

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

**ISIL İŞLEMLİ AISI 4140 ÇELİĞİNİN
ABRASİV AŞINMASININ ARAŞTIRILMASI**

Mustafa Çağrı ÖZKADER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Kamil ÖZDİN**

**OCAK 2015
ÇORUM**

Mustafa Çağrı ÖZKADER tarafından hazırlanan “Isıl işlemlili AISI 4140 Çeliğinin Abrasiv Aşınmasının Araştırılması” adlı tez çalışması 13/01/2015 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliğı / oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZGEDİK

Yrd. Doç. Dr. Kamil ÖZDİN

Yrd. Doç. Dr. M. Emin ERDİN



Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 16/01/2015 tarih ve 2015/08 sayılı kararı ile Mustafa Çağrı ÖZKADER’in Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ derecesi alması onanmıştır.



Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü ✓

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.



Mustafa Çağrı ÖZKADER

ISIL İŞLEMLİ AISI 4140 ÇELİĞİNİN ABRASİF AŞINMASININ ARAŞTIRILMASI

Mustafa Çağrı ÖZKADER

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2015

ÖZET

Bu çalışmada ısıtıl işlemin, AISI 4140 çeliğinin abrasiv aşınma özelliği üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla silindirik halde temin edilen AISI 4140 çelik malzemeden aşınma, sertlik ve çekme test numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerin bir kısmı kontrol grubu olarak kullanılmak üzere hiçbir işleme tabi tutulmamış; geri kalanlara yumuşatma, normalizasyon ve sertleştirme tavlama uygulanarak 4 malzeme grubu oluşturulmuştur. Tüm numunelere sertlik, çekme ve aşınma deneyleri uygulanmıştır. Aşınma deneyleri 50 m/dk sabit çevresel hızda, 80 metrelik 3 aşamalı, toplamda 240 metre kayma yolunda gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde uygulanan yükün aşınma miktarına etkisini belirlemek amacıyla 3 farklı yük ve ayrıca zımpara tane büyüklüğünün de aşınma miktarına etkisini araştırmak amacıyla da 120, 180 ve 360 numara olmak üzere, 3 farklı zımpara kullanılmıştır. Taze zımpara boyunun aşınma miktarıyla ilişkisini gözlemlemek amacıyla da 80 mm, 120 mm ve 160 mm olmak üzere 3 farklı zımpara çalışma çapı kullanılmıştır.

Deneylemler sonunda sertleştirme ve normalizasyon ısıtıl işleminin AISI 4140 malzemenin sertliğini, çekme dayanımını ve aşınma direncini arttırdığı, yumuşatma tavlama ise malzemenin bu değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. En yüksek aşınma, yumuşatma tavlama uygulanan numunede, 5N yük ve 120 numara zımpara ile 160 mm çalışma çapında, en düşük aşınma ise sertleştirilmiş numunede 2N yük ve 360 numara zımpara ile 80 mm çalışma çapında gözlenmiştir.

Ayrıca yük ile aşınma miktarı arasında doğrusal bir ilişki olduğu, taze zımpara boyundaki artışın aşınma miktarını arttırdığı görülmüştür. Toplam aşınma yolu arttıkça toplam aşınma miktarı da artmıştır. Ancak birim yoldaki aşınma miktarı yol arttıkça azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: AISI 4140, abrasiv aşınma, ısıl işlem, sertleştirme, taze zımpara boyu, yük – aşınma ilişkisi, zımpara çalışma çapı

INVESTIGATION OF ABRASIVE WEARING OF HEAT TREATED AISI 4140 STEEL

Mustafa Çağrı ÖZKADER

HITIT UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
January 2015

ABSTRACT

In this study, effect of heat treatment on abrasive wearing of AISI 4140 was investigated. Test samples which were made out of AISI 4140 were prepared for hardness test, wear test and tensile test. Some of the samples were reserved without heat treatment for control group of tests. Normalization, softening and quenching heat treatments were applied on the other samples. So four test sample groups were formed. Tensile tests, wearing tests and hardness tests were applied to all sample groups. Wearing tests were applied with 50 m/min fixed tip speed and on 240 m total wearing way with 80 m three steps. Three different loads (2, 3, 5 N) and sandpaper numbers (120, 180, 360) were used during tests for investigating effect of load and sandpaper number. Three sandpaper working diameter (80 mm, 120 mm, 160 mm) were used to investigate of effect of fresh sandpaper length on wearing.

According to experimental results of study, quenching and normalizing heat treatments were increased the hardness level, tensile strength and wear resistance of samples. However, softening was caused to decrease this properties. According to the results, the maximum worn samples are soft heat treated and minimum worn samples are quenched samples.

Results showed that; wearing rate had a direct proportion with load, total wear and fresh sandpaper way. But for unit way wear rate had inverse ratio with total way out of atrophing of sandpaper particles.

Keywords: AISI 4140, abrasive wear, heat treatment, quenching, fresh sandpaper length, load-volume loss relation, sandpaper working diameter

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Kamil ÖZDİN'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Halil AYKUL'a, atölye çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Uzm. Ahmet Çini ve Arş. Gör. Emre Kara'ya teşekkür ederim.

Tez malzemelerimin temini ve hazırlanması konusunda her türlü teknik desteği sağlayan Çorum Organize Sanayi Bölgesi firmalarından Altan Makine A.Ş. sahibi Makine Mühendisi Tanay KISAR ve Üretim Yöneticisi Muzaffer ÖZESKİCİ'ye, Esse Isıl İşlem firma sahipleri Metalurji ve Malzeme Mühendisi Abdullah AKTAŞ ve İsmail UNCULU'ya, Özduyu Elektromekanik firma sahipleri; Kamil – Kani ve Seyfi ÖZDUYUCU'ya, ve iş arkadaşım Metalurji ve Malzeme Mühendisi Yavuz Çağrı ÖZARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sürecinde anlayışlı davranışlarından dolayı tüm arkadaşlarıma ve bugünlere gelmemde en büyük maddi ve manevi desteği sağlayan kıymetli aileme teşekkür ederim.

Mustafa Çağrı ÖZKADER

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xiv |
| RESİMLER DİZİNİ..... | xviii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | xix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 10 |
| 2.1. Isıl İşlem..... | 10 |
| 2.1.1. Tavlama..... | 16 |
| 2.1.1.1. Normalizasyon tavlaması..... | 16 |
| 2.1.1.2. Yumuşatma tavlaması..... | 18 |
| 2.1.1.3. Gerilme giderme tavlaması | 20 |
| 2.1.1.4. Tane büyütme tavlaması | 20 |
| 2.1.1.5. Homojenleştirme tavlaması | 21 |
| 2.1.1.6. Yeniden kristalleştirme tavlaması..... | 21 |
| 2.1.2. Sertleştirme (Su verme)..... | 22 |
| 2.1.3. Menevişleme (Temperleme) | 26 |
| 2.1.4. Islah etme | 27 |
| 2.1.5. Yüzey sertleştirme..... | 27 |

| | |
|---|----|
| 2.2. Tribolojik Özellikler | 29 |
| 2.2.1. Sürtünme | 30 |
| 2.2.2. Aşınma | 31 |
| 2.2.2.1. Abrasiv aşınma | 33 |
| 2.2.2.2. Adhezif aşınma | 34 |
| 2.2.2.3. Erozyon aşınması | 35 |
| 2.2.2.4. Korozyon aşınması | 36 |
| 2.2.2.5. Yorulma aşınması | 37 |
| 2.3. İslah Çelikleri | 37 |
| 2.3.1. AISI 4140 ıslah çeliği | 38 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 39 |
| 3.1. Giriş | 39 |
| 3.2. Deney Malzemelerinin Hazırlanması | 40 |
| 3.2.1. Malzemelerin özellikleri | 40 |
| 3.2.2. Malzemelere uygulanan ısıl işlemler | 41 |
| 3.2.2.1. Yumuşatma ısıl işlemi | 42 |
| 3.2.2.2. Normalizasyon ısıl işlemi | 42 |
| 3.2.2.3. Sertleştirme ısıl işlemi | 43 |
| 3.3. Deneysel Çalışmalar | 44 |
| 3.3.1. Malzeme yoğunluklarının belirlenmesi | 44 |
| 3.3.2. Sertlik ölçüm deneyleri | 45 |
| 3.3.3. Çekme deneyleri | 46 |
| 3.3.4. Abrasiv aşınma deneyleri | 46 |
| 3.3.4.1. Aşınma test cihazı | 46 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.4.2. Aşınma deneylerinin uygulanışı | 47 |
| 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... | 51 |
| 4.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları..... | 51 |
| 4.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları | 53 |
| 4.3. Çekme Deneyi Sonuçları..... | 56 |
| 4.4. Abrasiv Aşınma Deney Sonuçları | 59 |
| 4.4.1. Isıl işlem – aşınma dayanımı ilişkisi | 59 |
| 4.4.2. Uygulanan yük – hacim kaybı ilişkisi | 64 |
| 4.4.3. Hacim kaybı - zımpara tane büyüklüğü ve taze zımpara boyu ilişkisi. 70 | |
| 4.4.3.1. Hacim kaybı - zımpara tane büyüklüğü ilişkisi | 73 |
| 4.4.3.2. Taze zımpara boyu – hacim kaybı ilişkisi | 73 |
| 4.4.4. Sürtünme yolunun- hacim kaybı miktarına etkisi ve yol boyunca aşındırma miktarındaki değişim..... | 79 |
| 4.5. Mikro Yapı İncelemeleri | 92 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 95 |
| KAYNAKLAR | 99 |
| EKLER | 105 |
| EK-1 Altın Çelik Döküm Spektral Analiz Raporu..... | 106 |
| EK-2 Isıl İşlem Proses Raporları..... | 107 |
| EK-3 Abrasif Aşınma Deney Sonuçları | 110 |
| ÖZGEÇMİŞ | 114 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| Çizelge | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 2.1. Fe-Fe ₃ C diyagramında eğriler ve adlandırılmaları | 14 |
| Çizelge 2.2. AISI 4140 malzeme kimyasal bileşimi (Danilevsky, 1987) | 38 |
| Çizelge 2.3. AISI 4140 çeliği özellikleri (Anonim, 2010a; Dikmen, 2010) | 38 |
| Çizelge 3.1. Aşınma deneyleri için deney matrisi..... | 48 |
| Çizelge 3.2. Zımpara çapına göre devir sayısı | 49 |
| Çizelge 4.1. Isıl işlem görmemiş AISI 4140 çeliğinin yoğunluk ölçümleri | 51 |
| Çizelge 4.2. Yumuşatma ısıl işlemlili AISI 4140 çeliğinin yoğunluk ölçümleri | 51 |
| Çizelge 4.3. Normalize ısıl işlemlili AISI 4140 çeliğinin yoğunluk ölçümleri..... | 51 |
| Çizelge 4.4. Sertleştirme ısıl işlemlili AISI 4140 çeliğinin yoğunluk ölçümleri | 52 |
| Çizelge 4.5. Numuneler için yoğunluk değerleri | 52 |
| Çizelge 4.6. Isıl işlem görmemiş AISI 4140 numunelerin sertlik değerleri..... | 53 |
| Çizelge 4.7. Yumuşatma ısıl işlemlili AISI 4140 numunelerin sertlik değerleri | 54 |
| Çizelge 4.8. Normalizasyon ısıl işlemlili AISI 4140 numunelerin sertlik değerleri | 54 |
| Çizelge 4.9. Yağda sertleştirilmiş AISI 4140 numunelerin sertlik değerleri | 54 |
| Çizelge 4.10. Elde edilen sertlik değerlerinin ortalama değerleri | 54 |
| Çizelge 4.11. Isıl İşlemsiz numunelerin çekme deneyi sonuçları | 56 |
| Çizelge 4.12. Yumuşatılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları | 56 |
| Çizelge 4.13. Normalize edilmiş numunelerin çekme deneyi sonuçları..... | 57 |
| Çizelge 4.14. Numunelerin çekme deneyi sonuçları..... | 57 |
| Çizelge 4.15. 120'lik zımpara için 240 m sürtünme yolunda hacim kaybı değerleri | 59 |

| Çizelge | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 4.16. 180'lik zımpara için 240 m sürtünme yolunda hacim kaybı değerleri | 59 |
| Çizelge 4.17. 360'lık zımpara için 240 m sürtünme yolunda hacim kaybı değerleri | 60 |
| Çizelge 4.18. Isıl işlemsiz numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm ³) | 64 |
| Çizelge 4.19. Yumuşatılmış numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm ³) | 64 |
| Çizelge 4.20. Normalizasyon tavlmalı numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm ³) | 64 |
| Çizelge 4.21. Sertleştirilmiş numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm ³) | 64 |
| Çizelge 4.22. Isıl işlemsiz numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm ³) | 70 |
| Çizelge 4.23. Yumuşatılmış numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm ³) | 70 |
| Çizelge 4.24. Normalize numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm ³) | 70 |
| Çizelge 4.25. Sertleştirilmiş numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm ³) | 70 |
| Çizelge 4.26. Taze zımpara boyuna göre devir sayısı..... | 74 |
| Çizelge 4.27. Isıl işlemsiz malzemelerin farklı numaralı zımparalarda farklı aşınma yolları sonunda toplam hacim kaybı miktarları..... | 80 |
| Çizelge 4.28. Yumuşatılmış malzemelerin farklı numaralı zımparalarda farklı aşınma yolları sonunda toplam hacim kaybı miktarları..... | 80 |
| Çizelge 4.29. Normalize edilmiş malzemelerin farklı numaralı zımparalarda farklı aşınma yolları sonunda toplam hacim kaybı miktarları..... | 81 |
| Çizelge 4.30. Sertleştirilmiş malzemelerin farklı numaralı zımparalarda farklı aşınma yolları sonunda toplam hacim kaybı miktarları..... | 81 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| Şekil | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1. a) Kristal yapılı silikon dioksit için iki boyutlu yapı şeması b) Kristal yapılmayan (amorf) silikon dioksit için iki boyutlu yapı şeması (Callister, 2005) | 12 |
| Şekil 2.2. a) Hacim merkezli kübik b) Yüzey merkezli kübik c) Sıkı düzenli hegzagonal (Svete, 2006; Anonim, 2014b) | 12 |
| Şekil 2.3. Demir – sementit faz diyagramı (Anonim, 2013)..... | 13 |
| Şekil 2.4. Çelik dönüşüm sonu içyapıları (Küçükyıldırım, 2007) | 15 |
| Şekil 2.5. Normalizasyon tavlama işlem adımları..... | 17 |
| Şekil 2.6. Normalizasyon tavlama için önerilen tavlama sıcaklıkları (Savaşkan, 2009)..... | 17 |
| Şekil 2.7. Yumuşatma tavlama işlem adımları..... | 18 |
| Şekil 2.8. Yumuşatma tavlama için önerilen tavlama sıcaklıkları (Savaşkan, 2009)..... | 19 |
| Şekil 2.9. Martenzit oluşumunun sıcaklığa bağlı değişimi (Balya, 2013) | 24 |
| Şekil 2.10. a) Menevişleme sıcaklığının mekanik özelliklere etkisi b) Menevişleme süresi ile sertlik değerinin değişimi | 27 |
| Şekil 2.11. Yüzey sertleştirme işlemi sonrası malzeme durumu | 28 |
| Şekil 2.12. Sürtünen yüzeylerde temas noktaları (Kılıç, 2007) | 30 |
| Şekil 2.13. Aşınma mekanizmasının şematik olarak gösterimi (Gültaş, 1998) | 31 |
| Şekil 2.14. Aşınma – zaman ilişkisi (Kuş, 2007)..... | 32 |
| Şekil 2.15. Abrasiv aşınma modelleri a) İki cisimli aşınma b) Üç cisimli aşınma | 33 |
| Şekil 2.16. Abrasiv aşınma mekanizmaları (Islak, 2005) | 34 |
| Şekil 2.17. a) Aşınma başlamadan hemen önce b) Aşınmadan sonra..... | 34 |
| Şekil 3.1. Çekme deney numunesi işleme ölçüleri | 40 |
| Şekil 3.2. Sertlik ölçüm numunesi işleme ölçüleri..... | 41 |

| Şekil | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 3.3. Aşınma deney numunesi işleme ölçüleri | 41 |
| Şekil 3.4. Yumuşatma ısı işleme proses grafiği..... | 42 |
| Şekil 3.5. Normalizasyon ısı işleme proses grafiği | 43 |
| Şekil 3.6. Sertleştirme ısı işleme proses grafiği..... | 44 |
| Şekil 3.7. Arşimed yoğunluk ölçüm düzeneği şeması | 45 |
| Şekil 3.8. Tüm numuneler için sertlik ölçümü yapılan noktaların dağılımı..... | 45 |
| Şekil 4.1. Farklı ısı işlem görmüş numunelerin sertlik değerleri | 55 |
| Şekil 4.2. Farklı ısı işlem görmüş numunelerin çekme deney eğrileri..... | 58 |
| Şekil 4.3. 4 Farklı numune grubu için 120'lik zımparada hacim kaybı miktarları | 60 |
| Şekil 4.4. 4 Farklı numune grubu için 180'lik zımparada hacim kaybı miktarları | 61 |
| Şekil 4.5. 4 Farklı numune grubu için 360'lık zımparada hacim kaybı miktarları | 61 |
| Şekil 4.6. Isıl işlemsiz numunelerin farklı numaralı zımparalarda hacim kaybı – yük ilişkisi | 65 |
| Şekil 4.7. Yumuşatma tavlama uygulanmış malzemelerin farklı numaralı zımparalarda hacim kaybı – yük ilişkisi | 65 |
| Şekil 4.8. Normalizasyon tavlama uygulanmış malzemelerin farklı numaralı zımparalarda hacim kaybı – yük ilişkisi | 66 |
| Şekil 4.9. Sertleştirme işlemi uygulanmış malzemelerin farklı zımparalarda hacim kaybı – yük ilişkisi..... | 66 |
| Şekil 4.10. Isıl işlemsiz malzemelerin hacim kaybı – yük ilişkisi | 71 |
| Şekil 4.11. Yumuşatılmış malzemelerin hacim kaybı – yük ilişkisi | 71 |
| Şekil 4.12. Normalize edilmiş malzemelerin hacim kaybı – yük ilişkisi..... | 72 |
| Şekil 4.13. Sertleştirilmiş malzemelerin hacim kaybı – yük ilişkisi | 72 |

| Şekil | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 4.14. Yarıçap çizgisi üzerinde farklı zımpara çaplarının noktasal gösterimi | 75 |
| Şekil 4.15. Isıl işlemsiz malzemelerin farklı aşınma yollarında toplam hacim kaybı | 82 |
| Şekil 4.16. Yumuşatılmış malzemelerin farklı aşınma yollarında toplam hacim kaybı | 82 |
| Şekil 4.17. Normalize edilmiş malzemelerin farklı aşınma yollarında toplam hacim kaybı | 83 |
| Şekil 4.18. Sertleştirilmiş malzemelerin farklı aşınma yollarında toplam hacim kaybı | 83 |
| Şekil 4.19. Isıl işlemsiz malzemelerin 120 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları | 84 |
| Şekil 4.20. Isıl işlemsiz malzemelerin 180 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları | 85 |
| Şekil 4.21. Isıl işlemsiz malzemelerin 360 numara zımparada farklı aşınma yollarında hacim kaybı farkları | 85 |
| Şekil 4.22. Yumuşatma ısıl işlemlili malzemelerin 120 numara zımparada farklı aşınma yollarında hacim kaybı farkları | 86 |
| Şekil 4.23. Yumuşatma ısıl işlemlili malzemelerin 180 numara zımparada farklı aşınma yollarında hacim kaybı farkları | 86 |
| Şekil 4.24. Yumuşatma ısıl işlemlili malzemelerin 360 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları..... | 87 |
| Şekil 4.25. Normalizasyon ısıl işlemlili malzemelerin 120 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları..... | 87 |
| Şekil 4.26. Normalizasyon ısıl işlemlili malzemelerin 180 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları..... | 88 |
| Şekil 4.27. Normalizasyon ısıl işlemlili malzemelerin 360 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları..... | 88 |
| Şekil 4.28. Sertleştirme ısıl işlemlili malzemelerin 120 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları..... | 89 |

| Şekil | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 4.29. Sertleştirme ısıl işlemleri malzemelerin 180 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları..... | 89 |
| Şekil 4.30. Sertleştirme ısıl işlemleri malzemelerin 360 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları..... | 90 |

RESİMLER DİZİNİ

| Resim | Sayfa |
|---|--------------|
| Resim 2.1. Martenzitin ışın mikroskobu görüntüsü (Küçükyıldırım, 2014)..... | 23 |
| Resim 3.1. Aşınma test cihazı genel görünüşü | 47 |
| Resim 4.1. a) En az aşınan b) En çok aşınan deney numunelerine ait 200x büyütmede optik mikroskop görüntüleri | 63 |
| Resim 4.2. 120 numara taze zımparaya ait 100x büyütmede mikroskop görüntüsü | 67 |
| Resim 4.3. a) 2N yükte b) 3N yükte c) 5N yükte 120 numara zımpara görüntüsü | 69 |
| Resim 4.4. a) 80 mm b) 120 mm c) 160 mm çapında zımpara izi görüntüleri | 77 |
| Resim 4.5. a) 5N yük, 80 mm çap b) 2N yük, 160 mm çaptada zımpara görüntüleri | 78 |
| Resim 4.6. Numunelerin Nital5 çözeltisi ile dağlama sonrası 400x büyütmede iç yapıları a) Isıl işlemsiz b) Yumuşatılmış c) Normalize Edilmiş d) Sertleştirilmiş | 94 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler | Açıklama |
|--------------------------------|---|
| \emptyset | Çap |
| $\sigma_{\text{çekme}}$ | Çekme Gerilmesi |
| μm | Mikrometre |
| % | Yüzde |
| $^{\circ}\text{C}$ | Santigrad Derece |
| Al | Aluminyum |
| Al_2O_3 : | Aluminyum Oksit |
| Al-%55 SiC | Yüzde 55 Silisyum Karbür takviyeli Aluminyum Kompozit |
| $\text{Cu-C-Al}_2\text{SiO}_5$ | Bakır-Karbon-Aluminyum-Silisyum-Oksijen içerikli kompozit |
| C | Karbon |
| Co | Kobalt |
| Cr | Krom |
| Cr-Mo | Crom-Molibden |
| FeCrC | Demir-Krom-Karbon alaşımı |
| J | Joule |
| N | Newton |
| Ni | Nikel |
| Mn | Mangan |
| Mo | Molibden |
| P | Fosfor |

| | |
|------------|------------------------|
| S | Kükürt |
| Si | Silisyum |
| SiC | Silisyum karbür |
| WC | Wolfram-Karbon alaşımı |

Kısaltmalar**Açıklama**

| | |
|------------------------|---|
| AISI | American Iron And Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) |
| cm² | Santimetrekare |
| Dev/dak | Devir/dakika |
| g | Gram |
| HB | Brinell Sertlik Birimi |
| HRc | Rockwell Sertlik Birimi |
| HV | Vickers Sertlik Birimi |
| m | Metre |
| mm | milimetre |
| MPa | Mega Pascal |
| ms⁻¹ | metre/saniye |
| SAE | Society of Automotive Engineers |
| Sn | Saniye |
| TIG | Tungsten İnert Gaz Kaynağı |

1. GİRİŞ

Günümüz ihtiyaçları doğrultusunda tasarlanan mekanik sistemler hız, yük, çalışma süresi gibi şartlar bakımından oldukça zorlayıcı ortamlarda çalışmaktadırlar. Mekanik sistemlerin çalışma ortamları kullanım ömrü, sistemlerin, insan ve çevrenin güvenliği gibi endüstriyel ürünler için oldukça önemli olan konular üzerinde doğrudan etkilidir.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte ortaya çıkan yeni çalışma şartları ve imalat yöntemleri yeni hammadde arayışlarını da beraberinde getirmiştir. İstenilen şartlar altında çalışacak yeni malzeme arayışları yanı sıra mevcut malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi de gereksinimlerin karşılanması hususunda iyi bir çözüm metodudur.

Mekanik sistemler için kullanılan temel malzemelerden biri çeliktir. Çeliği demirden ayıran en temel faktör yapısında bulundurduğu karbon oranıdır. Temel olarak demir elementi ile % 2 oranından daha az miktarda karbondan oluşan alaşımlara çelik denir.

Mühendislik malzemesi olarak çelikler üretiminin ardından herhangi bir işlem görmeden, doğrudan kullanılabilmesi gibi bazı durumlarda özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla bir dizi işleme tabi tutulabilirler. Bunlardan ısıl işlem mekanik dayanım, işlenebilirlik, sertlik gibi özelliklerin iyileştirilmesi için yaygın olarak kullanılır.

Isıl işlem metallerde bazı özellikleri kazandırmak ya da sahip oldukları istenilmeyen özellikleri gidermek amacıyla tek tek veya gerekli hallerde peş peşe uygulanan bir dizi kontrollü ısıtma ve soğutma işlemidir. Bu işlemler her ne kadar malzemelerde istenilen özellikleri elde etmek için yapılsa da işlem şartlarının uygun olmadığı hallerde istenilmeyen durumlarla da karşılaşılabilir. Bu nedenlerle ısıl işlem yönteminin dikkatli olarak seçilmesi, uygulama sırasında malzemenin fiziksel ve

kimyasal özelliklerinin göz önünde bulundurulması istenilen sonuçların elde edilmesi açısından önemli etkenlerdir.

Mekanik sistemler hangi teknoloji ile üretilmiş olurlarsa olsunlar, ne kadar iyi tasarlanırlarsa tasarlansınlar, bir süre sonra mutlak surette iş yapabilme özelliklerini kaybetmektedirler. Bu süre üretimde kullanılan malzemelerin özellikleri ya da işletme şartları gibi faktörlere bağlı olarak değişse de eninde sonunda malzemelerin ömürlerinin tükenmesi kaçınılmaz bir durumdur. Bu nedenle kullanım ömrünün mümkün olduğunca uzatılması mühendislik biliminin araştırma konuları arasında önemli bir yer teşkil etmektedir. Üretilen makineler her ne kadar fonksiyonel olsa da ömürleri yeterince uzun olmadıkça kullanımları çoğu zaman ekonomik olmamaktadır.

Yapılan araştırmalara ve tutulan istatistiklere göre makine elemanlarının ortalama % 70'inin hurdaya ayrılma sebebi aşınmadır. Belirli bir süre çalışan makine elemanları üzerinde meydana gelen malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınma, mekanik sistemlerin iş yapabilme yeteneklerini sınırlayan etmenler arasında korozyon ve yorulmanın yanı sıra üçüncü problem olarak ortaya çıkmaktadır (Dikmen, 2010). Makineler üzerinde bulunan aşınmış parçalar çoğu zaman görevlerini yerine getirmeyen hale geldikleri için değiştirilmeleri gerekmektedir. Bu gereklilik ise zaman ve iş gücü kaybı, bakım onarım masrafları, üretimde aksama gibi sonuçları beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada otomobil, iş makineleri ve havacılık endüstrisi gibi ağır şartlar altında çalışan sistemlerde yaygın olarak kullanılmakta olan AISI 4140 çeliğinin abrasiv aşınma davranışının ısı ile değişimi incelenmiştir. Bu amaçla 4140 çeliğinden elde edilen numunelere çeşitli ısı işlemleri uygulanarak disk üzerinde pim aşınma test cihazında abrasiv aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ısı işlem görmemiş numunelerin abrasiv aşınma özellikleri ile karşılaştırılarak AISI 4140 çeliğinin abrasiv aşınmasının ısı işlem ile nasıl değiştiği araştırılmıştır. Ayrıca deneylerde yük, zımpara çalışma çapı ve yol parametreleri de değiştirilerek yükün taze zımpara miktarı ve yolun aşınma davranışlarına olan etkisi de incelenmiştir.

Literatür araştırması

Buytoz ve Yılmaz (2003), FeCrC, WC ve FeCrC/WC alaşımlarının tozlarını TIG tekniği kullanarak düşük karbonlu AISI 1020 çeliğinin yüzeyinde ergitip farklı mikro yapılar oluşturarak kaplamışlardır. Üretilen malzemelerden elde ettikleri numuneleri 10, 20 ve 30N'luk 3 farklı yük altında 320 devir/dakika hızla dönen 80 meshlik abrasiv aşındırıcıya 60sn. tatbik etmişlerdir. Sonuç olarak malzemenin kaplama yüzeyinde oluşan karbürlerle aşınma direncinin arttığını ve karbonlu çeliklerin yüzeylerinin kaplanmasında kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca malzemenin kaplama yüzeyinde oluşan karbürlerle aşınma direncinin arttığı, en iyi aşınma direncinin sertliğe bağlı olarak 1.2 gram/saniye toz yedirme oranında 20 j/cm² enerji girdili 910 HV sertlikli FeCrC/WC kaplamalı SAE 1020 çeliğinden elde edildiğini bildirmişlerdir.

Çelik ve arkadaşları (2008), katı ortamda borlanmış AISI 1030 çeliğinde ısıl işlem parametrelerinin yüzey ve abrazif aşınma özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Aşınma deneylerini aşındırıcı kağıt kaplı metal disk üzerine 42N sabit yük ile temas ettirerek kübik numuneler üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Borlanan malzemelerin sertliğini yüzeyde en düşük 1227 HV en yüksek 1625 HV olarak ölçmüşlerdir. Borlanan numunelerin yüzey sertliklerinin işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak arttığını tespit etmişlerdir. Yapılan aşınma deneyleri sonucunda ısıl işlemsiz numunelerin SiC aşındırıcı karşısında Al₂O₃ aşındırıcıya göre daha az aşındığı ancak borlanmış numunelerde bu durumun ters olduğunu, aşınma direncinin, yüzeyde oluşan borür tabakası özelliklerine bağlı olarak ısıl işlemsiz numunelere göre yüksek oranlarda arttığını tespit etmişlerdir.

Zhang ve arkadaşları (1997), 6061 Al matrisli ve Al₂O₃ takviyeli kompozitleri kullanarak yaptıkları deneyde metal matris kompozitlerin aşınma modelini araştırmışlardır. Deneylerde kompozit malzemeleri, aşındırıcı olarak AISI 1030 ve AISI 4140 çelikleri kullanarak disk üzerinde pim yöntemiyle aşınmaya tabi tutmuşlardır. Sonuçta malzemelerin saf Al, % 10 Al₂O₃ ve %20 Al₂O₃ ve AISI 1030 ile yapılan deneylerinde AISI 4140'a göre daha az aşındığını, ayrıca sertliği daha

yüksek olan AISI 4140 çeliğinin aşınma direncinin AISI 1030 çeliğinden daha yüksek olduğunu ve deneyde AISI 4140 çeliğinin daha az aşındığını bildirmişlerdir. (Kılıç, 2008).

Karaoğlu ve arkadaşları (2001), ise plazma nitrülenmiş az alaşımlı AISI 5140 çeliğinin aşınma davranışı incelenmişlerdir. Bu amaçla AISI 5140 çeliğini kuru sürtünmeli şartlarda aşınma deneylerine tabi tutmuşlar, aşındırıcı olarak su verilmiş AISI 4140 çeliği kullanmışlardır. Deneyleri 40N'luk bir normal yük altında 0,5 m/s'lik kayma hızı uygulanarak 2000 m kayma mesafesi boyunca yapmışlar numuneleri her 400 m'lik kayma mesafesinde $\pm 10^{-4}$ g doğrulukla tartarak aşınma kütle kaybı cinsinden ölçmüşlerdir. Deneyler sonucunda plazma nitrasyonu ile aşınma dayanımında önemli artışlar elde etmişlerdir. Maksimum aşınma dayanımı için, proses parametrelerinin, ince kompond (beyaz) tabaka, yüksek yüzey sertliği ve kalın difüzyon tabakası verecek şekilde optimize edilmesi gerektiği fikrini ortaya koymuşlardır.

Çakmak ve Yalçın (2005), yaptıkları çalışmada, Krupp firması tarafından imal edilmiş ve TCDD tarafından kullanılan ray çeliğinin kuru yuvarlanma-kayma aşınma davranışını incelemişlerdir. 40 mm çapında ve 10 mm genişliğinde, rayın mantar kısmından hazırladıkları numuneleri paslanmaz çelik rulmana karşı 50N ve 75N yükler altında 0,55 m/s hızda aşınma deneyine tabi tutmuşlardır. Aşınma deneyleri sonucunda, düşük çevrimlerde, yükün düşük olmasının aşınma hızını artırırken, belirli bir çevrim sayısından sonra yükün aşınma hızına çok bariz bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. İki silindir arasında oluşan ara yüzey basıncı ve yuvarlanmanın etkisiyle plastik deformasyonun olduğu ve aşınmanın adezyon türünde gerçekleştiği sonucuna ulaşmışlardır.

Arabacı (2009), otomotiv supaplarının imalatında kullanılan 1.4718 kodlu çelik yüzeyini TIG kaynak yöntemiyle, kobalt esaslı Stellite 1, Stellite F, Stellite 6 ve Nikel esaslı Ni 60 alaşımları ile kaplamış, kaplanılan malzemelerin bir grubunu 10, 25 ve 40N yük altında, oda sıcaklığında ve 300 °C sıcaklıkta metal aşındırıcı disk üzerinde 4400 metre, kalan diğer grubu ise 400 meshlik Al₂O₃ zımpara üzerinde

toplam 10,5 metre boyunca aşınma deneyine tabi tutmuştur. Yapılan çalışmalarda özellikle Co ile C ve Cr elementlerinin aşınma direncinin arttırdığını ayrıca bütün numunelerde artan sıcaklık, uygulanan yük miktarı ve toplam aşındırma mesafesi ile birlikte aşınma kayıplarının da arttığını tespit etmiştir. Yine aşınma mekanizmalarının da etkili olduğu, abrasiv aşınmada, adhesif aşınmaya göre tüm numunelerde daha fazla aşınma kayıpları elde edildiğini belirlemiştir.

Yamanoğlu ve Gül (2012), Aşınmaya Dirençli Krom-Vanadyum Alaşımli Soğuk İş Takım Çeliklerinin Abrasif Aşınma Davranışı adlı çalışmalarında cıva çeliği olarak bilinen AISI L2 çeliklerinin abrasiv aşınma davranışını araştırmışlardır. İşlem görmemiş ve su verilmiş, temperlenmiş çelik numuneleri pin-on-disk cihazında 0,2 m/sn kayma hızında 100 mesh zımpara üzerinde 10, 20 ve 30N yük altında test etmişlerdir ve abrasiv aşınma testi sonuçlarına göre, sertleştirilmiş AISI L2 çeliğinin işlem görmemiş haldeki malzemeye göre yaklaşık 2 kat daha yüksek aşınma direncine sahip olduğunu göstermişlerdir.

Demirel ve Çetin (2011), yaptıkları çalışmada, borlama sıcaklığı ve süresinin AISI 8640 çelik malzemenin abrasiv aşınma davranışına etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla AISI 8640 çelik malzemenin 10 mm çapında ve 40 mm uzunluğunda silindirik numuneler elde ederek borlama işlemine tabi tutmuş ve borlanan numuneleri pin-on disk aşınma cihazında, oda sıcaklığında, 10N ve 20N yük altında 1000 ve 1200 mesh alüminyum oksit (Al_2O_3) abrasiv aşındırıcı üzerinde ve 0,1 m/s sabit kayma hızında 10 m kayma yolu ile aşınma testine tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak 8640 çelik malzemenin aşınma davranışı incelendiğinde abrasiv zımpara boyutunun artmasıyla (1000mesh'den 1200 mesh'e) aşınma kaybının daha az olduğunu bir başka deyişle aşındırıcı tane büyüklüğü arttıkça, malzemenin aşınma kaybının arttığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte uygulanan yükün artmasıyla aşınma miktarının da arttığını görmüşlerdir.

Yılmaz ve arkadaşları (2012), yaptıkları bir çalışmada hardoks 500 şeklinde adlandırılan aşınmaya dayanıklı çeliği kullanarak kayma hızlarının malzemenin abrasiv aşınma davranışlarına etkisini incelemiştir. Söz konusu çalışmalar için pin

on-disk abrasiv aşınma cihazı kullanmışlar ve aşınma deneylerini 30N yük altında 0.25, 0.5, 0.7 ve 1 ms⁻¹ hızlarda, 20 metre mesafede ve 80 meşlik SiC bir zımpara aşındırıcı üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda aşınma deneyi esnasında uygulanan kayma hızı arttıkça aşınma miktarının arttığı sonucunu elde etmişlerdir. Düşük kayma hızlarında malzemenin aşınma direncinin daha iyi olduğu, ancak kayma hızlarının artışına paralel olarak aşınma miktarının arttığı ve malzemenin aşınma direncinin de azaldığını gözlemlemişlerdir. Böylece aşınma deneyinde malzemenin maruz kaldığı kayma hızına bağlı olarak farklı aşınma mekanizmalarının beraber gerçekleştiği sonucuna varmışlardır.

Eş (2004), yüksek lisans tez çalışmasında 16MnCr5 çelikten yapılmış yüzeyi işlem görmemiş ve sementasyonla yüzeyi sertleştirilmiş disklerin, kuru ve yağlı kayma-yuvarlanma koşulları altında aşınma davranışını araştırmıştır. Aşınma deneylerini farklı kayma- yuvarlanma oranlarıyla ve farklı yükler altında disk/disk test cihazıyla yapmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yüzeyi sertleştirilmiş disklerde kayma oranının artmasıyla aşınmanın kademeli olarak şiddetlendiğini görmüştür. Ayrıca yüzeyi sertleştirilmiş disklerin sertleştirilmemiş disklerle göre çok daha az aşındığını gözlemlemiştir. Yapılan çalışmalar ışığında yüzey sertleştirmenin aşınma direncini arttırmada etkili bir yöntem olduğunu tespit etmiştir.

Özay ve arkadaşları (2004), T/M Yöntemi İle Üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ Kompozitinin Abrasiv Aşınma Dayanımı adlı çalışmalarında toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ kompozitinin abrasiv aşınma davranışı üzerinde karbon ve alüminyum silikat takviye partiküllerinin etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek argon gazı ortamında 900 °C'de 60 dakika süre ile sinterlenmiş Ø13x15 mm ebatlarında numuneler elde etmişlerdir. Elde edilen numuneleri 80 meshlik silisyum karbür (SiC) zımpara kağıtları kullanarak üç ayrı yük altında (10N, 20N, 30N), 90 dev dak⁻¹ ile dönen disk üzerinde aşındırıcı kağıda temas ettirilerek, dıştan merkeze doğru 30 m yol şartlarında aşınma testine tabi tutmuşlardır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara dayanarak bakır matris içerisindeki alüminyum silikat ve karbon takviye partiküllerinin hacim oranının artmasıyla malzemedeki aşınma oranının arttığını, aşınma mekanizmasında matris-

takviye partikülü arasındaki yetersiz ara yüzey mukavemetine bağlı olarak, mikro çatlaklarla gelişen parçacık ayrılmasının etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca uygulanan yük miktarı arttıkça bütün numunelerde aşınma oranının da arttığını görmüşlerdir.

Aşınma direncini iyileştirmek için, sulfinuz tuz banyosunda nitrülenmiş AISI 4140 çeliğini kullanan Ekinci ve Akdemir (2011), yapılan işlemin tribolojik davranış üzerine etkisini işlem görmüş ve ısıl işlem görmemiş aynı tür çelikle mukayese etmişlerdir. Aşınma testlerini değişik şartlar altında ve karşı yüzey olarak karbürize edilmiş AISI 52100 çeliği kullanarak blok-silindir deney setinde gerçekleştirmişlerdir. Isıl işlemlili ve işlemsiz her iki AISI 4140 çeliği için sürtünme katsayısı değişimini ve aşınma davranışını değişik yükler altında, 1000 metre kayma mesafelerinde belirlemişlerdir. Aşınan yüzeylerde metalografik olarak aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Sonuç olarak; nitrüleme işleminin aşınma direncini önemli ölçüde artırdığı, tuz banyosundaki kükürdün sürtünme katsayısını azalttığını bulmuşlardır.

Acılar ve Gül (2007), basınçlı infiltrasyon yöntemi ile ürettikleri Al-%55 SiC partikül (SiCp) takviyeli kompozitlerin abrasiv aşınma davranışına partikül boyutunun etkisini incelemişlerdir. Abrasiv aşınma testlerini 100, 280 ve 500 mesh Al_2O_3 zımparalar üzerinde, 12, 24 ve 36N yükler altında, disk üzerinde pim aşınma cihazı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılara göre takviyesiz matris alaşımı ile karşılaştırıldığında kompozitler mükemmel aşınma direnci göstermişlerdir. Kompozitlerin aşınma hızı, artan yük, artan aşındırıcı tane boyutu ve azalan takviye partikül boyutu ile artmıştır.

SAE 8620 Sementasyon Çeliklerinde Sertlik Derinliğinin Abrasif Aşınma Davranışına Etkisinin İncelenmesi adlı tez çalışmasında Kayabaşı (2011), SAE 8620 çeliğinin sertlik derinliğine bağlı olarak abrasiv aşınma davranışını incelemiştir. 920°C sıcaklıkta 1, 4 ve 7 saat süre ile gaz ortamda karbürleme yapılan numuneleri yağda sertleştirme işlemine ve 180°C sıcaklıkta 90 dakika süreyle temperleme işlemine tabi tutmuştur. Aşınma deneyleri için elde ettiği numuneleri disk, 10 mm

çaplı Al_2O_3 bilyaları ise aşındırıcı olarak kullanmıştır. Deneyleri pin-disk deney cihazı ile, kuru ortamda 9N, yağlı ortamda ise 64N yük uygulayarak 100 m, 200 m, 400 m kayma mesafelerinde, 300 dev/dk hızlarda, 8, 10 ve 12 mm sürtünme yarıçapı kullanarak gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda sertlik derinliği arttıkça çeliğin aşınma direncinin arttığını, kuru ortamda ise aşınma oranının çok yüksek olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, her iki ortamda da sertlik derinliğine bağlı olarak aşınmanın azaldığını saptamıştır.

Üçkardeşler (2013), yaptığı çalışmada borlama işlemine tabi tuttuğu GS 52, GS 60, AISI 8620 ve GX120Mn13 çeliklerine 30 N yük, 1200 mesh aşındırıcı zımpara ve 0,2 m/s. kayma hızı şartlarında abrasiv aşınma testi uygulamıştır. Aşınma deneyleri sonuçlarına göre en düşük sertlik değerine sahip olan sırasıyla GS-52 ve AISI 8620 çelik malzemelerinin en yüksek abrasiv aşınmaya sahip olduğunu, nispeten daha yüksek sertliğe sahip GS-60 malzemenin daha yüksek abrasiv aşınma direnci gösterdiğini, en yüksek sertliğe sahip GX120Mn13 mangan çeliğinin ise en yüksek aşınma direncine sahip olduğunu belirlemiştir.

B'ejar ve Moreno (2005), borlanmış, karbonlu düşük alaşımlı çeliklerin abrasiv aşınmalarını incelemiştir. Bu amaçla 1020, 1045, 4140 ve 4340 çeliklerine borlama işlemi uygulamışlar ve elde ettikleri numuneleri 130 N yük altında aşınma testine tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak borlanmış 1020 çeliğinin en iyi aşınma dayanımı gösteren malzeme olduğunu belirtmişlerdir.

Çetin ve Gül (2009), yaptıkları çalışmada östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin abrasiv aşınma davranışına östemperleme süresinin ve aşındırıcı parçacık boyutunun etkisini araştırmışlardır. Alaşımlı ve alaşımsız küresel grafitli dökme demir numuneleri, 850°C'de 120 dakika östenitlemiş ve 400°C'de 60, 120 ve 240 dakika süreyle östemperlemişler ve bu östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir numunelerin abrasiv aşınma testlerini, disk üzerinde pim cihazında, 40 N yük altında ve 38 - 250 μm boyutundaki Al_2O_3 aşındırıcı ile 0,1 ms^{-1} kayma hızında gerçekleştirmişlerdir. Yapılan aşınma testleri sonucunda, numunelerin aşınma direnci üzerinde östemperleme zamanının etkisinin, abrasiv Al_2O_3 tane boyutuna bağlı

olduğunu söylemişlerdir. Alaşım ve alaşımsız numuneler 120 dakikalık östemperleme süresinde, 240 dakikalık östemperleme süresine göre en yüksek aşınma direncine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. 38 - 70 μm aralığında tane boyutuna sahip abrasiv Al_2O_3 üzerinde gerçekleştirilen aşınma testleri, 120 dakika östemperlenen alaşım numunenin en az aşındığını gösterirken, 150 μm dan büyük Al_2O_3 abrasiv parçacıklar üzerinde aşındırılan alaşımsız numuneler tüm östemperleme şartları için en yüksek aşınma kaybına sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Tabur (2003), Isıl işlemin 8620 sementasyon çeliğinin abrasiv aşınma özelliğine etkisini belirlemek için farklı ısıl işlemler uygulayarak farklı sementasyon derinliği ve farklı yüzey sertliklerine sahip numuneler elde etmiştir. Bu numunelerden hazırladığı $\text{Ø}12$ mm x 40 mm ebatlarındaki aşınma numunelerini 0,45 m/sn çevresel hızla, 80 dev/dk hızda dönen bir disk üzerinde ve diskin 110 mm çaplı alanını kullanarak aşınma testine tabi tutmuştur. Aşındırıcıların etkisini belirlemek üzere 80 numaralı SiC ve Al_2O_3 abrasiv aşındırıcı zımpara kağıtlarını kullanmış ayrıca yükün aşınma davranışına olan etkisini belirlemek amacıyla da 10N, 25N ve 40N olmak üzere 3 ayrı yük uygulamıştır. Alınan mesafenin aşınma davranışlarına olan etkisini belirlemek amacıyla ise 100 m, 200 m ve 300 m yollarda aşınma deneylerini gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda sementasyon derinliği ve yüzey sertliği fazla olan numunenin sementasyon derinliği ve yüzey sertliği az olan numuneye göre aşınmaya karşı direncinin daha fazla olduğunu, ısıl işlem uygulanmamış malzemedeki aşınma oranının çok fazla olmasının ısıl işlem görmüş malzemenin aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnci arttırdığını, aşındırıcının sertliğinin, uygulanan yükün ve aşınma yolunun aşınma direncini önemli ölçüde etkilediği, yükün ve aşınma yolunun artışı ile birlikte aşınmanın da doğrusal olarak arttığı sonuçlarına ulaşmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Isıl İşlem

Mühendislik malzemeleri bazı çalışma şartları için üretim sürecinin hemen ardından kullanıma uygun olabildiği gibi bazı durumlarda bir takım özelliklerinin değiştirilmeleri gerekebilir. Bununla birlikte malzemeler çok çeşitli metotlarla üretilmektedir. Bu üretim metotlarının gerçekleştirilme süreçlerinde uygulanan bir takım işlemler beklenen sonuçların yanı sıra farklı etkilere de yol açabilmektedir. Ayrıca malzemelerin şekillendirilmeleri, birleştirilmeleri gibi üretim yöntemlerinin uygulanmaları sırasında da istenilmeyen durumlar ortaya çıkabilmektedir (Plastik şekil verme işlemi sırasında oluşan pekleşme, ısı altında gerçekleştirilen kaynakta oluşan çarpılma gibi). Malzemelerin içyapıları ile ilgili değişiklikler meydana getirerek tüm bu durumları ortadan kaldırmak, ihtiyaçlar doğrultusunda malzemeleri, beklentileri karşılayabilecek duruma getirebilmek için uygulanan işlemlere genel olarak ısıl işlem adı verilir.

Isıl işlem, genel çerçevesiyle, belirli bir malzemenin kazandırılmak istenilen özellikler doğrultusunda uygun bir sıcaklığa ısıtılması, bu sıcaklık veya sıcaklık aralığında belirli bir süre tutulması ve ardından uygun bir soğutma hızı ve ortamında belirli bir sıcaklığa soğutulması olarak tanımlanabilir (Anonim, 2011). Bir enerji türü olan ısı, metaller üzerine uygulandığında o metalin içyapısına etki eder ve bazı değişimler meydana getirir. Meydana gelen bu değişimler ısıl işlemle elde edilmek istenen sonucunun oluşmasını sağlayan mekanizmanın temelini oluşturmaktadır. Isıl işlem temel olarak;

- Malzemenin mekanik özelliklerini istenilen duruma getirmek
- Aşınma dayanımını arttırmak
- İşlemeyi kolaylaştırmak
- Bir önceki işlemde gelen kalıntı gerilmeleri vb. ortadan kaldırmak
- Tane yapısını inceltmek
- Sertliği arttırmak gibi amaçlarla uygulanmaktadır.

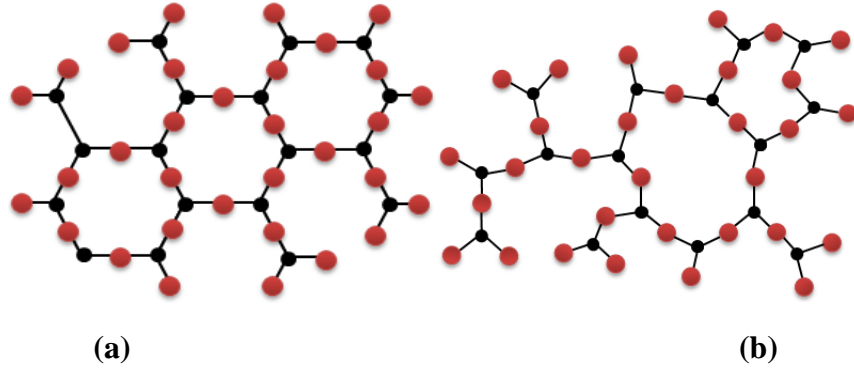
Yukarıda sayılan sonuçları elde etmek için uygulanması gereken her işlem farklıdır. Bununla birlikte bu işlemlerin gerektirdiği yöntem, materyal, sıcaklık değeri, süre gibi etmenler de değişebilmektedir.

Bilindiği gibi tüm malzemeler atomlardan meydana gelmektedir. Bu atomlar birleşerek molekülleri, moleküller birleşerek maddeleri oluşturmaktadır. Atomlar malzeme bünyesinde birbirlerine belirli bir biçimde kimyasal olarak bağlanmış şekilde bulunurlar. Atomları bir arada tutan 4 farklı bağ vardır. Bunlar; metalik, iyonik, kovalent ve vander waals bağlarıdır. Metalik, iyonik ve kovalent bağlar kuvvetli olup, vander waals bağı ise oldukça zayıf bir bağıdır (Anonim, 2006a). Atomların birbirleri ile oluşturdukları bağ türlerinin yanı sıra, bu atomların birbirlerine bağlanış şeklide önemlidir.

Malzemeler, atom dizilişlerinin belirli bir kurala göre olup olmamasına bağlı olarak 2'ye ayrılır. Kristal yapılı malzemelerin atom dizilişleri incelendiğinde, bu dizilişlerin bir kural çerçevesinde gerçekleştiği ve malzemenin içyapısı boyunca bu kurallı dizilişin korunduğu görülür. Bütün metaller, seramik malzemelerin birçoğu ve belirli polimerler normal soğuma koşulları altında bu şekilde düzenli dizilişler göstererek kristal yapı oluştururlar (Doğan, 2012).

Kristal yapı oluşturmeyen malzemelerde atomların dizilişi yönünden belirli herhangi bir düzen yoktur. Kristal yapılı olmayan malzemeler amorf ya da camsı malzemeler adıyla da bilinir. Amorf malzeme şartları her iki yapıda da bulunabilen silikon dioksit (SiO_2) seramik birleşimlerinin kristal yapılı (Şekil 2.1a) ve kristal yapılı olmayan yapılarının (Şekil 2.1b) karşılaştırılması ile resimlenebilir (Callister, 2005).

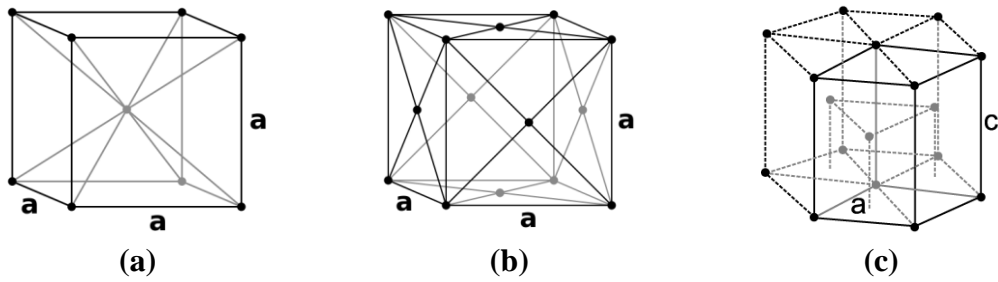
Kristal yapı oluşturan silikon dioksitin atom dizilişleri incelendiğinde (Şekil 2.1a) atomların bir araya gelerek tekrarlanan düzenli dizilimler oluşturduğu görülmektedir. Aynı bileşiğin kristal yapı oluşturmeyen hali (Şekil 2.1b) incelendiğinde ise dizilişin belirli bir düzene uymadığı, farklı bölgelerde farklı diziliş şekillerinin olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 2.1. a) Kristal yapı silikon dioksit için iki boyutlu yapı şeması b) Kristal yapı olmayan (amorf) silikon dioksit için iki boyutlu yapı şeması (Callister, 2005)

Kristal yapı malzemelerin atom dizilişleri, belirli bir kompozisyonda kafes sistemi adı verilen üç boyutlu geometrik yapılar oluşturur. Bu yapıları oluşturan tekrarlı geometrik şekillere birim hücre, birim hücrenin kenar uzunluklarına kafes parametresi denir. Birim hücre üzerinde atomların bulunduğu yerlere ise kafes noktası adı verilir (Uzun ve ark., 2003).

Metal malzemeler çok özel durumlar dışında daima kristal yapıya sahiptirler. Bu malzemeler genelde hacim merkezli kübik (HMK), yüzey merkezli kübik (YMK) ve sıkı düzenli hegzagonal (SDH) yapı sergilerler (Savaşkan, 2007). Kafes yapılarına göre atomların yerleşimleri Şekil 2.2’de görülmektedir.



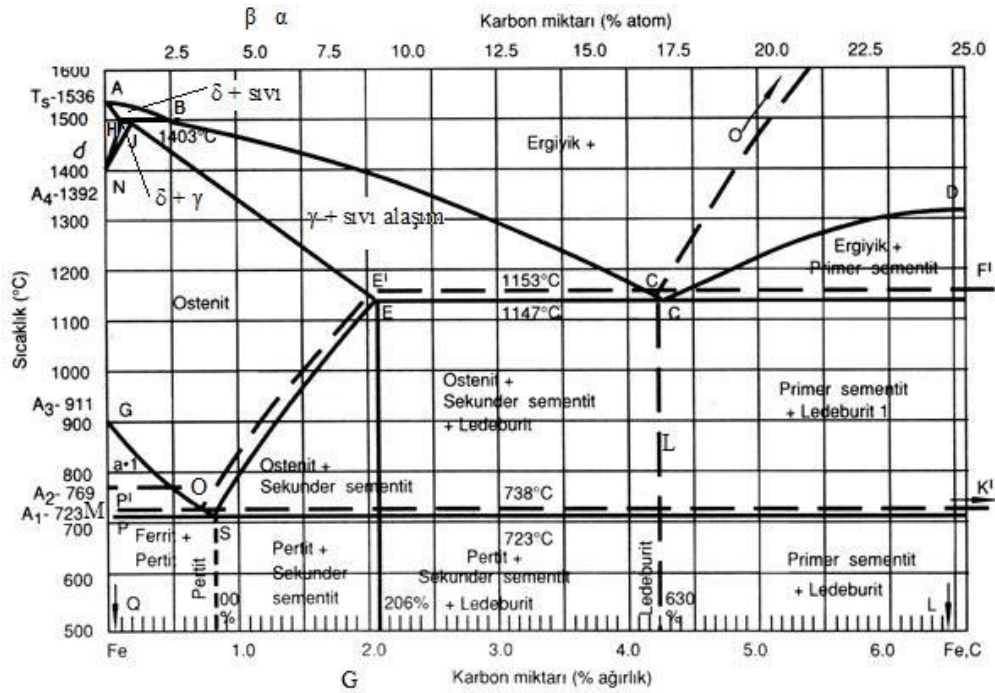
Şekil 2.2. a) Hacim merkezli kübik b) Yüzey merkezli kübik c) Sıkı düzenli hegzagonal (Svete, 2006; Anonim, 2014b)

Isıl işlemlerde malzeme özelliklerinin değiştirilebilmesi içyapının dönüşümü ile ilgilidir. Bunun sağlanabilmesi için öncelikle malzemeye enerji uygulanarak mevcut

atom dizilişindeki atomlar arası bağların koparılması gerekmektedir. Isıl işlemden dolayı da anlaşıldığı gibi bu enerji girişi ısı girişi ile sağlanır.

Temel ısıl işlemlerin malzeme özellikleri üzerinde etki mekanizması ostenit fazının dönüşümüne dayanmaktadır. Bu dönüşüm sonucu ortaya çıkan yapıların türü, bileşimi ve metalografik yapısı ısıl işlem sonucu elde edilmek istenilen sonuçların temelini oluşturmaktadır (Savaşkan, 2007). Bu nedenlerle, çeliklerin ısıl işlemlerinde demir – sementit faz diyagramı (Şekil 2.3) yol gösterici konumundadır.

Demir-Sementit denge diyagramı: Demir-sementit denge diyagramı, % C miktarı ve sıcaklık ilişkisine bağlı olarak, demir-karbon alaşımlarının içyapılarında oluşabilen tüm fazların bir arada görülebildiği diyagramlardır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Demir – sementit faz diyagramı (Anonim, 2013)

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, değişen karbon miktarına karşın elde edilen sıcaklıklara bağlı noktaları birleştiren eğriler, diyagram üzerindeki faz bölgelerinin sınır çizgilerini oluşturur. Demirci (2004)'ye göre bu sınırların adlandırılmaları ve dönüşüm noktalarının işaretlenmeleri, demir-karbon diyagramlarının önemini

anlamli kilmaktadir ve bu adlandirma sivi alasmının soğuma yönü esas alınirsa Çizelge 2.1'deki gibi olur.

Çizelge 2.1. Fe-Fe₃C diyagramında eğriler ve adlandırılmaları

| Eğri | Köşe Noktaları | Dönüşüm |
|--------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Likidus eğrisi | A-B-C-D eğrisi | Sıvı-katı dönüşüm başlangıcı |
| Solidus eğrisi | A-H-J-E-C-F eğrisi | Katılaşmanın tamamlanma sınırı |
| A ₄ Sıcaklığı | N-J eğrisi | δ→γ dönüşümü |
| A ₃ | G-S eğrisi | γ→α dönüşümü |
| A ₂ | M-O eğrisi | Ferromanyetik özellik kazanımı |
| A ₁ | P-S-K eğrisi | γ→perlik dönüşümü |
| A _{cm} | S-E eğrisi | İkinci sementit ayrışımı |

Fe-Fe₃C denge diyagramında temel fazlar:

γ –Ostenit: YMK kristal yapısında bulunan *γ* –demirinde çözünmüş karbonun katı çözeltilisidir. Ostenit 1148 °C'de %2'ye kadar karbon çözüdürebilir. Ayrıca yumuşak ve sünek bir fazdır. Ancak ferrite göre daha güçlü, daha az sünek özelliktedir (Agrawal, 2008).

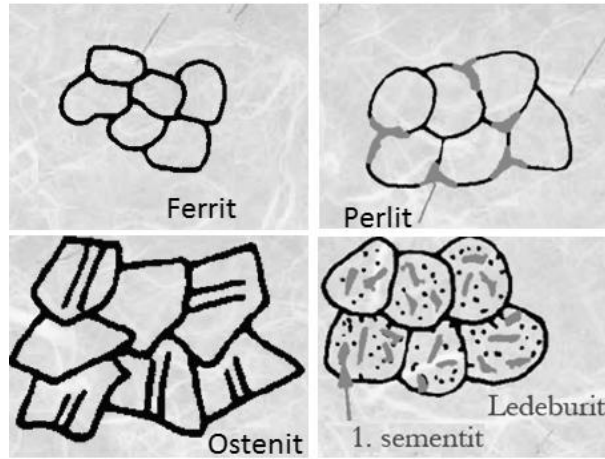
α –Ferrit: Oda sıcaklığında yalnızca % 0,006 oranında karbon içeren, hemen hemen saf denilebilecek demir fazıdır. Ferrit oldukça yumuşak ve sünek, kolay şekillenebilen bir yapıdır. Ayrıca soğuk şekillendirme işlemine de uygundur. Oda sıcaklığında oldukça manyetiktir (Agrawal, 2008).

Sementit (Fe₃C): Sementit çeliğin hızlı soğuması sırasında, grafit oluşturamayan karbonların demir ile bileşik oluşturmasının sonucu olarak ortaya çıkar. Yapısında % 6.67 oranında karbon bulundurur. Fazlar içerisinde en sert olanıdır, bu nedenle gevrek ve kırılğan bir yapıya sahiptir. Sementit aynı zamanda, içerisinde bulunduğu malzemenin de sert ve kırılğan olmasında etkilidir. Bu nedenle demir esaslı malzemelerde oluşumunun kontrol altında tutulması, malzemenin beklenen özelliklerin elde edilebilmesi bakımından son derece önemlidir (Demirci, 2004).

Perlit ($\alpha + Fe_3C$): Ferrit ve sementit fazlarını bir arada bulunduran perlit fazı, % 0,8 karbon içerir. Otektoid bir yapı olan perlit çok yavaş soğuma sırasında 723 °C’de oluşur. Çelik yapısında yuvarlak taneli ya da lamelli olarak görülebilir. Taneli yapı, malzemenin 723 °C’de tavlanaarak çok yavaş soğutulması ile, lamelli yapı ise havada soğutulması ile oluşur (Şahin, 2012).

Ledeburit ($\gamma + Fe_3C$): Ostenit ve sementit fazlarının bir karışımı olan ledeburit % 4.3 oranında karbon içeren alaşımın 1147 °C sıcaklıkta otektoid dönüşümle katılaşması sonucu oluşmaktadır. Sert ve kırılgan bir yapıdır (Savaşkan, 2007).

Dönüşmüş Ledeburit: Ledeburitik yapının otektoid sıcaklığın altındaki haline dönüşmüş ledeburit adı verilir. 723 °C altında ostenit fazı perlite dönüştüğünden ledeburitin yapısında bulunan ostenit de perlite dönüşür ve bu sıcaklığın altında yapı artık perlit ve sementit karışımına dönüşmüş olur. Bu dönüşüm sonucunda oluşan yapıya da dönüşmüş ledeburit adı verilir (Savaşkan, 2007).



Şekil 2.4. Çelik dönüşüm sonu içyapıları (Küçükyıldırım, 2007)

2.1.1. Tavlama

Tavlama, malzemeleri yumuşatmak, tokluk, süneklik gibi mekanik özelliklerini iyileştirmek, iç gerilmeleri ortadan kaldırmak ve işlenebilirliklerini arttırmak gibi amaçlarla metallere uygulanan ısıtma işlemlerinin genel adıdır. Tavlama malzemelere uygun olmayan mevcut özellikleri uygun hale getirmek için uygulanabileceği gibi, bir önceki üretim işleminden kalan uygunsuzlukları ortadan kaldırmak için ya da malzemeyi bir sonraki üretim işlemine uygun hale getirmek için de uygulanabilir. Bu amaçlar göz önünde bulundurularak, istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla tasarlanmış olan tavlama çeşitlerinden bir ya da bir kaç seçilir ve malzemelere uygulanır. En yaygın kullanılan tavlama çeşitleri şunlardır;

- Normalizasyon tavlaması
- Yumuşatma tavlaması
- Gerilme giderme tavlaması
- Tane büyütme tavlaması
- Homojenleştirme tavlaması
- Yeniden kristalleştirme tavlaması

2.1.1.1. Normalizasyon tavlaması

Normalizasyon tavlaması, çeşitli işlemlerden sonra değişen çeliğin iç yapısının yeniden normal iç yapı durumuna dönmesini sağlamak amacıyla uygulanır. Normalleştirme tavlaması otektoid altı çeliklerde iç yapının yuvarlak, ince taneli ve homojen dağılımlı bir yapıya dönüşmesi amacıyla yapılır. Otektoid üstü çeliklerde ise kendinden sonraki küreselleştirme işlemini kolaylaştırmak ve sertleşme sürecinin kısılmasını sağlamak amacıyla uygulanır. Dökülmüş çeliklerde soğuma esnasında, dövülmüş çeliklerde yüksek şekil verme sıcaklarında ve yüksek sıcaklıkta difüzyon tavlaması sırasında oluşan tane irileşmesinin giderilmesi amacıyla da normalleştirme tavlaması uygulanır (Yüksekkaya, 1996).

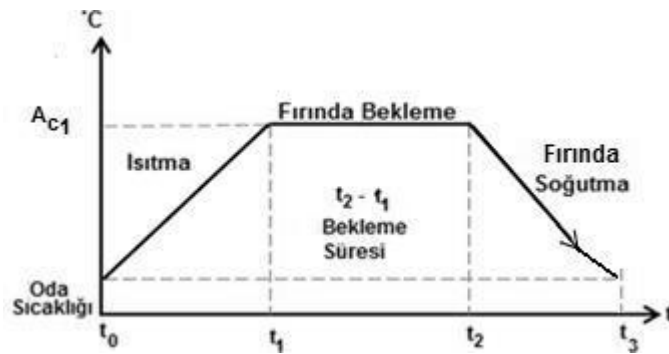
ayrıca perlit miktarı da artar. Bunun sonucu olarak malzemelerin mukavemet ve sertlik değerleri de iyileşmiş olur.

Normalleştirme, diğer tavlama türleri ile karşılaştırıldığında çok daha ekonomik bir çözümdür ve endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. İşlem sırasında ısıtma ve bekletme işlemlerinin ardından malzeme havada soğutulduğundan fırın işgal süresi oldukça düşüktür. Bu durum normalleştirme işlem maliyetlerinin oldukça düşük olmasına büyük katkı sağlamaktadır.

2.1.1.2. Yumuşatma tavlaması

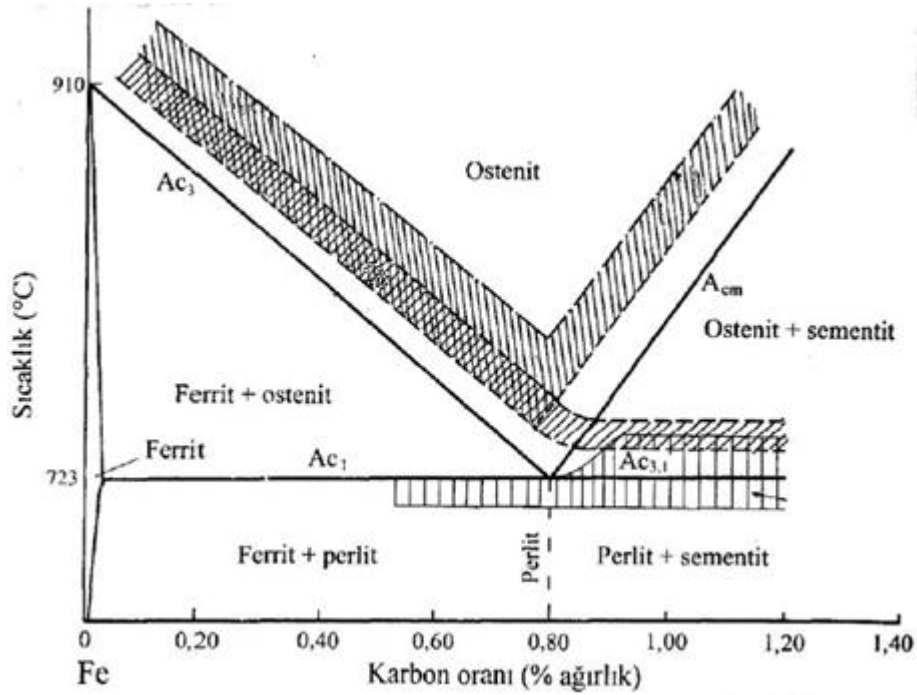
Yumuşatma tava, çelikleri mümkün olan en yüksek yumuşaklığa bir başka deyişle en düşük sertliğe ulaştırabilmek amacıyla yapılır. Bunun sonucunda metallerin mukavemeti düşerken, sünekliği ve tokluğu artar, ayrıca işlem sonucunda malzeme bünyesindeki iç gerilmeler de giderilir. Yumuşatma tavlamasının ardından malzemeden talaş kaldırmak ve soğuk şekillendirme yöntemleriyle malzemeyi işlemek oldukça kolaylaşır.

Yumuşatma tavlamasının işlem basamakları normalleştirme tavlamasına oldukça benzemektedir. Bu tavlama metodunda normalleştirme tavlamasından farklı olarak soğutma işlemi, havada değil işlemin gerçekleştirildiği fırın içerisinde ve oldukça yavaş bir şekilde gerçekleştirilir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Yumuşatma tavlaması işlem adımları

Yumuşatma tavlaması, ötektoid altı çeliklerin A_{c1} sıcaklığının hemen altına, ötektoid üstü çeliklerin ise A_{c1} sıcaklığının (Şekil 2.8) üzerinde belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması, bu sıcaklıkta malzemenin kalınlığı ya da çapına bağlı olarak belirli bir süre bekletilmesi ve bu süre sonunda ostenitik dönüşümün sağlanmasının ardından yavaş bir şekilde fırın içerisinde belirli bir sıcaklığa ve sonrasında oda sıcaklığına kadar soğutulması işlemlerinden oluşur.



Şekil 2.8. Yumuşatma tavlama için önerilen tavlama sıcaklıkları (Savaşkan, 2009)

Yumuşatma tavlaması sonunda ötektoid altı çeliklerde, ötektoid dışı ferrit ile kaba lamelli perlitten oluşan bir yapı meydana gelir. Ötektoid üstü çeliklerde ise kaba lamelli perlit ile bunları çevreleyen ötektoid dışı sementit fazından oluşan bir yapı oluşur. Ötektoid dışı bu sementitler, bir sementit ağı oluşturur ve bu sementit ağı malzemeyi sert ve gevrek bir hale getirerek mukavemetin düşmesine neden olur. Bununla birlikte iç yapının sert oluşu talaş kaldırmayı da zorlaştırır. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında, yumuşatma tavlamasının ötektoid üstü çeliklerde nihai ısıl işlem olarak kullanılmaması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Savaşkan, 2007).

2.1.1.3. Gerilme giderme tavlaması

Metal malzemeler kaynak, döküm, haddeleme, tel çekme vb. işlemlere tabi tutulduklarında ısı iletimine bağlı olarak bünyelerinde sıcaklık farkları, farklı soğuma hızları oluşabilir. Bu farklar sonucu malzemelerin farklı bölgelerinde farklı içyapı değişimleri ve farklı şekil değiştirmeler vuku bulabilir. Bunun sonucunda malzeme bünyesinde uyumsuzluklar meydana gelir. Malzemeler bu uyumsuzlukları tolere edebilmek için kendisini elastik ya da plastik şekil değiştirmeye zorlayabilir. Eğer bu şekil değiştirme elastik bölgede kalırsa, malzeme yeniden eski haline dönmek ister, ancak bu duruma malzeme bünyesinde karşı koyan bir gerilme oluşur. Bu gerilmelere iç gerilme adı verilir.

Gerilme giderme tavlaması sırasında herhangi bir yapı dönüşümü gözlenmez. Bu tavlama amaç malzeme bünyesindeki iç gerilmeleri ortadan kaldırmaktır. Bu nedenle işlem içyapı dönüşümlerinin başladığı sıcakların altında gerçekleştirilmelidir. Böylece malzemenin mekanik özelliklerinde doğrudan değişiklik meydana getirmeden, yalnızca iç gerilmeleri meydana getiren elastik şekil değiştirmelerin ortadan kaldırılması amaçlanır. Çelikler için bu sıcaklık 550-600 °C civarındadır. Tavlama işlemi sonrasında yeniden iç gerilme oluşmaması için tavlanan malzeme fırında yavaşça soğutulmalıdır (Anonim, 2008).

2.1.1.4. Tane büyütme tavlaması

Tane büyütme tavlaması, malzemelerin talaşlı imalata uygunluğunun artırılması amacıyla uygulanır. Bu amaçla malzemeler A_3 sıcaklığının ortalama 150 °C üstünde bir sıcaklığa ısıtılarak parça kalınlığına göre bir süre tavllanır ve daha sonra A_1 sıcaklığına kadar yavaş bir soğuma hızı ile soğutulur. A_1 sıcaklığına gelindiğinde malzemenin taneleri irileşmiş olur bu sıcaklıktan sonra soğuma hızı yükseltilebilir (Demirci, 2004).

Talaşlı imalat sırasında malzeme yüzeyinden kaldırılan talaşın yapısı önemlidir. Sürekli, şerit şeklinde oluşan bir talaş, işlem sırasında malzeme yüzeyinin

bozulmasına, tezgahın tertibatlarına dolanarak hasarlara ya da tezgahı kullanan kişinin yararlanmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenlerle oluşan talaşın kısa, kırılğan ve kesici uca sıvanmayacak yapıda olması istenir. Tane büyütme tavlaması ile oluşan irileşmiş yapı talaşın kırılğan olmasını sağlar ve böylelikle talaş sürekliliğini ortadan kaldırır (Eker, 2008).

2.1.1.5. Homojenleştirme tavlaması

Homojenleştirme tavlaması malzemelerin içyapısında bulunan kimyasal bileşiklerin tüm içyapıda düzgün ve düzenli bir şekilde dağılımını sağlamak amacı ile uygulanır. Bu sayede malzeme üzerinde farklı bölgelerde karşılaşılan yerel farklılıkların ortadan kaldırılması sağlanır.

Homojenleştirme tavi, malzemelerin yayınma hızlarının yeterince yüksek olduğu sıcaklıklarda belirli bir süre bekletilmesi ile oluşur. 1100 – 1200 °C'ye denk gelen bu sıcaklıklarda atomlar hareket kabiliyeti kazanarak homojen bir yapı oluşturacak şekilde yeniden düzenlenirler. Tavlama sıcaklığına ulaşp gereken sürede tavlama gerçekleştirildikten sonra malzemeler, 800 °C'ye kadar fırında daha sonrasında havada soğutulurlar. Ancak burada işlemin yüksek sıcaklıklarda gerçekleşiyor olması oksitlenme sorununu da beraberinde getirebileceğinden tavlama süresi dikkatli seçilmelidir (Tekeli, 1991).

2.1.1.6. Yeniden kristalleştirme tavlaması

Bir metal soğuk şekillendirmeye maruz bırakıldığında tane yapılarında bazı deformasyonlar oluşur, bu deformasyonlar tane yapısının uzamasıyla meydana gelir ve bunun sonucu olarak malzemeler sertleşir ve gevrekleşir. Bu durum metallerin soğuk şekillendirilmesinde bir sınır oluşturur.

Haddeleme gibi bir soğuk şekillendirme işlemi düşünülürse, bir çelik kütüğünü sac haline getirebilmek için haddeleme işlemi defalarca uygulamak gerekir. Bu işlemin tekrarlanabilir ve kolay olması ancak malzemenin soğuk şekillendirme nedeni ile

sertleşmeden önceki halinde mümkün olabilir. İşte tam bu noktada malzemenin tane yapısını orijinal haline dönüştürerek bu sınırlamadan kurtulma isteği akla gelir. Soğuk şekillendirme sırasında meydana gelen sertleşmeyi ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan tavlama işlemine yeniden kristalleştirme tavi adı verilir. Yeniden kristalleştirme tavinin bir başka amacı da içyapıyı bir sonraki işlem için uygun hale getirmektir. Tavlama işlemi çeliğin şekil değiştirme miktarına bağlı olarak belirlenen sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Soğuk çekme, haddeleme vb. gibi işlemlerin peş peşe uygulandığı çelikler için son derece faydalı bir tavlama türüdür (Budinski ve ark., 2010).

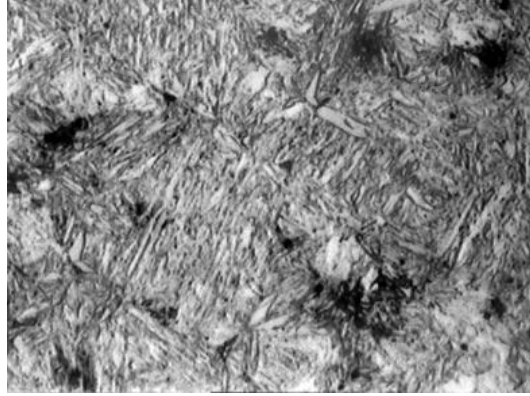
2.1.2. Sertleştirme (Su verme)

Çelik malzemelerde ısı işlem sırasında oluşan içyapı çeşitliliği soğutma hızına bağlı olarak değişir. Demir-ementit diyagramında karşılaştığımız faz yapıları çoğunlukla düşük soğutma hızları ile elde edilmektedir. Bununla beraber soğutma hızı arttırıldıkça malzeme içerisinde bulunan atomlar bu yapıları oluşturamayarak farklı içyapılar oluşturur ve buna bağlı olarak malzemenin mekanik özelliklerinde de bazı değişimler görülür.

Sertleştirme, çeliğin ihtiva ettiği alaşım elemanlarına bağlı olarak belirli bir sıcaklığa (ostentileşme sıcaklığına) kadar ısıtılıp, ani olarak soğutulması ve bu yolla içyapıda martenizt adı verilen fazın oluşumunun sağlanması işlemine verilen genel bir addır. Sertleştirme işlemi genel olarak ani soğutmanın sağlandığı ortama göre suda sertleştirme, havada sertleştirme, yağda sertleştirme gibi türlere ayrılır, bu ayrım farklı çeliklerde farklı soğuma hızlarına duyulan gereksinimden kaynaklanmaktadır. Günlük dilde çeliğe su verme olarak ifade edilen sertleştirme yöntemi, soğutucu ortam olarak suyun kullanımından türemiş bir kavramdır (Şahin, 1997).

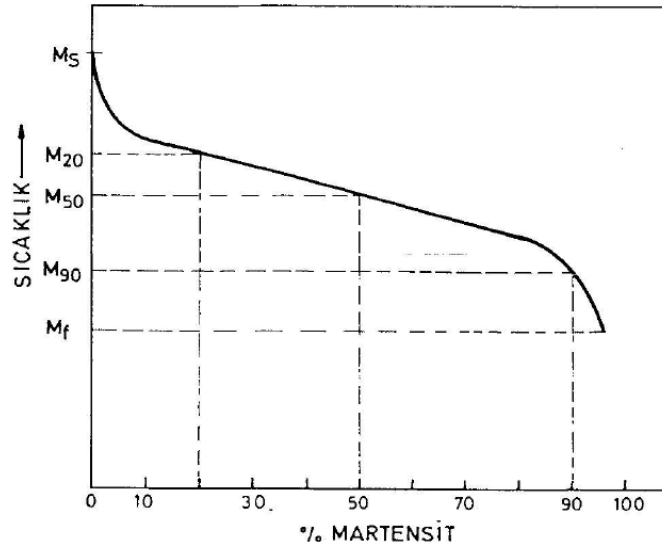
Ötektoid altı çelikler A_3 , ötektoid üstü çelikler ise A_1 sıcaklığının yaklaşık $50\text{ }^\circ\text{C}$ üstüne kadar ısıtılarak bu sıcaklıklardan aniden ve hızla soğutulduklarında malzeme yapısındaki ostenit, normalde dönüşmesi gereken perlitli oluşturmaya fırsat bulamaz, bunun yerine martenzit adı verilen yeni bir faz oluşturur. Martenzit oldukça serttir ve

malzemelere yüksek mukavemet kazandırır. Bu işlem sonunda malzeme sertleşmiş olur, uygulanan bu işleme de sertleştirme adı verilir. Sertleştirme işlemi sonunda malzemenin sertliği en yüksek değerine ulaşır ve aşınma dayanımı da son derece artar, bunlarla beraber sünekliği ve soğuk şekil değiştirme kabiliyeti de azalır.



Resim 2.1. Martenzitin ışın mikroskobu görüntüsü (Küçükyıldırım, 2014)

Sertleştirme amacıyla malzemenin ısıtılması sırasında martenzitin oluşmaya başladığı ana denk gelen sıcaklık değerine M_s sıcaklığı adı verilir. Bu sıcaklık değeri malzemenin kimyasal bileşimine bağlı olmakla birlikte en çok karbon oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Soğutma sırasında M_s sıcaklığına ulaşıldığında yapıdaki ostenit martenzite dönüşmeye başlar ve soğuma devam ettiği sürece bu dönüşüm devam eder. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi geçen süreye karşılık oluşan dönüşüm oranına denk gelen sıcaklık, % orana denk gelen simgelerle ifade edilir. Dönüşümün tamamen tamamlandığı sıcaklık ise M_f ile gösterilir. İşlem sırasında M_f noktasına ulaşılmış olunması dönüşümün tamamen gerçekleştiğini gösterir ve bu duruma tam sertleşme adı verilir (Balya, 2013).



Şekil 2.9. Martenzit oluşumunun sıcaklığa bağlı değişimi (Balya, 2013)

Ötektoid altı çeliklerin ostenit alanından su verilerek sertleştirilmeleri sırasında az bir miktar kalıntı ostenit bulursa da içyapıdaki östenitin neredeyse tamamı martenzite dönüşür, buna karşın ötektoid üstü çeliklerde ostenit + 2. sementit alanından su verilmesi ile oluşan içyapıda martenzit ve kalıntı ostenitin yanında birde 2. sementit bulunur. Sertleştirme sırasında içyapıda martenzitin yanında sementitin de bulunması istenilen bir durumdur. Daha önce belirtildiği gibi sementit demir-sementit denge diyagramındaki fazların en sert olanıdır ve martenzit ile birlikte malzemenin sertliğini artırma yönünde olumlu etkisi vardır (Yılmaz, 2006).

Çeliğin sertleştirilmesinde gerekli olan hızlı soğutma için farklı soğutma ortamları kullanılmaktadır. Bu durum farklı yapıdaki çeliklerin sertleşme için ihtiyaç duydukları farklı soğutma hızlarının sonucudur. Soğutucu ortam olarak kullanılan akışkanların ısı transferi özelliklerinin farklı olması, içerisinde soğutulan malzemenin soğutma hızını doğrudan etkilemektedir. Soğutma sırasında önemli olan perlitik kademede malzemenin maksimum ısı çekilmesi, martenzitik kademede ise çatlamların önüne geçmek için minimum ısı çekilebilmesidir. Çeliklerin sertleştirilmesinde kullanılan başlıca soğutma ortamları; su, yağ, hava ve sulu çözeltilerdir.

Suda sertleştirme: Su, çeliğin sertleştirilmesinde eski zamanlardan beri yaygın olarak kullanılan bir sertleştirme ortamıdır. Uzun zamanlar boyunca soğutucu olarak kullanılmasından dolayı sertleştirme işlemi çeliğe su verme olarak da bilinmektedir. Su verme işleminde sıcak parça suya daldırıldığında etrafında bir buhar filmi oluşur. Oluşan bu film tabaka malzeme üzerini yalıtır. Bu sebeplerle başlangıçta soğuma hızı yavaştır. Sıcaklık düştükçe bu film tabakası yırtılır ve buhar kabarcıkları yüzeye çıkar. Sıcaklık 400°-500 ° C civarına düştüğünde soğutma sıvısı kaynamaya başlar ve bu aşamada soğuma hızı en yüksek değerine ulaşır. Soğuma devam ettikçe sıcaklık kaynama noktasının altına düşer, bu aşamadan sonra soğuma yavaş bir şekilde devam ederek sona erer (Eker, 2008).

Yağda sertleştirme: Yağda sertleştirme işleminde soğutma hızı suda soğutmaya göre oldukça düşüktür. Bu nedenle düşük kritik soğuma hızlarına sahip çeliklerin sertleştirilmesinde soğutucu ortam olarak soğutma yağları kullanılır. Soğutma işlemi sırasında malzemede korozyon oluşumu sık karşılaşılan bir sorundur. Soğutucu olarak yağın kullanılması korozyon oluşumunu engeller ve tüm çelikler için en yüksek korozyon dayanımı sağlar. Yağların kullanımında önemli olan bir nokta bu sıvıların kolay alevlenebilen malzemeler olduğunun göz önünde bulundurulması ve yağ seçiminde işlem sıcaklığının yağın tutuşma sıcaklığından düşük olmasına dikkat edilmesinin gerekliliğidir. Ayrıca su ya da hava kadar kolay ulaşılamamasından dolayı ucuz olması da önemlidir (Anonim, 2006b).

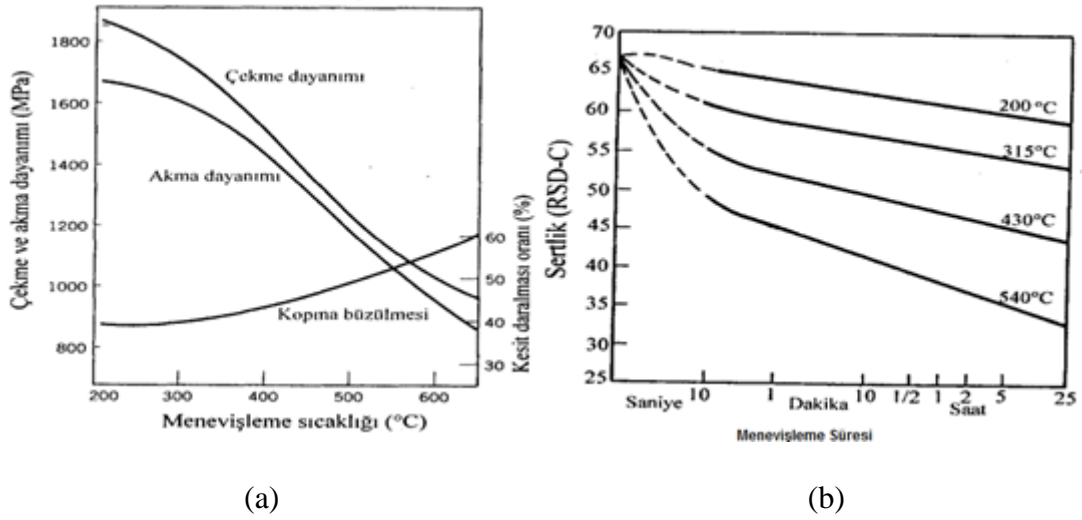
Havada sertleştirme: Havada sertleştirme yöntemi, malzemenin sertleşme sıcaklığına ısıtılmasının ardından fırın dışında, yalnızca hava ile soğutulmasıdır. Kullanılan yöntemler arasında verimi en düşük olan yöntemdir. Bunun nedeni havanın soğutma hızının diğerlerine göre daha düşük olmasıdır. Bu nedenle soğutma etkisini arttırmak için hava akışı fan ya da kompresör ile hızlandırılarak kullanılabilir. Eğer hava basınçlandırılarak ya da fan ile hızlandırılarak kullanılacaksa malzemenin tüm yüzeyine eşit dağıldığına ve tamamen kuru olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca yüksek sıcaklık altında havada bulunan O₂ ve diğer elementlerin korozyon direncini düşüreceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Anonim, 2000).

Sulu çözeltilerde sertleştirme: Suda sertleştirme işleminden farklı olarak, istenilmeyen durumların önüne geçmek ya da istenilen farklı durumları elde etmek amacıyla soğutma sıvısı olarak farklı tuz veya madenlerden elde edilen çözeltiler kullanılır. Genel olarak soğutma banyoları parça sıcaklığını dengelemek ve iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için tercih edilir. Böylece artık gerilmeler, çarpılmalar ya da yüzeyde oluşan bozulmalar asgari düzeye indirilmeye çalışılır. Kullanılacak tuz ya da madenler sertleştirilecek olan malzemeye göre seçilir (Anonim, 2006b).

2.1.3. Menevişleme (Temperleme)

Çelikler sertleştirme işleminden sonra oldukça gevrek ve kırılğan bir yapıya sahip olurlar, bunun yanında sertleştirme işleminde ostenitin, martenzite dönüşmesi esnasında malzemede iç gerilmeler meydana gelir. Bu haliyle malzemelerin şekillendirilmesi oldukça zordur, malzeme çok gevrek olduğundan şekillendirme esnasında çatlama ya da kırılmalarla karşılaşılabilir (Turgut, 2013).

Sertleştirme işlemine tabi tutulan çeliklere, malzemelerin gevrekliklerini gidermek ve tokluklarını iyileştirmek amacıyla menevişleme adı verilen ısı işlem uygulanır. Bu amaçla menevişleme ısı işleminde malzeme, A_1 sıcaklığının altında belli bir noktaya kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta belli bir süre tavlandıktan sonra havada soğutulur. Bu işlem sırasında malzemenin tokluğu ve sünekliği artar ve malzeme bünyesinde sertleştirmeden kaynaklı oluşan iç gerilmeler yok olur. Ancak malzeme belirli bir süre ve sıcaklıkta tavlandığından iç yapısında, dolayısıyla mekanik özelliklerinde de bir miktar değişimler görülür (Şekil 2.10a). Bunun sonucunda menevişleme işleminde süneklik ve tokluk özelliği iyileştirilirken malzemenin sertliğinde de düşüş olur. Bu düşüşün miktarı menevişleme sıcaklığına ve süresine (Şekil 2.10b) bağlı olarak değişir (Şen, 2006).



Şekil 2.10. a) Menevişleme sıcaklığının mekanik özelliklere etkisi b) Menevişleme süresi ile sertlik değerinin değişimi

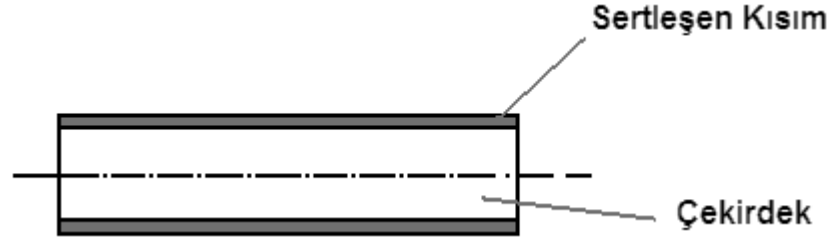
2.1.4. Islah etme

Islah etme işlemi kendine özgü bir ısıl işlem olmaktan çok, bir seri önce sertleştirme ve hemen ardından bir menevişleme işleminin peş peşe uygulanması işlemine verilen addır. Islah etme işlemi ıslah çeliklerine (yapı çelikleri) uygulanabildiği gibi bazı takım çeliklerine de uygulanabilir. Islah etme işlemi uygulanan malzemeler yüksek süneklik ve tokluğa sahip olurlar. Bunun yanında malzemenin sertliğinde de bir miktar düşüşe sebep olur. Islah işleminin faydalı olabilmesi için sertleştirme sıcaklığının doğru seçilmesi önemlidir. Bu nedenle ıslah işlemi uygulanacak çeliğin karbon miktarı ve alaşım durumu net olarak bilinmelidir (Saklakoğlu, 2014).

2.1.5. Yüzey sertleştirme

Yüzey sertleştirme işlemleri, yüzeyde yüksek sertlik ve iç gövdede yüksek tokluk ve süneklige sahip malzemeler elde etmek için kullanılır. Bununla beraber malzemelerin yalnızca istenilen yüzeylerinin sertlik değerlerinin artırılması da mümkündür. Özellikle darbeli yükler altında çalışan dişli çarklar gibi makine parçalarında yüzeyin aşınmaya, gövdenin tamamının ise vuruntulu, darbeli çalışma şartlarına dayanıklı olmaları istenir. Bu isteklerin karşılanabilmesi malzemelere yüzey sertleştirme işlemlerinin uygulanması ile mümkün olabilmektedir. Bu işlemler ile malzemelerin

1-5 mm arasında yüzey kısımlarının sertleştirilmesi çekirdek kısmın ise sünek yapısını koruması (Şekil 2.11) sağlanabilir (Anonim, 2011).



Şekil 2.11. Yüzey sertleştirme işlemi sonrası malzeme durumu

Öncel (2011) yüksek lisans tezinde çeliklere uygulanan başlıca yüzey sertleştirme işlemlerini şu şekilde sınıflandırmıştır;

Sınırlı ısıtmanın uygulandığı yöntemler

- a) Alevle Yüzey Sertleştirme
- b) İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme
- c) Daldırma Yöntemi ile Yüzey Sertleştirme
- d) Elektron bombardımanı ve Lazer İle Sertleştirme

Kimyasal bileşimin değiştirildiği yöntemler

- a) Sementasyon (Karbonlama)
- b) Nitrasyon (Nitrürasyon, Nitrüleme)
- c) Sülfonitrasyon
- d) Karbonitrasyon
- e) Plazma Nitrasyon (İyon Nitrasyon)
- f) Borlama
- g) CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme)

2.2. Tribolojik Özellikler

Birbirleri ile doğrudan temas halinde çalışan ve izafi hareket yapan iki ya da daha fazla malzeme arasında bir etkileşim oluşur. Bu etkileşim sonucunda bir parça ya aşınmakta ya da karşısındaki malzemeyi aşındırmaktadır. Aşınma endüstride yaygın olarak karşılaşılan bir problemdir ve makine elemanlarının kullanım ömrüne doğrudan etki etmektedir. Aşınan malzemeler çoğu zaman tekrar kullanılmadığından hurdaya ayrılmakta bu da karşımıza artan maliyet olarak çıkmaktadır. Aşınma, malzemelerin birlerinin hareketlerine karşı direnç göstermeleri sonucu, yüzeylerinden parça koparmaları şeklinde oluşur. Bu durum göz önüne alındığında aşınmayı azaltmak için ya iki malzeme arasındaki direnci minimuma indirmenin ya da malzemelerin bu dirence karşı koyarak yüzeylerinden parça kopmayacak hale getirilmelerinin gerekliliği dikkat çekmektedir.

Aşınmaya sebep olan direncin minimuma indirilmesi yağlama, dirence karşı koyma durumu ise sertleştirme yöntemleri ile sağlanabilse de aşınmayı tamamen ortadan kaldırmak çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda montaj-demontajı, üretim maliyeti, temin etme kolaylığı gibi etmenler göz önünde bulundurularak çeşitli yöntemlerle temasta olan iki malzemedenden birinin daha az aşınması, diğerinin ise daha kolay aşınması sağlanabilir. Böylelikle dolaylı yoldan maliyetin düşürülmesi sağlanabilir. Ancak bunun için malzemelerin sürtünme ve aşınma özelliklerinin iyi bilinmesi, bu konuda yeterli araştırmanın yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

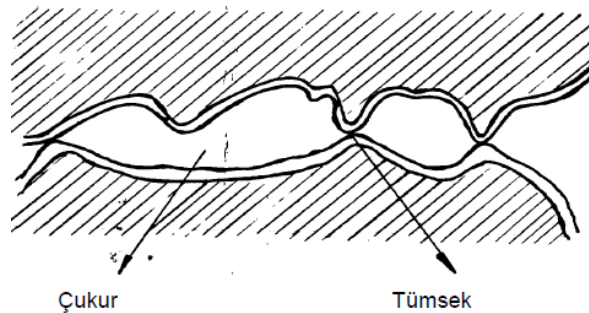
Aşınma yalnızca metalik malzemelerde değil hayatın her alanında karşımıza çıkabilmektedir. Kumaşlar, lastikler, ahşap vb. pek çok malzemedede aşınma sonucu kütle kaybı görülebilmekte, sonucunda da kullanılamaz hale gelebilmektedir. Hayatımızın birçok alanında karşımıza çıkan bu problemin mekanik sistemlerde oluşturduğu zararın minimuma indirilmesi için aşınmaya karşı alınacak önlemlerin iyi bilinmesi gerekir. Bu önlemleri alabilmek için ise aşınma olayının gerçekleşme mekanizması ve gerçekleşme şekli hakkında bilgi sahibi olunması gerekir.

2.2.1. Sürtünme

Birbirleriyle temas halinde hareket eden iki cisim arasında hareket yönüne ters yönde oluşan teğetsel direnç kuvvetine sürtünme adı verilir. Başka bir deyişle sürtünme katı bir cismin kendisiyle temas halindeki başka bir katı cismin bağıl hareketine veya hareket etme ihtimaline karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir (Gültaş, 1998).

Birbiri ile temas halinde hareket eden yüzeyler arasında yağlayıcı ortam bulunup bulunmamasına göre sürtünme kuru, sınır sürtünmesi ya da sıvı sürtünmesi olarak adlandırılan sürtünme türleri ortaya çıkar. Kuru sürtünmede, sürtünme yüzeyleri arasında herhangi bir yağlayıcı tabakası yoktur, yüzeyler doğrudan temastadır. Sınır sürtünme durumunda yüzeyler arasında yağlayıcı bir tabaka vardır ancak yüzeyleri tam olarak birbirinden ayırmaz. Eğer yüzeyler arasındaki yağlayıcı sıvı iki yüzeyi birbirinden ayırıyorsa bu durumda sıvı sürtünme durumu ortaya çıkar (Dikmen, 2010).

Sürtünme, kayma, yuvarlanma ya da bu iki hareket türünün bir arada bulunduğu sistemlerde görülür. Sürtünme birbiri üzerinde hareket eden cisimlerin geometrilerinden çok yüzeylerin pürüzlülük durumu ile ilişkilidir. Bunun nedeni malzemeler temas halinde iken birbirine değen noktalar Şekil 2.12’de görüldüğü gibi yüzeyin tamamının değil pürüzlerin tepe noktalarının temas etmesinden kaynaklanmaktadır (Kılıç, 2007).



Şekil 2.12. Sürtünen yüzeylerde temas noktaları (Kılıç, 2007)

2.2.2. Aşınma

Sürtünme durumunda olan malzemelerin yüzeylerinde oluşan fiziksel değişmelere aşınma adı verilir. Metallerde aşınma yüzeyden istenilmeyen parça kopması şeklinde görülür. Kopan malzemeler malzeme yüzeyinde boşluklar oluşturur ve parça boyutlarının değişmesine neden olur, sonuç olarak parça fonksiyonlarını yerine getiremez ve sistem içerisinde sorunlara neden olur (Akkurt, 1992; Kılıç, 2007).

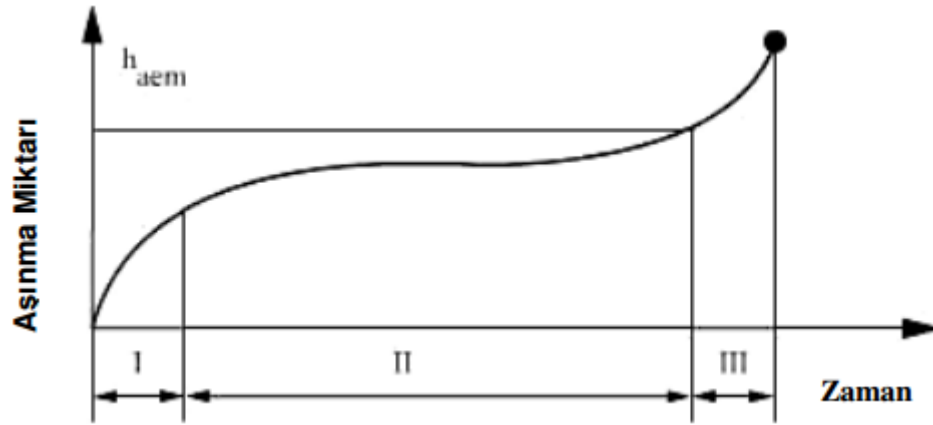
Sürtünerek çalışan makine elemanlarında aşınma kaçınılmaz bir durumdur. Bununla birlikte bir parçadaki malzeme kaybı ve deformasyonların aşınma olarak ifade edilebilmesi için Şekil 2.13'de şematik olarak gösterilen aşağıdaki kriterleri sağlaması gerekir;

- Mekanik bir etmenin olması
- Sürtünme sırasında gerçekleşmesi
- Yavaş ve devamlı olması
- Malzeme yüzeyinde değişiklik oluşturması
- İstek dışı gerçekleşmesi (Yılmaz, 2012).



Şekil 2.13. Aşınma mekanizmasının şematik olarak gösterimi (Güldaş, 1998)

Zamana bağlı olarak aşınma üç safhada gerçekleşmektedir. Bu üç safhada aşınma miktarındaki değişim Şekil 2.14’de verilmiştir. 1. safha birbirine temas halinde çalışan parçalar yüzeyinde, hareketin ilk başlarında oluşan aşınmadır. Bu süreç rodaj olarak da bilinir. Malzemeler yüzey kalitesi yönünden ne kadar hassas işlense de yüzeylerinde yine de bir miktar pürüzlülük mevcuttur. Rodaj sırasında bu pürüzlerin birbiri ile teması sonucu ortaya çıkan aşınma ile malzemeler birbirine alışır. Rodaj işlemi diğer aşamalardaki aşınma oluşumunu doğrudan ilgilendirmektedir. Rodaj işleminden malzeme kullanılamaz hale gelene kadar geçen süreç ise sürtünmenin 2. aşamasıdır. Bu süreç içerisinde malzemelerde olağan aşınmalar meydana gelir. 3. aşamada aşınma oldukça şiddetlidir ve parçalar çok kısa süre sonra fonksiyonlarını yitirerek kullanılmaz hale gelirler (Kuş, 2007; Kalkan, 2014).



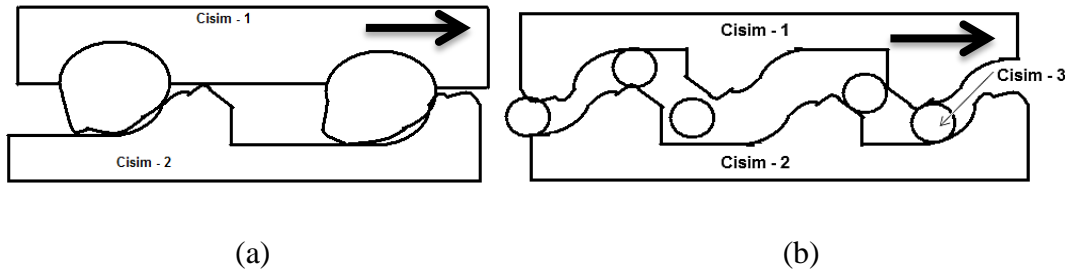
Şekil 2.14. Aşınma – zaman ilişkisi (Kuş, 2007)

Aşınma dış etkilerin, fiziksel, kimyasal etkilerin çeşitliğinden dolayı birden fazla şekilde gerçekleşir (Akkurt, 1992). Oluşum mekanizmasına göre aşınma çeşitleri;

1. Abrasiv aşınma
2. Adhezif aşınma
3. Eroziv aşınma
4. Korozif aşınma
5. Yorulma aşınmasıdır.

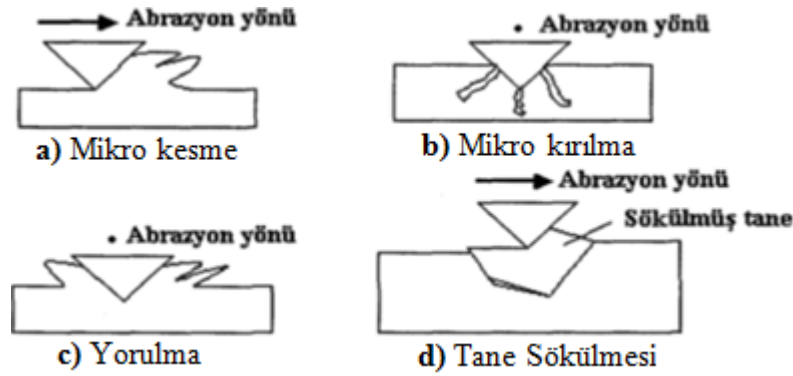
2.2.2.1. Abrasiv aşınma

Sert partiküllerin yüzeyler üzerinde meydana getirdiği aşınma türüne abrasiv aşınma adı verilir. Aşınmaya sebep olan partiküller sürtünme yüzeyleri arasına dışarıdan girebileceği gibi, sürtünen yüzeylerden kopan parçacıklarda olabilir. Bunlardan yalnızca sürtünen 2 yüzey arasında oluşan abrasiv aşınma türü iki cisimli abrasiv aşınma modeli (Şekil 2.15a) olarak adlandırılırken, iki cisim arasına giren sert partiküllerin sebep olduğu aşınma türü üç cisimli abrasiv aşınma modeli (Şekil 2.15b), olarak adlandırılır (Yaman, 2007).



Şekil 2.15. Abrasiv aşınma modelleri a) İki cisimli aşınma b) Üç cisimli aşınma

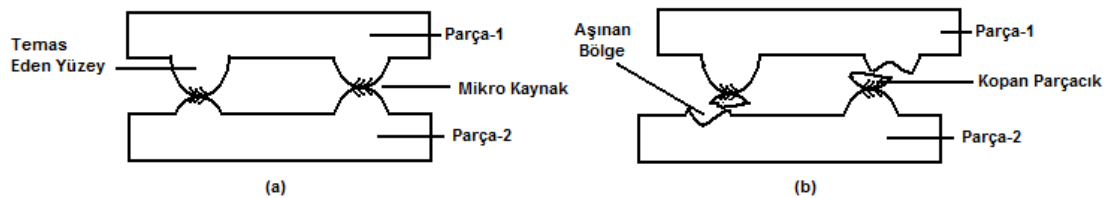
Abrasiv aşınma tüm aşınma maliyetinin yaklaşık % 63'ünü oluşturur. Abrasiv aşınma, aşındırıcının esas malzemeyle aynı ya da daha sert olması durumunda gerçekleşir ve sert partiküllerinin veya sert çıkıntılarının katı bir yüzey boyunca hareket etmesi ve karşı koymasından dolayı oluşur. Batchelor ve ark. (2000)'a göre sert parçacıkların, yüzden malzeme kaldırma şekline göre abrasiv aşınma, mikro kesme, mikro kırılma, yorulma ya da tane sökülmesi şeklinde gerçekleşebilir. Mikro kesme, sert parçacıkların yüzeydeki çıkıntılara uyguladığı basınç sonucu kesmesi ile oluşur (Şekil 2.16a), mikro kırılma ise aşınan malzemenin gevrek olması durumunda gözlemlenir (Şekil 2.16b). Eğer aşınan malzeme sünek yapıda ise aşındırıcı partiküller parçayı kesemez ve yüzey üzerinden tekrar tekrar geçerek malzemenin yorulmasına sebep olur ve dolaylı yoldan malzeme kopmasına neden olur, bu durumda yorulma sonucunda abrasiv aşınma gerçekleşmiş olur (Şekil 2.16c). Tane kopması şeklinde gerçekleşen abrasiv aşınma mekanizması ise çok gevrek malzemelerin tane sınırlarındaki zayıflıktan dolayı yüzeyden parça kopması şeklinde (Şekil 2.16d) gerçekleşir (Islak, 2005; Yıldız ve ark., 2006).



Şekil 2.16. Abrasiv aşınma mekanizmaları (Islak, 2005)

2.2.2.2. Adhezif aşınma

Adhezyon kuvvetinin etkisi ile, sürtünen yüzeylerden malzeme kopması şeklinde oluşan aşınma türüne adhezif aşınma denilmektedir. Adhezif aşınma sık karşılaşılan aşınma türlerinden birisidir. Birbirleri ile temas halinde çalışan bazı malzemeler arasında parçaların ağırlığı ya da dış kuvvetlerin etkisi ile oluşan basınç ve bununla birlikte sürtünme sırasında artan sıcaklığın da etkisi ile birbirlerine yapışmalar, mikro boyutta kaynamalar meydana gelir (Şekil 2.17a). Oluşan bu kaynamalar, tekrarlanan hareket sırasında zayıf olduğu noktalardan koparak beraberlerinde malzemelerin yüzeylerinden parçacıklar koparılırlar (Şekil 2.17b) kopan parçacıkların malzeme üzerinde oluşturduğu deformasyon da adhezif aşınma adını alır (Soydaş, 2006; Kayabaşı, 2011).



Şekil 2.17. a) Aşınma başlamadan hemen önce b) Aşınmadan sonra

Atom dizilişleri aynı olan benzer kristal kafes yapıları malzemelerde sıcaklık ve hareket sırasında oluşan basınç nedeni ile kaynama daha kolay olur. Bu tür malzemelerde adhezif aşınma görülme ihtimalide daha yüksektir.

Adhezif aşınma kuru kayma yüzeylerinde her daim var olan bir aşınma türüdür. Ancak yapılan birçok çalışma metaller arasındaki yağlamanın adhezyon aşınmasını azaltıcı yönde etki ettiğini göstermektedir. Sürtünen metaller arasında yağlayıcı madde kullanılması durumunda malzeme transferi ve sürtünme katsayısında bir azalma meydana gelmektedir (Kalkan, 2014).

Adhezif aşınma sırasında oluşan mikro kaynaklardan kopan parçacıklar bazı durumlarda karşı malzeme yüzeyine transfer olurken, bazı durumlarda koparak iki malzeme arasında kaymaya başlar, bunun sonucunda bu parçacıklar üçüncü partikül durumuna geçerek abrasiv aşınmaya da sebep olabilmektedir.

2.2.2.3. Erozyon aşınması

Akışkan ortamlarda taşınan abrasiv partiküllerin, akış hızıyla malzeme yüzeyine çarpması ve bu çarpma sonucu malzeme yüzeyinden parça kopması şeklinde oluşan deformasyona erozyon aşınması adı verilir. Akışkan ortam içerisinde hareket eden partiküller malzeme yüzeyine belirli bir enerji ile çarpar, bu enerjinin oluşturduğu basınç malzemenin mukavemetini aştığında deformasyona sebep olur (Kalkan, 2014).

Bu tip aşınma özellikle tozlu, kumlu akışkan ortamlarda çalışan pompa, pervane, türbin gibi sistem elemanlarında daha çok görülmektedir. Erozyon aşınmasında aşındırıcı parçacıkların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliği ve çarpma açısı erozyon aşınmasına etki eden önemli etkenlerdir. Erozyon aşınması genel olarak akışkan içerisindeki partiküllerin sebep olduğu aşınma olarak tanımlansa da gerçekleşme biçimi yönünden farklı mekanizmalarla oluşabilir (Dağışan, 2007; Gök, 2008; Ay, 2014).

Yıkama aşınması içerisinde parçacıklar taşıyan sıvıların malzeme yüzeyine temas etmesi sonucu oluşan aşınma türüdür (Yıldızlı, 2002).

Erozyon-korozyon aşınması: Korozif etkiye sahip kimyasal akışkan ortam içerisindeki parçacıkların erozyon ve korozyonu birlikte oluşturduğu aşınma türüdür. Parçacıklar doğrudan erozyona sebep olurken sıvının korozyona sebep olması ile oluşur (Yıldızlı, 2002).

Erozyon-kavitasyon aşınması: Yüksek basınçlı gaz kabarcıklarının malzeme yüzeyine tekrarlı olarak çarparak patlaması sonucu malzemeyi yorarak aşındırmasıdır (Yıldızlı, 2002).

Yağma aşınması: Sıvı damlacıklarının malzeme yüzeyine çarparak aşınmaya sebep olmasıdır (Yıldızlı, 2002).

Termal erozyon: Malzemenin ısı, elektrik ya da mekanik enerjiye maruz kalması sonucu meydana gelen ergime ya da buharlaşma nedeniyle parçaların yüzeylerinde oluşan malzeme kaybıdır (Yıldızlı, 2002).

Püskürtme aşınması: Aşındırıcı partiküllerin hızlandırılarak malzeme yüzeyine püskürtülmesi sonucu oluşur (Yıldızlı, 2002).

2.2.2.4. Korozyon aşınması

Metallerin çevreleri ile kimyasal, elektrokimyasal ya da metalürjik olarak reaksiyona girerek bu yüzeyler üzerinde farklı tabakalar oluşturması ve hareket eden parçaların yüzeylerinde oluşan sürtünme nedeniyle bu tabakaların parçalanması sonucu oluşan aşınma türüdür. Korozif aşınmanın gerçekleşmesi için sürtünme ve korozif etkenin bir arada bulunması gerekir. Öncelikli olarak temas halinde bulunan yüzeyler buldukları ortam ile reaksiyona girerek korozyon tabakasını oluşturur ardından temas eden noktalarda bu tabaka çatlar ve aşınma gerçekleşir. Korozif aşınma sırasında oluşan tabakalar malzeme yüzeyinde bir ara tabaka oluşturduğundan adhezif aşınmayı azaltıcı bir etki oluştursa da malzeme yüzeyinden kopan parçacıklar nedeniyle aşınmanın artışına neden olur (Selçuk, 1994; Arabacı, 2009).

2.2.2.5. Yorulma aşınması

Çevrimli yükler altında çalışan makine parçaları için yorulma kaçınılmaz bir durumdur. Birbirleriyle temas halinde çalışan yüzeylerde kayma hareketinin aralıklarla durup başlaması sonucunda malzeme yüzeylerinin kenarlarına etki eden yüklerde bir dalgalanma oluşur. Değişen bu yük aralığında çalışan yüzeylerde zamanla yorulmadan dolayı çatlaklar meydana gelir ve bir süre sonra çatlaklar ilerleyerek yüzeyden mikro parçacıkların kopmasına neden olur. Yüzeyden kopan bu malzemelerin sebep olduğu aşınmaya yorulma aşınması adı verilmektedir.

2.3. İslah Çelikleri

İslah çelikleri, sertleştirmeye oldukça elverişli olmakla birlikte, bir dizi sertleştirme ve menevişlemeden oluşan ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımlı ve alaşımsız imalat çelikleridir. İslah çeliklerinin yapılarında buldukları elementlerin dağılımı ve özellikle nispeten yüksek olan karbon oranları sayesinde sertleştirmeye oldukça yatkındır. (Öncel, 2011; Anonim, 2014a)

Adalı ve Kurnaz (2003)'a göre ıslah çelikleri, ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerden dolayı, çeşitli makine ve motor parçaları, dövme parçalar, çeşitli civata, somun ve saplamalar, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller, dişliler gibi parçaların imalinde olmak üzere geniş bir alanda kullanılırlar.

İslah çeliklerinde ihtiyaç duyulan malzeme özelliklerinin ıslah işlemi sayesinde sağlanıyor olması malzeme seçiminin dikkatli yapılması gerekliliğini bir kez daha ortaya koymaktadır. İslah işleminden iyi bir sonuç elde edebilmek için hem uygulanan işleminin şartlarının hem de seçilen malzemenin bu işlem sonunda istenilen özelliklere ulaşp ulaşamayacağının dikkatlice sorgulanması gerekmektedir.

2.3.1. AISI 4140 ıslah çeliği

4140 çeliği ticari olarak en çok kullanılan ıslah çeliklerinden bir tanesidir (Demir, 2004). Talaşlı imalat endüstrisinde yaklaşık % 10 oranında kullanım alanına sahiptir. Ayrıca içerdiği alaşım elementleri sayesinde yüksek sertleşebilirlik özelliğine sahip bir çelik türüdür. 4140 çeliği, düşük alaşımli Cr-Mo'li ıslah çelikleri içerisinde en yaygın kullanım alanına sahip olup, krom- molibden çeliği olarak bilinmektedir. AISI 4100 serisi çelikler, düşük alaşımli yapı çelikleri, dövme kalite çelikler, orta karbonlu çelik ve alaşımli çelik olarak da isimlendirilirler. 4140 (42CrMo4) çeliğin kimyasal bileşimi karbon miktarı bakımından sertleştirilmeye elverişlidir ve ıslah işlemi sonunda belirli yükler altında yüksek tokluk özelliği gösterirler (Kesti, 2009; Höke ve ark., 2014).

AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 2.2'de, mekanik ve fiziksel özelliklerine ait bilgiler ise Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. AISI 4140 malzeme kimyasal bileşimi (Danilevsky, 1987)

| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|---|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|
| % | 0,35 – 0,44 | 0,15 – 0,35 | 0,60 – 0,90 | 0,040 | 0,040 | 0,80 – 1,10 | 0,15 – 0,25 |

Çizelge 2.3. AISI 4140 çeliği özellikleri (Anonim, 2010a; Dikmen, 2010)

| Yoğunluk d x 1000 kg/m ³ | Poisson Oranı | Elastisite Modülü (GPa) | Çekme Muk. (MPa) | Akma Muk. (MPa) | % Uzama | % Kesit Daralması | Sertlik (HV) |
|---|------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|------------|----------------------|----------------------|
| 7.7 – 8.03 | 0.27-0.30 | 190-210 | 655.0 | 417.1 | 25.7 | 56.9 | 210 285 - 350* |
| * Ön sertleştirilmiş halde sertlik değeri | | | | | | | |

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu çalışmanın amacı AISI 4140 çeliğine uygulanan ısıt işlemlerin, bu çeliğin abrasiv aşınma özelliklerinde oluşturduğu değişikliğin araştırılmasıdır. Bu amaçla temin edilen AISI 4140 çelik malzemelerden talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak uygulanacak testler için uygun boyutlarda numuneler elde edilmiştir. Elde edilen bu numuneler çalışmanın yöntemi doğrultusunda 4 gruba ayrılmıştır.

| Grup | Uygulanan Isıl İşlem |
|------|---|
| 1. | Bu grupta bulunan numunelere boyut ayarı dışında herhangi bir işlem uygulanmamıştır Piyasadan temin edildiği haliyle kullanılan bu malzemeler işlem görmüş malzemelere karşın kontrol grubu olarak karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. |
| 2. | Yumuşatma ısıt işlemi uygulanmıştır. |
| 3. | Normalizasyon ısıt işlemi uygulanmıştır. |
| 4. | Yağda Sertleştirme ısıt işlemi uygulanmıştır. |

Malzemelerin aşınma dirençlerine etki eden önemli parametrelerden biri malzeme sertliğidir. Sertliğin artışının malzemelerin aşınma dirençlerinde artış meydana getirdiği bilinmektedir (Arabacı, 2009). Bu amaçla her malzeme gurubundan sertlik ölçüm numuneleri hazırlanmış ve sertlik ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca uygulanan ısıt işlemlerin malzemenin mekanik özelliklerine yaptığı etkiyi belirlemek amacıyla çekme numuneleri hazırlanarak çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ana amacı olan aşınma deneyleri Pin-On Disk yöntemine göre çalışan aşınma test cihazında aşındırıcı olarak zımpara kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sabit çevresel hız, değişken yük, değişken aşındırıcı çapı ve değişken aşınma yolu şartlarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma sonucu kütle kaybı 10^{-4} g hassasiyetli terazi ile her deneyden önce ve sonra kütle ölçümü yapılarak fark alınması metodu ile

belirlenmiştir, daha sonra malzemelerin yoğunlukları belirlenerek hacim kaybı hesaplanmıştır.

3.2. Deney Malzemelerinin Hazırlanması

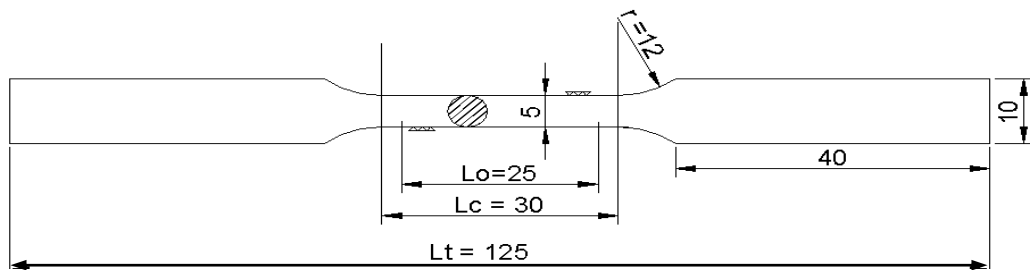
3.2.1. Malzemelerin özellikleri

Kullanılacak deney numuneleri $\varnothing 9$ mm ve $\varnothing 12,6$ mm çaplarında ve 3 metre boyunda temin edilen AISI 4140 malzemelerden tornada işlenerek hazırlanmıştır.

Malzemelerin kimyasal özellikleri: Temin edilen malzemelerin kimyasal bileşimlerini belirlemek amacıyla bu malzemelerden numuneler elde edilmiş ve OBLF marka GS 1000-II model spektrometre analiz cihazında kimyasal analizler yapılmıştır. Spektrometre analizi sonuç çıktıları Ek-1’de sunulmuştur. Elde edilen analiz sonuçları referans değerlerle karşılaştırılmış ve malzemelerin AISI 4140 standardına uygun olduğu tespit edilmiştir.

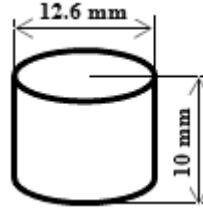
Numunelerin boyutsal özellikleri

Çekme deneyinde kullanılmak üzere elde edilen numuneler TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak Şekil 3.1’de verilen ölçülere göre $\varnothing 12,6$ mm silindirik malzemedan her ısıl işlem türü ve ısıl işlemsiz malzeme için 4’er adet olmak üzere tornada işlenerek hazırlanmıştır.



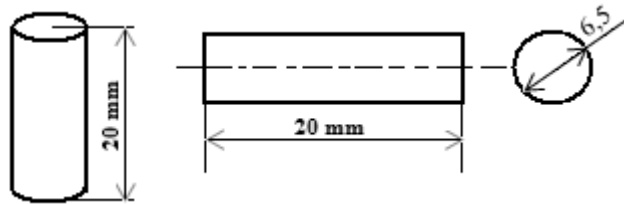
Şekil 3.1. Çekme deney numunesi işleme ölçüleri

Sertlik Ölçüm Deneyinde kullanılacak parçalar, $\text{Ø}12,6$ mm çapındaki silindirik malzemedan, 12 mm yüksekliğinde kesilmiştir. Malzemeler kesildikten sonra alın yüzeylerinden talaş kaldırılarak tornada işlenerek temizlenmiş daha sonra kaba zımpara ile ardından ince zımpara ile parlatılmıştır. Her ısıl işlem türü ve ısıl işlemsiz malzeme için 3'er adet deney numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Sertlik ölçüm numunesi işleme ölçüleri

Aşınma deneylerinde kullanılan numuneler $\text{Ø}9$ mm çapındaki silindirik malzemedan tornada işlenerek hazırlanmışlardır. Aşınma deney numuneleri Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Talaşlı imalat laboratuvarında bulunan aşınma test cihazı numune tutucusuna göre işlenmiştir. Numunelerin nihai işleme ölçüleri Şekil 3.3'de görülmektedir. Çapı 9 mm olan çelik malzemeler tornada işlenerek çapları 6,5 mm ye düşürülmüştür. Ardından parçalar 25 mm uzunluğunda kesilmiş ve sonra alın yüzeylerinden 5 mm talaş kaldırılarak 20 mm uzunluğa getirilmiştir. Her ısıl işlem türü ve ısıl işlemsiz malzeme için 10'ar adet aşınma deney numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 3.3. Aşınma deney numunesi işleme ölçüleri

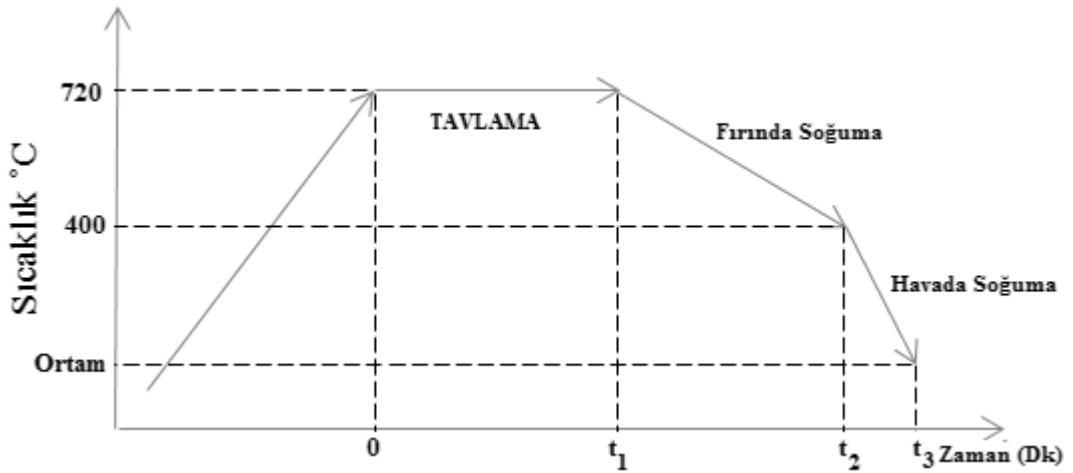
3.2.2. Malzemelere uygulanan ısıl işlemler

Giriş bölümünde belirtildiği gibi, malzemelere yumuşatma, normalizasyon ve yağda sertleştirme olmak üzere 3 farklı ısıl işlem uygulanmıştır. Tüm ısıl işlemler Çorum

Organize Sanayi Bölgesinde bulunan Esse Isıl İşlem firmasında yapılmıştır. Uygulanan tüm ısıl işlemlerin proses raporları Ek-2’de sunulmuştur.

3.2.2.1. Yumuşatma ısıl işlemi

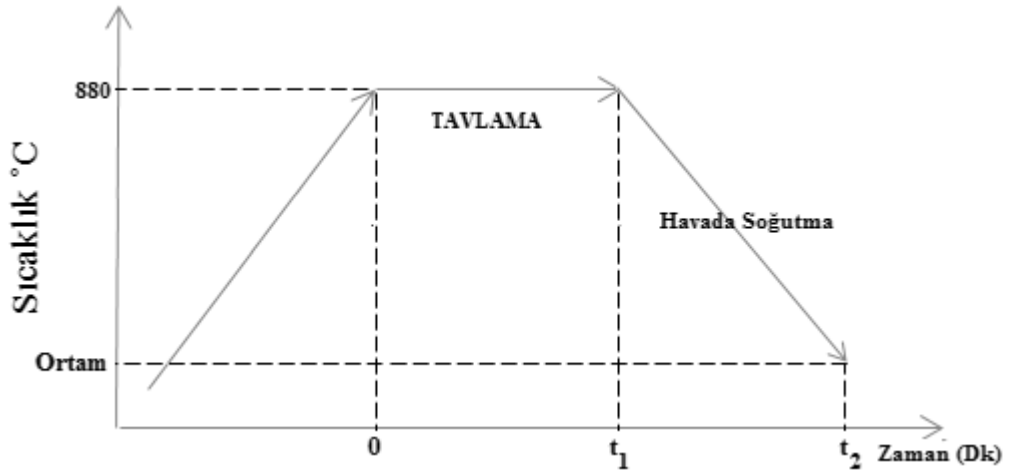
AISI 4140 çelik için yumuşatma ısıl işlem sıcaklığı $680-720^{\circ}\text{C}$ ’dir (Danilevsky, 1987). Deney numuneleri yumuşatma ısıl işlemine tabi tutulmak üzere 720°C ye kadar ısıtılmış fırında 10 dakika tavlama işlemi yapılmıştır. Tavlama işleminden sonra malzemeler fırın içerisinde 400°C ’ye kadar yavaş bir şekilde soğutulmuştur. 400°C altına düşükten sonra fırından çıkarılmış ve oda sıcaklığına havada soğuması sağlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Yumuşatma ısıl işlemi proses grafiği

3.2.2.2. Normalizasyon ısıl işlemi

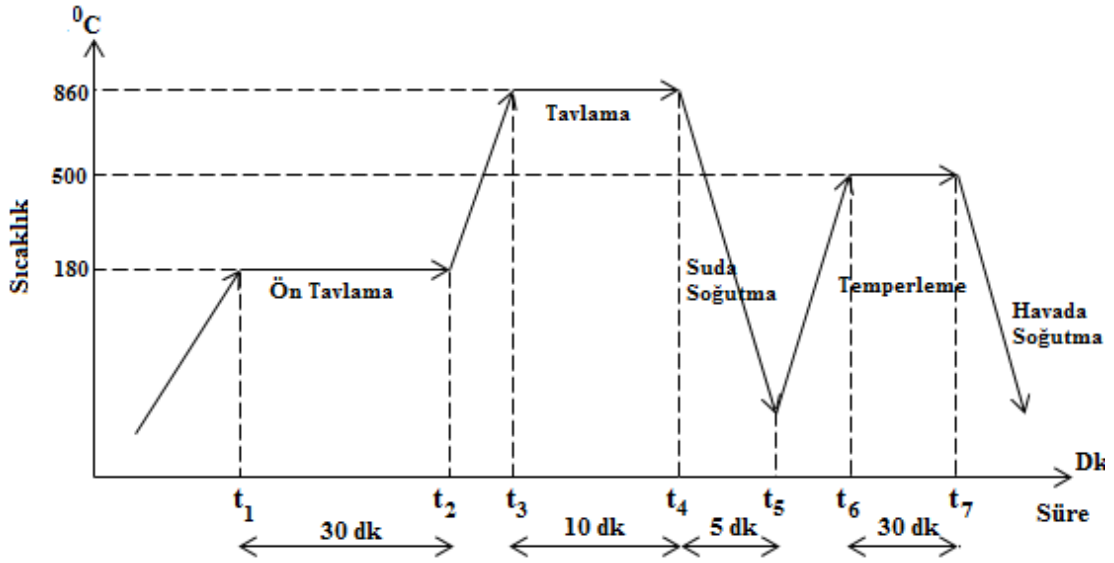
AISI 4140 çelik için normalizasyon ısıl işlem sıcaklığı $850-880^{\circ}\text{C}$ ’dir (Danilevsky, 1987). Bu duruma uygun olarak, normalize edilmek üzere hazırlanan deney numuneleri 880°C sıcaklığına kadar ısıtılmış fırında 10 dakika tavlama işlemi yapılmıştır. Tavlama işleminin ardından numuneler fırından çıkarılarak sakin havada ortam sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Normalizasyon ısı işleme proses grafiği

3.2.2.3. Sertleştirme ısı işleme

Deney numunelerinin sertleştirilme işlemleri için soğutucu ortam olarak ısı işleme yağı kullanılmıştır. Tüm numunelere 180 °C de 30 dk boyunca ön tavlama işlemi uygulanmıştır. 30 dk sonunda sıcaklık 860 °C ye çıkarılarak 10 dakika tavlama işlemi uygulanmıştır. Tavlama işlemi sonunda malzemeler fırından alınıp ısı işleme yağına batırılarak sertleşme için gerekli olan hızlı soğutma sağlanmıştır. Yağda soğutma işlemi 5 dakika boyunca devam ettirilmiştir. Soğuma işleminin tamamlanmasının ardından malzemelerin dayanımlarını arttırmak için 500 °C temperleme sıcaklığında 30 dakika bekletilerek temperleme işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Sertleştirme ısı işleme proses grafiği

3.3. Deneysel Çalışmalar

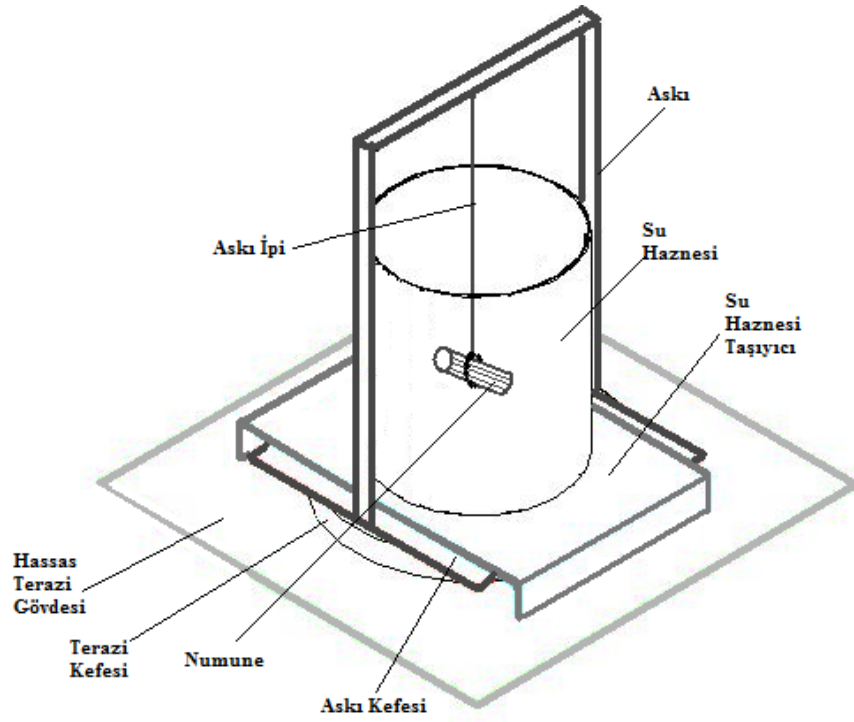
3.3.1. Malzeme yoğunluklarının belirlenmesi

Deney numunelerinin yoğunluk değerleri Arşimed prensibi kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla her malzeme türünden 3 numuneye yoğunluk ölçümü uygulanmıştır. Deneyler için öncelikle numunelerinin kütleleri 10^{-4} g hassasiyetli terazi ile ölçülerek kaydedilmiştir. Daha sonra deney numunelerinin kütleleri, hazırlanan Arşimed yoğunluk ölçümü düzeneği (Şekil 3.7) ile yine 10^{-4} g hassas terazi ile saf su içerisinde ölçülmüştür. Arşimed prensibine göre yoğunluk belirlemede Eş. 3.1'den faydalanılmıştır ve hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak malzemelerin yoğunluk değerleri belirlenmiştir.

$$\frac{G}{G - G_{su}} \quad (3.1)$$

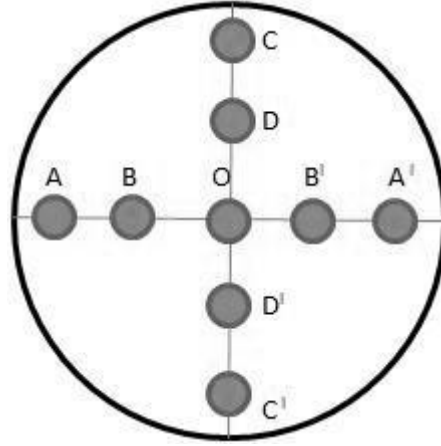
G: Numune ağırlığı (g)

G_{su} : Su içerisinde numune ağırlığı (g)



Şekil 3.7. Arşimed yoğunluk ölçüm düzeneği şeması

3.3.2. Sertlik ölçüm deneyleri



Şekil 3.8. Tüm numuneler için sertlik ölçümü yapılan noktaların dağılımı

Sertlik Ölçümleri Highwood marka, HWMMT-X3 Vickers sertlik ölçüm cihazında HV-1/10 sn şartlarında, 400x büyütme ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler her malzeme grubundan 3 adet sertlik ölçüm numunesi üzerindeki, Şekil 3.8'de verilen ve aralarında 3 mm mesafe bulunan noktalar üzerinde uygulanmıştır.

Deneyleer sonucunda her numune için Şekil 3.8’de görülen noktalardan alınan değlerlerin ortalamaları hesaplanmıştır. Böylece her malzeme grubundan 3 er adet numunenin ayrı ayrı sertlik değleri elde edilmiştir. Bu üç numunenin ait olduğu malzeme grubunun sertlik değlerini belirlemek amacıyla da o gruba ait 3 numunenin sertlik değlerinin ortalamaları hesaplanmıştır.

3.3.3. Çekme deneyleri

Çekme deneyleri Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mümal Laboratuvarında bulunan Shimadzu Autograph AG-100 kN IS (Zemin Tipi) çekme deney düzeneğinde, 5 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

Her malzeme grubundan 4 farklı çekme numunesine çekme testi uygulanmıştır. Ancak sertleştirilmiş malzeme grubuna ait deney numunelerine çekme deneyi uygulanamamıştır. Sertleştirilmiş malzemelerin yüzey sertlikleri oldukça yüksek olduğundan çekme cihazı numune tutma çeneleri, numune yüzeyine iyice oturamamış ve deney sırasında numunelerin sıyrılarak uygulanan çekme kuvvetini iletmemesine sebep olmuştur. Sertleştirilmiş malzemeler için çekme testleri hidrolik ve mekanik çeneli olmak üzere 2 farklı deney cihazında da denenmiş ancak her iki cihazda da sıyrılma problemi nedeniyle sağlıklı sonuçlar alınamamıştır.

3.3.4. Abrasiv aşınma deneyleri

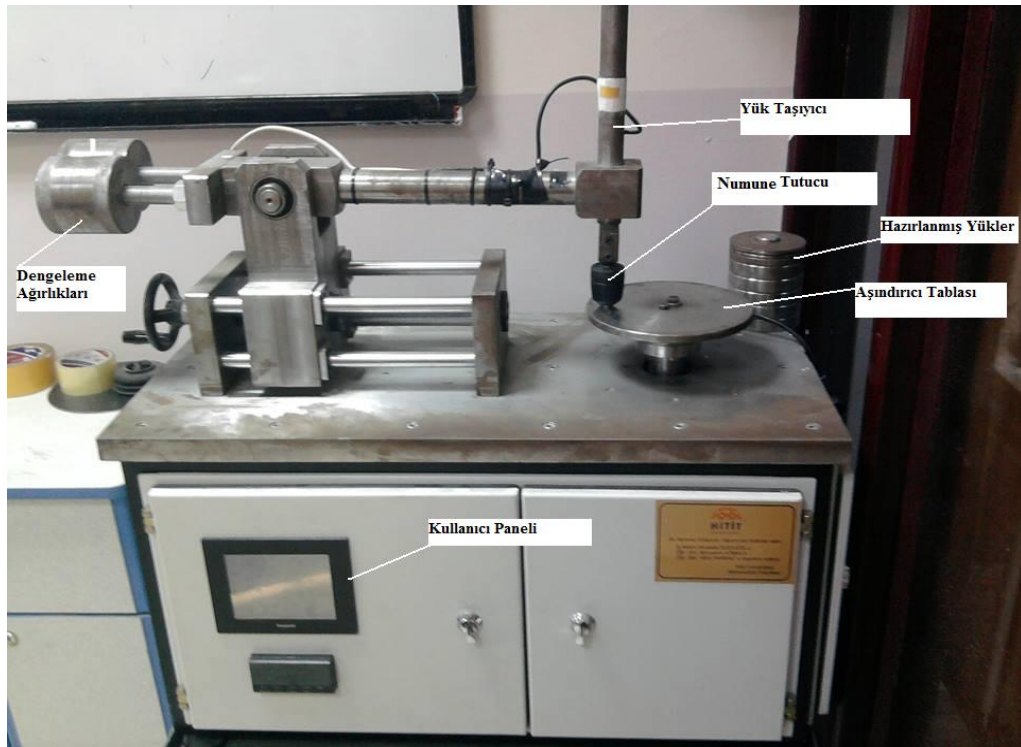
3.3.4.1. Aşınma test cihazı

Aşınma testleri Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Talaşlı İmalat Laboratuvarında bulunan aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Test cihazı Hitit Üniversitesi öğretim üyeleri tarafından tasarlanmış ve üretilmiştir. Cihazın genel görünüşü Resim 3.1’de verilmiştir.

Deney düzeneği pin-on-disk metoduna göre çalışmaktadır. Aşındırma amaçlı kullanılan malzeme dönen bir disk üzerine, pim şeklindeki aşındırılacak malzeme ise

sabit bir tutucuya bağlanmaktadır. Cihazın malzeme tutucusu üzerinde konumlandırılmış yük taşıyıcısına daha önce hazırlanmış ya da hazırlanacak olan yükler uygulanabilmektedir. Böylelikle istenilen normal yük altında aşınma testleri gerçekleştirilebilmektedir. Aşındırıcı malzemeler, disk şablonu ile aşındırma diski boyutunda hazırlanarak merkezde bulunan civatalar yardımı ile sabitlenmektedir.

Cihaz PLC kontrollü olup kontrol paneli aracılığı ile kullanıcıya bilgi girişi ve işlemi anlık olarak kontrol etme imkanı sağlamaktadır. Deneye başlamak için cihaz paneli aracılığıyla aşınma yolu, devir ve aşındırıcı çapı girilir ve teste başla butonuna basılır. Cihaz test için gerekli hesaplamaları yapar ve aşındırma diskine hareket verir. Aşınma yolu tamamlandığında test otomatik olarak sona erer.



Resim 3.1. Aşınma test cihazı genel görünüşü

3.3.4.2. Aşınma deneylerinin uygulanışı

Aşınma deneyleri 50 m/dk sabit çevresel hızda gerçekleştirilmiştir. Zımpara tane büyüklüğünün abrasiv aşınma miktarına etkisini belirlemek amacıyla 120, 180 ve

360 numaralı olmak üzere SiC taneli 3 farklı zımpara türü kullanılmıştır. Taze zımpara boyunun aşınmaya olan etkisini belirlemek için 80, 120, 160 mm çapında 3 farklı zımpara çalışma çapı kullanılmıştır. Aşınma ile yük arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla deneyler sırasında 2,3 ve 5 N yükler kullanılmıştır.

Deneyler toplam 240 metre kayma yolunda gerçekleştirilmiş olup sürtünme yolunun aşınmayla olan ilişkisinin araştırılması amacıyla her 80 metre sonunda kütle kayıpları ölçülmüştür. Yukarıda anlatılan tüm aşınma testleri her malzeme grubu için 3'er kez ayrı ayrı uygulanmış ve ortalamaları alınmıştır. Sonuç olarak elde edilen kütle kayıpları yoğunluğa oranlanarak hacim kaybına çevrilmiştir. Tüm deneyler aşağıda verilen deney matrisine göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Aşınma deneyleri için deney matrisi

| Malzeme | | | | Zımpara no | | | Yük (N) | | | Çap (mm) | | | Tartı (gr) | | | | |
|-----------------------------------|----|---|---|------------|-----|-----|---------|---|---|----------|-----|-----|------------|---------|---------|---------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 120 | 180 | 360 | 2 | 3 | 5 | 80 | 120 | 160 | İlk | 1. 80 m | 2. 80 m | 3. 80 m | |
| Her Numune Grubu İçin Tekrarlanır | 1 | x | | | x | | | | | x | | | | | | | |
| | 2 | x | | | x | | | | | | x | | | | | | |
| | 3 | x | | | x | | | | | | | x | | | | | |
| | 4 | x | | | | | | x | | x | | | | | | | |
| | 5 | x | | | | | | x | | | x | | | | | | |
| | 6 | x | | | | | | x | | | | x | | | | | |
| | 7 | x | | | | | | | x | x | | | | | | | |
| | 8 | x | | | | | | | | x | | x | | | | | |
| | 9 | x | | | | | | | | x | | | x | | | | |
| | 10 | | | | x | | | x | | | x | | | | | | |
| | 11 | | | | x | | | x | | | | x | | | | | |
| | 12 | | | | x | | | x | | | | | x | | | | |
| | 13 | | | | x | | | | x | | x | | | | | | |
| | 14 | | | | x | | | | x | | | x | | | | | |
| | 15 | | | | x | | | | x | | | | x | | | | |
| | 16 | | | | x | | | | | x | x | | | | | | |
| | 17 | | | | x | | | | | | x | | x | | | | |
| | 18 | | | | x | | | | | | x | | | x | | | |
| | 19 | | | | | | x | x | | | | x | | | | | |
| | 20 | | | | | | x | x | | | | | x | | | | |
| | 21 | | | | | | x | x | | | | | | x | | | |
| | 22 | | | | | | x | | x | | x | | | | | | |
| | 23 | | | | | | x | | x | | | x | | | | | |
| | 24 | | | | | | x | | x | | | | x | | | | |
| | 25 | | | | | | x | | | x | x | | | | | | |
| | 26 | | | | | | x | | | | | x | | | | | |
| | 27 | | | | | | x | | | | | | x | | | | |

Deneyleer 50 m/dk sabit çevresel hızda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan zımpara çaplarına ve çevresel hıza bağı olarak Eş. 3.2 kullanılarak devir hesaplaması yapılmıştır.

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \quad (3.2)$$

D: Zımpara çapı

n: Devir sayısı

V: Çevresel Hız

Eş. 3.2'de verilen değerler yerine konulduğunda Çizelge 3.2'de verilen sonuçlar elde edilmektedir.

Çizelge 3.2. Zımpara çapına göre devir sayısı

| Zımpara Çapı (mm) | Çevresel Hız (m/dk) | Devir (dev/dk) |
|-------------------|---------------------|----------------|
| 80 | 50 | 199 |
| 120 | 50 | 133 |
| 160 | 50 | 100 |

Deneyleerin uygulanma adımları

1. Deneyleerin tatbiki için deney matrisinde verilen sıralamaya göre uygun numaralı zımpara cihaza bağlanmıştır.
2. Teste tabi tutulacak numunenin yüzeyleri temizlenerek 10^{-4} g hassasiyette terazi ile tartılmıştır.
3. Numune malzeme tutucusu yardımcı ile cihaza bağlanmıştır.
4. Uygulanacak deney yükünün yalnızca kendi ağırlığında kuvvet uygulayabilmesi için cihaz üzerinde bulunan dengeleme yükleri ile ağırlık dengelemesi yapılmıştır.
5. Dengeleme işlemi ardından deney matrisine uygun yük parçası yük tutucuya yerleştirilmiştir.
6. Cihaz kontrol paneli üzerine sürtünme yolu 80 metre olarak girilmiştir.

7. Kullanılan zımpara çapı ve izelge 3.2’de verilen bu çapa uygun devir sayısı da girilmiştir.
8. Test başlatılmıştır.
9. 80 metre sonunda cihaz otomatik olarak durmuştur. Numune deney cihazından sokulerek temizlenmiş ve hassas terazide tartılmıştır.
10. Toplam sürtünme yolu 240 metreye ulaşana kadar 8,9 ve 10. adımlar sırası ile 2 kez daha tekrar edilmiştir.
11. 10. adım 3. kez tekrar edildiğinde 7. adıma dönülerek kullanılan zımpara çapı değiştirilmiş ve devamındaki diğer işlemlere devam edilmiştir.
12. 11. adım 3. kez tekrar edildiğinde 2. adıma dönülerek uygulanan yük değiştirilmiştir ve 2. işlemden itibaren uygulanmaya devam edilmiştir.
13. 12. adım 3 kez tekrar edildiğinde 1. adıma dönülerek zımpara numarası değiştirilmiş ve işlemlere sıra ile devam edilmiştir.

Yukarıda verilen deney algoritması tüm numune gruplarına ayrı ayrı uygulanmıştır. Elde edilen tüm kütle ölçümleri her adımda kayıt edilmiştir. 4 farklı numune grubu için tüm işlem basamakları uygulandıktan sonra deneyler sona ermiştir. Elde edilen kütle ölçümleri, kütle farkı ($\Delta m = m_2 - m_1$) hesaplaması ile kütle kaybına çevrilmiştir. Kütle kaybı değerleri Eş. 3.3’de verilen formül aracılığıyla yoğunluğa oranlanarak hacim kaybı miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

$$V = \frac{m}{d} \quad (3.3)$$

m: Kütle (g)

d: Yoğunluk (g/mm^3)

V: Hacim (mm^3)

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Her malzeme grubu için, Arşimed prensibi kullanılarak uygulanan yoğunluk ölçüm deney sonuçları Çizelge 4.1 - 4.4 aralığında verilmiştir.

Çizelge 4.1. Isıl işlem görmemiş AISI 4140 çeliğinin yoğunluk ölçümleri

| | Ağırlık Ölçümleri (Gram) | | | Yoğunluk Değerleri | |
|-----------|--------------------------|-------------------|------------|--------------------|--------------|
| | Havada (G) | Suda (G_{su}) | $G-G_{su}$ | (g/cm^3) | (g/mm^3) |
| 1 | 4,1804 | 3,6478 | 0,532074 | 7,8568 | 0,00786 |
| 2 | 4,7466 | 4,1415 | 0,604574 | 7,8511 | 0,00785 |
| 3 | 5,0746 | 4,4283 | 0,645774 | 7,8582 | 0,00786 |
| Ortalama: | | | | 7,855 | 0,007855 |

Çizelge 4.2. Yumuşatma ısıl işlemlisi AISI 4140 çeliğinin yoğunluk ölçümleri

| | Ağırlık Ölçümleri (Gram) | | | Yoğunluk Değerleri | |
|-----------|--------------------------|-------------------|------------|--------------------|--------------|
| | Havada (G) | Suda (G_{su}) | $G-G_{su}$ | (g/cm^3) | (g/mm^3) |
| 1 | 5,0094 | 4,3703 | 0,638574 | 7,8447 | 0,00784 |
| 2 | 4,3353 | 3,7826 | 0,552174 | 7,8513 | 0,00785 |
| 3 | 4,4918 | 3,9197 | 0,571574 | 7,8586 | 0,00786 |
| Ortalama: | | | | 7,852 | 0,007852 |

Çizelge 4.3. Normalize ısıl işlemlisi AISI 4140 çeliğinin yoğunluk ölçümleri

| | Ağırlık Ölçümleri (Gram) | | | Yoğunluk Değerleri | |
|-----------|--------------------------|-------------------|------------|--------------------|--------------|
| | Havada (G) | Suda (G_{su}) | $G-G_{su}$ | (g/cm^3) | (g/mm^3) |
| 1 | 4,7156 | 4,1146 | 0,600474 | 7,8531 | 0,00785 |
| 2 | 4,8949 | 4,2707 | 0,623674 | 7,8485 | 0,00785 |
| 3 | 4,7822 | 4,1721 | 0,609574 | 7,8452 | 0,00785 |
| Ortalama: | | | | 7,849 | 0,007849 |

Çizelge 4.4. Sertleştirme ısıl işlemleri AISI 4140 çeliğinin yoğunluk ölçümleri

| | Ağırlık Ölçümleri (Gram) | | | Yoğunluk Değerleri | |
|-----------|--------------------------|-------------------|------------|--------------------|--------------|
| | Havada (G) | Suda (G_{su}) | $G-G_{su}$ | (g/cm^3) | (g/mm^3) |
| 1 | 4,7706 | 4,1616 | 0,608474 | 7,8403 | 0,00784 |
| 2 | 4,6829 | 4,085 | 0,597374 | 7,8391 | 0,00784 |
| 3 | 4,6272 | 4,0367 | 0,589974 | 7,8431 | 0,00784 |
| Ortalama: | | | | 7,841 | 0,007841 |

Çizelge 4.1, - 4.4 aralığında verilen değerler sonucunda elde edilen malzeme yoğunluk değerleri Çizelge 4.5’de görülmektedir.

Çizelge 4.5. Numuneler için yoğunluk değerleri

| | Malzeme Türü | Yoğunluk (g/cm^3) | Yoğunluk (g/mm^3) |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | Isıl İşlemsiz | 7,855 | 0,007855 |
| 2 | Yumuşatılmış | 7,852 | 0,007852 |
| 3 | Normalize Edilmiş | 7,849 | 0,007849 |
| 4 | Yağda Sertleştirilmiş | 7,841 | 0,007841 |

AISI 4140 çeliği ile ilgili katalog bilgiler incelendiğinde malzeme yoğunluğunun 7.7-8.03 g/cm^3 aralığında değiştiği görülmektedir. Elde edilen tüm sonuçlar bu aralık değerlerle aynı sınırlar içerisinde.

Yoğunluk ölçümleri malzeme grubu yönünden ele alındığında, tüm değerlerin birbirine yakın ancak yine de aralarında küçükte olsa farkların olduğu dikkat çekmektedir. Bu noktada en yüksek yoğunluğun, ısıl işlem görmemiş malzeme grubunda ölçüldüğü görülmektedir. Isıl işlem görmemiş malzemeleri yumuşatılmış malzeme grubu ve peşinden normalize edilmiş malzeme grubu izlemektedir. En düşük yoğunluk değeri ise sertleştirilmiş malzeme grubunda görülmektedir.

Bilindiği gibi yoğunluk, kütle ve hacmin bir fonksiyonudur ve kütle ile doğru orantılı, hacim ile ters orantılı olarak değişmektedir. Isıl işlem sırasında malzemeler

üzerine ısı enerjisi uygulandığı ve bu malzemelerde ısının etkisi ile genişlemenin oluşacağı, buna bağlı olarak hacimde - az ya da çok - bir miktar değişim görüleceği bilinmektedir. Bununla birlikte ısı işlem sırasında malzemelerin içyapısında bazı değişimler oluşmakta, ısı enerjisi nedeniyle bazı yanma reaksiyonları da gerçekleşmektedir. Bu sebepler nedeni ile malzeme gruplarının yoğunluk değerleri her ne kadar birbirine yakın olsa da aralarında bir miktar fark bulunmaktadır.

Cross ve Hill (1927) Sıcak Çekilmiş ve Isıl İşlemli Karbon Çeliklerinin Yoğunluğu adlı çalışmalarında tavlanan karbonlu çeliklerin yoğunluklarında (karbon miktarının artışıyla) kademeli olarak düşüş görüldüğünü, yine karbonlu çeliklere su verme işlemi uygulandığında martensit dönüşümünden dolayı yoğunluğun azaldığını bildirmişlerdir.

4.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Sertlik ölçümleri Esse Isıl İşlem Firmasında bulunan Highwood marka, HWMMT-X3 Vickers sertlik ölçüm cihazında HV-1/10 sn şartlarında, gerçekleştirilmiştir. Her malzeme grubundan 3 numuneye dışarıdan içeriye doğru 9 noktada uygulanan sertlik ölçüm değerleri Çizelge 4.6 – 4.9 aralığında verilmiştir.

Çizelge 4.6. Isıl işlem görmemiş AISI 4140 numunelerin sertlik değerleri

| Numune | Sertlik Değerleri (HV1) | | | | | | | | | |
|----------|--------------------------|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|----------|
| | A | C | A ¹ | C ¹ | B | D | O | B ¹ | D ¹ | Ortalama |
| 1 | 348 | 359.4 | 357.7 | 350.7 | 356.4 | 354.3 | 349 | 361.1 | 355.2 | 354.6 |
| 2 | 338.5 | 338 | 339.4 | 351 | 352.3 | 350.5 | 349.2 | 350 | 320.5 | 343.2 |
| 3 | 340.2 | 339.7 | 341.8 | 332.9 | 348.6 | 351 | 349.8 | 341.3 | 336.6 | 342.4 |
| Ortalama | 342.2 | 345.7 | 346.3 | 344.8 | 352.4 | 351.9 | 349.3 | 350.8 | 337.4 | 346.7 |

Çizelge 4.7. Yumuşatma ısı işlemlili AISI 4140 numunelerin sertlik değeri

| Numune | Sertlik Değerleri (HV1) | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|----------|
| | A | C | A ¹ | C ¹ | B | D | O | B ¹ | D ¹ | Ortalama |
| 1 | 288.5 | 246.9 | 288.9 | 241.1 | 296.7 | 285.8 | 320.9 | 326 | 292.5 | 287,5 |
| 2 | 290.5 | 278.1 | 286.3 | 293.8 | 296.1 | 292.5 | 283.4 | 299 | 303.7 | 291,5 |
| 3 | 288.6 | 281.4 | 285.3 | 289.2 | 306.7 | 300 | 293.1 | 289 | 305.5 | 293,2 |
| Ortalama | 289,2 | 268,8 | 286,8 | 274,7 | 299,8 | 292,8 | 299,1 | 304,7 | 300,6 | 290,7 |

Çizelge 4.8. Normalizasyon ısı işlemlili AISI 4140 numunelerin sertlik değeri

| Numune | Sertlik Değerleri (HV1) | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|----------|
| | A | C | A ¹ | C ¹ | B | D | O | B ¹ | D ¹ | Ortalama |
| 1 | 378 | 371.1 | 369.3 | 353 | 374.8 | 364.7 | 366.2 | 361.1 | 376.6 | 368.3 |
| 2 | 359.7 | 364.2 | 380 | 368.1 | 372.2 | 371.8 | 379.5 | 374.2 | 369.4 | 371 |
| 3 | 365.8 | 371.1 | 369.2 | 363.6 | 376.3 | 364.2 | 381 | 374.4 | 367.3 | 370.3 |
| Ortalama | 367,8 | 368,8 | 372,8 | 361,6 | 374,4 | 366,9 | 375,6 | 369,9 | 371,1 | 369,9 |

Çizelge 4.9. Yağda sertleştirilmiş AISI 4140 numunelerin sertlik değeri

| Numune | Sertlik Değerleri (HV1) | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|----------|
| | A | C | A ¹ | C ¹ | B | D | O | B ¹ | D ¹ | Ortalama |
| 1 | 711.2 | 700.1 | 707.2 | 710.6 | 740.4 | 722.2 | 715 | 731.4 | 728 | 718,4 |
| 2 | 704.8 | 677.4 | 700 | 664.9 | 736.6 | 733.6 | 724.7 | 728.2 | 723.3 | 710,3 |
| 3 | 717 | 720.1 | 716.5 | 653.3 | 698.2 | 700.7 | 699.7 | 702.2 | 675.1 | 698 |
| Ortalama | 711 | 699,2 | 707,9 | 676,2 | 725 | 718,8 | 713,1 | 720,6 | 708,8 | 708,9 |

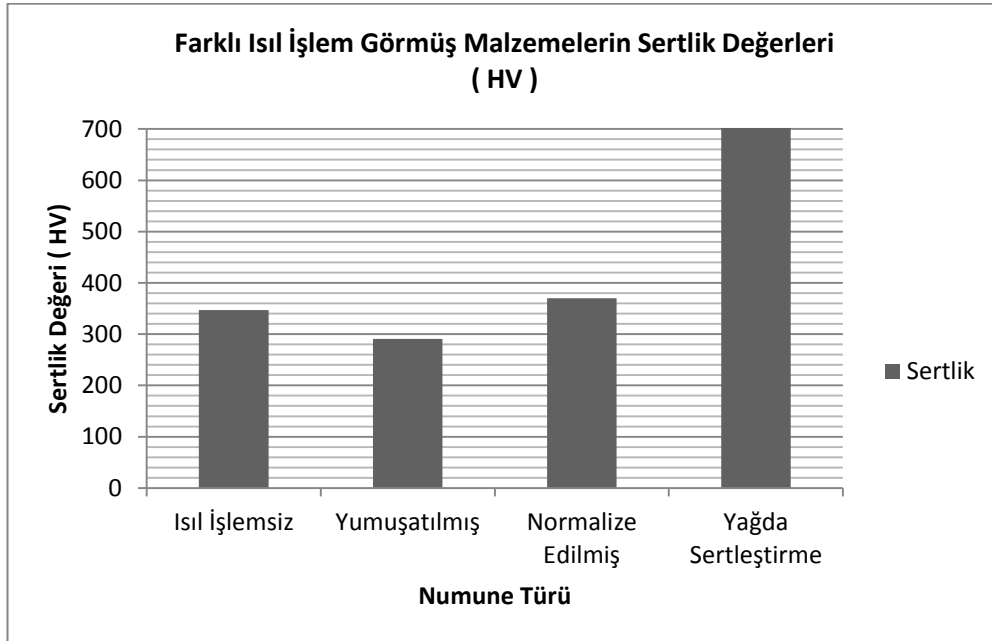
Malzeme gruplarından her biri için 3 farklı numunenin 9 farklı noktasından alınan sertlik değerlerinin ortalamaları alınarak Çizelge 4.10’da verilen malzeme sertlik değeri belirlenmiştir. Bu değeri Şekil 4.1’de grafiğe dönüştürülmüştür.

Çizelge 4.10. Elde edilen sertlik değeri ortalaması değeri

| Malzeme Türü | Ortalama Sertlik (HV1) |
|--------------------|------------------------|
| Isıl İşlemsiz | 346.7 |
| Yumuşatılmış | 290,7 |
| Normalize Edilmiş | 369,9 |
| Yağda Sertleştirme | 708,9 |

Civelekoğlu (1971), yaptığı çalışmada kullandığı numunelerin 650-750 HV1 olan sertlik değerlerinin yumuşatma tavlama uygulandıktan sonra 350 HV1 değerine düştüğünü tespit etmiştir (Akay, 2004). Ayrıca Topbaş (1998), Çelik ve Isıl İşlem Atlası adlı yayınında normalizasyon işleminin çeliklerin sertlik değerlerinin bir miktar arttırmak için uygulandığını bildirmektedir (Akay, 2004). Yamanoğlu ve Gül (2012) bir çalışmada sertliği 261,4 HV30 olan AISI L2 çeliğine sertleştirme ısıl işlemi uygulamış işlem sonrasında malzemenin sertliğinin artarak 505 HV30 değerine ulaştığını tespit etmiştir.

Şekil 4.1’de verilen grafik incelendiğinde en düşük sertlik değerlerinin yumuşatılmış malzeme grubunda, en yüksek sertlik değerinin yağda sertleştirilen grupta olduğu görülmektedir. Normalize edilmiş malzeme grubunun sertliği ise ısıl işlemsiz malzeme ile sertleştirilmiş malzemelerin arasında yer almaktadır. Yumuşatma işlemi malzemelerin ulaşabileceği en düşük sertlik değerini, sertleştirme ısıl işlemi ise ulaşılacak en yüksek sertlik değerini elde etmek için uygulanır. Normalizasyon işleminde ise soğutma işlemi havada gerçekleştirilir. Bu nedenle soğuma hızı bir miktar yüksektir ve işlemsiz malzemeye göre bir miktar sertlik artışı sağlanmıştır.



Şekil 4.1. Farklı ısıl işlem görmüş numunelerin sertlik değerleri

4.3. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyleri, her malzeme türünden 4 farklı çekme numunesine uygulanmıştır. Her 4 numune sonucunda elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak ilgili malzeme grubunun çekme dayanımları hesaplanmıştır. Sertleştirilmiş malzeme grubuna ait numunelere uygulanan deneyler çekme cihazlarının tutma çenelerinde çıkan sorunlar nedeniyle tamamlanamadan sonlandırılmıştır. Sertleştirilmiş numuneler için çekme deneyleri hem mekanik hem hidrolik tutma çeneli cihazlarda denenmiş ancak yüzey sertliğinin fazla olmasından dolayı çene dişleri numune yüzeyine oturamamıştır. Bu nedenle deney sırasında kuvvetin artışı ile birlikte malzemeler çenelerden sıyrılarak sertleştirilmiş numuneler için deneyin sağlıklı sonuçlarla sonlanmasına sebep olmuştur. Diğer numune gruplarına ait deneyler sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiştir. İlgili malzeme gruplarına ait deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.11. Isıl İşlemsiz numunelerin çekme deneyi sonuçları

| Numune No | Çekme Dayanımı (N/mm ²) |
|-----------|-------------------------------------|
| 1 | 1143,05 |
| 2 | 1155,47 |
| 3 | 1138,12 |
| 4 | 1126,18 |

Çizelge 4.12. Yumuşatılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

| Numune No | Çekme Dayanımı (N/mm ²) |
|-----------|-------------------------------------|
| 1 | 890,313 |
| 2 | 883,151 |
| 3 | 865,485 |
| 4 | 847,182 |

Çizelge 4.13. Normalize edilmiş numunelerin çekme deneyi sonuçları

| Numune No | Çekme Dayanımı (N/mm ²) |
|-----------|-------------------------------------|
| 1 | 1315,26 |
| 2 | 1338,02 |
| 3 | 1316,69 |
| 4 | 1377,33 |

Sertleştirilmiş malzeme grubu için çekme deney sonuçları

Yüksek sertliğe sahip sertleştirilmiş malzeme grubunun çekme dayanımı Eş. 4.1'de verilen sertlik-çekme dayanımı dönüşüm formülü (Mindivan, 2014) ile hesaplanmıştır.

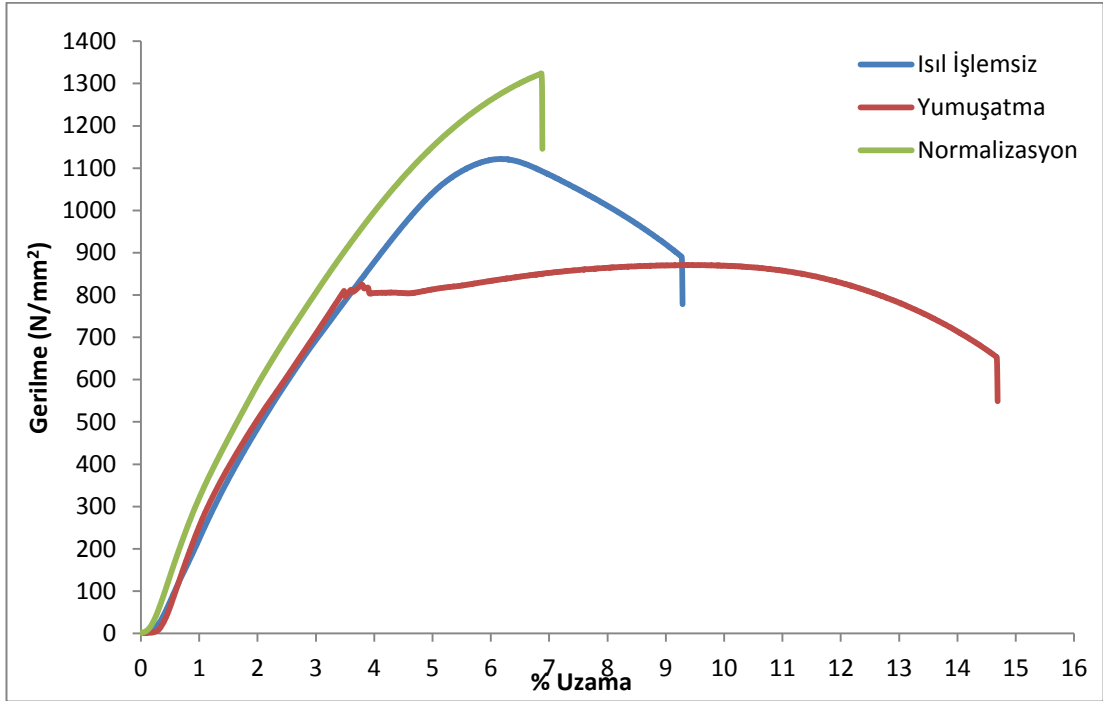
$$\sigma_{\text{çekme}} = 3.5 \times \text{HRC} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad \text{Eş. 4.1}$$

Sertleştirilmiş malzeme grubuna ait sertlik değeri 708.9 HV olup bu değer sertlik dönüşüm tablolarında 60.1 - 61.0 HRc aralığına denk gelmektedir (Anonim, 2010b). Buna göre malzemelerin çekme mukavemeti; $\sigma_{\text{çekme}} = 2079 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Her malzeme grubundan elde edilen 4 farklı çekme dayanımı değerlerinin ortalamaları alınmış ve ilgili grubun çekme dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.14'de, bu değerler sonucu oluşturulan çekme deney eğrileri ise Şekil 4.2'de verilen grafik üzerinde görülmektedir.

Çizelge 4.14. Numunelerin çekme deneyi sonuçları

| Malzeme Grubu | Çekme Dayanımı (N/mm ²) |
|-------------------|-------------------------------------|
| Isıl İşlemsiz | 1140,705 |
| Yumuşatılmış | 871,532 |
| Normalleştirilmiş | 1336,825 |
| Sertleştirilmiş | 2079 |



Şekil 4.2. Farklı ısı işlem görmüş numunelerin çekme deney eğrileri

Isıl işlemin malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde değişiklik oluşturduğu bilinmektedir. Yapılan deneyler sonucunda yumuşatma tavlmasına tabi tutulan malzemelerin çekme dayanımında bir düşüş olduğu görülmektedir. Normalizasyon tavlaması uygulanan malzemelerde ise çekme dayanımı işlem görmemiş malzemelere göre bir miktar artış göstermiştir. Yumuşatma tavı sonrasında malzemelerin sertlikleri düşer ve yumuşak bir yapıya kavuşur, bununla birlikte mukavemet değerlerinde de düşüş görülür. Dökme demir, çelik ve pirinç malzemeler için çekme dayanımı sertliğin bir fonksiyonudur ve sertlik ile doğru orantılı olarak artar (Ün, 2007). Yumuşatılmış malzeme grubunda sertlik değeri en düşük ölçülmüştür, çekme deney sonuçları da bu durum ile uyumludur. Normalizasyon ise malzemeleri düzgün bir iç-yapıya kavuşturmak ve mukavemet özelliklerini iyileştirmek için uygulanır, bununla birlikte soğutma havada yapıldığından soğutma hızı bir miktar yüksektir ve sertlikte de artış görülür. Normalizasyon işlemi görmüş numunelerin çekme dayanımları da ısılsız malzemelere göre bir miktar yükselmiştir. Sertleştirilmiş malzemeler için çekme deneyi uygulanamasa da, sertlik-çekme mukavemeti ilişkisi formülü, Eş 4.1 yardımı ile hesaplanmıştır ve diğer tüm malzeme gruplarından daha yüksek bir sonuç elde edilmiştir. Subaşı ve Karataş

(2010) uygun su verme ve temperleme işlemleri ile statik çekme dayanımının arttığını bildirmiştir. Hasırcı (2010), AISI D6 Çeliğinin Adhesif Aşınma Davranışına Isıl İşlem Şartları ve Kayma Hızlarının Etkileri adlı çalışmasında, çeliğin normalleştirilmesi neticesinde tavlamaadan daha sert ve mukavemetli, bir yapı elde edildiğini bildirmiştir.

4.4. Abrasiv Aşınma Deney Sonuçları

4.4.1. Isıl işlem – aşınma dayanımı ilişkisi

Malzemelere uygulanan ısıl işlemler sonrasında numunelerin sertlik değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Aşınma miktarının sertlik ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu doğrultuda farklı ısıl işlem görmüş malzemeler ile işlem görmemiş malzemelerin 240 metrelik toplam aşınma yolunda 2N, 3N ve 5N yük altında zımpara numarasına bağlı aşınma miktarları Çizelge 4.15 – 4.17 ve Şekil 4.3 - 4.5 arasında gösterilen çizelge ve grafiklerde mm³ cinsinden verilmiştir.

Çizelge 4.15. 120'lik zımpara için 240 m sürtünme yolunda hacim kaybı değerleri

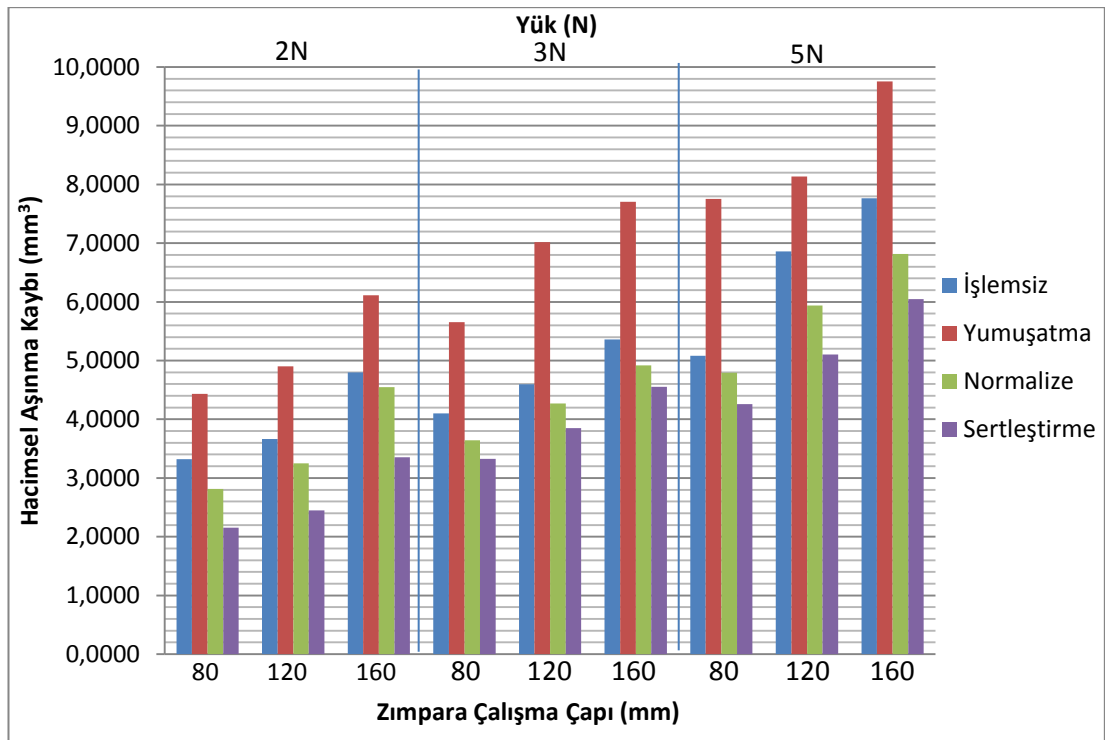
| | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| I. İşlemsiz | 3,3227 | 3,6665 | 4,7995 | 4,0993 | 4,5958 | 5,3596 | 5,0796 | 6,8619 | 7,7658 |
| Yum. | 4,4320 | 4,9032 | 6,1131 | 5,6546 | 7,0173 | 7,7050 | 7,7560 | 8,1381 | 9,7555 |
| Normaliz. | 2,8156 | 3,2488 | 4,5484 | 3,6438 | 4,2681 | 4,9178 | 4,7904 | 5,9371 | 6,8162 |
| Sertleştir. | 2,1553 | 2,4487 | 3,3542 | 3,3287 | 3,8515 | 4,5530 | 4,2597 | 5,1014 | 6,0451 |

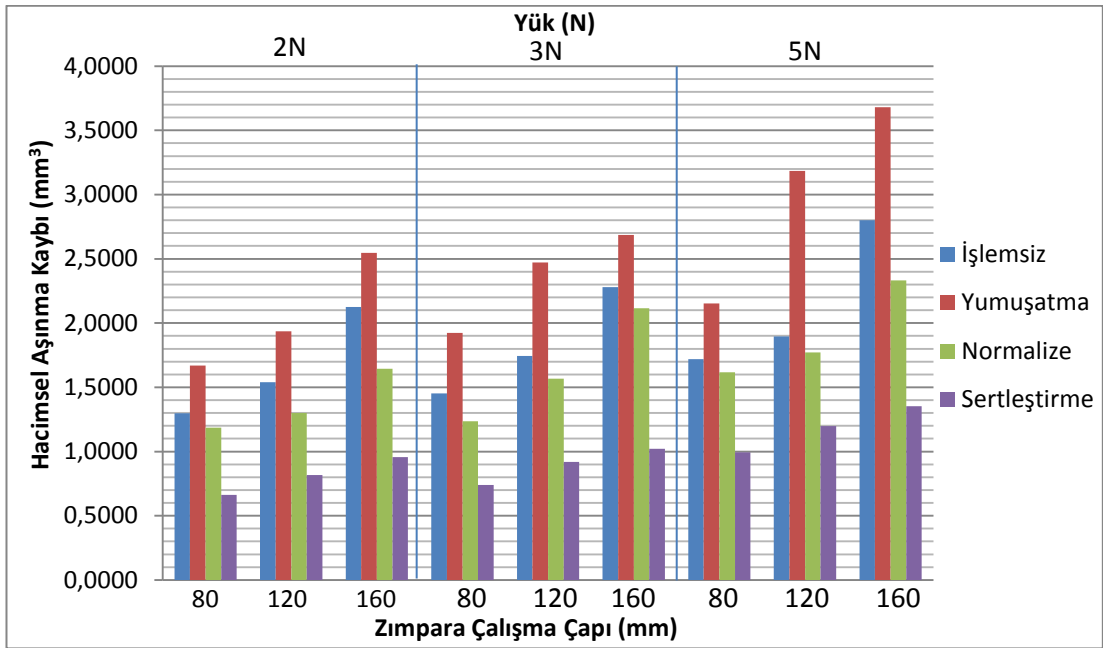
Çizelge 4.16. 180'lik zımpara için 240 m sürtünme yolunda hacim kaybı değerleri

| | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| I. İşlemsiz | 1,2985 | 1,5404 | 2,1260 | 1,4513 | 1,7441 | 2,2788 | 1,7187 | 1,8969 | 2,8008 |
| Yum. | 1,6684 | 1,9358 | 2,5471 | 1,9231 | 2,4707 | 2,6872 | 2,1523 | 3,1839 | 3,6806 |
| Normaliz. | 1,1849 | 1,2995 | 1,6435 | 1,2358 | 1,5671 | 2,1149 | 1,6180 | 1,7709 | 2,3315 |
| Sertleştir. | 0,6632 | 0,8162 | 0,9565 | 0,7397 | 0,9183 | 1,0203 | 0,9948 | 1,1988 | 1,3519 |

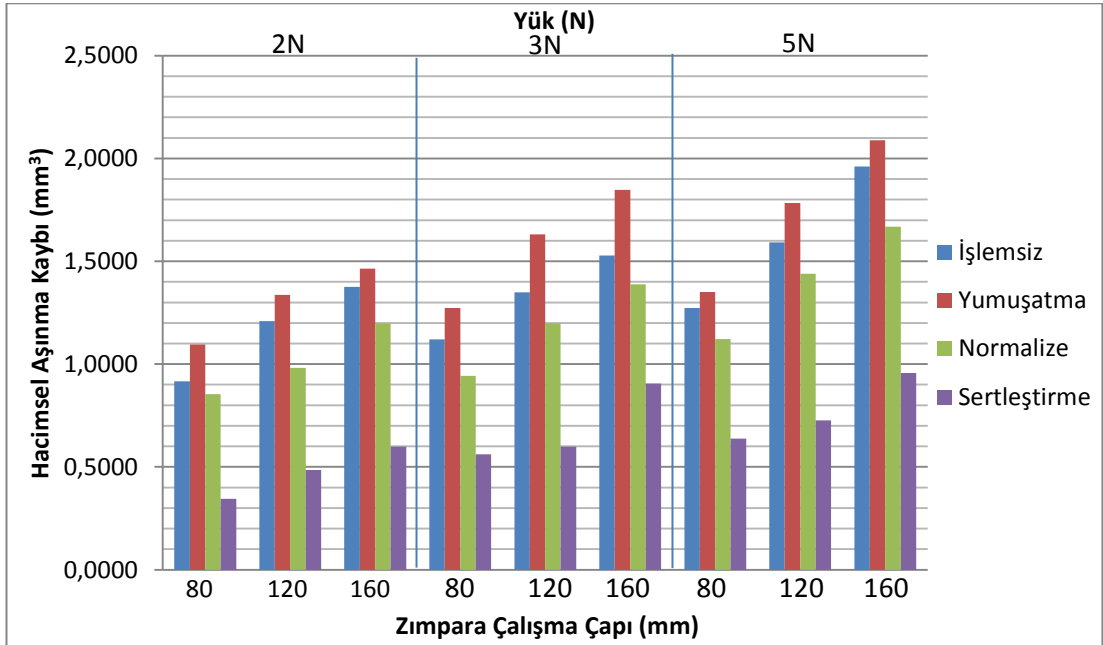
Çizelge 4.17. 360°'lik zımpara için 240 m sürtünme yolunda hacim kaybı değerleri

| | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| I. İşlemsiz | 0,9166 | 1,2094 | 1,3749 | 1,1203 | 1,3495 | 1,5277 | 1,2731 | 1,5913 | 1,9605 |
| Yum. | 1,0953 | 1,3372 | 1,4646 | 1,2736 | 1,6302 | 1,8467 | 1,3500 | 1,7830 | 2,0886 |
| Normalize | 0,8536 | 0,9810 | 1,1976 | 0,9428 | 1,1976 | 1,3887 | 1,1212 | 1,4397 | 1,6690 |
| Sertleştir. | 0,3443 | 0,4846 | 0,5994 | 0,5612 | 0,5994 | 0,9055 | 0,6377 | 0,7269 | 0,9565 |

**Şekil 4.3.** 4 Farklı numune grubu için 120'lik zımparada hacim kaybı miktarları



Şekil 4.4. 4 Farklı numune grubu için 180'lik zımparada hacim kaybı miktarları



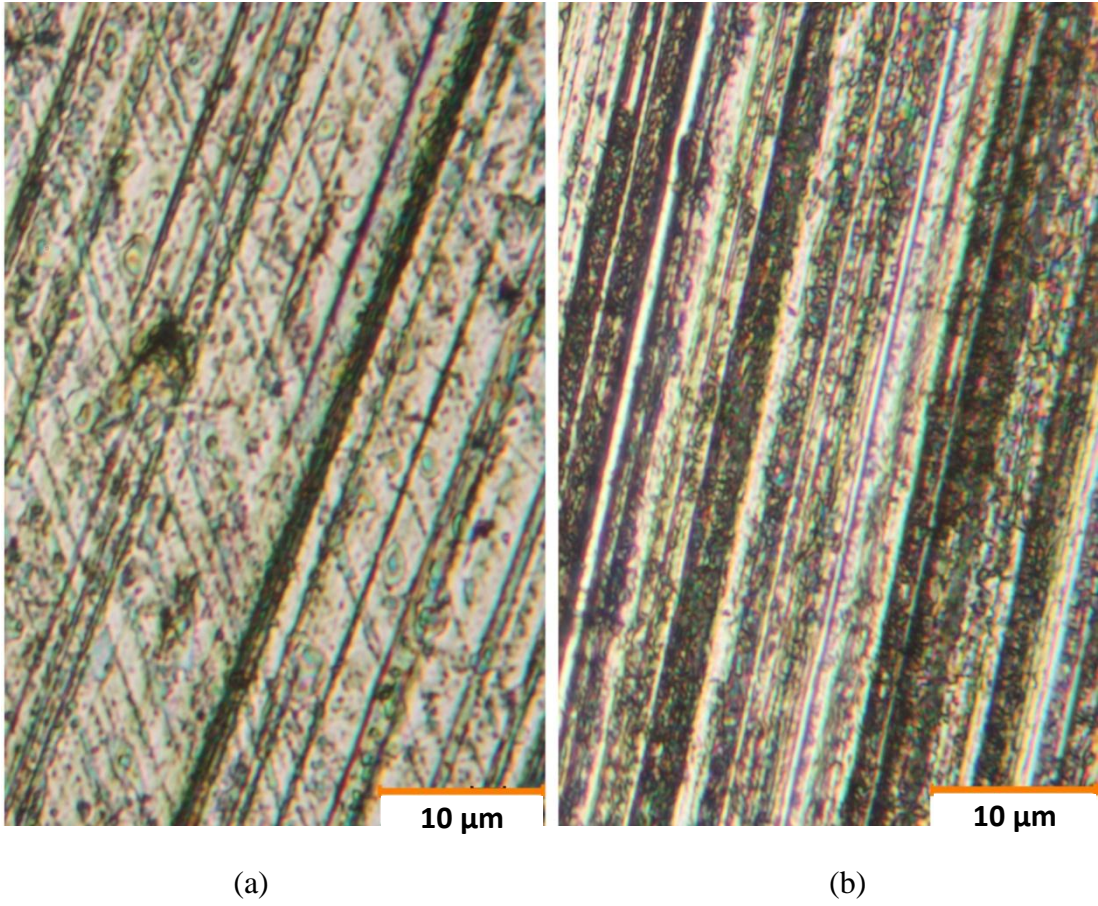
Şekil 4.5. 4 Farklı numune grubu için 360'lik zımparada hacim kaybı miktarları

Şekil 4.3 - 4.5 aralığında verilen tüm grafikler -zımpara tane büyüklüğüne bakılmaksızın- incelendiğinde yumuşatma ısı işlemleri görmüş malzemelere ait sütunların 3 ayrı grafikte de en fazla yükselişe sahip olduğu görülmektedir.

Yumuşatılmış malzemeleri gösteren sütunların bir alt seviyesinde, ısıl işlem görmemiş AISI 4140 çeliğine ait sütun yükselteleri onun da alt seviyesinde normalizasyon işlemine tabi tutulmuş malzemelere ait grafik sütunları görülmektedir. Grafiklerin en alt kısmında ise sertleştirilmiş (yağda su verilmiş) malzeme grubunun aşınma miktarlarını gösteren sütunlar bulunmaktadır.

Grafiklerde hacim kaybı miktarları dikey eksen üzerinde gösterilmiştir. Buna göre grafik üzerinde yükseltisi en fazla olan sütunlar aşınmanın, başka bir deyişle hacimsel aşınma kaybının en yüksek olduğu noktaları göstermektedir. Grafikler incelendiğinde, yumuşatma tavlama görmüş malzemelerin hacim kaybı en yüksek seviyededir. Malzemelerin herhangi bir ısıl işlem görmeden önceki özelliklerine sahip ısıl işlem görmemiş malzeme grubu ise hacim kaybı bakımından 2. sırada yer almaktadır, çünkü malzemeler yumuşatma tavlama görmüş duruma göre daha yüksek sertliğe sahiptir ve bu nedenle daha az aşınma göstermiştir. Normalizasyon ısıl işlemlenmiş malzemeler de ise, sertlik bir miktar arttığından ısıl işlem görmemiş malzemelere göre daha iyi bir aşınma dayanımı görülmüştür. Malzeme grupları içerisinde en az hacimsel aşınma kaybına uğrayan malzeme grubu, sertleştirme ısıl işlemi görmüş numunelere aittir. Yağda su verilmiş malzemelerin sertlik değerleri (708,9 HV) tüm gruplar içerisinde en yüksek sertliğe sahiptir.

Katsuki ve ark. (2008) bir çalışmalarında sertliği artan yüzeylerin aşınmaya karşı dirençlerinin de arttırdığını bildirmiştir (Yılmaz ve ark., 2012). Üçkardeşler (2013), yaptığı çalışmada nispeten daha yüksek sertliğe sahip GS-60 malzemenin daha yüksek abrasiv aşınma direnci gösterdiğini, en yüksek sertliğe sahip GX120Mn13 mangan çeliğinin ise en yüksek aşınma direncine sahip olduğunu belirlemiştir. Bu çalışmada da malzemelerin Çizelge 4.10'da verilen sertlik değerleri karşılaştırıldığında, sıralamanın literatüre uygun olarak hacim kaybı miktarlarıyla ters orantılı olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle malzeme sertliği azaldıkça hacim kaybı miktarı artmaktadır. Aynı şekilde sertlik arttıkça hacim kaybı miktarının azaldığı görülmektedir.



Resim 4.1. a) En az aşınan b) En çok aşınan deney numunelerine ait 200x büyütmede optik mikroskop görüntüleri

Resim 4.1’de aşınma testleri sırasında en az aşınan ve en çok aşınan numunelerin sürtünme yüzeylerinin 200x büyütmede optik mikroskopta alınmış görüntüleri verilmiştir. Resim 4.1a’da sertleştirme tavlama uygulanmış numunenin 360 numara zımpara üzerinde ve 2 N yük altında 240 metrelik sürtünme yolu sonundaki sürtünme yüzeyinin görüntüsü görülmektedir. Bu numune tüm test sonuçları içerisinde en düşük hacimsel aşınma kaybına sahiptir ve en az aşınan malzemedir. Resim 4.1b’de ise yumuşatma tavına tabi tutulmuş numunenin 120 numara zımpara ve 5 N yük şartlarında 240 metrelik sürtünme yolu sonundaki sürtünme yüzeyi görülmektedir. Bu görüntünün alındığı numune tüm testler içerisinde en yüksek aşınma miktarına sahiptir. İki resim karşılaştırıldığında Resim 4.1a’da sürtünme sonunda oluşan izlerin oldukça seyrek, Resim 4.1b’de ise tam tersine oldukça sık olduğu görülmektedir.

4.4.2. Uygulanan yük – hacim kaybı ilişkisi

Aşınma testleri, uygulanan yükün aşınma miktarına etkisinin araştırılması amacıyla 2N, 3 N ve 5 N olmak üzere 3 farklı yük altında gerçekleştirilmiştir. 240 m yol sonunda ölçülen hacim kaybı miktarları Çizelge 4.18 – 4.21 aralığında verilmiştir.

Çizelge 4.18. Isıl işlemsiz numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm^3)

| Zımpara Numarası | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| 120 | 3,3227 | 3,6665 | 4,7995 | 4,0993 | 4,5958 | 5,3596 | 5,0796 | 6,8619 | 7,7658 |
| 180 | 1,2985 | 1,5404 | 2,1260 | 1,4513 | 1,7441 | 2,2788 | 1,7187 | 1,8969 | 2,8008 |
| 360 | 0,9166 | 1,2094 | 1,3749 | 1,1203 | 1,3495 | 1,5277 | 1,2731 | 1,5913 | 1,9605 |

Çizelge 4.19. Yumuşatılmış numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm^3)

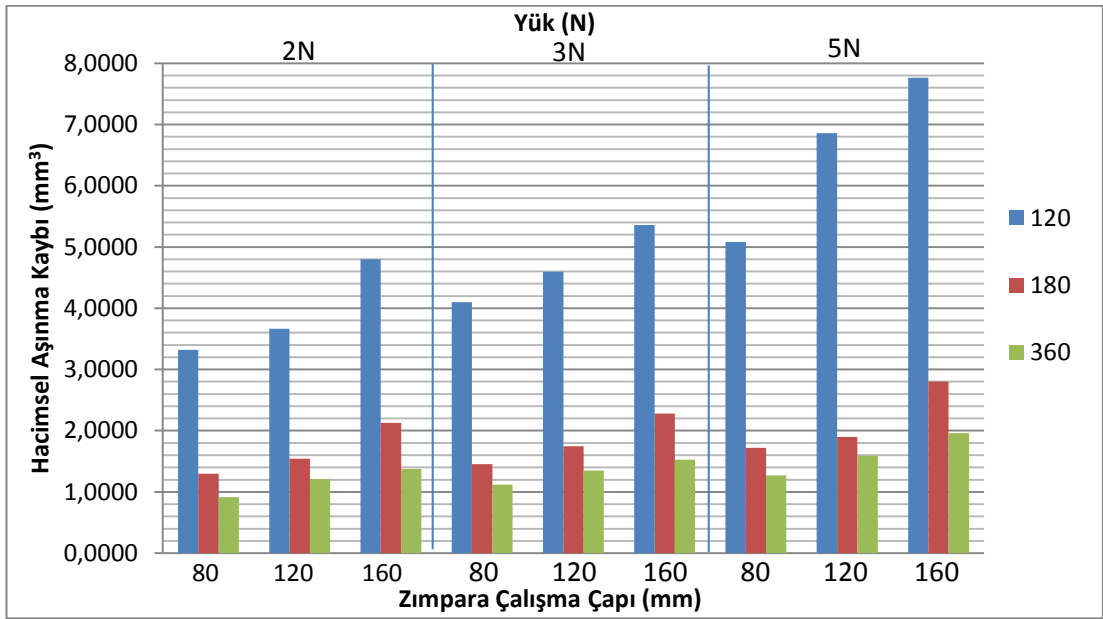
| Zımpara Numarası | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| 120 | 4,4320 | 4,9032 | 6,1131 | 5,6546 | 7,0173 | 7,7050 | 7,7560 | 8,1381 | 9,7555 |
| 180 | 1,6684 | 1,9358 | 2,5471 | 1,9231 | 2,4707 | 2,6872 | 2,1523 | 3,1839 | 3,6806 |
| 360 | 1,0953 | 1,3372 | 1,4646 | 1,2736 | 1,6302 | 1,8467 | 1,3500 | 1,7830 | 2,0886 |

Çizelge 4.20. Normalizasyon tavlmalı numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm^3)

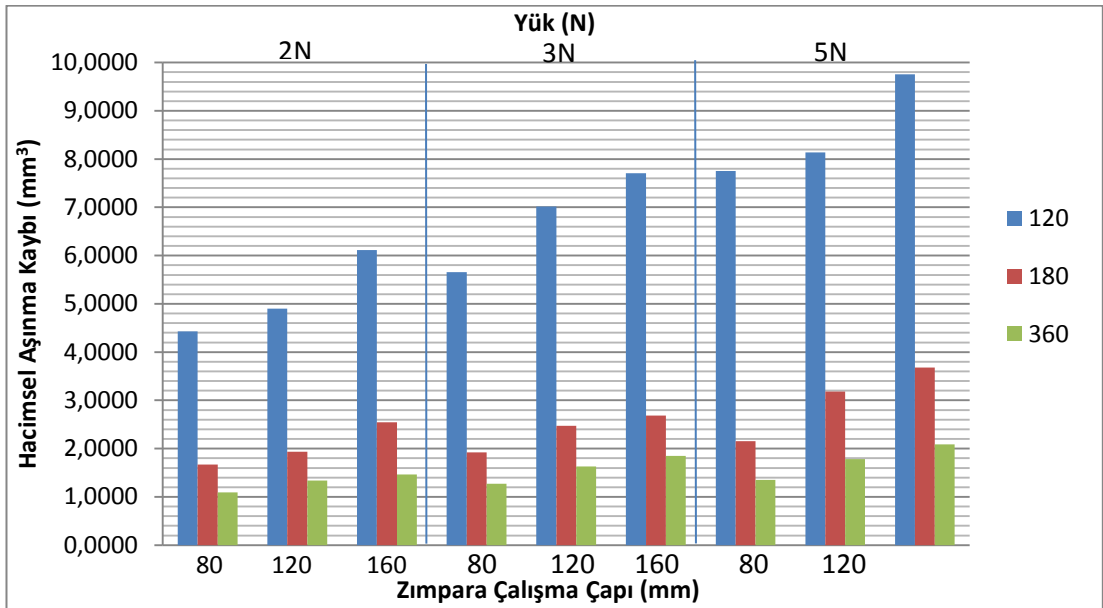
| Zımpara Numarası | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| 120 | 2,8156 | 3,2488 | 4,5484 | 3,6438 | 4,2681 | 4,9178 | 4,7904 | 5,9371 | 6,8162 |
| 180 | 1,1849 | 1,2995 | 1,6435 | 1,2358 | 1,5671 | 2,1149 | 1,6180 | 1,7709 | 2,3315 |
| 360 | 0,8536 | 0,9810 | 1,1976 | 0,9428 | 1,1976 | 1,3887 | 1,1212 | 1,4397 | 1,6690 |

Çizelge 4.21. Sertleştirilmiş numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm^3)

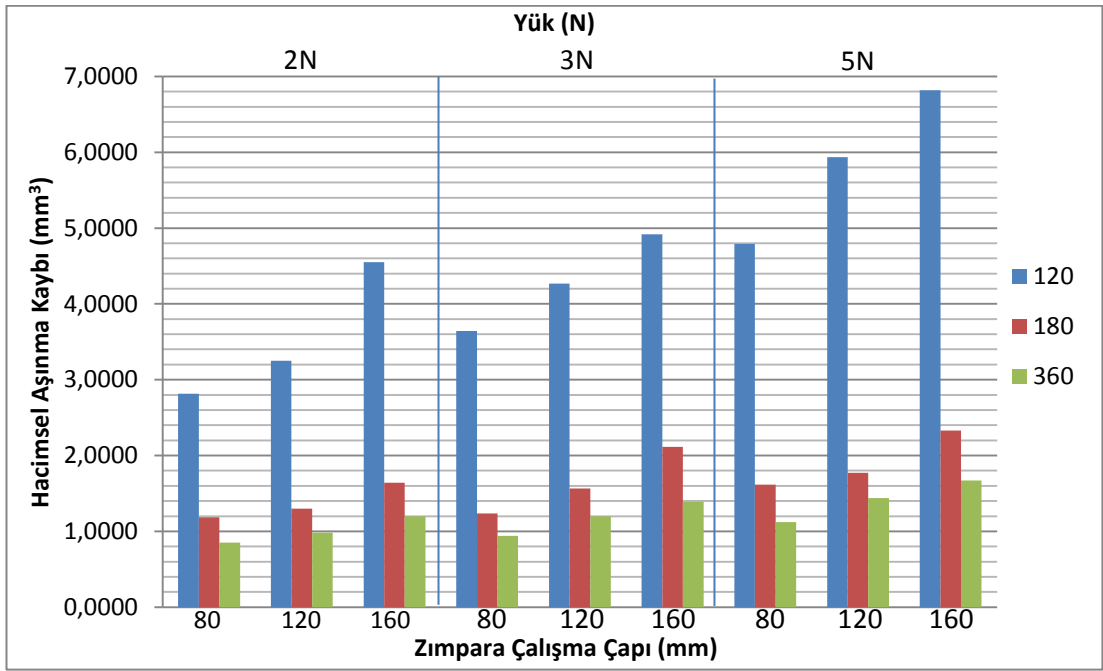
| Zımpara Numarası | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| 120 | 2,1553 | 2,4487 | 3,3542 | 3,3287 | 3,8515 | 4,5530 | 4,2597 | 5,1014 | 6,0451 |
| 180 | 0,6632 | 0,8162 | 0,9565 | 0,7397 | 0,9183 | 1,0203 | 0,9948 | 1,1988 | 1,3519 |
| 360 | 0,3443 | 0,4846 | 0,5994 | 0,5612 | 0,5994 | 0,9055 | 0,6377 | 0,7269 | 0,9565 |



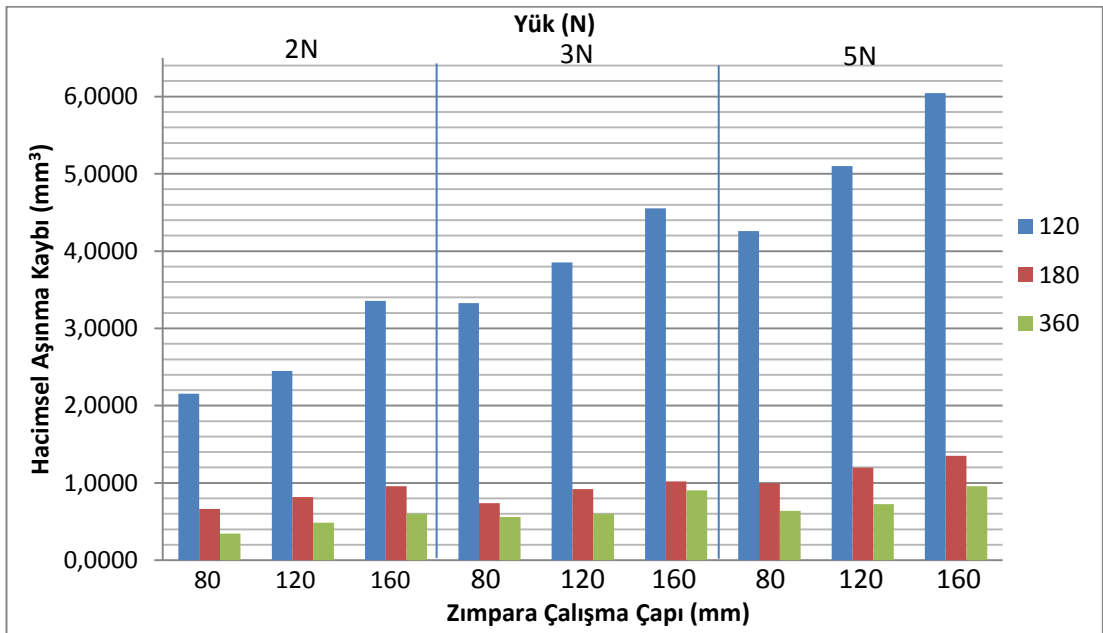
Şekil 4.6. Isıl işlemsiz numunelerin farklı numaralı zımparalarda hacim kaybı – yük ilişkisi



Şekil 4.7. Yumuşatma tavlaması uygulanmış malzemelerin farklı numaralı zımparalarda hacim kaybı – yük ilişkisi



Şekil 4.8. Normalizasyon tavlamaşı uygulanmış malzemelerin farklı numaralı zımparalarda hacim kaybı – yük ilişkisi

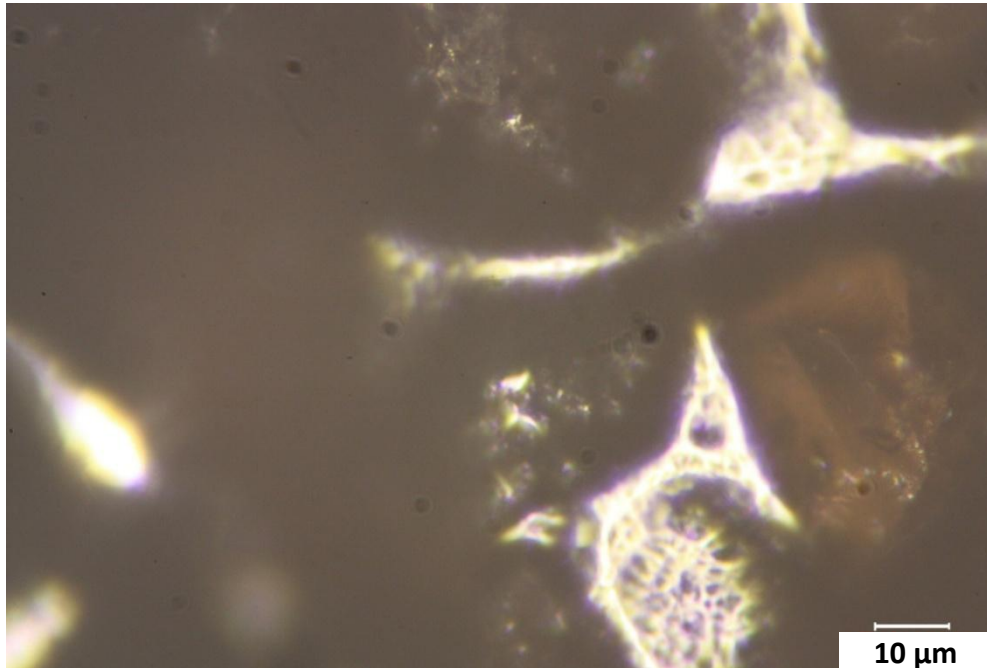


Şekil 4.9. Sertleştirme işlemi uygulanmış malzemelerin farklı zımparalarda hacim kaybı – yük ilişkisi

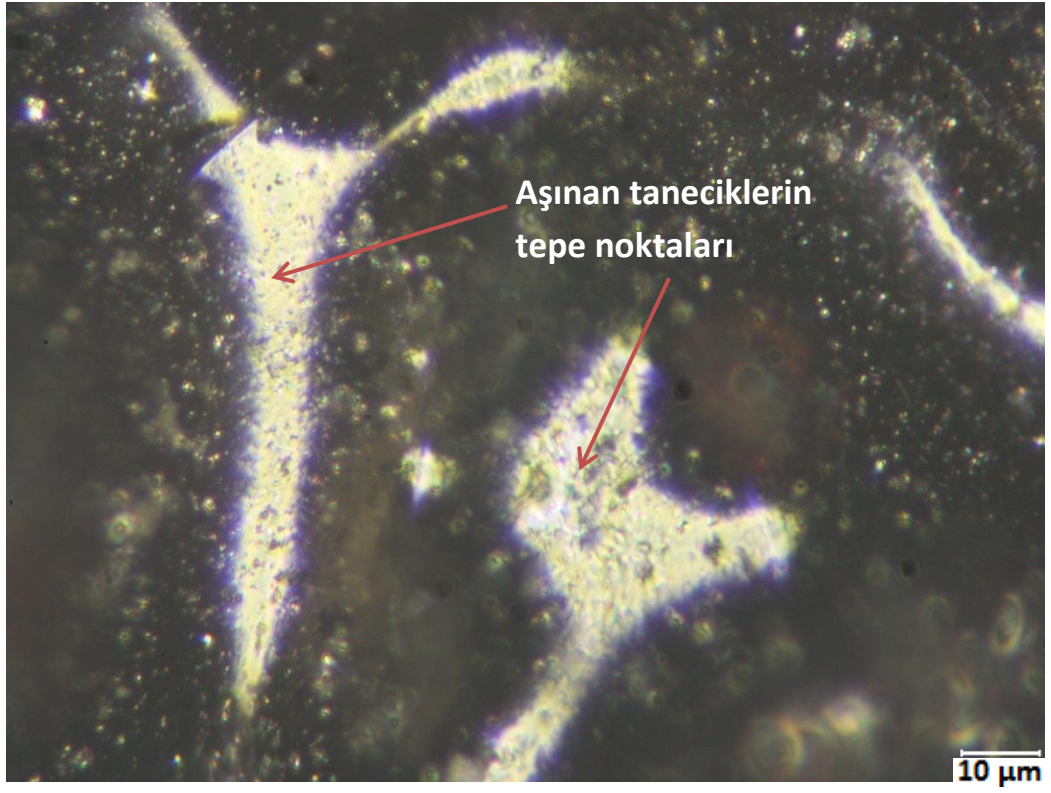
Şekil 4.6 – Şekil 4.9 arasında 4 numune grubu için verilen grafiklerde sütun yükseltmeleri incelendiğinde, tüm malzeme gruplarında aynı zımpara çalışma çaplarında ve numaralarında tüm sütunların yük ekseninin artış gösterdiği doğrultuda

yükselerek devam ettiği görülmektedir. Malzemeler üzerine aynı şartlar altında uygulanan yük miktarı arttırıldığında malzemelerin aşınma miktarlarında da artış görülmüştür. Bu duruma bakıldığında yük miktarı ile hacim kaybının doğru orantılı olarak değiştiği açıkça görülmektedir. Aşınma ile sürtünme arasında yakın bir bağın bulunduğu bilinmektedir. Cisimler üzerine uygulanan normal yük, sürtünme kuvvetini ve yüzey temas basıncını arttırmaktadır, ayrıca bu artış sürtünme sırasındaki sıcaklığın da artışına sebep olmakta sonuç olarak aşınma miktarında artış görülmektedir. Özay ve Hasçalık (2004) T/M Yöntemi İle Üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ Kompozitinin Abrasiv Aşınma Dayanımı adlı çalışmalarında artan yük ile birlikte aşınma miktarının arttığını belirtmişlerdir. More (1974) çalışmasında aşındırıcı tane boyutu ve yükün artışı ile aşınma oranının arttığını belirtmiştir (Özay ve Hasçalık, 2004).

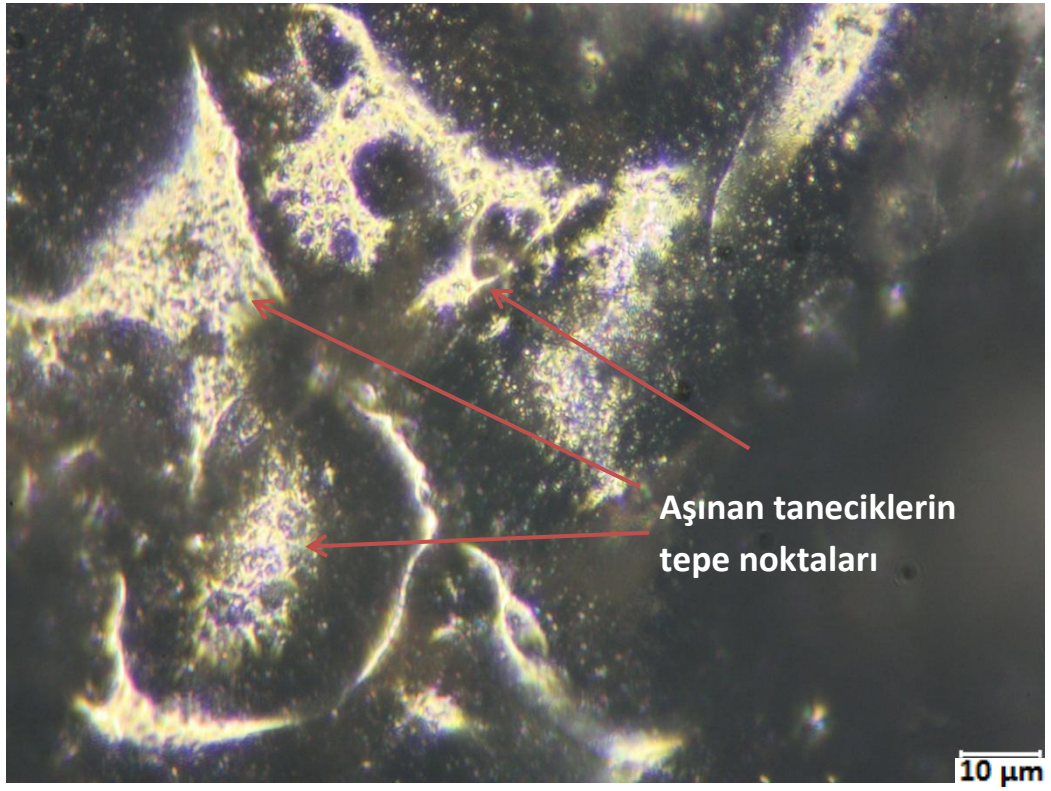
Uygulanan yükün aşınmaya etkisinin araştırılması için 2N, 3N ve 5N'luk farklı yüklerde, ısıtılmamış malzeme grubunda kullanılan 120 numara zımparaların 100x büyütmede optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. Resim 4.2'de taze zımpara görüntüsü, Resim 4.3a-b-c de ise testlerden sonra alınan görüntüler verilmiştir.



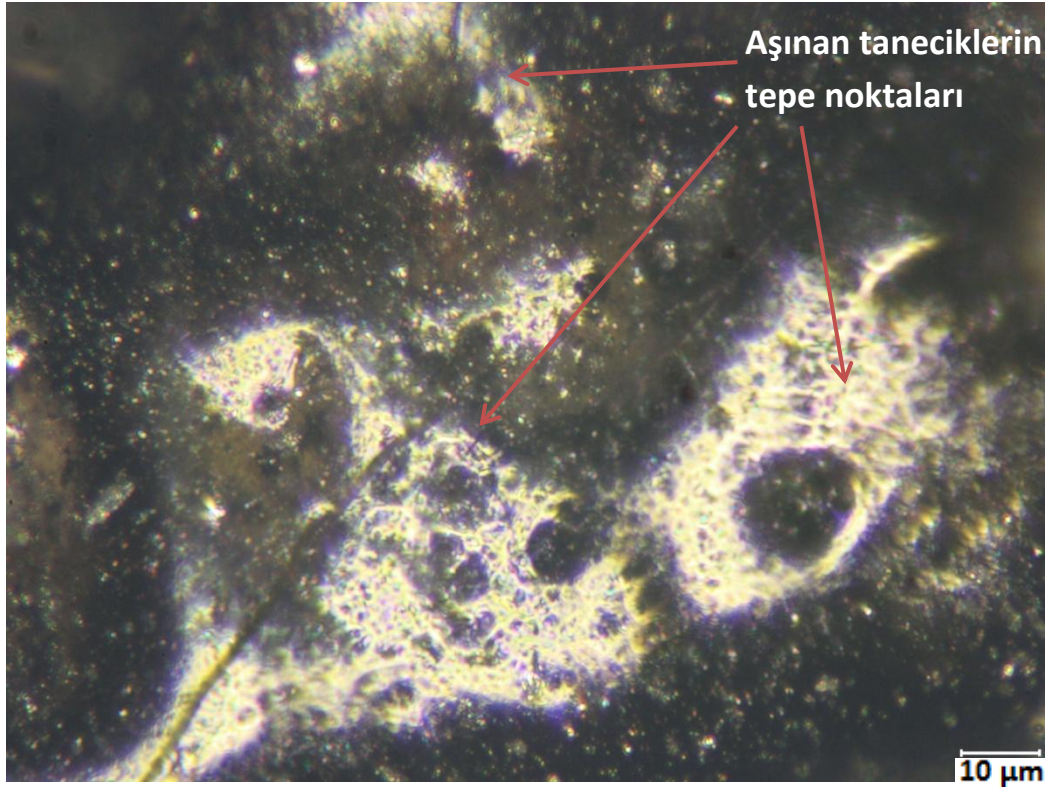
Resim 4.2. 120 numara taze zımparaya ait 100x büyütmede mikroskop görüntüsü



(a)



(b)



(c)

Resim 4.3. a) 2N yükte b) 3N yükte c) 5N yükte 120 numara zımpara görüntüsü

Resim 4.3'te 120mm çalışma çapında 2 N, 3 N ve 5 N yük altında 120 numara zımparanın tepe noktalarında oluşan yıpranmalar görülmektedir. Uygulanan yük arttıkça aşınma miktarında da artış görülmektedir. Bu durumda aşındırıcı malzemelerde oluşan yıpranmanın yük ile doğru orantılı olacak şekilde artması gerekir. Resim 4.3b'de bulunan ve 3 N yükte kullanılan zımparaların yıpranmış bölgelerine ait beyaz alanlar ile Resim 4.3a'da bulunan beyaz alanlar karşılaştırıldığında, 3 N'da bu alanların daha büyük olduğu görülmektedir. Aynı şekilde Resim 4.3c'de bulunan ve 5 N yükte çalışan zımparanın görüntüsünde beyaz görülen alanlar 3 N'a göre daha büyüktür. Aşınma sırasında uygulanan yük arttıkça aşınma miktarı da artmıştır, bu duruma bağlı olarak zımpara taneciklerinde oluşan yıpranma miktarları da aynı doğrultuda değişim göstermektedir.

4.4.3. Hacim kaybı - zımpara tane büyüklüğü ve taze zımpara boyu ilişkisi

Çizelge 4.22. Isıl işlemsiz numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm³)

| Zımpara Numarası | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| 120 | 3,3227 | 3,6665 | 4,7995 | 4,0993 | 4,5958 | 5,3596 | 5,0796 | 6,8619 | 7,7658 |
| 180 | 1,2985 | 1,5404 | 2,1260 | 1,4513 | 1,7441 | 2,2788 | 1,7187 | 1,8969 | 2,8008 |
| 360 | 0,9166 | 1,2094 | 1,3749 | 1,1203 | 1,3495 | 1,5277 | 1,2731 | 1,5913 | 1,9605 |

Çizelge 4.23. Yumuşatılmış numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm³)

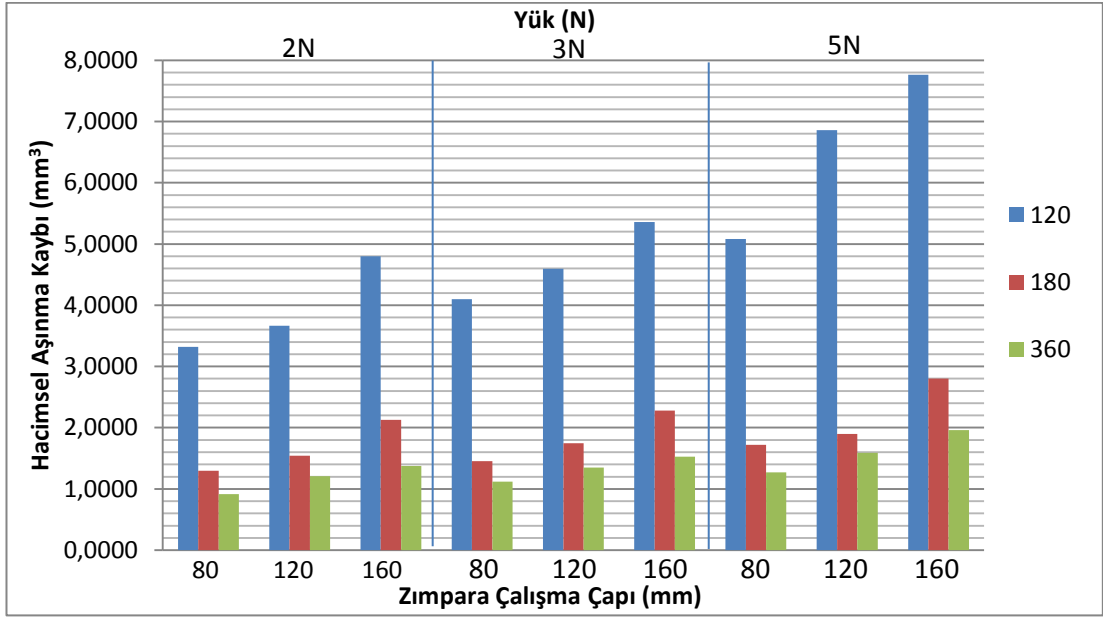
| Zımpara Numarası | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| 120 | 4,4320 | 4,9032 | 6,1131 | 5,6546 | 7,0173 | 7,7050 | 7,7560 | 8,1381 | 9,7555 |
| 180 | 1,6684 | 1,9358 | 2,5471 | 1,9231 | 2,4707 | 2,6872 | 2,1523 | 3,1839 | 3,6806 |
| 360 | 1,0953 | 1,3372 | 1,4646 | 1,2736 | 1,6302 | 1,8467 | 1,3500 | 1,7830 | 2,0886 |

Çizelge 4.24. Normalize numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm³)

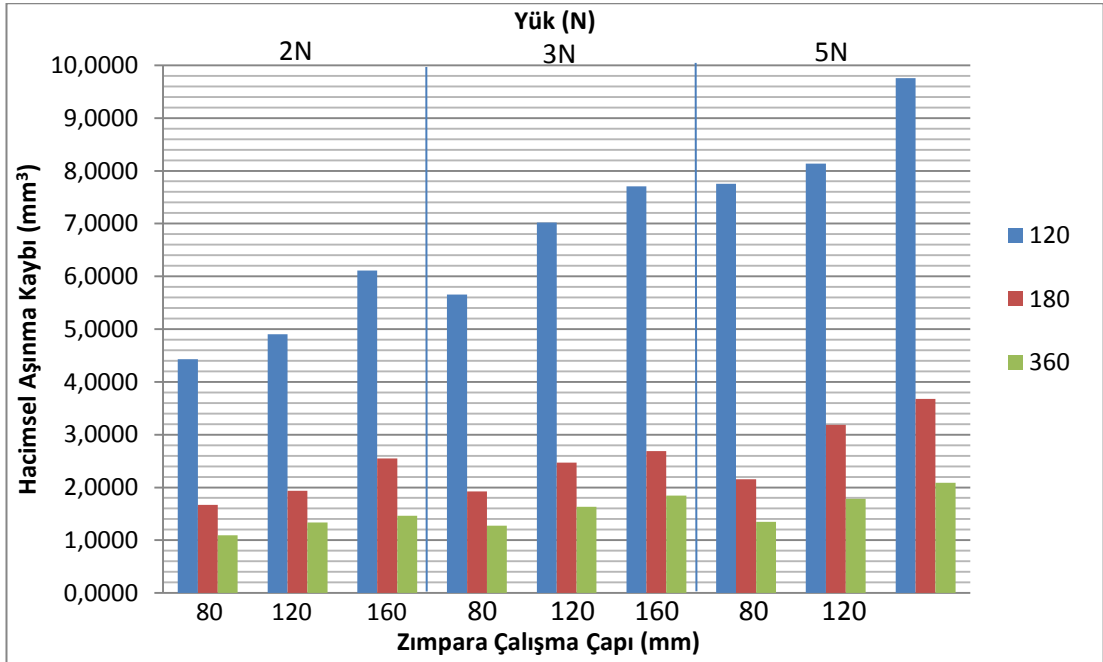
| Zımpara Numarası | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| 120 | 2,8156 | 3,2488 | 4,5484 | 3,6438 | 4,2681 | 4,9178 | 4,7904 | 5,9371 | 6,8162 |
| 180 | 1,1849 | 1,2995 | 1,6435 | 1,2358 | 1,5671 | 2,1149 | 1,6180 | 1,7709 | 2,3315 |
| 360 | 0,8536 | 0,9810 | 1,1976 | 0,9428 | 1,1976 | 1,3887 | 1,1212 | 1,4397 | 1,6690 |

Çizelge 4.25. Sertleştirilmiş numunelerin 3 farklı zımparada aşınma miktarları (mm³)

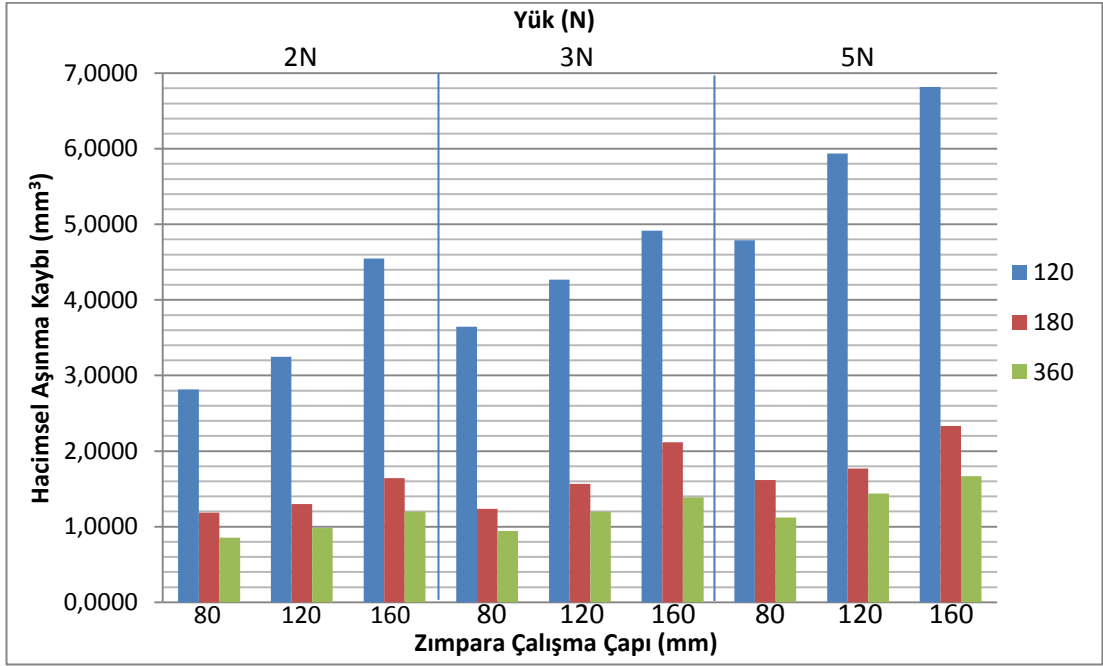
| Zımpara Numarası | 2 N | | | 3 N | | | 5N | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm | 80 mm | 120 mm | 160 mm |
| 120 | 2,1553 | 2,4487 | 3,3542 | 3,3287 | 3,8515 | 4,5530 | 4,2597 | 5,1014 | 6,0451 |
| 180 | 0,6632 | 0,8162 | 0,9565 | 0,7397 | 0,9183 | 1,0203 | 0,9948 | 1,1988 | 1,3519 |
| 360 | 0,3443 | 0,4846 | 0,5994 | 0,5612 | 0,5994 | 0,9055 | 0,6377 | 0,7269 | 0,9565 |



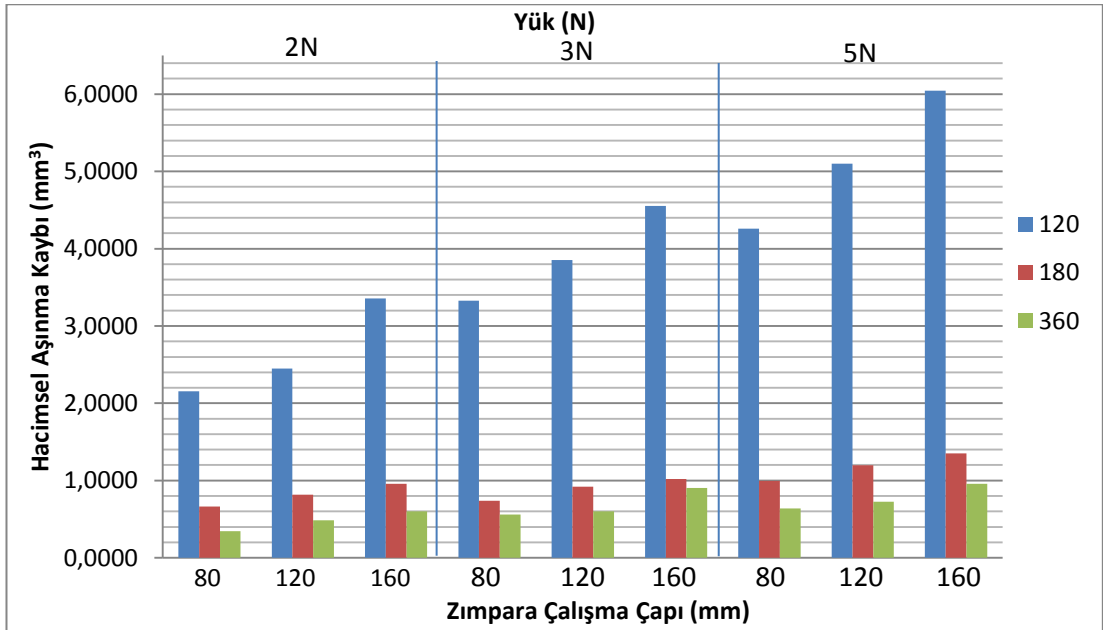
Şekil 4.10. Isıl işlemlenmiş malzemelerin hacim kaybı – yük ilişkisi



Şekil 4.11. Yumuşatılmış malzemelerin hacim kaybı – yük ilişkisi



Şekil 4.12. Normalize edilmiş malzemelerin hacim kaybı – yük ilişkisi



Şekil 4.13. Sertleştirilmiş malzemelerin hacim kaybı – yük ilişkisi

4.4.3.1. Hacim kaybı - zımpara tane büyüklüğü ilişkisi

Şekil 4.10- 4.13 aralığındaki grafiklerde farklı yükler ve farklı zımpara çaplarında 120, 180 ve 360 numaralı zımparalar ile gerçekleştirilen aşınma testlerinin 240 m yol sonundaki hacim kaybı miktarları görülmektedir. Grafikler incelendiğinde, tüm grafiklerde 120 numara zımpara için aşınma miktarını gösteren sütunların en yüksek seviyeye sahip olduğu, 360 numara zımpara için çizilen sütunların ise en düşük seviyede olduğu ve bu iki yükseklik arasında da 180 numaralı zımpara için aşınma miktarlarını gösteren sütunların bulunduğu görülmektedir. Malzeme grubu türüne bakılmaksızın tüm ısıtma işlem türlerinde ve ısıtma işlemi yapılmamış malzemelerde en çok hacim kaybı miktarı 120 numaralı zımpara ile gerçekleştirilen deneylerde elde edilmiştir.

Zımpara numaraları birim alana düşen partikül sayısını ifade etmektedir. Bu sebeple zımpara numarası küçüldükçe aşındırıcı partiküllerin tane büyüklüğü artmaktadır. Tanecik boyutunun büyümesi malzemeler arasında temas eden yüzey alanı azaltacağından oluşan temas yüzey basıncını arttıracaktır. Bu nedenle 120 numara zımparada aşındırma daha iyiyken, taneleri daha küçük olan 360 numara zımparanın aşındırma yeteneği daha kötüdür. 180 numara zımpara ise bu iki değer arasında yer almaktadır.

Özdin ve ark. (2006) gerçekleştirdikleri bir çalışmada zımpara numarasının küçüldükçe, kullandıkları deney numunelerinin hacimsel aşınma miktarlarında artış görüldüğünü bildirmiştir. Dasgupta ve ark. (1999) abrasiv aşındırma deneyinde kaba taneli aşındırıcılar kullanıldığında, bu aşındırıcıların malzeme hasarını ve kaybını hızlandırarak aşınma oranını arttırdığını bildirmiştir. (Yılmaz ve ark., 2005)

4.4.3.2. Taze zımpara boyu – hacim kaybı ilişkisi

Şekil 4.10-4.13 arasında verilen grafikler uygulanan yüke bağlı olarak 3 bölüme ayrılmıştır. Her bölümde dikey eksen hacim kaybını, yatay eksen ise farklı zımpara çalışma çaplarını göstermektedir ve deneylerde kullanılan 80 mm, 120 mm ve 160mm'lik zımpara çalışma çapları bu eksen üzerinde +x yönünde küçükten büyüğe doğru yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan 80 mm, 120 mm ve 160 mm

çalışma çaplı zımparaların zımpara boyları bu dairenin çevresine eşit olduğundan; çapı 80 mm olan zımparanın 251,2 mm, çapı 120 mm olan zımparanın 376,8 mm, 160 mm çaplı zımparanın ise 502,4 mm uzunluğunda lineer yollara denk geldiği çevre formülü ile hesaplanabilmektedir.

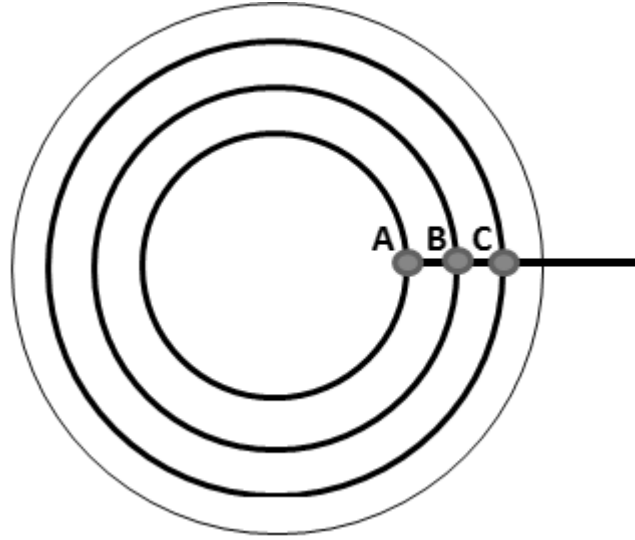
Aşınma deneyleri sabit çevresel hızlarda gerçekleştiğinden her çap için farklı devir sayıları kullanılmıştır. Kullanılan zımpara çapları, dolayısıyla taze zımpara boylarında kullanılan devir sayıları Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Taze zımpara boyuna göre devir sayısı

| Zımp. Çapı (mm) | Çev. Hız (m/sn) | Taze Zımp. boyu (mm) | Devir (dev/dk) |
|-----------------|-----------------|----------------------|----------------|
| 80 | 50 | 251,2 | 199 |
| 120 | 50 | 376,8 | 133 |
| 160 | 50 | 502,4 | 100 |

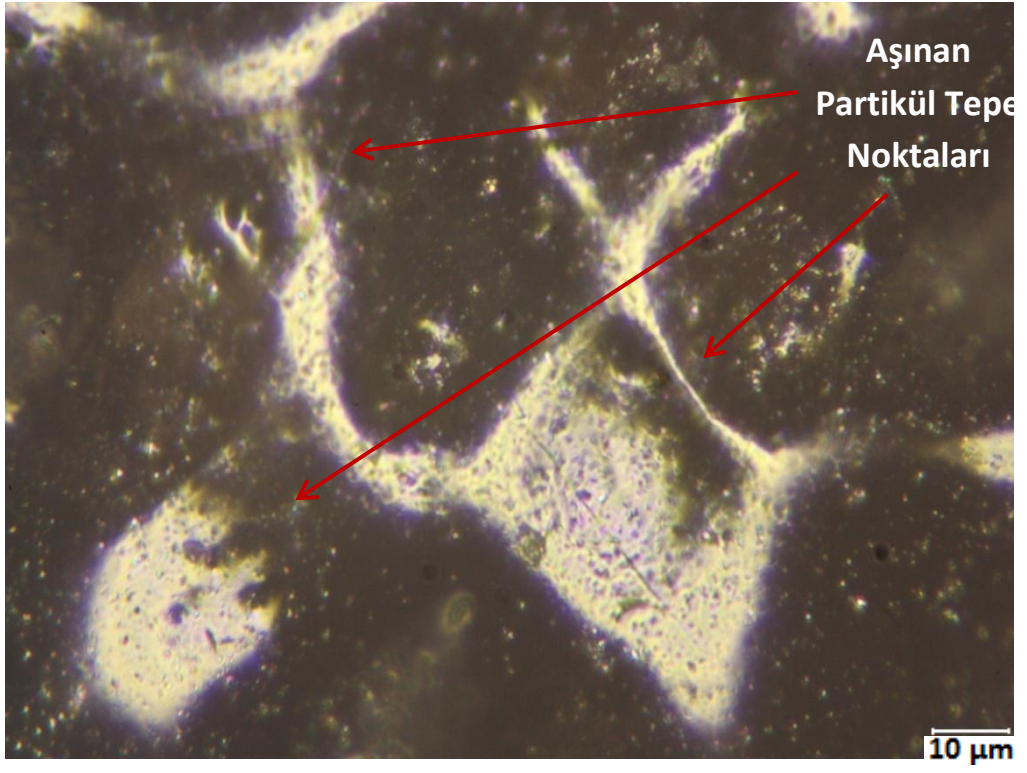
Şekil 4.10-4.13 arasında verilen grafiklerde her yük bölümü için zımpara çalışma çapına karşın aşınma miktarındaki değişim incelendiğinde, çalışma çapındaki artış ile birlikte sütun yükseltilerinin de arttığı görülmektedir. Ayrıca yük ile birlikte değerlendirildiğinde de bu artış, uygulanan yük ve çalışma çapının arttığı yönde devam etmektedir. Yani orjinden sağa doğru gidildikçe aşınma miktarında bir artış söz konusudur.

Zımpara çapı büyüdükçe, aşındırılan yüzeye temas eden taze zımpara yüzeyinde artış görülür. 80 mm çapında bir zımpara üzerinde aşınmaya maruz bırakılan bir yüzeyde temasta bulunan taze zımpara boyu 251,2 mm iken çap 120 mm'ye çıkarıldığında bu boy 376.8 mm'ye çıkmaktadır. 160 mm çapta ise 80 mm'nin tam iki katı uzunlukta, 502.4 mm uzunluğunda bir sürtünme yüzeyi söz konusudur. Aşınmanın söz konusu olduğu sistemlerde aşınan malzeme kadar aşındırılan malzemede de az ya da çok yıpranma söz konusudur. Burada aynı özelliğe sahip zımparalardan uzun temas yüzeyine sahip olanın aynı sürtünme yolunda daha az yıpranacağı açıktır.

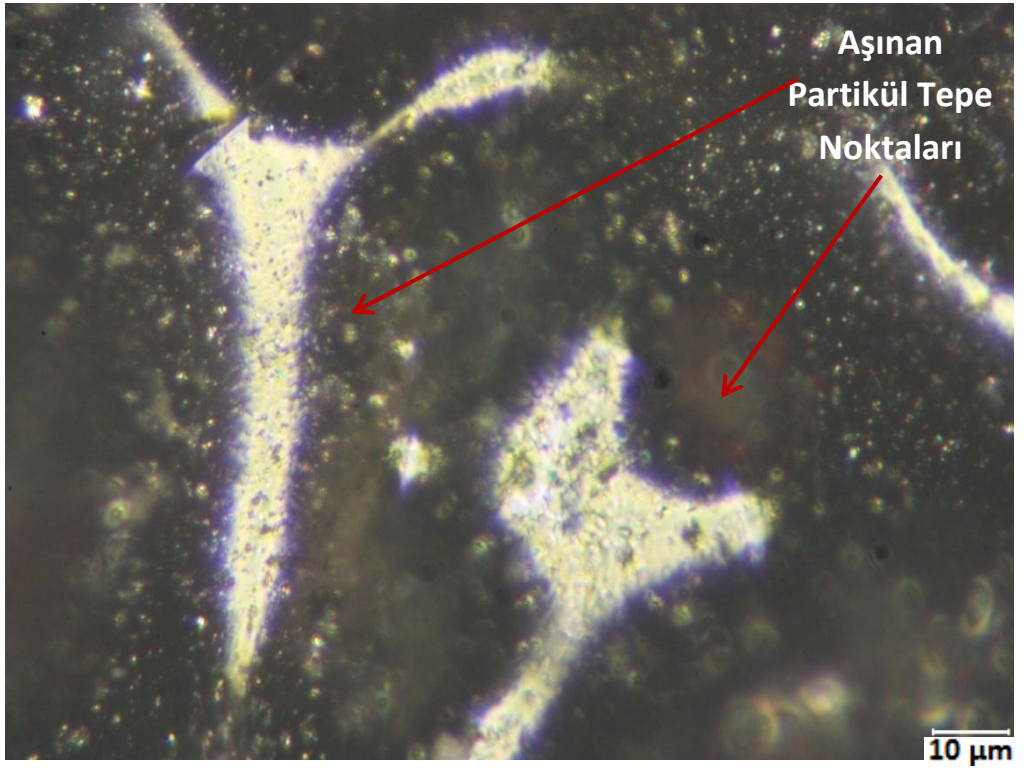


Şekil 4.14. Yarıçap çizgisi üzerinde farklı zımpara çaplarının noktasal gösterimi

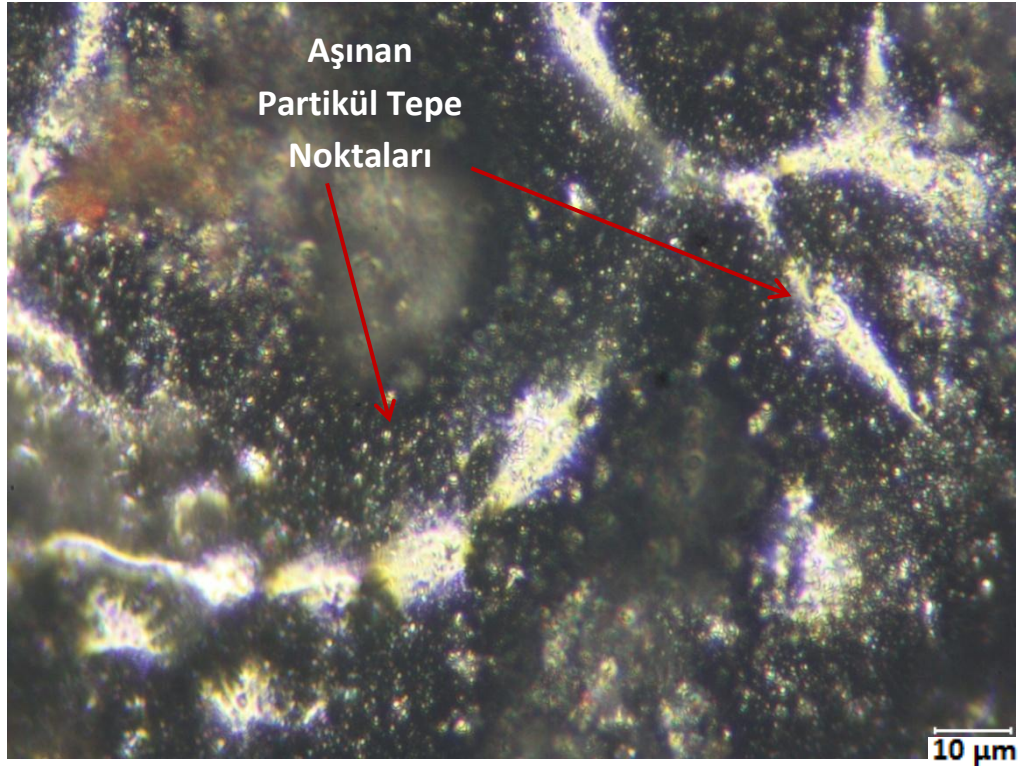
Şekil 4.14’de bir yarıçap çizgisi üzerinde, farklı çaplara ait noktaların yerleşimi görülmekte ve A noktası 80 mm, B noktası 120 mm ve C noktası 160 mm çapı temsil etmektedir. Aşınma deneyleri 80’er metrelik 3 aşamalı, toplamda 240 metrelik aşınma yolunda gerçekleştirilmiştir. Aşınma numunelerinin bu yolu 50 m/dk sabit çevresel hızda tamamlayabilmeleri için A noktasından dakikada 199, B noktasından 133 ve C noktasından 100 sefer geçmesi gerekmektedir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda 80 mm çapında zımpara yüzeyi 120 ve 160 mm’ye göre daha çok kullanılmaktadır. Yani zımpara yüzeyindeki abrasiv partiküllerin keskin köşeleri daha fazla körelmektedir. 120 mm çapta temas uzunluğu bir miktar fazla olduğundan 80 mm’ye göre daha az 160 mm’ye göre de daha fazla yıpranma göstermektedir. Çapa bağlı olarak zımpara yüzeylerinde meydana gelen farklılıkları görebilmek için ısıtılmış malzemelerin testinde 2N yük altında kullanılan 120 numara zımparaların 100x büyütmede optik mikroskop görüntüleri Resim 4.4a-b-c’de verilmiştir.



(a)



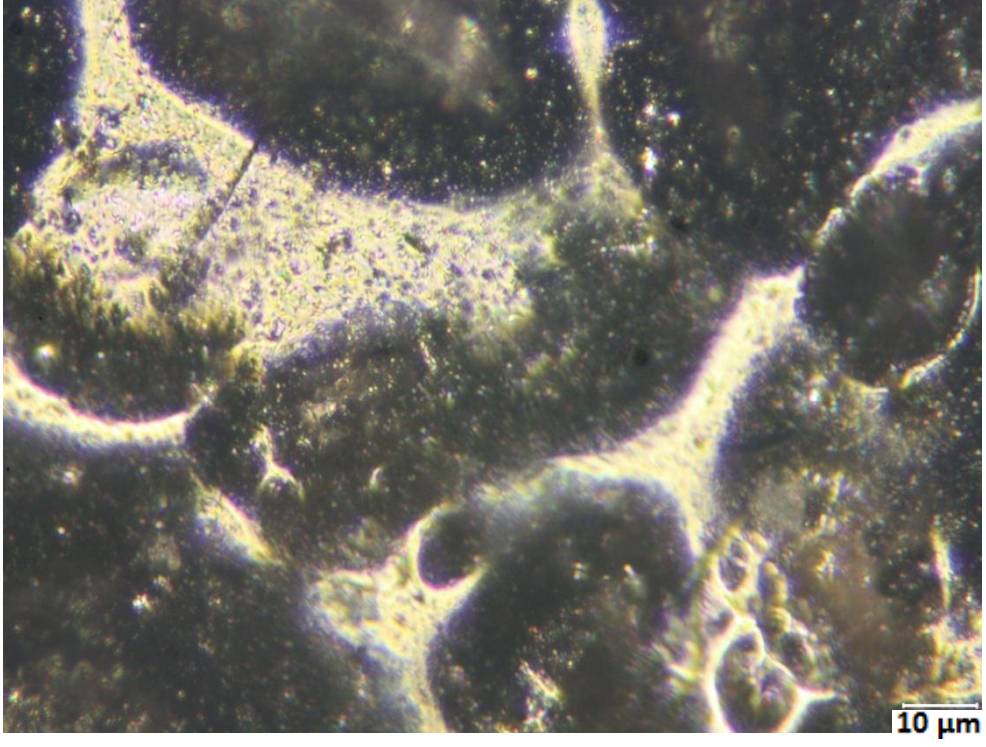
(b)



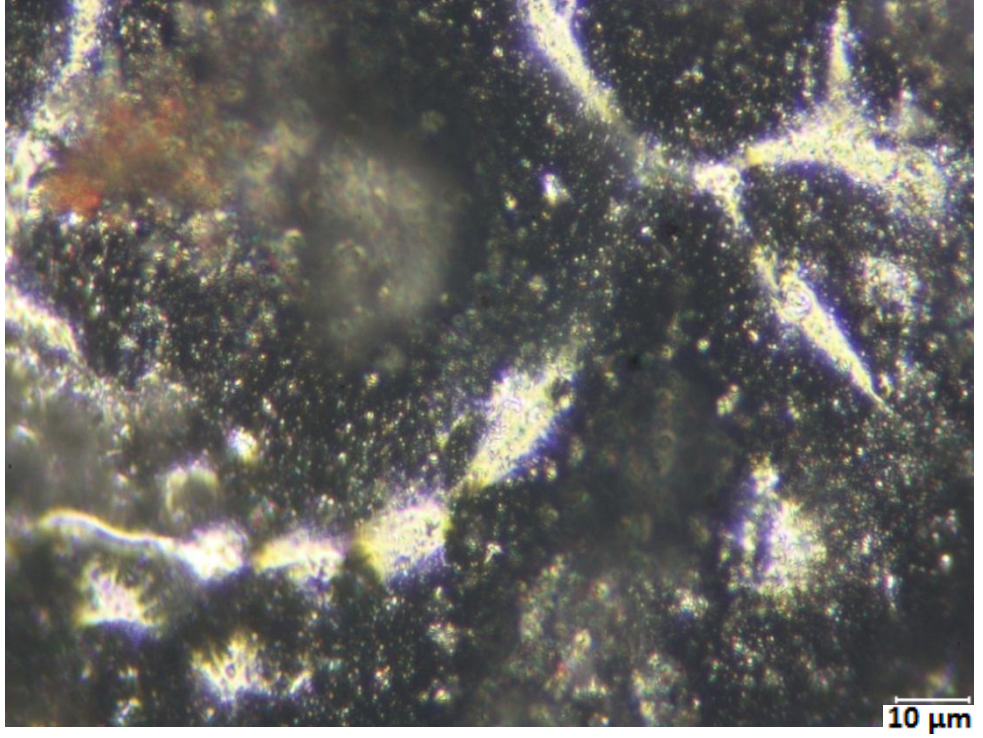
(c)

Resim 4.4. a) 80 mm b) 120 mm c) 160 mm çapında zımpara izi görüntüleri

Resim 4.4a'da 80 mm zımpara çapında 2N yükü gerçekleştirilen test sonucunda zımpara yüzeyinde oluşan farklılaşma görülmektedir. Burada aşınan partiküllerin tepe noktalarından oluşan beyaz alanların Resim 4.4b ve 4.4c'ye göre daha fazla olduğu görülmektedir. 80 mm çapta taze zımpara boyu en küçük olduğundan en çok yıpranan zımpara çapı 80 mm'dir. Resim 4.4c'de ise aynı şartlarda 160 mm zımpara izinden alınan görüntü görülmektedir. Burada beyaz alanlar diğer görüntülere göre oldukça azdır. Buda zımparada yıpranmanın en az görüldüğü çapın 160 mm olduğunu göstermektedir. Resim 4.4b 120 mm çapında zımpara izinden alınan görüntü olup beyaz alanların Resim 4.4a'da görülenden daha geniş, 4.4c'de verileden daha dar olduğu dikkati çekmektedir. Zımpara yüzeyi yıprandıkça aşındırma yeteneğinin de düşeceği açıktır. Deney sonuçlarında da aynı şartlarda en çok yıpranan 80 mm zımparada en az aşınma, en az yıpranan 160 mm çapta ise en çok aşınma görülmektedir. 120 mm çapta ise bu iki değer arasında sonuçlar elde edilmiştir. Deney sonuçlarından oluşturulan grafikler üzerinde de zımpara çapı büyüdükçe hacim kaybı miktarında da artış meydana geldiği görülmektedir.



(a)



(b)

Resim 4.5. a) 5N yük, 80 mm çap b) 2N yük, 160 mm çapta zımpara görüntüleri

Uygulanan yük arttıkça aşınma miktarının da arttığı bilinmektedir, bununla birlikte Resim 4.4a-b-c’de zımpara çapının dolayısı ile taze zımpara boyunun artışı ile, zımpara taneciklerindeki yıpranmanın azaldığı görülmektedir. Bu durumda uygulanan en büyük yük ve en düşük çapta alınan zımpara görüntüsünde en fazla yıpranma, buna karşın en düşük yükte ve en büyük zımpara çapında ise en az yıpranmanın görülmesi beklenir. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar da bu yöndedir. Resim 4.5a ve 4.5b’de ısıtılmış malzeme grubu için uygulanan testlerden 5 N yük, 80 mm zımpara çapı ve 2 N yük, 160 mm çapta oluşan zımpara izlerinden 100x büyütmede alınan optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Resim 4.5a’da körelmiş, yıpranmış aşındırıcı tanecik tepelerinden oluşan beyaz bölgelerin kapladığı alan, Resim 4.5b’de ki alandan çok daha büyüktür. 5N yük altında kullanılan 80 mm çaplı zımparada yükün artması ile birlikte oluşan temas yüzey basıncı artmıştır. Ayrıca taze zımpara boyunun en kısa olduğu bu zımpara çapında 50 m/dk çevresel hız için kullanılan devir sayısı (199 dev/dk) en fazladır. 2N yük altında kullanılan 160 mm çaplı zımparada ise uygulanan yükün azalmasıyla temas basıncı da azaltmıştır. Bununla birlikte bu çapta taze zımpara boyu en fazladır. Çap büyük olduğundan sabit çevresel hızı koruyabilmek için kullanılan devir sayısı da (100 dev/dk) en düşük değerdedir. 80 mm çapta uygulanan yükün artışı aşınan ve aşındırılan malzemelerin sürtünme yüzeylerinin temaslarını 160 mm çapa göre kolaylaştırmıştır. Bunun yanında kullanılan devrin en yüksek olmasından dolayı taze zımpara yüzeyi 160 mm çaptakine göre 2 kat daha fazla kullanılmıştır.

4.4.4. Sürtünme yolunun- hacim kaybı miktarına etkisi ve yol boyunca aşındırma miktarındaki değişim

Aşınma yolunun artışı toplam hacimsel aşınma kaybını artırıcı yönde etki yapmaktadır. Ancak bu duruma bakarak aşınma yolu tamamlanana kadar geçen sürede aşınmanın ne şekilde değiştiği ile ilgili yorum yapmak zordur. Bu amaçla bu çalışmada yapılan deneyler 240 metre aşınma yolu 3 eşit parçaya bölünerek ve her 80 metre yoldan sonra malzemelerdeki hacim kayıpları ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.27 – 4.30 ve Şekil 4.15 – 4.18 aralıklarındaki çizelge ve şekillerde 4 farklı

malzeme grubu için 80 m, 160 m ve 240 metre sonunda oluşan toplam aşınma miktarları, 120, 180 ve 360 numaralı zımparalar için verilmiştir.

Çizelge 4.27. Isıl işlemsiz malzemelerin farklı numaralı zımparalarda farklı aşınma yolları sonunda toplam hacim kaybı miktarları

| Zım-para Num. | Yük | 80 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | | 120 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | | 160 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | |
|---------------|-----|---|--------|--------|--|--------|--------|--|--------|--------|
| | | 80 m | 160 m | 240 m | 80 m | 160 m | 240 m | 80 m | 160 m | 240 m |
| 120 | 2N | 1,8205 | 2,7498 | 3,3227 | 1,9096 | 3,0045 | 3,6665 | 2,6353 | 3,9593 | 4,7995 |
| | 3N | 2,2151 | 3,4246 | 4,0993 | 2,3934 | 3,7938 | 4,5958 | 2,8899 | 4,3666 | 5,3596 |
| | 5N | 2,3934 | 3,8320 | 5,0796 | 2,9408 | 5,0286 | 6,8619 | 3,4882 | 5,7543 | 7,7658 |
| 180 | 2N | 0,9166 | 1,1840 | 1,2985 | 0,9548 | 1,3749 | 1,5404 | 1,3240 | 1,9351 | 2,1260 |
| | 3N | 0,9930 | 1,2731 | 1,4513 | 1,0694 | 1,5150 | 1,7441 | 1,3749 | 2,0115 | 2,2788 |
| | 5N | 1,0948 | 1,5150 | 1,7187 | 1,1330 | 1,5913 | 1,8969 | 1,4895 | 2,3043 | 2,8008 |
| 360 | 2N | 0,6238 | 0,8275 | 0,9166 | 0,8402 | 1,0948 | 1,2094 | 0,9166 | 1,2094 | 1,3749 |
| | 3N | 0,7384 | 0,9675 | 1,1203 | 0,9039 | 1,1840 | 1,3495 | 1,0185 | 1,3367 | 1,5277 |
| | 5N | 0,8530 | 1,0948 | 1,2731 | 1,0185 | 1,3622 | 1,5913 | 1,2476 | 1,6550 | 1,9605 |

Çizelge 4.28. Yumuşatılmış malzemelerin farklı numaralı zımparalarda farklı aşınma yolları sonunda toplam hacim kaybı miktarları

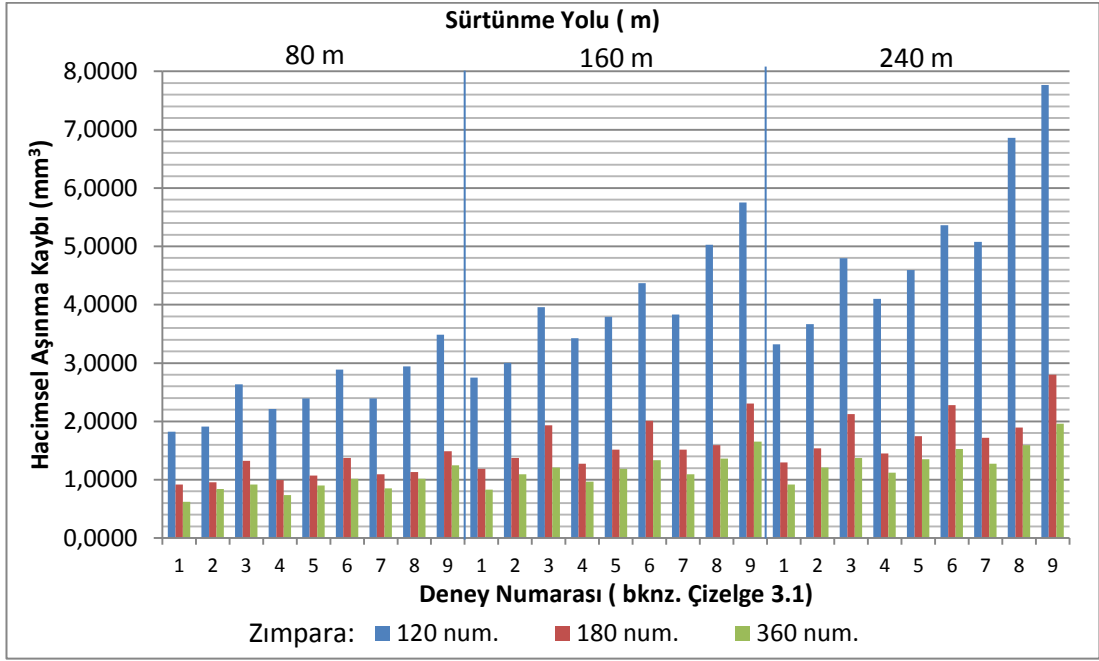
| Zım-para Num. | Yük | 80 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | | 120 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | | 160 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | |
|---------------|-----|---|--------|--------|--|--------|--------|--|--------|--------|
| | | 80 m | 160 m | 240 m | 80 m | 160 m | 240 m | 80 m | 160 m | 240 m |
| 120 | 2N | 1,9485 | 3,2603 | 4,4320 | 2,2415 | 3,6806 | 4,9032 | 2,8400 | 4,7631 | 6,1131 |
| | 3N | 3,0820 | 4,4575 | 5,6546 | 3,9480 | 5,7310 | 7,0173 | 4,2282 | 6,2659 | 7,7050 |
| | 5N | 3,5278 | 5,7183 | 7,7560 | 3,7188 | 6,0239 | 8,1381 | 4,3556 | 7,3102 | 9,7555 |
| 180 | 2N | 1,1207 | 1,4391 | 1,6684 | 1,3500 | 1,6938 | 1,9358 | 1,8212 | 2,2287 | 2,5471 |
| | 3N | 1,1589 | 1,5665 | 1,9231 | 1,5665 | 2,0377 | 2,4707 | 1,7066 | 2,2415 | 2,6872 |
| | 5N | 1,3245 | 1,8085 | 2,1523 | 2,1396 | 2,6999 | 3,1839 | 2,5853 | 3,1712 | 3,6806 |
| 360 | 2N | 0,8151 | 0,9679 | 1,0953 | 0,9042 | 1,1717 | 1,3372 | 1,0061 | 1,2863 | 1,4646 |
| | 3N | 0,9297 | 1,1462 | 1,2736 | 1,0825 | 1,4264 | 1,6302 | 1,2226 | 1,6047 | 1,8467 |
| | 5N | 0,9679 | 1,1971 | 1,3500 | 1,1589 | 1,5537 | 1,7830 | 1,2863 | 1,7193 | 2,0886 |

Çizelge 4.29. Normalize edilmiş malzemelerin farklı numaralı zımparalarda farklı aşınma yolları sonunda toplam hacim kaybı miktarları

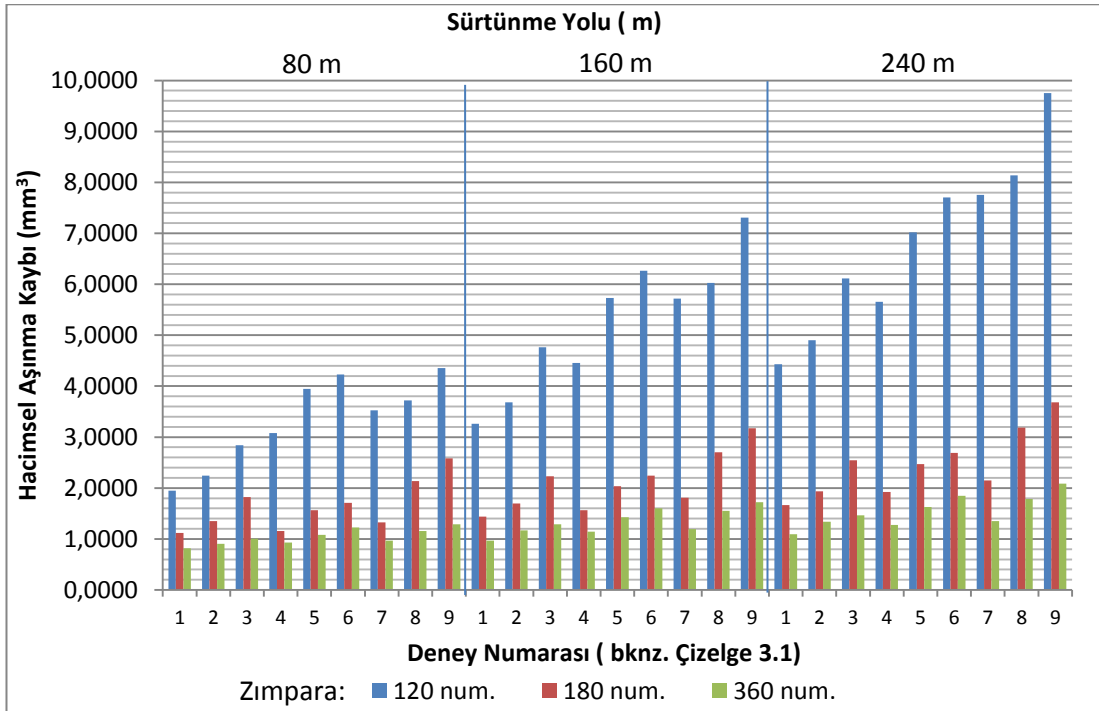
| Zım-para Num. | Yük | 80 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | | 120 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | | 160 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | |
|---------------|-----|---|--------|--------|--|--------|--------|--|--------|--------|
| | | 80 m | 160 m | 240 m | 80 m | 160 m | 240 m | 80 m | 160 m | 240 m |
| 120 | 2N | 1,5543 | 2,2805 | 2,8156 | 1,7837 | 2,6245 | 3,2488 | 2,4207 | 3,6947 | 4,5484 |
| | 3N | 1,8983 | 2,9303 | 3,6438 | 2,1531 | 3,3762 | 4,2681 | 2,6245 | 3,9495 | 4,9178 |
| | 5N | 2,1914 | 3,5291 | 4,7904 | 2,7519 | 4,3827 | 5,9371 | 3,2106 | 5,1217 | 6,8162 |
| 180 | 2N | 0,6752 | 1,0065 | 1,1849 | 0,7262 | 1,1084 | 1,2995 | 0,9173 | 1,4142 | 1,6435 |
| | 3N | 0,7007 | 1,0320 | 1,2358 | 0,8791 | 1,3250 | 1,5671 | 1,2486 | 1,7837 | 2,1149 |
| | 5N | 0,9555 | 1,3378 | 1,6180 | 1,0320 | 1,4779 | 1,7709 | 1,2740 | 1,9366 | 2,3315 |
| 360 | 2N | 0,5351 | 0,7135 | 0,8536 | 0,6115 | 0,8281 | 0,9810 | 0,7644 | 1,0065 | 1,1976 |
| | 3N | 0,5733 | 0,7772 | 0,9428 | 0,7644 | 1,0065 | 1,1976 | 0,9301 | 1,1849 | 1,3887 |
| | 5N | 0,6625 | 0,9046 | 1,1212 | 0,9428 | 1,2103 | 1,4397 | 1,1339 | 1,4269 | 1,6690 |

Çizelge 4.30. Sertleştirilmiş malzemelerin farklı numaralı zımparalarda farklı aşınma yolları sonunda toplam hacim kaybı miktarları

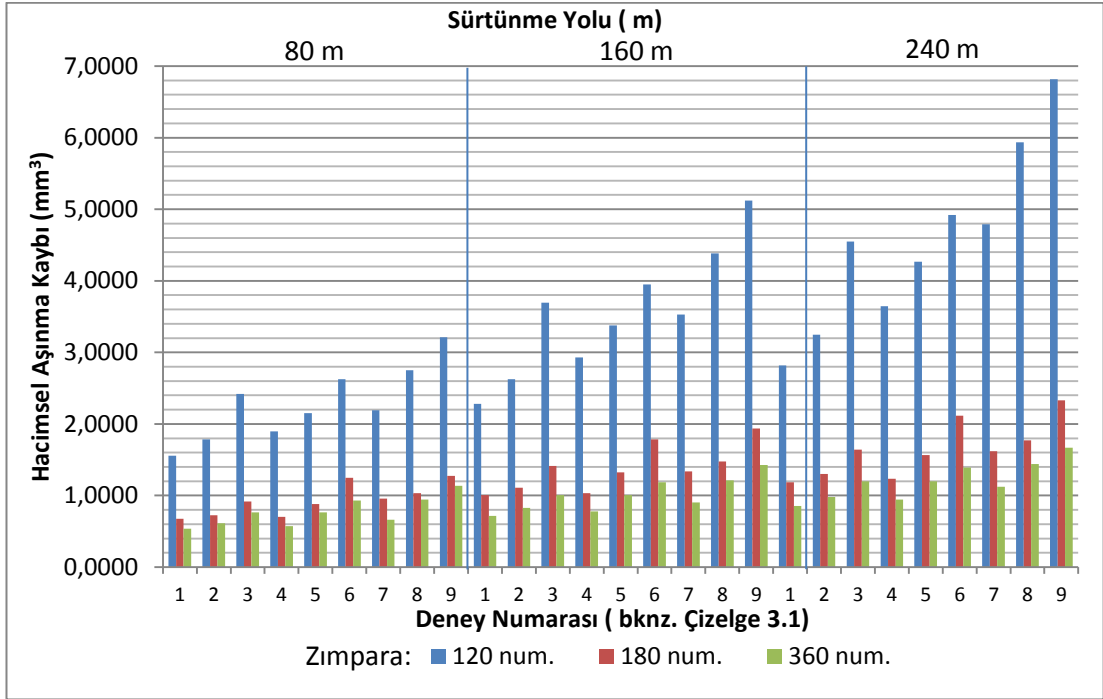
| Zım-para Num. | Yük | 80 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | | 120 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | | 160 mm Çapında Yola Bağlı Hacim Kaybı (mm ³) | | |
|---------------|-----|---|--------|--------|--|--------|--------|--|--------|--------|
| | | 80 m | 160 m | 240 m | 80 m | 160 m | 240 m | 80 m | 160 m | 240 m |
| 120 | 2N | 1,0713 | 1,7472 | 2,1553 | 1,0968 | 1,8365 | 2,4487 | 1,7090 | 2,5507 | 3,3542 |
| | 3N | 1,4411 | 2,5762 | 3,3287 | 1,7982 | 3,0608 | 3,8515 | 2,3594 | 3,7240 | 4,5530 |
| | 5N | 1,8493 | 3,1374 | 4,2597 | 2,4997 | 3,9281 | 5,1014 | 2,9588 | 4,6678 | 6,0451 |
| 180 | 2N | 0,5101 | 0,6122 | 0,6632 | 0,6249 | 0,7397 | 0,8162 | 0,7014 | 0,8545 | 0,9565 |
| | 3N | 0,5739 | 0,6759 | 0,7397 | 0,6887 | 0,8417 | 0,9183 | 0,7397 | 0,9055 | 1,0203 |
| | 5N | 0,6759 | 0,8672 | 0,9948 | 0,8290 | 1,0585 | 1,1988 | 0,8545 | 1,1351 | 1,3519 |
| 360 | 2N | 0,2296 | 0,2933 | 0,3443 | 0,2678 | 0,4209 | 0,4846 | 0,3443 | 0,5229 | 0,5994 |
| | 3N | 0,4081 | 0,4974 | 0,5612 | 0,4209 | 0,5229 | 0,5994 | 0,5994 | 0,7780 | 0,9055 |
| | 5N | 0,4464 | 0,5867 | 0,6377 | 0,5101 | 0,6759 | 0,7269 | 0,7142 | 0,8927 | 0,9565 |



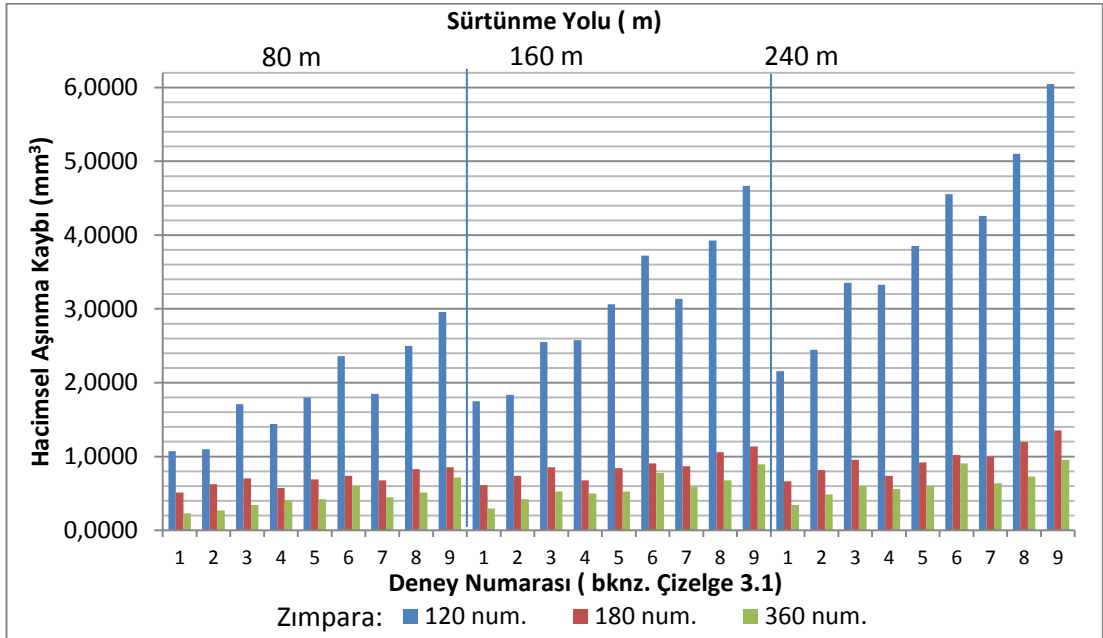
Şekil 4.15. Isıl işlemsiz malzemelerin farklı aşınma yollarında toplam hacim kaybı



Şekil 4.16. Yumuşatılmış malzemelerin farklı aşınma yollarında toplam hacim kaybı



Şekil 4.17. Normalize edilmiş malzemelerin farklı aşınma yollarında toplam hacim kaybı

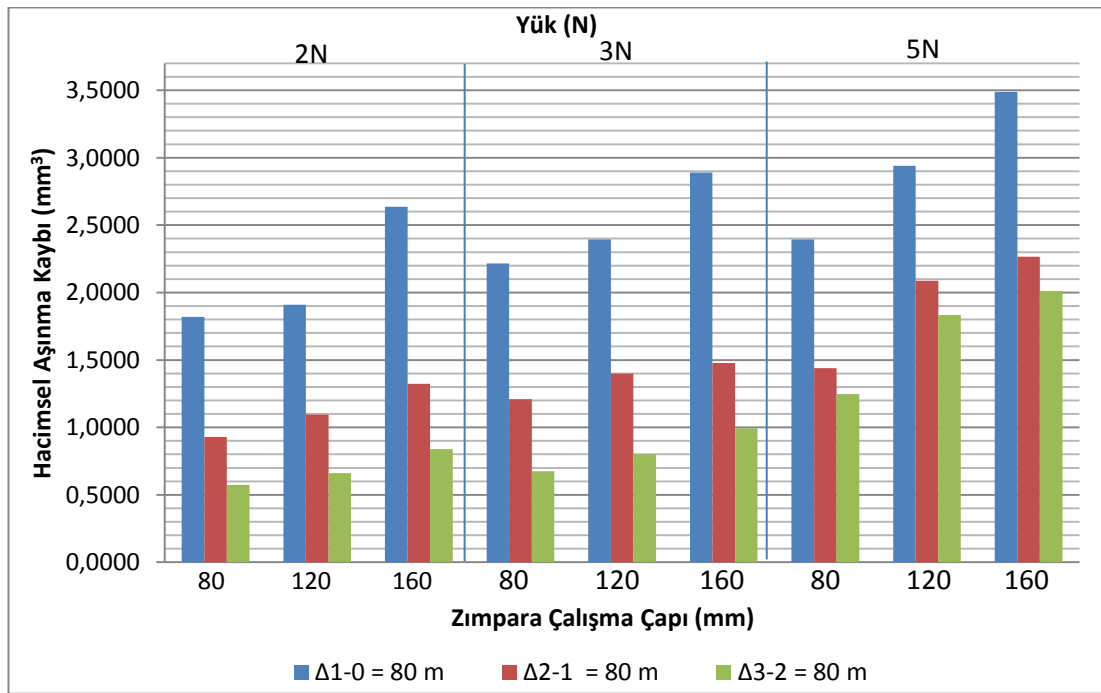


Şekil 4.18. Sertleştirilmiş malzemelerin farklı aşınma yollarında toplam hacim kaybı

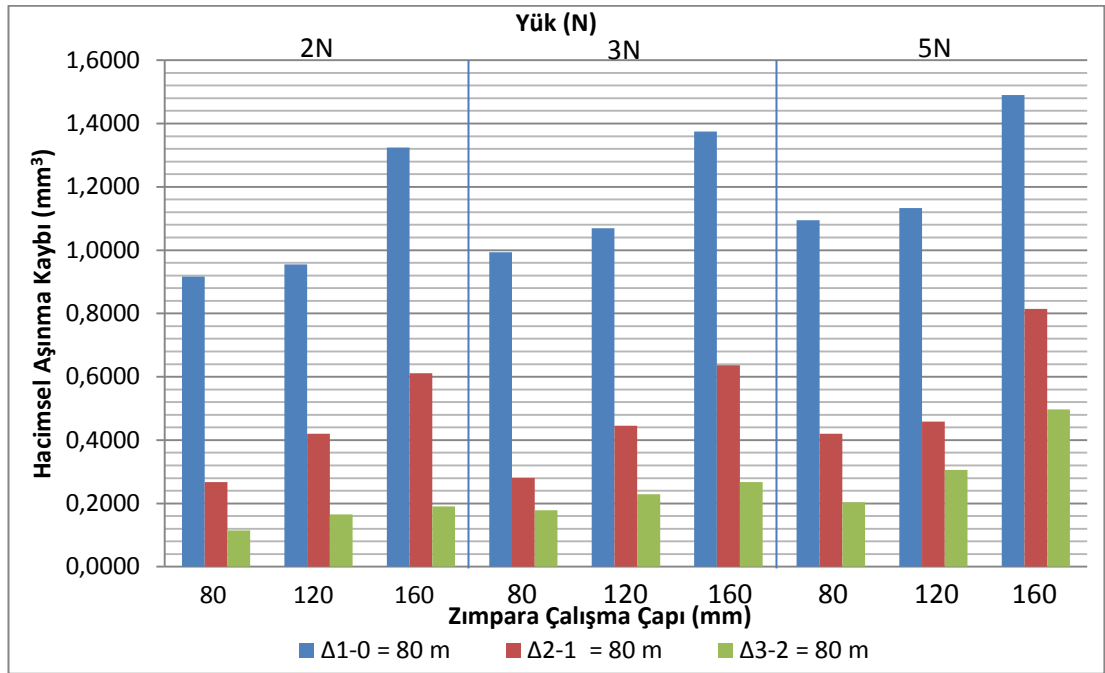
4 farklı numune grubu için 80 metre kademeli, toplam 240 metrelik sürtünme yolu sonunda oluşan hacim kaybı miktarları Şekil 4.15 – 4.18 aralığında verilen

grafiklerde görülmektedir. Grafiklerin sütun yükselteleri incelendiğinde aşınma yolunun artış gösterdiği yönde hacim kaybı miktarı da artmaktadır. Bununla birlikte zımpara numarası değişse de bu durum değişmemektedir ve bu doğru orantı tüm numune türlerinde gözlemlenmektedir. Aşınma yolunun artışı, aşınan malzemenin aşındırıcı yüzeyi ile temas süresini arttırmaktadır. Malzemeler aşındırıcı ile temasta buldukları sürelerde aşındırıcı malzeme özelliklerini kaybederek kayma durumuna geçene kadar aşınmaya devam ederler. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar da bu doğrultuda olup aşınma yolunun artışı ile hacim kaybı arasında doğru orantı bulunduğunu göstermektedir.

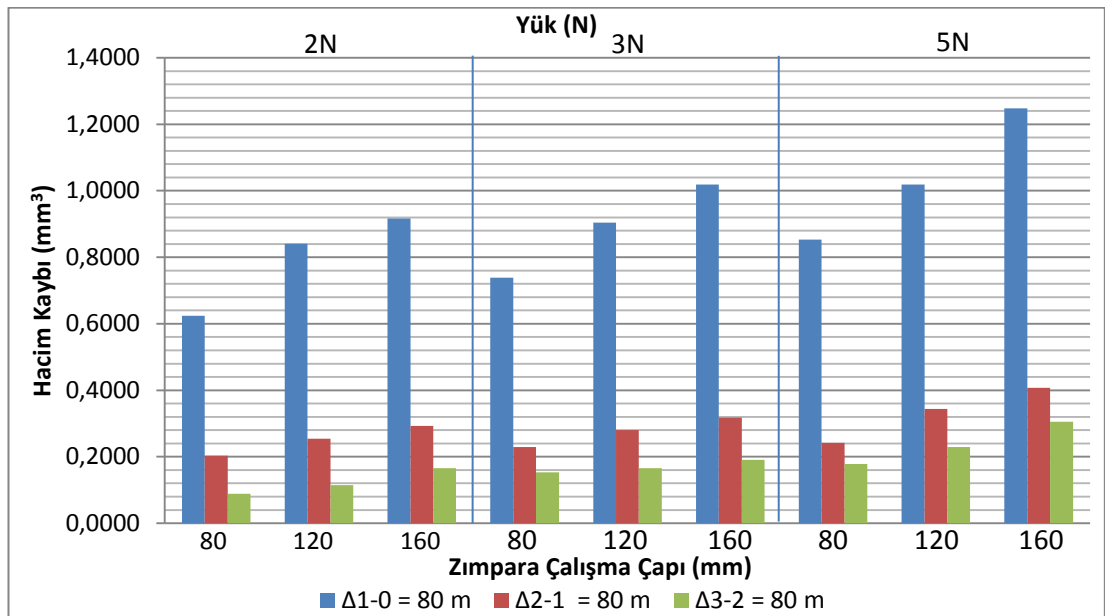
Aşınma yolunun artışı hacim kaybını artırıcı yönde etki yapmaktadır. Ancak bu durum aşınma yolu boyunca aşınmanın ne şekilde değiştiği ile ilgili bir bilgi vermemektedir. Bu amaçla bu çalışmada deneyler 240 metre aşınma yolu 3 eşit parçaya bölünerek her 80 metreden sonra oluşan hacim kayıpları ölçülmüştür. Böylece aşınma yolu boyunca aşındırma miktarının değişimini gösteren grafikler elde edilmiştir. Bu grafikler Şekil 4.19 – 4.30 arasında gösterilmiştir.



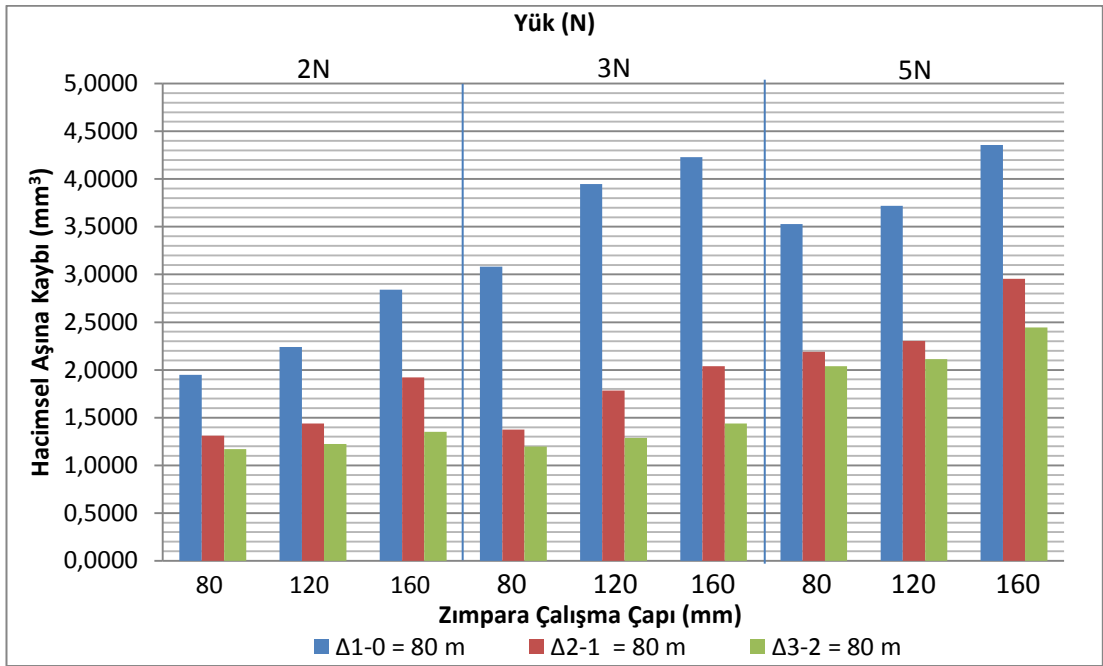
Şekil 4.19. Isıl işlemsiz malzemelerin 120 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları



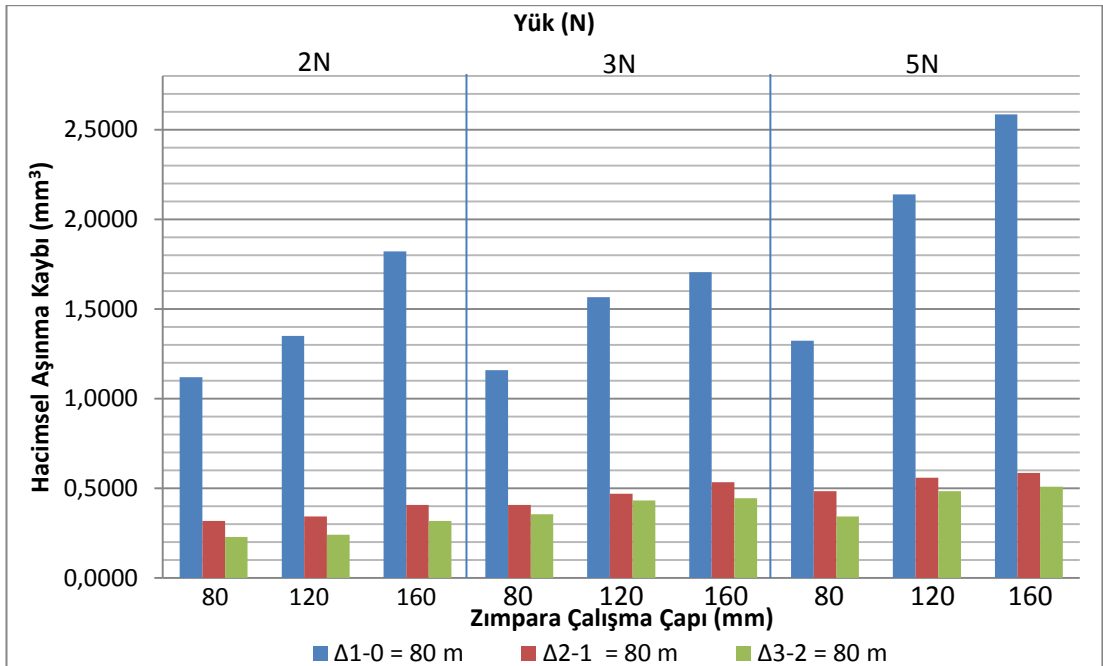
Şekil 4.20. Isıl işlemsiz malzemelerin 180 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları



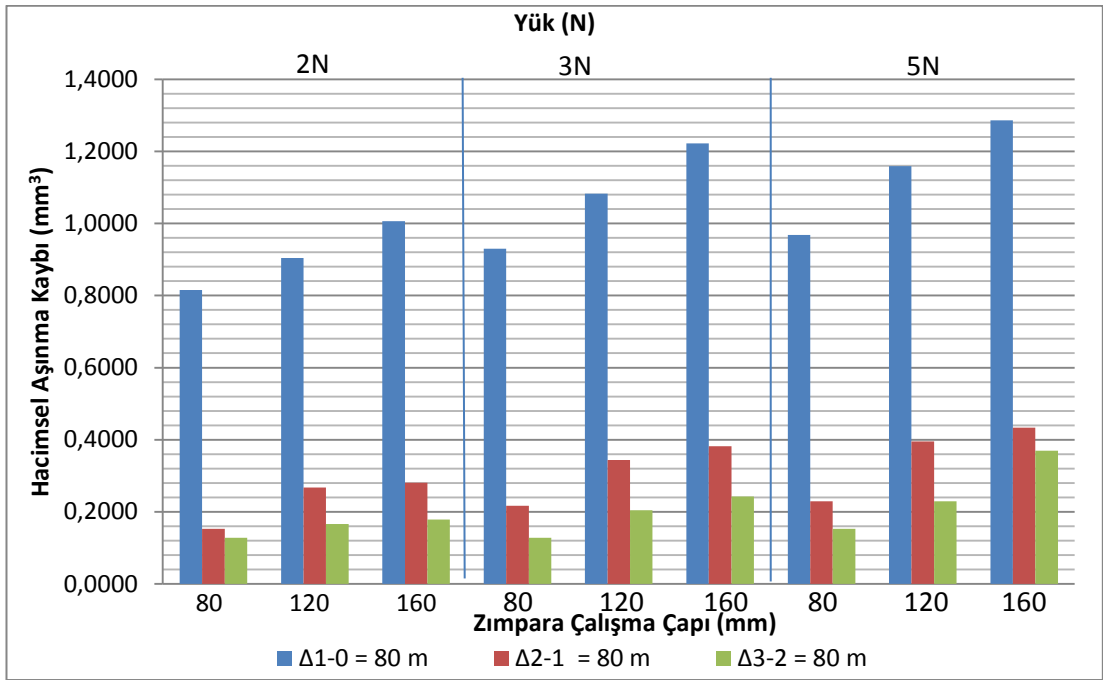
Şekil 4.21. Isıl işlemsiz malzemelerin 360 numara zımparada farklı aşınma yollarında hacim kaybı farkları



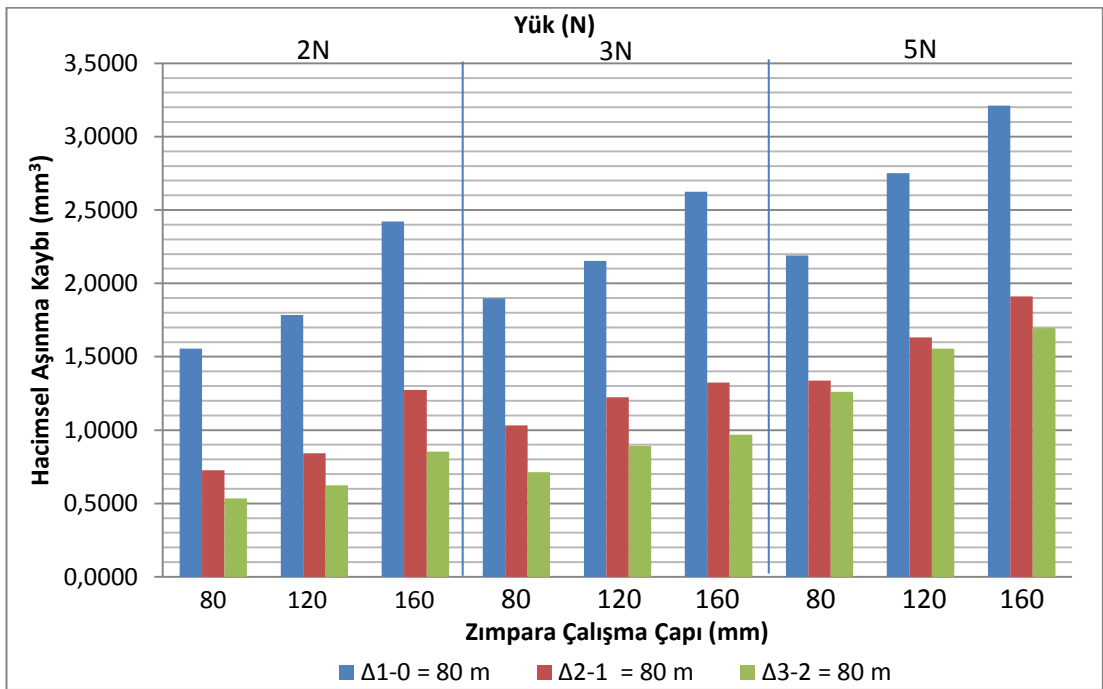
Şekil 4.22. Yumuşatma ısıl işlemlenmiş malzemelerin 120 numara zımparada farklı aşınma yollarında hacim kaybı farkları



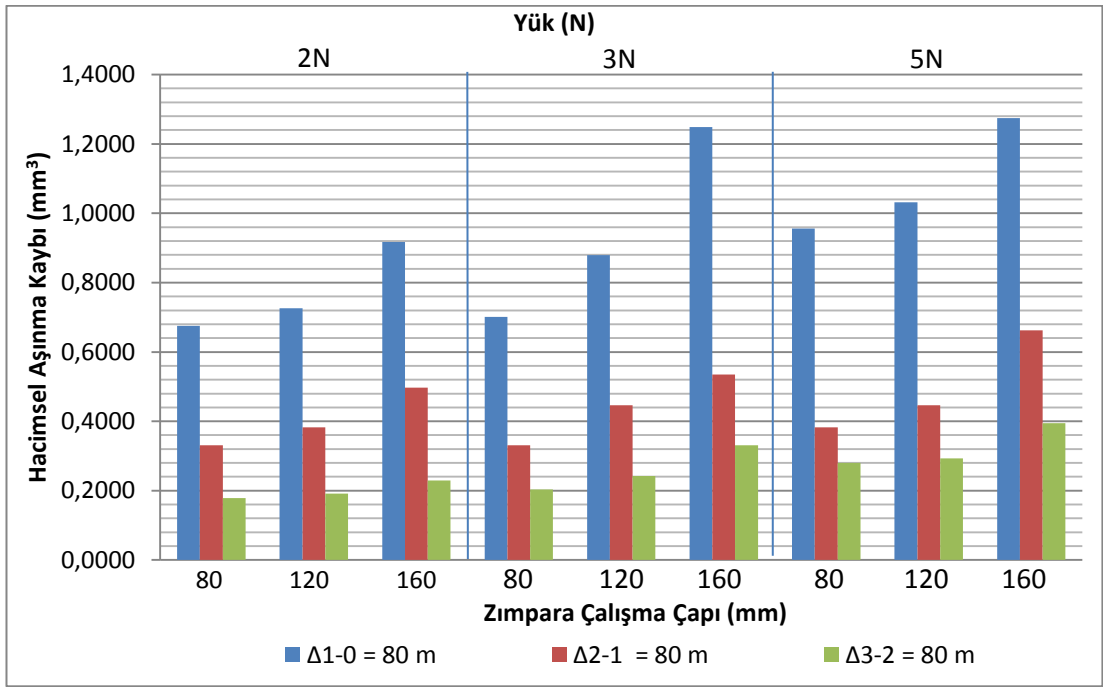
Şekil 4.23. Yumuşatma ısıl işlemlenmiş malzemelerin 180 numara zımparada farklı aşınma yollarında hacim kaybı farkları



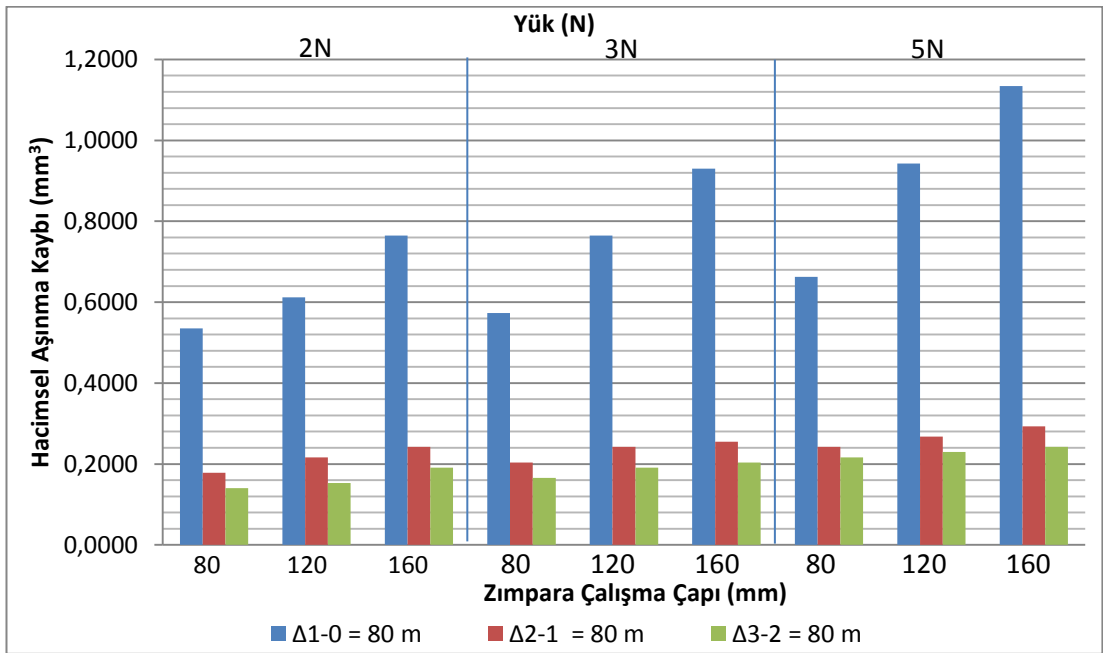
Şekil 4.24. Yumuşatma ısıl işlemlenmiş malzemelerin 360 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları



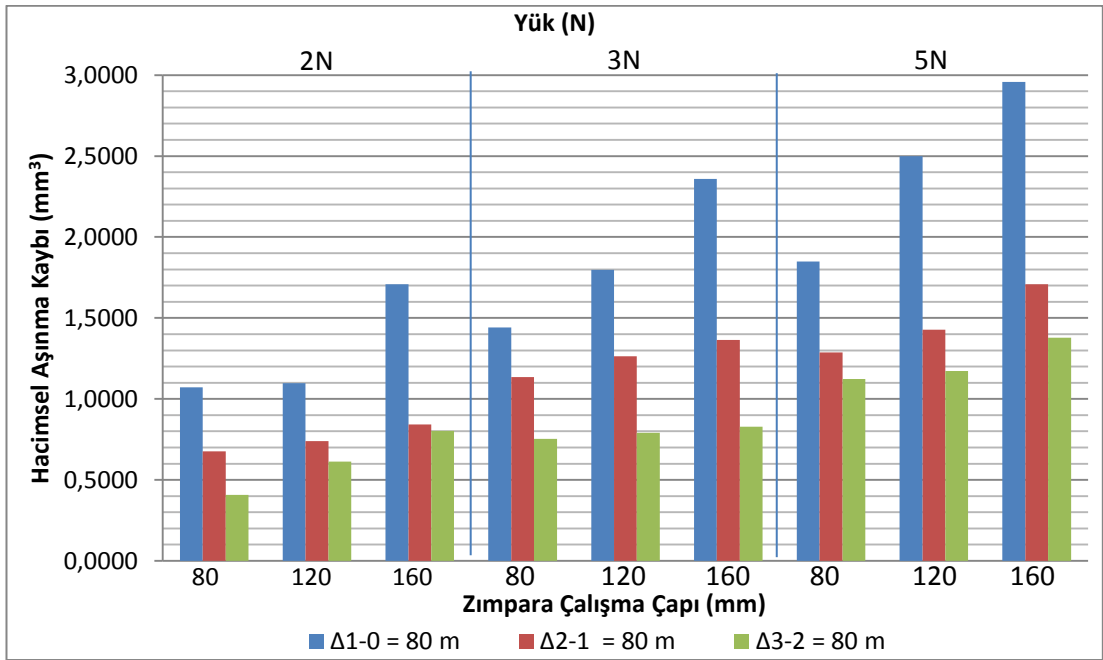
Şekil 4.25. Normalizasyon ısıl işlemlenmiş malzemelerin 120 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları



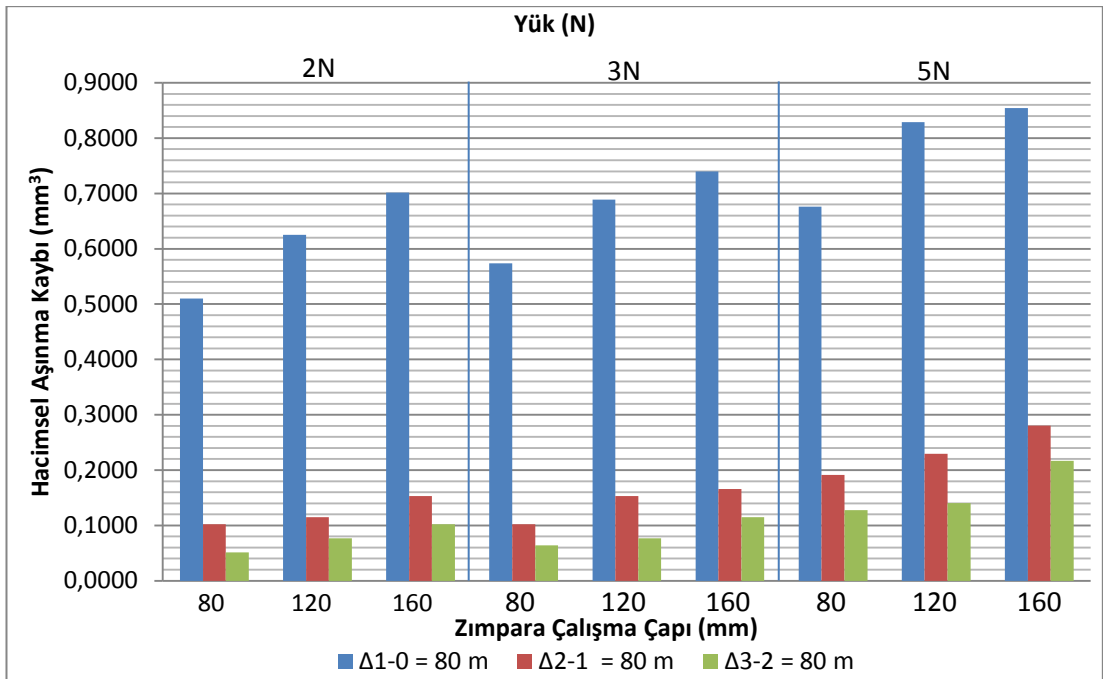
Şekil 4.26. Normalizasyon ısıl işlemlenmiş malzemelerin 180 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları



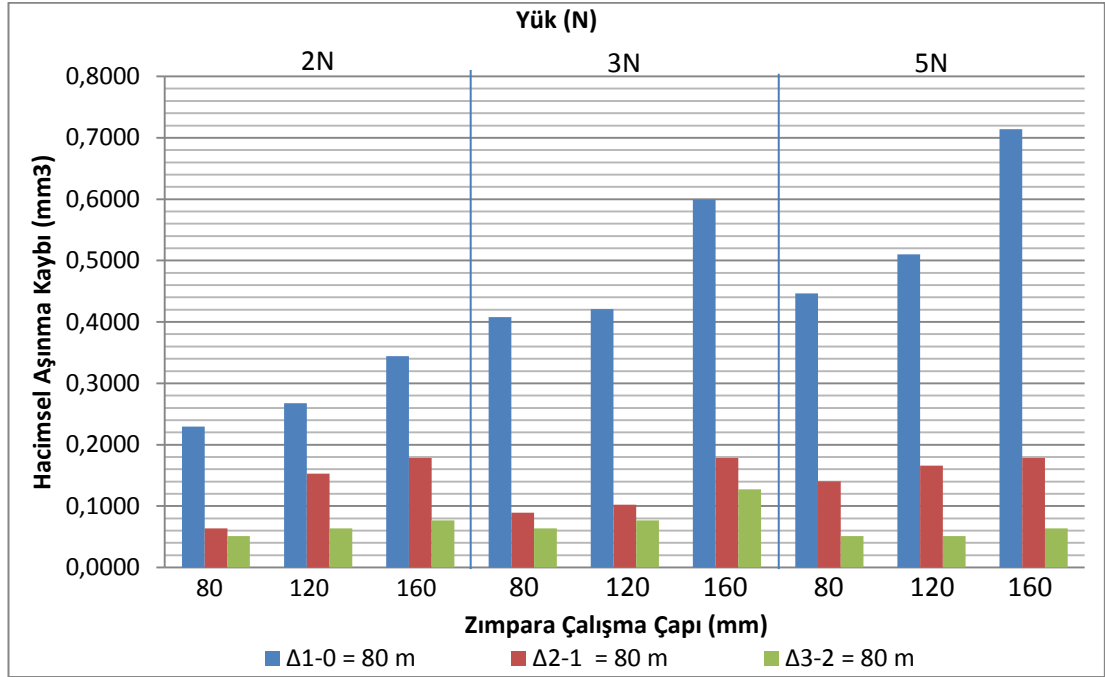
Şekil 4.27. Normalizasyon ısıl işlemlenmiş malzemelerin 360 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları



Şekil 4.28. Sertleştirme ısıl işlemlenmiş malzemelerin 120 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları



Şekil 4.29. Sertleştirme ısıl işlemlenmiş malzemelerin 180 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları



Şekil 4.30. Sertleştirme ısıl işlemlenmiş malzemelerin 360 numara zımpara ile 80, 160 ve 240 metre aşınma yolları arasında hacim kaybı farkları

Aşınma testlerinin gerçekleştirilmesi sırasında 240 metrelik sürtünme yolu boyunca kullanılan parametrelerin tamamı aynı deney grupları için sabit tutulmuştur. Deney cihazı 80 metrelik yola ayarlandığından her 80 metrede bir otomatik olarak durmuş, deney numunesi sökülerek temizlenmiş ve tartılmıştır. Tartım işleminin ardından aşınma çizgileri bir önceki durumu ile aynı olacak şekilde yeniden cihaza bağlanmış ve testler bu şekilde 80'er metrelik yollar için tekrarlanarak ilgili numunenin 240 metre yol üzerinde aşınma deneyleri tamamlanmıştır.

Deney sonuçlarına göre elde edilen değerlere ait grafikler incelendiğinde, testlerin başlangıcında hacim kaybı oranlarının en yüksek düzeyde olduğu, bir sonraki 80 metrelik yol sonunda hacim kaybının ilk teste göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. 160 metrelik yoldan sonra uygulanan 3. 80 metrelik test sonunda yine aşınma miktarının bir önceki değere göre düşüş gösterdiği görülmüştür.

Deneylerin başlarında, kullanılan taze zımpara yüzeyinde tanecikler henüz yıpranmamış ve gözenekleri dolmamış durumdadır. Ancak aşınma ilerledikçe bu gözenekler dolmakta ve taneciklerin keskin köşelerinde körelmeler oluşmaktadır. Bu

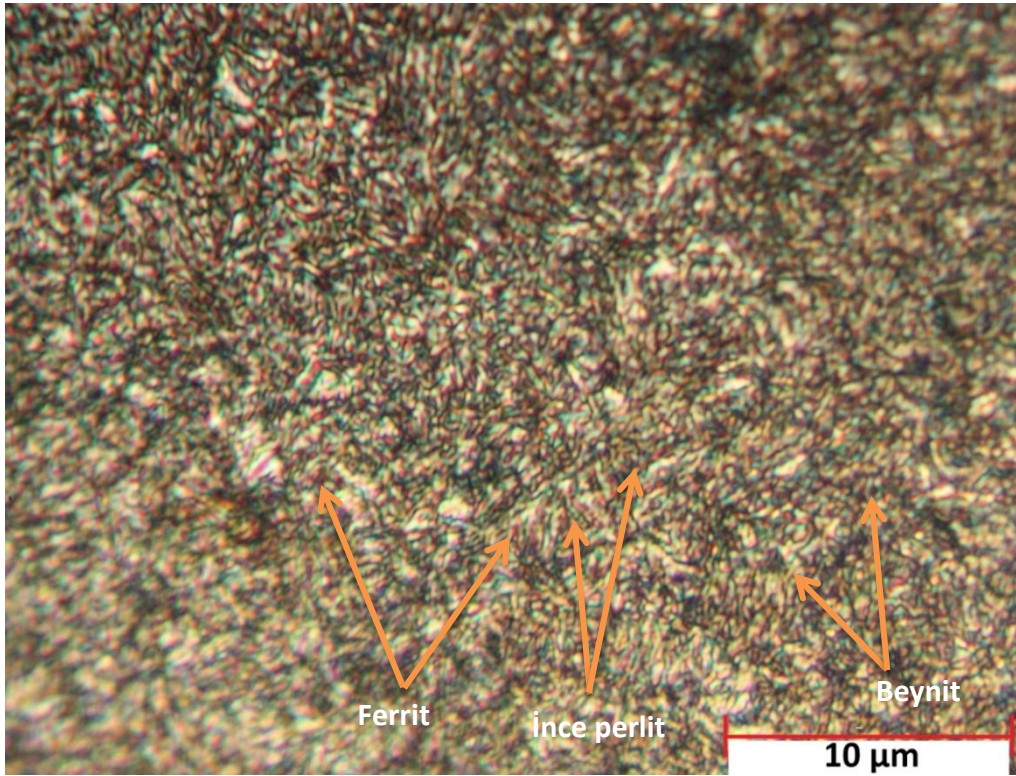
nedenle aşınma yolunun ilerleyen safhalarında aşındırıcı malzemenin fonksiyonunda düşüş meydana gelmektedir. Aynı zamanda aşınan malzeme üzerindeki temas tepeciklerinde de kırılmalar, düzleşmeler başlamakta ve sürtünme şartlarının ortadan kalkmasına sebep olarak malzemelerin birbiri üzerinde kaymasına sebep olmaktadır.

Zımpara numarası büyüdükçe, birim alana düşen aşındırıcıların sayısı artmakta, dolayısıyla tanecik boyutu küçülmektedir. Küçülen taneciklerin yıpranması ve gözeneklerin dolması daha kolay olduğundan 180 ve 360 numaralı zımparalarla gerçekleştirilen deneylerde ikinci ve üçüncü 80 metre sonunda ölçülen aşınma miktarları azalmış ve birbirlerine yakın değerler ölçülmüştür. Bununla beraber sonuçlar çalışma çapına göre değerlendirildiğinde, zımpara çapı büyüdükçe 80,160 ve 240. metrelerdeki 80 metrelik mesafede aşınma miktarlarında da artış görülmekte ancak bu üç değer kendi arasındaki azalan sıralaması değişmemektedir.

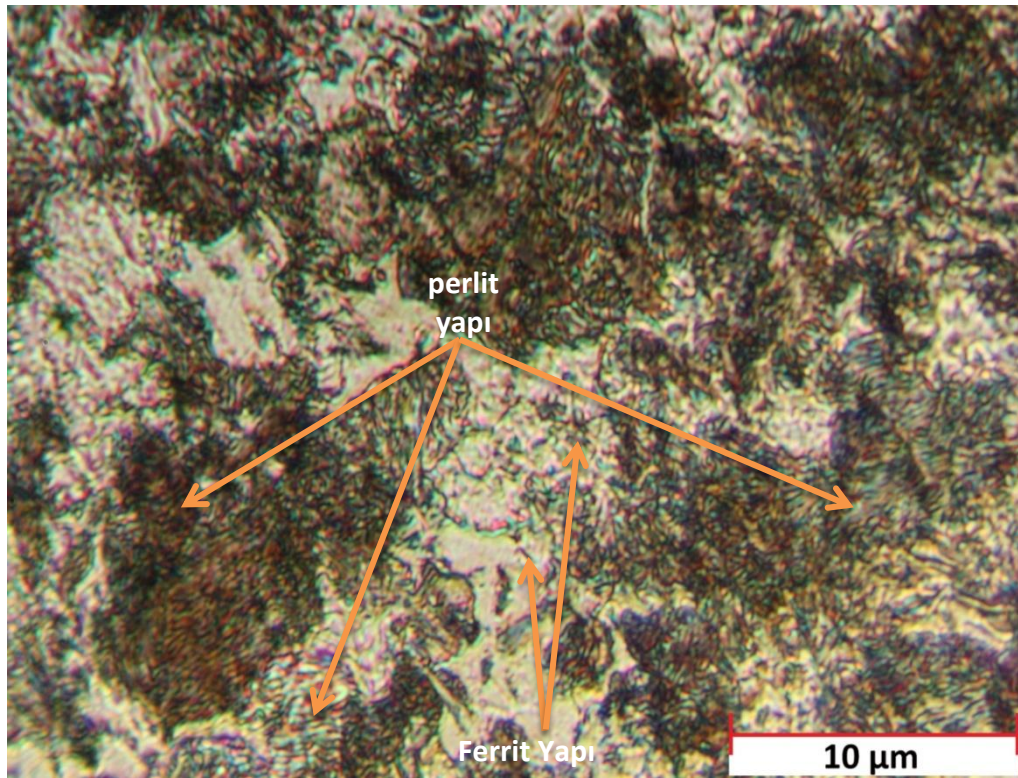
Deneyler sırasında uygulanan yükün artışı ile tüm deney şartlarında 80 metrelik aynı adımlar için aşınma kaybı miktarları bir önceki yük değerine göre artış göstermiştir. Ancak sertleştirilmiş numunelerin 360 numaralı zımpara ile gerçekleştirilen deneylerinde yükün 5 N'a çıkarılması ile üçüncü 80 m sonunda oluşan aşınma kaybı miktarları bir önceki yük değerine göre azalmıştır. Kullanılan zımparalar içerisinde 360 numaralı zımparalar en küçük tane boyutuna sahiptir. Buna karşın sertleştirilmiş numuneler de aşınmaya en dirençli numune grubudur. Uygulanan yükün artışı ile zımpara - numune arasında oluşan yüzey temas basıncı artmıştır, ancak numune sertliği, dolayısıyla da aşınma direnci yüksek olduğundan aşınma yolunun artışı ile artan bu temas basıncı, aşınan malzeme yerine aşındırıcı zımpara taneciklerinin daha hızlı körelmesine sebep olmuştur. Bu nedenle sertleştirilmiş numunelerin 5 N yük ile 360 numara zımpara üzerindeki deneylerinde zımparaların en taze olduğu ilk 80 metrelik yolda aşınma miktarı 2 ve 3 N'a göre artmış ancak malzeme ile birlikte zımpara taneciklerinde de büyük oranda yıpranmalar olduğundan aşınma yolunun sonraki kısımlarında zımparaların aşındırma miktarı azalmıştır. Yine de 240 metrelik toplam yol sonunda oluşan toplam aşınma miktarı incelendiğinde diğer zımpara numaralarında olduğu gibi 360 numaralı zımpara için de en yüksek toplam aşınma kaybı 5 N yük altında görülmüştür.

4.5. Mikro Yapı İncelemeleri

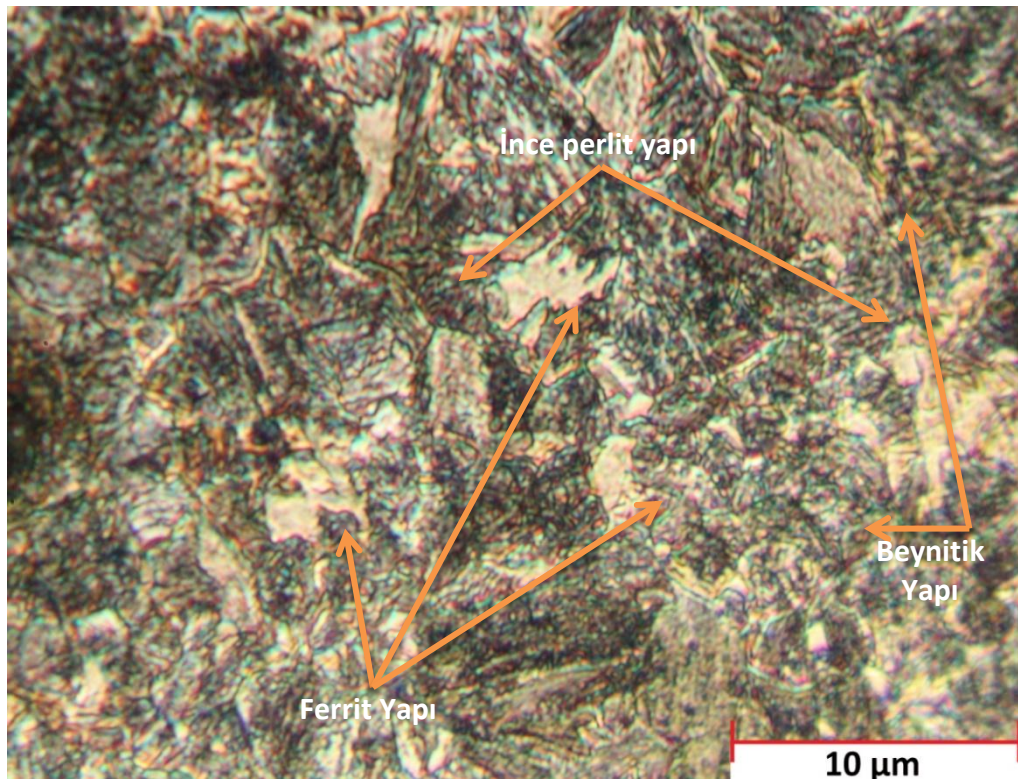
Çalışma kapsamında numunelere 4140 çeliğine uygulanan ısıl işlemlerin, bu çeliğin içyapısında oluşturduğu değişimleri araştırmak amacıyla, numunelere parlatma ve dağlama işlemi uygulanmış ardından Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekanik Laboratuvarında bulunan Meiji ML7100 optik metal mikroskobu kullanılarak içyapı görüntüleri çekilmiştir. Parlatma işlemi, parlatma makinasında önce ince ve kaba zımparalar ardından parlatma keçesi ve pastası kullanılarak uygulanmıştır. Bu işlem sonunda tüm numune yüzeyleri pürüzsüz hale getirilmiştir. Dağlama işlemi Nital5 çözeltisi kullanılarak 8 sn işlem süresinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen görüntüler Resim 4.6'da verilmiştir.



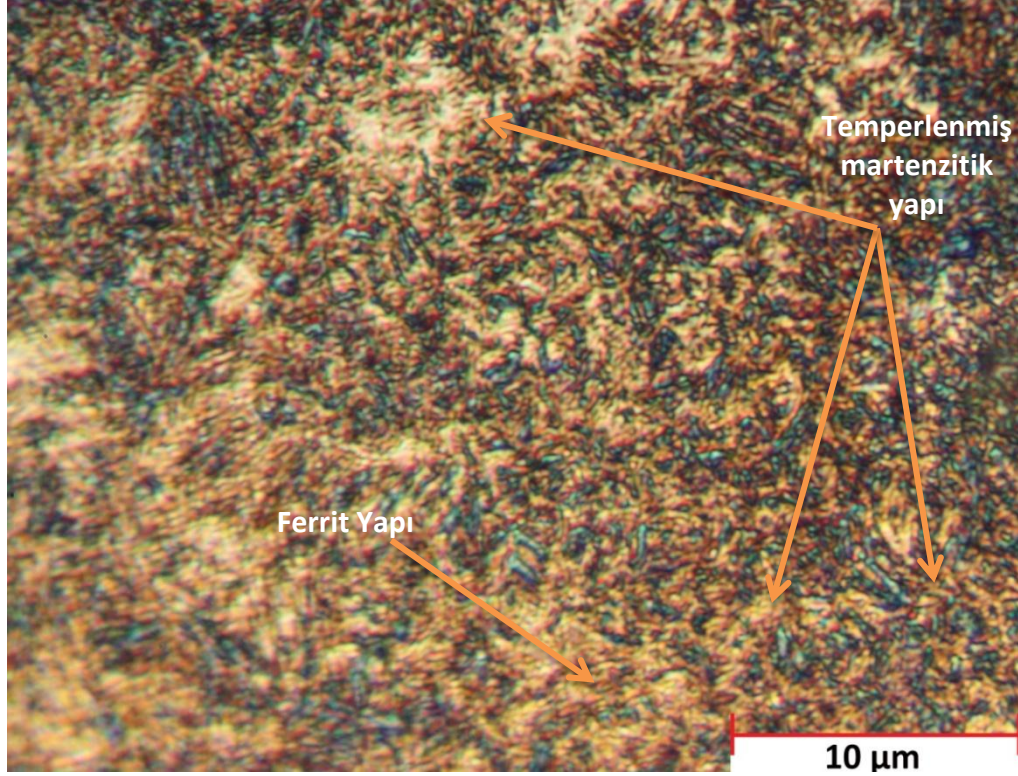
(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 4.6. Numunelerin Nital5 çözeltisi ile dağlama sonrası 400x büyütmede iç yapıları a) Isıl işlemsiz b) Yumuşatılmış c) Normalize Edilmiş d) Sertleştirilmiş

4140 çeliğine yumuşatma tavlaması uygulandıktan sonra oluşan içyapı Şekil 4.6b'de görülmektedir. Burada, ferrit matris yapısı içerisinde perlitik yapılar görülmektedir. Ayrıca ısı işlem görmemiş malzemelere göre tanelerde de kabalaşmalar meydana gelmiştir. Normalizasyon tavlaması sonrasında ise Şekil 4.6c'de görüldüğü gibi yapıda beynit + ince perlit yapılar görülmektedir, ısı işlem görmemiş malzemeye göre bir miktar sertlik artışı görülmüştür. Şekil 4.6d'de verilen görüntüler incelendiğinde ise yağda sertleştirme ve ardından temperleme işlemi uygulanmış numunelerin içyapılarında martenzitik yapılar oluştuğu görülmektedir. Martenzitik yapı oldukça serttir ve malzemeye yüksek sertlik değeri sağlamıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, piyasada sıklıkla kullanılan AISI 4140 çeliğinin abrasiv aşınma davranışının, uygulanan ısı işlemlerle nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu amaçla aynı malzemedan elde edilen numuneler 4 gruba ayrılmıştır. Normalizasyon, yumuşatma ve sertleştirme ısı işlemleri uygulanan numuneler ve ısı işlem görmemiş numunelerden oluşan bu 4 grup için yoğunluk ölçümü, sertlik ve çekme dayanımı testleri ile abrasiv aşınma testleri uygulanmıştır.

Isıl işlem sonrasında numunelerin yoğunluklarında, malzeme içyapısındaki elementlerde meydana gelen yanma ve genleşme nedeniyle meydana gelen küçük boyutsal değişimler vb. nedenlerle çok küçük değerlerde de olsa bir miktar değişim meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu değişim uygulanan tüm ısı işlemler için azalma şeklinde görülmüştür. Isıl işlem görmeden önceki yoğunluk değerine en yakın ölçüm yumuşatılmış malzemelerin yoğunluk testinde ölçülürken, en uzak değere ise yağda sertleştirilmiş malzemelerde ölçülmüştür.

Elde edilen deney numunelerine çekme deneyleri uygulanmış, bu deneyler sonucunda yumuşatma tavlamaının çekme dayanımında düşüş meydana getirirken normalizasyon tavlamaının çekme dayanımında artış meydana getirdiği tespit edilmiştir. Sertleştirilmiş numunelere, yüzey sertliğinin çok yüksek olmasından dolayı çekme deneyi uygulanamamıştır.

Uygulanan yumuşatma tavlamaı sonucunda AISI 4140 çeliğinin sertlik değerinde düşüş, normalizasyon ve sertleştirme tavlamaaları sonucunda artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu artış normalizasyon tavlamaı için 23,2 HV iken, yağda sertleştirme için 362.2 HV olarak ölçülmüştür.

Abrasiv aşınma deneylerinde, çevresel hız ve aşınma yolu sabit tutulurken yük, zımpara numarası, zımpara çapı deney matrisinde belirlendiği şekilde değiştirilerek kullanılmıştır. Çevresel hız 50 m/dk, aşınma yolu toplam 240 m olarak kullanılmıştır.

Uygulanan yük miktarları 2,3 ve 5 N, zımpara numaraları 120, 180 ve 360 olup her zımpara için 80 mm, 120 mm ve 160 mm çaplarda deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sırasında elde edilen sonuçlar, malzeme grubu dışında kullanılan parametrelerin tümü sabit tutularak incelendiğinde, en yüksek abrasiv aşınma dayanımı yağda su verilmiş ve 708,9 HV ile en yüksek sertliğe sahip AISI 4140 çeliğinde tespit edilmiştir. Yağda su verilmiş malzemeleri 369,9 HV sertlikli normalizasyon tavlmalı ve peşinden 346.7 HV sertlikli ısıtılmış AISI 4140 çeliği izlemiştir. Yumuşatma tavlama uygulanan ve 290,7 HV sertliğe sahip malzemelerde ise diğer ısıtılmış işlemlerin tam tersine abrasiv aşınma miktarının artarak, aşınma dayanımının düştüğü tespit edilmiştir. Bu incelemede değişen tek deney parametresi malzeme grubu, dolayısıyla malzeme sertliğidir. Sertliği en yüksek olan malzemede aşınma dayanımı en yüksektir. Bu nedenle, bu çalışma ile abrasiv aşınma dayanımı ile sertlik arasında doğrudan bir bağ bulunduğu bir kez daha kanıtlanmıştır.

Aynı malzemeler için, uygulanan yük dışında tüm parametrelerin sabit tutulduğu deney sonuçlarında 2N yük altında gerçekleştirilen deneylerde hacim kaybının en düşük, 5N yük altında ise en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum uygulanan yük ile hacim kaybı miktarı arasında doğru orantılı bir ilişki bulunduğunu göstermiştir. Bunun nedeni, yükün artması ile yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetinin artmasıdır.

Aşınma deneylerinde en yüksek hacim kaybı, 100 dev/dk.'da 5 N yük altında, 120 numara zımpara üzerinde ve 160 mm zımpara çapında yumuşatma tavlama görmüş ve 290,7 HV sertliğe sahip numunede elde edilmiştir. En düşük hacim kaybı ise 199 dev/dk.'da 2N yük altında, 360 numara zımpara üzerinde ve 80 mm zımpara çapında yağda su verilmiş ve 708,9 HV sertlik değerine sahip numunede elde edilmiştir.

Deneyley sonucunda zımpara numarası küçüldükçe aşındırma miktarının arttığı tespit edilmiştir. Zımpara numarası büyüdüğü birim alana düşen aşındırıcı taneciklerin çapı küçülmekte dolayısıyla tanecik sayısı artmaktadır. Bunun sonucunda temas yüzey alanı artmakta ve temas yüzey basıncı azalmakta ve buna bağılı olarak aşınma miktarı da azalmaktadır.

Gerçekleştirilen abrasiv aşınma deneyleylerinde, kullanılan zımpara çapı arttıkça abrasiv aşınma miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Zımpara çapının artışı, aşınan malzeme ile temasta olan taze zımpara boyunu arttırmaktadır. Taze zımpara boyunun uzamasıyla daha önce kullanılmamış, yeni tanecikler malzeme yüzeyine temas etmekte ve aşınma miktarını arttırmaktadır.

Aşınma esnasında aşınma yolu arttıkça toplam abrasiv aşınma miktarında da artış görülmektedir. Ancak yol mesafesi boyunca meydana gelen anlık aşınma miktarı azalmaktadır. Bunun nedeni, aşınma yolu boyunca ilerledikçe zımparaların aşınma yeteneklerini kaybederek ilerlemesidir. Buna karşın bu yol tamamlanana kadar aşınma azalarak da olsa devam ettiğinden toplam aşınma miktarı artmaktadır.

Bu çalışmada, uygulanan ısıl işlemler ile AISI 4140 çeliğinin aşınma davranışının iyileştirilebileceği görülmüştür. Bununla birlikte aşınma davranışını arttırmada malzeme sertliğini arttırmanın iyi bir yöntem olduğu görülmüştür. Aşınma dayanımının mümkün olan en yüksek değerine ulaştırmak için malzemelerin sertleştirme ısıl işlemine tabi tutulması uygun bir işlemdir.

Çalışma kapsamında, tüm deneyleylerde SiC tanecikli zımparalar kullanılmıştır. Aynı deneyleyler Al_2O_3 tanecikli zımparalar kullanılarak gerçekleştirilerek AISI 4140 çeliğinin farklı malzemeler ile temas durumunda aşınma davranışı incelenebilir.

Sertleştirilen malzeme grubunda, malzemelerin tamamına yağda su verilerek sertleştirme yapılmıştır. Ancak makine parçaları için tüm gövdenin sertleştirilmesi her zaman pratik bir uygulama değildir. Gerek imalat bakımından, gerek çalışma şartları açısından malzemelerin yüksek sertlikte olması bazı problemlere yol

açabilmektedir. Bu nedenle yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış numuneler kullanılarak yeni bir deney grubu oluşturulabilir ve bu gruptaki numunelerin aşınma değerleri, tamamına su verilmiş malzemeler ile karşılaştırılabilir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak sertliğin aşınma direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Aşınmanın kaçınılmaz olduğu durumlarda, maliyeti düşük ya da montaj-demontajı kolay olan parçaların sertlik değerleri ayarlanarak karşı malzemedен daha çabuk aşınması, böylelikle işletme maliyetlerinin düşürülmesi sağlanabilir.

Abrasiv aşınma deneyinde kullanılan zımparalar, sistemde meydana gelen titreşimler gibi parametrelerden aşınma miktarları etkilenmiştir. Bu parametrelerin optimize edilmesi gerekir.

KAYNAKLAR

- Acılar, M., Gül, F., 2007. Basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al-SiCp kompozitlerde partikül boyutunun abrasiv aşınma davranışına etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(2), 323-327.
- Adalı, Y., Kurnaz, C., 2003. 5140 Çeliginin küreselleştirme ısıl işlemi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(1), 251-258.
- Agrawal, B.K., 2008. Introduction to Engineering Materials. Tata McGraw-Hill, Yeni Delhi, 353 p.
- Akay, A., 2004. X40CrMoV5 1 Sıcak İş Takım Çeliği ile Ç1030 Çeliğinin Yakma Alın Kaynağı ile Kaynatılması ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akkurt, M., 1992. Makine Elemanları Cilt 2. İTÜ Matbaası, İstanbul, 580 s.
- Anonim, 2000. Çeliklerde ısıl işlem ile sertleştirme, <http://www.atacelik.com/sertlestirme.html> (24.08.2014).
- Anonim, 2006a. Makine Teknolojisi Isıl İşlem Modülü. MEGEP, Ankara, 40 s.
- Anonim, 2006b. Makine Teknolojisi Üretim Yapma Modülü. MEGEP, Ankara, 68 s.
- Anonim, 2008. Çeliklerde tavlama yöntemleri, http://halilbayol.com/download/03celik_tavlama.pdf (20.07.2014).
- Anonim, 2010a. 4140 çeliği özellikleri sayfası, http://www.4140steelplate.com/4140PH/4140_HT_DCF.html (30.10.2014).
- Anonim, 2010b. Sertlik çevrim tablosu, http://www.oerlikon.com.tr/sertlik_cevrim_tablosu.html (30.10.2014).
- Anonim, 2011. Çelikler ve çeliklerin ısıl işlemleri, <http://www.endertav.com.tr/doc/CELIKLER-VE-CELIKLERIN-ISIL-ISLEMI.docx> (25.08.2014).
- Anonim, 2013. Demir - karbon denge diyagramı, <http://metaliz.com.tr/demir.html> (07.07.2014).
- Anonim, 2014a. Çelikler ve çeliklerin ısıl işlemleri, <http://www.akalinisilislem.com.tr/urun9.html> (24.09.2014).
- Anonim, 2014b. The unit cell, http://chemwiki.ucdavis.edu/Wikitexts/UC_Davis/UCD_Chem_124A%3A_Kauzlarich/ChemWiki_Module_Topics/The_Unit_Cell (26.11.2014).

- Arabacı, U., 2009. Supap Yüzeylerinin TIG Kaynak Yöntemi ile Kaplanması ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ay, H., 2014. Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen AA7075 Alüminyum Alaşımına Ti ve B₄C İlavesinin Aşınma Davranışı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- B'ejar, M.A., Moreno, E., 2006. Abrasive wear resistance of boronized carbon and low-alloy steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 173 (2006), 352–358.
- Balya, F.N., 2013. Kepçe Dişleri İçin Kıyas Yolu ile Malzeme Geliştirme ve Bu Malzemenin Isıl İşlem Yolu ile Performansının Arttırılması. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Budinski, K.G., Budinski, M.K., 2010. *Engineering Materials Properties and Selection*. Pearson Publications, New Jersey, 417 p.
- Buytoz, S., Yılmaz, O., 2003. GTA yöntemi kullanılarak FeCrC ve WC kaplanmış sade karbonlu SAE 1020 malzemesinin aşınma davranışının araştırılması. *Mühendis ve Makina*, 44(519), 36-40.
- Callister, W.D., 2005. *Fundamentals of Materials Science and Engineering An Integrated Approach*. John Wiley & Sons Inc., Hoboken - NJ, 712 p.
- Cross, H.C., Hill, E.E., 1927. Density of hot-rolled and heat-treated carbon steels, http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ScientificPapers/nbsscientificpaper_562vol22_p451_A2b.pdf (31.10.2014).
- Çakmak, İ., Yalçın, Y., 2005. Ray çeliğinin kuru yuvarlanma-kayma aşınma davranışının incelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2005(1), 17-23.
- Çelik, O.N., Akbayır, Ö., Gaşan, H., Er, Ü., Aydınbeyli, N., 2008. Borlanmış AISI 1030 çeliğinin abrasif aşınma özellikleri. *Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 71-85.
- Çetin, M., Gül, F., 2009. Küresel grafitli dökme demirin abrasif aşınma davranışına aşındırıcı parçacık boyutu ve östemperleme süresinin etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs, Karabük, 916-920.
- Çetinarslan, C.S., 1997. Sertleştirilmiş Soğuk İş Takım Çeliklerinin Yorulma Dayanımlarının Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Dağaşan, E., 2007. Çift Fazlı Çeliklerin Erozif Aşınma Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Danilevsky, V., 1987. İmalat Mühendisliği. Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 603 s.
- Dasgupta R., Thakur R., Yadav M.S., Jha A. K., 1999. High stress abrasive wear behaviour of a hardfacing alloy: Effect of some experimental factors. *Wear*, 236(1-2), 368-374.
- Demir, B., 2004. Ç4140 çeliğinden çift-fazlı çelik üretilebilirliğinin incelenmesi. *Teknoloji Dergisi*, 7(1), 121-127.
- Demirci, A.H., 2004. Mühendislik Malzemeleri. Aktüel Yayınları, İstanbul, 252 s.
- Demirel, Ç., Çetin, M., 2011. Borlanmış AISI 8640 çeliğinin abrasif aşınma davranışı. 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 16-18 Mayıs, Elazığ, 244-248.
- Dikmen, S., 2010. AISI 4140 AISI 1050 ve AISI 8620 Çelikleri İçin Soğutma Ortamının Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Doğan, Ü.A., 2012. Malzeme bilimi sunumları, http://akademi.itu.edu.tr/doganunal/DosyaGetir/76105/ch03_Modified_kistalYapi%20%5BCompatibility%20Mo de%5D.pdf (02.06.2014).
- Eker, A.A., 2008, Çeliğin ısıtma işlemleri, http://yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme1/Celigin_isitma_islemleri.pdf (15.06.2014).
- Ekinci, Ş., Akdemir, A., 2011. Nitrürlenmiş AISI 4140 çeliğine uygulanan yükün aşınma hızına etkisi. *Selçuk Teknik Online Dergi*, 10(1), 38-52.
- Eş, M., 2004. Dişli Çark Malzemelerinin Aşınma Karakteristiklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gök, M.S., 2008. Düşük ve Orta Karbonlu Çeliklerin Yüzeyine TIG Kaynak Metoduyla Kaplanan Ostenitik Paslanmaz Çelik Tozunun Aşınma Direncine Karbür İçeriğinin Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Güldaş, A., 1998. Aşınma Deney Aparatının Tasarımı, Üretimi ve Metal Matriksli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hasırcı, H., 2010. AISI D6 çeliğinin adhesif aşınma davranışına ısıtma şartları ve kayma hızlarının etkileri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 587-592.

- Höke, G., Şahin, İ., Çinici, H., Fındık, T., 2014. Kriyojenik işlemin SAE 4140 çeliğın mekanik özellikleri üzerine etkisi. Selçuk Teknik-Online Dergi, 13(2), 25-37.
- Islak, S., 2005. 45Mn5 Islah Çeliğinin Isıl İşlem ve Ergitme Yöntemleri ile Yüzey Modifikasyonu İşlemleri Sonrası Mekaniksel Davranışların İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kalkan, E., 2014. Borlanmış Yüksek Krom ve Nikelli Dökme Çeliğın Korozif Aşınma Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Karaoğlu, S., Karadeniz, S., Karaoğlu, Ç., 2001. Plazma nitrürlenmiş az alaşımlı bir çeliğın aşınma davranışının incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 3(39), 85-92.
- Kayabaşı, M., 2011. SAE 8620 Sementasyon Çeliklerinde Sertlik Derinliğinin Abrasif Aşınma Davranışına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Kesti, E., 2009. Ç - 4140 Çeliğinin, Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kılıç, C., 2008. Sıkıştırma Döküm Yöntemi ile Üretilmiş ve Soğuk Haddelenmiş AlMg₃/SiCp Kompozitinin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Kılıç, F.E., 2007. Alüminyum Alaşımlı SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kuş, H., 2007. Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Küçükyıldırım, B. O., 2007. Işık metal mikroskobu ile mikro yapı incelemeleri, <http://www.kocaelimakine.com/dokuman/mikroyapi-incelemeleri-bedri-onur-kucukyildirim.pdf> (21.07.2014).
- Mindivan, H., Esener, E., 2014. Metalik malzemelerin çekme deneyi, http://mim.bilecik.edu.tr/Dosya/Arsiv/deney_foyleri/%C3%87ekme%20deney%20f%C3%B6y%C3%BC.pdf (05.11.2014).
- Öncel, E., 2011. Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin AISI 4140 Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Özay, Ç., Hasçalık, A., 2004. T/M yöntemi ile üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ kompozitinin abrasiv aşınma dayanımı. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6, 175-184.
- Özdin, K., Mutlu, İ., Öner, C., Yıldız, E., 2006. SiC partikülleriyle takviyelendirilmiş Al-2011 matrisli kompozitin zımpara ile sulu kayma aşınmasının incelenmesi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi, 4(2), 118-121.
- Saklakoğlu, N., 2011. Isıl işlemin esasları, <http://www2.bayar.edu.tr/muhendislik/makine/nursen.saklakoglu/muh.malz.2011-2012websitesi/bolum3.pdf> (23.09.2014).
- Savaşkan, T., 2007. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Celepler Matbaacılık, Trabzon, 365 s.
- Selçuk, B., 1994. Borlanmış AISI 1020 ve 5115 Çeliklerinin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Soydaş, S., 2006. Ünlversal Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Subaşı, M., Karataş, Ç., 2010. AISI 4140 çeliğinde sertlik, yorulma dayanımı ilişkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1), 21-27.
- Sevete, M., 2006. File: hexagonal close packed.png, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hexagonal_close_packed.png (26. 11.2014)
- Şahin, A., 2012. Çelikler ve ısıl işlem, [http://malzemebiliminetersiv.googlecode.com/files/Çelikler ve Isıl İşlemler.pdf](http://malzemebiliminetersiv.googlecode.com/files/Çelikler%20ve%20Isıl%20İşlemler.pdf) (02.06.2014).
- Şahin, S., 1997. Malzeme Bilgisi. Şafak Matbaası, Ankara, 230 s.
- Şen, Y., 2006. Talaşlı İmalat Esnasında Parçalara Yüklenen Artık Gerilmelerin Isıl İşlem Sonrası Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Tabur, M., 2003. Farklı Isıl İşlemlerdeki 8620 Semenyasyon Çeliğinin Abrasiv Aşınma Davranışları. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tekeli, S., 1991. Yay Çeliklerinin Isıl İşlemi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Turgut, O.K., 2013. Ç 1040 Çeliklerinde Isıl İşlem ve Kaynağın Mekanik Özelliklerine Olan Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

- Uzun, H., Fındık, F., Salman, S., 2003. Malzeme Biliminin Temelleri. Değişim Yayınları, İstanbul, 247 s.
- Üçkardeşler, A., 2013. Çelik Dökümlerde Borlama Isıl İşleminin Abrasif Aşınma Direnci Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ün, H., 2007. Sertlik, http://hun.pamukkale.edu.tr/ders_notlari/malzeme_bilgisi/Malzeme_ders5_sertlik.pdf (30.10.2014).
- Yaman, O., 2007. Assessment of the Nitriding Process Parameters to Improve the Wear Resistance of Selected Steels. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yamanoğlu, O., Gül, F., 2012. Aşınmaya dirençli krom-vanadyum alaşımlı soğuk iş takım çeliklerinin abrasif aşınma davranışı. Uluslararası Demir ve Çelik Sempozyumu, 2-4 Nisan, Karabük, 611-615.
- Yıldız, T., Gür, A.K., 2006. Aşınma sistemleri. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi, 4(2), 86-91.
- Yıldızlı, K., 2002. Borlamanın Çeliklerde Erozif Aşınma Davranışına Olan Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Yılmaz, R., Gedikli, M., Barlas, Z., 2005. Hardox 400 çeliğinin sert dolgu kaynağında pas sayısının sertliğe, aşınmaya ve mikroyapıya etkisi. Teknoloji Dergisi, 8(1), 57-64.
- Yılmaz, O., 2006. Gözenekli Malzemelerin Soğuma Eğrilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, İ.Ö., 2012. Otomotiv Sac Şekillendirme Kalıplarında Kullanılan Malzemelerin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Yılmaz, R., Türkmen, M., Fıçıcı, F., 2012. Hardox 500 çeliğinin abrasif aşınma davranışının incelenmesi. Uluslararası Demir ve Çelik Sempozyumu, 2-4 Nisan, Karabük, 522-530.
- Yüksekkaya, U., 1996. Çeliklerin Kaynağında Kaynak Kabiliyeti – Isıl İşlem İlişkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, Z., Zhang, L., Mai, Y.W., 1997. Modeling steady wear of steel /Al2O3-Al particle reinforced composite system. Wear, 211(2), 147-150.

EKLER

EK-1 Altan Çelik Döküm Spektrel Analiz Raporu

Analiz tarihi kaydedildi 26.09.2014 12:17:27

Matris: Fe Program: FE1
 Parça No: N Alaşım: N Firma: N
 Sarj No: N

Ortalama buradan hesaplandı: 1,2

| I-FeH | I-Fe2 | C | Si | Mn | P | S | Mg | Cr | Ni | Mo | Cu |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 11673 | 29582 | 0,417 | 0,133 | 0,802 | 0,011 | 0,008 | <0,001 | 1,165 | 0,037 | 0,230 | 0,010 |
| Al | Ti | V | W | Co | Sn | Ce | N | | | | |
| 0,046 | 0,001 | 0,007 | 0,006 | 0,004 | <0,001 | 0,002 | 0,0105 | | | | |

Analiz tarihi kaydedildi 26.09.2014 12:19:38

Matris: Fe Program: FE1
 Parça No: N Alaşım: N Firma: N
 Sarj No: N

Ortalama buradan hesaplandı: 2

| I-FeH | I-Fe2 | C | Si | Mn | P | S | Mg | Cr | Ni | Mo | Cu |
|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 122038 | 28114 | 0,367 | 0,378 | 0,774 | 0,010 | 0,024 | <0,001 | 1,173 | 0,044 | 0,214 | 0,014 |
| Al | Ti | V | W | Co | Sn | Ce | N | | | | |
| 0,071 | 0,001 | 0,006 | <0,003 | 0,003 | <0,001 | 0,001 | 0,0121 | | | | |

ESSE ISIL İŞLEM
ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ 8. CAD. NO:16
ÇORUM TEL:0364 254 00 03

ISIL İŞLEM PROSES RAPORU
4140 MALZEMENİN YAĞDA SERTLEŞTİRME ISIL İŞLEM PROSESİ

09.07.2014

S I C A K L I K (C)

H2

H3

H1

T1

ÖN TAVLAMA

T2

TAVLAMA

T3

TEMPERLEME

T4

TEMPERLEME

ZAMAN (DAKİKA)

| NO | PARÇA ADI | SICAKLIK (C.) | ZAMAN (DAKİKA) | SICAKLIK (C.) | ZAMAN (DAKİKA) | YAĞDA SOĞUTMA | SICAKLIK (C.) | ZAMAN (DAKİKA) | SERTLİK | ADET |
|----|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------|------|
| 1 | ÇEKME NUMUNESİ | 500 | 30 | H2 | 10 | T3 | H3 | 30 | 55-57 | 4 |
| 2 | İNCE NUMUNE | 500 | 30 | H2 | 10 | T3 | H3 | 30 | 55-57 | 10 |
| 3 | KALIN NUMUNE | 500 | 30 | H2 | 10 | T3 | H3 | 30 | 55-57 | 3 |

HAZIRLAYAN: ONAY: MET. MÜH. ABDULLAH AKTAŞ MAK. MÜH. İSMAIL UNCULU

EK-2 Isıl İşlem Proses Raporları (Devam)

ESSE ISIL İŞLEM
ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ 8. CAD. NO:16
ÇORUM TEL:0364 254 00 03

ISIL İŞLEM PROSES RAPORU
4140 MALZEMENİN NORMALIZASYON ISIL İŞLEM PROSESİ

09.07.2014

S I C A K L I K (C)

H2 H3 H1

T2

TAVLAMA

HAVADA SOĞUTMA

ZAMAN (DAKİKA)

| NO | PARÇA ADI | SICAKLIK (C) | ZAMAN (DAKİKA) | SICAKLIK (C) | ZAMAN (DAKİKA) | YAĞDA SOĞUTMA | SICAKLIK (C) | ZAMAN (DAKİKA) | SERTLİK | ADET |
|----|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------|--------------|----------------|---------|------|
| | | H1 | T1 | H2 | T2 | T3 | H3 | T4 | | |
| 1 | ÇEKME NUMUNESİ | | | 880-890 | 10 | | | | | 4 |
| 2 | İNCE NUMUNE | | | 880-890 | 10 | | | | | 10 |
| 3 | KALIN NUMUNE | | | 880-890 | 10 | | | | | 3 |

HAZIRLAYAN MET. MÜH. ABDULLAH AKTAŞ

ONAY MAK. MÜH. İSMAIL UNCULU

EK-2 Isıl İşlem Proses Raporları (Devam)

ISIL İŞLEM PROSES RAPORU

4140 MALZEMENİN YUMUŞATMA ISIL İŞLEM PROSESİ

09.07.2014

ESSE ISIL İŞLEM
ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ 8. CAD. NO:16
ÇORUM TEL:0364 254 00 03

S I C A K L I K (C)

H2 H3 H1

T2 T3

TAVLAMA

FIRINDA SOĞUTMA

H3

HAVADA SOĞUTMA

ZAMAN (DAKİKA)

| NO | PARÇA ADI | SICAKLIK (C.) | ZAMAN (DAKİKA) | SICAKLIK (C.) | ZAMAN (DAKİKA) | SICAKLIK (C.) | ZAMAN (DAKİKA) | SERTLİK | ADET |
|----|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------|------|
| 1 | ÇEKME NUMUNESİ | | | H2 | T2 | H3 | T4 | | 4 |
| 2 | İNCE NUMUNE | | | 680-720 | 10 | 400 | | | 10 |
| 3 | KALIN NUMUNE | | | 680-720 | 10 | 400 | | | 3 |

HAZIRLAYAN
MET. MÜH. ABDULLAH AKTAŞ

ONAY
MAK. MÜH. İSMAIL UNCULU

EK-3 Abrasif Aşınma Deney Sonuçları (Devam)

| | Malzeme Grubu | Zımpara no | | | | Yük (N) | | | | Çap (cm) | | | | Tartımlar (gr) | | | | Fark-1 (gr) | Fark-2 (gr) | Fark-3 | Toplam Aşınma | | |
|----|---------------|------------|---|---|---|---------|---|----|----|-------------------|-------------|-------------|-------------|----------------|--------|--------|--------|-------------|-------------|--------|---------------|-------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 12 | 16 | Başlangıç Kütleli | 1.80 m Test | 2.80 m Test | 3.80 m Test | Δ1-0 | Δ2-1 | Δ3-2 | 80 m | | | | 160 m | 240 m | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 120 |
| 28 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,4587 | 4,4434 | 4,4331 | 4,4239 | 0,0153 | 0,0103 | 0,0092 | 0,0153 | 0,0256 | 0,0348 | | | | |
| 29 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,4239 | 4,4063 | 4,3950 | 4,3854 | 0,0176 | 0,0113 | 0,0096 | 0,0176 | 0,0289 | 0,0385 | | | | |
| 30 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,3854 | 4,3631 | 4,3480 | 4,3374 | 0,0223 | 0,0151 | 0,0106 | 0,0223 | 0,0374 | 0,0480 | | | | |
| 31 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7255 | 4,7013 | 4,6905 | 4,6811 | 0,0242 | 0,0108 | 0,0094 | 0,0242 | 0,0350 | 0,0444 | | | | |
| 32 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7806 | 4,7496 | 4,7356 | 4,7255 | 0,0310 | 0,0140 | 0,0101 | 0,0310 | 0,0450 | 0,0551 | | | | |
| 33 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,8414 | 4,8082 | 4,7922 | 4,7809 | 0,0332 | 0,0160 | 0,0113 | 0,0332 | 0,0492 | 0,0605 | | | | |
| 34 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,6778 | 4,6501 | 4,6329 | 4,6169 | 0,0277 | 0,0172 | 0,0160 | 0,0277 | 0,0449 | 0,0609 | | | | |
| 35 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,6169 | 4,5877 | 4,5696 | 4,5530 | 0,0292 | 0,0181 | 0,0166 | 0,0292 | 0,0473 | 0,0639 | | | | |
| 36 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,5530 | 4,5188 | 4,4956 | 4,4764 | 0,0342 | 0,0232 | 0,0192 | 0,0342 | 0,0574 | 0,0766 | | | | |
| 37 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7358 | 4,7270 | 4,7245 | 4,7227 | 0,0088 | 0,0025 | 0,0018 | 0,0088 | 0,0113 | 0,0131 | | | | |
| 38 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7510 | 4,7404 | 4,7377 | 4,7358 | 0,0106 | 0,0027 | 0,0019 | 0,0106 | 0,0133 | 0,0152 | | | | |
| 39 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7710 | 4,7567 | 4,7535 | 4,7510 | 0,0143 | 0,0032 | 0,0025 | 0,0143 | 0,0175 | 0,0200 | | | | |
| 40 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7231 | 4,7140 | 4,7108 | 4,7080 | 0,0091 | 0,0032 | 0,0028 | 0,0091 | 0,0123 | 0,0151 | | | | |
| 41 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7070 | 4,6947 | 4,6910 | 4,6876 | 0,0123 | 0,0037 | 0,0034 | 0,0123 | 0,0160 | 0,0194 | | | | |
| 42 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,6876 | 4,6742 | 4,6700 | 4,6665 | 0,0134 | 0,0042 | 0,0035 | 0,0134 | 0,0176 | 0,0211 | | | | |
| 43 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,6155 | 4,6051 | 4,6013 | 4,5986 | 0,0104 | 0,0038 | 0,0027 | 0,0104 | 0,0142 | 0,0169 | | | | |
| 44 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,6405 | 4,6237 | 4,6193 | 4,6155 | 0,0168 | 0,0044 | 0,0038 | 0,0168 | 0,0212 | 0,0250 | | | | |
| 45 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,6684 | 4,6481 | 4,6435 | 4,6395 | 0,0203 | 0,0046 | 0,0040 | 0,0203 | 0,0249 | 0,0289 | | | | |
| 46 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,5820 | 4,5756 | 4,5744 | 4,5734 | 0,0064 | 0,0012 | 0,0010 | 0,0064 | 0,0076 | 0,0086 | | | | |
| 47 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,5907 | 4,5836 | 4,5815 | 4,5802 | 0,0071 | 0,0021 | 0,0013 | 0,0071 | 0,0092 | 0,0105 | | | | |
| 48 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,5999 | 4,5920 | 4,5898 | 4,5884 | 0,0079 | 0,0022 | 0,0014 | 0,0079 | 0,0101 | 0,0115 | | | | |
| 49 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,5716 | 4,5643 | 4,5626 | 4,5616 | 0,0073 | 0,0017 | 0,0010 | 0,0073 | 0,0090 | 0,0100 | | | | |
| 50 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,5616 | 4,5531 | 4,5504 | 4,5488 | 0,0085 | 0,0027 | 0,0016 | 0,0085 | 0,0112 | 0,0128 | | | | |
| 51 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,5488 | 4,5392 | 4,5362 | 4,5343 | 0,0096 | 0,0030 | 0,0019 | 0,0096 | 0,0126 | 0,0145 | | | | |
| 52 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,5004 | 4,4928 | 4,4910 | 4,4898 | 0,0076 | 0,0018 | 0,0012 | 0,0076 | 0,0094 | 0,0106 | | | | |
| 53 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,5144 | 4,5053 | 4,5022 | 4,5004 | 0,0091 | 0,0031 | 0,0018 | 0,0091 | 0,0122 | 0,0140 | | | | |
| 54 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,5319 | 4,5218 | 4,5184 | 4,5155 | 0,0101 | 0,0034 | 0,0029 | 0,0101 | 0,0135 | 0,0164 | | | | |

AISİ 4140 YUMUŞATMA TAVLAMASI UYGULANMIŞ

EK-3 Abrasif Aşınma Deney Sonuçları (Devam)

| | Malzeme Grubu | Zımpara no | | | Yük (N) | | | Çap (cm) | | | Tartımlar (gr) | | | | Fark-1 (gr) Δ1-0 | Fark-2 (gr) Δ2-1 | Fark-3 Δ3-2 | Toplam Aşınma | | |
|----|---------------|------------|---|---|---------|---|---|----------|--------|----------------------|----------------|----------------|----------------|--------|---------------------|---------------------|----------------|---------------|-------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 12 | 16 | Başlangıç Kütlesi | 1.80 m Test | 2.80 m Test | 3.80 m Test | 80 m | | | | 160 m | 240 m | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 120 |
| 55 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,8977 | 4,8855 | 4,8798 | 4,8756 | 0,0122 | 0,0057 | 0,0042 | 0,0122 | 0,0179 | 0,0221 | | |
| 56 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,8756 | 4,8616 | 4,8550 | 4,8501 | 0,0140 | 0,0066 | 0,0049 | 0,0140 | 0,0206 | 0,0255 | | |
| 57 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,8501 | 4,8311 | 4,8211 | 4,8144 | 0,0190 | 0,0100 | 0,0067 | 0,0190 | 0,0290 | 0,0357 | | |
| 58 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9041 | 4,8892 | 4,8811 | 4,8755 | 0,0149 | 0,0081 | 0,0056 | 0,0149 | 0,0230 | 0,0286 | | |
| 59 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9376 | 4,9207 | 4,9111 | 4,9041 | 0,0169 | 0,0096 | 0,0070 | 0,0169 | 0,0265 | 0,0335 | | |
| 60 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9762 | 4,9556 | 4,9452 | 4,9376 | 0,0206 | 0,0104 | 0,0076 | 0,0206 | 0,0310 | 0,0386 | | |
| 61 | X | X | X | X | X | X | X | X | 5,0786 | 5,0614 | 5,0509 | 5,0410 | 0,0172 | 0,0105 | 0,0099 | 0,0172 | 0,0277 | 0,0376 | | |
| 62 | X | X | X | X | X | X | X | X | 5,1252 | 5,1036 | 5,0908 | 5,0786 | 0,0216 | 0,0128 | 0,0122 | 0,0216 | 0,0344 | 0,0466 | | |
| 63 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,8594 | 4,8342 | 4,8192 | 4,8059 | 0,0252 | 0,0150 | 0,0133 | 0,0252 | 0,0402 | 0,0535 | | |
| 64 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,8091 | 4,8038 | 4,8012 | 4,7998 | 0,0053 | 0,0026 | 0,0014 | 0,0053 | 0,0079 | 0,0093 | | |
| 65 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7998 | 4,7941 | 4,7911 | 4,7896 | 0,0057 | 0,0030 | 0,0015 | 0,0057 | 0,0087 | 0,0102 | | |
| 66 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7907 | 4,7835 | 4,7796 | 4,7778 | 0,0072 | 0,0039 | 0,0018 | 0,0072 | 0,0111 | 0,0129 | | |
| 67 | X | X | X | X | X | X | X | X | 5,0054 | 4,9999 | 4,9973 | 4,9957 | 0,0055 | 0,0026 | 0,0016 | 0,0055 | 0,0081 | 0,0097 | | |
| 68 | X | X | X | X | X | X | X | X | 5,0177 | 5,0108 | 5,0073 | 5,0054 | 0,0069 | 0,0035 | 0,0019 | 0,0069 | 0,0104 | 0,0123 | | |
| 69 | X | X | X | X | X | X | X | X | 5,0343 | 5,0245 | 5,0203 | 5,0177 | 0,0098 | 0,0042 | 0,0026 | 0,0098 | 0,0140 | 0,0166 | | |
| 70 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9680 | 4,9605 | 4,9575 | 4,9553 | 0,0075 | 0,0030 | 0,0022 | 0,0075 | 0,0105 | 0,0127 | | |
| 71 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9801 | 4,9720 | 4,9685 | 4,9662 | 0,0081 | 0,0035 | 0,0023 | 0,0081 | 0,0116 | 0,0139 | | |
| 72 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9984 | 4,9884 | 4,9832 | 4,9801 | 0,0100 | 0,0052 | 0,0031 | 0,0100 | 0,0152 | 0,0183 | | |
| 73 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9537 | 4,9495 | 4,9481 | 4,9470 | 0,0042 | 0,0014 | 0,0011 | 0,0042 | 0,0056 | 0,0067 | | |
| 74 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9453 | 4,9405 | 4,9388 | 4,9376 | 0,0048 | 0,0017 | 0,0012 | 0,0048 | 0,0065 | 0,0077 | | |
| 75 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9381 | 4,9321 | 4,9302 | 4,9287 | 0,0060 | 0,0019 | 0,0015 | 0,0060 | 0,0079 | 0,0094 | | |
| 76 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9040 | 4,8995 | 4,8979 | 4,8966 | 0,0045 | 0,0016 | 0,0013 | 0,0045 | 0,0061 | 0,0074 | | |
| 77 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9134 | 4,9074 | 4,9055 | 4,9040 | 0,0060 | 0,0019 | 0,0015 | 0,0060 | 0,0079 | 0,0094 | | |
| 78 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,9243 | 4,9170 | 4,9150 | 4,9134 | 0,0073 | 0,0020 | 0,0016 | 0,0073 | 0,0093 | 0,0109 | | |
| 79 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7512 | 4,7460 | 4,7441 | 4,7424 | 0,0052 | 0,0019 | 0,0017 | 0,0052 | 0,0071 | 0,0088 | | |
| 80 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7629 | 4,7555 | 4,7534 | 4,7516 | 0,0074 | 0,0021 | 0,0018 | 0,0074 | 0,0095 | 0,0113 | | |
| 81 | X | X | X | X | X | X | X | X | 4,7760 | 4,7671 | 4,7648 | 4,7629 | 0,0089 | 0,0023 | 0,0019 | 0,0089 | 0,0112 | 0,0131 | | |

AISI 4140 NORMALİZASYON TAVLAMASI UYGULANMIŞ

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ÖZKADER, Mustafa Çağrı
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 15.07.1988 - Çorum
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (505) 808 82 44
e-mail : mcagriozkader@live.com

Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet tarihi |
|--------|--------------------------------------|------------------|
| Lisans | Cumhuriyet Üniv. Makine Mühendisliği | 2010 |
| Lise | Çorum Anadolu Lisesi | 2006 |

İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|------------|---------------------------------|----------|
| 2011 -2012 | ECM Banyo Gereçleri Üretim A.Ş. | Mühendis |
| 2013-2014 | Alapala Makine A.Ş. | Mühendis |

Yabancı Dil

İngilizce