

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AISI 1350 ÇELİĞİNDEN İMAL EDİLMİŞ BURAJ MAKİNESİ  
KAZMALARININ YERİNE, AISI 1040 VE AISI 4140 ÇELİKLERİNİN  
KULLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

BİLGEHAN DOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI  
DOÇ.DR. BURHAN SELÇUK

SİVAS  
2011

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Fen/Sağlık Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış ve jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

BAŞKAN: Doç. Dr. Mehmet ŞİMŞİR \_\_\_\_\_

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ahmet AKKUŞ \_\_\_\_\_

Üye \_\_\_\_\_

Üye \_\_\_\_\_

Üye (Danışman): Doç. Dr. Burhan SELÇUK \_\_\_\_\_

#### ONAY

Bu tez çalışması, ..././2011 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENÇİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 24.09.2008 tarihli ve 7 sayılı toplantısında kabul edilen Fen/Sağlık Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

## TEŞEKKÜR

Tezim boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren danıŐmanım Doç. Dr. Burhan SELÇUK'a teşekkür ederim.

ÇalıŐmalarım esnasında yaptığı her türlü katkı ve tavsiyelerinden dolayı ArŐ. Grv. Ahmet YÜCEL'e ve Öğr. Grv. Erkan BAHÇE'ye müteŐekkirim.

Sivas'a gidiŐ gelişerimde misafirperverliğini esirgemeyen değerli dostum Mustafa ÇOBAN'a teşekkür ederim.

Deney boyunca periyodik olarak gözlem yapma imkânı tanıyan ve yardımcı olan TCDD personeli Ali Kaya CENGİZ ve Mevlüt TATAR'a teşekkür ederim.

Her konuda sabırla yardımcı olan eŐim Saadet DOĞAN'a ve aileme desteklerinden dolayı teŐekkürü bir borç bilirim.

## ÖZET

# AISI 1350 ÇELİĞİNDEN İMAL EDİLMİŞ BURAJ MAKİNESİ KAZMALARININ YERİNE, AISI 1040 VE AISI 4140 ÇELİKLERİNİN KULLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Bilgehan DOĞAN

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Burhan SELÇUK

2011, 47 sayfa

İmalat ve metal işleme sektöründeki faaliyetlerin hemen hepsinde malzemenin karakteristiklerini tanımama, yanlış malzeme kullanımı ve malzemeyi pahalıya temin etme gibi nedenlerle ciddi kayıplar oluşmaktadır. Bu nedenle günümüzde geleneksel imalatta kullanılan malzemelerin yerine farklı malzemelerin denenmesi zaruret haline gelmiştir.

Bu çalışmada da öncelikle uzun yıllardan bu zamana kadar AISI 1350 çeliğinden imalatı yapılarak kullanılan buraj makinesi kazmalarında, çalışma alanları ve kullanımdaki malzemenin kimyasal özellikleri ile bunun yanı sıra piyasadaki bulunabilirliği gözetilerek seçilen AISI 1040 ve AISI 4140 Çeliklerinden de buraj kazmalarının imalatı yaptırılmıştır. Sonrasında ise anılan 3 ayrı malzemedan imal edilen buraj kazmaları, buraj makinesinin agrega sistemine ( tamping machine) aynı anda montajı yapılmıştır. Makinenin çalışması esnasında bu kazmaların, kireç ve bazalt taşlarıyla aşınmaları gözlenmiş, aşınma performansı bakımından AISI 1040'ın, AISI 1350 ye yaklaştığı ve AISI 4140'ın da geçtiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Aşınma,buraj makinesi,buraj kazması

## ABSTRACT

# AN INVESTIGATION ABOUT AVAILABILITY OF AISI 1040 AND AISI 4140 STEELS INSTEAD OF AISI 1350 STEEL AT PRODUCTION OF TAMPING MACHINE'S DIGGERS.

Bilgehan DOĞAN

Master of Science Thesis, Department of Machine Engineering

Supervisor: Assist. Dr. Burhan SELÇUK

2011, 47 pages

Serious losses occur with some reasons such as ignorance of material properties, usage of wrong material, buying dear the material at most activities of production and metal working. So, taking a chance at alternative materials instead of conservative materials is a necessity in nowadays.

The diggers of tamping machines have been produced with AISI 1350 steel for a long time. AISI 1040 and AISI 4140 steels have got both appropriate chemical features and findability in markets. In this study, the diggers of tamping machines are produced with AISI 4140 and AISI 1040 steels as well as AISI 1350 steel. These diggers which are produced three different materials are assembled same tamping machine. During the operation of the machine, wears of these diggers are observed at ground with limestone and basalt. Consequently, the wear resistance of AISI 1040 approaches to wear resistance of AISI 1350 and the results of AISI 4140 is better than AISI 1350.

**Key words:** wear, tamping machine, tamping diggers

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Raylı sistemler ve üst yapı malzemeleri.....	1
1.2. Çalışmanın amacı.....	3
<b>2. RAYLI SİSTEMLER VE YOL TAMİRAT MAKİNALARI.....</b>	<b>4</b>
2.1 Demiryolu hatları.....	4
2.1.1 Yol arıza tespit makinesi.....	5
2.2 Buraj çalışması.....	6
2.3 Buraj tertibatı (agrega ünitesi).....	7
<b>3. PLASTİK ŞEKİLLENDİRME .....</b>	<b>14</b>
3.1. Plastik Şekil Değiştirme Mekanizması .....	14
3.1.1 Plastik Şekil Değişimine Etki Eden Faktörler.....	16
3.1.2 Plastik Şekil Değiştirmeye Sıcaklığın Etkisi.....	16
3.2 Soğuk Şekil Değiştirme.....	16
3.3. Sıcak Şekil Değiştirme .....	19
3.3.1. Plastik Şekil Değiştirmeye Şekil Değiştirme Hızının Etkisi.....	20
3.4. Plastik Şekil Verme Yöntemleri .....	20
3.4.1. Dövme.....	20
3.4.1.1. Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme .....	21
<b>4. SÜRTÜNME VE AŞINMA .....</b>	<b>23</b>
4.1. Sürtünme.....	23
4.2. Aşınma.....	24
4.3. Aşınma Sistemleri.....	25
4.3.1 Aşınma Mekanizmalarına Göre Aşınma Türleri .....	26
4.3.1.1 Yorulma Aşınması.....	26

4.3.1.2 Abrasif Aşınma .....	27
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....</b>	<b>29</b>
5.1 Giriş.....	29
5.2 Numune Malzemelerinin Genel Özellikleri .....	29
5.2.1 Kullanılacak Çelik Malzemelerin Genel Özellikleri .....	29
5.2.2 Kullanılacak Elektrotların Genel Özellikleri.....	30
5.3 Deney numunesinin hazırlanması ve montajı.....	32
5.3.1 Buraj kazmasının şekillendirilmesi.....	32
5.3.2 Buraj kazmasının kaynak edilmesi .....	34
5.4 Aşınma Deneyin Yapılışı .....	41
5.5 Mekanik deneyler için Numunenin Hazırlanması .....	44
5.6 Maliyet.....	46
5.7 Sonuçlar .....	47
5.8 Öneriler.....	47
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>48</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>50</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 MPV-7 Yol arızası ölçme şeritleri.....	6
Şekil 2.2 (a) Buraj Makinesi, (b) Buraj kazmalarının bağlı olduğu agrega ünitesi.....	6
Şekil 2.3 Buraj Makinesi kabin içerisinden nivelman ve dresaj göstergesi .....	9
Şekil 2.4 Buraj Makinesi agrega ünitesi.....	9
Şekil 2.5 Buraj Makinesi kıskaç ünitesi.....	9
Şekil 2.6 Buraj Makinesi agrega ünitesi üzerindeki vibrasyon motoru.....	9
Şekil 2.7 Buraj kazmalarını taşıyan agrega ünitesi montaj resmi .....	10
Şekil 2.8 Buraj Makinesi hidrolik kumanda valfleri .....	11
Şekil 2.9 Buraj Makinesi Kazmaları .....	11
Şekil 2.10 Çalışma sonrası Buraj kazmalarında görülen deformasyonlar.....	12
Şekil 3.1 Temel kafes türleri.....	14
Şekil 3.2 Şekil değişiminde kafes hareketleri.....	15
Şekil 3.3 Soğuk şekil değiştirmede özellik değişimi.....	16
Şekil 3.4 Sıcak plastik şekil değiştirmede, mukavemet ve iç yapı değişimleri.....	18
Şekil 3.5 Kapalı kalıpta çapaklı dövme .....	22
Şekil 4.1 Malzeme yüzeyinde meydana gelen kayıpların parametre oranları .....	23
Şekil 4.2 Sürtünme-aşınma mekanizmasının bileşenleri.....	25
Şekil 4.3 Abrasif aşınma yüzeyleri.....	28
Şekil 4.4 Tipik abrasif aşınma yüzeyleri. ....	28
Şekil 5.1 Buraj Makinesi Kazmalarının teknik resimleri.....	33
Şekil 5.2 Kaynakla doldurulacak pabuçların teknik resmi .....	34
Şekil 5.3 Buraj Kazmasının aşınma deneyine başlamadan önceki kaynaklı bölgeleri .....	36
Şekil 5.4 Buraj Kazmasının aşınma deneyinden sonraki kaynaklı bölgeleri.....	37
Şekil 5.5 Masterla buraj kazmasının konikliğinin kontrol edilmesi.....	38
Şekil 5.6 Buraj kazmasının agrega sistemine montajdan önceki görüntüsü.....	38
Şekil 5.7 Buraj kazmasının montaj aşamaları.....	40
Şekil 5.8 Buraj kazmalarının 60.000 defa vibrasyonundan sonraki pabuçların görüntüsü .....	41
Şekil 5.9 Buraj kazmasının 120.000 defa vibrasyonundan sonraki pabuçların görüntüsü.....	42
Şekil 5.10 Aşınma grafiği .....	43
Şekil 5.11 Yuvarlak kesitli çekme deneyi numunesi .....	44
Şekil 5.12. Numunelere ait gerilme-uzama diyagramları.....	45
Şekil 5.13 Çentik darbe deneyi numunesi şematik gösterimi .....	45

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1 Deneylerde kullanılacak çeliklerin kimyasal bileşimleri .....	30
Çizelge 5.2 Deneylerde kullanılacak çeliklerin mekanik özellikleri.....	30
Çizelge 5.3 Deneylerde kullanılacak çeliklerin işlem sıcaklıkları .....	30
Çizelge 5.4 Kazma pabucunun kaynağında kullanılması öngörülen elektrotların kimyasal bileşenleri.....	31
Çizelge 5.5 Kazma pabucunun kaynağında kullanılan elektrotların kimyasal bileşenleri.....	35
Çizelge 5.6 Kaynak bölgelerinin aşınma deneyinden önceki sertlik değerleri.....	36
Çizelge 5.7 Kaynak bölgelerinin aşınma deneyinden sonraki sertlik değerleri.....	38
Çizelge 5.8 Vibrasyon sayacına göre ölçüm sonuçları.....	43
Çizelge 5.9 Deneyde kullanılan numunelerin mekanik özelliklerinin kıyaslanması .....	46
Çizelge 5.10 Deneylerde kullanılan çeliklerin piyasa fiyatları (MKE, 2010 yılı fiyatları) .....	46

## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>CÜ</b>	:Cumhuriyet Üniversitesi
<b>TCDD</b>	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
<b>TÜDEMSAŞ</b>	: Türkiye Demiryolları Sanayi Anonim Şirketi
<b>MKE</b>	: Makine Kimya Enstitüsü
<b>HMK</b>	: Hacim merkezli kafes
<b>YMK</b>	: Yüzey merkezli kafes
<b>SDH</b>	: Sıkı düzen hekzagonal

## 1. GİRİŞ

Malzeme seçimindeki temel amaç, mevcut sorunun çözümüne ve duyulan ihtiyacı karşılamaya yönelik olarak, kurgulanan tasarımı elde edebilmek için belirlenen çalışma konuları altında çalışabilecek en uygun ve olabildiğince en uzun ömürlü malzemeyi seçmektir. Bu malzeme seçilirken de malzemenin karakteristik özellikleri, bulunabilirliği (sağlanabilirliği), maliyeti ve ekonomisi de düşünülme zorundadır.

Malzemenin hangi koşullarda ve ortamlarda çalışacağı saptandıktan sonra bu çalışmanın gerektirdiği mekanik özellikler belirlenmelidir. Örneğin; yataklama yapacak bir parça için aşınma direnci çok önemlidir veya malzeme ısı işlem göreceyse mümkün olduğunca simetrik bir şekil çıkarılmaya özen gösterilmeli ve malzemedeki sertleşebilirlik de göz önünde bulundurulmalıdır. Yani; malzeme özellikleri uygulama gerekliliğine göre gözden geçirilerek malzeme seçimi yapılmalıdır.

Makine parçalarının bozulma sebepleri analiz edildiğinde; bozulmaların %38'i yanlış malzeme seçimi, %15'i üretim hatası, %15'i hatalı ısı işlem, %11'i tasarım hatası, %8'i beklenmeyen çalışma koşulları, %6'sı uygun olmayan ortam koşulları, %5'i kalite kontrol eksikliği ve %2'side malzeme karışması sonucunda ortaya çıktığı saptanmıştır [1].

Makine ömürlerinin uzamasındaki etken faktörlerden birisi, malzemelerin aşınma mukavemetlerinin artırılmasıdır. Temas halinde olan ve izafi hareketler yapan yüzeyler arasında, hareketin karşı yönünde bir direnç, yani sürtünme kuvveti mevcuttur. Bunun sonucu olarak öncelikle aşınma meydana gelir. Özellikle sürtünmeyle çalışan bazı sistemler (frenler, kavramalar vb) hariç, genel olarak eş çalışan parçalarda sürtünme ve aşınmanın azaltılması istenir.

Bir parçanın aşınması, onun şekline, malzemesine ve işletme şartlarına bağlıdır. İşletme şartlarının ve parça şeklinin değiştirilmesi çok defa mümkün olmamakta veya dar sınırlar içinde kalmaktadır. Bu durumlarda aşınmanın, uygun malzeme kullanılarak azaltılması yoluna gidilmektedir. Benzer şekilde, Raylı sistemlerde de sürtünme ve aşınmanın azaltılması istenir. Bu durum Raylı sistemlerin başından sonuna kadar bir demiryolu mühendisliği ile dizayn edilmesiyle gerçekleştirilebilir.

### 1.1. Raylı sistemler ve üst yapı malzemeleri

Raylı sistemlerde üst yapı üzerine gelen ağır ve yüksek hızlı araçların etkisi dikkate alındığında demiryolu hattının çok narin bir yapıda olduğu görülür. Bu durum demiryolu hattına yapılacak bakımın ve yenilemenin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu

önem demiryolu üst yapısı diye adlandırılan ray, bağlantı malzemeleri, travers, balast ve platformdan oluşan bütünüün önemini göstermektedir. Geleneksel demiryolu hattında, hareket halindeki trenlerin sebep olduğu dinamik kuvvetler raya, raydan bağlantı elemanlarına, bağlantı elemanlarından traverse, traversten balast tabakasına, balast tabakasından da platforma bir çeşit etkileşimle emilir. Raylar, araç tekerleklerine kesintisiz ve düzgün yuvarlanma yüzeyi sağlayan, tekerleklerden gelen yükleri mesnet elemanlarına ileten özel profilli elemanlardır. Demiryollarında ray uzunlukları farklı boyutlarda olmakla birlikte en çok kullanılanı yaklaşık 36 metre olanıdır. (İçinde dayanım arttırıcı çeşitli metal katkıları bulunan yüksek dayanımlı çeliğe, haddeleme yöntemi ile belirli bir enkesit tipi verilerek elde edilen raylar, 1 m uzunluğundaki ray ağırlığı ve çekme dayanımları ile adlandırılır.) Bağlantı elemanı olarak kastedilen şey demiryolu üst yapısında rayları traverslere ve rayları raylara bağlamaya yarayan malzemelerdir. Kullanıldıkları yerlere göre değişik tipleri mevcuttur. Travers ise raylara mesnet görevi yapan, yol eksenine dik yönde ve belirli aralıklarla yerleştirilen balast taşlarından oluşan, balast tabakası içine gömülü olarak döşenen enine kirişlerdir. (Travers aralıkları projede belirtilen değerler doğrultusunda hattın sınıfına göre belli aralık ve toleranslar ile tespit edilir. Bunlar ahşap, demir ve beton travers olarak 3 tipi vardır. Birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Günümüzde en fazla tercih edilen beton traverstir. İmalatı kolay olup, ülkemizde imal edilenler yaklaşık 250 kg ağırlığında 300 dozluk betondan ve içerisine 4 adet demir tığ konularak imalatı yapılır. Balast ise demiryolu üst yapısından gelen yükleri üniform bir şekilde altyapıya aktarmaya yarayan, genellikle çapları 30-60 mm arasında olan çok köşeli kireç veya bazalt taş tanelerinin bir araya gelmesiyle mesnet görevi yapan birikintidir. Platform ise toprak zemindir [2].

Hareket halindeki ağır yükler balastın bozulmasına, kaybına, hat bileşenlerinin aşınmasına ve parçalanmasına sebep olurlar. Yağmur, sel ve rüzgar gibi doğa olayları, hattın yapısı ve bileşenleri üzerinde olumsuz etkilere sebep olduğundan sürekli bir bakımı gerektirirler [3]. Demiryolu hattının yatayda ve düşeydeki konumuna demiryolu hattı geometrisi denir. Hattın olması gereken geometrik konumdan sapmasına hat geometrisinin bozulması adı verilmektedir [3]. Bu sürtünmeyi ve aşınmayı etkileyen bir olay olmakla beraber demiryolu trafiğini de etkilemektedir.

Balastlı yapı üzerine kurulan raylı sistemlerin hız ve yolcu taşıma kapasitesinin neden olduğu yol deformasyonları zaman zaman hat geometrisinin bozulmasına da neden olabilmektedir. Özellikle zemin açısından balastlı demiryolu sistemleri buna müsait bir yapıdadır. Proje değerlerinin zemine uygulanışından sonra deformasyon ölçümleri ilk proje değerleri ile uyumlu olarak düzeltilmektedir. Demiryolu hattını yatay eksen üzerinde hareket

ettirerek hattın olması gereken geometrisine getirme işlemine dresaj, dikey eksen üzerinde hareket ettirerek hattın olması gereken geometrisine getirme işlemine de nivelman denir. Kurp (viraj)larda dış ray dizisi, iç raya göre daha yüksek bir kota yerleştirildiğinden bu iki ray dizisi arasında oluşan yükseklik farkına da dever denilmektedir [2]. Dresaj ve nivelman çalışmasının birlikte yapıldığı deformasyonların düzeltilmesinde buraj makineleri önemli rol oynamaktadır. Demiryolu hattında sürekliliği sağlamak için kullanılan buraj makineleri, nivelmanı, deveri ve eksenden sapmaları düzeltir. Buraj makinesi, ölçüm sistemi ile yatayda ve düşeyde hattı doğru konumuna getirdikten sonra, traversler altındaki balastı sıkıştırmaya başlar. Buraj işlemiyle balastta düzenli bir oturma sağlar. Her bir traverstin altındaki balast yatağı eşit oranda oturma yapar. Sıkıştırma basıncı, balast yatağının mevcut konumunu koruyacak şekilde uygulanabilir [4].

## **1.2. Çalışmanın amacı**

Önceki bölümde bahsedildiği üzere çeken ve çekilen araçlar şeklindeki ( vagon, lokomotif vb.) makinelerin, raylı sistemlerde üst yapı olarak adlandırılan kısmında zamanla deformasyonlar oluşturmaktadır. Bu deformasyonlardan, biri olan demiryolu hattının yatayda ve düşeyde olması gereken ekseninden ayrılmasıdır. Ortaya çıkan problem buraj makineleri ile giderilmektedir.

Buraj makinelerinde ise balast tabakası ile irtibatlı çalışan buraj kazmaları mevcuttur. Kireç taşı veya bazalt malzemeden oluşan balast tabakasını travers altına sıkıştırma işleminde kullanılan buraj kazmaları aşınmaya maruz kalmaktadır. Ülkemizde buraj makinelerinde kullanılan buraj kazmalarının teknik şartnamesinde önerilen malzeme AISI 1350 çeliğidir. Bu yüzden halen kullanılmakta olan buraj kazmaları AISI 1350 malzemeden imal edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, günümüze kadar AISI 1350 çeliğinden imalatı yapılmakta olan buraj kazmalarının alternatifi olarak AISI 1040 ve AISI 4140 çeliklerinden aynı yöntemle imal edilen buraj kazmalarının kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Sonrasında anılan 3 ayrı malzemedeki buraj kazmaları aynı makineye aynı anda montesi yapılmıştır. Balast taşları ile aşınmaları konusunda bir araştırma yapılmıştır. Makine üzerindeki çalışmaları gözlenmiş ve elde edilen veriler kayıt altına alınarak deneysel sonuçlar irdelenmiştir.

## 2. RAYLI SİSTEMLER VE YOL TAMİRAT MAKİNALARI

Raylı sistemlerin zamanımızın ulaştırma sistemleri arasında çeşitli yönlerden yapılan değerlendirmeler sonucu önemli bir yeri bulunduğu açıktır. Raylı sistemlerin gittikçe boyutları büyüyen beklentileri karşılayabilmesi için geliştirilmesinin gerekliliği de tartışmasızdır. Raylı sistemlerin gelişmesi ve toplumdaki rolü yıllar boyunca yeni teknolojilerin kullanılmasıyla güçlendirilmektedir. Güvenlik, hız ve konfor raylı sistemlerde göz önüne alınan önemli parametrelerdir. Bu parametrelerden artırılması istenen hız beraberinde dingil ağırlığını artırmaktadır. Böylece üst yapıya fazladan dinamik etkiler oluşturmaktadır. Dolayısıyla artan hızlar karşısında klasik enine traversli üstyapı tipinin yeterli olamayacağı görüşü de zaman zaman öne sürülmektedir. Genel olarak raylı sistemlerde üst yapı balastlı ve balastsız yollar olarak ayrılrsa da ülkemizde geleneksel olarak balastlı yollar tercih edilmektedir. Balastlı yollar, toprak gövde üzerine serilen balast, traversler ve sabitlenen raylardan oluşmaktadır. Tecrübelerle belirlenmiş olan bu ekonomik tasarım diğer teknik gelişmelere karşın neredeyse değişmeden kalmıştır. Ekonomik açıdan hattın bu şekilde tasarımı, yumuşak bir zeminde hareket eden ağır hızlı trenleri karşılama açısından uygun bir yapıdadır. Yaklaşık 100 yıldır demiryolu hattı için yeni tasarımlar araştırılmasına karşın geleneksel demiryolu hattından daha iyi bir sistem bulunamamıştır [3].

Doğaldır ki, raylı sistemlerin en önemli unsuru yük ve insan taşımacılığıdır. Taşımacılık için çeken ve çekilen araç olarak tabir edilen lokomotif ve vagonlar akla gelir. Bunların sürekli olarak demiryollarında hareketi demiryolu üzerine gelen ağırlığı ve etkisi dikkate alındığında, demiryollarında güvenli ve konforlu bir şekilde trafiği sağlamak için doğru düzenli, sürekli, planlı ve periyodik bakımlar gerçekleştirilmelidir. Demiryollarında üst yapı hattının bakımında yararlanılan kaynaklardan insan gücü dışındaki en önemli unsur Buraj adı verilen çalışmadır.

### 2.1 Demiryolu hatları

Bir balast tabakası üzerinde bulunan, demiryolu hattının sürekli dinamik yüklere maruz kaldığı bilinen bir gerçektir. Binalar, barajlar gibi bir temele oturtulan yapılar kuvvetli olup, bunlara etki eden hareketli yükler ise çok küçüktür. Bu yüzden demiryolu hattına yapılacak bakımın ve yenilemenin diğer yapılara göre daha fazla önemli olduğunu göstermektedir. Geleneksel demiryolu hattında, hareket halindeki trenlerin sebep olduğu dinamik kuvvetler balast tabakası ve diğer birleşenler arasındaki bir çeşit etkileşimle emilir. Bileşenler arasındaki bu etkileşim doğal olarak zamanla gittikçe artar. Hareket halindeki ağır yükler

balastın bozulmasına, kaybına, hat bileşenlerinin aşınmasına ve parçalanmasına sebep olurlar. Yağmur, sel ve rüzgar gibi doğa olayları, hattın yapısı ve bileşenleri üzerinde olumsuz etkilere sebep olduğundan sürekli bir bakımı gerektirirler [3].

Balastlı yapı üzerine kurulan raylı sistemlerin hız ve yolcu taşıma kapasitesinin neden olduğu yol deformasyonları zaman zaman hat geometrisinin bozulmasına da neden olabilmektedir. Özellikle zemin açısından balastlı demiryolu sistemleri buna müsait bir yapıdadır. Proje değerlerinin zemine uygulanışından sonra deformasyon ölçümleri ilk proje değerleri ile uyumlu olarak düzeltilmektedir. Ayrıca yol arızaları tespit makineleri demiryolu hattındaki arızaları rapor etmektedir. Bu raporlar doğrultusunda da gerekli hat bakım ve onarım çalışmaları yapılmaktadır.

### **2.1.1 Yol arıza tespit makinesi**

Demir yolunun hassas ölçümlerinin gerçekleştirilebilmesi için yol kontrol makinelerinden de yararlanır. Demiryolu, komple yılda en az 1 veya 2 kez olmak üzere yol kontrol makineleri ile kontrol edilerek arızalar tespit edilir. Ayrıca istenildiği zaman kısmi yol arızaları tespit edilebilir. Günümüzde yol arızaları tespit makineleri teknolojik olarak çok gelişmiştir. TCDD'nin şu anda kullanmakta olduğu MPV-7 (Şekil 2.1) tipi yol muayene makinesi, kendisi ortalama 10 km/h hızda hareket ederek yol arızalarını tespit edip ölçme şeritleri üzerine çizimlerini yapmaktadır. Ayrıca bir lokomotif tarafından genellikle 60 km/s hızla, bir iş gününde ortalama 300 km'lik yolu kontrol edebilen, özel bir kataraya bağlı olarak çekilen yol kontrol makineleri geliştirilmiştir. Yol kontrol makineleri; ozalite çekilebilecek bir şeffaf kâğıt üzerine, hattın durumu, üst yapı malzemesinin kalitesi, yol eksenlerinin durumu ve kabul edilebilir hızlar hakkında kesin bir karar vermeye yarayacak diyagramlar hazırlar. Ölçme şeridi 10 tonluk bir dingil basıncı altında hattın durumunu belirler. Makinenin kaydettiği ölçme şeritleri ilgili teknik birimlere gönderilir. Ölçme şeridinin ilerleme hızı ölçek 1/5000 olacak şekilde tanzim edilir. Ayrıca şeridin üst kenarında hattın kilometre bilgisi kaydedilir [5].

Yol arızaları tespit makinesi ile şu diyagramlar elde edilebilir [5]:

- 1- Her ray dizisindeki conta düşükleri diyagramı
- 2- Dever diyagramı
- 3- Ekartman diyagramı
- 4- Dresaj diyagramı
- 5- Her iki ray dizisi için ağırlık diyagramı
- 6- Her iki ray dizisi için yüzey ondülasyon diyagramı



Şekil 2.1 MPV-7 Yol arızası ölçme şeritleri [5]

## 2.2 Buraj çalışması

Dresaj (yatay düzeltme) ve nivelman (düşey düzeltme) çalışmasının birlikte yapıldığı buraj çalışması bu tür deformasyonların düzeltilmesinde önemli rol oynamaktadır. Hat geometrisinin istenilen proje değerlerine getirme işi buraj makinesine aittir Şekil ( 2.2).



(a)



(b)

Şekil 2.2 (a) Buraj Makinesi, (b) Buraj kazmalarının bağlı olduğu agrega ünitesi

Hat geometrisindeki deformasyonların tespitindeki ilk adım gözle yapılan incelemedir. Buna ilave olarak lokomotiflerin makinist kabininde yapılan haftalık hat kontrollerinde yatay ve düşey titreşmelerin araç üzerindeki etkisi gözlenerek bozuk bölgeler not edilir. Daha hassas arıza tespiti içinde periyodik aralıklarla MPV-7 Yol Muayene Makineleri kullanılarak arıza tespitleri yapılır. Öncelikli bölgeler tespit edildikten sonra hassas deformasyon listesi buraj makinesi tarafından çıkartılır. Buraj makinesinin, bünyesinde ray nivosunu taşıması ve bilgisayar destekli olması deformasyonların tespitinde önemli rol oynamaktadır. Hem yatay

hem de düşey bozuklukları grafik halinde çıkarabilmektedir. Böylece acil ölçüm yapılması gereken bölgeler belirlenmektedir. Ülkemizde yoğun nüfus kitlelerinin tercihi sonucu dakikalarla sınırlı olan sefer aralıklarının hatlarda üstyapı bakımının çok sık yapılabilmesi el ile mümkün olmadığından, yapılan buraj çalışmaları buralarda yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla, çalışmaların daha sağlıklı ve daha seri yapılması için maliyeti yüksek ama modern donanımları bulunan buraj makineleri kullanılması daha mantıklı olacaktır. Böyle bir makine ile günde 80-100 işçinin yaptığı çalışmalara denktir.

Buraj makinesinin, bünyesinde bulunan donanımlar yardımı ile ray üzerindeki deformasyonlar grafiklendirilerek acil çalışma yapılacak bölgelerin gösterilmesi, kurp olarak tarif edilen detay bilgilerin çıkartılması harita ekibi için de büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Harita ekibinin deformasyona uğrayan bölgede ölçümler yaparak ideal sayısal değerleri listelemesi, buraj makinesinin asıl fonksiyonu olan rayların altında meydana gelen boşluklara balast takviyesi yapması için önemli bir veri oluşturmaktadır. Hem yatay hem de düşey öteleme değerleri kilometre bazında buraj makinesine verilerek hat üzerindeki deformasyonların düzeltilmesi sağlanmaktadır [6].

Buraj makinesinde, hidrolik, pinomatik, elektronik sistemlerin yanı sıra dresaj ve nivelman göstergeleri, agrega ünitesi ve buraj işleminin yapılabilmesi için rayı askıya alan kısaç ünitesi bulunmaktadır (Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5). Üstyapıyı geometrik kotuna getirme işleminin ana ünitesi buraj tertibatıdır.

### **2.3 Buraj tertibatı (agrega ünitesi)**

Buraj makinesi üst modellerinde İtiş şasisi, buraj işlemi için gereken zamanı kazanmak amacıyla yatay olarak hareketlendirilmiştir. Bu sayede buraj işlemi ön konumdan arka konuma kadar yol boyunca çalışmaktadır. Buraj işlem süresi makine hızına bağlıdır. Buraj tertibatları enine hareket tertibatları aracılığıyla ray üzerinde otomatik olarak merkezlenirler. Bu kaydırma işlemi elle de yapılabilir. Buraj tertibatları her biri iki travers için kullanılan, buraj makinesi modeline göre değişen toplam 16, 32 ve 48 adet buraj kazmasını taşıyacak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 2.4) [7].

Buraj makinesinde vibrasyon hareketi, agrega ünitesi içerisine yerleştirilmiş bir vibrasyon mili (eksantrik mil) ile sağlanır. Bunun tahriki flanşla bağlanmış bir hidrolik motorla gerçekleşir (Şekil 2.6). Milin üzerine, eksantrik hareketini vibrasyon kollarına ileten biyeler yerleştirilmiştir. Biyeler, hidrolik silindir şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 2.7).

Vibrasyon milinin devri yaklaşık 2100dev/dk, sıkıştırıcıların vibrasyon değeri yaklaşık 35Hz, sıkıştırıcıların vibrasyon genişliği yaklaşık 10 mm dir [7].

Sıkıştırıcıların kaldırılıp-indirilmesi bir hidrolik silindirle sağlanır. Üst ve alt kaldırma sınırı, vericiyle kumanda edilen 4 yollu orantısız valflerle gerçekleştirilir (Şekil 2.8). Sıkıştırma derinliği kademesiz olarak ayarlanabilir [7].

Yanaştırma ve açma hareketi biyel silindirleri tarafından sağlanmaktadır. Buraj tertibatlarının hareketi için bir tertibatın tüm silindirleri müşterek bir basınç hattına sahip olduğundan tüm buraj kazmalarına eşit kuvvet uygular. Yanaştırma basıncının kesilmesinden sonra sıkıştırıcıları açan biyel silindirlerine daha düşük karşı basınç uygulanmasıyla daha sakin bir çalışma elde edilir [6].

Tüm buraj aletleri balast yatağı üzerinde (hareketlerinden bağımsız olarak) eşit değerde basınç uygulanır. Diğer bir deyişle, her bir kazma çifti arasında tüm buraj kazmalarına ait özel yüzey basıncının eşit değerde olmasını sağlayan tam bir kuvvet dengesi mevcuttur. Kazma çiftleri birbirlerinden tamamen bağımsız olarak ve ayrıca balast yatağında ortaya çıkan dirence uygun olarak hareket edebilirler. Buraj işlemi sırasında her bir kazma çiftinin önünde direnç meydana gelir. Direncin seçilen yanaştırma kuvvetine ulaşmasının ardından, kazma çiftleri de otomatik olarak devre dışı kalır. Diğer buraj aletleri, yataklama üzerinde eşit boyuttaki kuvveti uygulayınca kadar yanaşma sağlar. Plasser & Theurer asenkron eşit basınçlı buraj sistemi bu sayede tamamen eşit düzeyde buraj sağlamaktadır.

Çelikten mamul buraj kazmaları 16, 32 veya daha fazla adet olarak çiftler halinde hatların iç ve dışında her iki travers dışına yerleştirilirken, bir araya getirilen kazma çiftleri de eş zamanlı olarak travers katına daldırılır. Buraj kazma şaftları, konik uçlarıyla birlikte salınım kollarında muhafaza edilerek, düz kamalar ve vidalarla sabitlenirler. Sabitleme şekli sayesinde buraj kazmaları, buraj kazma başına yalnızca tek bir vidanın gevşetilmesi veya çekilmesi suretiyle kolayca takılıp sökülebilmektedir (Şekil 2.9) [8].

Kazma levhaları kürek şekilli düz bir alt kenara sahip olup, dalgalıdır. Dışa dönük tarafları özel sipariş üzerine yapılan kaynak sayesinde sağlam bir şekilde izole edilmiştir. Dalgalı kazma levhaları balast yapısına daha iyi uyum sağlayarak, daha büyük bir buraj alanını kaplarlar. Kürek şekilli alt kenar sayesinde, giriş direnci daha kolay olarak devre dışı bırakılabilir [8].

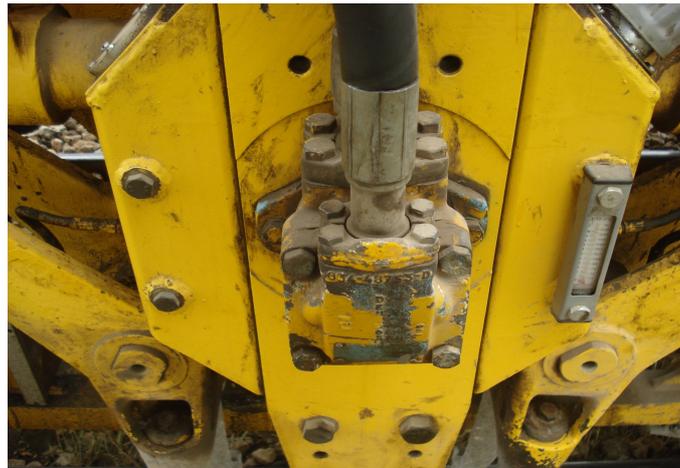


Şekil 2.3 Buraj Makinesi kabin içerisinde nivelman ve dresaj göstergesi

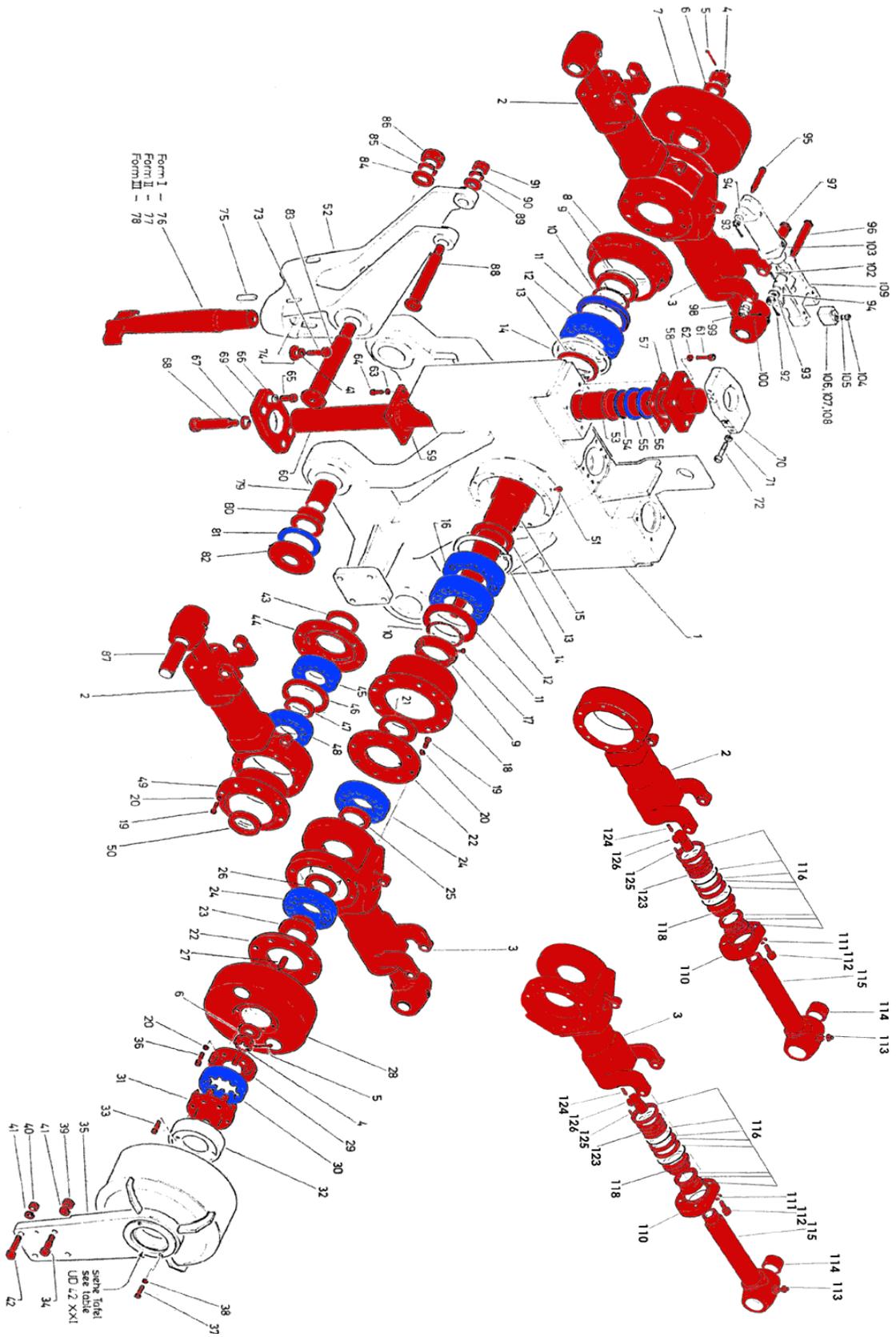


Şekil 2.4 Buraj Makinesi agrega ünitesi

Şekil :2.5 Buraj Makinesi kışa ünitesi



Şekil 2.6 Buraj Makinesi agrega ünitesi üzerindeki vibrasyon motoru



Şekil 2.7 Buraj kazmalarını taşıyan agrega ünitesi montaj resmi



Şekil 2.8 Buraj Makinesi hidrolik kumanda valfleri



Şekil 2.9 Buraj Makinesi Kazmaları

Buraj kazmalarının papuç kısımları zamanla aşınır, hatta kırılıp, eğilip kullanılmaz hale gelirler (Şekil 2.10). Aşınmış buraj kazmaları kaynakla doldurulabilir [7]. Kazma plakası ile kazma gövdesinin arası kaynak yapılırken çok dikkat edilmeli ve gerekiyorsa düzgün yüzey elde etmek için bu kısım taşlanmalıdır. Yoksa kırılmalar meydana gelebilir.



Şekil 2.10 Çalışma sonrası Buraj kazmalarında görülen deformasyonlar  
(a-kırılma, b-aşınma, c-eğilme)

Buraj kazmaları çalışma şartlarında zeminin sertliğine göre değişken yüklere maruz kalırlar. Zamanla değişken yükler altında çalışan kazmalarda kırılma, aşınma ve eğilme gibi hasarlar görülür. Çatlak, ilk olarak kazmanın basma ve çekme kuvvetlerine maruz kalan herhangi bir noktada başlar. Paralel veya dik yönde tamamen kırılmaya yol açana kadar yavaşça ilerler. Bu kırıkların yüzeyleri genellikle, ilerleyen çatlağın ön kısmının meydana getirdiği kıyıya vuran dalgaların kumsalda bıraktığı iz benzeri şekiller olarak görülür. Bunlar, ilerlemekte olan çatlağın belli bir anda ön kısmının pozisyonunu belirler. Kesit, kademeli olarak zayıfladıkça, çatlak her yükün çevriminde biraz daha ilerler ve dalga izi şekilleri daha kaba hale gelirler. Bu şekillerin merkez noktası genellikle kırığın merkez noktasında konumlanmıştır [9]. Kırılma hasar türü, klasik eğilme yorulmaları, aşırı yük altında çalışma ve oluşan çatlakların bir sonucu olarak karşımıza çıkar. Buraj kazmalarını eğilmeye zorlayan kuvvetler, balastla irtibatlı olan pabucunun üst kısmı ve kazmanın monte edildiği kovanın kökü ile kazma profilinin kesiştiği noktalarda en yüksek gerilmelere sebep olurlar. Kazmalar yük ile temasın gerçekleştiği tarafta basma kuvvetleri, bunun karşı tarafında da çekme kuvvetleri

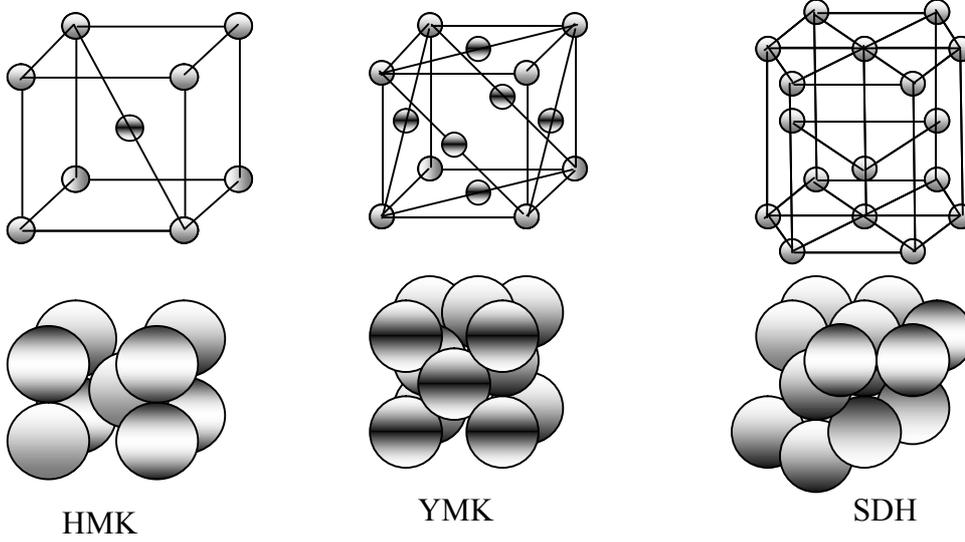
oluşmaktadır. Eğer kritik bölgelerde ortaya çıkan çekme gerilmesinin kazma malzemesinin mukavemet sınırını aşmasına izin verilirse sonunda yorulma çatlakları oluşacak ve çalışma ile beraber buraj kazmasının kırılması ile sonuçlanacaktır [10]. Şekil 2.10-a'da kesmeye maruz kalmış bir buraj kazmasında, malzemenin kesit olarak en dar çaplı yerinden kesildiği görülmektedir. Şekil 2.10-b'de buraj kazmalarında en sık karşılaşılan durum gözlenmektedir. Malzemenin papuç kısmının sürtünme sonucunda aşınması söz konusudur. Şekil 2.10-c'de sert bir zeminle karşılaşmış bir kazmanın deformasyonu görülmektedir. Bu durum, kazmanın raya veya travers üzerine çarpması sonucunda eğilmeye maruz kalmasıyla ortaya çıkar.

### 3. PLASTİK ŞEKİLLENDİRME

Buraj makinesinde sarf malzeme olarak kullanılan buraj kazmalarının imalatı plastik şekillendirme ile yapılmaktadır. Bu nedenle burada plastik şekillendirme hakkında kısa bir bilgi verilecektir.

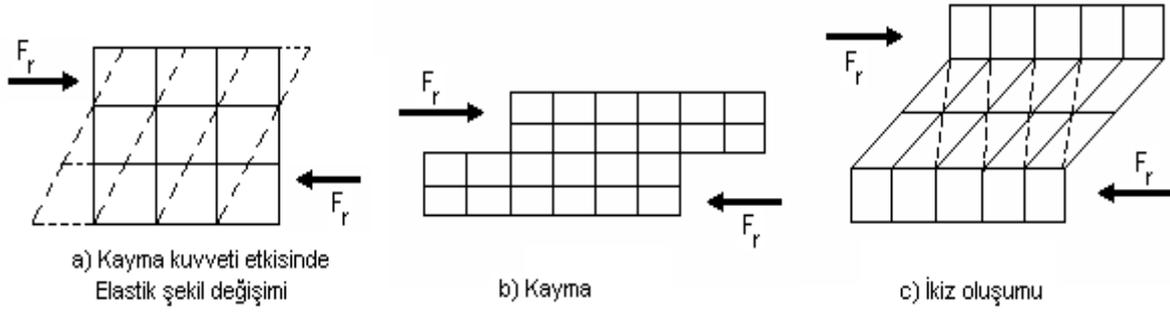
#### 3.1. Plastik Şekil Değişirme Mekanizması

Metaller, atomların belirli düzenlerde bir araya gelmesiyle meydana gelen kristal kafeslerden oluşur. Atomların kafes içerisindeki diziliş biçimlerine göre hacim merkezli küp, yüzey merkezli küp, sıkı düzen hekzagonal gibi kafes tipleri vardır[11]. ( Şekil 3.1.)



Şekil 3.1 Temel kafes türleri [11]

Kristal kafesleri bir araya gelerek taneleri, taneler de bir araya gelerek malzemeyi oluştururlar. Bu kristal kafeslerinin birbirine göre hareket etmesi olarak tanımlanan şekil değişimi, bir malzemenin kuvvet etkisi altında başlangıçtaki biçimini değiştirmesi demektir. Katı cisimlerin yük altındaki şekil değişimi elastik ve plastik olarak ortaya çıkar. Elastik şekil değişimi kalıcı olmayan; plastik şekil değişimi kalıcı olan şekil değişimidir. Plastik şekil değişiminin elastik şekil değişiminden farkı kalıcı olmasıdır. Plastik şekil verme ikizlenme veya kayma sonucu meydana gelir. Şekil 3.2’de bu hareketler şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.2 Şekil değişiminde kafes hareketleri [12]

Plastik şekil vermenin en önemli mekanizması olan kayma, atomların başlangıçtaki konumlarından uzaklaşması yani, atom düzlemlerinden birinin komşu atom düzlemi üzerinde kayması olayıdır. Kayma, kayma doğrultusundaki atomlar arası mesafenin tam sayılı katı kadardır. Kafes açıları kaymadan önce ve sonra  $90^\circ$  dir. Kaymanın güç olduğu durumlarda ise (mesela, düşük sıcaklık, yüksek şekil değişim oranı), küçük plastik şekil değiştirmeler ikizlenme ile meydana gelir. İkizlenme de, atomlar küçük ötelenirken kafes açıları da değişir (Şekil 3.2)[12].

Kayma düzlemleri arasında birçok kayma olmayan düzlemler de bulunmaktadır. Kaymalar ilerledikçe, kafeslerin şekil değiştirme kabiliyeti azalır, sonunda düzlemler arasında ayrılma oluşur ve parça kopar. İkiz oluşumu, birbirine dik olan düzlemler arasında meydana gelemez. Kaymayı açıklayan şekil incelendiğinde, iki düzlemin birbirine göre kayma düzlemlerinde ilerleyebilmesi için, o düzlemde var olan bütün atomların bağlarının kopması gerektiği söylenebilir. Bu işi sağlamak için gerekli kuvvet hesaplandığında, bunun deneyle bulunandan çok daha büyük (100-1000 kez) olduğu görülmektedir. Bu fark, dislokasyon adı verilen kafes hatalarına bağlanmıştır. İlk zamanlarda teorik olan bu düşünce, bugün artık elektron mikroskopuyla görülmüş ve kanunları ortaya konmuştur. Dislokasyona sahip bir kafes sisteminde bütün düzlemde kaymayı sağlamak için gerekli kuvvetin, sadece birkaç atomun bağını koparabilecek düzeyde olması yeterli olmaktadır. Parça üzerinde görülebilir bir deformasyonun olabilmesi için, dislokasyon yoğunluğunun yüksek olması gerekir. Son araştırmalar normalize edilmiş bir malzemede dislokasyon yoğunluğu  $10^6 - 10^8$  cm/cm<sup>3</sup> düzeyinde olduğunu göstermiştir. Kaymalar, kafeslerin atom yoğunluğunun en yüksek olan düzlemlerinde (kayma düzlemi) ve kayma düzlemi üzerinde atomların en sık buldukları doğrultularda (kayma yönü) dislokasyonların hareketi ile meydana gelir. Bu düzlemlerde atomlar arası mesafe kısaldığı için, dislokasyon adımı da kısaltmakta ve daha az bir kuvvet ile dislokasyon hareket ettirebilmektedir [12].

### 3.1.1 Plastik Şekil Değişimine Etki Eden Faktörler

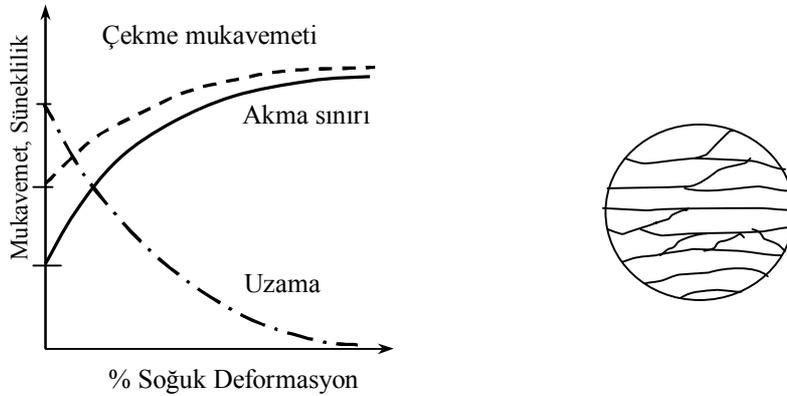
Malzemelerin plastik şekil değişimi karşısındaki davranışları; malzemenin kimyasal bileşim ve içyapısına, şekil verme sıcaklığına, şekil verme hızına ve sürtünme şartlarına bağlıdır. Malzemenin kimyasal bileşim ve içyapısına göre, malzeme ya kolayca şekil değiştirir ve istenen biçimi alır, ya da zor şekil değiştirir ve istenen biçimi almadan kırılır. Şekil değişimi sırasında malzemenin sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşen plastik şekil değişimi, “soğuk şekil değiştirme” ve “sıcak şekil değiştirme” olarak ikiye ayrılır. Malzeme akışı da kalıplar tarafından uygulanan yüksek basıncın etkisiyle oluşur. Malzeme-kalıp ara yüzeylerindeki sürtünme şartları malzeme akışını, basınç dağılımını, yük ve enerji büyüklüklerini etkiler [13].

### 3.1.2 Plastik Şekil Değiştirmeye Sıcaklığın Etkisi

Sıcak şekil değiştirmede, şekil değişiminin ortaya çıkardığı içyapı ve mekanik özelliklerdeki değişimler şekil değişimi sırasında ortadan kalkar ve malzeme şekil değişiminden önceki özelliklerine sahip olur. Soğuk şekil değiştirmede ise; şekil değişimi sonundaki özellikler, başlangıçtaki özelliklerden farklıdır ve herhangi bir işlem yapmadan eski özelliklerini tekrar kazanamaz [14].

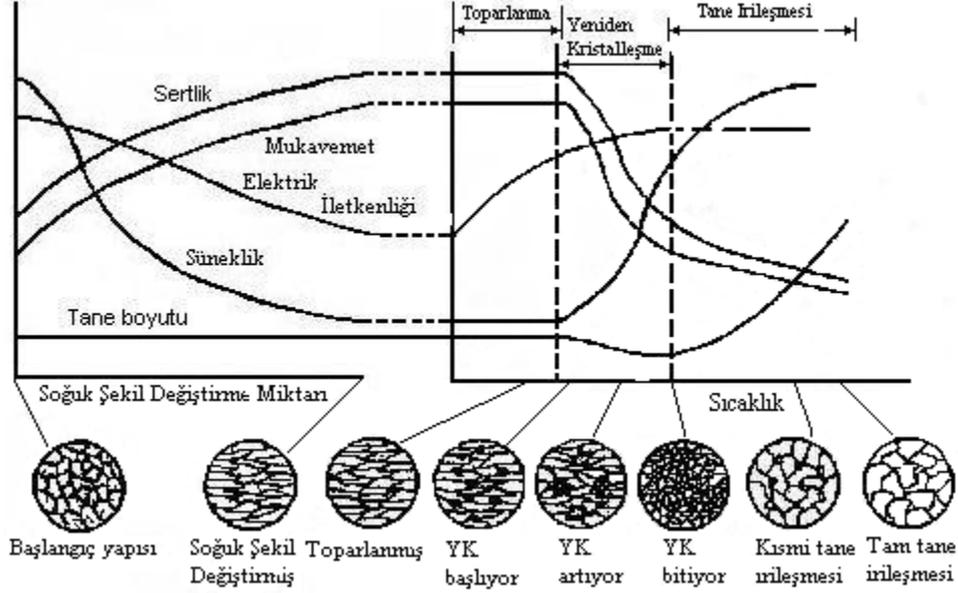
### 3.2 Soğuk Şekil Değiştirme

Soğuk şekil değiştirmede, kuvvetin etkisi altında malzemenin kristal kafeslerinde kayma, ikiz teşekkülü veya her ikisi birden meydana gelir. Şekil değişiminin ilerlemesiyle, malzemenin şekil değişimine karşı mukavemeti artar. Eğer şekil değişimine devam edilirse, malzemede çatlama ve yırtılmalar oluşabilir. Soğuk şekil değişimi sonunda malzemenin mukavemeti ve sertliği artar, sünekliği azalır (Şekil 3.3) [14].



Şekil 3.3 Soğuk şekil değiştirmede özellik değişimi [11]

Soğuk şekil değiştirme sonunda sertliğin artması, “şekil değiştirme sertleşmesi (pekleşme) olarak adlandırılır. Sertleşme miktarı malzemenin cinsine de bağlıdır. Alaşım elemanı ilavesi malzemenin akma sınırını yükselttiğinden, alaşımlı malzeme alaşımsız malzemeye göre daha fazla sertleşir. Soğuk şekil değişimi sonunda metallerin sertleşme ve mukavemetinin artmasını açıklayan çeşitli teoriler bulunmaktadır. Önceki teorilerde kafesin bozulması, iç gerilmelerin oluşumu ve kayma düzlemleri civarında parçalanan kafeslerin oluşturduğu amorf metalin, şekil değişiminin devamını güçleştirilmesi bu sertleşmenin sebepleri olarak belirtilmektedir. Bugünkü teoride ise, sertleşmeye birbiri ile karşılaşan ve birbirinin hareketini engelleyen dislokasyonların sebep olduğu ifade edilmektedir. Plastik şekil değişimi sonunda malzemenin çekme ve yorulma mukavemeti, sertliği, elektriksel direnci ve kimyasal çözünmesi artarken uzama, alan küçülmesi ve sürünme kabiliyetleri azalır. Soğuk şekil değişimi sonunda malzeme yüksek bir iç enerjiye sahip duruma geldiğinden atomlar daha dengeli mevkilere yayılarak enerjilerini azaltmak isterler. Bu yayılma oda sıcaklığında atomlar arası boşlukların az olması ve atomlar arası sürtünmenin fazla olması nedeni ile çok yavaş oluşur. Sıcaklık yükseltirse, atomlar arası boşlukların büyümesi ve atomlar arası sürtünmenin azalması nedeni ile atomların yayılması (difüzyonu) hızlanır ve bunun sonucu olarak malzeme tekrar eski sünekliğini kazanır. Böylece, soğuk şekil değişimine uğramış malzeme ısı işlem yoluyla yumuşatılabilir. Isıl işlem yapılırken, sertleşmiş malzemenin tekrar eski özelliklerini kazanması sırasında oluşan olaylar Şekil 3.4.’de şematik olarak verilmiştir. Düşük sıcaklıklarda ( $T_1$ ’in altında) malzemenin içyapısı değişmemesine rağmen; elektriksel iletkenlik ve mukavemet biraz artar, iç gerilmeler azalır. Bu durum “malzemenin eski halini alması, kendine gelme veya toparlanma” olarak adlandırılır. Kazanılan mukavemeti kaybetmeden, iç gerilmelerin azaltılması istenilen bir durum olmaktadır.  $T_1$ ’de malzeme yumuşamaya başlar.  $T_1$  ve  $T_2$  arasında süneklik artarken, sertlik ve mukavemet aniden düşer. Malzemede oluşan bu değişme aşaması, “yeniden kristalleşme” olarak adlandırılır. Yeniden kristalleşmenin başlangıcında, plastik şekil değişimi sonunda uzamış taneler arasında yeni taneler oluşmaya başlar. Bu tanelerin oluşmaya başladığı sıcaklık “yeniden kristalleşme sıcaklığı” olarak adlandırılır ve metalden metale değişir. Tekrar kristalleşmiş taneler, şekil bakımından düzgündürler, kayma çizgileri içermezler ve genellikle küçüktürler. Tekrar kristalleşme; mekaniksel özelliklerdeki ani değişiklik, uzamış tanelerin kaybolması, kayma çizgilerinin görülmemesi ve tane büyümesi ile tanınır [11].



Şekil 3.4 Sıcak plastik şekil değiştirmede, mukavemet ve iç yapı değişimleri [11]

Tekrar kristalleşen taneler aynı kafes yapılarını korurlar ve bu sebepten tekrar kristalleşme, faz değişikliğini içine alan ısıl işlemlerden farklıdır. Metalin tekrar kristalleşme sıcaklığından ani soğutulmasıyla, sertleşme eğilimi yoktur. Örneğin; soğuk plastik şekil değiştirmiş yumuşak çelikler yaklaşık 500-700°C arasında tekrar kristalleşir. Bu sıcaklık değerleri kritik bölgenin altındadır. Pirinç için soğuk plastik şekil değiştirme oda sıcaklığında olur, molibden ve tungsten malzemelerde 800°C de yapılan şekil değişimi hala soğuk plastik şekil değişimidir. Açıklama olarak soğuk plastik şekil değişimi, tekrar kristalleşme sıcaklığının altında yapılan şekil değişimidir. Yeniden kristalleşme sıcaklığına etki eden faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Tekrar kristalleşmenin olabilmesi için, belirli bir soğuk şekil değiştirmeye ve sıcaklığa gereksinim vardır.
- Plastik soğuk şekil değiştirme ne kadar az ise, tekrar kristalleşme sıcaklığı o kadar yüksek olur.
- Uzun tavlama süresi, gerekli kristalleşme sıcaklığını düşürür. Şekil 3.4' te görüldüğü gibi;  $T_1$  sıcaklığına doğru, yeni oluşmuş taneler büyüyerek zorlanmış taneleri ortadan kaldırır.  $T_2$  sıcaklığında sertlik ve mukavemeti düşük, sünekliği yüksek tamamen yeni bir yapı oluşur. Metalik malzeme  $T_1$  sıcaklığının üzerinde ısıtıldığı zaman, taneler büyür. Bu olaya "tane büyümesi" adı verilir. En son tane büyüklüğü; uygulanan şekil değişimi oranı, tavlama sıcaklık ve zamanına bağlıdır [15].

### 3.3. Sıcak Şekil Değişirme

Plastik şekil değiştirme tekrar kristalleşme sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta yapılırsa, işleme “sıcak plastik şekil değiştirme” adı verilir. İşlem sırasında şekil değiştirme hızı, derecesi ve sıcaklığı uygun seçilmişse, malzemenin şekil değişimi sonunda sertliği değişmez. Ufak taneli ve yüksek mukavemetli bir yapı elde edilir. Yukarıda sayılan şartların uygun seçilmesiyle; şekil değişimi sonunda oluşan yapı değişikliği, tekrar kristalleşme ile düzeltilmiş olur. Sıcak şekil değiştirmede, şekil değişimi için harcanan enerji soğuk şekil değiştirmeden daha azdır. Ayrıca sıcak plastik şekil değişimi çatlama olmadan şekil değişebilme kabiliyetini yükseltir ve yüksek sıcaklıktaki hızlı difüzyon sayesinde döküm ve ingot malzemelerin yapılarındaki kimyasal homojensizliklerin ortadan kalkmasını sağlar. Hava kabarcıkları ve gözenekler birbirine kaynayarak ortadan kalkar ve dökümdeki uzun, kalın taneler kırılarak aynı büyüklükte tekrar kristalleşmiş taneler meydana getirir. Sıcak şekil değiştirme sonunda ortaya çıkan değişimler, döküm yapıya nazaran süneklik ve tokluğu artıracak yöndedir.

Yukarıda sayılan avantajların yanında sıcak plastik şekil değişiminin de bazı dezavantajları vardır. Yüksek sıcaklığa kadar ısıtıldığından, metal ile fırın atmosferi arasındaki reaksiyonlar istenmeyen sonuçlar verir. Genellikle sıcak şekillendirme havada yapılır ve oluşan oksidasyondan ötürü, önemli oranda metal kaybı olur. Molibden gibi bazı reaktif metaller oksijenle gevrekleşir, bu sebepten soy atmosfer altında şekil verilmelidir. Çeliklerin sıcak şekillendirilmelerinde yüzeyden karbon kaybı olur. Bütün bunların yanında, gerekli ısıyı sağlamak için ek masraf yapılır. Sıcak plastik şekil verme için en düşük sıcaklık; tekrar kristalleşme zamanında şekil değiştirme sertleşmesini önleyecek hızdaki şekillendirmedeki en düşük sıcaklıktır. En yüksek sıcaklık ise, ergime noktası veya aşırı oksitlenmenin olduğu sıcaklıktır. Genellikle en yüksek sıcaklık olarak ergime noktasının 100°C altındaki değer alınır. Pahalı bir yöntem olan sıcak plastik şekil değiştirmenin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Şekil değiştirme sıcaklığı yükseldikçe, metale istenen şekli vermek için gerekli enerji miktarı süratle azalır.
- b) Metalsel malzemelerin çatlamadan ve kopmadan şekil değiştirme kabiliyetleri, sıcaklıkla orantılı bir şekilde artar.
- c) Metalin içindeki heterojenlikler, yüksek sıcaklıkta yapılan dövme ile kolaylıkla giderilebilir.

Yukarıdaki son madde, dökme ve dövme parçalar arasındaki en önemli farkı izah etmektedir. Genel olarak dökme ve dövme parçaların çekme mukavemetleri arasında çok açık bir fark yoktur. Yalnız döküm yapısı, tane sınırları ve tane içleri arasındaki heterojenlikler nedeniyle

düşük bir çentik darbe mukavemetine sahiptir. Sıcak dövme sırasında, şekil değiştirme ve tekrar kristalleşme ile oluşan tanelerden oluşmuş yapının çentik darbe mukavemeti çok daha fazladır [15].

### **3.3.1. Plastik Şekil Değiştirmeye Şekil Değiştirme Hızının Etkisi**

Malzemenin şekillendirmeye karşı davranışı şekillendirme hızına göre değişir. Sünek halden gevrek hale geçme, hızlı şekillendirmelerde daha fazla görülür. Bu davranış malzemenin içinde bulunduğu sıcaklığa da bağlıdır. Örneğin; demir ve çelik oda sıcaklığının altında çekiçlenirse çatlaklar. Fakat aynı sıcaklıkta yavaş bir şekil değişiminde çatlama görülmez. Şekil değiştirme hızı arttıkça, malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti azalır [16].

### **3.4. Plastik Şekil Verme Yöntemleri**

Değişik amaçlarla kullanılabilen çok sayıda plastik şekil verme yöntemi geliştirilmiş olup, bunlar deformasyon için uygulanan kuvvet veya gerilmenin türü ile metalin şekillendirme sırasındaki akış yönüne bağlı olarak şu şekilde sınıflandırılabilir [16].

- a . Dövme
- b . Haddeleme
- c . Ekstrüzyon
- d . Çubuk ve tel çekme
- e. Sac şekillendirme yöntemleri

Buraj makinesi kazmaları anılan yöntemlerden Dövme yöntemi kullanılarak imal edilmektedir.

#### **3.4.1. Dövme**

Çok eski bir üretim yöntemi olan dövme, iş parçasının basma kuvvetlerinin etkisiyle plastik şekil değiştirdiği bir işlemdir. Sanayi devrimi ile kol gücü yerini makinelere bırakmış ve bu gelişmelerle seri üretime yönelik metal şekillendirme işlemlerinde dövme teknolojisi büyük önem kazanmıştır. Krank milleri, el aletleri, civata başları, dişliler, tekerlekler, biyel kolları ve kancalar gibi çok sayıda makine parçası bu yöntemle üretilmektedir. Ülkemizde, 1960 sonrası hızla büyüyen otomotiv endüstrisiyle dövme yöntemi paralel bir gelişme göstermiştir. Dövme işlemleri, benzeş sıcaklığının ( metalin şekillendirilme sıcaklığının, mutlak sıcaklık cinsinden

metalin ergime sıcaklığına oranı )  $T_b < 0,3$  olduğu sıcaklıklarda yapılması durumunda soğuk dövme olarak,  $T_b > 0,5$  olduğu sıcaklıklarda ise sıcak dövme olarak adlandırılmaktadır.

Soğuk dövme, büyük dövme kuvvetleri gerektirdiğinden genellikle küçük parçalar ile küçük şekil değişimleri içeren işlemler için uygundur. Örneğin günümüzde ancak 3kg'a kadar parçaların dövülmesi ekonomik sayılmaktadır. Daha çok cıvata ve somun üretiminde soğuk dövmeden yararlanılmaktadır. Ayrıca işlem sırasında pekleşme nedeniyle giderek artan dövme kuvvetleri gerekecektir. Sıcak dövme, malzemenin daha kolay şekillendirilebilmesi ve dövme kuvvetlerinin düşüklüğü nedeniyle daha geniş uygulama alanına sahiptir. Dövme yöntemine en uygun malzemeler olarak; sade karbonlu çelikler, düşük alaşımli çelikler, alüminyum alaşımları, bakır alaşımları ve titanyum alaşımları gösterilebilir [16].

Dövme yöntemleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- a) Açık kalıpta dövme
- b) Kapalı kalıpta çapaklı dövme
- c) Kapalı kalıpta çapaksız dövme ( hassas dövme )
- d) Delme
- e) Kafa şişirme
- f) Haddeleyerek dövme
- g) Radyal dövme
- h) İzotermal dövme
- i) Orbital dövme
- j) Maçalı dövme
- k) Sinter dövme
- l) Artımlı ( incremental ) dövme

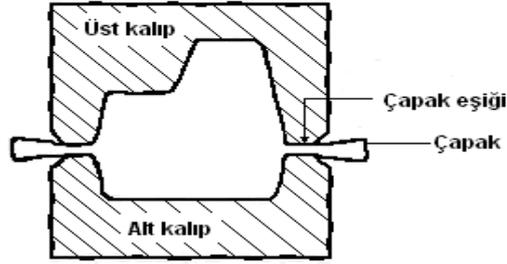
Buraj kazmalarının imalatında dövme yöntemlerinden kapalı kalıpta dövme yöntemi kullanıldığından burada sadece adı geçen yöntem hakkında bilgi verilecektir.

#### **3.4.1.1. Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme**

Karmaşık şekilli parçaların dar toleranslar içinde elde edilebilmesi için birbiri üzerine kapanan ve kapandığında elde edilebilecek parçanın biçimine sahip bir kalıp boşluğu oluşturan kalıplardan yararlanır (Şekil 3.5). Kalıp maliyeti yüksek olduğundan, yöntem seri üretim için ekonomiktir.

Sıcak olarak yapılan bu işlemde, üst kalıbın uyguladığı kuvvetle sağlanan metal akışı kalıp boşluğu tarafından sınırlanır. Kalıp boşluğu dolduktan sonra, fazla malzeme iş parçasını

“bölüm yüzeyi” boyunca çevreleyen çapağı oluşturur (bölüm yüzeyi: iş parçasının alt ve üst kalıpta kalan kısımlarını belirleyen yüzey). Çapak iş parçasından kesilerek ayrılır [11].

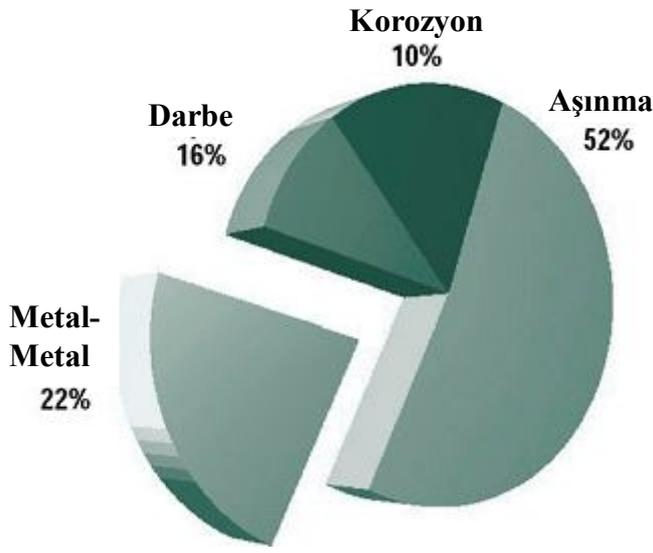


Şekil 3.5 Kapalı kalıpta çapaklı dövme [11]

Şekillendirilmek üzere kalıba konulan metalin miktarı kalıp boşluğunu doldurmaya yeterli olmalıdır. Bunun tam olarak ayarlanması güç olduğundan, malzemenin hacmi kalıbın hacminden fazla tutulur ve kalıpta gerekli düzenlemeler yapılarak, bu fazla malzemenin kalıp boşluğu dışına dar bir şerit şeklinde çıkması sağlanır [17]. İş parçasını çevreleyen çapak, dövme işleminden sonra mekanik preslerde kesme kalıpları yardımıyla kesilerek uzaklaştırılır. Kesme işleminin güç olduğu yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerde çapak kesme işlemi ya sıcak olarak, ya da yumuşatma tavını takiben yapılır. Malzeme, genellikle bir defada son biçimine getirilemez. Bu yüzden ön şekillendirme ve ara dövme gibi işlemlere gereksinim vardır. Bu işlemler çoğunlukla aynı kalıp bloğu üzerinde gerçekleştirilecek şekilde tasarlanır [15].

## 4. SÜRTÜNME VE AŞINMA

Temas halinde olan malzemelerin sürtünmesi ve bunun sonucu meydana gelen aşınma özellikleri makine elemanlarının ve tasarımlarının en önemli problemlerinden biridir. Çünkü temas eden yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının kötüleşmesine sebep olmaktadır [1]. Şekil 4.1'de, malzeme yüzeyinde meydana gelen kayıpların parametrelerine ait oranlar gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Malzeme yüzeyinde meydana gelen kayıpların parametre oranları [1]

### 4.1. Sürtünme

Sürtünme, bir katı cismin, kendisiyle temasta olan başka bir katı cismin bağıl hareketine veya hareket haline karşı gösterdiği dirençtir. Hareket doğrultusunda ve zıt yönde olan bu dirence sürtünme kuvveti denir. Birbiriyle temasta olan yüzeyler arasındaki sürtünme hareketi kayma, yuvarlanma veya bu iki hareketin birleşimi şeklindedir [18]. Temasta olan katı cisimlerden birinin diğeri üzerinde kayma hareketine başlaması için gerekli olan kuvvete statik sürtünme kuvveti, kayma hareketini devam ettirmek için gerekli kuvvete de kinetik (dinamik) sürtünme kuvveti denir. Dinamik sürtünme kuvveti, statik sürtünme kuvvetinden daha küçüktür. İki temel sürtünme kanunu vardır. Birinci kanunda, sürtünme kuvvetinin sürtünen yüzeyler arasındaki temas alanından bağımsız olduğu, ikinci kanunda ise sürtünme kuvvetinin, sürtünen cisimlere gelen normal kuvvetle orantılı olduğu belirtilmektedir [19].

Bağlı hareket yapan yüzeyler arasında yağlayıcı madde konulup konulmamasına göre sürtünme; kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üçe ayrılır. Birbirlerine göre bağlı hareketli olan yüzeyler doğrudan doğruya temasta iseler kuru, yüzeyler bir yağlayıcı tarafından ayrılıyorsa sıvı, yağlayıcı yüzeyleri birbirinden tam olarak ayırmıyorsa sınır sürtünme meydana gelir [20].

Sürtünme katsayısı  $\mu$ , sürtünmeyi karakterize eden önemli bir faktördür. Statik durumda statik, dinamik durumda ise dinamik sürtünme katsayısı olarak tanımlanır. Statik sürtünme katsayısı, dinamik sürtünme katsayısından biraz daha büyüktür. Dinamik sürtünme katsayısının kayma hızına bağlı olduğu deneylerle gözlemlenmiştir. Hızın artması halinde azda olsa değerinde bir düşme görülür. Statik sürtünme katsayısı temas süresine bağlıdır. Temas süresini artmasıyla, sürtünme katsayısı da artar.

Yüzeyler arasına bir yağlayıcı madde konulduğu takdirde sürtünmenin azaldığı bilinmektedir. Yağlayıcı madde, malzeme yüzeyi üzerinde adhezyon kuvveti nedeniyle bir film teşkil ederek, metalik teması kısmen veya tamamen önler. Eğer yüzeyler tamamen metalik temastan ayrılmış ise “sıvı sürtünmesi”, kısmen ayrılmış ise “yarı sıvı sürtünmesi” adını alır [19].

## 4.2. Aşınma

Kısaca aşınma, temas eden yüzeylerden mekanik etkilerle malzeme kaybıdır. Aşınma malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen yüzey bozulması şeklinde tarif edilir [1].

Aşınma hakkında yapılan kabul görmüş tarifler şunlardır:

“Birbirlerine göre hareket halinde olan eş yüzeylerden birinde veya ikisinde meydana gelen malzeme kaybıdır.”

“Katı cisimlerin yüzeylerinden tribolojik tesirlerle sürekli malzeme kaybıdır.”

“Kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması neticesinde çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro taneciklerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulmasıdır.”

“Malzeme yüzeylerinin, daha ziyade mekanik zorlamalar sebebiyle, bazı hallerde kimyasal tesirlerle küçük parçacıkların ayrılması sonucu değişmesidir.”

“Aşınma, sürtünen yüzeylerde malzemenin mekanik etkenlerle ve istenilmediği halde kopup ayrılmasıdır.”

“Mekanik bir etkinin sonucunda, bir yüzeyden parçacıkların yavaşça kalkmasıdır.”

“Tribolojik sistemi oluşturan eleman ve faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin ortak bir ürünüdür”[21-22].

Bu tariflerin bütününe kapsayan genel bir tarif şu şekilde verilebilir:

“Aşınma; kullanılan malzemelerin yüzeylerinin daha ziyade mekanik olarak etkileyen enerjiler ve mekanik etkiler ile küçük parçacıkların ayrılması sonucu istenilmeyen şekilde değişikliğidir.”

Bu genel tarife göre meydana gelen hasarın aşınma olarak ele alınabilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekir:

- Mekanik bir etkinin olması,
- Sürtünmenin olması (izafi hareket),
- Yavaş, fakat devamlı olması,
- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- İstenmediği halde meydana gelmesi [22].

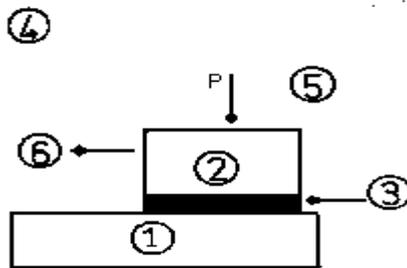
Yukarıda belirtilen etkilerin dışında herhangi bir sebepten dolayı hasar meydana geliyor ise aşınmanın diğer hasarlarla beraber olduğu söylenebilir. Fakat bu şartlar herhangi birini gerçekleştiriyorsa bu hasar türünün aşınma olarak değerlendirilmesi mümkün değildir.

### 4.3. Aşınma Sistemleri

Bir aşınma sisteminin temel unsurları şunlardır [22];

- Ana malzeme (aşınan),
- Karşı malzeme (aşındıran),
- Ara malzeme,
- Yük,
- Hareket

Bir sürtünme-aşınma mekanizmasının bileşenleri şematik olarak Şekil 4.2 te gösterilmiştir.



- |                           |            |
|---------------------------|------------|
| 1. Temel Sürtünme Elemanı | 4. Çevre   |
| 2. Karşı Sürtünme Elemanı | 5. Yükleme |
| 3. Ara Maddesi            | 6. Hareket |
- Şekil 4.2 Sürtünme-aşınma mekanizmasının bileşenleri [23]

Sistem içinde aşınmayı etkileyen diğer faktörler;

- Temas eden malzemelerin yapısı
- Basınç veya kuvvet
- Hız
- Sıcaklık, ortamın nemi ve basıncı, korozif etkiler, yağlama gibi çevre şartları
- Yüzey düzgünlüğü

şeklinde özetlenebilir [23].

#### **4.3.1 Aşınma Mekanizmalarına Göre Aşınma Türleri**

Aşınma pek çok şekilde ve çok farklı türlerde ortaya çıkabilir. Bilinen sistemlerde gözlemlenen temel aşınma tipleri şöyle sınıflandırılabilir.

1. Koroziv aşınması
2. Abrasif aşınması
3. Adhesif aşınması
4. Tabaka aşınması
5. Kimyasal aşınması
6. Erozyon aşınması
7. Yorulma aşınması
8. Yenme aşınması
9. Kavitasyon aşınması
10. Erozyonlu kavitasyon aşınması
11. Püskürtme aşınması

Buraj kazmalarında daha ziyade abrasif aşınması ortaya çıkmakla birlikte yorulma olayı da kazmaların deformasyonunda önemli bir etkidir.

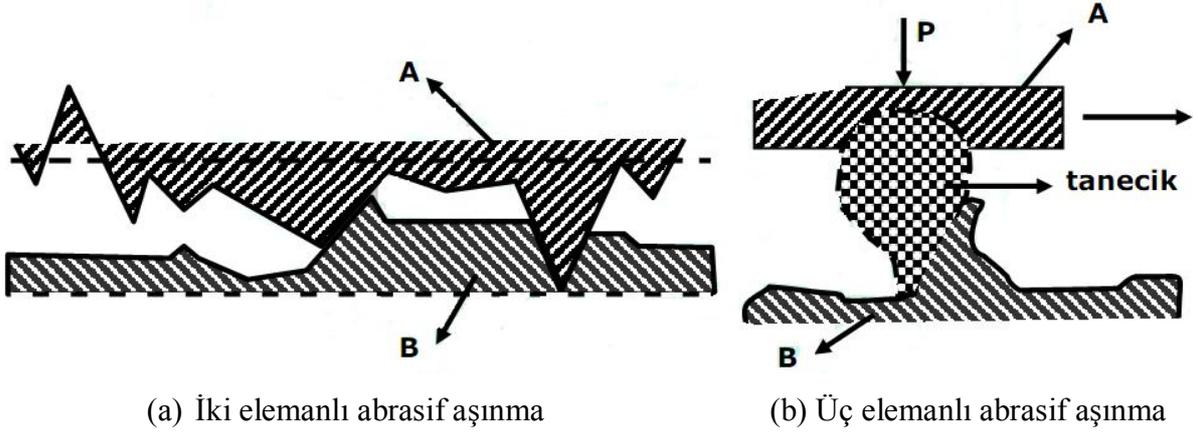
##### **4.3.1.1 Yorulma Aşınması**

Yüzey yorulma aşınması olarak da adlandırılır. Değişken tekrarlı yüklemeler sonucunda maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerlerde plastik deformasyon ve dislokasyona bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelir, bu boşluklar zamanla yüzeye doğru ilerler, büyürler yüzeyde küçük çukurların ortaya çıkmasına sebep olurlar, buna yorulma aşınması denir. Yorulma aşınması düşük genlikli titreşimli yüzey teması esnasında meydana gelir. Atmosferik şartlarda titreşimli temasta olan yüzeylerde oksitlenme olur ve aşınma genelde

oksidatif türdedir. Hareket genelde harici titreşimden gelir. Ancak çoğunlukla malzemelerden birinin çevrimli gerilmeye uğramasından yorulma aşınması ileri gelir. Yorulma aslında yorulma çatlağının erken hareket etmesidir. Bu durum hızlı hasara yol açar ve Fretting yorulması veya temas yorulması denir. Hareket genelde harici titreşimden gelir. Yorulma ağır yük altında yüzeyde statik çekme gerilmesi oluşması durumunda da meydana gelir. Yüzeyde yük açısı olmayabilir. Yükün direkt yüzeye uygulanmasında da yorulma oluşur. Yorulma aşınması iki yüzeyin teması ve relatif hareketleri 125 nm gibi çok küçük aralıkta olsa bile gerçekleşebilir. Birkaç nm ölçüsündeki hareket bile yorulma hasarına yol açabilmektedir. Çok küçük genlik değerlerinin ölçülmesinde ve kontrol edilmesinde ciddi deneysel problemler vardır. Eksenel, açısı ve radyal yönlerde meydana getirilen deplasman (hareket) farklı frekanslara yol açar. Yüzey pürüzlülüğü artınca daha düşük yorulma aşınması oluşur. Yorulma aşınması daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeyinde görülür. Tasarımda relatif hareket engellenmeye çalışarak, yüzeyin; tasarımın elverdiği şekilde pürüzlü bırakılması ile yüzeyde basma gerilmeleri oluşturularak ve yüzeye kaplama yapılarak yorulma aşınması engellenilebilir [24].

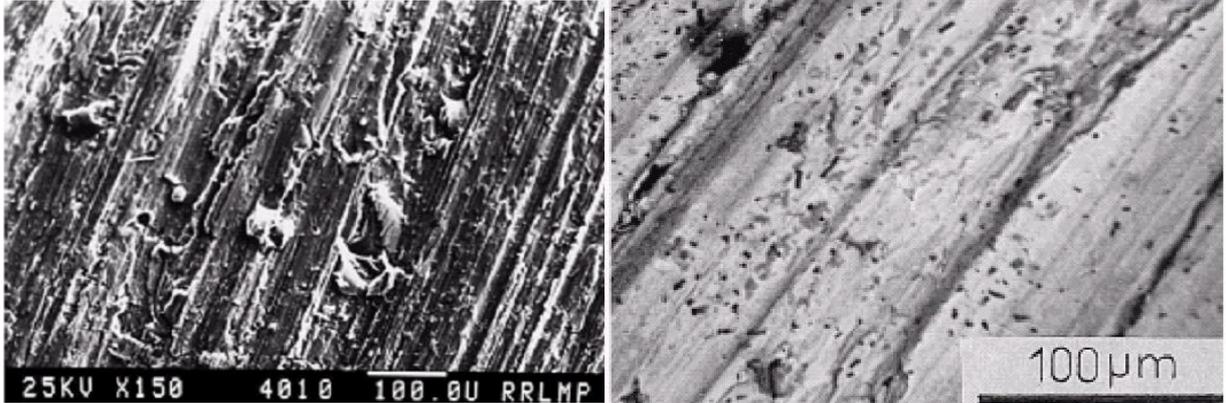
#### **4.3.1.2 Abrasif Aşınma**

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak adlandırılır. Genel olarak malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan partiküllerle basınç altında etkileşip sert partikülün malzeme yüzeyinden parça koparmasına “abrasif aşınma” denir. Abrasif aşınma iki elemanlı ve üç elemanlı olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 4.3) [1].



Şekil 4.3 Abrasif aşınma yüzeyleri [1]

Sürtünmenin bağlı hareketinin devamı halinde, bağlar kırılarak malzeme kaybına neden olur. Şekil 4.4’de tipik bir abrasif aşınmaya ait SEM görüntüsü verilmiştir. Abrasif aşınmasının önlenmesinde en etkili yol yüzey sertliğini arttırmaktır. Bu durumda da malzemenin gevrek olarak kırılma riski artacaktır. Sert partiküllerin sistemden uzaklaştırılmasıyla abrasif aşınma engellenebilir. Kullanılan hava, su ve yağlarda kullanılan partiküller filtre edilerek sistemden uzaklaştırılırlar. Diğer bir önlem olarak da abrasif aşınmaya uğrayacak parçanın kolay bir şekilde değiştirilmesine imkân verecek tasarımların yapılmasıyla aşınma ortadan kaldırılır [1].



Şekil 4.4 Tipik abrasif aşınma yüzeyleri [21].

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 5.1 Giriş

Ülkemiz demiryollarının üstyapı bakımında kullanılan buraj makinelerinin sarf malzemelerinin en önemli ayağını buraj kazmaları oluşturmaktadır. Bu buraj kazmaları teknik şartnamesinde belirtildiği üzere günümüze kadar AISI 1350 çeliğinden imal edilmektedir. Bu çalışmada AISI 1040 ve AISI 4140 çeliklerinden teknik şartnamede belirtilen yöntemlerle buraj kazmaları üretilmiştir. Standart buraj kazması ve buna alternatif olarak üretilen yeni kazmalar test edilmek üzere aynı buraj makinesine monte edilmiştir. Belirli aralıklarla yapılan ağırlık kaybı ölçüleriyle her üç malzemenin aşınma durumları gözlemlenerek kıyaslanmıştır.

### 5.2 Numune Malzemelerinin Genel Özellikleri

Buraj kazmalarının yapımında kullanılan çeliklerin ve yüzeye yapılan sert dolgu kaynağında kullanılan elektrotların özelliklerinden bahsetmek gerekir.

#### 5.2.1 Kullanılacak Çelik Malzemelerin Genel Özellikleri

AISI 1040, AISI 1350 ve AISI 4140 çelikleri makine imalat endüstrisinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Örneğin; AISI 4140 makine imalat çeliği, talaşlı imalat endüstrisinde yaklaşık %10 oranında kullanılmaktadır ve içerdiği alaşım elementleri nedeni ile yüksek sertleşebilirlik özelliğine sahip bir çeliktir [25]. Ayrıca bu çeliğe uygulanacak ısıl işlemler ve ısıtma hızları, imalat açısından işlenebilirlik karakteristiğinin belirlenmesinde önemli bir belirleyici unsurdur [26]. Mukayese yapılmak istenen her üç çeliğin kimyasal analizleri Çizelge 5.1'de, mekanik özellikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. Çizelge 5.3'de ise sertleştirme sıcaklıkları, sertleştirme ortamları, menevişleme sıcaklıkları, şekil verme sıcaklıkları ve yumuşak tavlama sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 5.1 Deneylerde kullanılacak çeliklerin kimyasal bileşimleri [25]

Çelik Normları		KİMYASAL ANALİZLERİ %							Kullanım Alanları
AISI	DIN	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	
1040	C35	0,35-0,44	010-0,30	0,60-0,90	maks.0,040	maks.0,050	-	-	Alaşsız yapı çeliği Makine ve taşıt yapım elemanları
1350	46Mn7	0,45-0,54	0,15-0,35	1,60-1,90	maks.0,040	maks.0,050	-	-	Takım kalıpları, çekme kalıpları vs.
4140	42CrMo4	0,35-0,44	0,15-0,35	060-0,90	maks.0,040	maks.0,040	0,80 1,10	0,15 0,25	İslah çeliği Yüksek dayanım gerektiren makine parçaları, dingil, mil, dişli, krank ve saplama yapımında

Çizelge 5.2 Deneylerde kullanılacak çeliklerin mekanik özellikleri [25]

Malzeme	Kopma dayanımı Kg/mm <sup>2</sup>	Akma sınırı Kg/mm <sup>2</sup>	Kopma uzaması %
AISI 1040	60-80	33-42	16-20
AISI 1350	120-135	105	6
AISI 4140	80-130	55-90	10-14

Çizelge 5.3 Deneylerde kullanılacak çeliklerin işlem sıcaklıkları [25]

Malzeme	Sertleştirme Sıcaklığı (°C)	Sertleştirme ortamı	Menevişleme Sıcaklığı (°C)	Şekil Verme Sıcaklığı (°C)	Yumuşak Tav Sıcaklığı (°C)
AISI 1040	840-880	Suda-Yağda	-	850-1100	650-700
AISI 1350	820-860	Yağda	470-540	830-1100	650-700
AISI 4140	820-850	Suda-Yağda	530-670	850-1050	680-720

### 5.2.2 Kullanılacak Elektrotların Genel Özellikleri

Buraj kazmalarının standart teknik şartnamesine göre kazmalara kaynak işlemi uygulanırken kullanılacak elektrotlar 3 tabaka halinde üst üste dolgu kaynağı şeklinde uygulanır. Birinci tabakada BOEHLER FOX A7 veya muadili çelik elektrot kullanılmalıdır. Kaynak makinesi D.C. pozitif kutup ve kısa ark ile 80-100 amper arasında 3.25 mm çapında veya 110-130 amper arasında 4 mm çapında çelik elektrot kullanılarak dolgu kaynağı yapılmalıdır.

BOEHLER FOX A7 çelik elektrot, yüksek dayanımlı, alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin, paslanmaz krom çeliklerin, sert manganez çeliklerin, kaplamalı saçların, mıknatıslanmayan çeliklerin, sıcak iş çeliklerin, zor kaynak edilebilen çeliklerin, ray çeliklerin birleştirme ve dolgu kaynakları ile su türbin kanatları kavıtasyon tamirleri, sübap yuvası dolguları ve benzeri aşınmaya dayanıklı çeliklerin dolgu kaynağı işlerinde kullanılır [27].

İkinci tabaka BOEHLER FOX DUR 600, BOEHLER FOX DUR 600A veya muadili çelik elektrot kullanılır. D.C. pozitif kutup veya A.C de 140-180 amper akım aralığında 4 mm çapında çelik elektrot ile dolgu kaynağı yapılmalıdır. BOEHLER FOX DUR 600 çelik elektrot, alaşımlı ve alaşımsız çeliklerden yapılmış toprak ve maden ocakları makinelerinin parçaları, darbeli çalışan delme ve kırma aletleri, sevk salyangozları, kesme takımlarının kesici kenarlarının dolgu kaynağı ile sert manganez çeliklerinin son kaplaması, kepçe ağızlarının ve tırnaklarının son pasolarının kaynağında ve yüksek aşınma dayanıklılığı istenen diğer işlerde kullanılır. FOX DUR 600 bazık tipte kalın örtülü, Cr-Si alaşımlı çok sert bir dolgu kaynağı elektrotudur. Sünekliği yüksek olduğundan darbeli zorlama gören parçalarda bile çatlama yapmaz. Kaynak ancak taşlanarak işlenebilir. Elektrotlar kullanılmadan önce 300°C’de 2 saat kurutulmalıdır [28].

Üçüncü tabaka son tabaka BOEHLER FOX LEDURIT 60 veya muadili 4 mm çapında çelik elektrot ile, D.C. pozitif kutup veya A.C. ile akım 140-170 amper arasında dolgu kaynağı yapılmalıdır. Silindirik ve küresel basınçlı kap yapımı, yüksek kaliteli çelik konstrüksiyon, kazan, köprü, vagon basınçlı boru ve ray kaynakları ile çelik dökümlerin, kalın parçaların, dinamik zorlanma gören birleştirmelerin, yüksek karbonlu çelikler ile az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılır [29]. Kazma pabucunun kaynağında kullanılması öngörülen çelik elektrotların kimyasal bileşenleri Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Kazma pabucunun kaynağında kullanılması öngörülen elektrotların kimyasal bileşenleri [27]

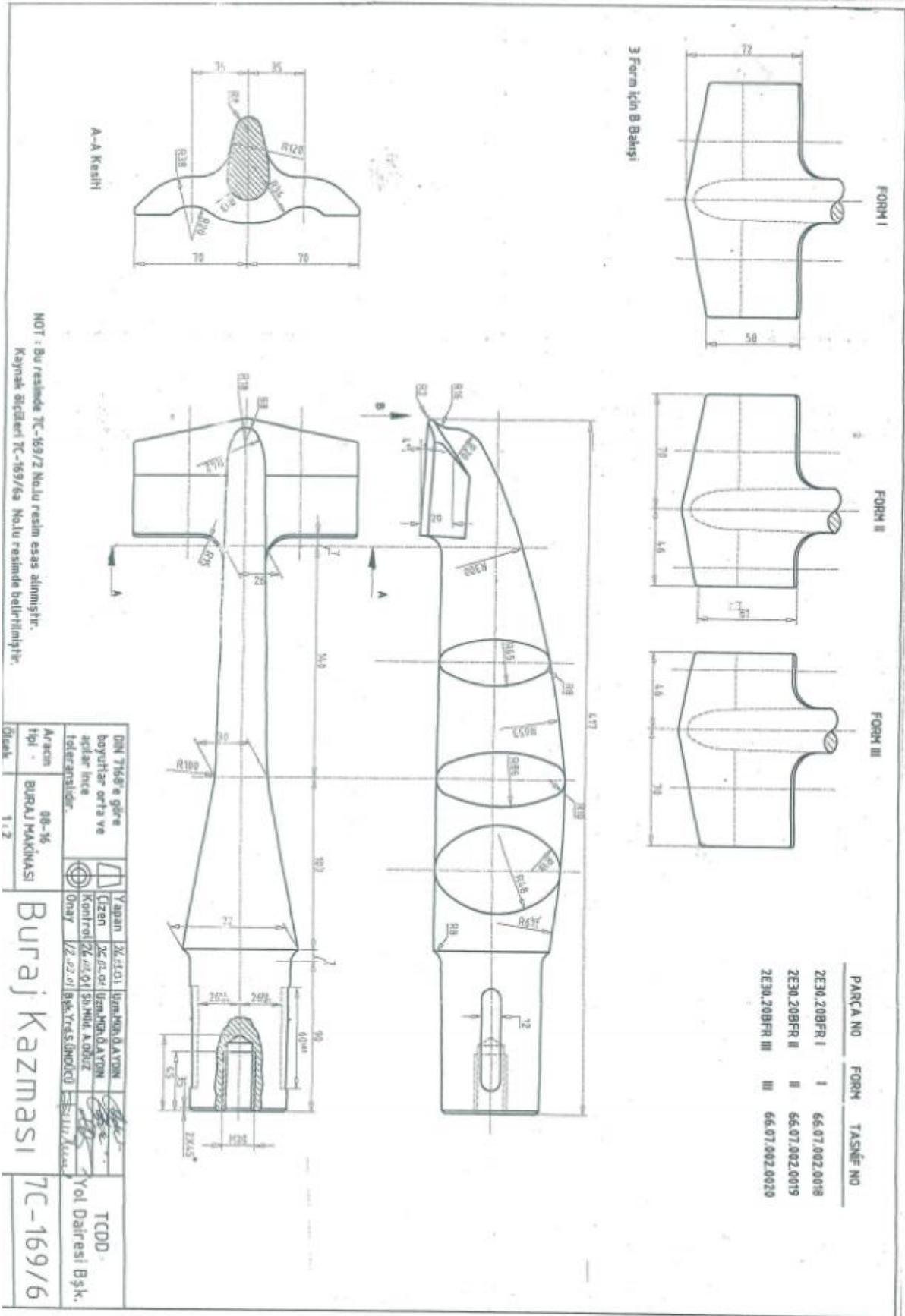
BOEHLER	Kimyasal Analiz [ %]					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
1.Tabaka ( FOX A7)	0,15	1,1	6	18	8,5	-
2.Tabaka ( FOX DUR 600)	0,5	2,5	0,4	9	-	-
3.Tabaka (FOX LEDURİT 60)	3,4	1	02	33	-	-

### **5.3 Deney numunesinin hazırlanması ve montajı**

Buraj kazmaları silindirik şekilde 233 mm uzunluğunda ve 90 mm çapında yaklaşık 12 kg. ağırlığında olmak üzere AISI 1350, AISI 1040 ve AISI 4140 çelik malzemelerden numune olarak hazırlandı.

#### **5.3.1 Buraj kazmasının şekillendirilmesi**

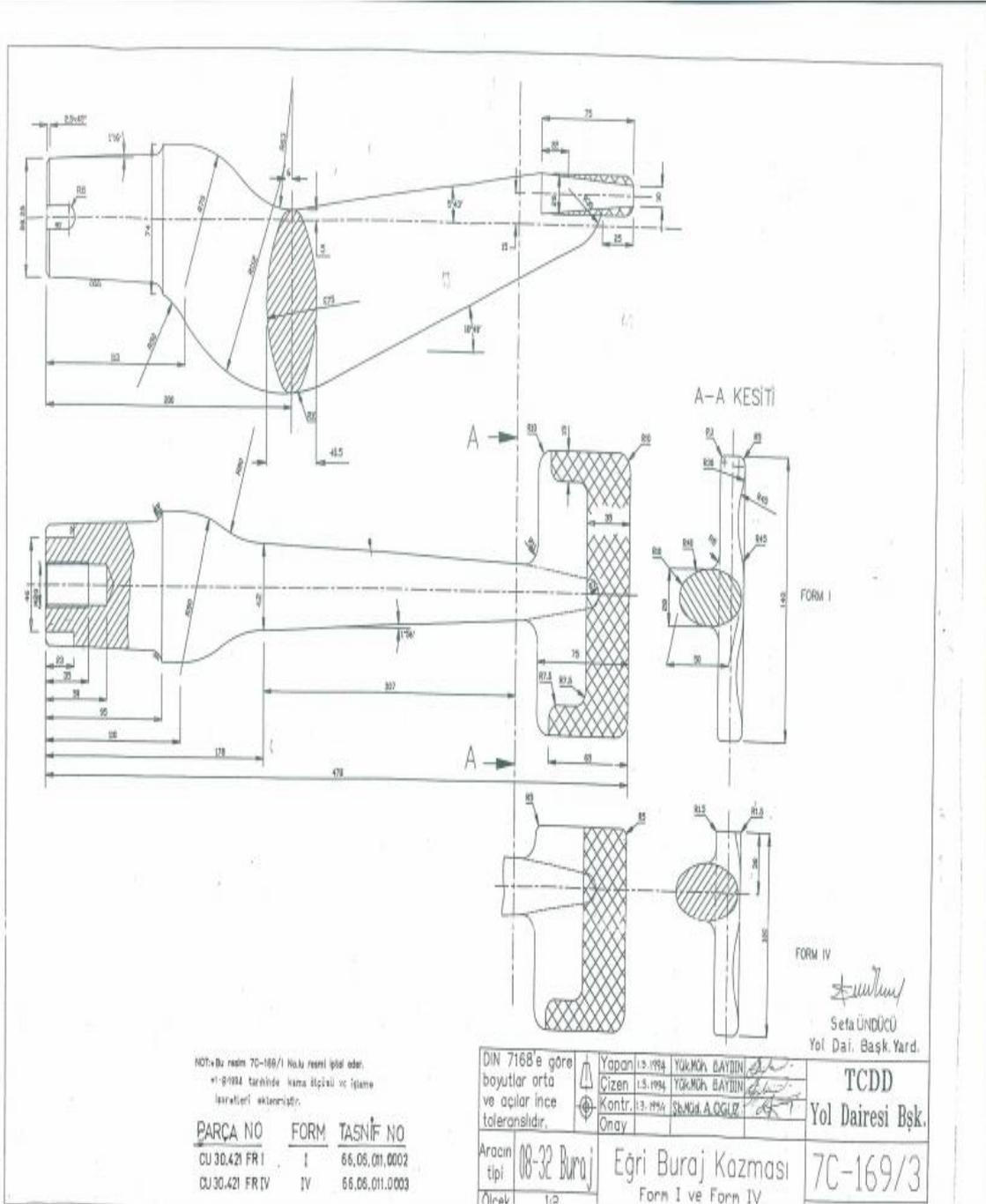
Hazırlanan numuneler sıcak plastik şekillendirme işlemi için imalat atölyesine getirildi. Numuneler 700°C nin üzerinde fırınlara konularak ısıtıldı. İlk önce 500 kg.'lık şahmerdanlar kullanılarak serbest dövme yöntemi ile yarı mamul halde belirli bir ölçüye kadar şekillendirme yapıldı ve ortası yassı hale getirildi. Sonrasında kapalı kalıp içinde çapaklı dövme işlemine geçildi. Yarı mamul numuneler iç boşlukları numunelerin alacağı şekle ve ölçülere uygun olarak hazırlanan kapalı kalıpla çapaklı dövme uygulandı. Bu işlem sırasında numuneler kalıbın şeklini aldılar. Böylece numuneler son kullanım ölçülerine getirildiler (Şekil5.1). Sonra sıcak numunelerin çapakları, sıcak kesme kalıbı ile alınarak istenen boyuta getirildiler. Daha sonra da numuneler açık ortamda (havada) soğumaya bırakıldılar. Buraj kazmalarının tüm yüzeyine uygulanan bu işlemler iki saat sürdü. Böylece buraj kazmaları Şekil 5.1'de verilen ölçülerde üretilmiş oldular. Müteakibinde buraj kazmalarının pabuç kısımlarının yüzeyleri sert dolgu kaynağı ile kaplandı ve kazmaların bazı kısımlarından talaş alınarak şekillendirme tamamlandı.



Şekil 5.1 Buraj Makinesi Kazmalarının teknik resimleri [30].

### 5.3.2 Buraj kazmasının kaynak edilmesi

İmalat aşaması tamamlanan buraj kazmaları Şekil 5.2’ de detayları verilmiş olan pabuç kısmına kaynakla yüzey kaplama işlemi 3 ayrı kaynak elektrotu ile 3 tabaka halinde elektrot kaynağı yapılarak uygulandı. Çizelge 5.5’de kullanılan çelik elektrotların kimyasal bileşenleri verilmiştir. Kaynak öncesi 200 – 300°C kadar ön ısıtma yapılabilir, fakat şart değildir [30]. Bu nedenle de bu çalışmada ön ısıtma uygulanmamıştır.



Şekil 5.2 Kaynakla doldurulacak pabuçların teknik resmi [27]=

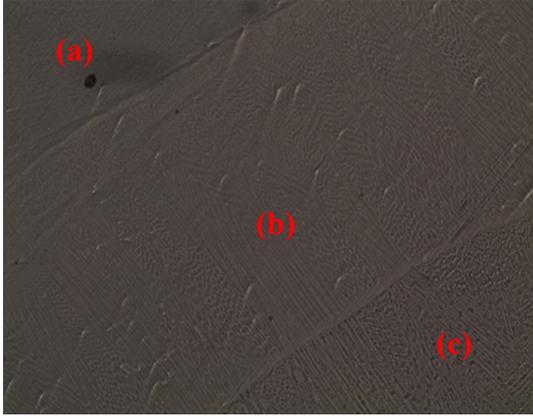
Çizelge 5.5 Kazma pabucunun kaynağında kullanılan elektrotların kimyasal bileşenleri [31]

	Kimyasal Analiz [ %]					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
1.Tabaka (AS P-308 Mn)	0,1	0,5	6	18	9	-
2.Tabaka (AS SD-60)	0,4	0,4	0,5	6	-	0,6
3.Tabaka (AS SD-ABRA Cr)	4,5	-	-	33	-	-

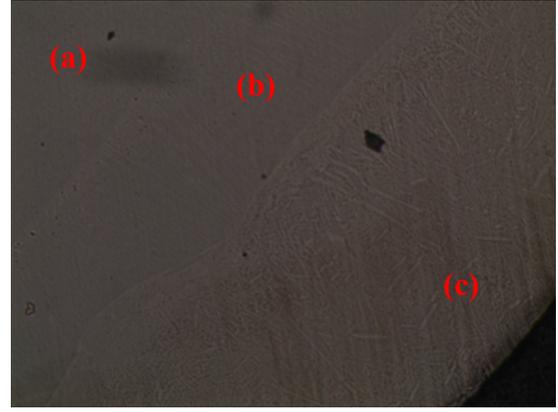
Her ne kadar şartnamede 5.2.2 başlığı altında verilen elektrotların kullanılması önerilmekte ise de bu çalışmada yerli imalatı desteklemek için yerli ürün tercihine gidilmiştir. Tercih edilen yerli elektrotlar (Çizelge 5.5) Çizelge 5.4’de verilen elektrotların muadilidir. Bunu ilgili çizelgelerden görmek mümkündür.

Kaynak üç tabaka şeklinde üst üste uygulandı ve buna ait SEM görüntüleri Şekil 5.3’de, sertlik değerleri Çizelge 5.6’da verildi. Yapılan her tabaka kaynakta elektrotlar kaynak makinesinin D.C. pozitif kutbuna bağlandı. Birinci tabaka kaynak, 3.25 mm çapında AS P-308 Mn’lı çelik elektrot ve 100-140 amper şiddetinde akım kullanılarak tampon kaynağı ardından ikinci tabaka kaynak, 4 mm çapında AS SD-60 çelik elektrot ve 130-140 amper şiddetinde akım kullanılarak sert dolgu kaynağı ve daha sonra üçüncü tabaka kaynak, 4 mm çapında AS SD-ABRA Cr’lu çelik elektrot ve 120-190 amper şiddetinde akım kullanılarak sert dolgu kaynağı olarak yapıldı [31].

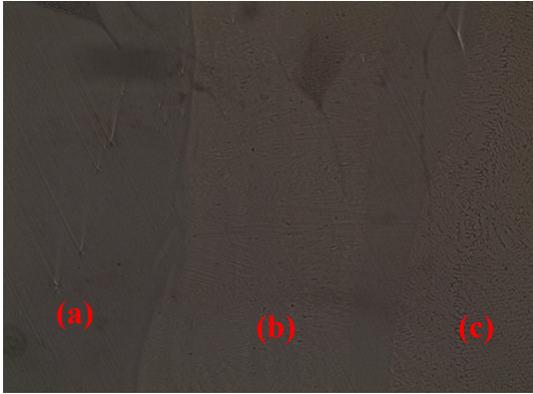
Kazmalar aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki kaynak bölgelerinin SEM görüntüleri Şekil 5.4’de, sertlik değerleri Çizelge 5.7’de verildi. SEM görüntüleri incelendiğinde, özellikle aşınmaya maruz kalan kaynak bölgesindeki üçüncü tabakanın aşınmadan dolayı tamamen kaybolduğu görüldü (Şekil 5.4).



AISI 1040



AISI 4140



AISI 1350

- (a) 1. Kaynak bölgesi
- (b) 2. Kaynak bölgesi
- (c) 3. Kaynak bölgesi

Şekil 5.3 Buraj Kazmasının aşınma deneyine başlamadan önceki kaynaklı bölgeleri

Çizelge 5.6 Kaynak bölgelerinin aşınma deneyinden önceki sertlik değerleri

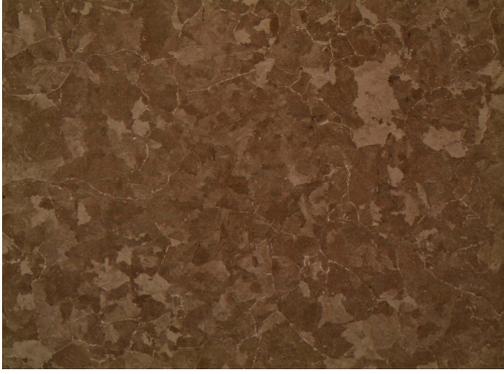
	HV	HRC	HV	HRC	HV	HRC
<b>Önceki</b>	<b>1040</b>	<b>1040</b>	<b>1350</b>	<b>1350</b>	<b>4140</b>	<b>4140</b>
<b>3. Kaynak B.</b>	510	49.8	567	53.1	550	52.3
<b>2. Kaynak B.</b>	462	46	491	48.50	458	46.00
<b>1. Kaynak B.</b>	448	45.10	397	40.95	421	40.27
<b>ITAB B.</b>	297	29.3	297	29.30	288	28.00
<b>Ana Malzeme</b>	194	9,5	245	14,4	263	24.50



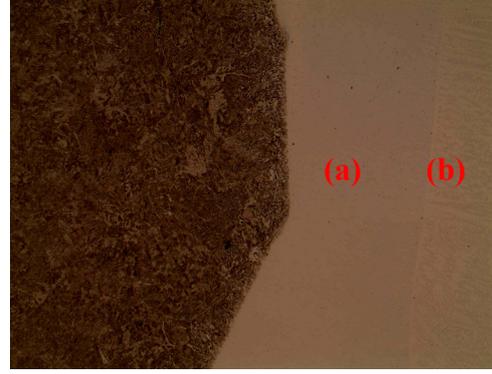
AISI 4140 Ana malzeme



AISI 4140 Kaynak bölgesi



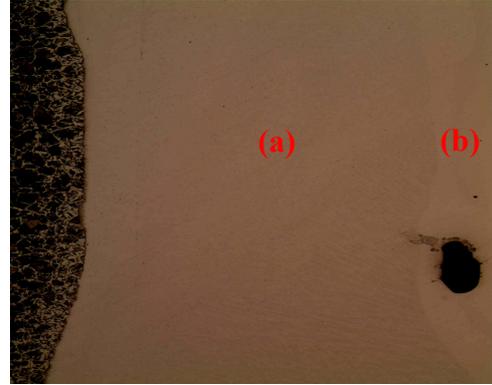
AISI 1350 Ana malzeme



AISI 1350 Kaynak bölgesi



AISI 1040 Ana malzeme



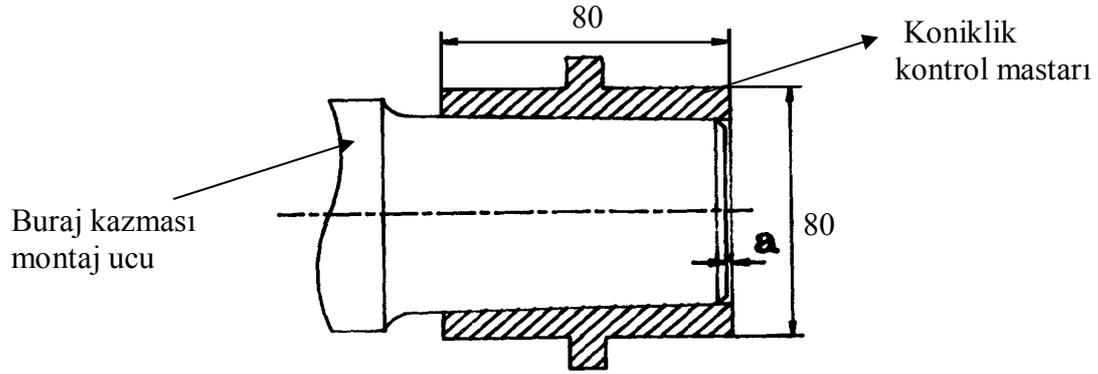
AISI 1040 Kaynak bölgesi

Şekil 5.4 Buraj Kazmasının aşınma deneyinden sonraki kaynaklı bölgeleri

Çizelge 5.7 Kaynak bölgelerinin aşınma deneyinden sonraki sertlik değerleri

Sonraki	HV	HRC	HV	HRC	HV	HRC
<b>2. Kaynak B</b>	481	47.90	493	48.60	486	48.10
<b>1. Kaynak B.</b>	391	39.75	395	40.3	423	43.00
<b>ITAB B.</b>	287	27.70	295	29.10	335	33.80
<b>Ana Malzeme</b>	189	8.20	286	28.00	286	26.40

Kaynak işlemleri tamamlanan buraj kazmalarının talaşlı imalat kısmına geçildi. Teknik resme uygun olarak torna ve freze işlemleri yapıldı. Bu şekilde imal edilen tüm kazmaların konikleri “a” ölçüsü 0 – 1,5 mm aralığında olacak şekilde Şekil 5.5 te belirtilen masterlarla kontrol edildi [30]. Tüm işlemleri tamamlanmış numunenin resmi Şekil 5.6’da verildi.



Şekil 5.5 Masterla buraj kazmasının konikliğini kontrol edilmesi [30]



Şekil 5.6 Buraj kazmasının agrega sistemine montajdan önceki görüntüsü

Deney numunelerinin hazırlama işleminin tamamı SİVAS TÜDEMSAŞ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ'nde gerçekleştirildi. İmalatı tamamlanan 3 ayrı malzemeden oluşan buraj kazmaları TÜDEMSAŞ dan alındı. TCDD envanterine kayıtlı Y08-14 tasnif numaralı buraj makinesi agrega sistemi dış kovanlarına montajı yapıldı. Montaj aşamaları Şekil 5.7 de verildi.



(a) kovan



(b) Buraj kazmasının yerine takılıp sabitlenmesi



(c) Montajın son hali

Şekil 5.7 Buraj kazmasının montaj aşamaları

#### 5.4 Aşınma Deneyin Yapılışı

Buraj kazmaları olarak hazırlanan numuneler, deney çalışması süresince her aşamada TEM marka EG 30 model 1999 yapımı ve 10 gr hassasiyete sahip terazide tartılmışlardır. Agregada sisteminde, kazmalara uygulanan vibrasyonun her hareketinin kayıt edildiği bir sayaç mevcuttur. Bu sayaç kazmaların kaç kez karşı eleman vazifesi gören kireç veya bazalt taşı yığınının içerisine girip çıktığını saymaktadır. Dolayısıyla bu sayaç değeri kıyaslamada kullanılmak üzere kayıt altına alındı. Bu yüzden kazmalar takıldıktan sonra ilk sayaç değeri okunarak kayıt edildi. Daha sonra belirli aralıklarla numuneler sökülerek tartıldı. İlk ölçüm değerinden bu yeni okunan değer çıkarılarak ilk aşınma farkı bulundu. Numunelerin her sökülüp takılması işleminde resimleri çekildi. Örnek olarak vibrasyon değeri 60 000 ve 120 000 iken her üç çelikten yapılmış numunelerin makro fotoğrafları Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da verildi.

İmalatı yapılan malzemelerin takılı olduğu Buraj Makineleri günlük fiili olarak 1-3 saat arasında çalışmakta ve saatte ortalama 500 m yolun burajını yapmaktadır. Deneyde kullanılan buraj kazmalarının yuvalarından sökülüp takılması ortalama 20 dakika sürmektedir.



(a) AISI 1040



(b) AISI 1350



(c) AISI 4140

Şekil 5.8 Buraj kazmalarının 60.000 defa vibrasyonundan sonraki pabuçların görüntüsü



(a) AISI 1040



(b) AISI 1350



(c) AISI 4140

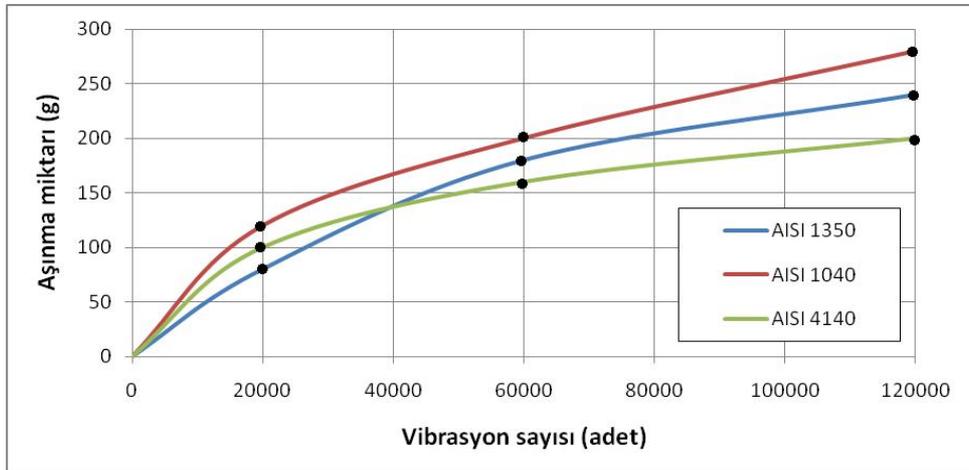
Şekil 5.9 Buraj kazmasının 120.000 defa vibrasyonundan sonraki pabuçların görüntüsü

Bu işlemlerin sonucunda Çizelge 5.8'da verilen aşınma değerleri bulundu.

Çizelge 5.8 Vibrasyon sayacına göre ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Vibrasyon Sayısı (adet)	Aşınma miktarları (gr)		
		AISI 1040	AISI 1350	AISI 4140
1	20 000	120	100	100
2	60 000	200	180	160
3	120 000	280	240	200
Performans		% 86	% 100	% 120

Bu verilere dayanılarak vibrasyon sayısı aşınma miktarı grafiği her üç çelik için tek bir grafikte verilmiştir (Şekil 5.10). Aşınma grafiği incelendiğinde AISI 1350 ve AISI 1040 çelikleri birbirine göre yaklaşık aşınma değeri gösterirken en iyi aşınma performansı sergileyen AISI 4140 çeliği olmuştur. Başka bir yaklaşımla, AISI 1350 çeliğinin gösterdiği aşınma dayanımına %100 performans değerini verecek olursak, AISI 1040 çeliği bu değere % 86 oranında yaklaşırken, AISI 4140 çeliği % 120 gibi oldukça yüksek bir performans sergilemiştir (Çizelge 5.7).

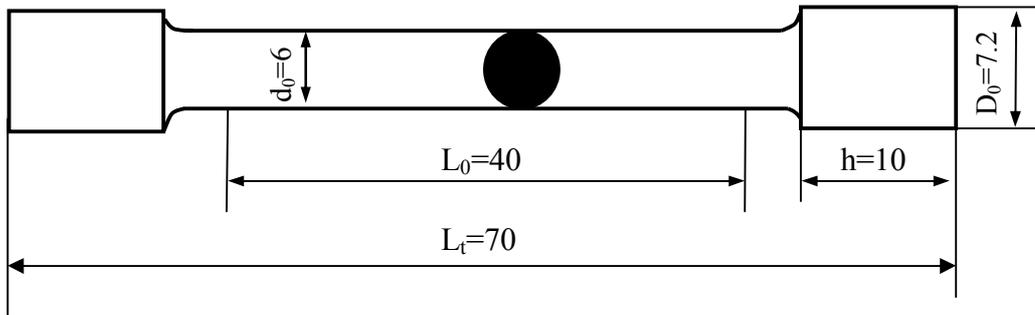


Şekil 5.10 Aşınma grafiği

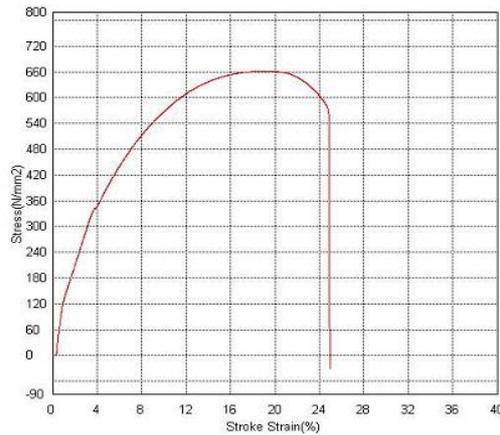
Buraj kazmalarının imalatı sıcak plastik şekillendirme ile gerçekleştiğinden deney sonucunda buraj kazmalarından çekme ve çentik deneyleri için ayrı ayrı numuneler hazırlanmış malzemenin önceki ve sonrası dayanımları ile ilgili kıyaslama yapılması amaçlanmıştır.

## 5.5 Mekanik deneyler için Numunenin Hazırlanması

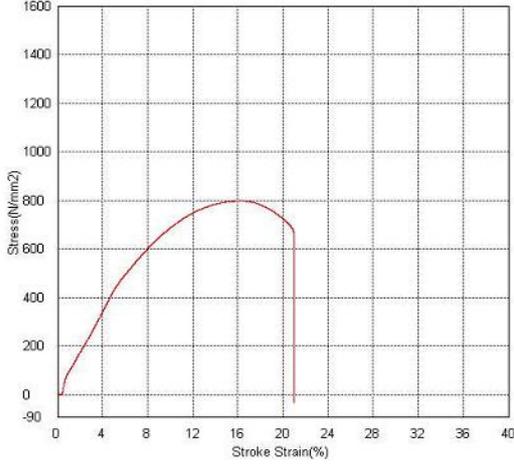
Çekme deneyi Cumhuriyet Üniversitesinde Makine Mühendisliği mekanik laboratuvarında yapıldı. Çekme deneyi için SHIMADSU marka ve AG-X model cihaz kullanıldı. Deneyin tamamlanmasının ardından kazmalardan numuneler Şekil 5.11 deki gibi tornalama ile DIN normuna uygun imal edildi. Çekme deneyine tabi tutulan numunelere ait gerilme-uzama diyagramları Şekil 5.12-a, b ve c’de verildi. Daha sonra bu grafiklerden akma gerilmeleri tespit edildi. Akma gerilmesinin belirlenmesi için, % 0,2'lik uzama noktasından gerilim-uzama eğrisinin elastik bölgesine paralel bir çizgi çizildi ve çizginin eğriyi kestiği noktaya karşılık gelen gerilme değeri malzemenin akma gerilmesi olarak alındı [32]. Bu işlem her bir numune için deney tekrar sayısı kadar (iki defa) tekrarlandı ve bu iki değer ortalama alınarak akma gerilmeleri tespit edildi. Bu şekilde sonuçlar elde edilerek Çizelge 5.8’da plastik şekillendirme öncesi ve sonrası durumlar karşılaştırmalı olarak verildi.



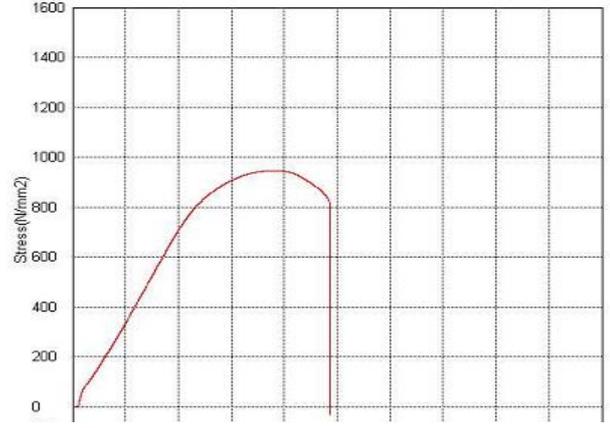
Şekil 5.11 Yuvarlak kesitli çekme deneyi numunesi



a) AISI 1040



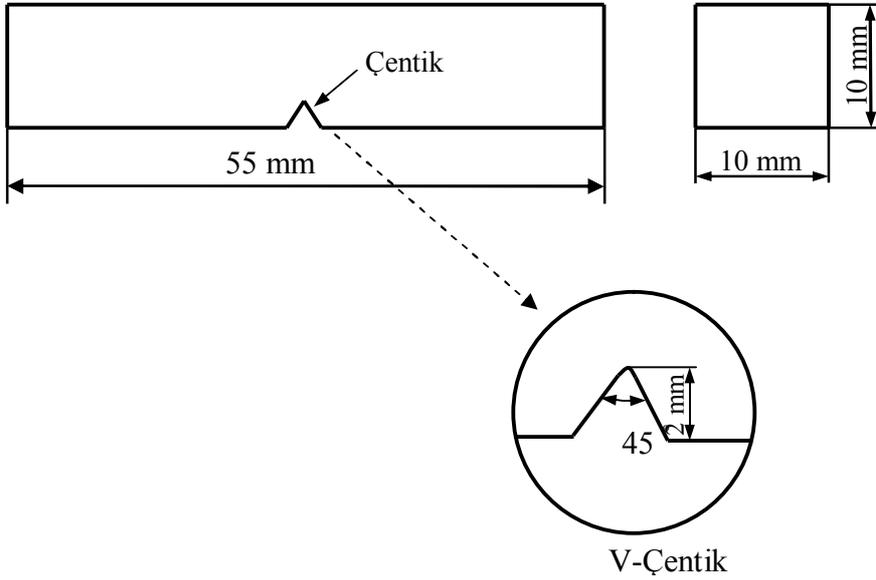
b) AISI 1350



b) AISI 4140

Şekil 5.12. Numunelere ait gerilme-uzama diyagramları

Çentik darbe deneyi Cumhuriyet Üniversitesinde yapıldı. Çentik darbe deneyi için BROOKS marka ve MAT 21 model cihaz kullanıldı. Deneyin tamamlanmasının ardından kazmalardan numuneler Şekil 5.13 deki gibi tornalama ile DIN normuna uygun imal edildi. Çizelge 5.9’da plastik şekillendirme öncesi ve sonrası durumlar karşılaştırmalı olarak verildi.



Şekil 5.13 Çentik darbe deney numunesi şematik gösterimi

Çizelge 5.9 Deneyde kullanılan numunelerin mekanik özelliklerinin kıyaslanması

Malzeme	Plastik şekillendirmeden önceki veriler					Plastik şekillendirmeden sonraki veriler				
	Akma sınırı N/mm <sup>2</sup>	Çekme dayanımı N/mm <sup>2</sup>	Kopma dayanımı N/mm <sup>2</sup>	Kopma uzaması %	Çentik darbe dayanımı kgm/cm <sup>2</sup>	Akma sınırı N/mm <sup>2</sup>	Çekme dayanımı N/mm <sup>2</sup>	Kopma dayanımı N/mm <sup>2</sup>	Kopma uzaması %	Çentik darbe dayanımı kgm/cm <sup>2</sup>
AISI 1040	330-420	518	600-800	16-20	6	510	665	530	8	12
AISI 1350	1050	---	1200-1350	6	----	670	804	664	9	8,5
AISI 4140	550-900	1091	800-1300	10-14	-	860	951,4	835	10,3	10,5

Çizelge 5.9 daki değerleri yorumlayacak olursak deney için kullanılan numunelerin plastik şekil değiştirme işlemi doğrultusuna dik doğrultuda alındığından kaynaklanabileceği gibi imalat aşamasında, ön ısıtmadan dolayı 2.Yeniden kristalleşme oluşmuş olabileceği bu durumda malzemenin mukavemet değerlerinin düşmesinin olağan olduğunu gösterir ayrıca imalat aşamalarının sonucunda havada soğumaya bırakılan malzeme hızlı soğumada gerçekleşmişse bu durumda malzemenin sertliğini artıracığından mukavemet değerlerini düşürdüğü düşünülmektedir.

### 5.6 Maliyet

Buraj kazmasının 1 âdetinin TCDD'ye 2010 yılı maliyeti KDV hariç 264,25 TL (182,24 dolar, 135,51 Euro) dir. TCDD'de bir yılda ortalama 1500 adet buraj kazması kullanılmaktadır. Bir buraj kazmasının ortalama kullanım süresi 6 aydır. Fakat bu deney sonucu görülüyor ki buraj kazmalarının kaynakla doldurulan pabuç kısımlarına uygun elektrotlar seçildiği takdirde ömrü yaklaşık 12 aya çıkmaktadır. Bu durum da maliyeti yarı yarıya düşürmektedir. Bir buraj kazmasının ortalama 12 kg malzemedan imal edildiği ve AISI 1040 çeliğinin, AISI 1350 çeliğinden daha ucuz olduğu (Çizelge 5.10) düşünülürse, maliyetlerin ne kadar azalacağı anlaşılacaktır.

Çizelge 5.10 Deneylerde kullanılan çeliklerin piyasa fiyatları (MKE, 2010 yılı fiyatları)

Malzeme	Fiyat (TL/kg)	Buraj Kazması Malzemesi (12 kg)		
		TL	ABD Doları (\$)	Euro (€)
AISI 1040	1,89	22,68	15,64	11,63
AISI 1350	2,51	30,12	20,77	15,45
AISI 4140	2.99	35,88	24,74	18,40

## 5.7 Sonuçlar

AISI 1040, AISI 1350 ve AISI 4140 çeliklerinden imal edilmiş olan buraj kazma numunelerinin aşınma deneyleri bizzat çalışma ortamında yapılmıştır. Çizelge 5.2 de verilen deneylerde kullanılacak çeliklerin mekanik özelliklerine göre her 3 malzemenin de çalışma esnasında aşınma haricinde kırılma, eğilme, kopma gibi herhangi bir hasarla karşılaşmadığı görülmüştür. Yine bu çalışma sırasında gözlemlenen vibrasyon değerleri (adet olarak) ve numunelerin ağırlık kayıpları izelge 5.8'de verilmiştir. Mevcut kazmaların imalatında kullanılan, piyasada bulunmayan ve kopma dayanımı çok yüksek olan AISI 1350 (izelge 5.2) eliği gibi bir malzemenin kullanımına gerek olmadığı, AISI 1350 eliğinin yerine her ne kadar aşınma performansında %86 gibi yaklaşan bir değer çıksa da papuç kısmının kaynak yapılmış bölgesinin hala aşınmamış olması ve maliyetinden dolayı kopma dayanımı düşük bir malzeme olan AISI 1040 eliğinin kullanılabilceğinin uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Son olarak da AISI 1040 eliği, AISI 1350 çeliğinden daha yumuşak bir malzeme olduğundan agregaya sökme takma işleminde kovan yuvasının bozulma zamanını da olumlu yönde etkileyecektir.

## 5.8 neriler

Farklı malzemelerde seçilerek aynı çalışma yapılacağı gibi titreşimli yorulma çalışması, plastik şekillendirme yapılmadan önce ve sonra, ayrıca gerçek çalışma yapıldıktan sonra olmak üzere numunelerden çekme, basma, çentik darbe ve titreşimli yorulma deneylerinin yapılması daha iyi bir sonuç verebileceği düşünülmektedir. Aynı şekilde buraj kazmalarının papuç kısımları değişik kaplama ve yüzey sertleştirme yöntemleri ile işlenerek de benzer çalışmalar yapılabilir. Diğer bir hususta, gerçek ortamda yapılan çalışmadan önce ve sonra buraj kazmalarının kesitlerinden SEM görüntülerinin ve EDX analizlerinin alınmasında, ayrıca aşınma yüzeylerinden SEM görüntülerinin alınmasında konuya daha fazla katkı sağlayacağı umulmaktadır.

## KAYNAKÇA

- [1] Ay İrfan. , (2004), “Hasar Analizi (Yüksek lisans-Doktora ders notları)”, Balıkesir
- [2] Meslekî Yeterlik Kurumu (2009), Ulusal Meslek Standardı, Panel Sistem Demiryolu Ustası, Seviye 4
- [3] Miura, S., Takai H, Uchida M., Fukada Y., (1998) “The Mechanism of Railway Tracks, Japan Railway & Transport Review (JRTR)”, 15, March, pp. 38-45, Tokyo, Japan
- [4] Güler Hakan, Jovanovic Stislav, Demiryollarında Hız Yükseltilmesi Amacıyla Gerekli Ön Çalışmalar
- [5] MEGEP, (2008), Raylı Sistemler Teknolojisi, Ankara
- [6] Tarhan R., Akpınar B., (2005), Şehir İçi Raylı Sistemlerde Deformasyon Ölçmeleri, İstanbul
- [7] Plasser Duomatic 09-32 csm Buraj Makinesi Kullanma kılavuzu, (1981)
- [8] Unomatic 08-16 Buraj makinesi Hizmet Talimatnamesi, (1983)
- [9 ] Başaran, B., 2001; “Helisel Dili Çarklarda Pitting Oluumunun Denetsel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [10] Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 7 No:1, (2010), 119-129
- [11 ] Selçuk B, Malzeme Ders Notları, (2010)
- [12 ] Selçuk B, Kayalı E. S., Çimenoğlu, H., PŞV. Ders Notları, (2010)
- [13] Akata H. E. (1987), ‘Çeliğin Dövülmesinde Kuvvet ve Malzeme Akışına Etkiyen Faktörlerin İncelenmesi’, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [14] <http://151820051104.tr.gg/Plastik-%26%23350%3Bekil-Verme.htm>
- [15] <http://www.scribd.com/doc/41341816/p%C5%9Fv>
- [16] Anık Selahattin, Dikicioğlu Adnan, Vural Murat, (2006), İmal usülleri,BirsenYayınevi, İTÜ İstanbul
- [17] Çapan L.,(1999), “Metallere Plastik Şekil Verme”, Çağlayan Kitabevi
- [18] Selçuk, B., (1994) ,“Borlanmış AISI 1020 ve AISI 5115 Çeliklerinin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Erciyes Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Kayseri
- [19] [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/3f177670f815fc1\\_ek.pdf?dergi=1059](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/3f177670f815fc1_ek.pdf?dergi=1059)
- [20] İpek, R, (1992), “AISI 1020 çeliğinin, Yüzey Sertleştirme İşlemleri Uygulanarak AISI 5155 Çeliğinin Yerine Kullanabilirliğinin Deneysel Araştırılması”, E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Kayseri

- [21] Akbulut. H., (2006-2007), Malzeme ve Metalurji Ders Notları, Sakarya Ü
- [22] Yrd. Doç. Dr. Atilla Evcin Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Kaplama Teknikleri Ders Notları, 2006
- [23] Onaran, Kaşif, (1985), “Malzeme Bilgisi”, İtü, Çağlayan Basımevi, İstanbul
- [24] Akbulut. H., (2006), Metalurji ve Malzeme Ders Notları, Sakarya Ü
- [25] MKE Çelik Türleri kataloğu, (1978)
- [26] Klueh R.L., Alexander D.J. (1999),” Effect of Heat Treatment and Irradiation Temperature On Impact Properties of Cr-W-V Ferritic Steels”, Journal of Nuclear Materials, Volume 265, Issue 3, 1 March, Pages 262-272
- [27] <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:IGKfzNALd9YJ:www.ensarshop.com/store/ProductDetails.aspx%3Fproductid%3D86565%26ttype%3DDetails+BOEHLER+FOX+A7&cd=5&hl=tr&ct=clnk&gl=tr>
- [28] [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4v-32P0bfA4J:www.akillifiyat.com/Ozellik/elektrodlar/bohler/en-ucuz-fox\\_dur\\_600\\_elektrod\\_320x320mm\\_100lu\\_paket-fiyati/150-1652-32204+BOEHLER+FOX+DUR+600&cd=2&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4v-32P0bfA4J:www.akillifiyat.com/Ozellik/elektrodlar/bohler/en-ucuz-fox_dur_600_elektrod_320x320mm_100lu_paket-fiyati/150-1652-32204+BOEHLER+FOX+DUR+600&cd=2&hl=tr&ct=clnk&gl=tr)
- [29] Tüdemstat Genel Müdürlüğü, 2010 ”Buraj Kazmaları Dolgu Kaynağı İşi İçin Hizmet Alımı Satın Alma Şartnamesi”
- [30] TCDD ”Buraj Kazması İmalatı İşi” Teknik şartnamesi, 2010
- [31] [http://demircim.com.tr/v2/index.php?option=com\\_content&task=view&id=99&Itemid=21](http://demircim.com.tr/v2/index.php?option=com_content&task=view&id=99&Itemid=21)
- [32] Smith W., Çeviren Kınıkoğlu N., (2001),Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Mart Matbaacılık , İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel bilgiler

Adı Soyadı Bilgehan DOĞAN  
Doğum Yeri ve Tarihi Malatya, 17/07/1980  
Medeni Hali Evli  
Yabancı Dil İngilizce  
İletişim Adresi TCDD 5.Bölge Müdürlüğü 04222124800/4401-Malatya  
E-posta Adresi bilgehan\_dogan@hotmail.com

### Eğitim ve Akademik Durumu

Lise Demiryolu Meslek Lisesi, 1997  
Lisans Fırat Üniversitesi, 2004

### İş Tecrübesi

TCDD Yol Sürveyanı, 1997-2005  
Makine Mühendisi, 2005-