıştır. Şekil 4.5’de kaynak işlemi sırasında S235 JR alaşımsız çelik sac, sertdolgu kaplaması ve kaynak düzeneği gösterilmektedir.



**Şekil 4.5 :** Tambur üzerinde (silindirik) sert dolgu kaynak düzeneğinin çalışma anı ve çalışma öncesi görüntüsü

Deneyisel çalışma kapsamında kullanılan tel elektrotun kimyasal bileşimi Çizelge 4.4’te verilmiştir. Çizelge 4.5’te deneyisel çalışma kapsamında kullanılacak telin mekanik özellikleri belirtilmektedir.

**Çizelge 4.4:** Deneyisel çalışma kapsamında kullanılan tel elektrotun kimyasal bileşim değerleri

|                                    | C    | Si   | Mn   | S     | Cu    |
|------------------------------------|------|------|------|-------|-------|
| <b>ASKAYNAK S2<br/>(Masif Tel)</b> | 0,10 | 0,07 | 0,90 | 0,025 | 0,030 |

**Çizelge 4.5:** Deneyisel çalışma kapsamında kullanılacak telin mekanik özellikleri

|                    | Test Sıcaklığı<br>°C | Akma Dayanımı<br>N/mm <sup>2</sup> | Çekme Dayanımı<br>N/mm <sup>2</sup> | Yüzde Uzama<br>% | Çentik Darbe Dayanımı (Joule) |                       |
|--------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------|
|                    |                      |                                    |                                     |                  | °C                            | Çentik Darbe Dayanımı |
| <b>ASKAYNAK S2</b> | +20                  | 370 – 440                          | 450 - 530                           | 25 - 30          | -20                           | 50                    |



**Şekil 4.6 :** Sert dolgu kaynağı sırasında toz ve telin beslenme anının görüntüsü

Çizelge 4.3'deki parametrelerde gerçekleştirilen kaynak uygulamaları, sonucunda kaynak düzeneğinin merdanesi üzerinde sabit çelik sac üzerinde sertdolgu biriktirme tabakası oluşturulmuştur. Soğuması gerçekleşen aşınma plakası merdaneden çıkartılmış, sırasıyla hidrolik pres ve merdaneli presten geçirilerek düzleştirilmiştir. Yaklaşık  $1460\text{mm} \times 2950\text{mm} = 4.3\text{m}^2$  ebatlarındaki aşınma plakasının pres öncesi ve sonrası gösteren Şekil 4.7 aşağıdadır.



**Şekil 4.7 :** Aşınma plakasının düzleştirme işlemi anının, öncesinin ve sonrasın görüntüsü



**Şekil 4.8 :** Aşınma plakasının çeşitli görüntüleri.

#### **4.5 Kimyasal Bileşim Analizi Deneyleri**

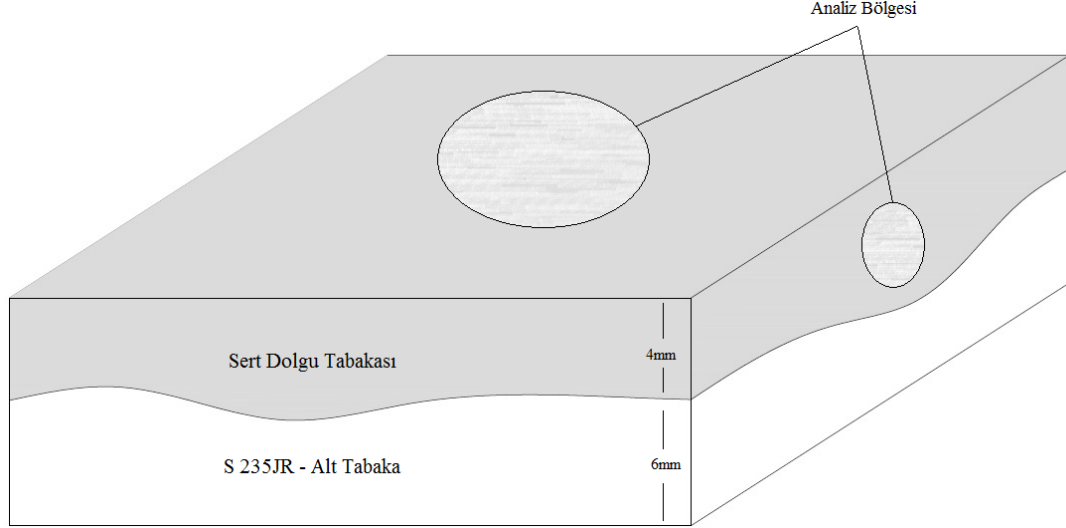
Kaynak kaplama işlemi sonrası aşınma plakalarının kimyasal bileşimini tespit etmek amacıyla aşınma plakalarının kimyasal analiz deneyleri ASKAYNAK laboratuvarında yer alan Rigaku RIX 2000 XRF cihazı ile sağlanmıştır. Numuneler 25-30mm x 25-30mm ebatlarında kesilerek ve kimyasal analiz öncesi gerekli yüzey hazırlama ön işlemleri yapılarak deneylere alınmıştır.



**Şekil 4.9 :** Çeşitli aşınma plakası numunelerinin görüntüleri

#### 4.6 Mikroyapı İncelemeleri

Deneysel çalışmada yer alan aşınma plakası numunelerinin mikroyapı incelemeleri Şekil 4.10’da gösterilen üst yüzey ve kesit yüzey bölgelerinden yapılmıştır.



**Şekil 4.10 :** Deneysel çalışmada kullanılan aşınma plakası numunelerinin ve numunelerin analiz bölgesinin gösterimi

##### 4.6.1 Optik mikroskop ile mikroyapı incelemeleri

Optik mikroskop mikroyapı analizleri ASKAYNAK laboratuvarında Nikon Eclipse MA100 model cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı analizlerinin yapılabilmesi için ön işlem olarak zımparalama (sırasıyla 320, 600, 800, 1200), parlatma ve %10’luk Nital çözeltisine daldırılmak suretiyle yaklaşık 3 dakika boyunca dağlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Dağlanan numuneler önce aseton ile yıkanarak sonrasında da saf alkolle yıkanarak optik mikroskop analizine alınmıştır. Mikroyapı görüntüleri 100x yakınlaştırmada resimlenmiştir.

##### 4.6.2 Taramalı elektron mikroskobu ile mikroyapı incelemeleri

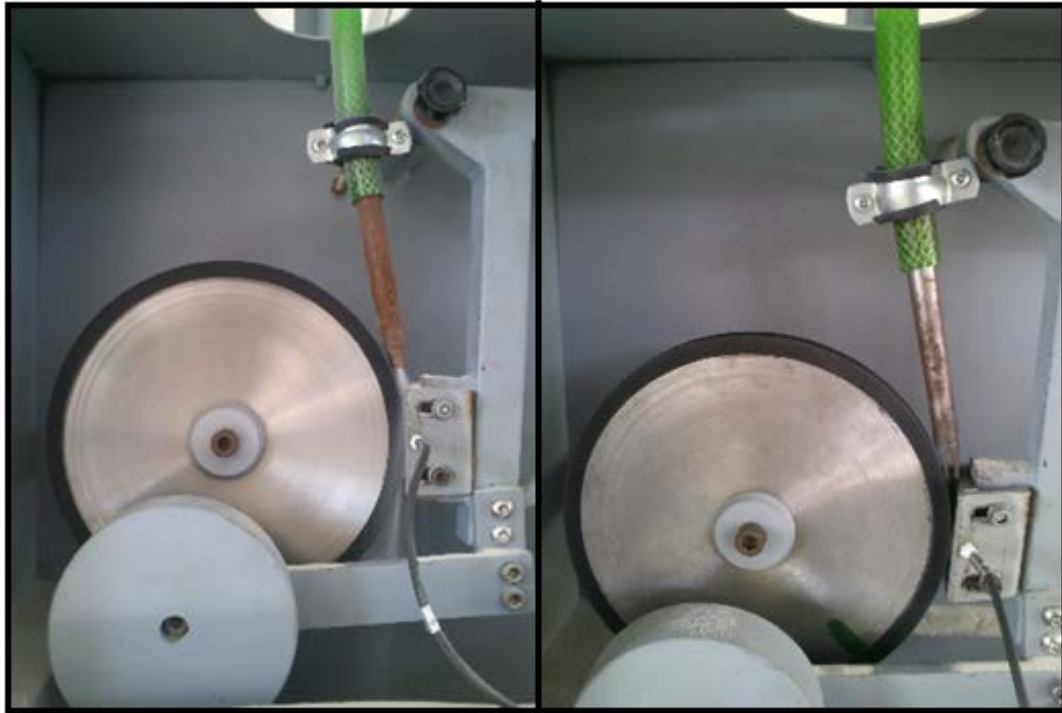
Bu deneylerin gerçekleştirilmesi SAU-TESLAB laboratuvarında yer alan sistem ile sağlanmıştır. Numunelerin TESCAN VEGA SBU II model taramalı elektron mikroskobunda üst yüzeyden backscatter electron prensibine göre 30 KV, kesitlerinden ise 20 KV değerinde resimleri alınmıştır ve EDX element analizleri yapılmıştır. Üst yüzey resimleri 500x, 1000x ve 10000x, kesit resimleri ise 250x ve 1000x yakınlaştırmada kaydedilmiştir. Aşınma testi öncesi ve sonrası alınan kaynak metali görüntüleri incelenerek, literatür ile karşılaştırılmıştır.

#### 4.7 Sertlik deneyleri

Malzemenin çizilmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Aynı zamanda malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak da tanımlanmaktadır. Sertlik deneyinde malzemenin yüzeyine batırılan keskin uca karşı gösterdiği direnç tespit edilir. Sertlik ölçümleri, İstanbul Teknik Üniversitesi mekanik metalurji ve ısıt işlemler laboratuvarında Zwick Roell ZHR model cihaz ile Rockwell C cinsinden gerçekleştirilmiştir.

#### 4.8 Aşınma dayanımı testi

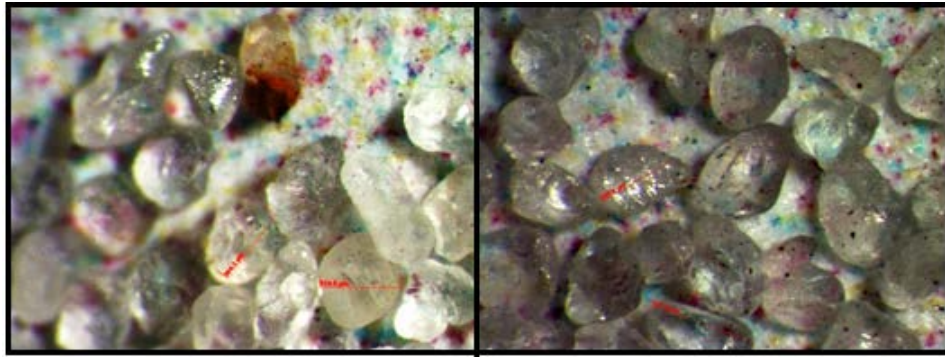
Aşınma performansları çalışmasında, 4 adet muhtelif aşınma plakaları numunelerinin ASTM G65 standardı Prosedür A'ya göre aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. S235JR ve HARDOX 450 malzemeleri referans alınarak kıyaslamaları yapılmıştır. Testler sırasında standartta belirtilen klorobütıl kaplı disk ve AFS 50/70 boyutlarında Ottawa silis kumu özel olarak temin edilerek testlerde kullanılmıştır. Bu deneyin gerçekleştirilmesi SAU-TESLAB laboratuvarında yer alan sistem ile sağlanmıştır.



**Şekil 4.11 :** ASTM G65 aşınma testi sisteminin çalışma anı ve öncesi görüntüsü

ASTM G65 Aşınma Testi Prosedür A şartlarına uygunluğun sağlanması amacı ile yeni ürettirdiğimiz Klorobütıl kaplı diskin ilk etapta çapı ölçülmüş ve 220 mm olduğu belirlenmiştir. Bu çapa göre diskin çevresi hesaplanarak yine standart

prosedürde belirtildiği üzere 30 dakika test şartlarının sağlanması için gerekli dönme hızı hesaplanmış ve ayarlanmıştır. Buna göre disk dakikada 203 tur olacak şekilde döndürülmüştür. Kaldıraç koluna asılan dengeleyici ağırlığın standartta belirtilen 130N'a karşılık gelen 5kg olması gerektiği hesaplanmış ve testler bu yük ile gerçekleştirilmiştir. İstenilen 300 g/dk kum akışı hesaplanmış ve testler sırasında 300 g/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. Kumun aşınma işlemi öncesi ve sonrası Stereo mikroskopta resimleri alınmıştır. Bahsedilen görüntüler Şekil 4.12'de verilmektedir. Numunelerin başlangıç ağırlıkları tartılmadan önce asetonla temizlenmiş ve 0,0001 hassasiyetinde ağırlıkları tartılmıştır.



Şekil 4.12 : Başlangıç kumunun ve bir defa kullanılmış kumun görüntüsü

## 4.9 Sonuçların Değerlendirilmesi

### 4.9.1 Kimyasal bileşim analizi sonuçları

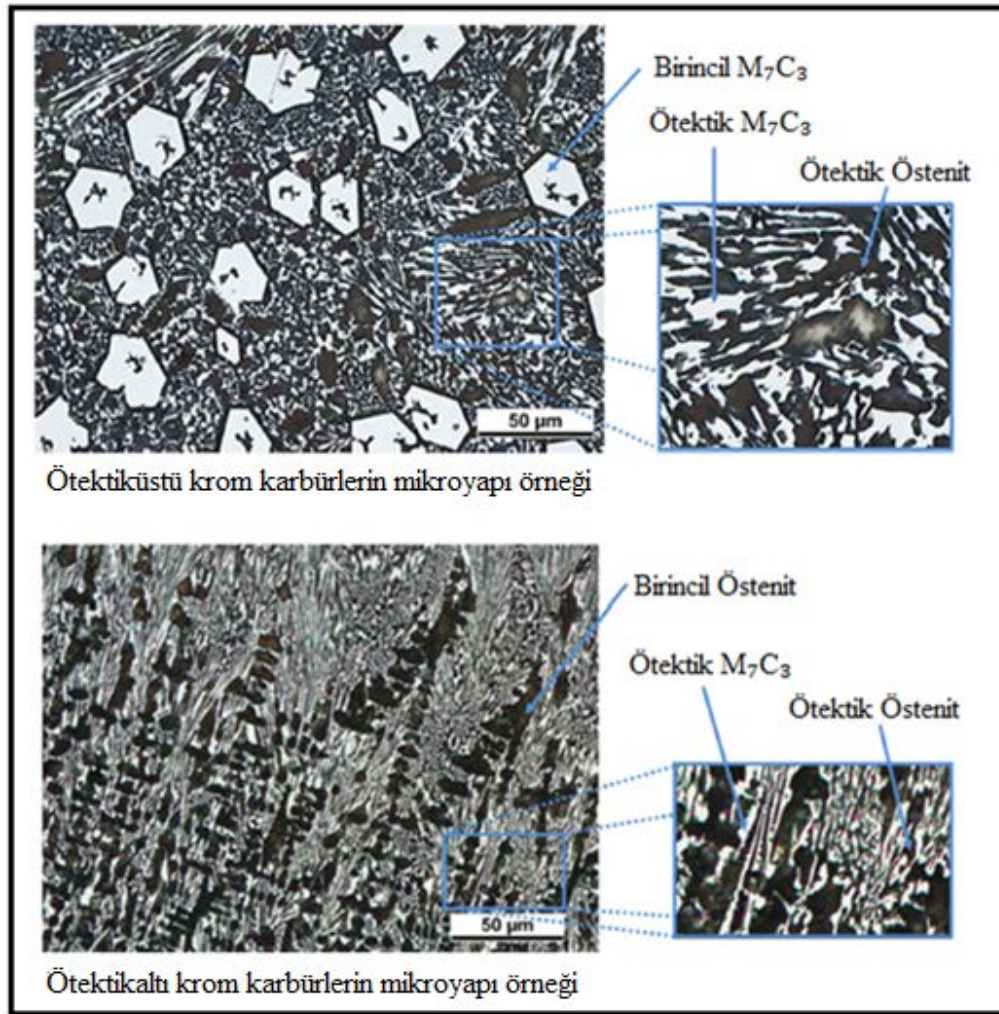
Çizelge 4.6: Aşınma plakası numunelerinin yüzde kimyasal bileşim değerleri

| Kod | C     | S     | Mn    | Si    | Fe     | Cr     | Ni    | Mo    | Cu    | Nb    | V     |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1   | 4,290 | 0,037 | 0,566 | 0,430 | 65,900 | 31,800 | 0,205 | 0,192 | 0,057 | 0,330 | 0,070 |
| 2   | 4,050 | 0,032 | 1,270 | 0,352 | 66,900 | 30,500 | 0,217 | 0,005 | 0,065 | -     | 0,065 |
| 3   | 3,110 | 0,028 | 0,674 | 0,552 | 71,400 | 26,600 | 0,187 | 0,004 | 0,062 | -     | 0,060 |
| 4   | 3,951 | 0,031 | 1,450 | 0,483 | 66,300 | 31,000 | 0,203 | 0,007 | 0,034 | -     | 0,070 |

Çizelge 4.6'da aşınma plakalarının yüzde kimyasal bileşim değerleri gösterilmektedir. Çizelge 2.1'deki BS EN 14700 standardı Fe 14 kategorisi kimyasal bileşim değerleriyle örtüşmektedir. Aşınma plakalarının Yüksek Mn içermesi istenen ürünlerde, kaynak havuzundan Mn geçişinin hedeflenen doğrultudaki gibi olduğu görülmektedir. Elde edilen değerler EDX sonuçları ile uyumludur.

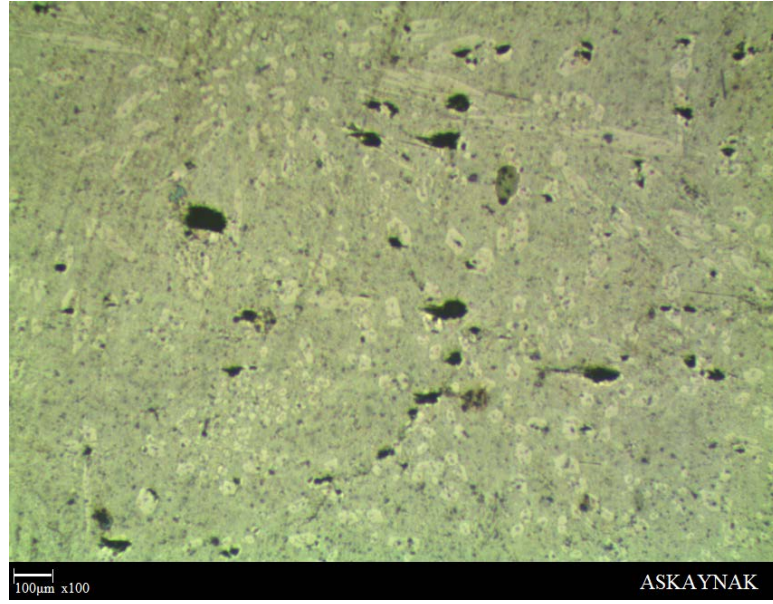
#### 4.9.2 Mikroyapı incelemeleri sonuçları

Hazırlanan aşınma plakalarının numunelerinden hem optik mikroskop hem de taramalı elektron mikroskobu ile olmak üzere üst yüzeyden 100x, 500x, 1000x, 10000x büyütme değerlerinde mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Kesit yüzeyden ise 250x ve 1000x büyütme değerlerinde mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Mikroyapı incelemesinde görüntülenen mikroyapıların temsili görüntüsü Şekil 4.13'te görülmektedir.



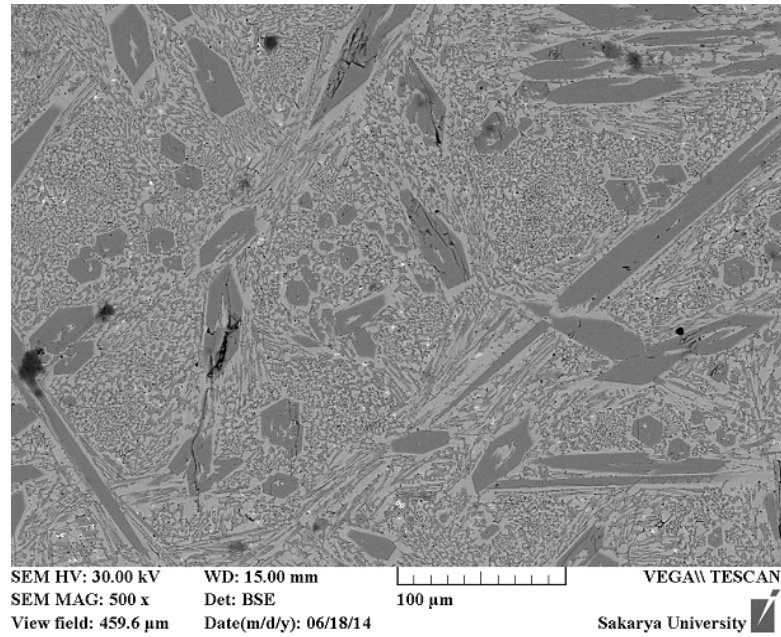
Şekil 4.13: Ötektiküstü ve ötektikaltı kromkarbür mikroyapıları [19].

### 1 kodlu numuneye ait incelemeler

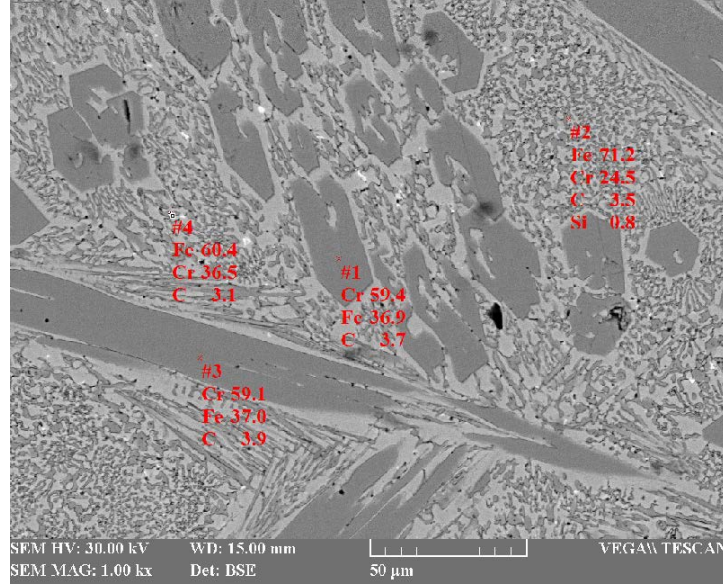


**Şekil 4.14:** 1 numaralı numunenin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm bölgelerde istenildiği gibi birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal krom karbür taneleri gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen ötektiküstü  $M_7C_3$  krom karbür yapısı oluşmuştur. Mikroyapı incelemeleri Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’te resimlenmiştir.

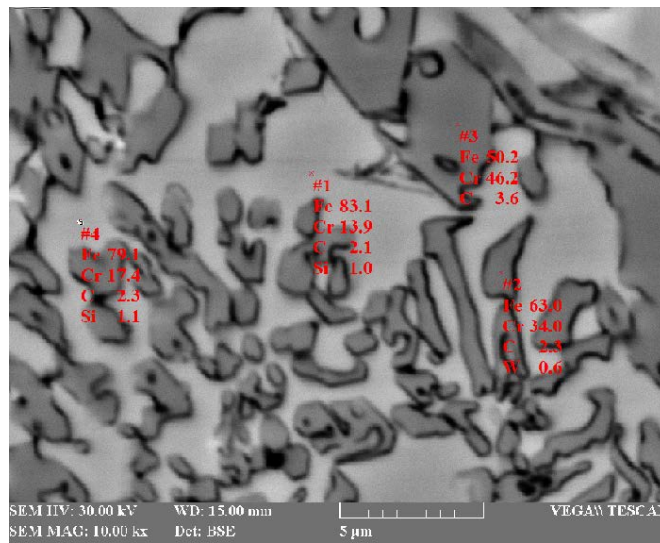


**Şekil 4.15 :** 1 numaralı numunenin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

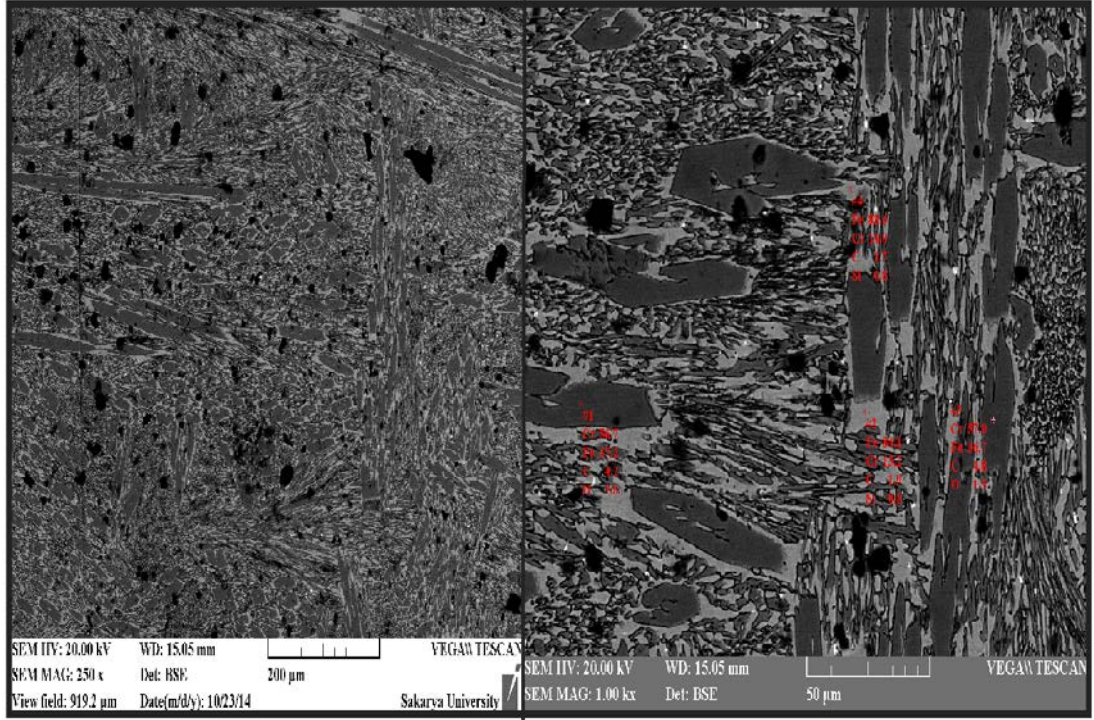


**Şekil 4.16 :** 1 numaralı numunenin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

1 numaralı numunenin EDX sonuçları Şekil 4.16’da görülmektedir. Hegzagonal birincil krom karbür fazda beklenildiği gibi en yüksek bileşimler sırasıyla Cr, Fe ve C olmuştur. Birincil krom karbürleri çevreleyen ötektik faz ise Şekil 4.17’de olduğu gibi Fe, Cr ve C sırasıyla bulunmaktadır. Krom karbür yapılarının karbon oranının daha çok olduğu da dikkate alınarak ötektik fazdan krom karbür faza bir karbon segregasyonu olduğundan söz edilebilir. Kesit yüzeyinin 250x ve 1000x yakınlaştırma olarak detaylı incelenmesi mikroyapısı ve EDX analizi olarak Şekil 4.18’de resimlenmiştir.



**Şekil 4.17 :** 1 numaralı numunenin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

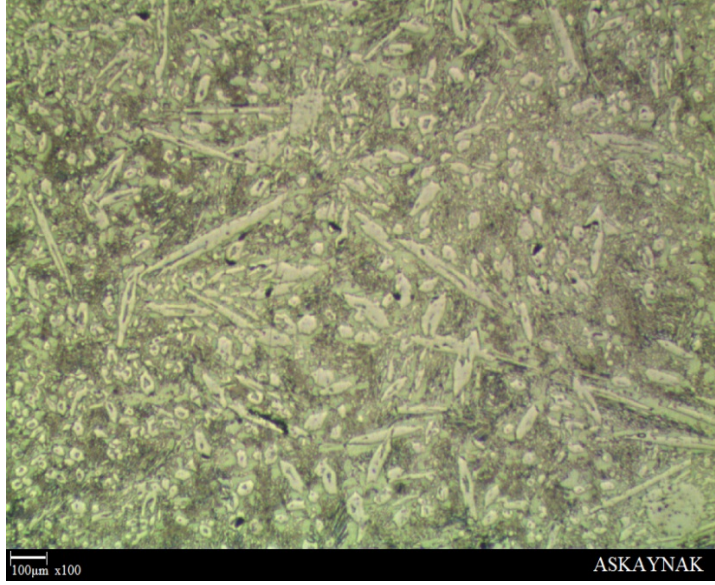


**Şekil 4.18 :** 1 numaralı numunenin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobun kesit görüntüsü ve EDX analizi

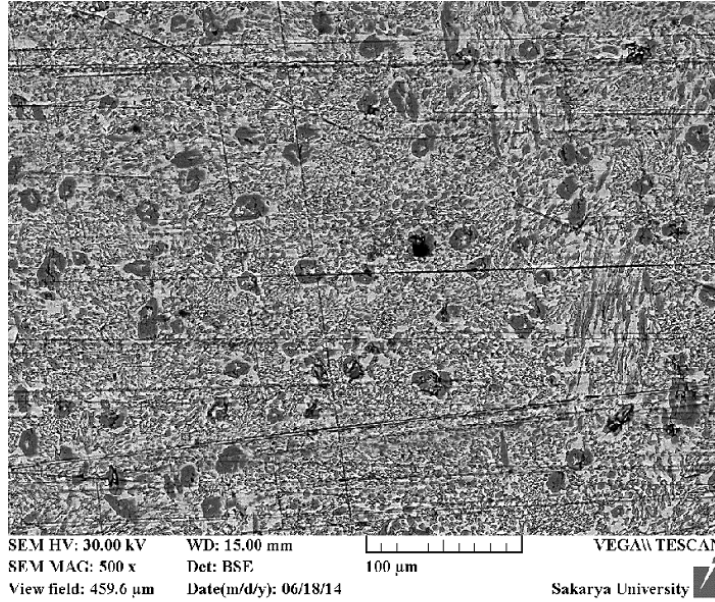
Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm bölgelerde istenildiği gibi birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal krom karbür taneleri gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen ötektiküstü  $M_7C_3$  krom karbür yapısı oluşmuştur. Krom karbürlerin karbon içerikleri kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe artmaktadır.

#### ▪ 2 kodlu numuneye ait incelemeler

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde bu numunede de tüm bölgelerde istenildiği gibi birincil krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal birincil krom karbür taneleri gözlenmektedir. . Mikroyapı incelemeleri Şekil 4.19’da 100x yakınlaştırmada ve Şekil 4.20’de ise 500x yakınlaştırmada resimlenmiştir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen ötektiküsü yapı dolayısıyla birincil krom karbür yapısı görülmektedir.

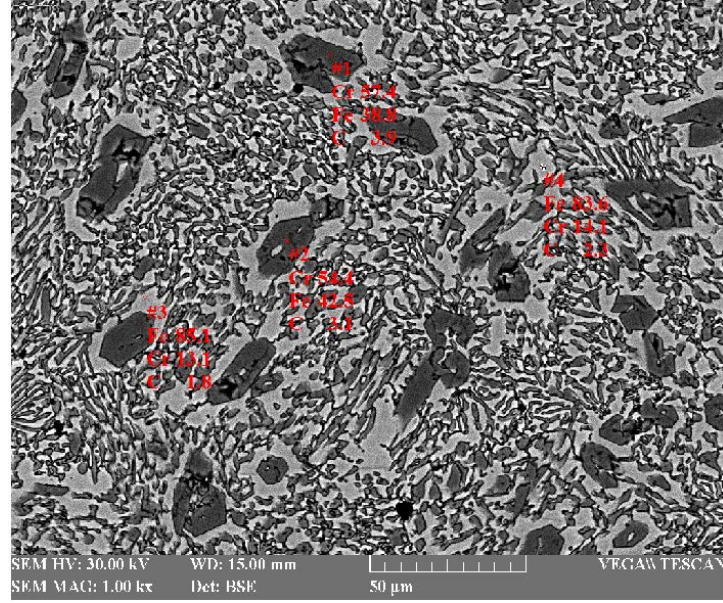


**Şekil 4.19 :** 2 numaralı numunenin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü



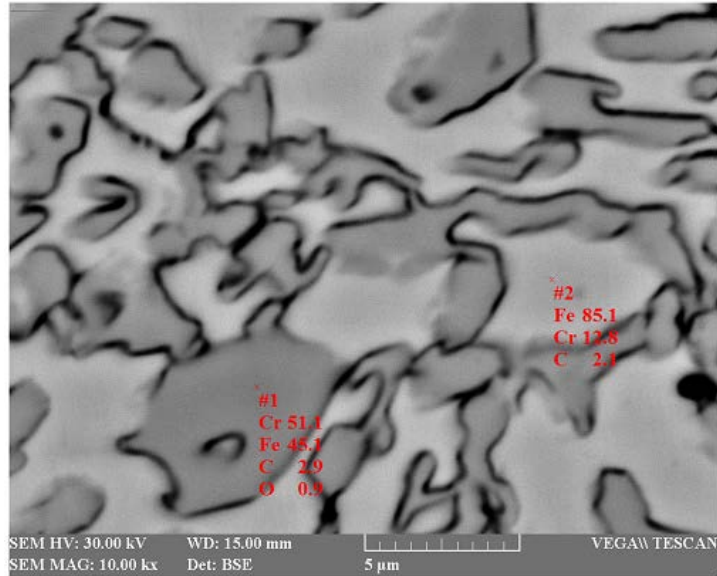
**Şekil 4.20 :** 2 numaralı numunenin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

2 numaralı numunenin EDX sonuçları Şekil 4.21’de görülmektedir. Birincil krom karbür fazda beklenildiği gibi en yüksek bileşimler sırasıyla Cr, Fe ve C olmuştur. Birincil krom karbürleri çevreleyen ötektik fazda ise Fe, Cr ve C sırasıyla bulunmaktadır.

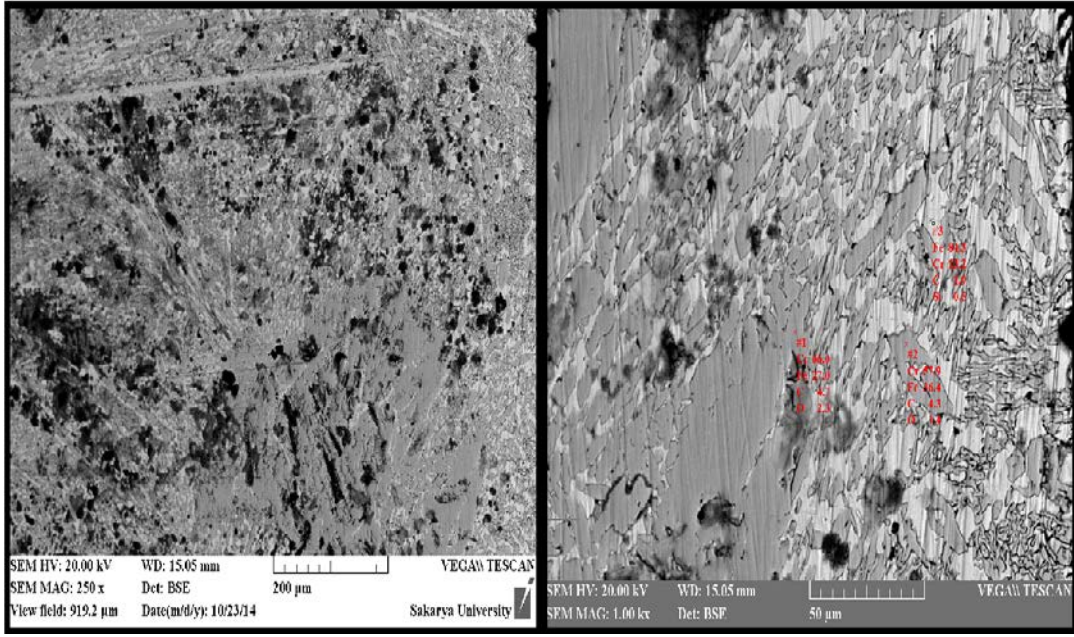


**Şekil 4.21 :** 2 numaralı numunenin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Ötektik fazın detaylı incelenmesi mikroyapı ve EDX analizi olarak Şekil 4.21’de resimlenmiştir. Ötektik faz; karbür ve östenitten oluşmaktadır. Ötektik faz içerisinde bulunan karbürlerde ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde Cr yer almaktadır. Östenit fazının ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde de hakim element olan Fe ilk sırada yer almaktadır.



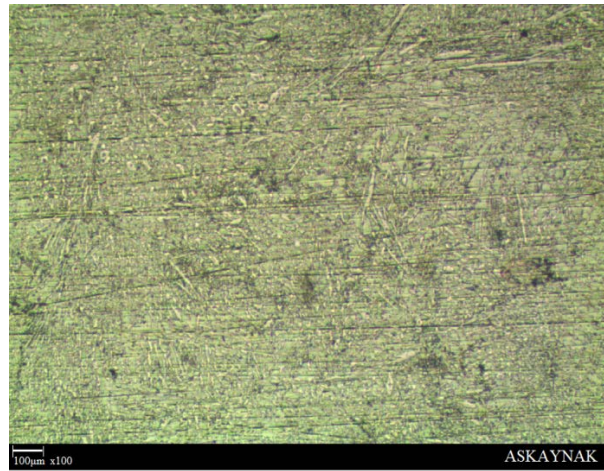
**Şekil 4.22 :** 2 numaralı numunenin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi



**Şekil 4.23 :** 2 numaralı numunenin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit görüntüsü ve EDX analizi

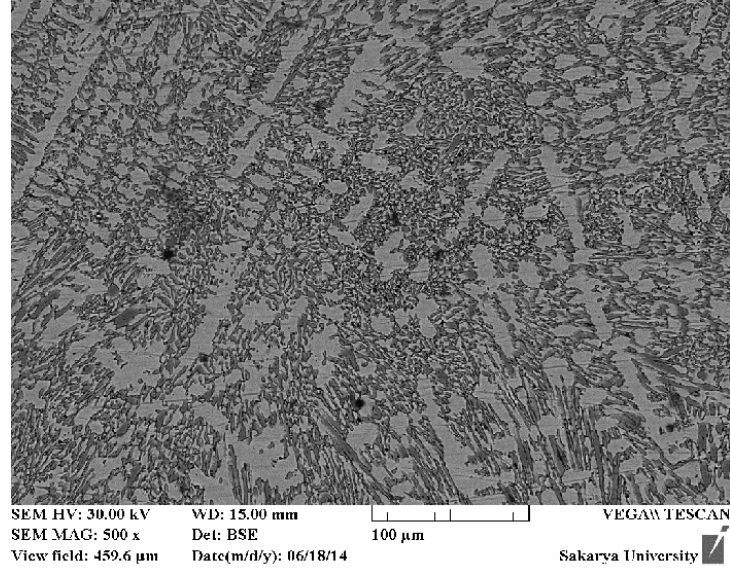
Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm bölgelerde istenildiği gibi birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal krom karbür taneleri gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen ötektik üstü  $M_7C_3$  krom karbür yapısı oluşmuştur. Kesit EDX analizi sonuçları incelendiğinde ise beklenildiği gibi birincil krom karbürlerin karbon içerikleri kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir.

#### ▪ 3 kodlu numuneye ait incelemeler

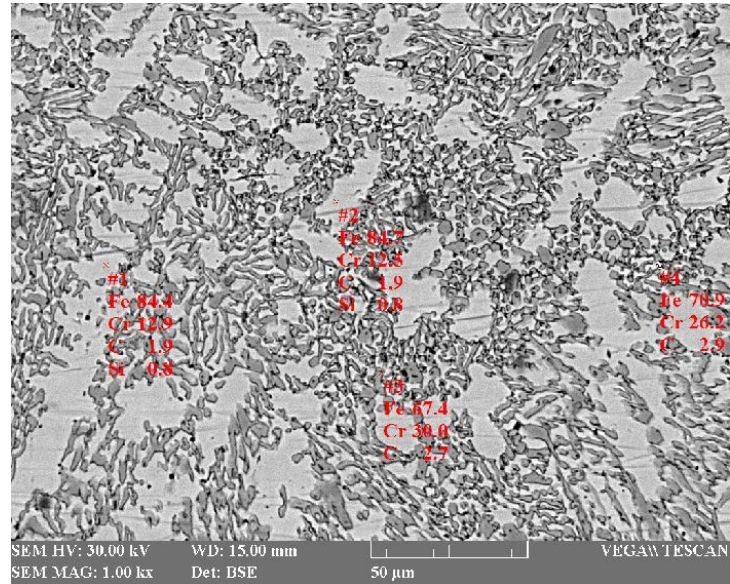


**Şekil 4.24 :** 3 numaralı numunenin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü

Mikroyapı incelemelerinde, ötektiküstü hegzagonal birincil krom karbür tanelerini içeren yapı yerine hedeflenen mekanik özellikleri karşılayamayacağı için istenmeyen ötektikyanı - ötektikaltı yapı sonucunda birincil östenit ağırlıklı yapı içersinde karbür yapıları gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olmaması sebebiyle hedeflenen ötektiküstü birincil krom karbür yapısı görülmemektedir.

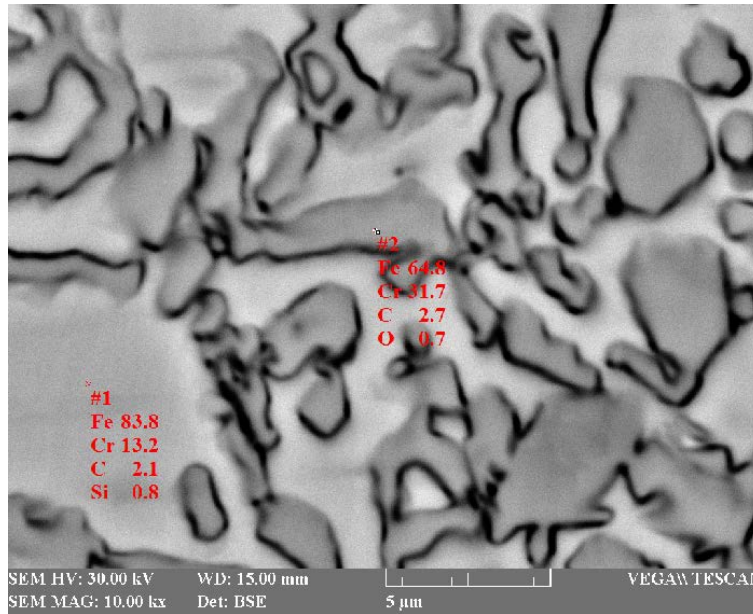


Şekil 4.25 : 3 numaralı numunenin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü



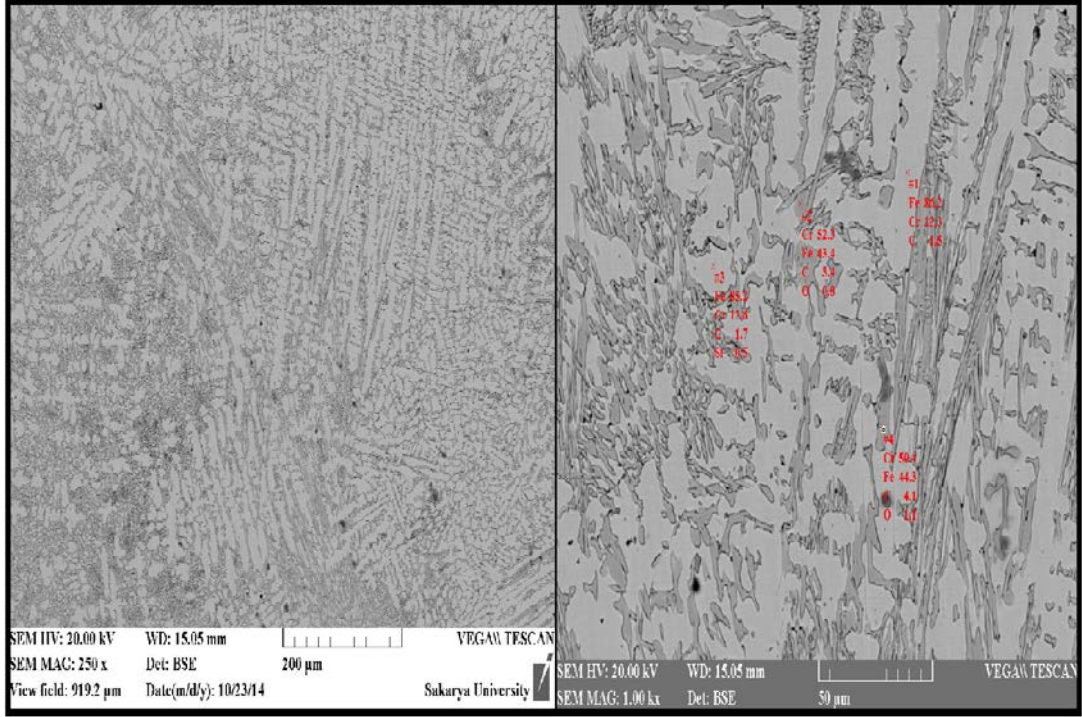
Şekil 4.26 : 3 numaralı numunenin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

3 numaralı numunenin EDX sonuçları Şekil 4.26'da görülmektedir. Krom karbür fazda arzu edilenin aksine en yüksek bileşimler sırasıyla Fe, Cr ve C olmuştur. Karbon miktarı yetersiliği sebebiyle önceki numunelerde mevcut olan ötektiküstü yapı bu numunede oluşamamıştır. Dolayısıyla karbürlerdeki Fe oranının bu kadar fazla ve karbür fazdaki C miktarının az olması ötektiküstü birincil  $M_7C_3$  hegzagonal karbür yapısı yerine ötektikaltı oluşumdan gelen karbürlerin yoğun ve geniş birincil östentik fazın içerisinde dağılarak oluşmasından kaynaklı olduğunu Lin ve arkadaşları da dalgaboyu dağılım spektrometre analizini içeren çalışmalarıyla da belirtmişlerdir. Şekil 4.37'deki faz diyagramında da görülebilen ötektikaltı birincil östenitik fazdaki karbon oranı, ötektiküstü birincil  $M_7C_3$  yapıdakine göre daha az olmaktadır. [35] Yeterli krom ve karbona ulaşamamış bu karbür yapısını çevreleyen östenitik fazda ise Fe, Cr ve C sırasıyla bulunmaktadır. Katılma sırasında birincil krom karbür yapıda ilk çöken hegzagonal krom karbürlerin aksine bu yapıda ilk önce birincil östenik faz oluşmaktadır. Dolayısıyla birincil östenit, ötektik karbürler ve ötektik östenit fazları hakimdir. Geniş birincil östenit dendritleri arasındaki karbürülü yapı istenen birincil karbürülü yapının gözlemlenememesine ek olarak dayanımı düşük olan östenit fazlarının yapı da daha çok gözlenmesine neden olmaktadır.



**Şekil 4.27 :** 3 numaralı numunenin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

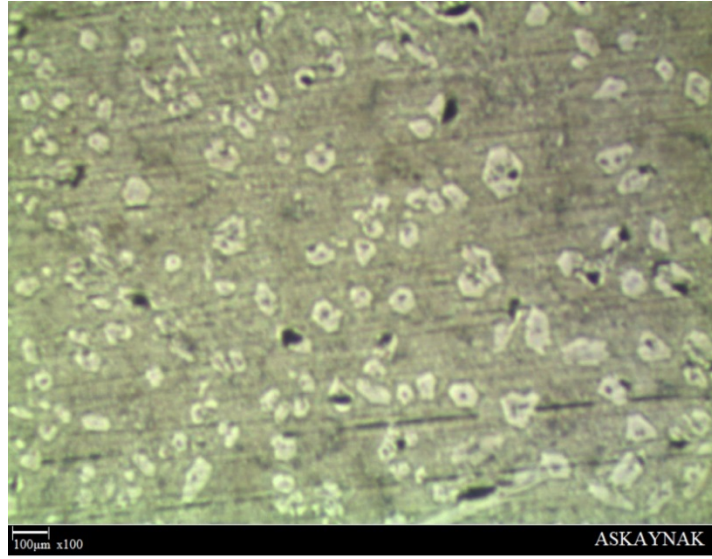
Ötektik fazın detaylı incelenmesi mikroyapı ve EDX analizi olarak Şekil 4.27’de resimlenmiştir. Ötektik faz karbürler ve östenitten oluşmakta olup ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde de hakim element olan Fe ilk sırada yer almaktadır.



**Şekil 4.28 :** 3 numaralı numunenin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi

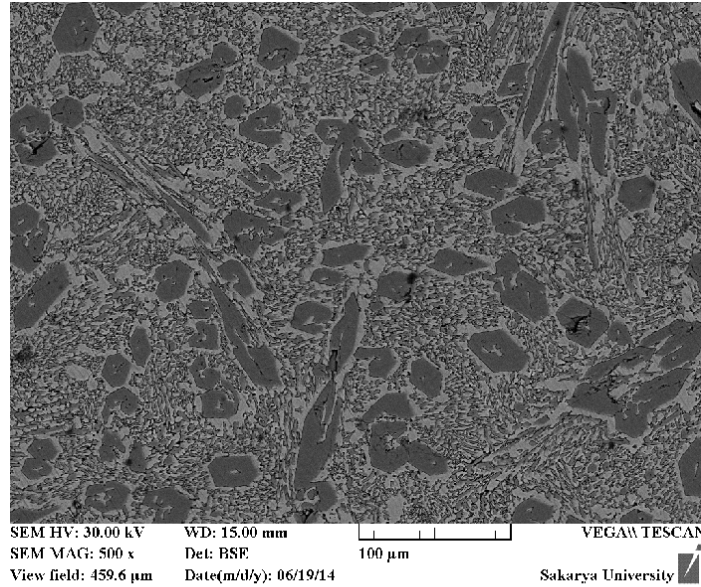
3 numaralı numunenin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi Şekil 4.28’te görülmektedir. Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde bu numunedeki bölgelerde istenildiği gibi ötektiküstü  $M_7C_3$  birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmamıştır. Mikroyapı incelemelerinde, ötektiküstü fazın yapısı olan hegzagonal birincil krom karbür taneleri yerine, ötektikaltı fazın birincil östenitik dendritik yapı ve arasında karbür yapıları gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olmaması sebebiyle hedeflenen ötektiküstü birincil krom karbür yapısı görülememektedir. Kesit EDX analizi sonuçları incelendiğinde ise beklenildiği karbürlerin karbon içerikleri kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir.

▪ 4 kodlu numuneye ait incelemeler



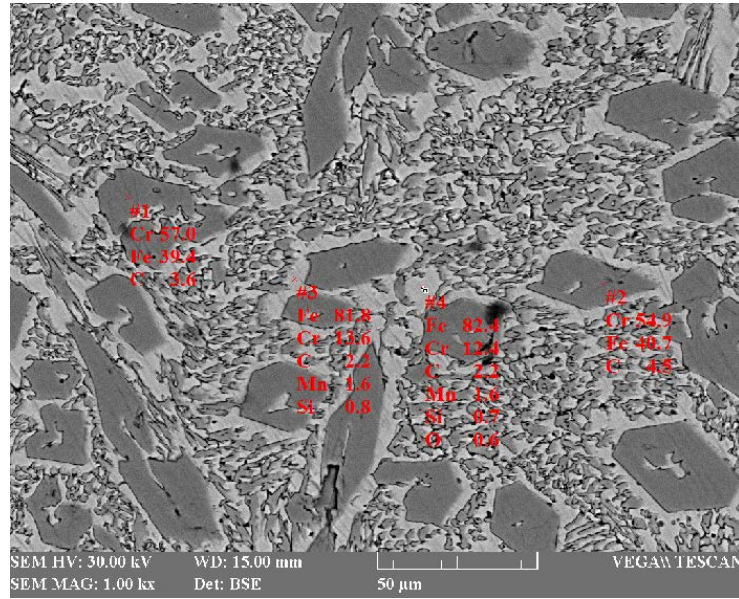
**Şekil 4.29 :** 4 numaralı numunenin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü

4 kodlu numuneye ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde bu numenede istenilen ötektiküstü  $M_7C_3$  birincil krom karbür yapısına rastlandığı görülmektedir. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal birincil krom karbür taneleri rahatlıkla gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen ötektiküstü krom karbür yapısı görülmektedir.

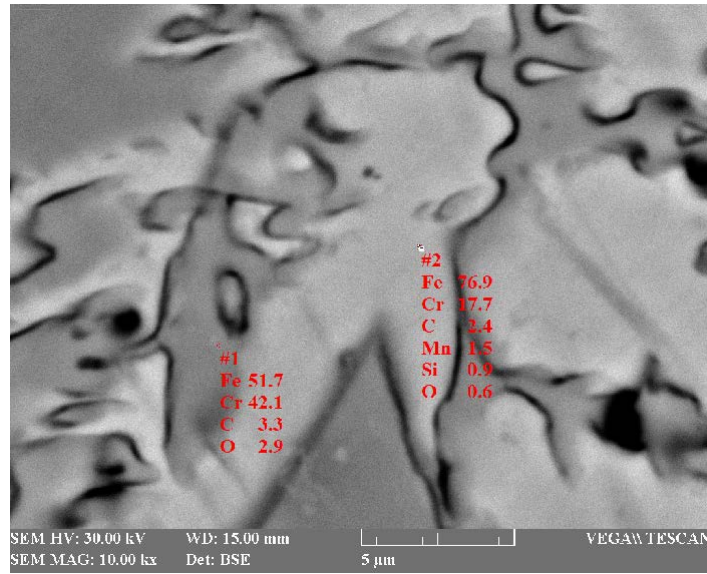


**Şekil 4.30 :** 4 numaralı numunenin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

Bu numunenin EDX sonuçları Şekil 4.31’da görülmektedir. Birincil krom karbür fazda beklenildiği gibi en yüksek bileşimler sırasıyla Cr, Fe ve C olmuştur. Hegzagonal krom karbürleri çevreleyen ötektik fazda ise Fe, Cr ve C sırasıyla bulunmaktadır. EDX sonucunda elde edilen değerler kimyasal bileşim analizi değerleriyle uyumludur. EDX sonucunda normalden farklı olarak oksijen bileşimine de rastlanılmıştır. Oksijen yükselmenin nedeninin yüzeyin uğramış olabileceği hafif korozyon veya hava olarak düşünülmektedir.



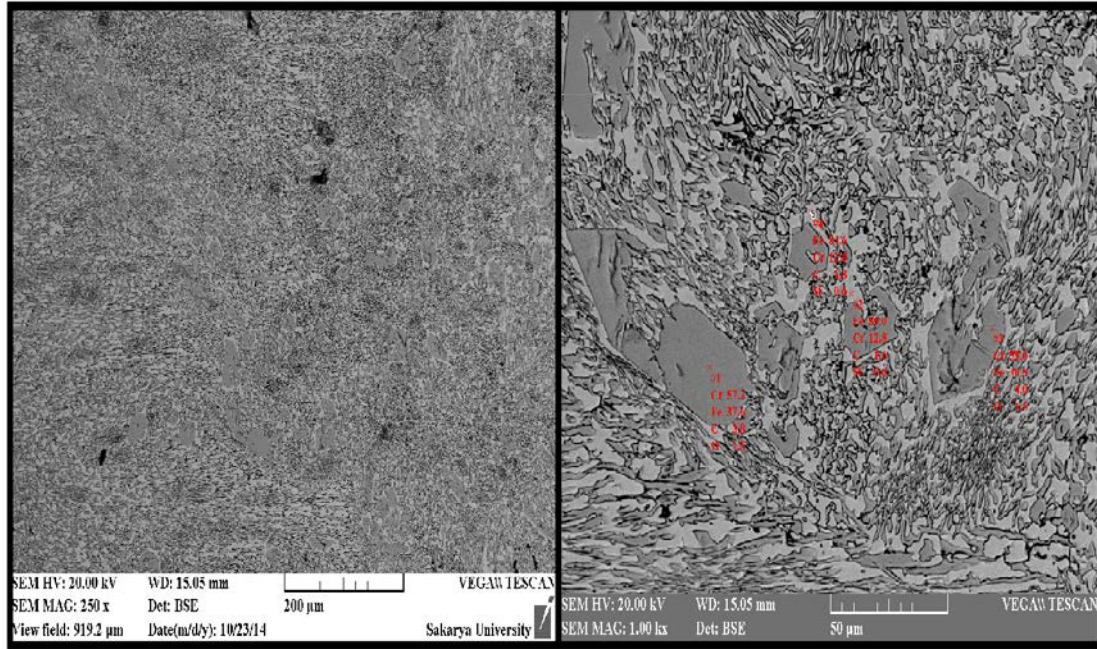
**Şekil 4.31 :** 4 numaralı numunenin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi



**Şekil 4.32 :** 4 numaralı numunenin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Ötektik fazın detaylı incelenmesi mikroyapı ve EDX analizi olarak Şekil 4.32’de resimlenmiştir. Ötektik faz karbür ve östenitten oluşmakta olup ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde de hakim element olan Fe ilk sırada yer almaktadır.

Gözlemlenen mikroyapıların biri hariç hepsinde ötektiküstü faz dolayısıyla hegzagonal  $M_7C_3$  birincil krom karbür yapı hakimdir. Mikroyapı incelemelerinde ötektikaltı krom karbür yapısı “3” nolu ürünün mikroyapısında tespit edilmiştir. Öngörülen özellikleri sağlayabilmek için bu mikroyapının kaynak metalinde oluşması istenmemektedir. Bu yüzden mikroyapısal açıdan ürünün kimyasal bileşiminden yola çıkarak ötektiküstü  $M_7C_3$  krom karbür mikroyapının gelişimine ihtiyaç duyulmaktadır.



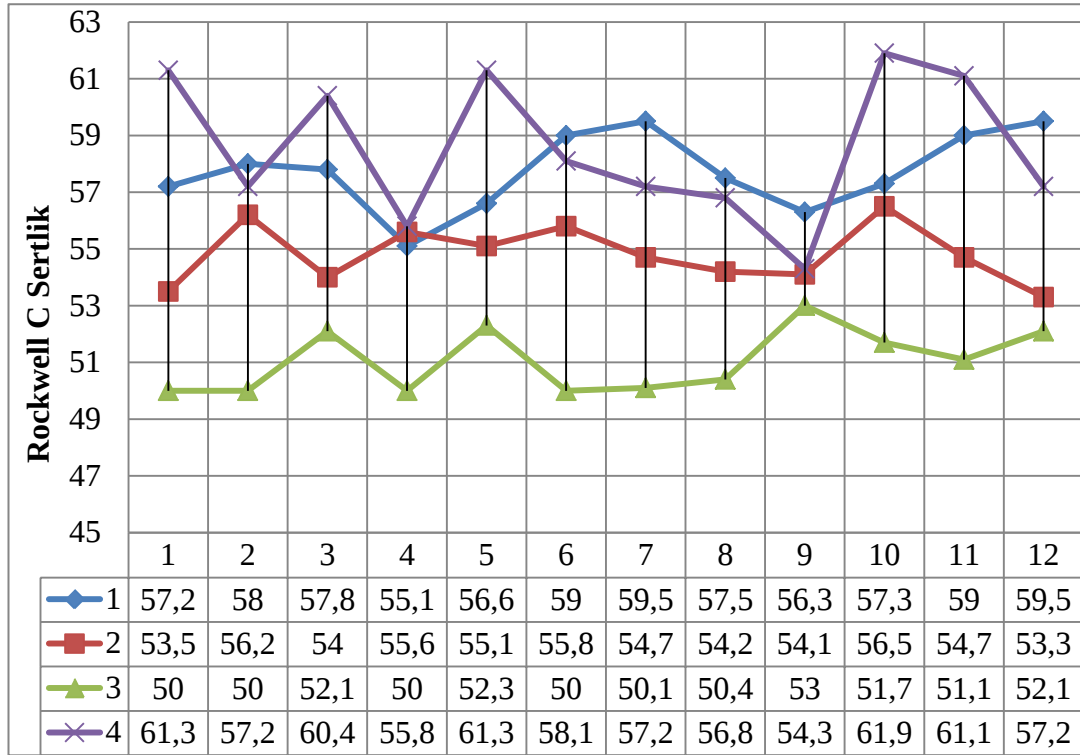
**Şekil 4.33 :** 4 numaralı numunenin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm bölgelerde istenildiği gibi ötektiküstü birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal krom karbür taneleri gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen  $M_7C_3$  krom karbür yapısı oluşmuştur. Kesit EDX analizi sonuçları incelendiğinde ise beklenildiği gibi birincil krom karbürlerin karbon içerikleri kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir.

#### 4.9.3 Sertlik ölçümü sonuçları

Rockwell C sertlik deneyi sonuçlarından yararlanılarak hazırlanan sertlik grafiği Çizelge 4.7 'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.7:** Aşınma plakası numunelerinin sertlik testi ölçümleri



Sertlik grafiği incelendiği takdirde belirgin olarak düşük sertlik değerinin 3 numaralı numunede elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, kimyasal bileşim analizi deneyindeki sonuçlarını da desteklemektedir.

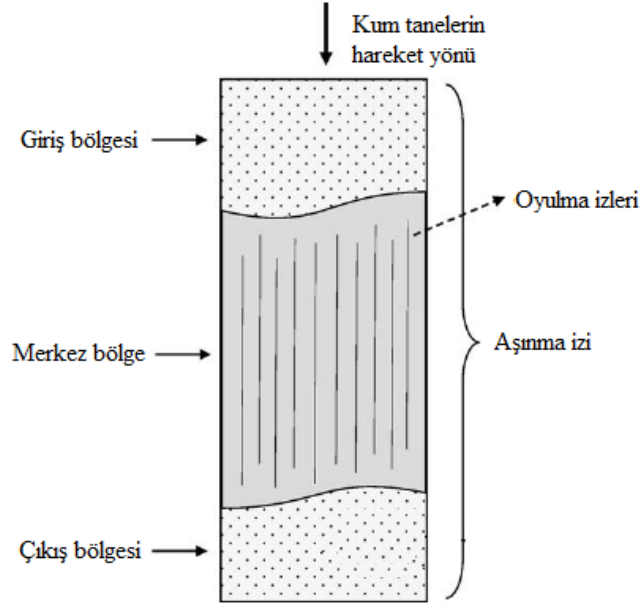
Aşınma plakalarının kaynak kaplı bölgelerinden alınan sertlik değerleri yardımıyla, kaynak bölgelerinin ortalama sertlik değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.8’de bu değerler belirtilmektedir

**Çizelge 4.8:** Aşınma plakası numunelerinin ortalama sertlik değerleri

| Numune Kodu | Sertlik Ortalama |
|-------------|------------------|
| 1           | 57,7             |
| 2           | 54,8             |
| 3           | 51,1             |
| 4           | 58,55            |

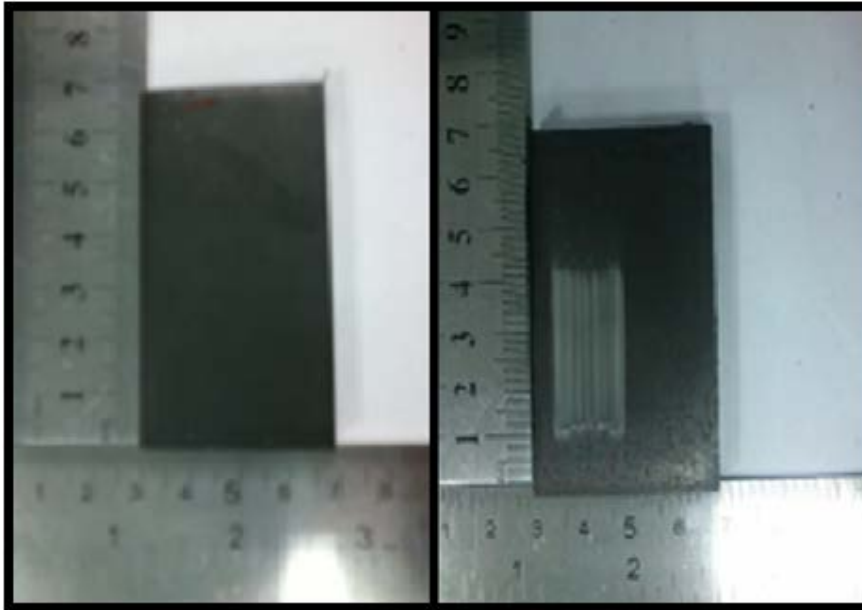
#### 4.9.4 Aşınma testi sonuçları

ASTM G65 aşınma testi sonrasında numuneler üzerinde ön görülen aşınma izlerinin temsili görüntüsü Şekil 4.34’te gösterilmiştir.



**Şekil 4.34 :** ASTM G65 testi sonrasındaki aşınma izinin temsili görüntüsü

1 Numaralı S 235JR numunesinin aşınma öncesi ve sonrası görüntüleri şekil 4.35’te verilmektedir.



**Şekil 4.35 :** S235JR numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüleri

Aşınma testinde kullanılan numunelere ait ortalama ilk ağırlık ve son ağırlık değerleri, ağırlık kaybı değerleri ve % ağırlık kaybı değerleri Çizelge 4.9’da belirtilmektedir. Test öncesi ve sonrası numune ağırlıklı değerleri yardımıyla, % ağırlık kaybı değerleri hesaplanmıştır.

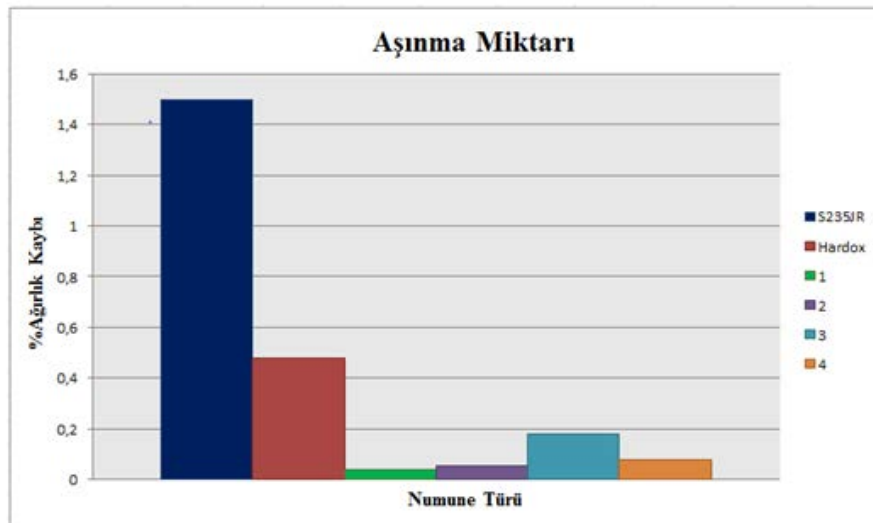
**Çizelge 4.9:** Aşınma dayanımı testi numunelerinin ilk ağırlık, son ağırlık, ağırlık kaybı ve % ağırlık kaybı değerleri

| Numune Kodu       | İlk Ağırlık (g) | Son Ağırlık (g) | Ağırlık Kaybı (g) | % Ağırlık Kaybı |
|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| <b>S 235JR</b>    | 84,8275         | 83,5386         | 1,2889            | 1,5             |
| <b>Hardox 450</b> | 157,5797        | 156,814         | 0,7657            | 0,48            |
| <b>1</b>          | 137,0766        | 137,0236        | 0,0531            | 0,0387          |
| <b>2</b>          | 144,0816        | 143,9806        | 0,101             | 0,0701          |
| <b>3</b>          | 74,7486         | 74,6124         | 0,1362            | 0,18            |
| <b>4</b>          | 105,6065        | 105,5271        | 0,0794            | 0,0752          |

Aşınma deneyi sonuçlarından yararlanılarak hazırlanan Çizelge 4.9’da % ağırlık kaybına dayanan aşınma miktarı grafiği Çizelge 4.10’da ‘da gösterilmektedir.

Aşınma plakasının 3 numaralı numune hariç genelinin, S235JR’den yaklaşık yirmide bir oranında % ağırlık kaybının olduğu, Hardox 450’ye göre ise yaklaşık 10 kata yakın daha az % ağırlık kaybının olduğu görülmektedir. Aşınma miktarı grafiği incelendiği takdirde aşınma plakaları arasındaki en fazla aşınma miktarı 3 numaralı numunede görülmektedir. Bu belirgin aşınma dayanımı farkı, kimyasal bileşim analizi ve sertlik deney sonuçlarını da desteklemektedir.

**Çizelge 4.10:** Aşınma dayanımı testi numunelerinin % ağırlık kaybı miktarlarına bağlı aşınma miktarları

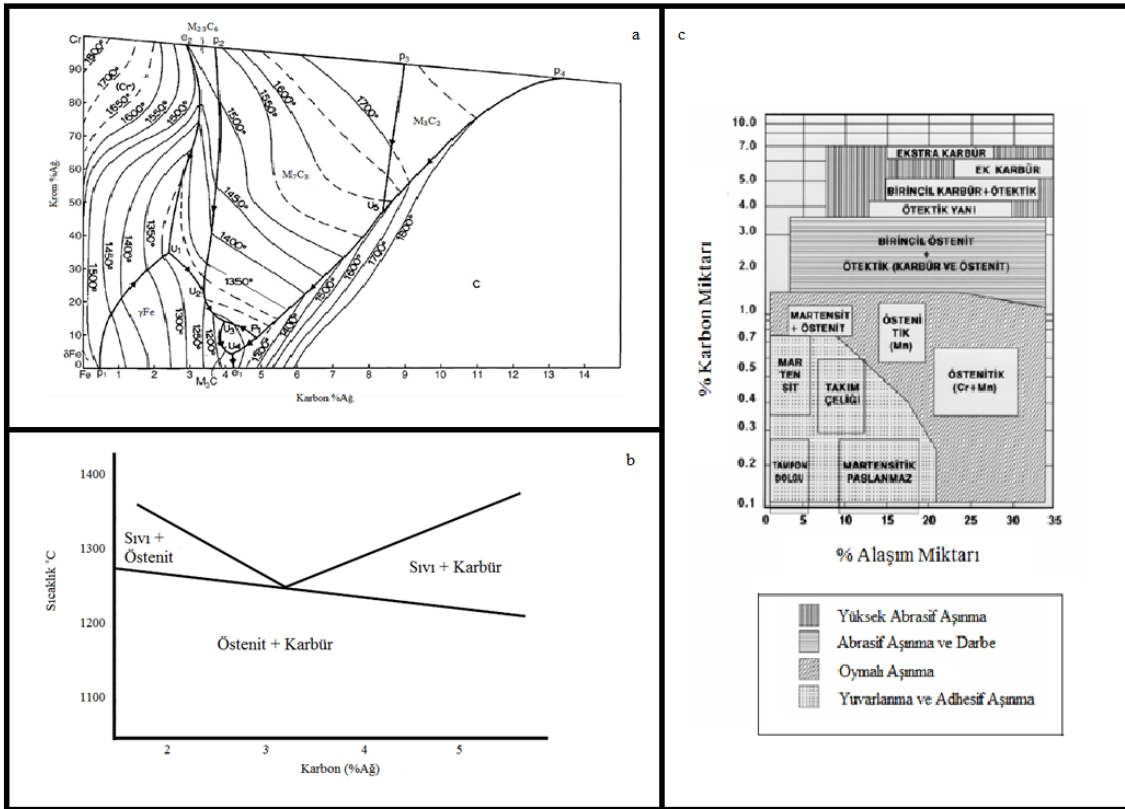




Şekil 4.36 : Diğer numunelerin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüleri

#### 4.10 Sonuçların Değerlendirilmesi

Mikroyapı incelemelerinde ötektikaltı krom karbür yapısı tespit edilen ürünün özellikleri standardın altında çıkmıştır. Öngörülen mekanik özellikleri sağlayabilmek için bu mikroyapının kaynak metalinde oluşması istenmemekte, mikroyapısal açıdan ürünün kimyasal bileşiminden yola çıkarak ötektiküstü  $M_7C_3$  krom karbür mikroyapının gelişimine ihtiyaç duyulmaktadır. 3 numaralı numune için abrasif aşınma dayanımı ve sertlik başta olmak üzere mekanik özelliklerin artırılması gerekliliği görülmektedir. Bunu da üretim şartlarındaki koşulları Fe-Cr-C sistemi üçlü faz diyagramının temel alınmasıyla, kimyasal bileşimi ve buna bağlı olarak da mikroyapıyı geliştirerek yapılması hedeflenmektedir. Literatürde konuyla ilgili yapılmış çalışmalar ve şimdiye kadar yapılan test çalışmalarımız ışığında karbon oranının henüz pratikte yeterli sertliği ve aşınma dayanımına yetecek değerleri sağlamadığı görülmektedir. Chang ve arkadaşlarının 2009 yılında yayınladığı çalışmanın ve Fe-Cr-C üçlü faz diyagramının da verileri, Khvan ve arkadaşlarının 2014 yılında yayınlanan Fe-Cr-C sistemine dair üçlü faz çalışması tespitleri ışığında karbon oranı %3.73'ten %4.85'e çıkartıldığında alaşımdaki abrasif aşınma dayanımını ve sertliği sağlayan esas faz olan  $Cr_7C_3$  ( $M_7C_3$ ) oranının %33.81'den %86.14'e çıktığı ifade edilmiştir [34,35]. Şekil 4.37'deki faz diyagramını temel alarak çalışma sıcaklığında karbon oranının en az %3,5 olması ön görülmektedir. Bu sayede oluşması istenen ve temel özellik artışlarını gerçekleştireceği ön görülen  $Cr_7C_3$ 'ün artması, karbür yoğunluğunu artması, sertlik ve aşınma dayanımı önemli miktarda artması öngörülmektedir dolayısıyla bu artışın sağlanması hedeflenmektedir.



**Şekil 4.37 :** Fe-Cr-C üçlü sisteminin, (a) liküdüs faz diyagramı, (b) katılaşma sıcaklıklarına göre deneysel olarak elde edilmiş faz diyagramı, (c) Kotecki diyagramı [15,34,35].

## 5. YENİ AŞINMA PLAKALARININ TASARLANMASI VE OPTİMİZASYONU

Yapılan deney sonuçlarına göre endüstriyel uygulamalar çerçevesinde yeterli sertlik ve abrasif aşınma dayanımına sahip olmayan “3” kodlu standart aşınma plakasının sertlik ve abrasif aşınma dayanımı arttırılmaya çalışılmıştır. Bu hususta yeni üretimde abrasif aşınma dayanımını arttırması ön görülen ötektiküstü krom karbür yapısının oluşabilmesi, karbür miktarının artarak faz sertliğinin artması için karbon oranı daha çok olacak şekilde üretim gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. İlk üç tasarımda aşınma plakalarının karbon oranları diğer element değerleri sabit tutulmaya çalışılarak arttırılmıştır. Hedeflenen karbon oranı değerine ulaşıldıktan sonra ise karbon elementi değeri sabit tutularak alaşım elementi oranı değiştirilerek, karakterizasyonu ve testleri yapılmış, optimum bileşime ulaşılmaya çalışılarak neticelendirilmiştir.

### 5.1 İlk Aşınma Plakasının Tasarlanması

Mekanik özellikleri geliştirilmesine karar verilen “3” isimli aşınma plakasının içerisinde %24,600 krom, %3,11 karbon, %0,552 silisyum ve %0,672 mangan bulunmaktadır. 1,2 ve 3 kodlu olarak adlandırılan numunelerin dayanımında etkili olan karbon elementi, Tasarım 1 (T1) olarak adlandırılan ilk tasarımda %3,5 olacak şekilde aşınma plakası üretiminin planlaması yapılmıştır. Arttırılan karbon miktarının krom karbür yapısı oluşumunu ve buna bağlı olarak dayanımı arttırması ön görülmüştür. Aşınma plakası 6mm S 235JR çelik sac üzerine 4mm olacak şekilde 6+4mm olacak şekilde üretilmiştir.

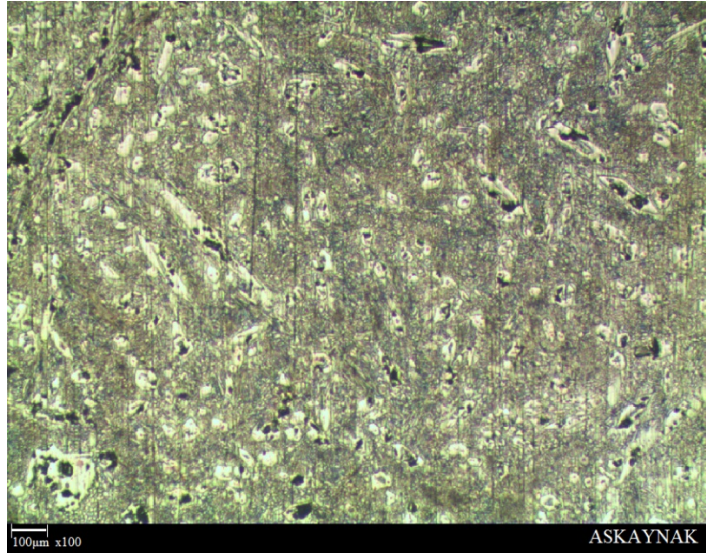
#### 5.1.1 Tasarım 1 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi ve sonuçları

Üretilen Tasarım 1 aşınma plakası kimyasal bileşim değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1:** Tasarım 1 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi sonuçları

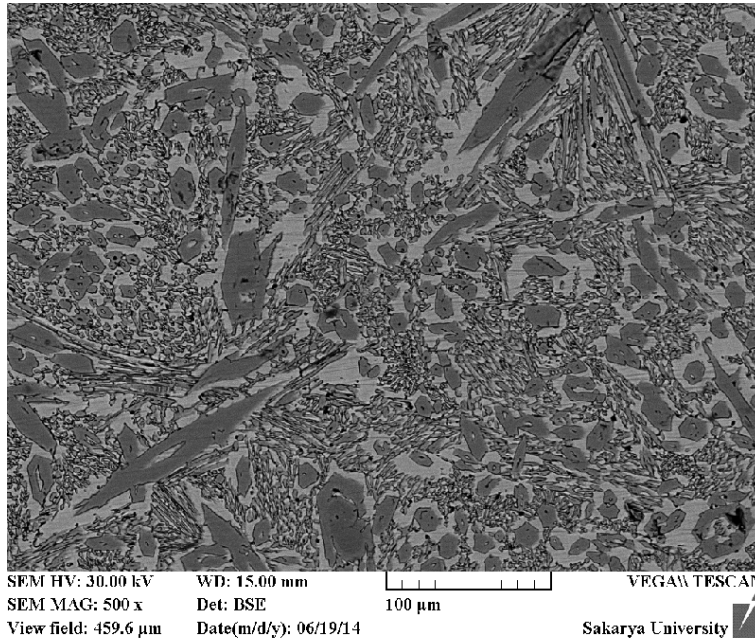
| Kod | C     | Si    | Mn    | S     | Ni    | Mo    | Cu    | Nb    | V     | Cr     | Fe     |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| T1  | 3,490 | 0,470 | 0,584 | 0,030 | 0,189 | 0,009 | 0,038 | 0,006 | 0,067 | 27,400 | 71,070 |

### 5.1.2 Tasarım 1 aşınma plakasının mikroyapı incelemesi ve sonuçları

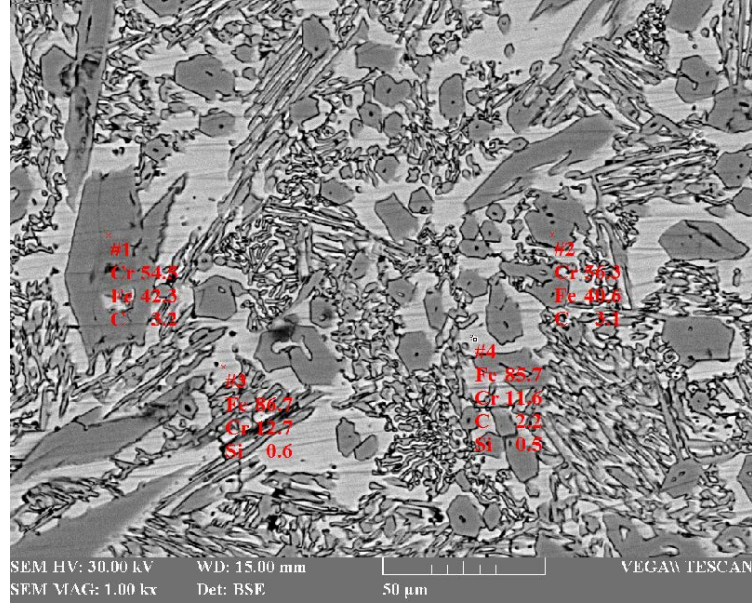


**Şekil 5.1 :** Tasarım 1 numunesinin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü

T1 aşınma plakasının kaynak bölgesinin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde istenilen ötektiküstü  $M_7C_3$  birincil krom karbürler ile karşılaşılmıştır. Şekil 5.3'teki EDX görüntüsü incelendiğinde kimyasal bileşim deneyi sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

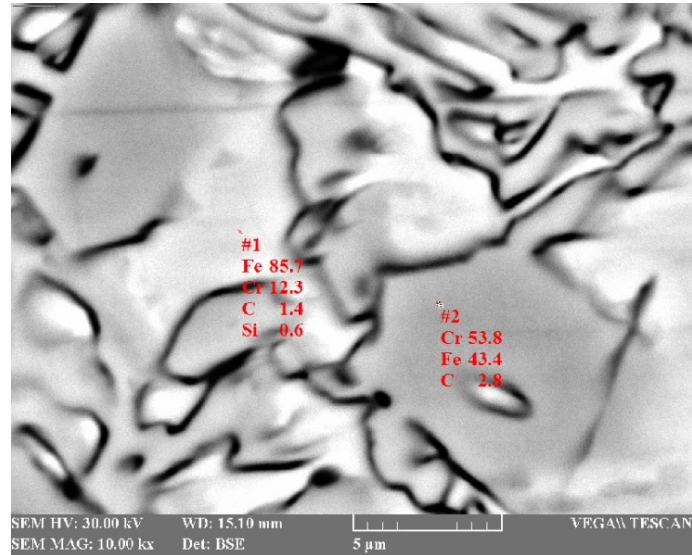


**Şekil 5.2 :** Tasarım 1 numunesinin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

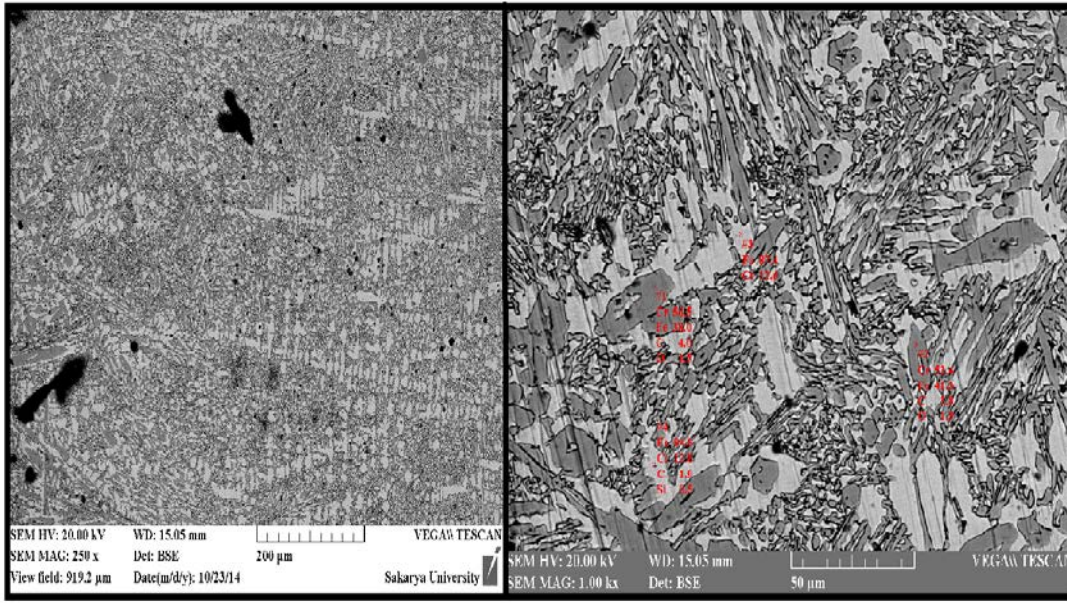


**Şekil 5.3 :** Tasarım 1 numunesinin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Ötektik fazın detaylı incelenmesi mikroyapı ve EDX analizi olarak Şekil 5.3'te resimlenmiştir. Ötektik faz karbür ve östenitten oluşmakta oluşmaktadır. Östenit fazının ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde de hakim element olan Fe ve ilk sırada yer alırken, karbür fazın ana elementi olarak Cr ilk sırada yer almaktadır.



**Şekil 5.4 :** Tasarım 1 numunesinin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi



**Şekil 5.5 :** Tasarım 1 numunesinin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde bu numunedeki tüm bölgelerde istenildiği gibi ötektiküstü  $M_7C_3$  birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmamıştır. Kesit mikroyapı incelemelerinde, birincil  $M_7C_3$  hegzagonal krom karbür taneleri ve dendritik birincil östenitik faz ve krom karbür karbürleri gözlenmektedir. Karbon miktarının kesit boyunca yeterli olmaması sebebiyle hedeflenen  $M_7C_3$  birincil krom karbür yapısı tamamen görülmemektedir. Bu numunedeki kesit incelemelerinde bölgesel olarak ortaya çıkan iki farklı krom karbür yapı yapının daha da geliştirilebileceğini göstermektedir. Kesit EDX analizi sonuçları incelendiğinde ise beklenildiği karbürlerin karbon içerikleri kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir.

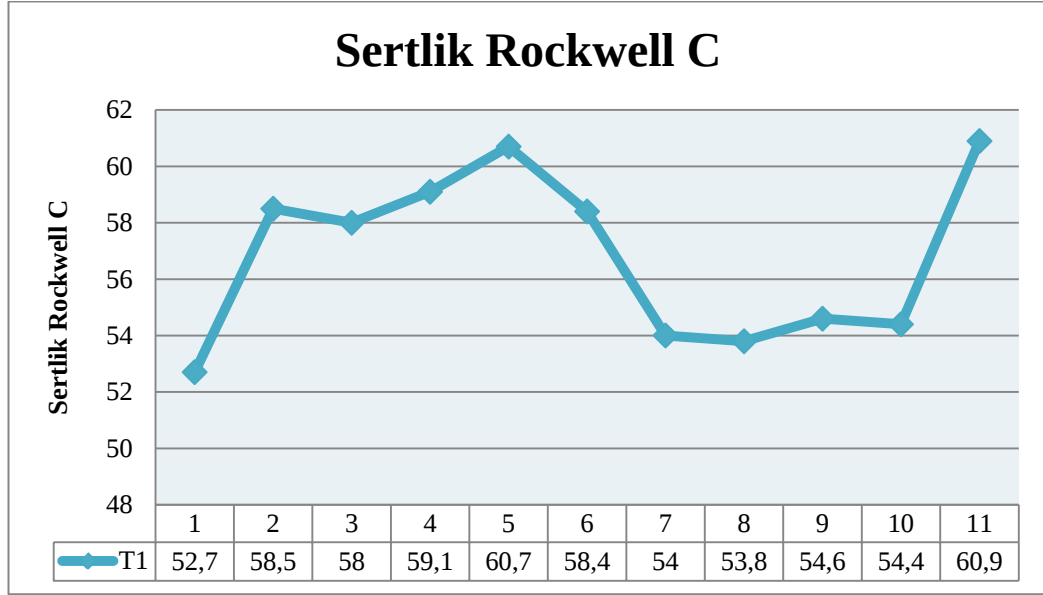
### 5.1.3 Tasarım 1 aşınma plakasının sertlik deneyi ve sonuçları

**Çizelge 5.2:** Tasarım 1 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları

| Numune Kodu | Sertlik Rockwell C                                 | Sertlik Ortalama |
|-------------|----------------------------------------------------|------------------|
| T1          | 52,7-58,5-58-59,1-60,7-58,4-54-53,8-54,6-54,4-60,9 | 56,8             |

Sertlik test sonuçları ve grafiği incelendiği takdirde Tasarım 1 numunesinde geliştirilemsi hedeflenen 3 numaralı ürüne göre daha yüksek ortalama sertlik değeri elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, aşınma dayanımı performansındaki iyileşme sonucunu da desteklemektedir. Bir önceki tasarıma göre kimyasal bileşimdeki iyileşme nedeniyle sertlik değeri daha yüksek olmuştur.

**Çizelge 5.3:** Tasarım 1 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları içeren grafik

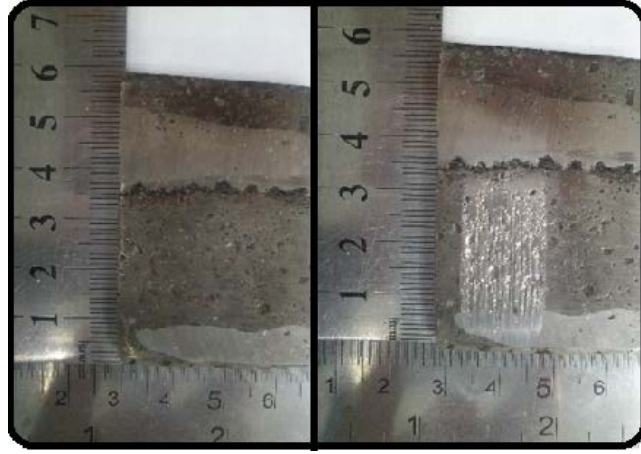


#### 5.1.4 Tasarım 1 aşınma plakasının aşınma deneyi ve sonuçları

T1 numunesine ait ortalama ilk ağırlık ve son ağırlık değerleri, ağırlık kaybı değerleri ve % ağırlık kaybı değerleri Çizelge 5.4’de belirtilmektedir. Test öncesi ve sonrası numune ağırlıklı değerleri yardımıyla, % ağırlık kaybı değerleri hesaplanmıştır. T1 numunesinin aşınma öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü Şekil 5.6’da görülmektedir.

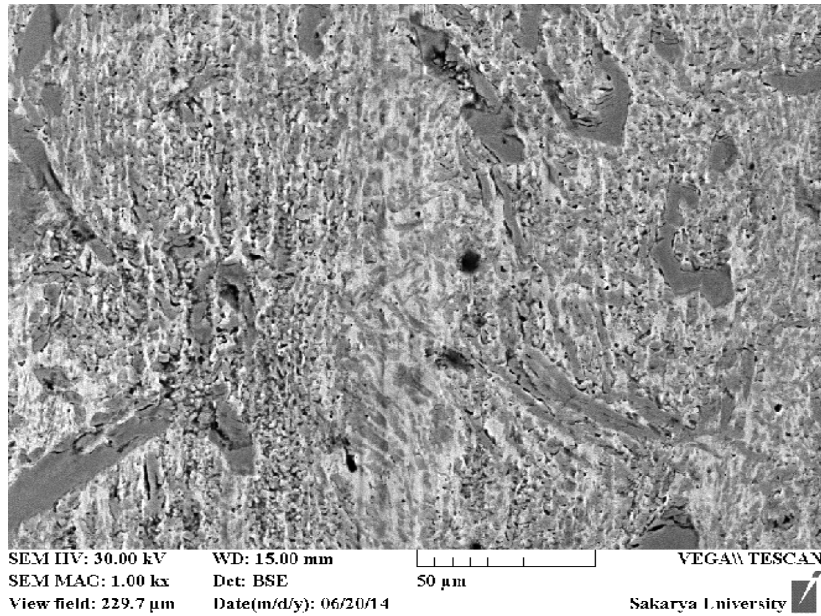
**Çizelge 5.4:** Tasarım 1 aşınma plakasının aşınma dayanımı deneyi sonuçları

| Numune Kodu | İlk Ağırlık | Son Ağırlık | Ağırlık Kaybı | % Ağırlık Kaybı |
|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|
| T1          | 141,2567    | 141,1687    | 0,088         | 0,0622          |



**Şekil 5.6 :** Tasarım 1 numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü

Aşınma testi sonrası üst yüzeyden alınan taramalı elektron görüntüsü Şekil 5.7’de görülmektedir. Aşınma testindeki aşındırıcı Ottawa silis kumu aşındırıcısının sebep olduğu aşınma izlerinin ötektik fazda daha belirgin, hegzağonal birincil karbürlerin bulunduğu yerlerde daha hafif olduğu görülmektedir. Krom karbürlerin durdurucu etkisinden söz edilebilir. Bu durumu göz önüne alarak aşınma testi sonrası mikroyapı incelemeleri göstermiştir ki krom karbür yoğunluğu daha fazla arttırmak aşınma dayanımı sağlaması bakımından yerinde olacaktır.



**Şekil 5.7 :** Tasarım 1 numunesinin aşınma testi sonrası 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

## 5.2 İkinci Aşınma Plakasının Tasarlanması

T1 aşınma plakasının mekanik dayanım özelliklerinin geliştirilmesi için kimyasal içeriği geliştirilerek Tasarım 2 (T2) isimli yeni bir aşınma plakası üretilmiştir.

Abrasif aşınma dayanımını, istenen mikroyapıda karbür oluşumunu destekleyerek daha da arttırmak için T1 aşınma plakasında yaklaşık %3,5 olan C elementi miktarı T2 aşınma plakası tasarımında yaklaşık %4,0 olacak şekilde arttırılmıştır. Krom ve demir elementi miktarı sabit tutulmaya çalışılmıştır.

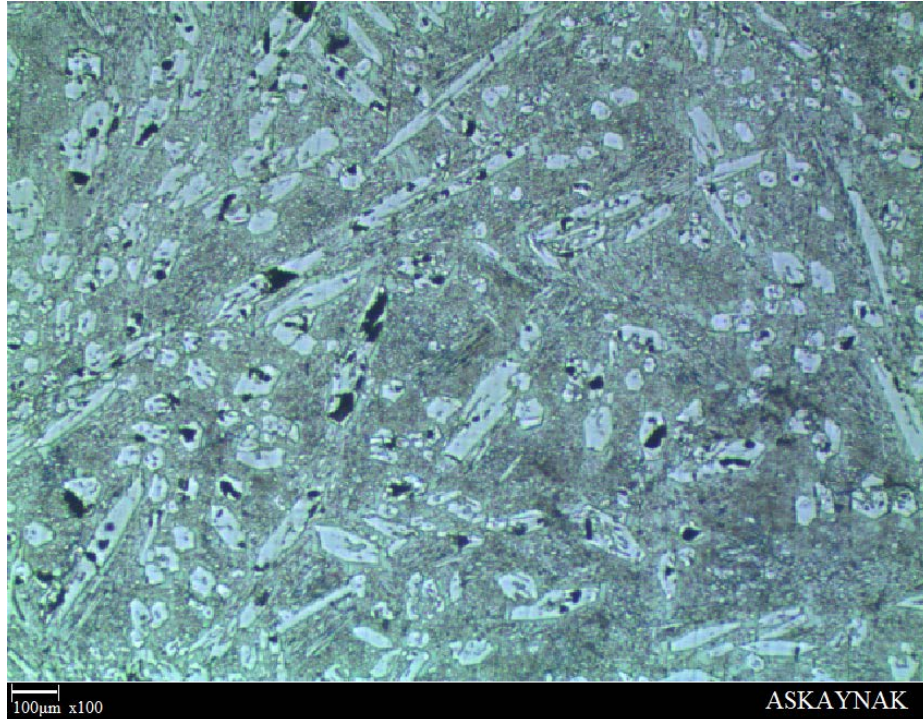
### 5.2.1 Tasarım 2 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi ve sonuçları

Üretilen Tasarım 2 aşınma plakası kimyasal bileşim değerleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.

**Çizelge 5.5:** Tasarım 2 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi sonuçları

| Kod | C     | S     | Mn    | Si    | Fe     | Cr     | Ni    | Mo    | Cu    | Nb    | V     |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T2  | 4,071 | 0,045 | 0,564 | 0,430 | 71,100 | 27,400 | 0,201 | 0,005 | 0,047 | 0,006 | 0,070 |

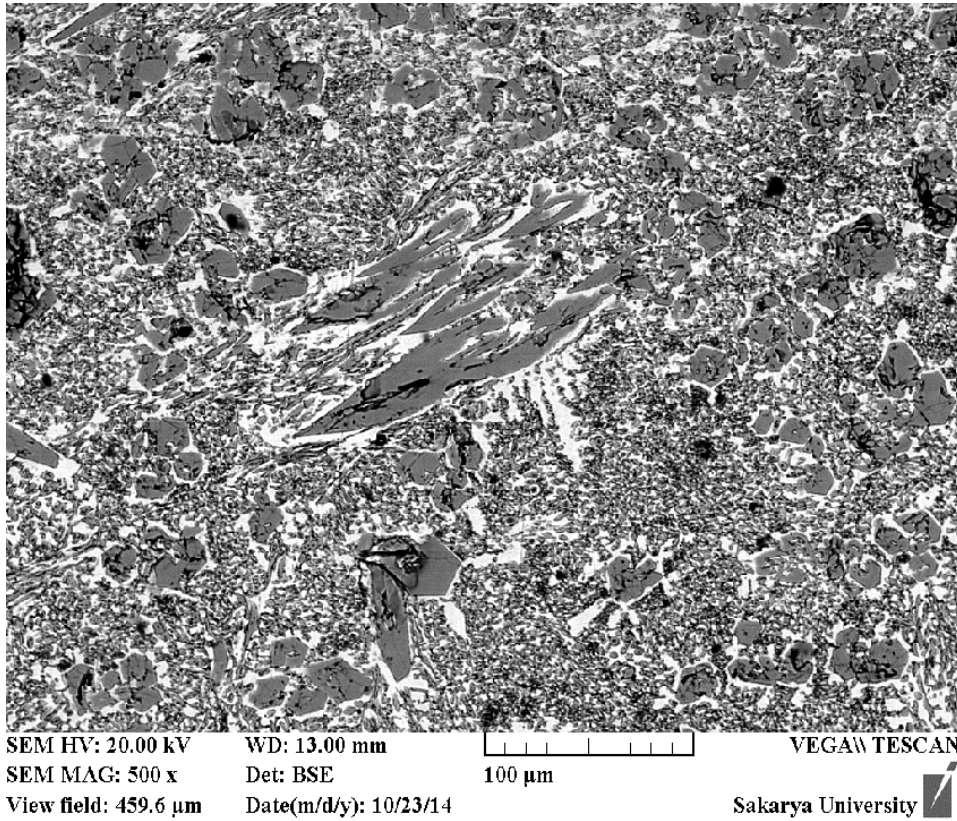
### 5.2.2 Tasarım 2 aşınma plakasının mikroyapı incelemesi ve sonuçları



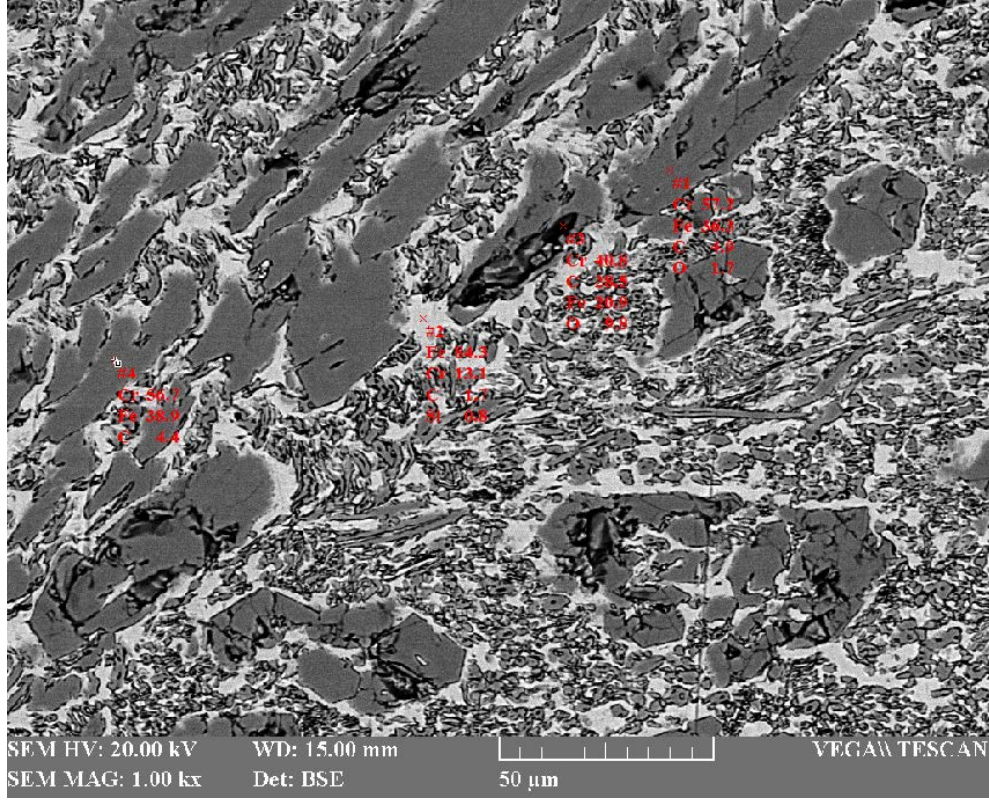
**Şekil 5.8 :** Tasarım 2 numunesinin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü

Şekil 5.9'daki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde bu numenede de tüm bölgelerde istenildiği gibi ötektiküstü birincil krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal birincil krom karbür taneleri T1'e göre daha fazla miktarda gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen krom karbür yapısı görülmektedir.

T2 numaralı numunenin EDX sonuçları Şekil 5.10'da aşağıda görülmektedir. Birincil krom karbür fazda beklenildiği gibi en yüksek bileşimler sırasıyla Cr, Fe ve C olmuştur. Birincil krom karbürleri çevreleyen ötektik fazda ise Fe, Cr ve C sırasıyla bulunmaktadır.



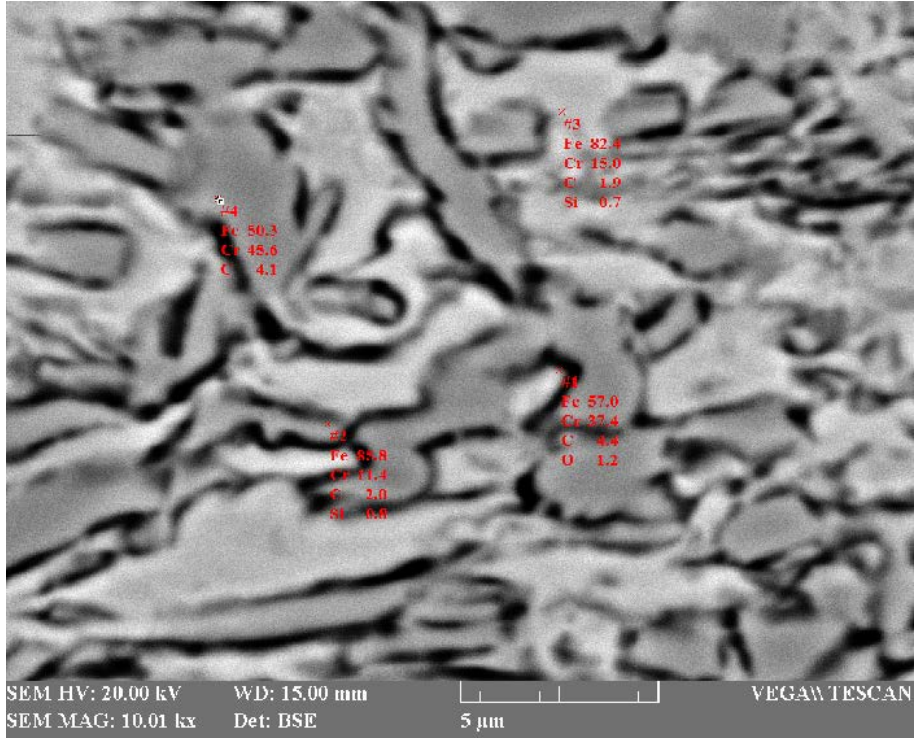
**Şekil 5.9 :** Tasarım 2 numunesinin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü



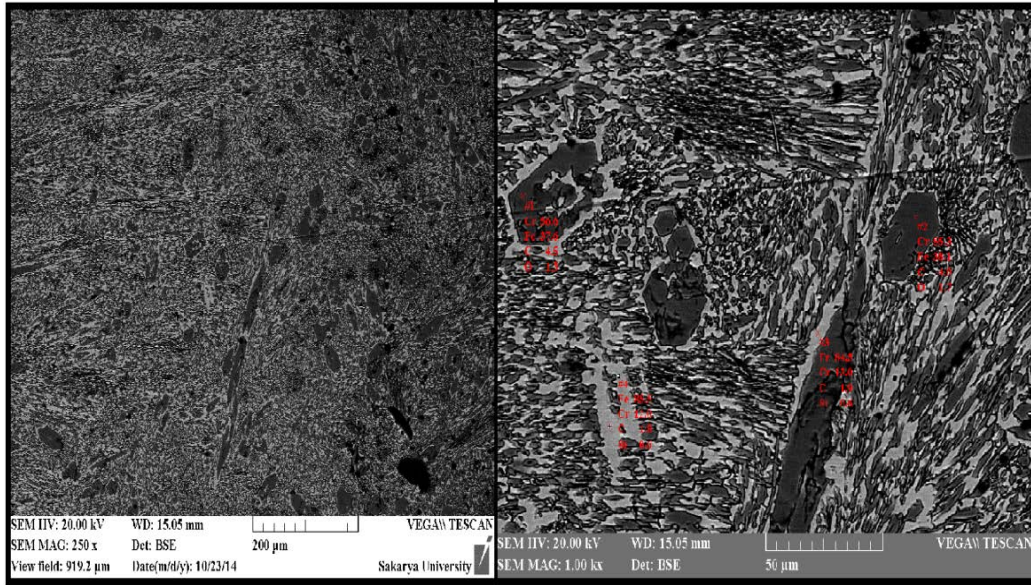
**Şekil 5.10 :** Tasarım 2 numunesinin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Ötektik fazın detaylı incelenmesi mikroyapı ve EDX analizi olarak şekil2de resimlenmiştir. Ötektik faz; karbür ve östenitten oluşmaktadır. Ötektik faz içerisinde bulunan karbürlerde ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde Fe ve Cr yer almaktadır bunlara ilaveten C oranında birincil karbür seviyesine yakın olduğu gözlemlenebilmektedir. Östenit fazının ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde de hakim element olan Fe ilk sırada yer almaktadır.

Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm bölgelerde istenildiği gibi ötektiküstü birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal krom karbür taneleri gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen  $M_7C_3$  krom karbür yapısı oluşmuştur. Kesit EDX analizi sonuçları incelendiğinde ise beklenildiği gibi birincil krom karbürlerin karbon içerikleri kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir.



Şekil 5.11 : Tasarım 2 numunesinin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi



Şekil 5.12 : Tasarım 2 numunesinin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi

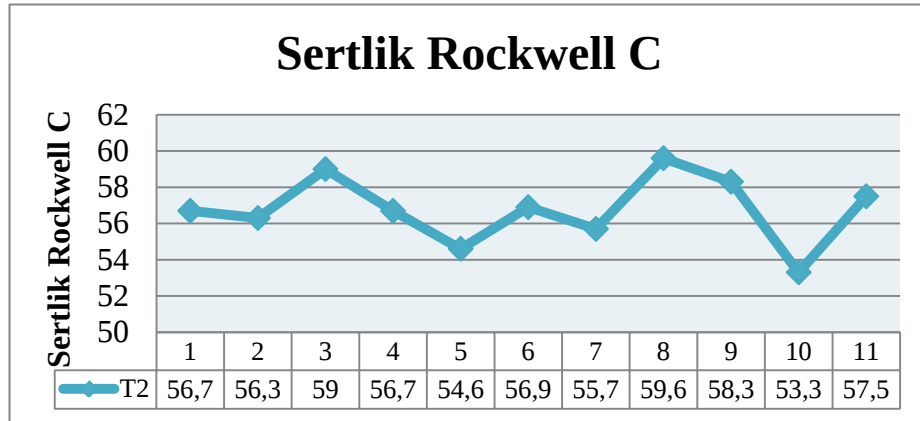
### 5.2.3 Tasarım 2 aşınma plakasının sertlik deneyi ve sonuçları

**Çizelge 5.6:** Tasarım 2 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları

| Numune Kodu | Sertlik Rockwell C                                   | Sertlik Ortalama |
|-------------|------------------------------------------------------|------------------|
| T2          | 56,7-56,3-59-56,7-54,6-56,9-55,7-59,6-58,3-53,3-57,5 | 56,9             |

Sertlik test sonuçları ve grafiği incelendiği takdirde Tasarım 2 numunesinde bir önceki tasarıma göre daha yüksek ortalama sertlik değeri elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, aşınma dayanımı performansındaki iyileşme sonucunu da desteklemektedir. Bir önceki tasarıma göre kimyasal bileşimdeki iyileşme nedeniyle sertlik değeri daha yüksek olmuştur.

**Çizelge 5.7:** Tasarım 2 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçlarını içeren grafik



### 5.2.4 Tasarım 2 aşınma plakasının aşınma deneyi ve sonuçları

**Çizelge 5.8:** Tasarım 2 aşınma plakasının aşınma dayanımı deneyi sonuçları

| Numune Kodu | İlk Ağırlık | Son Ağırlık | Ağırlık Kaybı | % Ağırlık Kaybı |
|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|
| T2          | 107,4571    | 107,3916    | 0,0655        | 0,0609          |

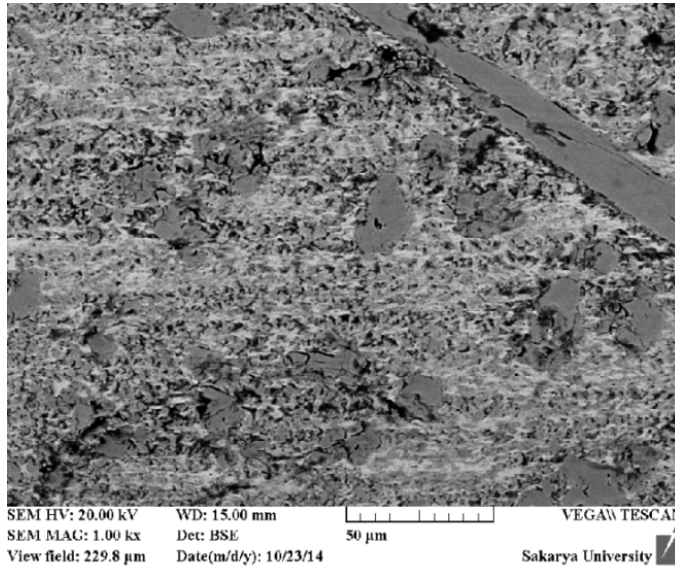
T2 numunesine ait ortalama ilk ağırlık ve son ağırlık değerleri, ağırlık kaybı değerleri ve % ağırlık kaybı değerleri Çizelge 5.8’de belirtilmektedir. Test öncesi ve sonrası numune ağırlıklı değerleri yardımıyla, % ağırlık kaybı değerleri hesaplanmıştır. T2 numunesinin aşınma öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü Şekil 5.13’te görülmektedir.



**Şekil 5.13 :** Tasarım 2 numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü

Aşınma testi sonrası üst yüzeyden alınan taramalı elektron görüntüsü Şekil 5.13'te görülmektedir. Aşınma testindeki aşındırıcı Ottawa silis kumu aşındırıcısının sebep olduğu aşınma izlerinin ötektik fazda daha belirgin, hegzagonal birincil karbürlerin bulunduğu yerlerde daha hafif olduğu görülmektedir. Krom karbürlerin durdurucu etkisinden daha belirgin şekilde söz edilebilir. Bu durumu göz önüne alarak aşınma testi sonrası mikroyapı incelemeleri göstermiştir ki krom karbür yoğunluğu daha fazla arttırmak aşınma dayanımının maksimize edilmesi bakımından yerinde olacaktır.

Şekil 5.15'te tasarım 2 aşınma plakasının, ASTM G65 abrasif aşınma testi sonrasında alınan üst yüzey mikroyapı incelemesi görülmektedir.



**Şekil 5.14 :** Tasarım 2 numunesinin aşınma testi sonrası 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

### 5.3 Üçüncü Aşınma Plakasının Tasarlanması

Abrasif aşınma dayanımı ve sertliği, endüstriye daha iyi hizmet edebilmesi için daha çok artırılması istenen T2 aşınma plakasının bu mekanik özelliğinin geliştirilmesi için kimyasal içeriği geliştirilerek Tasarım 3 (T3) isimli yeni bir aşınma plakası üretilmiştir. Abrasif aşınma dayanımını karbür oluşumunu destekleyerek daha da arttırmak için T2 aşınma plakasında %4,071 olan C elementi miktarı T3 aşınma plakası tasarımında %5,012 olacak şekilde artırılmıştır. Aynı sebep göz önüne alınarak krom miktarı da artırılmıştır. Mn alaşım elementinin ilavesi ile tokluk değerlerinden taviz vermemek için ayrıca dayanımı geliştiren mikro alaşım elementi olan Nb ve tane oluşumunda etkin rol oynayan deoksidan element Si miktarları korunmuştur. T3 ismi verilen aşınma plakası kimyasal içeriği Çizelge 5.9'da verilmektedir.

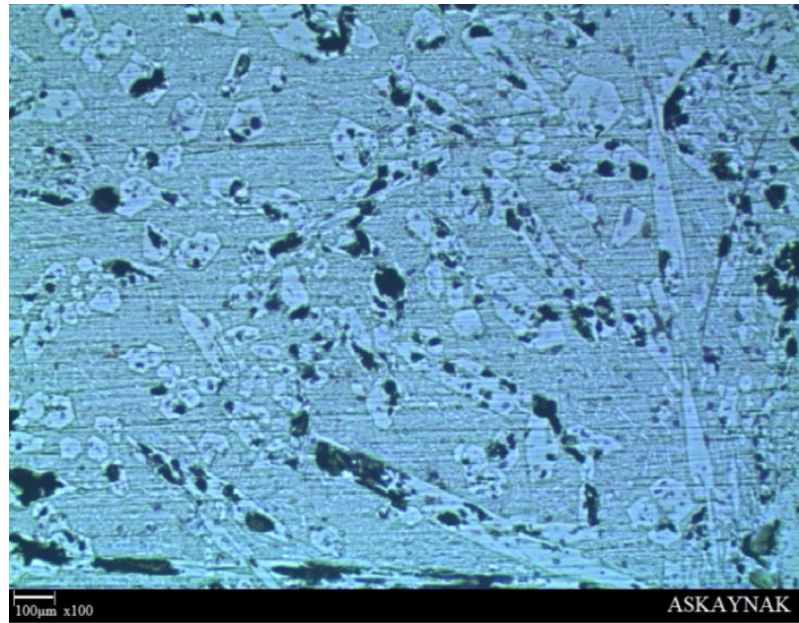
#### 5.3.1 Tasarım 3 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi ve sonuçları

Üretilen Tasarım 3 aşınma plakası kimyasal bileşim değerleri Çizelge 5.9'da verilmiştir.

**Çizelge 5.9:** Tasarım 3 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi sonuçları

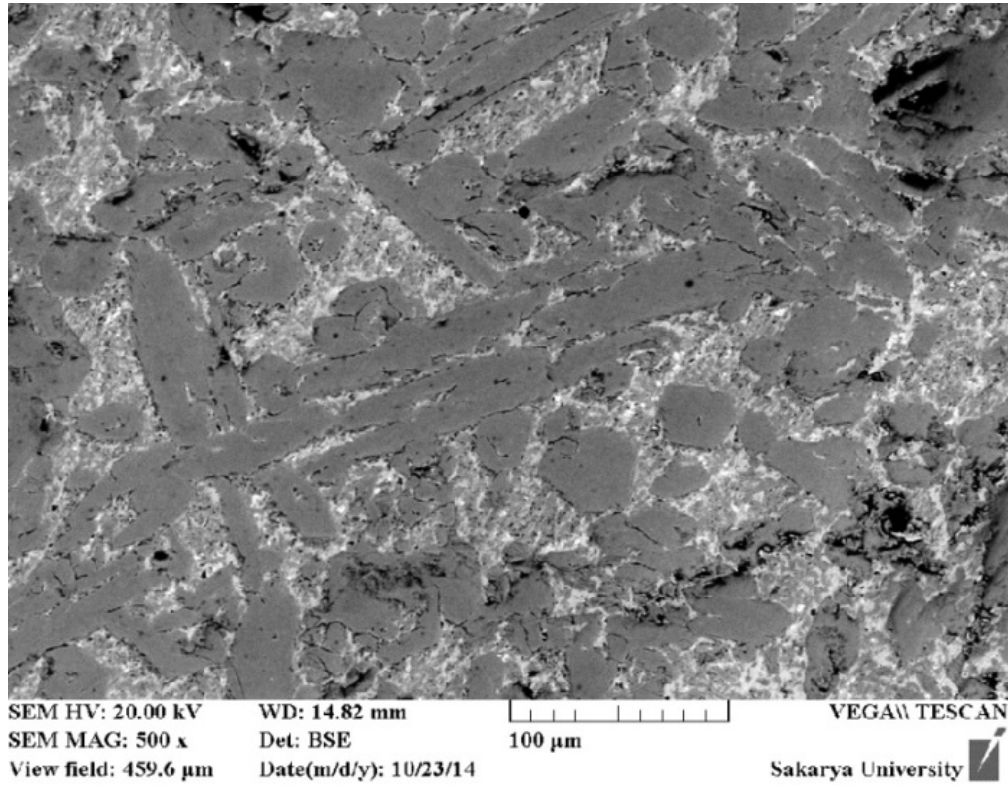
| Kod | C     | Si    | Mn    | S     | Ni    | Mo   | Cu    | Nb    | V     | Cr     | Fe     |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|
| T3  | 5,012 | 0,427 | 0,571 | 0,023 | 0,189 | 0,05 | 0,030 | 0,006 | 0,050 | 28,200 | 71,100 |

#### 5.3.2 Tasarım 3 aşınma plakasının mikroyapı incelemesi ve sonuçları



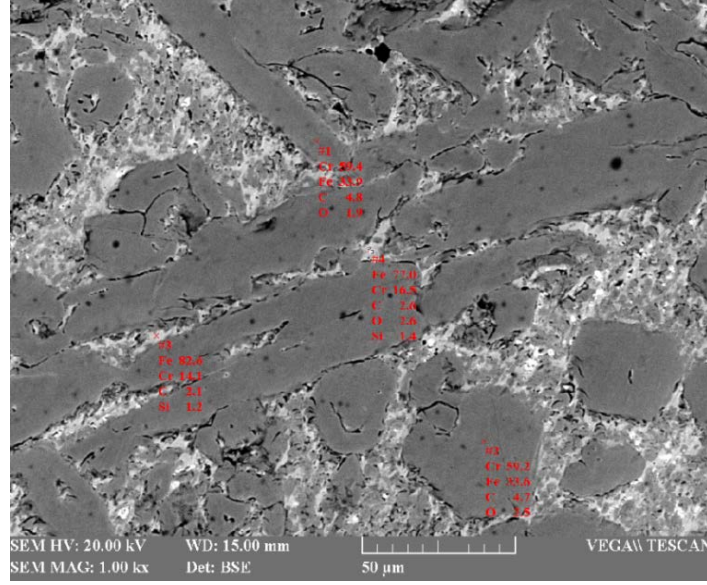
**Şekil 5.15 :** Tasarım 3 numunesinin 100x optik mikroskop üst yüzey

T3 numaralı numunenin üst yüzey mikroyapı incelemeleri Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de resimlenmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde bu numenede de tüm bölgelerde istenildiği gibi birincil krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, ötektiküstü hegzagonal birincil krom karbür taneleri T2’e göre daha fazla miktarda gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen krom karbür yapısı görülmektedir. Krom karbür yoğunluğu artışı sağlanmıştır.

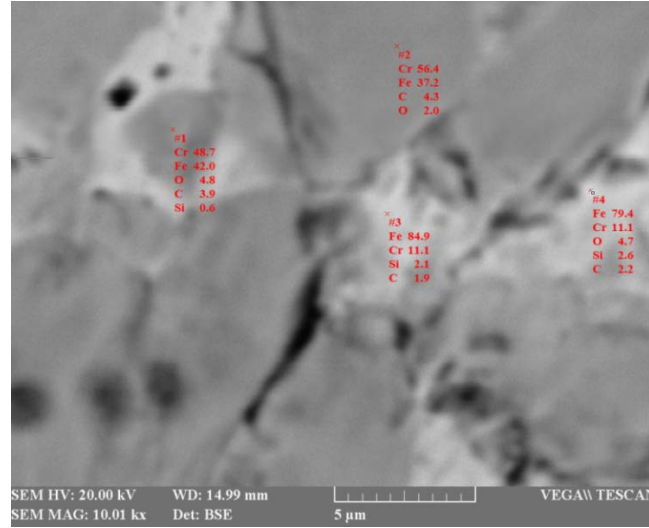


**Şekil 5.16 :** Tasarım 3 numunesinin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

T3 numaralı numunenin EDX sonuçları aşağıda görülmektedir. EDX görüntüsü incelendiğinde kimyasal bileşim deneyi sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Birincil krom karbür fazda beklenildiği gibi en yüksek bileşimler sırasıyla Cr, Fe ve C olmuştur. Birincil krom karbürleri çevreleyen ötektik fazda ise Fe, Cr ve C sırasıyla bulunmaktadır.

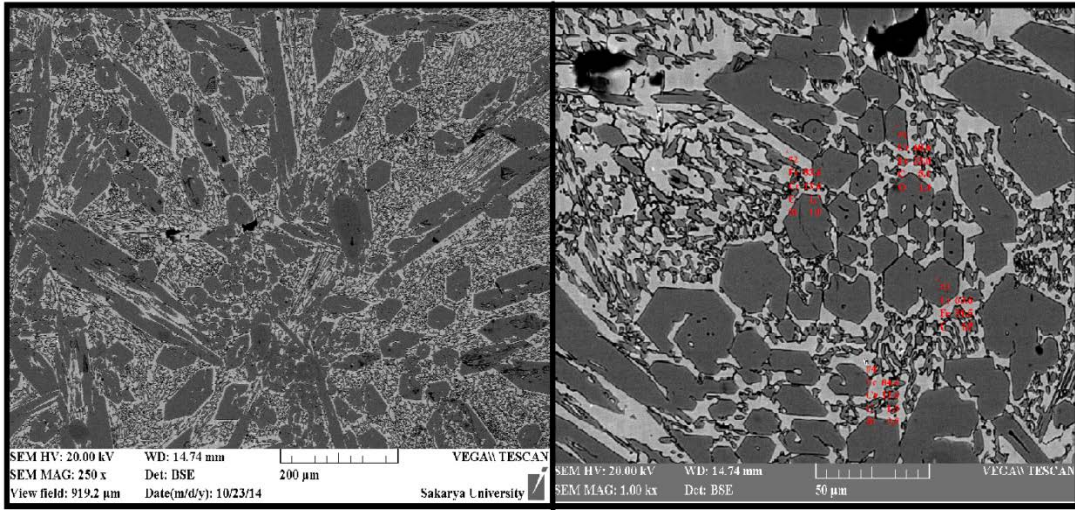


**Şekil 5.17 :** Tasarım 3 numunesinin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi



**Şekil 5.18 :** Tasarım 3 numunesinin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm bölgelerde istenildiği gibi birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal krom karbür taneleri gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen ötektiküstü  $M_7C_3$  krom karbür yapısı oluşmuştur. Kesit EDX analizi sonuçları incelendiğinde ise beklenildiği gibi birincil krom karbürlerin karbon içerikleri kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal birincil krom karbür taneleri T2'e göre daha fazla miktarda gözlenmektedir. Krom karbür yoğunluğu artışının sağlandığı görülmektedir.



**Şekil 5.19 :** Tasarım 3 numunesinin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi

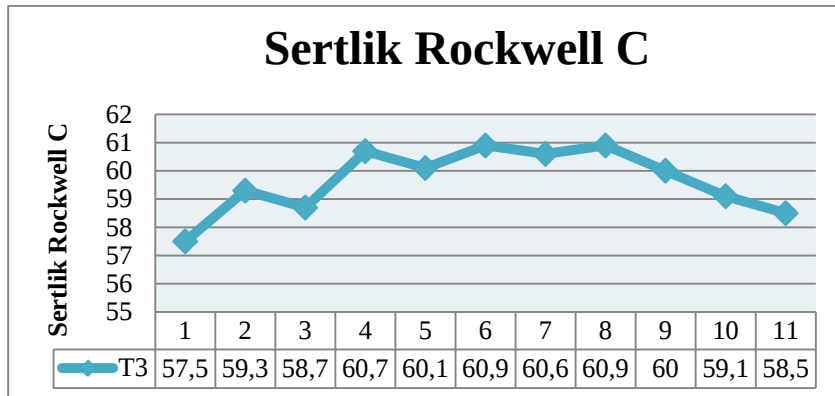
### 5.3.3 Tasarım 3 aşınma plakasının sertlik deneyi ve sonuçları

**Çizelge 5.10:** Tasarım 3 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları

| Numune Kodu | Sertlik Rockwell C                                   | Sertlik Ortalama |
|-------------|------------------------------------------------------|------------------|
| T3          | 57,5-59,3-58,7-60,7-60,1-60,9-60,6-60,9-60-59,1-58,5 | 59,6             |

Sertlik test sonuçları ve grafiği incelendiği takdirde Tasarım 3 numunesinde bir önceki tasarıma göre daha yüksek ortalama sertlik değeri elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, aşınma dayanımı performansındaki iyileşme sonucunu da desteklemektedir. Bir önceki tasarıma göre kimyasal bileşimdeki iyileşme nedeniyle sertlik değeri daha yüksek olmuştur.

**Çizelge 5.11:** Tasarım 3 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçlarını içeren grafik

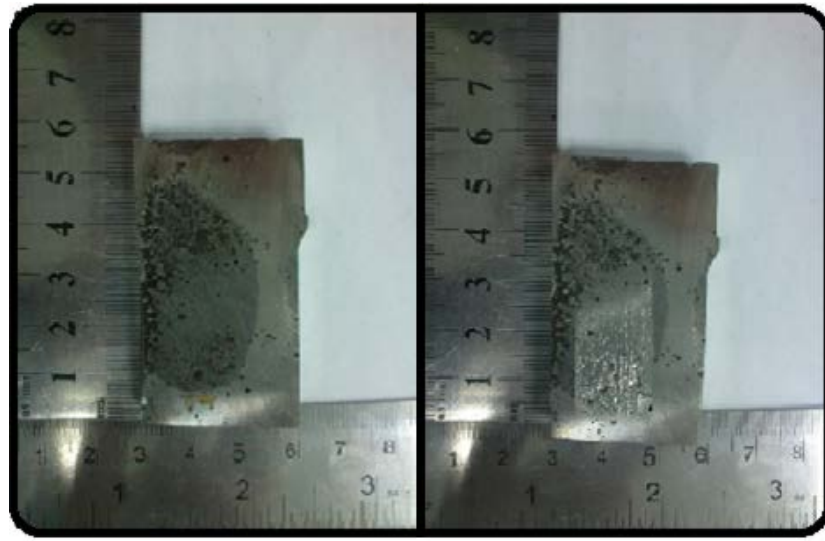


### 5.3.4 Tasarım 3 aşınma plakasının aşınma deneyi ve sonuçları

**Çizelge 5.12:** Tasarım 3 aşınma plakasının aşınma dayanımı deneyi sonuçları

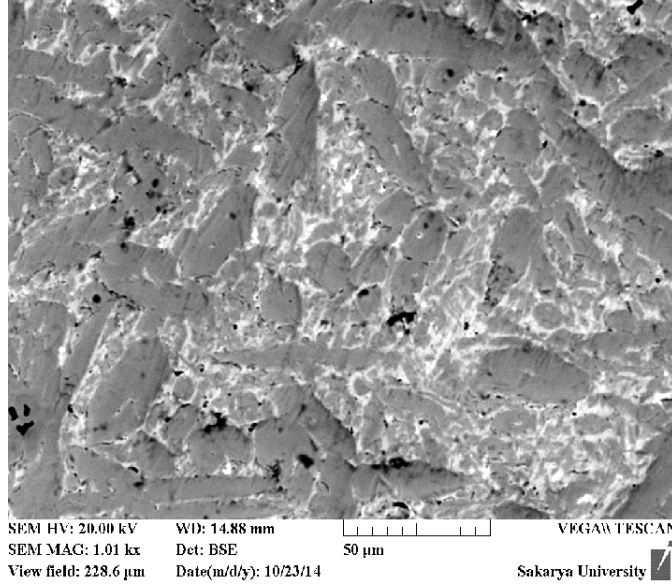
| Numune Kodu | İlk Ağırlık | Son Ağırlık | Ağırlık Kaybı | % Ağırlık Kaybı |
|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|
| T3          | 107,064     | 107,0054    | 0,0586        | 0,0547          |

T3 numunesinin aşınma testi sonucundaki % ağırlık kaybı miktarı önceki tasarımlara göre daha az olmuştur buna bağlı olarak da malzeme üst yüzeyindeki aşınma izi önceki tasarımlarda meydana gelen aşınma izlerine göre daha az belirgin görünmektedir.



**Şekil 5.20 :** Tasarım 3 numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü

Aşınma testi sonrası üst yüzeyden alınan taramalı elektron görüntüsü Şekil 5.21’de görülmektedir. Aşınma testindeki aşındırıcı Ottawa silis kumu aşındırıcısının sebep olduğu aşınma izlerinin ötektik fazda daha belirgin, hegzagonal birincil karbürlerin bulunduğu yerlerde çok daha hafif olduğu görülmektedir. Karbür yoğunluğu iyice artmış krom karbürlerin durdurucu etkisinden daha belirgin şekilde söz edilebilir. Bu durumu göz önüne alarak aşınma testi sonrası mikroyapı incelemeleri göstermiştir ki krom karbür yoğunluğu daha fazla arttırmak aşınma dayanımının maksimize edilmesi bakımından yerinde olacaktır.



**Şekil 5.21 :** Tasarım 3 numunesinin aşınma testi sonrası 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

#### 5.4 Dördüncü Aşınma Plakasının Tasarlanması

Abrasif aşınma dayanımı daha da arttırılabileceği düşünülen T3 aşınma plakasının bu mekanik özelliğinin geliştirilmesi için kimyasal içeriği geliştirilerek Tasarım 4 (T4) isimli yeni bir aşınma plakası üretilmiştir.

Abrasif aşınma dayanımını karbür oluşumunu destekleyen C elementi miktarı T3 aşınma plakası tasarımında korunmaya çalışılmıştır. Bunun yanında C elementinin yanında en önemli rolü oynadığı düşünülen Cr elementi miktarı ve Si miktarı arttırılması hedeflenmiştir. T4 ismi verilen aşınma plakası kimyasal içeriği Çizelge 5.13'te verilmektedir.

##### 5.4.1 Tasarım 4 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi ve sonuçları

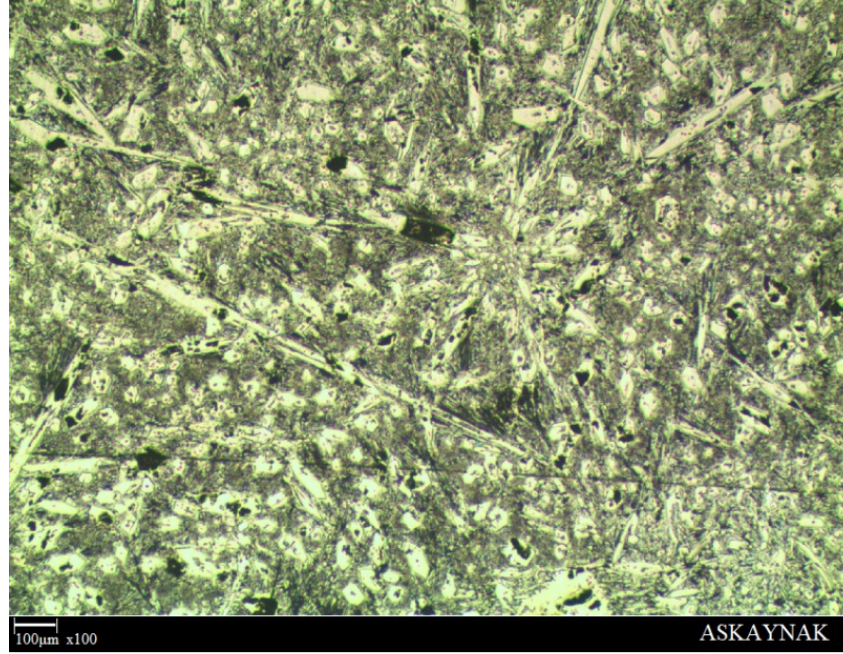
Üretilen Tasarım 4 aşınma plakası kimyasal bileşim değerleri Çizelge 5.13'de verilmiştir.

**Çizelge 5.13:** Tasarım 4 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi sonuçları

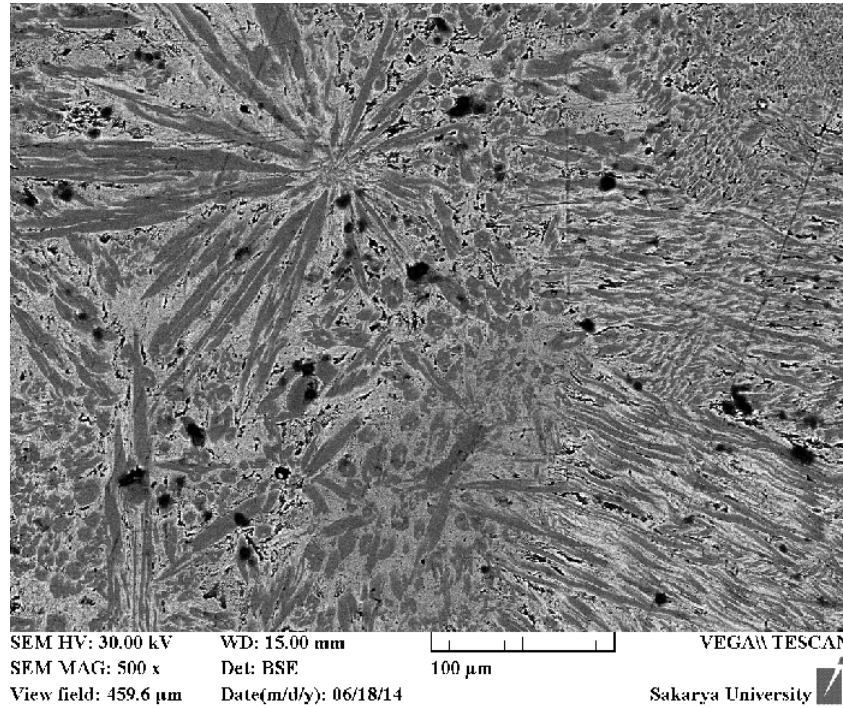
| Kod | C     | Si    | Mn    | S     | Ni    | Mo    | Cu    | Nb    | V     | Cr     | Fe     |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| T4  | 4,971 | 1,030 | 0,571 | 0,020 | 0,163 | 0,005 | 0,021 | 0,006 | 0,057 | 28,200 | 71,100 |

#### 5.4.2 Tasarım 4 aşınma plakasının mikroyapı incelemesi ve sonuçları

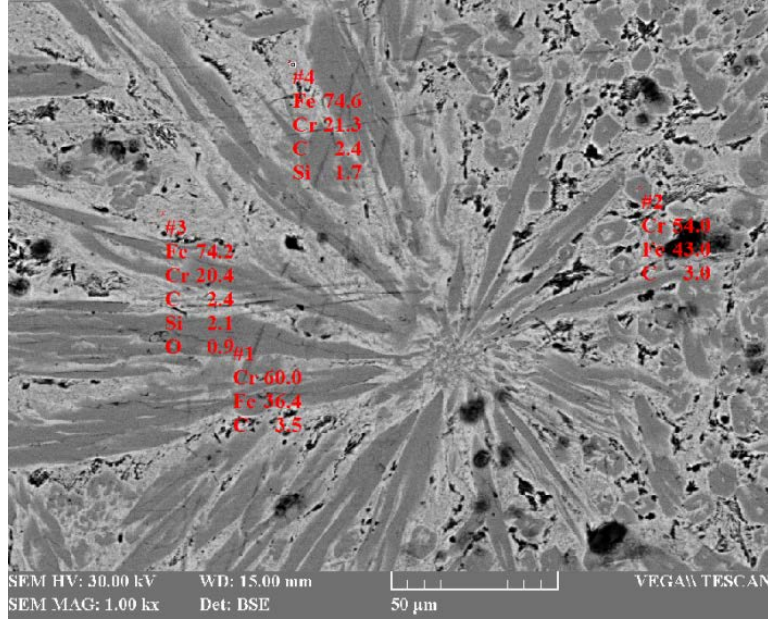
T4 aşınma plakasının kaynak bölgesinin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde istenilen ötektiküstü  $M_7C_3$  birincil krom karbürler ile karşılaşılmıştır



Şekil 5.22 : Tasarım 4 numunesinin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü

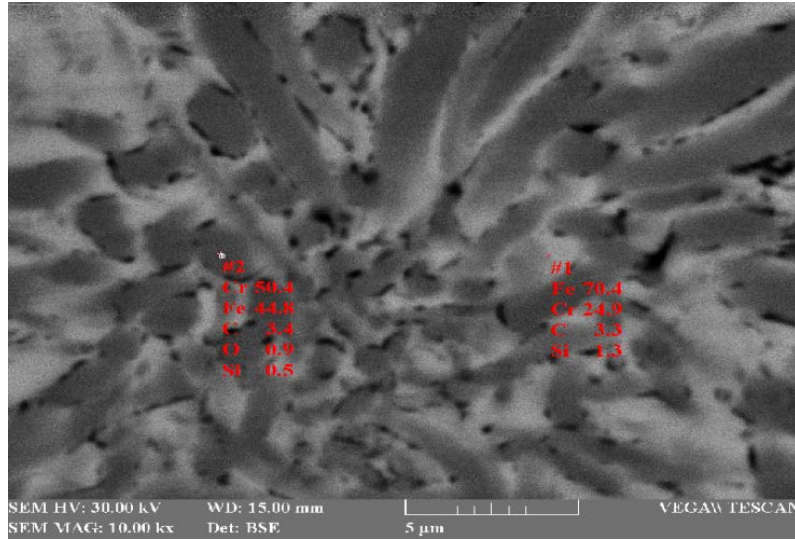


Şekil 5.23 : Tasarım 4 numunesinin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü



**Şekil 5.24 :** Tasarım 4 numunesinin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde bu numenede de tüm bölgelerde istenildiği gibi birincil krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal birincil krom karbür taneleri T3'e göre daha fazla miktarda gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen krom karbür yapısı görülmektedir. Dolayısıyla karbür yoğunluğunun arttığından bahsedilebilir.



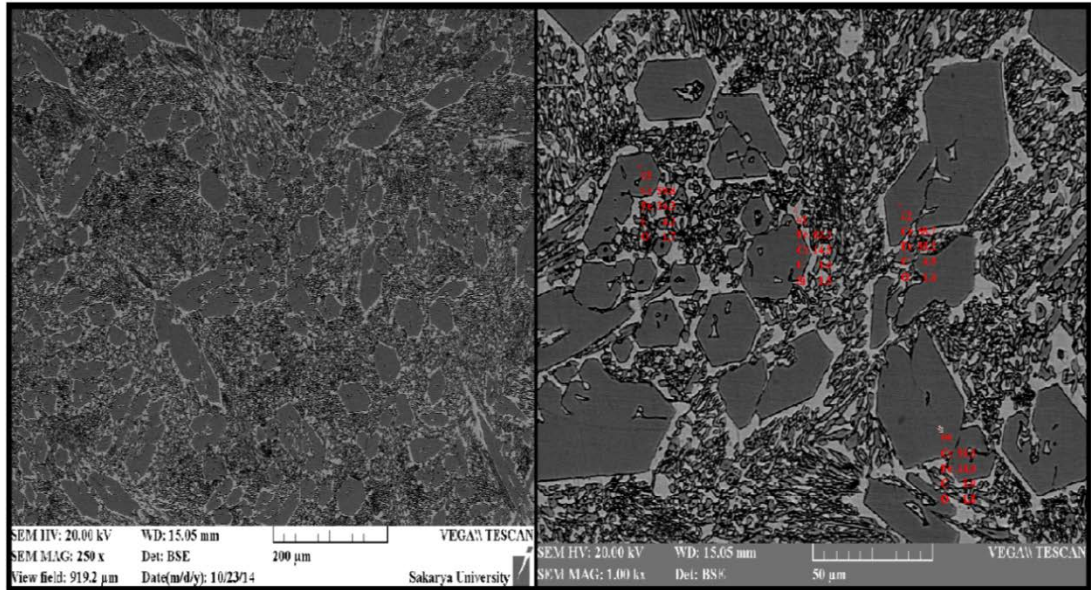
**Şekil 5.25 :** Tasarım 4 numunesinin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

T4 numaralı numunenin EDX sonuçları Şekil 5.24'te görülmektedir. EDX görüntüsü incelendiğinde kimyasal bileşim deneyi sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

Birincil krom karbür fazda beklenildiği gibi en yüksek bileşimler sırasıyla Cr, Fe ve C olmuştur. Birincil krom karbürleri çevreleyen ötektik fazda ise Fe, Cr ve C sırasıyla bulunmaktadır.

Ötektik fazın detaylı incelenmesi mikroyapı ve EDX analizi olarak Şekil 5.25’de resimlenmiştir. Ötektik faz; karbür ve östenitten oluşmaktadır. Ötektik faz içerisinde bulunan karbürlerde ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde Fe ve Cr yer almaktadır bunlara ilaveten C oranında birincil karbür seviyesine yakın olduğu gözlemlenebilmektedir. Östenit fazının ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde de hakim element olan Fe ilk sırada yer almaktadır.

Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm bölgelerde istenildiği gibi birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal krom karbür taneleri gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen  $M_7C_3$  birincil krom karbür yapısı oluşmuştur.



**Şekil 5.26:** Tasarım 4 numunesinin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Kesit EDX analizi sonuçları incelendiğinde ise beklenildiği gibi birincil krom karbürlerin karbon içerikleri kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal birincil krom karbür taneleri T3’e göre daha fazla miktarda gözlenmektedir. Krom karbür yoğunluğu artışının sağlandığı görülmektedir.

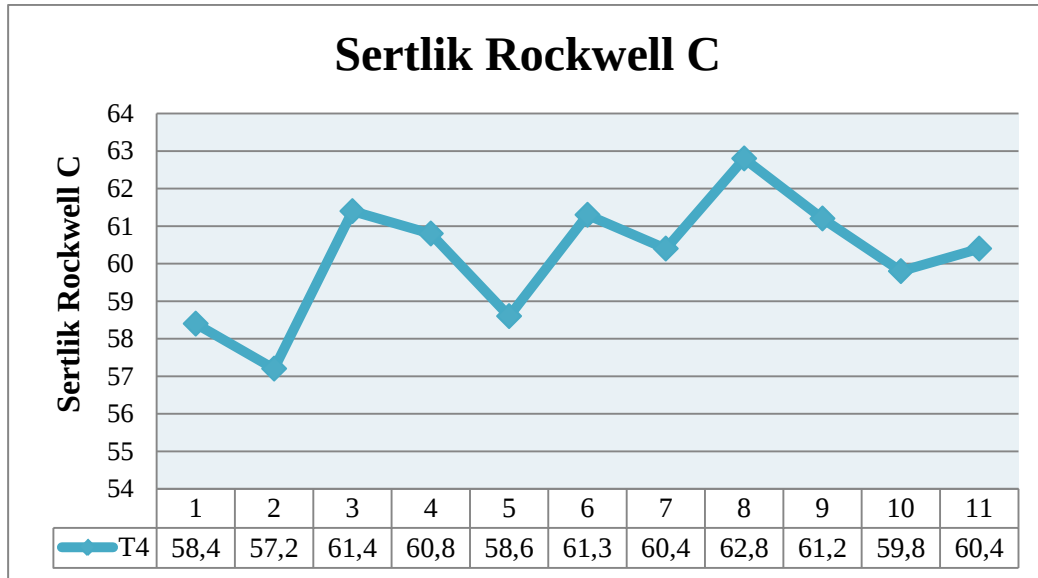
#### 5.4.3 Tasarım 4 aşınma plakasının sertlik deneyi ve sonuçları

**Çizelge 5.14:** Tasarım 4 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları

| Numune Kodu | Sertlik Rockwell C                                     | Sertlik Ortalama |
|-------------|--------------------------------------------------------|------------------|
| T4          | 58,4-57,2-61,4-60,8-58,6-61,3-60,4-62,8-61,2-59,8-60,4 | 60,2             |

Sertlik test sonuçları ve grafiği incelendiği takdirde Tasarım 4 numunesinin bir önceki tasarıma göre daha yüksek ortalama sertlik değeri elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, aşınma dayanımı performansındaki iyileşme sonucunu da desteklemektedir. Bir önceki tasarıma göre kimyasal bileşimdeki iyileşme nedeniyle sertlik değeri daha yüksek olmuştur.

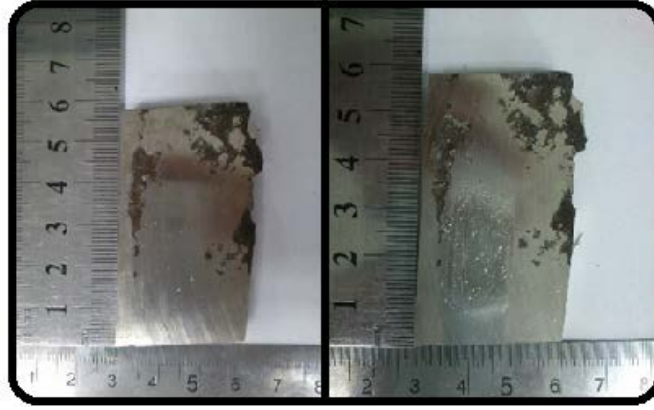
**Çizelge 5.15:** Tasarım 4 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçlarını içeren grafik



#### 5.4.4 Tasarım 4 aşınma plakasının aşınma deneyi ve sonuçları

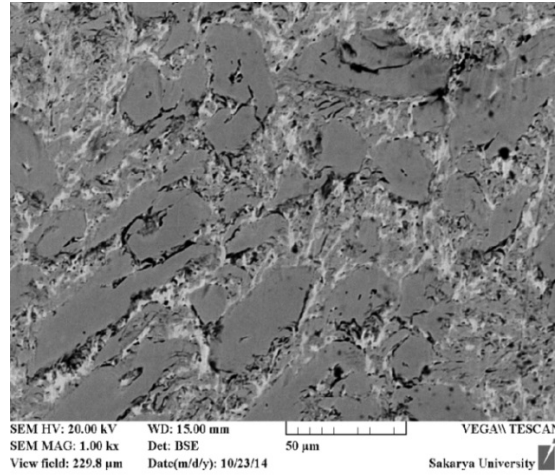
**Çizelge 5.16:** Tasarım 4 aşınma plakasının aşınma deneyi sonuçları

| Numune Kodu | İlk Ağırlık | Son Ağırlık | Ağırlık Kaybı | % Ağırlık Kaybı |
|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|
| T4          | 115,9784    | 115,9176    | 0,0608        | 0,0522          |



**Şekil 5.27 :** Tasarım 4 numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü

T4 numunesinin aşınma testi sonucundaki % ağırlık kaybı miktarı önceki tasarımlara göre daha az olmuştur buna bağlı olarak da malzeme üst yüzeyindeki aşınma izi önceki tasarımlarda meydana gelen aşınma izlerine göre daha az belirgin görünmektedir.



**Şekil 5.28 :** Tasarım 4 numunesinin aşınma testi sonrası 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

Aşınma testi sonrası üst yüzeyden alınan taramalı elektron görüntüsü Şekil 5.29’da görülmektedir. Aşınma testindeki aşındırıcı Ottawa silis kumu aşındırıcısının sebep olduğu aşınma izlerinin ötektik fazda daha belirgin, hegzagonal birincil karbürlerin bulunduğu yerlerde çok daha hafif olduğu görülse de karbür yoğunluğu çok fazla olduğu için genel olarak aşınma etkisi daha az görülmektedir. Dolayısıyla karbür yoğunluğu iyice artmış krom karbürlerin durdurucu etkisinden daha belirgin şekilde söz edilebilir. Bu durumu göz önüne alarak aşınma testi sonrası mikroyapı incelemeleri göstermiştir ki krom karbür yoğunluğu daha fazla arttırmak aşınma dayanımının maksimize edilmesi bakımından yerinde olmaktadır.

## 5.5 Beşinci Aşınma Plakasının Tasarlanması

Sertliği ve abrasif aşınma dayanımı iyileşen T4 aşınma plakasının bu mekanik özelliklerinin daha da geliştirilmesi için kimyasal içeriği geliştirilerek Tasarım 5 (T5) isimli yeni bir aşınma plakası üretilmiştir.

Abrasif aşınma dayanımını karbür oluşumunu destekleyen ana elementler olan C ve Cr miktarı sabit tutulmaya çalışılarak, tane büyümesinde bir katkıda bulunan mangan elementi miktarları arttırılırken, Si miktarı korunmaya çalışılmıştır. T5 ismi verilen aşınma plakası içeriği Çizelge 5.17’de verilmektedir.

### 5.5.1 Tasarım 5 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi ve sonuçları

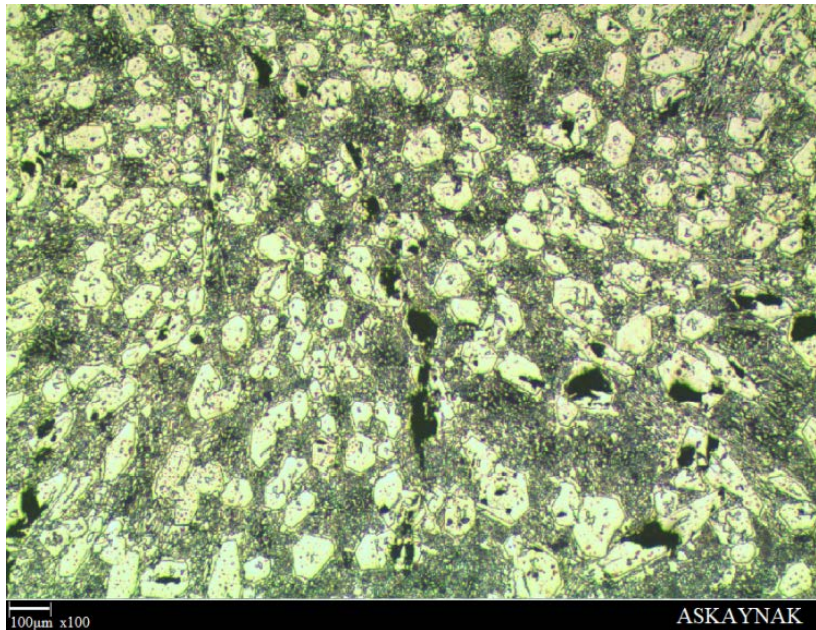
Üretilen Tasarım 5 aşınma plakası kimyasal bileşim değerleri Çizelge 5.17’de verilmiştir.

**Çizelge 5.17:** Tasarım 5 aşınma plakasının kimyasal bileşim deneyi sonuçları

| Kod | C     | Si    | Mn    | S     | Ni    | Mo    | Cu    | Nb    | V     | Cr     | Fe     |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| T5  | 4,990 | 1,030 | 1,290 | 0,014 | 0,161 | 0,004 | 0,027 | 0,006 | 0,057 | 28,200 | 70,700 |

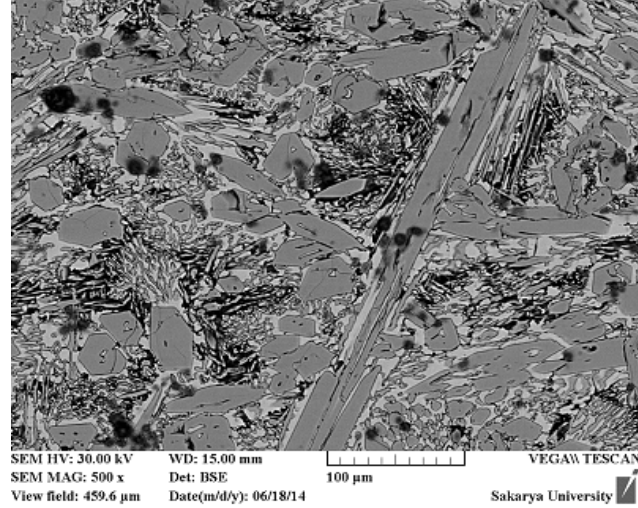
### 5.5.2 Tasarım 5 aşınma plakasının mikroyapı incelemesi ve sonuçları

T5 aşınma plakasının kaynak bölgesinin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde istenilen ötektiküsti  $M_7C_3$  birincil krom karbürler ile karşılaşılmıştır



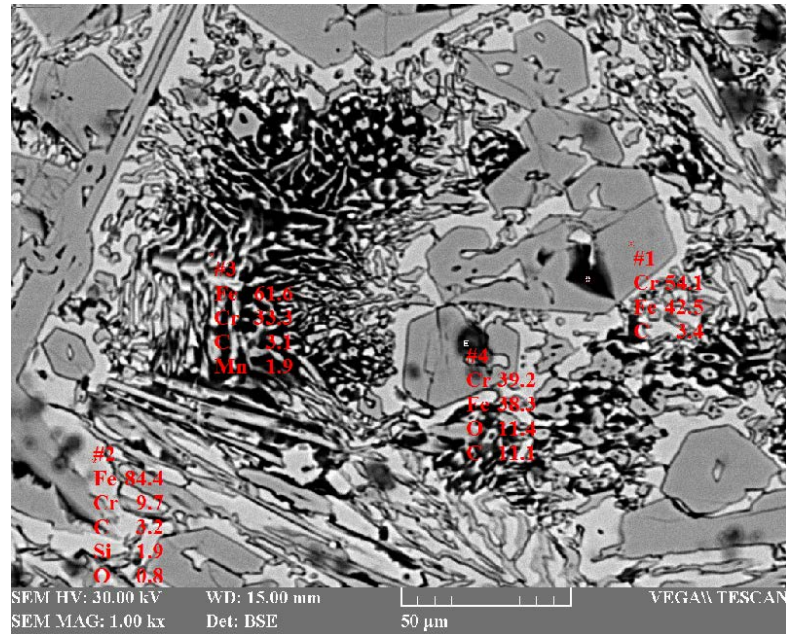
**Şekil 5.29 :** Tasarım 5 numunesinin 100x optik mikroskop üst yüzey görüntüsü

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde bu numenede de tüm bölgelerde istenildiği gibi birincil krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal birincil krom karbür taneleri T4'e göre daha fazla miktarda gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen krom karbür yapısı görülmektedir. Dolayısıyla karbür yoğunluğunun arttığından bahsedilebilir.



**Şekil 5.30 :** Tasarım 5 numunesinin 500x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

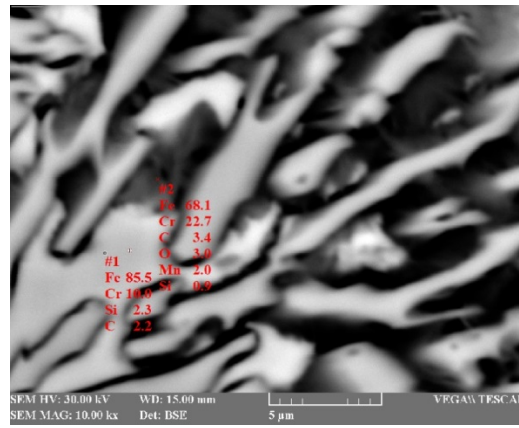
T5 numaralı numunenin EDX sonuçları aşağıda görülmektedir. EDX görüntüsü incelendiğinde kimyasal bileşim deneyi sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.31 :** Tasarım 5 numunesinin 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

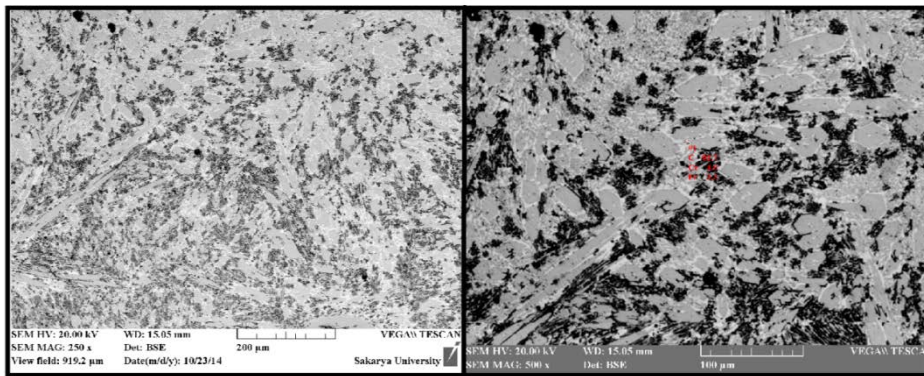
Birincil krom karbür fazda beklenildiği gibi en yüksek bileşimler sırasıyla Cr, Fe ve C olmuştur. Birincil krom karbürleri çevreleyen ötektik fazda ise Fe, Cr ve C sırasıyla bulunmaktadır.

Ötektik fazın detaylı incelenmesi mikroyapı ve EDX analizi olarak Şekil 5.33'te resimlenmiştir. Ötektik faz; karbür ve östenitten oluşmaktadır. Ötektik faz içerisinde bulunan karbürlerde ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde Fe ve Cr yer almaktadır bunlara ilaveten C oranında birincil karbür seviyesine yakın olduğu gözlemlenebilmektedir. Östenit fazının ana elementi olarak kimyasal bileşim değerinde de hakim element olan Fe ilk sırada yer almaktadır.



**Şekil 5.32 :** Tasarım 5 numunesinin 10000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm bölgelerde istenildiği gibi birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal krom karbür taneleri gözlenmektedir. Karbon miktarının yeterli olması sebebiyle hedeflenen ötektiküstü  $M_7C_3$  birincil krom karbür yapısı oluşmuştur



**Şekil 5.33 :** Tasarım 5 numunesinin 250x ve 1000x taramalı elektron mikroskobu kesit yüzey görüntüsü ve EDX analizi

Kesit EDX analizi sonuçları incelendiğinde ise beklenildiği gibi birincil krom karbürlerin karbon içerikleri kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. Mikroyapı incelemelerinde, hegzagonal birincil krom karbür taneleri T4'e göre daha fazla miktarda gözlenmektedir. Krom karbür yoğunluğu artışının sağlandığı görülmektedir.

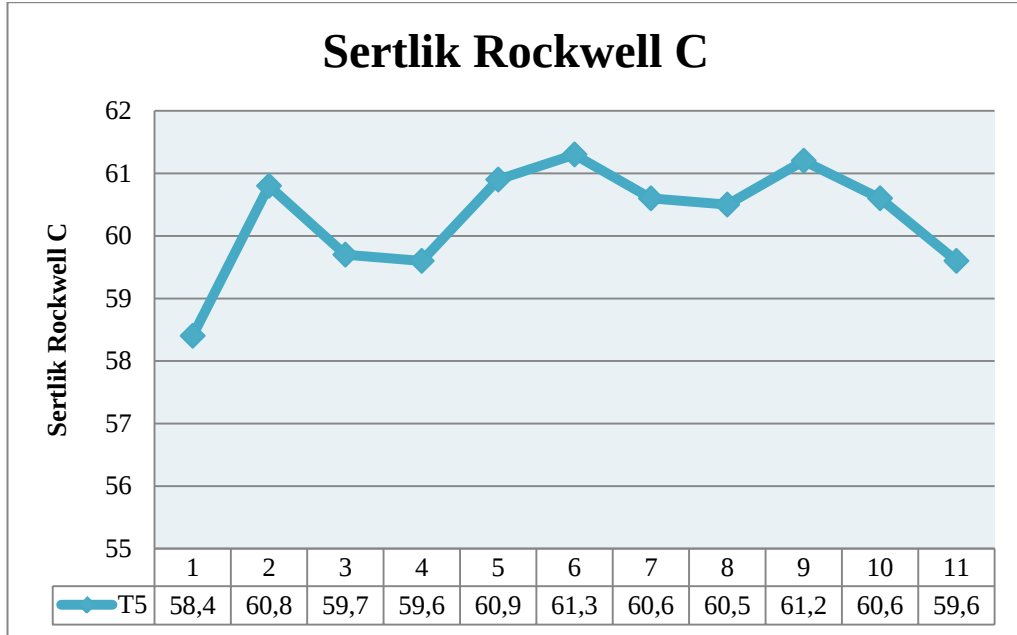
### 5.5.3 Tasarım 5 aşınma plakasının sertlik deneyi ve sonuçları

**Çizelge 5.18:** Tasarım 5 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları

| Numune Kodu | Sertlik Rockwell C                                     | Sertlik Ortalama |
|-------------|--------------------------------------------------------|------------------|
| T5          | 58,4-60,8-59,7-59,6-60,9-61,3-60,6-60,5-61,2-60,6-59,6 | 60,3             |

Sertlik test sonuçları ve grafiği incelendiği takdirde en yüksek ortalama sertlik bu tasarımda elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, aşınma dayanımı performansındaki iyileşme sonucunu da desteklemektedir. Kimyasal bileşimdeki iyileşme nedeniyle sertlik değeri daha yüksek olmuştur.

**Çizelge 5.19:** Tasarım 5 aşınma plakasının sertlik deneyi sonuçları içeren grafik



#### 5.5.4 Tasarım 5 aşınma plakasının aşınma deneyi ve sonuçları

**Çizelge 5.20:** Tasarım 5 aşınma plakasının aşınma dayanımı deneyi sonuçları

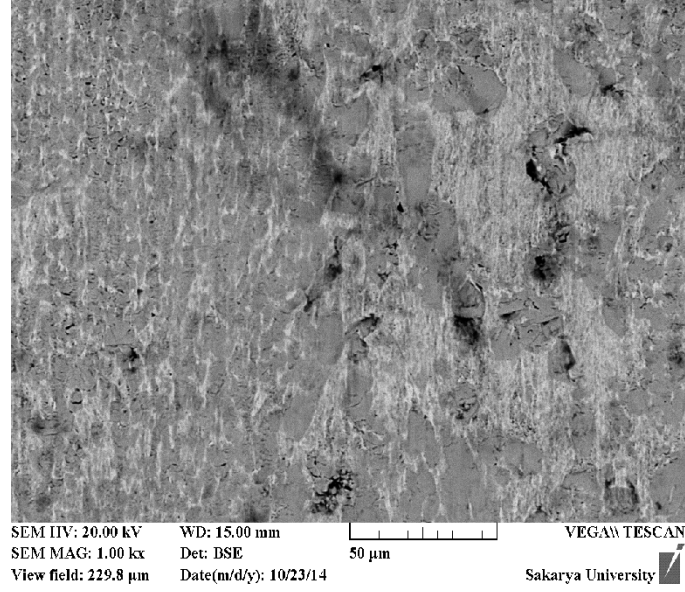
| Numune Kodu | İlk Ağırlık | Son Ağırlık | Ağırlık Kaybı | % Ağırlık Kaybı |
|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|
| T5          | 161,546     | 161,4662    | 0,0798        | 0,0499          |

T5 numunesinin aşınma testi sonucundaki % ağırlık kaybı miktarı önceki tasarımlara göre daha az olmuştur buna bağlı olarak da malzeme üst yüzeyindeki aşınma izi önceki tasarımlarda meydana gelen aşınma izlerine göre daha az belirgin görünmektedir.



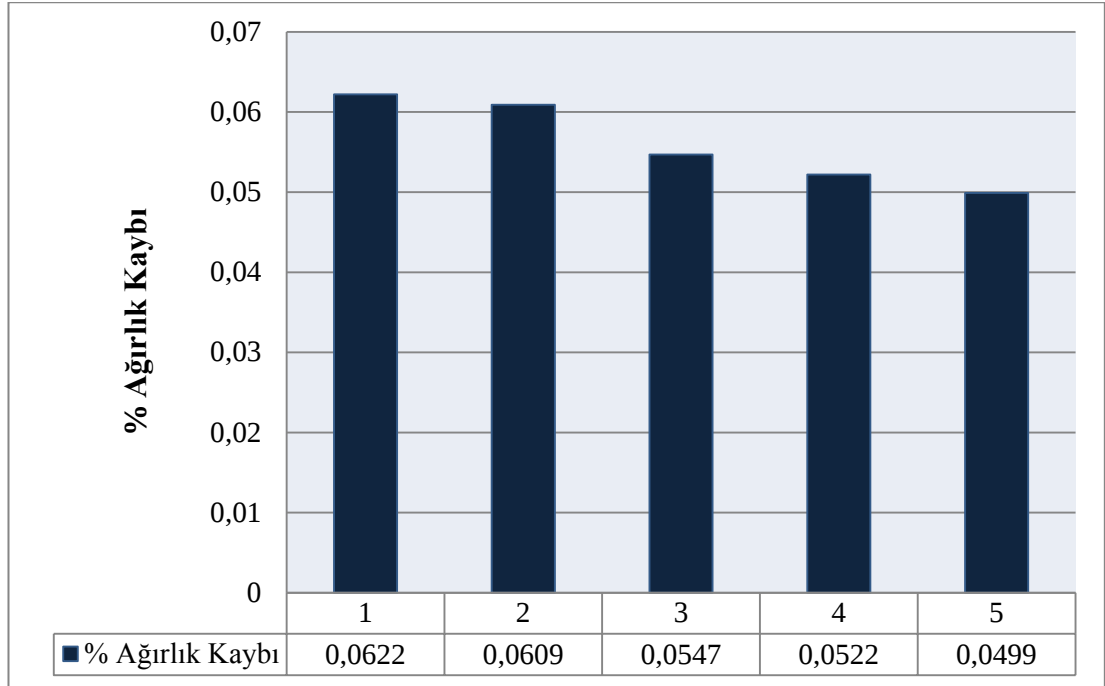
**Şekil 5.34 :** Tasarım 5 numunesinin aşınma testi öncesi ve sonrası üst yüzey görüntüsü

Aşınma testi sonrası üst yüzeyden alınan taramalı elektron görüntüsü Şekil 5.36'da görülmektedir. Aşınma testindeki aşındırıcı Ottawa silis kumu aşındırıcısının sebep olduğu aşınma izlerinin ötektik fazda daha belirgin, hegzagonal birincil karbürlerin bulunduğu yerlerde çok daha hafif olduğu görülse de karbür yoğunluğu çok fazla olduğu için genel olarak aşınma etkisi daha az görülmektedir. Dolayısıyla karbür yoğunluğu iyice artmış krom karbürlerin durdurucu etkisinden daha belirgin şekilde söz edilebilir. Bu durumu göz önüne alarak aşınma testi sonrası mikroyapı incelemeleri göstermiştir ki krom karbür yoğunluğu daha fazla arttırmak aşınma dayanımının maksimize edilmesi bakımından yerinde olmaktadır.

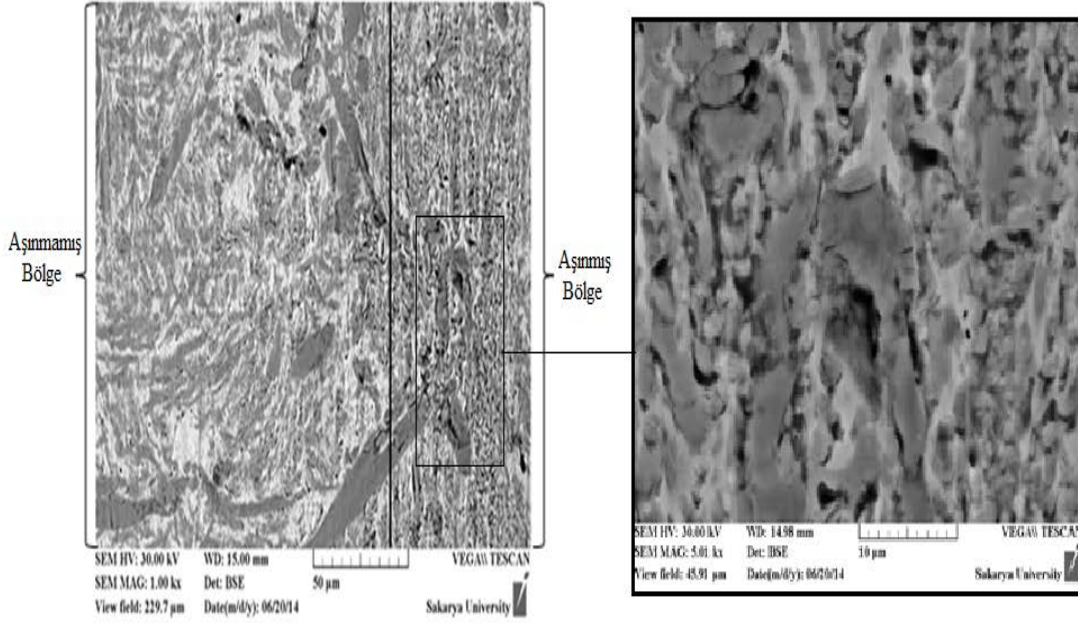


**Şekil 5.35 :** Tasarım 5 numunesinin aşınma testi sonrası 1000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

**Çizelge 5.21:** Tasarım aşınma plakalarının aşınma dayanımlarının karşılaştırılması



Tüm tasarımların % ağırlık kayıpları Çizelge 5.21’de verilmiştir, çizelgeye istinaden tasarımların aşınma miktarlarındaki azalma yani aşınma dayanımı gelişimi olumlu görünmektedir.



**Şekil 5.36 :** Aşınma plakası numunesinin aşınma testi sonrası 1000x ve 5000x taramalı elektron mikroskobu üst yüzey görüntüsü

Şekil 5.37’de ASTM G65 abrasif aşınma testi sonrasında, aşınmaya maruz kalmış ve aşınmaya maruz kalmamış bölgeler görülmektedir. Hegzagonal birincil krom karbür tanelerin abrasif aşınma karşısında bariyer etkisi yaparak, aşınmayı engelledikleri ve tamamen parçalanmadıkları görülmektedir. Chang C.M. ve arkadaşları da  $M_7C_3$  yani birincil  $(Cr,Fe)_7C_3$  karbürlerinin abrasif aşındırıcı partikülün ayrılma, oyulma ve kesme gibi mikro aşınma etkilerine karşı durdurucu etkisi olduğundan bahsetmektedirler [34].

Klorobütıl lastik ile temas halindeki silis kumu abrasif parçacık teması malzeme üzerinde sabit bir iz açıcı gibi davrandığından oymalı abrasif aşınma türü denilebilmektedir. Abrasif parçacıkların neden olduğu oyulmalar ve izler karbür üzerinden geçtiği yerlerde azalmaktadır.

Aşınma davranışı malzeme sertliğinden etkilenebildiğinden mikro sertliği ötektik fazlardan yüksek ancak birincil krom karbürlerden düşük olan  $SiO_2$  tanelerin etkisi birincil krom karbür faz karşısında sınırlı olmaktadır. Hegzagonal birincil karbürler  $SiO_2$  tanelerin neden olduğu abrasif aşınma karşısında daha iyi dayanımı göstermektedir. Buna karşın silis kumu taneleri ötektik koloniye kolayca aşındırabilmektedir. Dolayısıyla, krom karbür taneler bu noktada iyi bir çözüm olmaktadır.

## 6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan bu çalışmada piyasada mevcut olarak kullanılmakta olan S235 JR alaşımsız yapı çeliğinin üzerine silindirik melez bir kaynak sistemiyle sert dolgu kaynak kaplaması yapılarak üretilen aşınma plakalarının mekanik ve kimyasal özellikleri incelenmiş, karakterize edilmiş ve özellikleri daha da geliştirilerek aşınma plakası ürünlerinin optimizasyonu ve gelişimi sağlanmıştır.

Aşınma plakalarının özelliklerin incelenmesi, karakterizasyonu ve tasarlanması için deney planı oluşturulmuştur. Bu deney planına göre kaynak deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tecrübeler doğrultusunda sert dolgu kaynağıyla üretilen aşınma plakaları uygulamalarına özelleştirilmiş balık kılıcı hazırlanmıştır. Literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırmalar yapılarak elde edilen sonuçların geçerliliği araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Aşınma Plakalarının sanayideki birçok alanda kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Aşınma Plakalarının kullanımının yaygınlaşması sonucunda sanayi kuruluşlarında aşınmaya bağlı üretim ve hizmet kesintisinin daha aza indirilmesiyle beraber maliyetlerde belirgin azalma ve üretim verimliliğinde artış öngörülmektedir. Belirtilen karakterizasyon çalışmalarının ardından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- ✓ Sert dolgu kaynak kaplama işlemi gerçekleştirildikten sonra, aşınma plakalarının özelliklerinin incelenmesi ve karakterizasyonu gerçekleştirilerek numunelerin kimyasal bileşim ve sertlik değerlerinin EN 14700 Fe-14 standardına uygunluğu araştırılmıştır.
- ✓ Optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopuyla yapılan üst yüzey ve kesit mikroyapı incelemelerinde 3 numaralı numune hariç tüm aşınma plakası numunelerinde beklenen birincil krom karbürleri içeren ötektiküstü sistemi oluşarak hegzagonal  $M_7C_3$  birincil krom karbürler gözlemlenmiştir. 3 numaralı aşınma plakası numunesinde, karbon oranının yetersizliğinden oluştuğu düşünülen ve dayanım özelliklerini olumsuz yönde etkilediği için

istenmeyen ötektikaltı birincil östenit yapısı ve birincil östenitik faz içinde dağılan ötektik  $M_7C_3$  karbürleri tespit edilmiştir. Tüm aşınma plakaları numunelerinin EDX incelemeleri sonuçlarının kimyasal bileşim deneyi sonuçlarıyla uyumlu oldukları doğrulanmıştır. Kesit EDX analizi sonuçları incelendiğinde ise beklenildiği gibi birincil krom karbürlerin karbon içerikleri kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir.

- ✓ Sertlik testi sonuçları mikroyapı analizi sonuçlarını destekleyerek en düşük ve olağanın altında olacak şekilde 3 numaralı aşınma plakası numunesinde elde edilmiştir.
- ✓ Aşınma testleri aşınma plakalarının hedeflenen kullanım alanında görülen abrasif aşınmayı içeren çalışma ortamına en uygun olan ASTM G 65 test standartları çerçevesinde test cihazı ve bileşenleri temin edilerek ASTM G 65 prosedürü doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Aşınma dayanımı testleri de diğer test sonuçlarıyla uyumlu olacak şekilde aşınma plakaları arasında belirgin şekilde en düşük aşınma dayanımı 3 numaralı numunede gözlemlenmiştir.
- ✓ ASTM G65 abrasif aşınma testinin bir başka ama önemli sonucu olarak aşınma plakaları numunelerinin S235JR ve Hardox numunelerine göre oldukça yüksek aşınma dayanımı gösterdikleri tespit edilmiştir.

Yukarıdaki değerlendirmeler göz önünde bulundurularak 3 numaralı aşınma plakası numunesinin kimyasal bileşim, sertlik olarak standardın aralık değerleriyle ilişkili olmasına rağmen ASTM G65 aşınma dayanım performansı ve sertlik değeri açısından beklenen değerleri karşılamaması nedeniyle yeni aşınma plakası tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan aşınma plakalarının aşınma dayanımı ve sertlik özellikleri Şekil 4.37'deki Fe-Cr-C faz diyagramlarını temel alarak çalışma sıcaklığında karbon oranının en az %3,5 olması öngörülmüştür. Bu sayede oluşması istenen ve temel özellik artışlarını gerçekleştireceği öngörülen  $(Cr,Fe)_7C_3$  ( $M_7C_3$ ) karbür yoğunluğunu artışı, sertlik ve aşınma dayanımının önemli oranda artırılması öngörülmüş, beş adet aşınma plakası tasarımı ile geliştirilme çalışmalarının ardından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- ✓ İlk tasarımın % kimyasal bileşim içeriği; C:3,5 / Cr: 27,4/ Fe:71,1 / Si:0,37 / Mn:0,58. T1 aşınma plakasının kaynak bölgesinin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde istenilen  $M_7C_3$  birincil krom karbürler ile karşılaşılmıştır. Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde ise bu numunedeki tüm bölgelerde istenildiği gibi ötektiküstü  $M_7C_3$  birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmamıştır. Kesit mikroyapı incelemelerinde,  $M_7C_3$  hegzagonal krom karbür taneleri ve dendritik birincil östenitik faz ve ötektik karbürleri gözlenmektedir. Karbon miktarının kesit boyunca yeterli olmaması sebebiyle hedeflenen  $M_7C_3$  birincil krom karbür yapısı beklenen seviyede görülememektedir. Numunedeki kesit incelemelerinde bölgesel olarak ortaya çıkan iki farklı krom karbür yapısının daha da geliştirilebileceğini göstermektedir. Kesit EDX analizi sonuçları incelendiğinde ise beklenen karbürlerin karbon içeriklerinin kaplamanın ana metale yakın kısmından kaplamanın yüzey kısmına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. Sertlik test sonuçları incelendiği takdirde Tasarım 1 numunesinde geliştirilmesi hedeflenen 3 numaralı ürüne göre daha yüksek ortalama sertlik değeri elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, aşınma dayanımı performansındaki iyileşme sonucunu da desteklemektedir. 3 numaralı aşınma plakasına göre kimyasal bileşimdeki iyileşme nedeniyle aşınma dayanımı ve sertlik değeri daha yüksek olsa da öngörülenin altındadır.
- ✓ Bu yüzden ikinci yapılan aşınma plakası tasarımında C elementi arttırılarak % kimyasal içeriği; C:4,0 / Cr: 27,4/ Fe:71,1/ Si:0,43 / Mn:0,57 oluşturulmuştur. T2 aşınma plakasının kaynak bölgesinin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde istenilen ötektiküstü  $M_7C_3$  birincil krom karbürler ile karşılaşılmıştır. Kesitten alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde ise bu numunedeki tüm bölgelerde istenildiği gibi  $M_7C_3$  birincil hegzagonal krom karbür yapısına rastlanmıştır. Kesit mikroyapı incelemelerinde,  $M_7C_3$  hegzagonal krom karbür taneleri gözlenmektedir. Karbon miktarının kesit boyunca da yeterli olmaması sebebiyle T1 numunesinin aksine hedeflenen  $M_7C_3$  birincil krom karbür yapısı beklenen seviyede görülememektedir. EDX sonuçları da kimyasal bileşim deneyi sonuçlarıyla uyumludur. T1 tasarımına göre gelişen mikroyapı

ve karbür yoğunluğuna bağlı olarak T1'e göre daha yüksek ortalama sertlik değeri elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, aşınma dayanımı performansındaki iyileşme sonucunu da desteklemektedir.

- ✓ Üçüncü aşınma plakası tasarımında C elementi daha da artırılarak % kimyasal içeriği; C:5,0 / Cr: 28,2/ Fe:71,1/ Si:0,43 / Mn:0,57 oluşturulmuştur. T3 aşınma plakasının kaynak bölgesinin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopuyla hem üst yüzey hem de kesit görüntüleri incelendiğinde istenilen ötektiküstü yapıdaki  $M_7C_3$  birincil krom karbürlerinin önceki numunelere göre belirgin şekilde artmış olduğu görülmüştür.  $M_7C_3$  hegzagonal krom karbür taneleri rahatlıkla gözlenmektedir. EDX analizleri, kimyasal bileşim analizi ile paralellik göstermektedir. T2 tasarımına göre gelişen mikroyapı ve karbür yoğunluğuna bağlı olarak T2'e göre daha yüksek ortalama sertlik değeri elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, aşınma dayanımı performansındaki iyileşme sonucunu da desteklemektedir.
- ✓ Dördüncü aşınma plakası tasarımında C elementi sabit tutularak alaşım elementlerinden Si artırılarak % kimyasal içeriği; C:5,0 / Cr: 28,2/ Fe:71,1/ Si:1,03 / Mn:0,57 oluşturulmuştur. T4 aşınma plakasının kaynak bölgesinin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopuyla hem üst yüzey hem de kesit görüntüleri incelendiğinde istenilen  $M_7C_3$  birincil krom karbürlerinin olduğu görülmüştür.  $M_7C_3$  hegzagonal krom karbür taneleri rahatlıkla gözlenmektedir. EDX analizleri, kimyasal bileşim analizi ile paralellik göstermektedir. T4 tasarımındaki gelişen mikroyapı ve karbür yoğunluğuna bağlı olarak önceki numunelere göre daha yüksek ortalama sertlik değeri elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, aşınma dayanımı performansındaki iyileşme sonucunu da desteklemektedir.
- ✓ Beşinci aşınma plakası tasarımında C ve Si elementleri sabit tutularak alaşım elementlerinden Mn artırılarak % kimyasal içeriği; C:5,0 / Cr: 28,2/ Fe:68,7/ Si:1,03 / Mn:1,29 oluşturulmuştur. T5 aşınma plakasının kaynak bölgesinin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopuyla hem üst yüzey hem de kesit görüntüleri incelendiğinde istenilen  $M_7C_3$  birincil krom karbürlerinin olduğu görülmüştür.  $M_7C_3$  hegzagonal krom karbür taneleri önceki numunelere göre daha rahat gözlenmektedir. Mn elementinin tane büyütücü etkisinin burada rol oynadığından söz edilebilir. EDX analizleri, kimyasal

bileşim analizi ile paralellik göstermektedir. T5 tasarımındaki gelişmiş mikroyapı ve karbür yoğunluğuna bağlı olarak önceki numunelere göre daha iyi aşınma dayanımı değeri elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, aşınma dayanımı performansındaki iyileşme sonucunu da desteklemektedir.

- ✓ Tüm tasarımların % ağırlık kayıpları Çizelge 5.21’de verilmiştir, çizelgeye istinaden tasarımların aşınma miktarlarındaki azalma yani aşınma dayanımı gelişimi olumlu görünmektedir.
- ✓ Ortalama sertlik değerleri son tasarımların deneysel sonuçları itibariyle başlangıç numunesi olan 3 numaralı numuneye göre 10 Rockwell C kadar artmıştır. Bu durumda, C oranının artışı ön plandadır.
- ✓ % ağırlık kayıplarına bağlı olarak aşınma dayanımları malzemelerin sertliklerinin artışıyla uyumlu olsa da sertlik değerleri ve aşınma dayanımları arasında doğrusal bir ilişki yoktur.
- ✓ Aşınma plakalarında %karbon oranının artmasıyla birlikte karbür yapısı miktarı artmıştır. Bu artışa bağlı olarak sertlik ve abrasif aşınma dayanımı da artmaktadır.
- ✓ Tüm tasarımların kimyasal bileşim değerleri EN 14700 Fe-14, Fe-15 standardıyla örtüşmektedir. Dolayısıyla tüm aşınma plakası tasarımlarında standartta belirtilen mikroyapı içeriği gözlemlenmiştir. Ayrıca, tüm tasarımların sertlik testi sonuçları aynı standardın sertlik değer aralığı ile paralellik göstermektedir ve kullanım alanı olan abrasif aşınma dayanımı standardı ile örtüşmektedir.
- ✓ Şekil 5.37’de ASTM G65 abrasif aşınma testi sonrasında, aşınmaya maruz kalmış ve maruz kalmamış bölgeler incelenmiştir. Abrasif aşınmanın ötektik fazda daha çok olduğu görülmüştür. Hegzagonal birincil krom karbür tanelerin abrasif aşınma karşısında durdurucu bariyer etkisi yaparak, aşınmayı engelledikleri ve tamamen parçalanmadıkları tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalar kapsamında aşınma plakaları istenilen kaynak kalitesini sağlamakla beraber tasarım aşamasından sonra uygulamanın gerekli mekanik ve kimyasal özellikleri sağladığı görülmektedir. Aşınma plakaları diğer muadil malzemelere göre üstünlük sağlamaktadır. Abrasif aşınma dayanım performansı ve fiyatı gibi tekno-ekonomik faktörler de göz önüne alındığı takdirde aşınma plakaları birçok uygulama için rakipsiz konuma gelmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Davis, J., R.**, (2001). Surface engineering for corrosion and wear resistance, ASM International, United States of America, 1-44.
- [2] **Gnecco, E., Bennewitz, R., Gyalog, T., Loppacher, C., Bammerlin, M., Meyer, E. ve Güntherodt, H., J.**, (1999). Velocity Dependence of Atomic Friction, Physical Review Letters, Volume 84, Number 6.
- [3] **Budinski, K., G.**, (2007). Guide to friction, wear and erosion testing, ASTM International, United States of America, MNL56.
- [4] **Dumovic, M.**, (2003). Repair and maintenance procedures for heavy machinery components, *Welding Innovation Volume XX*, Number 1.
- [5] **Neale, M., J. ve Gee, M.**, (2001). Guide to wear problems and testing for industry, William Andrew Publishing, 6-15.
- [6] **Yusufoğlu, I.**, (2012). İstanbul Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarı II Deney Föyü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- [7] **Ghasemi Owsalou, R.**, (2012). Aşınmaya maruz parçaların aşınma dayanımlarının araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, 20-60.
- [8] **Bhushan, B.**, (2013). Introduction to tribology, Welley Publishing, United Kingdom, 1-5.
- [9] **ASTM G65-00**, (2000). Standard test method for measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus, ASTM International, West Conshohocken, United States.
- [10] **Gencil, O., Gök, M., S. ve Brostow W.**, (2011). Effect of metallic aggregate and cement content on abrasion resistance behaviour of concrete, *Materials Research Innovations*, Vol 15, No 2, 116-122.
- [11] **Gates, J., D.**, (1998). Two body and three body abrasion a critical discussion, *Wear* 214, 139-146.
- [12] **Chatterjee, S. ve Pal, T., K.**, (2006). Solid particle erosion behaviour of hardfacing deposits on cast iron-influence of deposit microstructure and erodent particles, *Wear* 261, 1069-1079.
- [13] **Hıdıroğlu, M.**, (2012). Aşınan makine parçalarına uygulanan sert dolgu kaynağının aşınma özelliklerinin araştırılması, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, 23-29.
- [14] **Dikicioğlu, A. ve Vural M.**, (1993). Sert dolgu kaynağı ile tamir bakım, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Yayınları, 35-65.
- [15] **Cavcar, M.**, (1998). Metallurgical selection of iron based hardfacing materials, Oerlikon Yayınları, 1-9, İstanbul.
- [16] **Wang, X.H., Han, F., Qu, S.Y. ve Zou, Z.D.**, (2008). Microstructure of the Fe based hardfacing layer reinforced by TiC VC Mo<sub>2</sub>C particles, *Surface and Coating Technology* 202, 1502-1509.
- [17] **Wang, X., Han, F., Liu, X., Qu, S. ve Zou, Z.**, (2008). Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy, *Wear* 265, 583-589.
- [18] **BS EN 14700**, (2005). Welding consumables and welding consumables for hardfacing, European Committee for Standardization, Brussels.

- [19] **Mendez, P.F., Barnes, N., Bell, K., Borle, S.D., Gajapani, S.S., Guest, S.D., Izadi, H., Gol, A.K. ve Wood, G.,** (2013). Welding processes for wear resistant overlays, *Journal of Manufacturing Processes* 189, 1-22.
- [20] **Tarng, Y., S., Juang, S., C. ve Chang, C.,H.,** (2002). The use of grey based taguchi methods to determine submerged arc welding process parameters in hardfacing, *Journal of Materials Processing Technology* 128, 1-6.
- [21] **Lin, C., M., Lai, H., H., Kuo, J., C. ve Wu, W.,** (2011). Effect of carbon content on solidification behaviours and morphological characteristics of the constituent phases in Cr-Fe-C alloys, *Materials and Characterization* 62, 1124- 1133.
- [22] **Liu, D., Liu, R. ve Wei, Y.,** (2012). Effects of Ti additive on microstructure and wear performance of iron-based slag-free self shielded flux cored wire, *Surface and Coatings Technology* 207, 579-586.
- [23] **Chung R., J., Tang, X., Li, D.,Y., Hinckley, B. ve Dolman, K.,** (2009). Effects of titanium addition on microstructure and wear resistance of hypereutectic high chromium cast iron, *Wear* 267, 356-361.
- [23] **Zhou, Y., F.,** (2012). Microstructure and carbide refinement mechanism with ceria additive, *Material Characterization* 72, 77-86.
- [24] **Lu, S., L., Kwon, O.,Y., Kim, T., B. ve Kim, K., H.,** (2004). Microstructure and wear property of Fe-Mn-Cr-Mo-V alloy cladding by submerged arc welding, *Journal of Materials Processing Technology* 147, 191-196.
- [25] **Veinthal, R., Sergejev, F., Zikin, A., Tarbe, R. ve Hornung, J.,** (2013). Abrasive impact wear and surface fatigue wear behaviour of Fe-Cr-C PTA overlays, *Wear* 310, 102-108.
- [26] **Çapın, H.,** (2014). S235JR Alaşımsız çelik boruların dik pozisyonda orbital kaynak cihazı ile birleştirilmesi ve uygulamanın optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, 2-60.
- [27] **Adamiak, M., Gorka, J. ve Kik, T.,** (2009). Comparison of abrasion resistance of selected constructional materials, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering Volume* 37, 375-379.
- [28] **Buchely, M., F., Gutierrez, J., C., Leon, L., M. ve Toro, A.,** (2005). The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys, *Wear* 259, 52-61.
- [29] **Kolhe, K., P. ve Datta, C., K.,** (2008). Prediction of microstructure and mechanical properties of multipass SAW, *Journal of Materials Processing Technology* 197, 241-249.
- [30] **Miller, B.** (2008). Chrome carbide overlay plate, Alındığı tarih: 31.01.2014, adres: <http://www.cladtechnologies.com/articles/crcarbide/article.htm>
- [31] **Nowacki, J. ve Rybicki, P.,** (2005). The influence of welding heat input on submerged arc welded duplex steel joints imperfections, *Journal of Materials Processing Technology*, 1082-1088.
- [32] **Ghosh, A., Chattopadhyaya, S., Das, R., K. ve Sarkar, P., K.,** (2011). Procedia Engineering, 10, 2782-2785 Ghosh, A., Chattopadhyaya, S., Das, R., K., Sarkar, P., K., (2011). *Procedia Engineering*, 10, 2797-2802.

- [33] **Tarng, Y., S., Juang, S., C. ve Chang, C., H.,** (2002). The use of grey-based Taguchi methods to determine submerged arc welding process parameters in hardfacing, *Journal of Materials Processing Technology* 128, 1-6.
- [34] **Chang, C., M., Lin, C., M., Hsieh, C., C., Chen, J., H., Fan, C., M. ve Wu, W.,** (2009). Effect of carbon content on microstructural characteristics of the hypereutectic Fe-Cr-C claddings, *Material Chemistry and Physics* 117, 257-261.
- [35] **Khvan, A., V., Hallstedt, B. ve Broeckmann, C.,** (2014). A thermodynamic evaluation of the Fe-Cr-C system, *Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry* 46, 24-33.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Umut Doğan TURUNÇ

**Doğum Yeri ve Tarihi:** İstanbul, 27/01/1990

**Adres:** Akkoza Konutları Açelya Evleri D Blok Daire 2 Bahçeşehir / İSTANBUL

**E-Posta:** uturunc@msn.com

**Lisans:** İstanbul Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği – İşletme .

### **Mesleki Deneyim ve Ödüller:**

- Eczacıbaşı Holding Kariyer Test Sürüşü programı ile Ağustos 2013 tarihinde ürün geliştirme projesiyle dahil olduğum Eczacıbaşı – Lincoln Electric ASKAYNAK ailesinde Ağustos 2014 tarihinden beri Kategori Uzman Yardımcısı olarak çalışmaktayım.