

**PULLUK UÇ DEMİRLERİNDE KULLANILAN
BORLANMIŞ AISI 1050 ÇELİĞİ İLE AISI 1020
ÇELİĞİNİN AŞINMA VE BAZI MEKANİK
ÖZELLİKLER YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

Savaş ŞENAY

**PULLUK UÇ DEMİRLERİNDE KULLANILAN BORLANMIŞ AISI 1050
ÇELİĞİ İLE AISI 1020 ÇELİĞİNİN AŞINMA VE BAZI MEKANİK
ÖZELLİKLER YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI**

Savaş ŞENAY

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2013**

Savaş ŞENAY tarafından hazırlanan “PULLUK UÇ DEMİRLERİNDE KULLANILAN BORLANMIŞ AISI 1050 ÇELİĞİ İLE AISI 1020 ÇELİĞİNİN AŞINMA VE BAZI MEKANİK ÖZELLİKLER YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Refik POLAT

.....

Tez Danışmanı, Makine mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. / / 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Refik POLAT (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Hasan GÖKKAYA (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Memiş IŞIK (KBÜ)

.....

...../...../2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Savaş ŞENAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PULLUK UÇ DEMİRLERİNDE KULLANILAN BORLANMIŞ AISI 1050 ÇELİĞİ İLE AISI 1020 ÇELİĞİNİN AŞINMA VE BAZI MEKANİK ÖZELLİKLER YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Savaş ŞENAY

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Refik POLAT

Haziran 2013, 68 sayfa

Bu araştırmada birincil toprak işlemede pulluk uç demiri olarak kullanılan yüzeyi borlanmış AISI 1050 çeliği ile AISI 1020 çeliğinin yüzey sertlik, çentikli darbe dayanımları ve abrasif aşınma dayanımları incelenmiştir. Araştırmada kullanılan pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliği ile AISI 1020 çeliğinin aşınma testleri ve çentikli darbe dayanım testleri denemelerde kullanılan cihaza ve malzemeye bağlı olarak her bir deney için 3 tekerrürlü olmak üzere deney numunesi hazırlanmıştır. Aşınma deneyleri üç'er kez tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Her numunenin ilk ağırlıkları birbirinden farklı olduğundan aynı cins malzeme türü içinde karşılaştırmanın daha kolay yapılabilmesi için ağırlık kayıpları, ilk ağırlığa göre her tur sonundaki yüzde ağırlık kaybı cinsinden tanımlanmıştır. Pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliği ile AISI 1020 çeliğinin çekme, basma, kopma ve eğme

deneyleri 50 ton kapasiteli ALŞA marka üniversal çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliği ile AISI 1020 çeliğinin uygulanan çentikli darbe dayanım testleri için 300 JOULE enerjili Alşa marka darbe-çentik cihazı kullanılmıştır. Aşınma deneylerinde AISI 1020 çeliğinin aşınma dayanımı ölçümlerinde numunenin ilk ağırlığı 53,45 g iken 1000 tur sonunda numune ağırlığı 51,86 g ve 2000 tur sonunda ise 49,81 g olarak bulunmuştur. Aşınma deneyleri pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin aşınma dayanımı ölçümlerinde numunenin ilk ağırlığı 55,24 g. iken 1000 tur sonunda numune ağırlığı 54,46 g ve 2000 tur sonunda ise 53,14 g olarak tespit edilmiştir. Aşınma deney sonucunda toplam değişim % 3, 80 olarak tespit edilmiştir. AISI 1020 çeliğinde ise bu değişim % 6,81 olarak tespit edilmiştir. Çentik darbe deneyleri sonucunda pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin çentik darbe dayanımı 63,84 J olarak bulunurken AISI 1020 çeliğinin çentik darbe dayanımı 43,27 J olarak tespit edilmiştir. Çekme, basma ve kopma dayanımı deney sonucunda pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin çekme, kopma ve basma dayanımı sırasıyla 251 MPA, 251 MPA ve 958 MPA olarak bulunmuştur. Bunun yanında AISI 1020 çeliğinin çekme, kopma ve basma dayanımı sırasıyla 234 MPA, 234 MPA ve 902 MPA olarak tespit edilmiştir. Sertlik ölçüm deneyleri sonucunda pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin sertlik dayanımı 168.08 HBW olarak bulunurken AISI 1020 çeliğinin çentik darbe dayanımı 155.4 HBW olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Pulluk, uç demiri, malzeme, alaşım.

Bilim Kodu : 914.1.093

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

A COMPARISON OF THE WEAR AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE BORONIZED AISI 1050 AND AISI 1020 STEELS USED FOR PLOWSHARES

Savaş ŞENAY

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Refik POLAT

June 2013, 68 pages

In this study, the surface hardness, notched impact test and abrasive wear resistance of the surface boronized AISI 1050 and AISI 1020 without any surface boronization were investigated, which are used as a plowshare. The abrasive wear and notched impact test of the surface boronized plowshare and AISI 1020 steel without boronization were repeated for 3 times for each test. Three abrasive wear experiments were carried out and the arithmetic average of the tests were evaluated. Since the weight of each specimen is different, the weight loss is calculated based on the initial weights in terms of percentage of weight loss. The tensile, compression, fracture and bending tests of surface boronized plowshare and the AISI 1020 steel was conducted by 50 tons ALSA universal tensile test machine. For the notched impact tests of the surface boronized plowshare and AISI 1050 steel, 300 J ALSA notched-impact test machine was used. The abrasive wear tests showed

that the weight of the AISI 1020 steel was reduced from 53.45 g to 51.86 and 49.21 g after 1000 and 2000 cycles, respectively. The weight of the plowshare made of boronized AISI 1050 was decreased from 55.24 g to 54.46 and 53.14 g after 1000 and 2000 cycles. The total change was obtained as 3.8% after the abrasive wear tests, however, the change is noted as 6.81% for the AISI 1020 steel without boronization. The notched impact test results of AISI 1050 steel without boronization, which is used for plowshares, is 63.84 J, whereas, it is 43.27 J for AISI 1020 without boronization. The tension, fracture and compression strength of boronized AISI 1050, which is used for plowshare, are 251, 251 and 958 MPa, respectively, whereas, the tension, fracture and compression strength of boronized AISI 1020, which is used for plowshare, are 234, 234 and 902 MPa, respectively. The hardness of AISI 1050 and AISI 1020 steels without boronization that used for plowshare were obtained as 168.08 and 155.4 HBW, respectively.

Key Words : Plow, extreme iron, material, alloy.

Science Code : 914.1.093

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yűrűtűlmesinde ve oluőumunda ilgi ve desteęini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrűbelerinden yararlandığım, yűnlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ıőıęında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Refik POLAT'a sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tűm kalbimle teőekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. TOPRAK İŞLEME	1
BÖLÜM 2	5
AŞINMA ve AŞINMANIN ÖZELLİKLERİ	5
2.1. AŞINMA TIPLERİ	8
2.1.1. Adhezif Aşınma	9
2.1.2. Korozif Aşınma	11
2.1.3. Yorulma Aşınması	11
2.1.4. Abrazif Aşınma	12
2.2. TOPRAK İŞLEYİCİ ORGANLARDA AŞINMA.....	13
2.2.1. Toprak İşleyici Organlarda Aşınma Mekanizması.....	13
2.2.2. Aşınma Direncini Etkileyen Faktörler	15
2.2.2.1. Toprak Yapısıyla İlgili Faktörler	15
2.2.2.2. İşleyici Organa Bağlı Faktörler.....	15

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3.....	20
LİTERATÜR ÖZETİ.....	20
3.1. GENEL ANLAMDA ABRASİF AŞINMAYLA İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	20
3.1.1. Abrasif Aşınma Deney Düzenekleriyle İlgili Önceki Çalışmalar.....	23
3.2. TOPRAK İŞLEYEN UÇLARDAKİ AŞINMALARLA İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	26
3.3. METALLERDE BORLAMAYLA İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	32
 BÖLÜM 4.....	 40
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	40
4.1. AŞINMA DENEYLERİ.....	40
4.2. ÇEKME, KOPMA VE BASMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ.....	42
4.3. ÇENTİK DARBE DAYANIM DENEYLERİNİN YAPILMASI.....	43
4.4. SERTLİK ÖLÇÜM DENEYLERİNİN YAPILMASI.....	44
 BÖLÜM 5.....	 45
DENEY SONUÇLARI.....	45
5.1. AŞINMA DENEY SONUÇLARI.....	46
5.2. ÇENTİK DARBE DENEYLERİ SONUÇLARI.....	47
5.3. BAZI MEKANİK ÖZELLİKLER İLE İLGİLİ DENEY SONUÇLARI.....	48
5.4. SERTLİK DENEYLERİ SONUÇLARI.....	49
 BÖLÜM 6.....	 51
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
 KAYNAKLAR.....	 53
EK AÇIKLAMALAR A. YÜZEY ALAN GRAFİKLERİ.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Yüzeyleler arasındaki bağlantıların izafi kayma hareketi ile ayrılması	10
Şekil 3.1. Çeliklerin yapısal durumunun abrasif aşınma direnci üzerindeki etkisinin şematik gösterimi	21
Şekil 4.1. Abrasif aşınma test düzeneğinin şematik gösterimi.....	41
Şekil 4.2. Abrasif aşınma testlerinde kullanılan cihaz.....	41
Şekil 4.3. Çekme deneylerinde kullanılan 50 tonluk Alşa marka çekme cihazı.....	42
Şekil 4.4. Çentik darbe test cihazının şematik görünümü	43
Şekil 4.5. 300 JOULE enerjili Alşa marka darbe-çentik cihazı.....	43
Şekil 4.6. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı	44
Şekil 5.1. Borlanmış AISI 1050 çeliğinin iç yapı görünümü.....	45
Şekil 5.2. AISI 1020 çeliğinin iç yapı görünümü.....	45
Şekil 5.3. AISI 1020 çeliğinin aşınma deney sonuçları.....	46
Şekil 5.4. Pulluk uç demirinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin aşınma test sonuçları.....	47
Şekil 5.5. Çentik darbe dayanımı sonuçları.....	48
Şekil 5.6. Çekme, basma ve kopma dayanımı deney sonuçları	49
Şekil 5.7. Sertlik dayanım sonuçları.....	50
Şekil Ek A.1. Verilen değerlere göre Asp oranı.....	62
Şekil Ek A.2. Verilen değerlere göre alan yüzde ilişkisi grafiği.....	63
Şekil Ek A.3. Matris yapıları – yüzde alan ilişkisi grafiği.....	64
Şekil Ek A.4. Verilen değerlere göre Asp oranı.....	65
Şekil Ek A.5. Verilen değerlere göre uzunluk oranları.....	66
Şekil Ek A.6. Verilen değerlere göre alan yüzde ilişkisi grafiği.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Deney malzemelerinin % ağırlık cinsinden kimyasal bileşimleri.....	40
Çizelge 5.1. AISI 1020 çeliğinin aşınma deney sonuçları.....	46
Çizelge 5.2. Pulluk uç demirinde kullanılan Borlanmış AISI 1050 çeliğinin aşınma deney sonuçları çeliğinin aşınma test sonuçları.....	47
Çizelge 5.3. Çentik darbe dayanım deneyleri sonuçları.....	48
Çizelge 5.4. Çekme, basma ve kopma dayanımı deneyleri sonuçları.....	49
Çizelge 5.5. Çentik darbe dayanım deneyleri sonuçları.....	50

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. TOPRAK İŞLEME

Toprağın doğal olarak kendi haline bırakıldığında, insanlara yararlı olacak kültür bitkilerinden istenilen miktarda ürün elde edilmesi için yeterli değildir. Bitkilerinin yeterli gelişmeleri ve yaşayabilmeleri için toprağın yumuşak, su alma kapasitesinin ve su tutma kapasitesinin yüksek olması ve bunun yanında içinde yeterli oranda bitki besin elementlerinin bulunması zorunludur (Mutaf, 1974).

Toprak işlemenin amacı; toprak verimliliğini korumak, erozyonu azaltmak, toprak sıkışıklığını önlemek, topraktaki flora ve faunanın korunması ile çeşitliliğin korunmasını sağlamaktır (Önal, 1995; Aykas ve Önal, 1999).

Bitkisel üretim işlemlerinde toprak işleme en önemli işlemlerin başında gelir. Toprağa yapılan ilk işlem olan toprak işleme ürünün verimini ve kalitesini direkt olarak etkiler. Toprak işleme alet ve makinalarının kullanımında karşılaşılan en büyük ve önemli sorun toprağa doğrudan temas eden aktif organlarının kısa sürede aşınmalarıdır. Aşınmadan dolayı da görevlerini yapamamalarıdır. Toprak işleme alet ve makinalarının görevlerini istenildiği düzeyde yerine getirebilmeleri, aktif organlarının kalitesi ile büyük ölçüde doğru orantılıdır. Kulaklı pulluklarda en aktif olan organ toprağa ilk temas eden ve toprağı keserek kulağa ileten organ olan uç demiridir. Bundan dolayısıyla kulaklı pulluklarda en çok aşınmaya maruz kalan organ uç demiridir.

Aşınma sonucunda keskinliğini kaybeden uç demiri işlevini tam olarak yapamamasından dolayı; hem traktör çeki gücü ihtiyacını artırmakta dolaylı olarak enerji tüketiminin de artmasına yol açmakta hem de toprak içerisinde yol alırken

toprağı kesmeyerek ötelemesi ile toprak içerisinde pulluk tabanı olarak bilinen ve toprak geçirgenliğini olumsuz etkileyerek istenmeyen bir tabaka meydana getirmektedir. Toprağın aşındırıcı etkisi çok fazladır. Bu nedenle toprağa ilk olarak uç demiri vasıtasıyla temas eden kulaklı pulluklar mekanik etkileşimlerden meydana gelen aşınma ve kimyasal reaksiyonlardan dolayı korozyon türü hasarlarla iş göremez hale gelerek, ülke ekonomileri açısından büyük kayıplara yol açmaktadırlar.

Tarımsal üretimde toprak işleme mekanik bir işlemdir ve tarımda en eski uygulama olarak bilinir. Birincil toprak işleme aletlerinden biri olan kulaklı pulluk, toprak işlemenin en eski ve en temel aleti olarak kabul edilir (Özemer ve Kurtay, 1977; Mutaf, 1974). Kulaklı pulluklar, toprağı kesmek, kaldırmak, devirmek veya parçalamak için kullanılan ve uç demiri, kulak, taban demiri, kulak uzantısı gibi aktif ve pasif parçalardan meydana gelen bir bütündür (Mutaf, 1974). Aktif eleman olan pulluk uç demirinin asıl vazifesi de toprağı tarla yüzeyine paralel bir şekilde kesmek ve kısmi olarak kaldırarak pulluk kulağına ulaştırmaktır (Keçecioğlu ve Ulusoy, 1975).

Toprak işlemenin doğal bir sonucu olarak toprak hareketiyle, toprak parçacıklarının kendi aralarında (kohezyon), toprak parçacıkları ile aletin çalışma yüzeyi arasında(adhezyon) bir sürtünme meydana gelir. Toprak parçacıklarının kendi arasında meydana gelen sürtünmeye iç sürtünme, toprak parçacıkları ile alet yüzeyi arasında meydana gelen sürtünmeye ise dış sürtünme adı verilmektedir. Dış sürtünme toprağın, işleyici organ yüzeyinde kayması ya da yüzeye yapışması şeklinde meydana geldiğinden kayma ve yapışma sürtünmesi olarak iki türde ortaya çıkar (Gökçebay, 1986).

Parçalanma sonucunda, örneğin bir pullukla işleme anında, akışkan duruma getirilen toprak parçacıkları düz bir zemine bir borudan döküldüğünde bir koni meydana getirir. Koninin kenarının yatay zeminle yaptığı açıya doğal yığılma açısı adı verilir. Doğal yığılma açısının tanjantı toprağın iç sürtünme değerini vermektedir: Kohezyon yani iç sürtünme katsayısı, toprak nemine, toprağın strüktürüne ve toprağın tekstürüne bağlıdır. Adezyon yani dış sürtünme ise alet ile toprak parçacıkları arasındaki sürtünmedir. Dış sürtünme değeri sabit değildir. Bu nedenle sürtünen

yüzeylerin cinsine, yüzey özelliklerine, yüzeyler arasındaki oluşan basınca ve sürtünme hızına göre değişiklik gösterir (Gökçebay, 1986).

Toprak işleme esnasında meydana gelen direnç sabit değildir. Bu direnç toprağın fiziko-mekanik özelliklerine bağlı olarak değiştiği gibi, toprak işlemede kullanılan aletin yapısına ve kullanma tarzına da bağlı olarak değişiklik gösterir. Toplam çeki direncini meydana getiren dirençler ve bu dirençlerin büyüklüklerine etki eden faktörler şu şekilde sıralanabilir: toprağın cinsi, özgül ağırlığı, nemi, sürtünmesi, çizi derinliği ve genişliği, toprak işleme aletinin ilerleme hızı, pulluk keskin kenarlarının keskinlik derecesi, aletin yapısal özelliği, çeki aracı ile bağlantı ve ayar durumu.

Toprağı işleyen aktif organlarda aşınmadan oluşan ve oldukça büyük oranlarda olan malzeme kayıpları, araştırmacıları farklı malzeme ve yeni yüzey modifikasyon işlemlerini araştırma ve geliştirmeye yönlendirmektedir. Toprak ciddi bir abrasif aşındırma özelliğine sahiptir. Toprak homojen bir yapıda değildir, bulundurduğu kaya, taş, kök, gibi parçalar ile içinde çalışacak olan toprak işleme aletine darbe etkisi de uygulayabilmektedir. Bu nedenle toprağa girerek çalışacak aktif bir uçtan, aşınmaya karşı dayanıklı olabilmesi için yüksek oranda sertlik ve çarpma etkisine karşı dayanabilmesi için yüksek tokluk değerlerine sahip olması beklenir. Bunun yanında sertlik ve tokluk kavramları birbirleri ile ters orantılı olan iki özelliktir. Toprak şartlarının çok dar alanlarda dahi farklı özellikler göstererek homojen bir yapı içermemesi, çevre ve doğa şartlarının yer ve zamana göre değişiklik göstermesi, toprağı işleyen aletin aktif uçları için en uygun malzeme seçiminin elde edilmesini zorlaştırmaktadır.

Tarımsal üretimin ilk ve en önemli adımı olan toprak işlemedeki en önemli sorunlardan bir tanesi toprağı işleyen aletlerin aktif organlarındaki aşınma sorunudur. Toprak işleyen kulaklı pullukların uç demirlerindeki aşınmayı en az düzeye indirmek için çeşitli ısıtma işlem ya da yüzey kaplama teknikleri uygulanmaktadır. Dünyadaki en fazla bor madeni rezervlerine sahip olan ülkemizde yeterince bilinmeyen bir yüzey sertleştirme işlemi olan bor yayınımla yüzey sertleştirme, uygulandığı malzemelere yüksek sertlik değerleri kazandırmaktadır. Bor yayınımla sertleştirilmiş

malzemeler yüksek sertlik değerlerine sahiptir ve aynı zamanda aşınmaya karşıda oldukça dirençlidirler.

BÖLÜM 2

AŞINMA ve AŞINMANIN ÖZELLİKLERİ

Aşınma, birbirine temas eden ve birbirine göre izafi hareket yapan cisimlerden sürtünme etkisiyle meydana gelen malzeme yada kütle kaybıdır. Aşınma triboloji bilimi ile ilgili bir konudur. Aşınma olayı, genel olarak bakıldığında erozyon, adezyon, abrazyon, ve yüzey yorulması şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu şekilde sınıflandırma, aşınan yüzeye gelen yük, aşındırıcı parçacığın boyutu ve türü, temas şekli ve temas geometrisi gibi faktörler dikkate alınarak oluşturulmuştur. En üst düzeyde meydana gelen aşınma kaybı, genellikle abrazyon aşınması türlerinde karşılaşılmaktadır. Aşınma, makine elemanlarında enerji, malzeme ve zaman kayıplarına yol açarlar. Bu nedenle ülke ekonomilerini önemli ölçüde etkilediklerinden dolayı istenmeyen bir durumdur. Aşınma türleri ve mekanizmalarının çok iyi bilinmesi, aşınma kayıplarını en az düzeye indirmede önemlidir. Bunun yanında aşınan malzemeye yapılan yüzey işlemi, malzeme seçimi, ve yağlama sistemi seçimi gibi iyileştirme çabaları da geliştirilmiş olacaktır.

Yu ve Bhole (1990), Kanada ekonomisinin aşınmadan kaynaklanan yıllık 3,9 milyar dolar kaybı olduğunu ve bu miktarın yalnız abrasif aşınmadan dolayı meydana gelen kısmının yılda 2,5 milyar dolar dolaylarında olduğunu bildirmişlerdir.

Almanya'da ise abrasif aşınmadan kaynaklanan maddi zararın yıllık 5 milyar DM'dan fazla olduğu belirtilmiştir. Bu maddi değerlerin endüstriyel alanlara göre dağılımı; metalürji dallarında 2 milyar DM, linyit ve antrasit madenciliğinde 1,5 milyar DM, öğütme, ziraat, inşaat iş kollarında ise 1 milyar DM ve plastik imalat sanayinde 0.5 milyar DM olarak belirlenmiştir(Karamış, 1985; Tarhuni, 1996; San ve Kaluç, 1996).

San ve arkadaşlarının 1997 yılındaki çalışmalarında, OECD araştırma grubunca yapılan bir araştırmada, aşınmadan dolayı oluşan ekonomik kaybın A.B.D.'de Gayri Safi Milli Hasıla'nın % 2,5'ni, Almanya'da ise % 4.5'ni meydana getirdiğini belirtmişlerdir (San vd, 1997).

En genel anlamı ile aşınma, mekanik etkenler sonucu yüzeyden arzu edilmeyen bir şekilde malzemenin akışıdır şeklinde adlandırılabilir. Mekanik etkenlerden farklı olarak kimyasal ve elektrokimyasal yani korozyif etkenler de malzeme akışına neden olabilmektedirler. Mühendislik malzemelerinde meydana gelen yıpranma olayının aşınma olarak adlandırılabilmesi için şu gerek ve yeter şartları sağlaması gereklidir (Karamış, 1985);

- Mekanik bir etkinin olması,
- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- Yavaş fakat sürekli olması,
- Sürtünmenin olması (izafi hareket),
- İstenilmediği halde (isteğimiz dışında) meydana gelmesidir.

Korozyif etkenlerden dolayı meydana gelen korozyon veya korozyon yenimi; bu ana koşullardan ilk ikisini sağlamaksızın oluşur ve aşınma kavramından farklı olarak değerlendirilmelidir. Korozyon ürünleri yani korozyif etkilerle parça yüzeyinden kopan mikro tanecikler veya yüzey bölgesi değişimleri eğer tribolojik sistemin içine dahil oluyorsa bu durum aşınma kavramı kapsamında düşünülmelidir (Karamış, 1985).

Birbiriyle temas eden iki katı cismin gerçek temas alanı, görünen temas alanından küçük olmaktadır. Bunun nedeni de temas yüzeyleri her ne kadar düz işlenirse işlensin yine de yüzeyde kalan pürüzlerdir. İki farklı yüzey arasında meydana gelen ilk temas birbiriyle karşılaşan pürüzler arasında kurulurlar. Uygulanan yükün artırılması durumunda daha fazla sayıda pürüzün birbirleriyle karşılaşması sağlanacaktır. Bu nedenle zamanla deforme olan pürüzlerden kaynaklanan temas alanı zamanla büyüyecektir. Bu alanın artması, uygulanan yük miktarıyla doğru orantılı olarak malzeme özelliğine ve yüzey geometrisine de bağlı olarak değişir.

Yük; artan veya azalan bir şekilde olabildiği gibi dinamik, statik, titreşimli ve darbeli de etki edebilir (Karamış, 1985).

Aşınmayı, aşınmayı meydana getiren etkenlerin tümünü dikkate alarak incelemek zorunludur. Aşınma, tribolojik sistem olarak adlandırılan sistem bütünlüğü içinde değerlendirilmelidir. Aşınma özelliği veya direnci sistemin bir özelliğidir. Yani sertlik veya çekme direnci gibi bir malzeme özelliği değildir. Aşınma direnci, tribo sistem olarak bilinen ana cisim, karşı cisim ve ara maddeden oluşan, birbirleri ile karşılıklı temas eden bu elemanlardaki yük ile hız ve termal koşulların birleşik etkisinin sonucudur (Uetz ve Föhl, 1978).

Bir tribolojik işlem süresince sistemden dışarıya çıkan faydalı enerji, sisteme giren giriş enerjisinden küçüktür. Aradaki bu fark sürtünme enerji işine eşit durumdadır ve sürtünme enerjisi de birkaç alt dala ayrılabilir. Bu alt dalların başlıkları, küçük parçacıkların yüzeyden ayrılmasına (aşınma parçacıklarına) kullanılan kırılma veya yüzey enerjisi, plastik deformasyon için kullanılan enerji, ikincil işlemler için kullanılan enerji, mekanik titreşimlere, sese ve termal enerji için kullanılan enerjilerdir (Uetz ve Föhl, 1978).

Hurricks'de 1972 ve 1973 yıllarında yaptıkları çalışmalarında aşınma durumunda malzemelerin davranışını; gerilme seviyelerine, temas şekline, ortaya çıkan ısıya ve çevrenin doğasına bağlı olarak tarif etmiş ve bunların sonucu olarak aşınmanın bir sistem özelliği olarak araştırılması gerektiğini belirtmiştir (Hurricks, 1973; Hurricks, 1972). Bir tribolojik sistemde aşınmayı etkileyen, aşınmanın karakterini belirleyen ve gerçekleştiren beş başlangıç şartı vardır ve bunlar; ana cisim, karşı cisim, ara madde, hareket ve yük olarak tespit edilmiştir. Şayet ortamda vakum tam anlamıyla sağlanmışsa bu ana unsurların etrafında aşınma meydana gelir. Vakum ortamından söz edilmiyorsa çevre faktörünün de sistem kapsamında olup aşınmayı etkileyeceği bilinmelidir (Mutaf ve Ulusoy, 1977).

Ana cisim, aşınma davranışı araştırılan herhangi bir katı cisimdir. Karşı cisim, aşındıran eleman olup katı, sıvı, gaz fazında veya bunların karışımı halinde meydana gelebilir. Karşı cisimle ana cisim aşınma çifti olarak da tarif edilmektedir. Ara

madde, sürtünen ana ve karşıt cisimler arasında kalan ve katı, sıvı veya gaz veya bunların karışımları şeklinde bulunabilen bir sistem unsurudur. Aşınma ürünü olarak yağlama maddeleri, yüzeyden kopmuş mikro parçacıklar, kimyasal etkiyle kopmuş mikro parçacıklar ara madde olarak tanımlanabilir. Aşınma çiftlerinin birbirlerine göre yaptıkları izafi hareketin büyüklüğü, cinsi, yönü ve süresi aşınmanın cinsine ve miktarına doğrudan doğruya etki eder. Hareket; akma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma, kayma, çarpma vb. şekillerde meydana gelebilir. Sisteme uygulanan yükün de uygulanma şekli, doğrultusu, büyüklüğü ve zamana göre değişimi de aşınma miktarları üzerinde oldukça etkilidir (Bayhan, 1996).

2.1. AŞINMA TIPLERİ

Aşınmayı belirleyici ve gelişmesini etkileyici çok fazla unsurun olması, bunların tek tek veya çeşitli kombinasyonlarla beraber olaya etki edebiliyor olmalarından dolayı aşınmanın da çeşitli ana başlıklar altında sınıflandırılmasına sebep olmaktadır. Bazı araştırmacılara göre aşınma olayının sınıflandırılması; izafi hareketin şekline (yuvarlanma aşınması, kayma aşınması, titreşim aşınması gibi), aşınma mekanizmalarına (adezyon, abrazyon, yüzey yorulması, tribooksidasyon, ablatif, erozyon, korozyon, kavitasyon vb.), aşınma izinin görünüşüne (pullanma, çizilme, oyulma, kazıma vb.), karşıt cismin fiziksel durumuna ve etki açısına (katı, sıvı tanecikli ve değişik etki açılarında), aşınma ortamına (yağlı aşınma, kuru aşınma, yüksek sıcaklık metalik aşınma vb.) ve aşınmanın gerçekleştiği fiziksel mekanizmaya (adezyon, abrazyon ve oksitlenme) bağlı olarak yapılabilmektedir (San vd, 1997; Bayhan, 1996; Karamış, 1985).

Endüstriyel alanlarda en fazla karşılaşılan ve çeşitli arızaların meydana gelmesine yol açan aşınma tipleri ve bunlarla karşılaşılma oranları; abrasif aşınma %50, yenme adesif aşınma %15, (fretting) aşınması %8, erozif aşınma %8, kimyasal aşınma %5, ve diğerleri %14'dür (Misra ve Finnie, 1982).

Burada görüldüğü üzere en fazla karşılaşılan aşınma tipleri abrazif ve adhezif aşınmalardır. Hurricks'de 1972 yılında yaptığı bir çalışmada aşınmayı tanımlamada kullanılan terminolojinin anlam karmaşası meydana getirebileceğini belirtmiş ve

mühendislik alanı uygulamalarında büyük bir çoğunlukla dört ana aşınma tipiyle karşılaşılacağını belirtmiştir. Bunlar aşınma türleri; adhezif aşınma, abrazif aşınma, korozyon aşınma ve yorulma aşınmasıdır (Hurricks, 1972).

2.1.1. Adhezif Aşınma

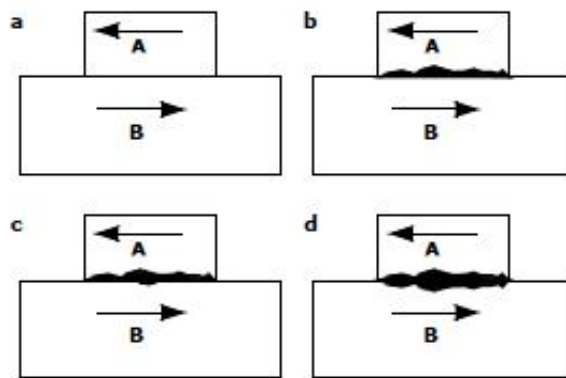
Özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan yüzeylerdeki gerilmeler küçük yüklemelerle dahi akma gerilmesi sınırına, erişirler veya geçerler. Böylece temas eden metaller arasında yapışma kuvvetleri kendini gösterir. Bu nedenle bir parçadan diğerine malzeme geçişi, soğuk kaynaklaşma ve küçük parçaların kopması olayları meydana gelir. Adhezif aşınma, en sık rastlanan aşınma türü olmasına rağmen genellikle hasarı hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhezif aşınma bir metal yüzeyinin başka bir metal yüzeyindeki bağıl hareketi sırasında birbirlerine kaynamış veya yapışmış yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkar. Eğer iki metal aynı sertlikte ise aşınma her iki yüzeyde de oluşur. Metaller arasındaki yağlamanın mükemmel olması, yüzeye etki eden yükün azaltılması ve malzemenin sertliğinin artırılması Adhezif aşınmayı azaltır. Sonuç olarak Adhezif aşınma; yüzeye etkileyen normal yük, kayma yolu ile ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır (Palalı, 2007).

Adesif aşınma veya adezyo çoğunlukla şiddetli aşınma olarak tanımlanırlar. Bu aşınma olayı genellikle birbiriyle sürtünerek çalışan iki metal yüzey arasında meydana gelir (Hurricks, 1972; Hurricks, 1973). Adesif aşınma, moleküler kuvvetlerin etkisi altındaki temas yüzeylerinde oluşan bölgesel kaynak bağlarının kırılmasından meydana gelen malzeme kaybıdır (Bayhan, 1996; Karamış, 1985).

Karşılıklı çalışan metal yüzeyleri ne kadar hassas işlenmiş olursa olsun yine de moleküler düzgünlükte olmayabilirler. Cisimlerin üst yüzeylerindeki bu pürüzlerin tepeleri birbirleriyle değdikleri anda moleküler adezyon sonucu kaynama olayını oluştururlar (Bayhan, 1996; Mutaf ve Ulusoy, 1977).

Metal malzemenin kendi ağırlığından yada herhangi bir dış kuvvet etkisinden dolayı çok küçük olan pürüz tepelerine maruz kalacak olan basınç veya gerçek gerilme, geometrik temas yüzeyine bağlı olarak hesaplanan ortalama gerilmelere nazaran çok büyük olacaktır (Bayhan, 1996; Karamış, 1985). Bundan dolayı temas noktalarında malzemenin akma sınırını aşılacak yani bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrayacaklardır (Bayhan, 1996; Mutaf ve Ulusoy, 1977; Karamış, 1985). Yüzeyde absorbe edilmiş sıvı yada gaz molekülleri ile oksit tabakaları bu basınç altında parçalanır ve malzemelerin moleküllerinin doğrudan temas haline geçmelerine olanak sağlanmış olur. Bu nedenle bölgesel kaynak bağları oluşur (Bayhan, 1996; Karamış, 1985). Bu sırada şayet izafi hareket mevcutsa yüzeydeki sıcaklık yükselerek ergime noktasına kadar ulaşabilir ve böylelikle kaynama yerinden veya metal yüzeyinden bir miktar parçacık ayrılır. Kopan metalik parçacıklar, ara yüzeyde serbest halde kalabilecekleri gibi metallere herhangi birisine de bağlanabilirler. Her iki durumda da malzeme kaybı yani aşınma oluşur, ikinci durumda ise bir malzeme diğerine malzeme aktarımı söz konusu olmaktadır (Karamış, 1985).

Birbirlerine göre izafi kayma hareketi uygulayan yüzeylerde kaynak bağlarının ayrılma durumları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Yüzeyler arasındaki bağlantıların izafi kayma hareketiyle ayrılması (Er, 2003).

Bölgesel bağlantıların kayma mukavemeti, bağlantıyı oluşturan malzemelerin kayma mukavemetinden düşükse temas halindeki yüzeyler birbirlerinden ara yüzeyde

ayrılırlar (Şekil 2.1.a). Bu durum, yüzeylerin adezyonunu azaltan oksit filmi ile kaplı olmaları durumunda meydana gelmektedir. Fakat “A” malzemesi bağlantılardan veya “B” malzemesinden daha düşük mukavemete sahipse bağlantıların ayrılması sadece “A” » malzemesinde olur (Şekil 2.1,b). Yüksek mukavemetli bölgesel bağlantılarda ise yine “A” malzemesinin düşük mukavemetinden dolayı ayrılmalar baskın olarak “A” malzemesinde meydana gelir (Şekil 2.1.c). Malzemeler aynı veya eşit özelliklerde iseler adezyondan dolayı yüksek mukavemetli bağlantılar, ara yüzeyin her iki tarafında eşit olarak ayrılırlar (Şekil 2.1.d) (San *vd*, 1997).

2.1.2. Koroziyon Aşınma

Aşınan yüzeyler, aynı zamanda koroziyon etkilerine de uğrarsa buna koroziyon aşınma denir. Kimyasal korozyon kendi başına oluşabileceği gibi diğer aşınma türleriyle birlikte meydana gelebilir. Yüzeye sıkıca yapışan filmler oluşturan kimyasal reaksiyonlar yüzey aşınmasını önler. Fakat film kırılabilir ve yüzeye gevşek ise aşınma büyük miktarda hızlanır. Çünkü sürtünme hareketi sırasında filmler çatlar ve yerinden kopar (Anonyomus, 2012).

Mekanik etkenlerle taşınmanın meydana gelmediği durumlarda, korozyon veya korozyon yenimi söz konusudur. Özellikle tüm tarım alet ve makinaların gerekli koruma önlemlerinin alınıp alınmamasına bağlı olarak az ya da çok bu tip korozyona uğramaktadır. Akdoğan ve Eker’in 2000 yılındaki araştırmalarında Önal ve arkadaşlarına dayanılarak verdikleri bilgilere göre, tarım alet ve makinalarında meydana gelen hasarlar içerisinde korozyonun etkisi % 9 ile oldukça önemli bir yer almaktadır (Akdoğan ve Eker, 2000). Aynı çalışmada aşınmadan kaynaklanan hasar oranı ise % 42.5 olarak verilmiştir.

2.1.3. Yorulma Aşınması

Birbirine yeni temas etmeye başlayan tribo-sistemlerde, yorulma kırılması tekrarlanan sürtünme çevrimlerinden sonra meydana gelir. Yüzey hasarı yorulma nedeniyle oluşmuşsa, bu aşınma yorulma aşınması olarak tarif edilir (Anonyomus, 2012). Mühendislik malzemelerinde yüzey yorulması olayı ve ardından parçacıkların

koparak aşınmaya sebep olması periyodik zorlanmalarda ve zamanla görülür (Mutaf ve Ulusoy, 1977; Karamış, 1985). Malzeme yüzeyinin periyodik bir zorlanmaya uğraması sonucunda yüzeyin altında mikro çatlak ve zayıf noktalar meydana gelir. İlk başta malzeme yüzeyinde herhangi bir değişiklik gözlenmezken belirli bir çalışma süresinden sonra malzemenin yüzeyi altındaki bu kusurlardan dolayı yüzeyden adhezif aşınmadan dolayı kopan parçacıklardan daha büyük parçacıklar ayrılarak, yüzeyde gözenekli bir görünüm oluştururlar (Mutaf ve Ulusoy, 1977). Bu aşınma tipi dişlilerde ve yuvarlanma hareketi yapan temas elemanlarında daha sıklıkla görülürler (Hurricks, 1972).

2.1.4. Abrasif Aşınma

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma; biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbiriyle temas halindeyken kayma sırasında meydana gelir. Sert parçacıkların yumuşak metale batması abrasif aşınmaya sebep olabilmektedir. Bu mekanizmaya örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma tarzı verilebilir. Abrasif aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakması sağlanır. Malzeme açısından abrasif aşınmayı azaltmak için; daha sert alaşım kullanmak, sertlik arttırmak amacıyla ısıl işlem uygulamak, malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamak, tavsiye edilir. Bu önlemlerle abrasif aşınma hızını azaltmak mümkündür. Abrasif aşınma endüstriyel cihazlarda malzeme kayıplarının başlıca sebebidir. Aşındıran malzeme serbest halde iki metal arasında bulunuyorsa veya yalnız bir metali aşındıran sabit veya serbest taneler mevcut ise bu durumda; iki elemanlı abrasif aşınma ve üç elemanlı abrasif aşınma, şeklinde gruplandırma mümkündür (Anonyomus, 2012)

Aşındırıcı sert parçacıklar ya abrasif aşınmaya ya da erozif aşınmaya sebep olurlar. Sanayii uygulamalarında en sık karşılaşılan mekanik hasarlara genelde abrasif aşınmalar sebep olmaktadır. Bu tip aşınma; madencilik uygulamalarında, toprak kazıma alet ve makinalarında, minerallerin işlenmesinde, tarım aletlerinde ve diğer

pek çok uygulamalarda meydana gelmektedir (Misra ve Finnie, 1982). Genel manada bir metal yüzeyin abrasif aşınması o yüzeyin aşındırıcı sert parçacıklarla veya kendisinden daha sert pürüzlü bir karşı metal yüzeyle bir yük etkisi altında ve birbirlerine göre zıt yönlerde yüzey boyunca kayma temasında bulunmaları durumunda yüzeyinden malzeme parçacıklarının kopması veya yer değiştirmesi şeklinde tarif edilir (Venkatesan *vd*, 1997; Axen ve Zum Gahr, 1992; Hutchings, 1992; Vijn, 1975; Khruschov, 1974).

Makine parçalarında çeşitli hasarlara neden olan ve bu nedenle üretimin durması yada aksaması, iş kalitesinin ve miktarının düşmesi, büyük oranlarda bakım-onarım, parça değiştirme ve işçilik masraflarına sebep olan abrasif aşınmayla; aşınmaya karşı dirençli malzemeler veya kaplamalar kullanmak suretiyle, dizayn değişikliği yaparak, sisteme istenmeyen sert parçacıkların girmesinin sızdırmazlık elemanlarıyla önüne geçilmesi ve sistemdeki hava ve yağlayıcıların filtrasyonu ile mücadele edilebilir (Khruschov, 1974).

2.2. TOPRAK İŞLEYİCİ ORGANLARDA AŞINMA

2.2.1. Toprak İşleyici Organlarda Aşınma Mekanizması

Tarımsal üretimde en önemli olay olan toprak işleme sürecinde kullanılan toprak işleme aletlerinin işleyici organlar, belirli bir kullanma süresi içerisinde yıpranarak ya da aşınarak yararlı kullanılabilme özelliklerini yitirirler. Tarım alet ve makinalarının işleyici organlarında oluşan yıpranma; aletin işletme şartlarına, aletin konstrüksiyonuna, toprağın yapısına ve benzeri birçok çevresel etkenlere bağlı olarak oluşurlar. Özellikle, toprakla doğrudan temas halindeki aktif parçaların aşınması, toprak içerisindeki sert cisimlerin (kaya, taş, kök vb.) aşındırıcı etkisiyle meydana gelir. İşleyici organlarda meydana gelen bu aşınma, abrasif aşınma prensibiyle meydana gelmektedir. Toprak işleme aletlerinde diğer aşınma türleri olan adesif ve kohesiv aşınma nadiren meydana gelmektedir (Karamış, 1985).

Abrasif aşınma, sert ve pürüzlü bir yüzey ile daha yumuşak bir yüzeyin karşılıklı olarak çalışması (İşleyici organ yüzeyi-toprak yüzeyi); bazen de üç cisimli (İşleyici

organ yüzeyi-kırıntılı toprak tanecikleri-toprak kütlesi) olarak oluşur. Abrasif aşınma mekanizmasının toprak içerisinde meydana gelişi şu şekildedir: Toprak içerisindeki aşındırıcı tanecikler aşınma yüzeyi ile temas halindeyken, çeşitli etkiler yapmaktadır (Palalı, 2007; Karamış, 1985). Bunlar; Sıkıştırmanın etkisiyle kanalcıklar şeklinde ve mikroskobik formda yüzeyden metal parçaların kopması halindedir. Birincisi aşınma yüzeyi ile aşındırıcı tanecikler arasında meydana gelen basıncın şiddetiyle, ikincisi ise abrasif taneciğin aşınma yüzeyine bağlı olarak hareket doğrultusu ve hızının şiddeti ile meydana gelmektedir.

Abrasif aşınma mekanizmasında, aşınma unsurlarından hareketle basınç beraber etmektedir, bu nedenle, iki etkinin birlikte meydana gelişi ve meydana geliş nedenini kesin çizgilerle ayırt etmek imkânsızdır. Bu olay aşınma mekanizmasında hareket doğrultusuna paralel ve iki bileşene ayrılabilen eğik bir kuvvet olarak tanımlanabilir (Karamış, 1985). Dikey bileşen aşındırıcı taneyi yumuşak yüzeye bastırır. Bu sırada paralel bileşen yüzeyde çizikler derin izler ve parlatma etkisi oluşturur. Abrasif tane şekli ve büyüklüğü, uygulanan yükün şiddetine ve tanelerin hızına göre abrasif aşınma mekanizması aşağıdaki şekilde meydana gelir.

- Yüksek zorlama altında aberasyon: Abrasif maddeler yüzeyden, basınç altında sürtünerek geçerken ufalanırlar. Yüzeyden metal kopması mikroskobik veya makroskobik ölçüde oluşur. Aşınmış yüzey genellikle homojen ve düzgündür.
- Oyulma ve kazınma: Kaya parçaları gibi sert, kaba ve sivri köşeli taneler metale yeterli basınçta süttükleri zaman oyuk ve kazınmış bölgeler meydana gelir. Bu yüzeyler düzgün değildirler.
- Erozyon: Abrasif maddenin korunması parça üzerinde bir miktar hareket ettiği zaman oluşan aşınma şeklidir.
- Darbe aberasyonu: Bu tür aşınmalar genellikle büyük hız veya basınçta abrasif parçalara temas eden malzemelerde meydana gelirler

2.2.2. Aşınma Direncini Etkileyen Faktörler

2.2.2.1. Toprak Yapısıyla İlgili Faktörler

Aşındırıcı tanelerin boyut ve şekli: Doğal olarak toprağın içerisinde farklı boyut ve şekillerde, çok sayıda aşındırıcı materyal bulunmaktadır. Bu aşındırıcı materyallerin boyutu ve şekli, aşınma yüzeyinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Toprak işleme alet ve ekipmanlarındaki aşınma oranı, aşındırıcı tanelerin büyüklüğüyle doğrudan ilgilidir. Bu nedenle deney malzemesinin özelliği sabit bırakılarak aşındırıcı taneciklerin ortalama çapı arttırılırsa, aşınma oranında da artış meydana gelmektedir (Palalı, 2007; Moore,1975; Karamış, 1985).

Aşındırıcı tanelerin sertliği: Aşındırıcı taneciklerin sertliği, aşınma olayında önemli faktörlerden birisidir. Toprak içerisindeki ana aşındırıcı maddeler değişik türdeki silikatlardır (Richardson, 1969). Farklı araştırma sonuçlarında da karşı maddenin cinsine göre aşınmada değişiklik tespit edilmiştir. Toprak içerisindeki sert taneciklerin büyüklüğünün ve miktarının aşınmada büyük bir etkisi vardır. Sert tanelerin ortalama çapı arttıkça buna bağlı olarak aşınma da hızlı bir şekilde artmaktadır. Sert tanelerin aralarında bağlayıcı madde olarak toprak bulunması durumunda aşınma sadece sert tanelerden oluşan aşındırma ortamına nazaran daha şiddetli olmaktadır. Karşı maddenin aşınmaya etkisi, tane çap dağılımı ve tanecik geometrisiyle tanımlanabilir. Matematiksel modellerde tanımlanmasına rağmen karşı maddenin sertliği ile malzemeye temas şekli ve sıklığı aşınmada etkili olabilmektedir (Palalı, 2007; Karamış, 1985; Kantarcı, 1969)

2.2.2.2. İşleyici Organa Bağlı Faktörler

İşleyici organın malzemesi: Toprak işleme alet ve makinelerinin kullanma süreleri içerisinde sürekli toprakla temas halinde bulunan aktif işleyici organların malzeme seçimi çok önemlidir. Bu malzemelerin seçiminde, üretim işlemlerine uygunluk; mekanik ve teknolojik özellikleri, ekonomikliği ve korozyon dayanıklılığı gibi çok farklı etkenler dikkate alınmak durumundadır. Tarım alet ve makinelerinin işleyici organların imalatında kullanılan malzemeler; şekil, miktar ve ölçü bakımından,

kolaylıkla temin edilebilir özellikte olmalıdır. Üretim işlemleri bakımından, malzemenin biçimlendirilebilme özelliği (dökülebilme, dövülebilme, soğuk ve sıcak şekillendirilme ve talaşlı işlenebilirlik), ısıt işlemlerle işlenecekse ısıt işlem yöntemi, malzeme seçimini etkileyen başlıca faktörlerdir. Bu açıdan, tarım aletlerinin işleyici organları için en uygun malzeme, sertleştirilme özelliğine sahip çeliklerdir. Çünkü çelikler, normalize halde kolaylıkla şekil verildikten sonra, ısıt işlemler uygulanarak sertleştirilir ve aşınma dirençleri arttırılabilir (Hurrics, 1973). Çelik içerisindeki karbon, aşınma direncini olumlu yönde etkiler. Bağımsız karbon yüzdesinin artmasıyla birlikte, sade karbonlu ve az katıkl çeliklerin abrasif aşınma dirençleri doğru orantılı olarak artar. Karbon miktarının artması, sade karbonlu çeliklerde perlitik yapının artmasıyla; katıkl çeliklerde ise, ince perlitik yapının martenizitin ostenit yapıya dönüştürülmesiyle aşınma direncini arttırabilir. Sertlikleri aynı ancak daha fazla karbon içeren çelikler, daha yüksek aşınma direncine sahiptirler. Bu nedenle karbon oranı ile aşınma direncinin yükselme oranı da belirli bir sertlik değeri için sabit olmaktadır. Şayet karbon ile diğer katık elemanları karşılaştırılırsa; katık elemanlarının aşınma direncine etkileri karbona göre daha az olduğu görülebilir (Moore, 1975). Türkiye’de tarım alet ve makineleri imal eden imalatçılardan pek çoğunun uygun malzeme seçmelerine rağmen malzemenin ısıt işlem kapasitesinden tam olarak yararlanamadıkları görülmektedir. Bunun nedeni, yeterli teknik bilgiye sahip olunamaması ve üretim maliyetlerini düşürerek daha çok gelir elde etme düşüncesidir (Ulusoy, 1977) (Palalı, 2007).

Toprak işleme aletleri işleyici organlarının üretiminde, % 0,32 - % 0,45 karbonlu çeliklerin kullanılması uygun olmaktadır. Bunun yanında 60 Si Mn 5 çeliğinin biçimlendirme bakımından bazı zorluklar çıkardığı için yerine su veya yağda sertleştirilebilen 38 Si 6 yay çeliğinin kullanılması daha faydalıdır. Buna karşın, alaşım elemanlarının çeliğin aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir ve çelik içinde yeterli miktarda karbon bulunmadığı durumlarda alaşım elemanlarının aşınma direncini arttırmada etkileri çok fazla değildir. Bunun yanında, alaşım elemanlarının arızalanması üretim maliyetini de arttırır (Mutaf, 1977). Pulluk uç demiri malzemesi olarak Ç 1040 çeliğinin kullanılması bu çelikte biçimlendirme güçlüğüünün bulunmamasının yanı sıra su verme ile sertleştirildiğinde darbe direncinin azaldığı görülmüştür. İşleyici organlardan istenen özelliklerin kolay ve kaliteli bir şekilde

sağlanabilmesi, malzeme seçiminde en önemli unsurdur. Buna bağlı olarak kolay şekillendirilebilen, ısıtma işlem sonucu eğilme, aşınma ve darbe dayanımı iyileşen, keskinliğini uzun süre koruyabilen, yüzeyde toprak tutuculuğu özelliği fazla olmayan, tamir edilebilir ve ekonomik değere sahip malzemeler tercih sebebi olmalıdır (Karamış, 1985) (Palalı, 2007).

İşleyici organın şekli: Tarım aletlerinde işleyici organların değişik şekillerde geliştirilmiş olması birçok amacı aynı anda sağlayan bir organ arayışından ileri gelmektedir. İşleyici organların tarihi gelişimi sürecinde hızlı köreleşmeleri, çok aşınmaları, darbeler karşısında deformasyona uğramaları, kırılmaları ve bu nedenle büyük çeki kuvvetine ihtiyaç duymaları gibi birçok nedenlerden dolayı bu organların şekillerinin de işletmecilik bakımından önemli olduğunu göstermiştir. Bu konu üzerine yapılan birçok çalışmada, farklı şekillerdeki organlarının çok değişik çeki direnci gösterdiği belirlenmiştir. İşleyici organlarda, toprağa temas eden kesit alanının artmasıyla birlikte, aşınma oranı da artmaktadır. Toprak işleme aletlerinde dikdörtgen kesitli kesme ağızlarının en fazla, üçgen ve trapez kesitli kesme ağızlarının daha az aşınmaya uğradığı, ince uzun kesici kenarları olan iş organlar doğrusal aşınma, küt ve kalın kenarlı iş aletlerinde ise, ağırlık aşınması olduğu belirlenmiştir (Richardson, 1969). Keçecioglu ve Ulusoy (1975) yaptıkları çalışmada ortaya koyduğu gibi uç demirlerinin kesici kenar profili ile keskinliğini uzun süre koruyabilmesi arasında bir takım ilişkiler mevcuttur. Kulaklı pulluk kulağının kesici kenar boyunca geriye doğru kalınlaşma ne kadar fazla olursa uç demiri o oranda hızlı köreleşmektedir. Bir başka deyişle kesici kenar kesitinde alt ve üst yüzeylerin birbirine paralele yaklaşması veya kama açısının küçük olması köreleşmeyi geciktirmektedir (Palalı, 2007)

İşleyici organın alet üzerindeki yeri: Toprak işleme alet ve makinaları, tarlanın ekime hazırlanmasında kullanılmak üzere toprakta belirli bir amacı yerine getirebilmek için geliştirilerek tasarlanmışlardır. Kulaklı yada diskli pulluk türleri toprağı aktif olarak işlerken, kültivatör, diskaro ve tırmık gibi aletler tohum yatağı hazırlamak amacıyla kullanılırlar. Toprak işleme aletlerinin toprağa giriş sırasına bağlı olarak farklı türden karşı madde basıncıyla karşılaşacağından, aşınma miktarı da farklı olmaktadır. Ekim yapılacak bir tarlaya pulluk, kültivatör ve tırmık ardı

ardına girdiğinde, aletler çok farklı toprak basıncıyla karşı karşıya kalırlar. En büyük basınç pulluğa gelirken, en düşük basınç tırmıkta meydana gelir. Bu durum, kulaklı bir pullukta en önden arkaya doğru sıralanan uç demirleri açısından ele alındığında, aynı basınç dağılımının meydana geleceği; dolayısıyla, en önden en arkaya doğru azalan bir aşınmanın oluşacağı görülür. Çeşitli malzemelerden imal edilerek farklı ısıtılma işlemlere tabi tutulmuş tırmık dişleri ve k ltivat rlerde yapılan araştırmalar sonucunda, tırmık dişleri için, i ve dış bataryalarında elde edilen aşınma kayıplarında önemli farklılıklar görülmediği belirlenmiştir. Ancak tırmık dış sırasının ise aşınma üzerinde önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir. Kullanılan bütün elik türlerinde de uygulanan ısıtılma işlem aşamalarında en baştan son sıraya doğru uzandıka, aşınma oranının azaldığı ve bu azalmanın doğrusal bir karakter gösterdiği belirlenmiştir. Aynı sonuçlar, kaz ayaklı kültivatör için de geçerli olup, arka sırada yer alan ayaklar,  n sıraya göre daha az aşınma göstermişlerdir. (Mutaf ve Ulusoy, 1977) (Palalı, 2007).

eki kuvvetinin aşınmaya etkisi: Toprağın, toprak işleme aletlerine karşı gösterdiği direnç, toprağın zerreleri arasındaki sürtünmeyi ve normal basıncı, toprakla işleyici organın arasındaki sürtünmeyi ve yer çekimini yenmek; toprak zerrelere işmelenmek için sarf edilen enerjinin karşılığı olarak oluşur ( z, 1972). Pulluklarda, eki direnci, toprak işleme alet ve makinelerinin hareketi doğrultusunda birim yüzeyine isabet eden kuvvet olarak tarif edilen özgül çeki direncinin bir fonksiyonudur. Özgül eki direnci, toprak şartlarına bağlı olarak, işleme hızı, iş genişliği, iş derinliği, uç demiri ve kulak şekli gibi birçok faktörün bir fonksiyonudur. Bir traktörün farklı toprak şartlarındaki çeki kuvveti karakteristiğinin bilinmesiyle, traktörün en iyi bir şekilde kullanılması, alet ve makinelerin en ekonomik bir şekilde işletilmesi mümkün hale gelmektedir. Traktör eki kuvvetiyle toprak işleme aletlerinin çeki direnci arasındaki farkın, olabildiğince dar sınırlar içerisinde tutulması önem arz etmektedir. Bu fark ne kadar küçük olursa, traktör o oranda iyi ve ekonomi çalıştırılmış olur (Sungur, 1974). eki kuvvetini etkileyen en önemli faktör, toprağın strüktürel yapısıdır. Toprağın yapısı değişken olmak şartıyla aynı şartlarda yapılan toprak işlemede, ağır toprakla hafif toprak arasında çeki kuvveti farkı meydana gelecektir. eki kuvvetini artmasına neden olan toprak direnci, aynı zamanda aşınmayı da arttırır. Çünkü  zg l çeki direncinin artmasıyla,

işleyici organın yüzeyine gelecek basınç da artacak ve böylelikle çeki hızına bağlı olarak aşınma da artmış olacaktır. Sonuç olarak, özgül çeki direncinin bir fonksiyonu olan çeki kuvveti arttığında buna paralel olarak ağır toprak şartlarında aşınma fazla, hafif toprak şartlarında ise daha az aşınma meydana gelecektir (Mutaf ve Ulusoy, 1977) (Palalı, 2007).

Isıl işlemlerin aşınma direncine etkileri: Malzemelerin aşınma direncini yükselten en önemli özellik sertlikleridir. Ancak aşınma direncinin arttırılabilmesi, sadece sertlik oranını arttırmakla sağlanamaz. Çalışma şartlarında iyi bir aşınma direnci yanında kırılma ve darbe dayanımı ve uzun süre şekil değiştirmeme gibi bazı özellikleri istenir. Özellikle toprak işleme aletleri, aşınma direncinin yanında darbe dayanımı ve şekil değiştirmeme gibi özellikler de göstermek zorundadır. Çeliklerde sertliğin artmasıyla doğru orantılı olarak aşınma direnci de artmaktadır. Yüksek sertlik direncine sahip malzemelerin aşınma dirençleri de aynı oranda yüksek olmaktadır. Buna bağlı olarak sertlikle, hasara karşı yüzey direnci de artar. Abrasif aşınma direnci, tamamen sertliğe bağlı olup, sertliğin artmasıyla birlikte olumlu yönde düzeldiği görülmektedir (Angus, 1979).

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ÖZETİ

3.1. GENEL ANLAMDA ABRASİF AŞINMAYLA İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Makine parçalarının tamiri için sarf edilen işçilik, bu parçaların imalinde sarf edilen işçilikten daha fazladır. Dolayısıyla her gün makine parçalarından aşınmaya daha büyük dayanıklılık aranmaktadır. Aşınma derecesinin özellikle tasarım aşamasında incelenmesi malzeme ömrünün uzatılmasında çok etkili olacaktır. Bunun için takip edilen araştırma şu esaslarda özetle toplanabilir (Tekin, 1984).

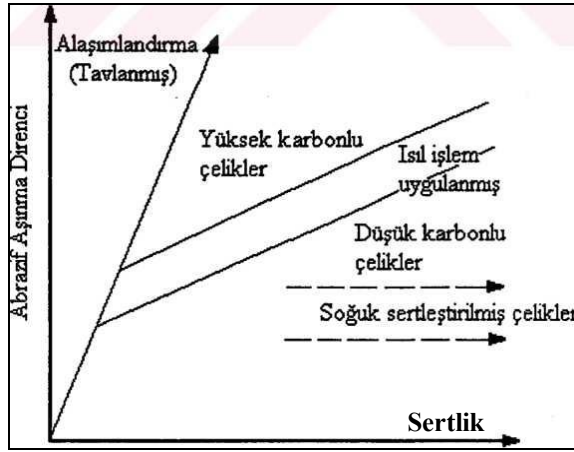
- Temel malzeme özelliklerinin ısıtma işlemleriyle iyileştirilmesi,
- Temel malzemenin kaplanarak dayanıklı hale getirilmesi,
- Sürtünme çiftinin (malzeme açısından birbirine göre) doğru seçimi,
- Aşınmaya dayanıklı malzemelerin geliştirilmesi,

Isıtma işlemleriyle içyapı değişikliği esasına dayanan aşınma davranışlarının iyileştirilmesi çalışmaları, diğer yöntemlerle pahalı ve özel çözümler aramadan öncelikle değerlendirilmesi gereken önemli araştırma doğrultusu olarak görülmelidir. Çünkü aşınma direnci, sadece sertlik artışıyla sağlanacak bir büyüklük değildir (Tekin, 1984).

Yüzey modifikasyon işlemlerinin metalürjik olarak yapılan ve aşınma dirençleri konusunda yapılmış bazı çalışmalar derlemiş ve endüstriyel aşınmanın önemine de yer verilmiştir. Aşınma türleri ve aşınmanın kontrol edilebilmesine yönelik olarak uygulanabilecek yüzey kaplama ya da modifikasyon yöntemleri araştırmada öncelikli olarak ele alınmıştır. Çeliklerin abrasif ve adhesif aşınma dayanımlarının kontrolünde bazı metalürjik etkenler isimli derleme çalışmasında ısıtma işlemlerinden

sonra değişen mikro yapıların bu iki önemli aşınma tipi üzerindeki aşınma dayanımı değişimine etkilerini detaylı bir şekilde konu edinilmiştir. Hurricks (1973)

Khruschov ve Babichev'den aktardığına göre Şekil 3.1. çeliklerin yapılarının güçlendirilmesindeki üç ana yöntemin abrasif aşınma dayanımı ile sertlik artışı arasındaki bağintıyı vermektedir (Hurricks,1972).



Şekil 3.1. Çeliklerin yapısal durumunun abrasif aşınma dayanımı üzerindeki etkisi (Hurricks, 1973).

Yukarı da ki şekilden de anlaşılacağı gibi saf metaller ve tavlanmış çeliklerin aşınma dayanımları ve sertlikleri arasında doğrusal bir orantı mevcuttur. Isıl işlem görmüş karbon çeliklerinin aşınma dayanımı davranışındaki değişimin, çelikteki karbon oranına bağlı olduğu düşünülebilir. Soğuk sertleştirilmiş çelik yüzeyler tavlanmış malzemelerden abrasif aşınmaya karşı daha dayanımlı değillerdir.

Moore (1974b), perlitik ve martenzitik yapıdaki demir türü (ferritik) malzemelerin abrasif aşınma dayanımlarını ve hacimsel sertlikleri arasındaki bağlantıyı araştırmıştır. Perlitik malzemeler için abrasif aşınma dayanımı ve hacimsel sertliğin perlit miktarına, martenzitik malzemeler için abrasif aşınma dayanımı ve hacimsel sertliğinde karbon oranının kareköküne bağlı olduğunu belirtmiştir. Moore, bu konuda yapılmış pek çok çalışmaya dayanarak; demir türü malzemelerin abrasif aşınma dayanımları, kimyasal bileşimleri ve mikro yapılar ile çok yakından ilişkiliyken çok az sayıdaki demir türü malzemenin abrasif aşınma dayanımlarının ise hacimsel sertliklerinin lineer fonksiyonuyla bağlantısı olduğunu belirtmiştir. Moore,

aynı sertlik değerindeki iki farklı çelikten daha yüksek karbon oranına sahip olanının daha fazla aşınma dayanımı göstereceğini ve karbonla karşılaştırınca diğer alaşım elementlerinin aşınma direncine daha az etki ettiğini tespit etmiştir.

Khruschov (1974) yaptığı bir araştırmada saf metallerin ve ısıl işlem görmüş çeliklerin, soğuk şekillendirilerek sertleştirilmiş malzemelerin, aşınma dayanımlı sert metallerin ve minerallerin sabit aşındırıcı taneciklere karşı dirençlerini araştırmıştır. Abrasif aşınma dayanımı ile malzemelerin fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler de kurulmuş ve bunlara aşındırıcı taneciklerin bağlı sertlik ve çarpma zorlamasının etkileri de incelenmiştir.

Holmberg ve Matthews (1994), titanyum nitrür kaplamanın abrasif aşınma direnci üzerine araştırmalar yapmışlar ve araştırma sonucunda farklı kaplama sistemleri arasında iyon kaplama yönteminin en üstün kaplama metodu olduğunu tespit etmişlerdir.

Mutton ve Watson (1978), bazı saf metallerin ve değişik sertlik değerleri aralığına ve farklı mikro yapılara ısıl işleme getirdikleri iki farklı yüksek karbon çeliğinin, kontrollü koşullarda gerçekleştirilen abrasif aşınma deneylerinden bulunan sonuçlarını daha önceki çalışmalarla kıyaslamışlardır. Saf metallere için malzemenin sertliği ile aşınma dayanımı arasında doğrusal bir bağlantı olduğunu başka araştırmacılar gibi bulduklarını bildirmişler ve ısıl işlem görmüş çeliklerde ise böyle doğrusal bir bağlantı bulamadıklarını söylemişlerdir.

Wang ve Levy (1988), toprak işleme aletleri gibi toprak içerisinde çalışan parçalardaki aşınma oranını araştırmış ve aşınmanın azaltılması konusunda farklı sert kaplama materyallerini araştırmıştır. Yaptıkları çalışmalarda tarım aletinin çalışma ortamının ve ortamda yer alan etmenlerin (toprak yapısı, taş, kök, toprak nemi gibi) aşınma olayını etkilediğini ve kaplama yüzeyinin düz olmasının aşınmayı geciktirdiğini tespit etmişlerdir.

Habig (1983), sert yüzey tabakalı çeliklerin aşınma, korozyon ve yorulma dayanımlarını araştırdığı çalışmasında kullandığı farklı çeliklerin kimyasal bileşim

oranları, sertlikleri, tabaka kalınlıkları, faz yapıları, ve yüzey düzgünlüklerinin böyle hasarlar üzerinde nasıl bir etkide bulduklarını incelemiştir. Abrasif ve Adhesif aşınmada farklı özelliklere sahip aşındırıcıların, tabakalar üzerindeki etkisini de araştırmışlardır.

3.1.1. Abrasif Aşınma Deney Düzenekleriyle İlgili Önceki Çalışmalar

Sürtünme sonucu hareket halindeki yüzeyler arasında abrasif aşınma meydana gelmektedir. Abrasif aşınma, özellikle mineral, madencilik ve ulaşım endüstrilerinde karşılaşılan ekonomik açıdan masraflı ciddi bir problemdir. Madencilik endüstrisinde, mineral ve kayaların işlenmesinde kullanılan donanımların abrasif olarak şiddetli bir şekilde aşınmalarından dolayı abrasif aşınmaya dayanıklı malzemelerin tüketimi hızla artmaktadır. Bu bakımdan düşük alaşımlı çeliklerin bazı özelliklerinin tasarlanması ile seramik malzemelerin yanı sıra yüksek alaşımlı çeliklere ve çelik dökümlerle rekabet edebilecek malzemeler geliştirilmekte ve üretilmektedir. Bu amaçla yeni tür çelikler geliştirilirken abrazyon ve hasara neden olan sert parçacıkların malzemelere yaptıkları abrasif aşınma hasarlarının anlaşılması için birçok çalışmalar sürmektedir (Tylcak, 1992; Olson ve Cross, 1992).

Çeşitli çeliklerin abrasif aşınma davranışları ile ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Dube ve Hutchings, 1999). Aşınmaya maruz kalan sistemin elemanları ve çevre çalışma ortamı, aşınma şiddetini belirler. Ayrıca, malzeme cinsi, kimyasal içerik, sertlik, elastik modülü, yüzey pürüzlülüğü, uygulanan ısıl işlemler, aşındırıcının tane boyutu ve şekli de aşınma direncine etki eder (Oğuz, 1993). Malzeme seçiminde en önemli parametrelerden birisi sertliktir ve sert malzemelerin aşınma dirençlerinin de daha yüksek olduğu bilinmektedir (Yılmaz ve ark, 2012).

Moore (1974b), farklı ısıl işlemler sonucu elde ettiği numunelerin abrasif aşınma deneylerini, döner disk üzerine kaplanmış farklı grit sayılarındaki Silisyum karbürü bez aşındırıcılar kullanarak sabit hız ve yük şartları altında gerçekleştirmiştir.

Khruschov (1974), abrasif aşınma laboratuvar test yöntemlerine belirttiği çalışmasında, sabit aşındırıcı tanecikler kaplı aşındırıcı bezler üzerinde metal

numunelerin sürtülerek aındırılması metodunun ilk kez 1910 yılında Rubin tarafından yapıldığını belirtmiştir. Bu metodun en önemli avantajı, örneğin aldığı sürtünme yolunun tam olarak biliniyor olmasıdır. Olumsuz yönü ise; sürekli aynı sürtünme yolu izlendiğinden taneciklerin aındırma kabiliyetlerinin zamanla azalması, aındırma hızının çok yüksek ve numune çapının çok büyük olmasıdır. Araştırmada, sertliğin yanında malzeme kırılğanlığının da ön plana çıktığı darbeli abrasif aşınma şartlarına uygun, yatay bir tambur etrafına sarılmış sabit aındırıcılı bez üzerinde daha küçük çapta numune ile çalışılabilen, daha düşük dönme hızına sahip ve numunenin aındırılma işlemi boyunca spiral bir yol takip edilmesinin sağlandığı test cihazı tanıtılmıştır.

Şen ve ark. (2001), sürtünme ve aşınma sanayide kullanılan her bir teknik sistemde karşımıza çıkan kaçınılmaz bir olgu olduğunu ve endüstriyel her bir teknik sistem için büyük hasarlara sebep olduğunu bildirmişlerdir. Servis koşullarında ve sürtünmeli ortamlarda kullanılan malzemelerin matris özellikleri ve yüzeysel performanslarını arttırıcı çalışmalar yapılmıştır. Metalin iç kısmının nispeten tok olması istenirken, yüzeyinin belirli bir kalınlıkta sertleştirilmesi gerekmektedir. Yüzey sertleştirmenin amacı; metal parçaların yüzeylerinin sertliğini, aşınma ve korozyon dayanımını ve bununla birlikte yorulma ömrünü uzatmaktadır.

Yüzey sertleştirme işlemlerinden olan borlama termo kimyasal bir yüzey işlemi olarak demir esaslı malzemelerde yüksek sertlik ve yüksek aşınma direnci sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Borlama; bor atomlarının metal yüzeyine difüze olarak ana metal ile tek fazlı (FeB) ya da çift fazlı (FeB,Fe₂B) intermetalik fazların meydana geldiği bir prosestir (Çelebi ve ark, 2005; Çelikyürek ve ark, 2006).

Jain ve ark. (2002), borlama ile parça yüzeyinde bir metalik borür tabakası oluşacağını ve çelik ve dökme demir grubunun borlanması işlemi genellikle 840°C ile 1050° C sıcaklık aralığında yapıldığını tespit etmişlerdir.

Yan ve ark. (2011), borlama işlemi ile malzeme yüzey sertliği 2000HV'ye yükseltilebileceğini belirtmişlerdir. Böylelikle sertliğin yükselmesine bağlı olarak malzemenin aşınma dayanımı karbürleme ve nitrüleme gibi bazı yüzey işlemleriyle

karşılaştırıldığında artacağını söylemişlerdir. Borlama işlemi için katı, sıvı, gaz, plazma ve iyon implantasyonu gibi çeşitli teknikler hâlihazırda uygulanmaktadır.

Mutton ve Watson (1978), bir tambur çevresine yapıştırılmış 80 mikronluk Alumina aşındırıcı kağıtlı pim-aşındırıcı deney cihazında, farklı yöntemlerle tırettikleri örnek numuneleri ve bazı saf metalleri abrasif aşınma dirençleri yönünden araştırmışlardır. Aşındırma deneyleri süresince helisel bir aşınma yolu takip eden örnek numune devamlı olarak yeni aşındırıcı taneciklerle karşılaşmaktadır.

Budinski (1993), yaptığı yedi farklı difüzyon işlemini kuru kumlu aşındırma deney cihazında ve silis kumu kaplı film aşındırıcı deney cihazında denemiştir. Bu test yöntemlerinden elde ettiği hacimsel kayıp oranlarını birbirleriyle karşılaştırmıştır. Her iki test yönteminde de vanadyum karbür kaplamanın en iyi abrasif aşınma direncini gösterdiğini tespit etmiştir.

Habig (1983), değişik yöntemlerle sertleştirdiği örnek numuneleri farklı tanecik boyutlu farklı aşındırıcı kağıtlarla aşındırmayı denemiştir. İşlemsiz numunelerin bütün aşındırıcı kağıtlar karşısında en fazla aşınmaya maruz kalanların titanyum karbür ve tungsten karbür kaplı çelik yüzeylerin ise bütün aşındırıcı türleri karşısında en az aşınmalar olduğunu tespit etmiştir. SiC aşındırıcı kağıdın, demir borür tabakalarının aşınmasında artışa neden olduğunu tespit etmiştir.

Axen ve Zum Gahr (1992), abrasif aşınma testlerinde 50 mm çapında ve 4 mm genişliğinde SiC aşındırıcı zımpara kağıtla kaplı tekerlekleri aşındırıcı madde olarak denemiştir. Araştırmalarında kullandıkları aşındırıcı kağıtların mesh sayıları “80,120, 220 ve 800”dür. İki farklı tabaka kalınlığına sahip TiC-çelik kompozit tüm numunelere 10 N’luk sabit yük uygulamışlardır. Deneylerde ağırlık kayıpları cinsinden aşınma davranışlarını araştırmışlardır.

Misra ve Finnie (1982), yaptıkları bir inceleme çalışmasında, iki farklı cisimli abrasif aşınmanın laboratuvarında tespit edilmesi ile ilgili en fazla karşılaşılan deney yönteminin aşındırıcı olarak zımpara kağıtlarının kullanıldığı pim-disk düzenlemesi olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca farklı özelliklere sahip aşındırıcı ve malzemelerin

fazlalığı yüzünden genel amaçlı bir abrasif aşınma test cihazının imal edilmesinin imkansız olduğunu tespit etmişlerdir.

Bejar ve Moreno (2006), çelik ve dökme demir malzemenin yüksek yüzey sertliği, mükemmel aşınma ve korozyon dayanımının ancak borlama ile sağlanacağını belirtmişlerdir (Bejar ve Moreno, 2006).

3.2. TOPRAK İŞLEME ALETLERİNDEKİ AŞINMALARLA İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Foley ve ark. (1984), aşınma oranında belirgin bir düşüşün ancak iş gören malzemenin sertliğinin aşındırıcıların sertliğinin yaklaşık %80'nini geçmesi halinde sağlanabildiğini bunu yerine getirebilecek en uygun malzemenin de Alumina seramik olduğunu belirtmişlerdir. Alumina seramik başlıklı yaylı ayaklı uçların, bilinen tiplere göre 4.4 - 9.4 kat daha az aşındıkları, sekiz ayrı tarla denemelerinin ortalamalarına göre hesaplanmıştır. Derin sürüm aletlerinde alumina uygulaması sonucunda da bilinenlere kıyasla 8,4 katlık daha az bir aşınma elde etmişlerdir. Pim - disk aşınma cihazıyla laboratuvar deneylerini yapmışlar burada aşındırıcı olarak çakmaktaşı ve silisyum karbür kaplı zımpara kâğıtlarını kullanmışlardır. Seramik korumalı pulluk uç demirlerinde yürüttükleri tarla denemeleri sonucunda mevcut uç demirlerine göre geniş disk alumina seramik koruyucularla aşınmanın 1,1 - 3,6 kat azaldığını belirlemişlerdir.

Mutaf ve Ulusoy (1977), toprak işleme tekniği yönünden işleyici organ aşınmasının en önemli sakıncasının aşınma ile özgül çeki direncinin artması ve yapılması istenen işin gereğince yapılamaması olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmalarında, toprak işleme aletlerinin iş organlarında kullanılan dört farklı çeliğe farklı ısıl işlemler uygulamışlar ve bu işlemlerin aşınma direncine olan etkilerini incelemişlerdir. Tırmık ve kültivatörle tarla, aşındırma kanalı ve aşındırma kabında da laboratuvar deneylerini yürütmüşlerdir. Tırmık denemelerinde ön sıradan arka sıraya gidildikçe aşınmanın azaldığını gözlemişlerdir. Model denemelerden aşındırma kabı, tane iriliği, sertliği ve nem miktarı gibi bazı parametrelerinde değiştirilip incelenmesine imkân sağladığından uygun bir deney yöntemi olarak önerilmiştir.

Richardson (1967), ele aldığı metalik malzemelerin aşınmasını laboratuvar ve tarla deneyleri ile incelemiştir. Çakmaktaşı (flint, kristal yapıda sert ve yoğun saf olmayan kuvars) kaplı zımpara kâğıtlarıyla yapılan laboratuvar deney sonuçlarının tarla deney sonuçları ile çok yakın olduğunu ve kaba taneli zımpara kâğıdının taşlı toprakları, ince taneli zımpara kâğıdının da taşsız toprakları daha iyi simüle ettiğini belirtmiştir. İngiltere ve Afrika topraklarında sürdürdüğü deneylerinin neticesinde, aşınmaya en çok taşların neden olduğu sonucuna varmıştır. Malzemenin sertliği, aşındırıcının sertliğinin 0.8 katından daha fazla ise aşınma direncinin belirgin olarak arttığını bildirmiştir.

Keçecioğlu ve Ulusoy (1975), tarla denemelerinin neticesinde pulluk uç demirlerinde 150 gr/ha gibi büyük aşınma değerlerine ulaştıklarını belirterek elde ettikleri sonuçların bazı yabancı kaynaklarla da uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bu rakamların ülkemiz için anlamının her yıl toprağa karışarak kaybolup giden 4.5 milyon kilogram çelik olduğunu bu rakamın deneme sonuçlarına dayanarak indirilebileceğini bildirmişlerdir. Keçecioğlu ve Ulusoy, Ege bölgesinde pulluk imal eden firmalardan sağladıkları pulluk uç demirlerinin özelliklerini saptayarak bu özelliklerin uç demirlerinde aranan özelliklerle uygunluğunu incelemişler ve örnekleri birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Genelde sertlik arttıkça aşınma kayıplarının azaldığını belirtmişlerdir. Yazarlar, teknik yönden karşılaştırmanın kullanma ekonomisi yönünden yeterli olmayacağını bu yüzden ekonomik özelliklerle teknik özelliklerin optimum kombinasyonunun gerekliliğine dikkat çekmişlerdir.

Balla ve Seckar (1981) yılındaki çalışmalarında toprak işleme şartlarına en uygun abrasif aşınma direncine sahip kesme yüzeyi malzemesini belirlemeye çalışmışlardır. Laboratuvar ve tarlada sürdürdükleri çalışmalar sonunda denedikleri malzemeler içerisinde -en yüksek sertliğe sahip olmayan- düşük alaşımlı ısıtılmış sertleştirilmiş çeliği en uygun malzeme olarak belirlemişlerdir.

Karamış (1985), Kulaklı pulluklarda kullanılan uç demirinin keskinliğini yitirip körleşerek toprağı kesmeyip sadece öteleyeceğinden pulluk tabanı oluşumunu hızlandıracağını belirtmektedir. Bunun sonucunda da sıkışan toprakta bitki

yetiştirilmesi yönünden çok fazla olumsuzlukla karşı karşıya kalılabileceğini böylelikle verimin azalacağını dolayısıyla anız bozma esnasında kulaklı pulluğun keskin kenarlarının aşınarak 2 mm incelmesinin çeki direncini %15-24 dolaylarında arttıracığını önceki bazı çalışmalara dayanarak bildirmiştir. Ulusoy'un 1977 yılında yapmış olduğu bir çalışmada pulluk uç demirlerinde 150 gr/ha, tırmık dişlerinde 50 gr/ha, ve diskaro disklerinde 135 gr/ha ve kültüvatör uç demirlerinde 90 gr/ha'lık ortalama aşınma oranını tespit etmiştir.

Karamış (1985), pulluk uç demiri imalatında kullanılan çeliklerin; toprak, toprakta çalışma şartları ve en fazla da malzemeye bağlı değişkenlere göre aşınma davranışlarını laboratuvar ortamında araştırmıştır. Çalışmada aşındırıcı madde olarak farklı tane boyutlu dere kumu ve üç farklı tarla toprağını kullanmıştır. Çalışmaların sonucunda, çalışma derinliği, basınç, hız, aşındırıcı tane büyüklüğü ve yüzey pürüzlülüğü ile aşınma oranının arttığını belirlemiştir. Ayrıca nem oranındaki değişimlerin aşınma oranında değişikliğe sebep olduğunu tespit etmiştir. Çalışmada kullanılabilir en uygun malzeme olarak, tabaka kalınlığının fazla olması şartıyla endüksiyonla yüzeyi sertleştirilmiş ve kaynakla kaplanmış orta karbonlu çelikler olduğunu tespit etmiştir. Karamış, ayrıca toprakta çalışan tarım aletlerinde aşınmanın özellikle abrasif aşınma mekanizması ile meydana geldiğini bu karşın nadiren de Adhesif ve kohesif aşınma türlerine de rastlandığını belirtmiştir. Abrasif aşınma mekanizmasının da iki farklı cisimli yada üç cisimli olarak çalışan aktif organlara etkidiğini tespit etmiştir.

Kızılelma (1987), kulaklı bir pulluğun en önemli aktif parçası durumunda olan uç demirinde tarla koşullarında meydana gelen, eğilmeden kaynaklanan gerilme değerlerini üç elemanlı dikdörtgen şekilli straingage'lerin kullanıldığı deneysel metodla tespit etmeye yönelik bir çalışma yapmıştır.

Komaç ve ark. (1988), seçilen dört farklı pulluk uç demiri malzemesine ısı işlem tatbik ederek içyapı değişimlerini, mekanik özelliklerdeki değişimleri ve laboratuvarda döner tablalı aşınma deney cihazındaki aşınma kayıplarını tespit etmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır.

Yaldız (1990), kulaklı pullukların uç demiri yapılmada kullanılan üç farklı türden çelik malzemenin özelliklerine en uygun ısıl işlemleri uygulayarak tarla koşullarında denemiştir. Test ettiği pulluk uç demirlerinde malzeme sertliğinin artışı ile ters orantılı olarak aşınmanın azaldığını tespit etmiştir.

Par ve Komaç (1990), değişik darbe enerji ileri yüklenerak yüzeyi sertleştirilmiş östenitik mangan çeliğinin aşınma dayanımını laboratuvar şartlarında incelemiştir. Aşınma deney seti olarak kullandıktan kuru kum/teflon tekerlek test cihazında yüzeye gelen yükleri ve devir hızlarını değiştirerek en uygun çalışma koşullarını da tespit etmeye çalışmışlardır.

Yu ve Bhole, (1990) yılında yaptıkları bir çalışmada, toprak işleme alet ve makinelerinin düşük gerilmeli abrasif aşınmaya uğradıklarını ve genellikle sade karbon veya az alaşımlı çeliklerden imal edildiklerini söylemişlerdir. Çalışma sonucunda malzemedeki kaynaklanan özellikler yanı sıra toprağın fiziksel yapısının, neminin, yoğunluğunun, içindeki taş yada kaya miktarının ve toprakla uç demiri arasındaki ilerleme hızının ve darbe açısının da önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Kushvaha ve ark. (1990), toprak aşınması test cihazı geliştirmişler ve geleneksel kültüratör uç demirleri ile Tungsten karbür tozları ile üç farklı işlem uygulanmış uç demirlerinin aşınma oranlarını araştırmışlardır. Bütün aşınma miktarları araştırıldığında yüzey işlemi görmüş örnekler geleneksel uç demirine oranla daha az aşınmışlardır. Bu şekilde yüzey işlemi uygulamasının bir avantajı da uçların kendi kendilerini bileme özelliğine sahip olmalarıdır. Çalışma sonucunda, aşınma oranının kayma mesafesi ile doğru orantılı olduğunu ve sertliğin artması ile birlikte aşınma miktarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Kufel ve Wierzcholski (1993), kulaklı bir pulluk gövdesinin çatıya rijit ve elastik bağlanmaları durumlarında pulluk uç demirlerindeki aşınma miktarını tarla koşullarında araştırmışlardır. Araştırma sonucunda elastik olarak asılımanın, rijit olarak asılıma nazaran daha az abrasif aşınmaya sebep olduğunu tespit etmişlerdir.

Çetinkaya (1994), TSE tarafından kulaklı pulluk uç demiri imalatında sade karbonlu çeliklere farklı ısı işlemler uygulamış ve uyguladığı ısı işlemlerin aşınma direncine etkisini araştırmaya yönelik bir çalışma yapmıştır. Tarla ve kum havuzu deneyleri sonucunda en yumuşak ve en sert malzemeler en çok aşınırken orta sertlikteki malzeme en az düzeyde aşınmaya maruz kaldığını tespit etmiştir.

Polat (1994), beş farklı kültivatör uç demiri malzemesini ele almış ve bunların bir kısmını doğrudan bir kısmını da ısı işlem uyguladıktan sonra yaz dönemi koşullarında kuru tarla şartlarında denemiştir. Her bir ucu 10 km kullanımdan sonra tartılmış ve ağrlık kayıpları cinsinden aşınmayı tespit etmiştir. Malzemedede sertlik ve malzemelerin içinde bulunan mangan ve karbon oranı arttıka aşınmanın azaldığını tespit etmiştir.

Göktürk (1995), kültivatör uç demiri imalatında sıklıkla kullanılan 60SiMn5  eliğine çeşitli ısı işlemler uygulamış ve laboratuvarında yürüttüğü deneyler sonucunda normalizasyon+ nitrüleme ısı işlemleri uyguladığı numunelerin en olumlu sonucu verdiğini bulmuştur.

Bayhan (1996), Trakya bölgesinde bulunan ve  izel üreten beş farklı imalatçının uç demirleri ile yaylı kültivatör+döner tırmık kombinasyonu üreten   farklı imalatçının uç demirlerinin aşınmalarını ve ayrıca aşınma üzerinde etkili olan koşulları ısı işlem, toprak penetrasyon direnci, toprak nemi, uç demiri bileme şekli ve toprak çeşitlerinin aşınma oranına etkilerini belirlemeye çalışmıştır. Çalışmanın sonucunda uç demirinin sertliği ve kimyasal bileşimindeki karbon ve mangan oranının artması ile birlikte aşınma miktarının azaldığını tespit etmiştir.

 elik (1996), Türkiye'de kullanım alanı oldukça az olan ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demirler üzerine yaptığı bir araştırmada bu malzemelerin aynı yapıya sahip  elik malzemelere yakın direnç özellikleri verebilen malzemeler olduğunu tespit etmiştir.

Owsiak (1999), yaylı ayaklı kültivatör uçlarında oluşan aşınmayı Polonya'nın güneyinde kumlu ve az killi tarla toprakları koşullarında araştırmıştır. K ltivat r n

birinci sıradaki uçların üçüncü sıradakilere göre %26 daha fazla aşındıklarını ve kumlu toprak koşullarında aşınmanın az killi topraklara oranla %40 daha fazla olduğunu belirlemiştir. Yapılan çalışma sonucunda ayrıca traktör teker izi üzerinden yol alan uçlarda teker izinin dışında kalanlara oranla % 17 daha fazla aşınma olduğu bulunmuştur.

Biddulph (1977), Moore'un 1975(b) yılındaki çalışmasının sonuçlarını ekonomiklik bakımından değerlendirmişler ve sonuç olarak borlanmış düşük alaşımlı 10.4 kod numaralı çeliğin tarla şartlarına göre ekonomiklik açısından en uygun çelik olduğunu tespit etmişlerdir.

Quirke ve ark. (1988), yaptıkları bir çalışmada; orta karbonlu, yüksek karbonlu, paslanmaz ve bor katkılı çeliklere ısıtma işlemi uygulanarak bağıl abrasif aşınma dayanımlarını araştırmışlardır. Tarla ve laboratuvar koşullarında yaptıkları deneylerde bu çelikleri aşınma dirençleri açısından karşılaştırmışlardır. Aşındırıcı madde olarak alümina parçacıklarının yapışık olduğu bir kayış mekanizması kullanmışlardır. Tarla ve Laboratuvar şartlarında yapılan deney sonuçlarına göre laboratuvarda denenen on farklı numune içinde su verilmiş borlu çelik temperlenmiş yüksek karbonlu (0.96 C) çelik örnekten sonra ikinci en iyi bağıl aşınma dayanımını ve ikinci en yüksek sertlik dayanımını veren numune olmuştur. Tarla koşullarında yapılan denemelerde borlu çelik bağıl aşınma dayanımında dördüncü sırada yer almıştır.

Tian ve ark. (1989), Çin'de her yıl 2 milyon adet kulaklı pulluk uç demirine ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Kulaklı pulluk uç demirleri konusunda hem Çin'de hem de diğer ülkelerde bu konuyla ilgili yapılacak çalışmaların önemine vurgu yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarında, borlama ile yüzeyi sertleştirilmiş kulaklı pulluk uç demirlerinde borlu tabakaların abrasif aşınma davranışını araştırmışlardır. Borlu tabakalar ve borlama işlemi hakkında çok sayıda çalışma yapıldığını ancak toprak işleyici uçlarda özellikle kulaklı pulluk uç demirlerinde bu yöntemin uygulanmasının ve aşınma davranışları hakkında çok fazla sayıda çalışma olmadığını söylemişlerdir. Tarla ve laboratuvar şartlarında yaptıkları denemelerinde aynı çelik malzemeye ısıtma

işlem uygulanmışlar ve üç farklı tabaka kalınlığına getirilmiş borlu numuneleri incelemiştir.

Tarhuni (1996), kültivatör uç demirlerinde aşınma oranının azaltılabilmesini sağlayacak yöntemler üzerinde çalışmışlardır. Yapılan çalışmada orta karbonlu çeliğe, horlamanın d hil olduğu üç farklı yöntemle ısıl işlem ve dört farklı yüzey kaplama metodunu uygulamış ve tarla şartlarında denemiştir. Tarla koşullarındaki deneylerinde ilerleme hızı 1-1.5 m/sn ve iş derinliği 7-10 cm olarak alınmıştır. Denemelerde her bir pulluk uç demiri ile 12.5 km'lik sürüm yapılmıştır. Yapılan alışma sonucunda borlanmış pulluk uç demiri numuneleri ile standart numuneler aşınma dayanımı açısından aynı düzeyde ancak kullanma ömrü açısından borlanmış numuneler standart numunelere göre 1.3 kat daha iyi oldukları tespit edilmiştir.

3.3. METALLERDE BORLAMAYLA İLGİLİ ÖNCEKİ ALIşMALAR

Yüzey sertleştirme işlemleri makine elemanlarında yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılan nispeten ucuz ve kolay uygulanabilen işlemlerdir ( zbek 1999). Metal malzemelerde yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan ısıl işlemlerden biri de borlamadır. Borlama difüzyona dayalı termokimyasal bir yüzey sertleştirme ısıl işlemidir (Bejar ve Moreno, 2006). Bu işlemdede, bor elementi atom çapının daha küçük olması, bu elementin bir çok malzeme içerisinde kolaylıkla difüzyonuna imkan vermektedir. Genellikle borlama işlemi, 700–1050  C sıcaklık aralığında 1-12 saat sürelerde e-itli borlama ortamlarında gerçekleştirilmektedir (Jain ve Sundararajan, 2002). Borlama ısıl işlemi; katı, sıvı, gaz veya plazma ortamlarda yapılabilir. Uygulanan yönteme bağlı olarak bor kaynağı B₄C, Na₂B₄O₇ veya H₂B₆ bileşikleri olabilir. Ayrıca aktivatör olarak tercihen KBF₄ kullanılmaktadır. Borlama ısıl işlemi sırasında aktivatörler tabakanın düzenli büyümesini sağlarken, dolgu ve deoksidan malzemeler işlem sıcaklığında oksijeni tutarak redükleyici bir ortam oluturmakta ve ortamdaki malzemelerin ana malzemeye yapışmasını önlemektedirler ( zbek, 1999; Martini ve ark. 2006). Bor difüzyonu sonucunda alaşımsız elik malzemelerde işlem koşullarına bağlı olarak Fe₂B veya Fe₂B+FeB fazları oluşmaktadır. Oluşan bu fazlar, yüzeyden içeriye doğru ilerleyen çoğunlukla iğnesel bir yapı göstermektedir. Genel olarak Fe₂B istenen

fazdır. İki fazın bir arada olduğu durumlarda fazlar arasında yüzeye paralel mikro çatlaklar oluşabilmektedir. Yüzeyde oluşan FeB borür tabakası oldukça gevrek ve kırılgandır (Sert ve ark, 2006; Kulka ve Pertek, 2003, Bourithis ve ark, 2002).

Borlama ısı işleminde bilinen yüzey sertleştirme yöntemlerinde elde edilen yüzey sertlik değerlerinin daha üzerinde sertliğe sahip yüzey tabakaları elde etmek mümkün olmaktadır (Martini ve ark. 2006). Borlama ile karbon çeliklerinde 1800-2000 HV, alaşımlı çelik malzemelerde 2500-2800 HV ve yüksek hız çeliklerinde 2800-3300 HV'lik yüzey sertlikleri elde edilebilir. Ticari çeliklerde elde edilebilen 1800-2000 HV'lik sertlik değerleri Al₂O₃'ün sertlik değerine yakındır (Özsoy, 1991). Kaymalı sürtünmelerde açığa çıkan ısı, karbürizasyonla sertleştirilmiş yüzey tabakasının sertliğinin azalmasına neden olurken borlu tabakalarda böyle bir sorun ortaya çıkmaz. Çünkü bor yayınıyla elde edilen borür tabakası 900-1000 °C'de dahi sertliğini ve özelliklerini yitirmeyen bir tabakadır (Eyre, 1975; Evtifeev ve Sin'kovskii, 1985). Ayrıca borun oksijene olan ilgisi fazla olduğundan yüzeyde koruyucu ince bir tabaka oluşmakta ve bu oksit tabakası yüzeyde katı yağlayıcı vazifesi görüp, sürtünmeli aşınma sırasında metal-metal temasını geciktirerek sürtünme katsayısını düşürmekte ve yüzeylerin birbirine kaynamasını engellemektedir (Nair ve ark. 2000) Tüm bunların yanında relatif aşınma direnci yalnız sertliğe bağlı değil, aynı zamanda gevreklik gibi bazı fiziksel ve mekanik özelliklere de bağlıdır (Shadrichev ve Romyantse, 1982). Bu gerçek, borlu tabakaların aşınma davranışlarının detaylı olarak incelenmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır (Çelik ve ark. 2008).

Tarihte ilk olarak 1895 yılında Moissan, metal yüzeyler üzerine bor yayınına yönelik bir çalışma yapmıştır (Matuschka, 1980; Özsoy, 1991; Hunger ve Trute, 1994). Bu ilk çalışmadan sonra metallerde borlama işlemine yönelik çalışmalar hep yapılmıştır.

Tabur ve ark. (2009) yaptıkları bir çalışmada, Hardox 400 çeliği katı ortamda borlama tekniği kullanılarak borlanmıştır. Borlama malzemesi olarak ticari şekilde piyasada bulunan EKabor® 2 tozu kullanılmıştır. Borlama ısı işlemi sırasında ile her bir numuneye 2, 4 ve 6 saat sürelerde 850 °C, 900 °C ve 950°C sıcaklıklarda

gerçekleştirilmiştir. Farklı süre ve sıcaklıklarda borlanan numunelerin abrasiv aşınma davranışları incelenmiştir. Borlanmış ve borlanmamış numuneler pin on disk aşınma cihazında 80 ve 120 mesh zımparalar ve 10, 20, 30 N yükler altında aşınma testine tabi tutulmuşlardır. Aşınma testleri 20 m. Kayma mesafesinde ve 0,2 m.s-1 kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikroyapı görüntüleri ile aşınma yüzeyleri SEM ve optik mikroskop ile incelenmiştir. Daha uzun borlama süresinin daha kalın katman oluşmasını sağladığı görülmüştür. Aşınma testisonuçlarında, 850 °C’ de 6 saat borlanmış Hardox 400 çeliği en iyi abrasiv aşınma direnci göstermiştir.

Permyakov ve ark. (1974), bazı takım çeliklerine ticari bor karbür kullanarak borlama uygulamışlar ve aynı çeliklerin sadece su verilmiş durumlarına göre en az 2-3 kat daha iyi abrasif aşınma direncinin sağlandığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda borlanmış karbon ve az alaşımlı çeliklerin neredeyse aynı aşınmayı gösterdiklerini tespit etmişlerdir.

Bel’skii ve ark. (1980), yaptıkları bir çalışmalarında bir traktör üretim fabrikasındaki büyük kalıpların yüzeyinin pasta borlama metoduyla ile sertleştirilmesini araştırmışlardır. Böylelikle servis ömründe iki katlık iyileşmenin sağlandığını belirlemişlerdir. Kısmi borlama uygulanmış kısımlarda ise dekarburizasyon ve oksidasyon görülmediğini belirterek bununda yıllık 52 000 Ruble değerinde kazanç sağlandığını tespit etmişlerdir.

Habig ve Fischer (1981), alaşımlı çeliklerdeki borlu tabakaların aşınma davranışları üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Farklı bor atomu içeren toz karışımlar kullanarak 900°C de, alaşımlı çeliklerde borlama işlemi yapmışlardır. Adesif, abrasif, ve tribooksidatif aşınma ve yüzey yorulmasını araştırarak, hasarlar karşısında ele aldıkları çeliklerdeki alaşım elementlerinin etkileri üzerine çalışmışlardır. Vanadyum karbürün abrasif aşınmanın azalmasında çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Malzemenin direncini arttırmada en etkili metodlardan birisinin borlama olduğunu belirtmişlerdir. FeB tabakasında ortalama 1840 VSD ve Fe₂B tabakasında ise ortalama 1220 VSD sertlik değerlerini bulmuşlardır. Daha sert olan FeB tabakasında, FeB’den daha az sert olan Fe₂B tabakasındaki kadar aşınma değerlerini

belirlemişlerdir. Rölatif aşınma dayanımının sadece sertliğe bağlı olmadığını aynı zamanda fiziksel ve mekanik özelliklere de bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Subrahmanyam ve Gopinath (1984), yağlamasız kuru sürtünme koşullarında pim disk aşınma test cihazıyla tek ve çift fazlı borlu tabakaların aşınma denemelerini yapmışlardır. Sade karbonlu çelikte buldukları FeB, Fe₂B ve FeB+Fe₂B borür tabakalarının her birinin ve aynı çeliğin işlemsiz halinin aşınma durumlarını incelemiş ve sonuç olarak tek FeB ve tek Fe₂B tabakalarını diğerine (FeB+Fe₂B) göre aşınma açısından çok daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Bozkurt (1984), ülkemiz koşullarına en uygun borlama banyosunun bileşimini tespit etmeye çalışmışlar ve yaptıkları araştırmada inceledikleri numunelerin torlu tabakalarındaki mikro yapı değişimleri, x-ışınları analizi, oto radyografik etüd, sertlik ölçümleri ve kalınlık değerleri sonuçlarını ortaya koymuşlardır.

Frantsuzova ve ark. (1984), termal çevrimli işleme yapı çeliklerinin darbe - direncinin yükseltilebileceğini belirterek bu metodu özellikle traktör ve tarım aletleri parçalarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Termal çevrimli borlamanın da izotermal horlamaya göre darbe direncinde 1.5 - 3 katlık bir iyileşmeye neden olacağını tespit etmişlerdir.

Badini ve ark. (1987), karbon, krom ve nikelin borlu tabakaların sertliğine olan etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, krom ve karbon miktarı arttıkça sertlik artmakta buna karşı nikelin ilavesinin sertliği az fakat sistematik bir şekilde düşürdüğü sonucuna ulaşmışlardır.

Vasil'eva ve ark. (1985), üç farklı paslanmaz çelikte borlama işleminin aşınma direncinde nasıl bir değişikliğe sebep olacağını araştırmışlardır. Sıcaklık aralığı 800°-1000°C olduğunda 2,6 ve 10 saat sürelerde borlama işlemini yapmışlardır. Isıl işlem süresinin artmasıyla borlu tabakanın kalınlığının artışına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Artan karbon miktarının borlu tabakanın kalınlığının azalmasına neden olduğu da belirtilmiştir.

Evtifeev ve Sin'kovskii (1985), borla birlikte silis ve sülür'ün aynı anda yüzeye yayındırılmasıyla sadece bor yayınına kıyasla aşınma ve sürtünme direnci açısından 1.6 - 2.1 kat iyileşme sağlandığını saptamışlardır.

Bindal (1991), yaptığı bir çalışmada 940° C'de farklı sürelerde normal sıvı ortam horlaması uygulanan üç farklı ticari karbon çeliğinde (AISI 1020, 1040, 1050) ve özel hazırladığı altı farklı az alaşımlı çelikten oluşan fiziksel ve kimyasal parametrelerdeki bazı değişimleri araştırmışlardır. Borlama süresiyle borür tabakası kalınlığının azalan bir hızla artmakta olduğunu tespit etmişlerdir.

Rus ve ark. (1985), 304 çeliğini iki farklı toz borlama karışımıyla 815° ve 900° C sıcaklıklarda 6-12 saat arası sürelerde horlamışlar ve elde ettikleri tabaka yapılarını incelemişlerdir.

Fichtl ve ark. (1987), ekabor tozlarıyla yapılan işlemin temel prensiplerini ve horlamayla ilgili genel bilgileri aktararak, borlu tabakaların bazı özelliklerini, uygulama örnekleri ile birlikte sunmuşlardır.

Soydan (1996), farklı çelik malzemelere toz borlayıcılar kullanarak beş farklı sıcaklık ve dört farklı sürede borlama işlemi yapmışlardır. Borür tabakaların kuru kayma halinde laboratuvar koşullarında abrasif, adesif aşınma ve sürtünme davranışlarını araştırmışlardır. Gaz nitürleme ve karbürleme uygulanmış örneklerle borlu örnekleri sürtünme ve aşınma davranıştan bakımından karşılaştırmıştır. Üç farklı metotla sertleştirilmiş numunelerin hespinin yüzeylerinin sürtünme katsayıları arasında önemli bir fark bulunmadığı ancak aşınma oranları arasında önemli farklar olduğunu tespit etmişlerdir. Metal ve metal sürtünmede sertlik ve aşınma dayanımı arasında doğrudan bir ilişki olmadığını buna karşın 1200 gritlik SiC zımpara kâğıtlarıyla uygulanan deneylerde sertlik ve abrasif aşınma dirençleri arasında orantılı bir değişim olduğu belirlenmiştir.

Tsipas ve Rus (1987), dört farklı çelik türünde iki farklı toz borlama karışımını kullanmışlardır. Çalışma sonucundan numunelere, 815° ve 900° C sıcaklıklarda 6, 8 ve 12 saat borlama işlemi uygulamışlardır.

Wang ve Hutchings (1988), aşındırıcı sertliği ve büyüklüğünün, düşük alaşımli borlanmış çeliklerin iki cisimli abrasif aşınma mekanizmalarına olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda borlu çeliklerin; alüminyum oksitli aşındırıcılara, silisyum karbürü aşındırıcılardan daha fazla dayandıklarını, aynı çeliğin ısıtılma işlemi (su verilip temperlenmiş) yapılmış durumunda ise bunun tam zıttının söz konusu olduğunu tespit etmişlerdir. Numunelerin aşınma dayanımları arasındaki farkın, aşındırıcı parçacık büyüklüğü ya da uygulanan yükün artmasına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Özsoy (1991), bir çalışmada Ç 1045 çeliğinden hazırladığı numunelerde 900° C sabit sıcaklıkta ve termal çevrimli koşullarda belirlediği sıvı banyo bileşimiyle borlama işlemi yapmışlardır. Sabit sıcaklık ve termal çevrim koşullarında borlanan numunelerin mikrosertlik, metalografik incelemesi, x ışınlan ve aşınma testleri yapılmış ve ayrıca geçiş zonu incelenmeye çalışılmıştır. Termal çevrimli borlamanın sabit sıcaklıkta borlamaya nazaran daha uniform kalınlıkta daha az poroziteli bir yapı gösterdiği ve borür tabakanın gevrekliğinin azaldığı bunun da aşınma gibi mekanik özellikleri iyileştirdiğini tespit etmiştir.

Özbek ve Bindal (2002), yaptıkları araştırmada borlanmış sade karbonlu takım çeliği olan W4 çeliğinin bazı mekanik özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada artan borlama sıcaklığı ve süresinin tabaka kalınlığını artırıcı bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Ivanov ve Sokolov (1998), yaptıkları bir araştırmada endüstride geniş kullanıma sahip düşük karbonlu martensitik çeliklerin yüzeyine bor ve krom yayılımının en uygun şartlarını araştırmışlar ve mümkün olduğunca sert ama daha az kırılğan yüzeyler elde etmeye uğraşmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda krom oksitlerin tek fazlı bor tabakalarının meydana gelmesinde etkili olduğu ve düşük karbonlu martensitik çelik yüzeylerde yüksek sertlik ve azalan kırılğanlığa sahip olan tabakaların elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Rie (1999), plazma difüzyon işlemlerini ve plazma borlama konusunda bilgi vererek bu konuyla ilgili son dönemlerdeki gelişmeleri değerlendirmiştir. Plazma

horlamanın, sık kullanılan toz borlayıcılarla yapılan kutu horlamaya nazaran daha çevre dostu ve kontrollü bir işlem olduğunu belirtmiştir.

Şen ve Bindal (1999), AISI 5140 çeliğinde iki farklı sıcaklıkta ve 2-8 saat arası değişen sürelerde normal sıvı ortam şartlarında yapılan horlamanın sonunda oluşan borür tabakalarının bazı özelliklerini tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda yüzeydeki borür tabaka kalınlığının ve FeB borür oluşumunun borlama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak arttığı belirlenmiştir.

Zagulyaeva ve arkadaşları (1999), horlamanın üç farklı alaşımlı çelik ve gri dökme demirin malzeme yapılarına ve termal erozyon dayanımlarına olan etkisini araştırmışlardır. Üzerinde çalıştıkları çeliklerde termal erozyona karşı dayanımın arttığını buna karşın dökme demirde ise herhangi bir değişimin gözlenmediğini belirtmişlerdir.

Küper ve ark. (2000), bir araştırmalarında üç farklı çeliğe plazma yardımcı ve yardımcı gaz borlama tekniklerini kullanarak borlama işlemi uygulamışlardır. Al₂O₃ aşındırıcı toz kullanılarak uygulanan aşınma test sonuçları verilmiş ve tabaka kalınlıkları tespit edilmeye çalışılmıştır. Deneyler sonucunda işlemsiz numunelere nazaran işlem uygulanan numunelerde %80 oranında iyileşme olduğu belirlenmiştir.

Meriç ve ark. (2000), katı ortam horlamasında kullanılan tozların parçacık büyüklüklerinin borlu tabaka yapısına olan etkilerini tespit etmek üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada sıcak şekillendirilmiş AISI 1020, 1030, 1040 ve 1050 yapı çelikleri ana malzeme olarak kullanılmıştır. Ekabor HM tozlarıyla 900° C'de 2 ile 5 saat arası sürelerde borlama işlemi uygulanmıştır. Malzemelerde mikrosertlik, mikroyapı ve tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Küçük boyutlu toz parçacıklarla yapılan horlamada tabaka kalınlıklarının arttığı buna karşın malzemede karbon oranının artmasıyla birlikte mikrosertlik değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir.

Selçuk ve ark. (2000), ağır yük altında çalışan ve aşınma direnci gerektiren makine parçalarında kullanılan AISI 5115 çeliğinin yerine, borlanmış AISI 1020 çeliğinin kullanılmasını uygun görmüşlerdir. Çalışmada hazırlanan örneklerine borlama ve karburizasyon işlemi uygulamışlardır. Deneyler sonucunda, adesif aşınma direnci,

sertlik ve sürtünme açısından borlanmış düşük karbonlu çeliklerin, hafif yüklü kuru kaymalı çalışma koşullarında karburize yapılmış alaşımlı çeliklerin yerine kullanılabileceklerini belirtmişlerdir.

Gopalakrishnan ve ark. (2001), maliyeti yüksek borlama kimyasallarına karşı, ucuz ve kolay uygulanabilen bor atomu kaynağı ferrobora gibi kimyasalların kullanılmasını önermişlerdir. Ferrobora kullanarak yapılan deneylerinin sonunda elde ettikleri borlu tabakalara lazer yüzey modifikasyon işlemi de yapmışlardır.

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

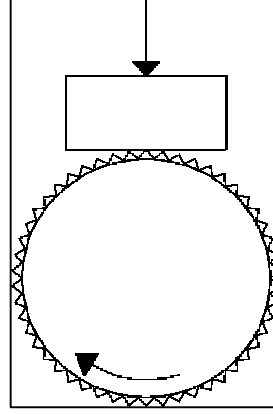
Bu araştırmada birincil toprak işlemede pulluk uç demiri olarak kullanılan yüzeyi borlanmış karbonlu AISI 1050 ve AISI 1020 çeliklerinin bazı mekanik özelliklerinin yanı sıra yüzey sertlik, çentikli darbe dayanımları ve abrasif aşınma dayanımları incelenmiştir. Denemelerde kullanılacak olan numuneler için kulaklı pulluk uç demirinde kullanılan borlanmış AISI 1050 ve AISI 1020 çeliğinden SiC kesici disk ile (10×10×50) mm boyutlarında kesilmişlerdir. AISI 1050 çeliğine ve AISI 1020 çeliğine ait kimyasal veriler Çizelge 4.1’de verilmiştir (Çil, 2010)

Çizelge 4.1. AISI 1050 çeliğine ve AISI 1020 çeliğine ait kimyasal bileşimleri.

Malzeme	C	P (Max)	Mn	S (Max)	Si
AISI 1020	0,18-0,23	0.04	0,3-0,6	0,05	0,15-0,35
AISI 1050	0,45-0,55	0.04	0,6-0,9	0,05	0,15-0,35

4.1. AŞINMA DENEYLERİ

Araştırmada kullanılan yüzeyi borlanmış pulluk uç demiri olarak kullanılan yüzeyi borlanmış karbonlu AISI 1050 ve AISI 1020 çeliğinin aşınma testleri ve çentikli darbe dayanım testleri denemelerde kullanılan cihaza ve malzemeye bağlı olarak her bir deney için 3 tekerrürlü olmak üzere deney numunesi hazırlanmıştır. Aşınma deneyleri için Şekil 4.1’de şematik olarak gösterilen abrasif test sistemi kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Abrasif aşınma test düzeneğinin şematik gösterimi.

Numunelerin abrasif test deneylerini yapmak amacıyla Plint marka aşınma test cihazı kullanılmıştır. Abrasif aşınma denemeleri oda sıcaklığındaki ortamlarda gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı cisim olarak ise alüminyum oksitli (Al_2O_3) 500 gritlik zımpara kâğıtlarından yararlanılmıştır.



Şekil 4.2. Abrasif aşınma testlerinde kullanılan cihaz.

Abrasif aşınma test cihazının metal diski zımpara kâğıtları kullanılarak kaplanmıştır. Denemeye alınan her test örneği için yeni zımpara kâğıdı ile disk kaplanmıştır. Abrasif aşınma testleri sonucunda deneye tabi tutulan örneklerin ilk ve son ağırlıkları 0,001 hassasiyete sahip hassas terazi kullanılarak tespit edilmiştir.

“Aşınma deneylerinde aşındırıcı zımpara kâğıdı kaplı disk ile numune yüzeyi arasındaki temas, 42 N sabit yük ile sağlanmıştır. 42 N yük aşınma test cihazının minimum yüküdür. Tüm aşınma deneylerinde diskin dönme hızı 100 devir/dakika seçilmiş ve aşınmayla oluşan ağırlık kayıpları 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 ve 2000 tur sonunda ölçülmüştür. Aşınma deneyleri üç'er kez tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Her numunenin ilk ağırlıkları birbirinden farklı olduğundan aynı cins malzeme türü içinde karşılaştırmanın daha kolay yapılabilmesi için ağırlık kayıpları, ilk ağırlığa göre her tur sonundaki yüzde ağırlık kaybı cinsinden tanımlanmıştır” (Er ve Par, 2004).

4.2. ÇEKME, KOPMA VE BASMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

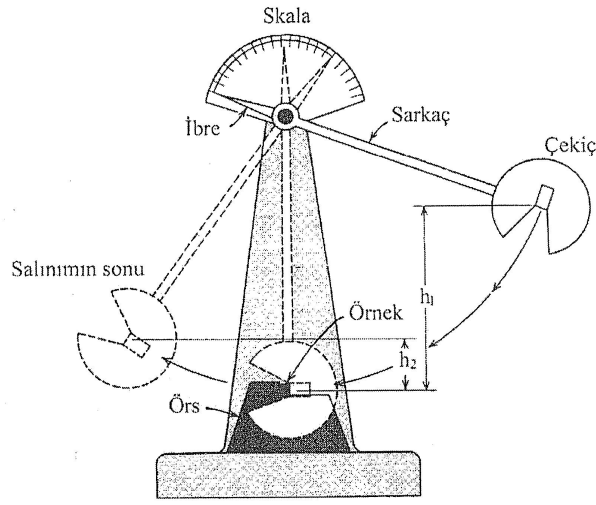
Yüzeyi borlanmış kulaklı pulluk uç demiri olarak kullanılan yüzeyi borlanmış karbonlu AISI 1050 ve AISI 1020 çeliğinin çekme, basma, kopma ve eğme deneyleri 50 ton kapasiteli ALŞA marka universal çekme cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3). Çekme, basma, kopma ve eğme deneyleri TS-138 ve TS-269 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deneyler her 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir tekerrür için ise 3 adet numune kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Çekme deneylerinde kullanılan 50 tonluk Alşa marka çekme cihazı.

4.3. ÇENTİK DARBE DAYANIM DENEYLERİNİN YAPILMASI

Yüzeyi borlanmış kulaklı pulluk uç demiri olarak kullanılan yüzeyi borlanmış karbonlu AISI 1050 ve AISI 1020 çeliğine uygulanan çentikli darbe dayanım testleri için 300 JOULE enerjili Alşa marka darbe-çentik cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.5). Deneyler her 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir tekerrür için ise 3 adet numune kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çentik darbe dayanımı test cihazının şematik görünümü Şekil 4.4' te görülmektedir.



Şekil 4.4. Çentik darbe test cihazının şematik görünümü (Çanakçı, 2012).



Şekil 4.5. 300 JOULE enerjili Alşa marka darbe-çentik cihazı.

Yüzeyi borlanmış kulaklı pulluk uç demiri olarak kullanılan yüzeyi borlanmış karbonlu AISI 1050 ve AISI 1020 çeliğinin sertlik ölçme deneylerini yapabilmek amacıyla 50 ton kapasiteli ALŞA marka universal çekme cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5). Çekme, basma, kopma ve eğme deneyleri TS-138 ve TS-269 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deneyler her 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir tekerrür için ise 3 adet numune kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

4.4. SERTLİK ÖLÇÜM DENEYLERİNİN YAPILMASI

Yüzeyi borlanmış kulaklı pulluk uç demiri olarak kullanılan yüzeyi borlanmış karbonlu AISI 1050 ve AISI 1020 çeliğine uygulanan sertlik ölçme için numunelerin sertliklerinin ölçümünde Şekil 4.6' da gösterilen sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Deneyler her 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde numunenin yüzeyinin 3 farklı noktasından ölçüm alınmıştır. Her bir tekerrür için ise 3 adet numune kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Numunelere Brinel Sertlik testi uygulanmıştır.



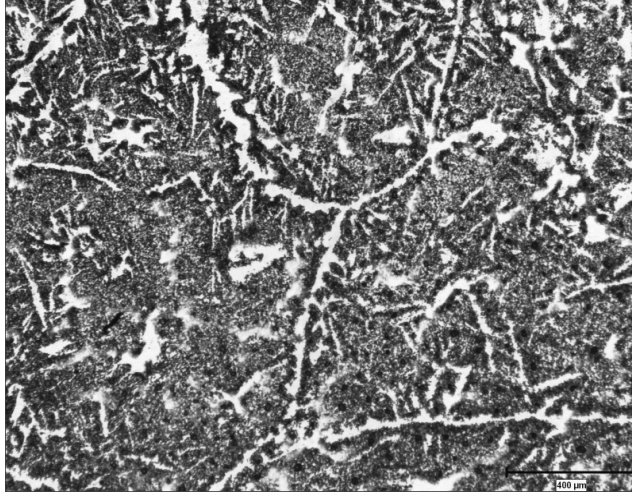
Şekil 4.6. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı cihaz.

Numunelerin sertliklerini doğru olarak ölçmek için test parçalarının iki yüzü birbirlerine paralel olacak şekilde hafifçe taşlanmıştır. Böylece herhangi bir yanılığa düşme engellenmiştir. Her numuneden en az 3 farklı noktadan sertlik değeri ortalaması alınarak saptanmıştır.

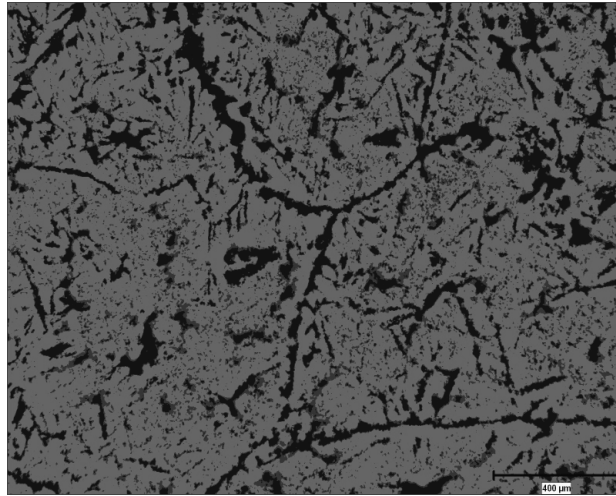
BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI

Araştırma denemelerine konu AISI 1050 çeliği ve AISI 1020 çeliğinin iç yapı fotoğrafları sırasıyla Şekil 5.1. ve Şekil 5.2. de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Pulluk uç demiri olarak kullanılan yüzeyi borlanmış karbonlu AISI 1050 çeliğinin iç yapı görünümü.



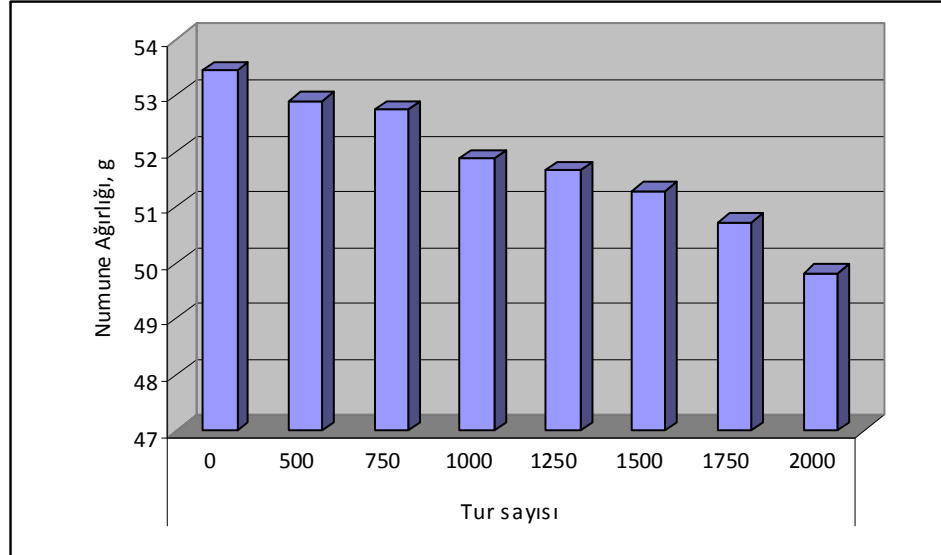
Şekil 5.2. AISI 1020 çeliğinin iç yapı görünümü.

5.1. AŞINMA DENEY SONUÇLARI

Pulluk uç demirinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin ve AISI 1020 çeliğinin aşınma deneyleri ile ilgili sonuçlar çizelge 5.1 ve çizelge 5.2 ve şekil 5.1 ve şekil 5.2 de verilmiştir. Aşınma deneylerinde kullanılan numunelerin ölçüleri 10 x 10 x 55 mm şeklindedir. Deneylerin yapıldığı ortam ve numune sıcaklığı oda sıcaklığı seviyesindedir. Aşınma deneylerinde AISI 1020 çeliğinin aşınma dayanımı ölçümlerinde numunenin ilk ağırlığı 53,45 g iken 1000 tur sonunda numune ağırlığı 51,86 g ve 2000 tur sonunda ise 49,81 g olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.1. AISI 1020 çeliğinin aşınma deney sonuçları.

	Tur sayısı							
	0	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Ağırlık(g)	53,45	52,91	52,75	51,86	51,65	51,29	50,72	49,81
Yüzde değişim	100	1,01	1,31	2,97	3,36	4,04	5,10	6,81



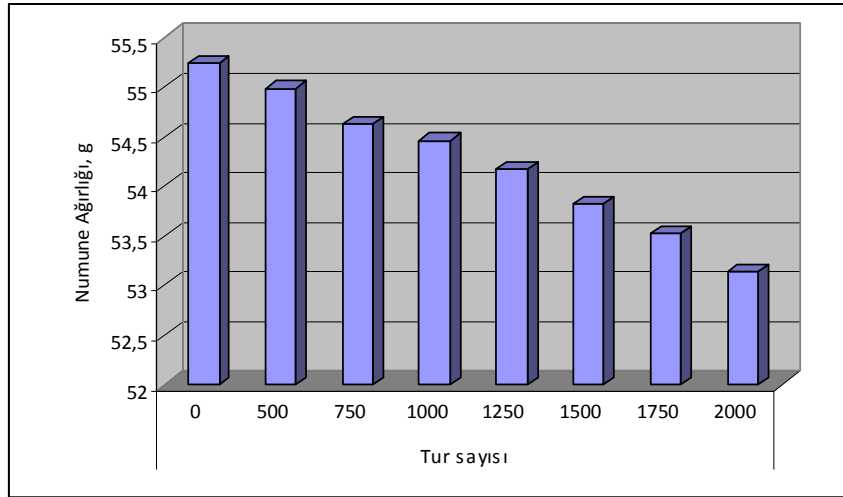
Şekil 5.3. AISI 1020 çeliğinin aşınma deney sonuçları.

Aşınma deneyleri pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin aşınma dayanımı ölçümlerinde numunenin ilk ağırlığı 55,24 g iken 1000 tur sonunda numune ağırlığı 54,46 g ve 2000 tur sonunda ise 53,14 g olarak tespit edilmiştir.

Aşınma deney sonucunda toplam değişim % 3, 80 olarak tespit edilmiştir. AISI 1020 çeliğinde ise bu değişim % 6,81 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.2. Pulluk uç demirinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin aşınma deney sonuçları çeliğinin aşınma test sonuçları.

	Tur sayısı							
	0	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Ağırlık(g)	55,24	54,99	54,63	54,46	54,17	53,82	53,52	53,14
Yüzde değişim	100	0,45	1,11	1,41	1,93	2,57	3,11	3,80



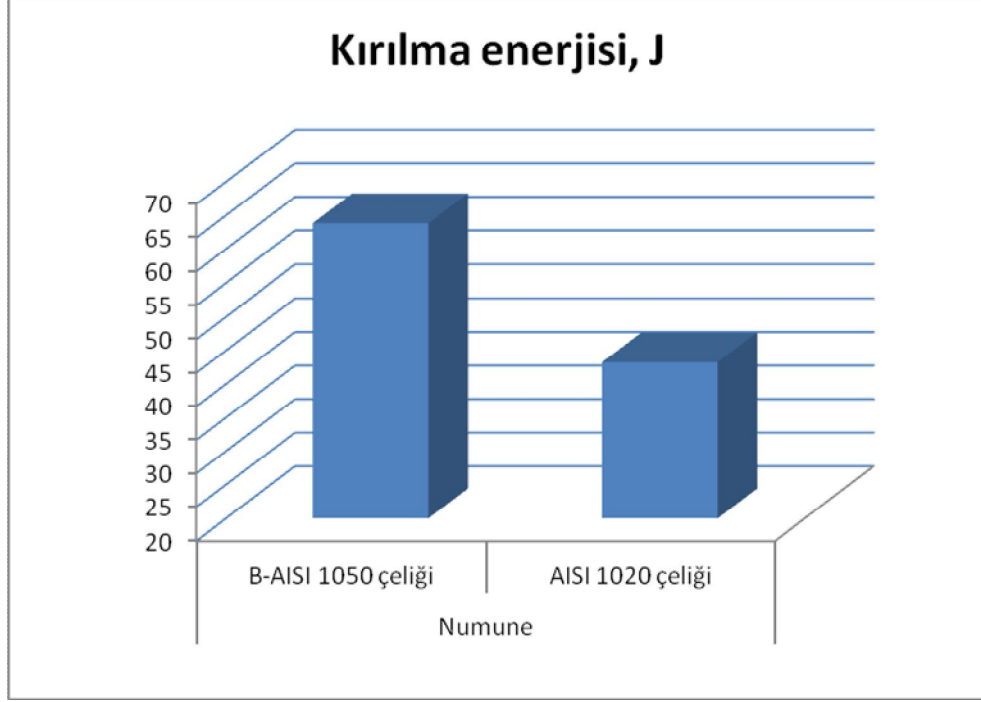
Şekil 5.4. Pulluk uç demirinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin aşınma test sonuçları.

5.2. ÇENTİK DARBE DENEYLERİ SONUÇLARI

Pulluk uç demirinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin ve AISI 1020 çeliğinin çentik darbe dayanımları ile ilgili sonuçlar çizelge 5.3. ve şekil 5.3 de verilmiştir. Çentik darbe deneylerinde kullanılan numunelerin ölçüleri 10 x 10 x 55 mm şeklinde olup çentik şekli V şeklindedir ve açısı 145 dir. Ortam ve numune sıcaklığı 20⁰ dir. Çentik darbe deneyleri sonucunda pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin çentik darbe dayanımı 63,84 J olarak bulunurken AISI 1020 çeliğinin çentik darbe dayanımı 43,27 J olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.3. Çentik darbe dayanım deneyleri sonuçları.

Numune	B-AISI 1050 çeliği	AISI 1020 çeliği
Kırılma enerjisi, J	63,84	43.27



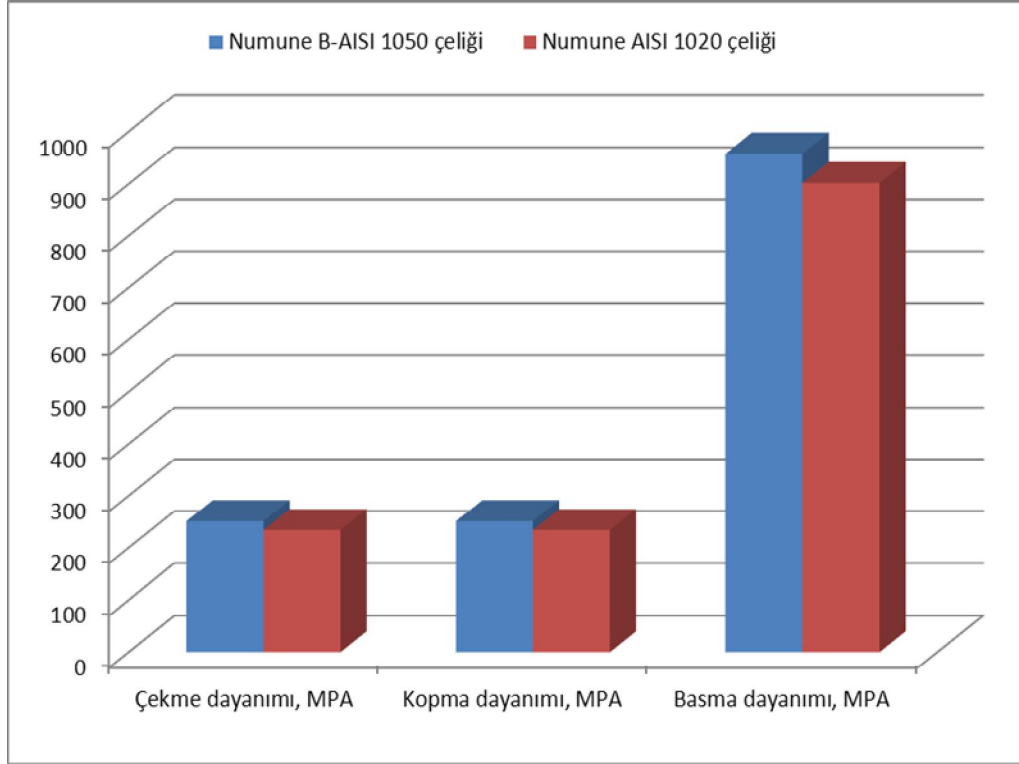
Şekil 5.5. Çentik darbe dayanımı sonuçları.

5.3. BAZI MEKANİK ÖZELLİKLER İLE İLGİLİ DENEY SONUÇLARI

Pulluk uç demirinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin ve AISI 1020 çeliğinin çekme, basma ve basma dayanımları ile ilgili sonuçlar çizelge 5.4. ve şekil 5.4. de verilmiştir. Basma, çekme ve kopma dayanım deneylerinde kullanılan numunelerin ölçüleri 10 x 10 x 105 mm şeklindedir. Ortam ve numune sıcaklığı oda sıcaklığı değerlerindedir. Çekme, basma ve kopma dayanımı deney sonucunda pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin çekme, kopma ve basma dayanımı sırasıyla 251 MPA, 251 MPA ve 958 MPA olarak bulunmuştur. Bunun yanında AISI 1020 çeliğinin çekme, kopma ve basma dayanımı sırasıyla 234 MPA, 234 MPA ve 902 MPA olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.4. Çekme, basma ve kopma dayanımı deneyleri sonuçları.

Numune	B-AISI 1050 çeliği	AISI 1020 çeliği
Çekme dayanımı, MPA	251	234
Kopma dayanımı, MPA	251	234
Basma dayanımı, MPA	958	902



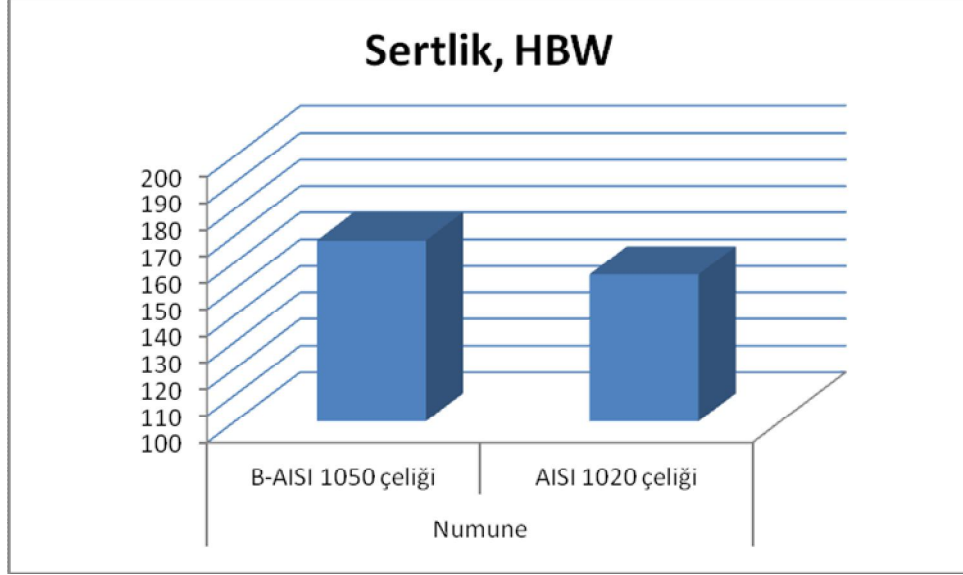
Şekil 5.6. Çekme, basma ve kopma dayanımı deney sonuçları.

5.4. SERTLİK DENEYLERİ SONUÇLARI

Pulluk uç demirinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin ve AISI 1020 çeliğinin sertlik deneyleri ile ilgili sonuçlar çizelge 5.5. ve şekil 5.5. de verilmiştir. Sertlik deneylerinde kullanılan numunelerin ölçüleri 10 x 10 x 55 mm şeklindedir. Ortam ve numune sıcaklığı oda sıcaklığındadır. Sertlik ölçüm deneyleri sonucunda kulaklı pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin sertlik dayanımı 168.08 HBW olarak bulunurken AISI 1020 çeliğinin çentik darbe dayanımı 155.4 HBW olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.5. Çentik darbe dayanım deneyleri sonuçları.

Numune	B-AISI 1050 çeliği	AISI 1020 çeliği
Sertlik dayanımı, HBW	168,08	155,4



Şekil 5.7. Sertlik dayanım sonuçları.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitkisel üretimin ilk ve en önemli evresi olan toprak işleme aletlerinden kulaklı pulluk uç demiri imalatında genellikle borlanmış AISI 1050 çeliği kullanılmaktadır. Pulluk uç demirleri diğer toprak işleme aleti aktif organları da dikkate ele alındığında en fazla aşınan kısımdır. Bu çalışma kapsamında piyasadan pulluk uç demiri imalatında en fazla kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliği ve AISI 1020 çeliği sağlanmış ve bu numuneler üzerinde bazı mekanik özellikler (çekme, kopma basma), yüzey sertlik, çentikli darbe dayanımları ve abrasif aşınma dayanımları incelenmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Aşınma deneyleri sonucunda pulluk uç demirinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinde meydana gelen toplam değişim % 3, 80 olarak ve AISI 1020 çeliğinde ise bu değişim % 6,81 olarak tespit edilmiştir. Borlanmış AISI 1050 çeliğinin aşınma dayanımını önemli düzeyde iyi olduğu tespit edilmiştir.
2. Çentik darbe deneyleri sonucunda borlanmış AISI 1050 çeliğinin çentik darbe dayanımı 63,84 J olarak bulunurken AISI 1020 çeliğinin çentik darbe dayanımı 43,27 J olarak tespit edilmiştir.
3. Çekme, basma ve kopma dayanımı deney sonucunda pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin çekme, kopma ve basma dayanımı sırasıyla 251 MPA, 251 MPA ve 958 MPA olarak bulunmuştur. Bunun yanında AISI 1020 çeliğinin çekme, kopma ve basma dayanımı sırasıyla 234 MPA, 234 MPA ve 902 MPA olarak tespit edilmiştir.

4. Sertlik ölçüm deneyleri sonucunda kulaklı pulluk uç demirlerinde kullanılan borlanmış AISI 1050 çeliğinin sertlik dayanımı 168.08 HBW olarak bulunurken AISI 1020 çeliğinin çentik darbe dayanımı 155.4 HBW olarak tespit edilmiştir.
5. Borlama işlemi malzemeye her ne kadar ek bir maliyet getirirse de sonuçlardan da görüldüğü üzere malzemenin mekanik dayanımını ve aşınma dayanımı iyileştirmekte ve daha uzun süre kullanım imkânı sağlamaktadır.

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak aşağıdaki öneriler getirilebilir.

1. Toprağa girerek çalışan toprak işleme aletlerinin en önemlisi olan kulaklı pullukların uç demirlerinden aşınmaya karşı dayanıklı olabilmesi için yüksek oranda sertlik ve çarpma etkisine karşı dayanabilmesi için yüksek tokluk değerlerine sahip olması istenir. Ancak unutulmamalıdır ki sertlik ve tokluk kavramları birbirleri ile ters orantılı olan iki özelliktir. Bu nedenle uç demirlerinin yüzeyinin borlama ya da başkaca etmenlerle sertleştirilmesi ancak yüksek tokluk değerine sahip bir içyapı bırakılması gerekmektedir.
2. Pulluk uç demirleri üzerine yapılacak çalışmaların farklı toprak koşulları dikkate alınarak devam ettirilmesi gerekmektedir. Çünkü toprak içerisinde bulunan taş, kök vb. yapıların aşınmayı arttırdığından, aşınmaya etkileri ayrıca incelenmelidir.
3. Toprak işleme aletleri üzerine yapılacak çalışmalarda en önemli faktörün aşınma olduğu unutulmamalı ve aşınma dayanımı artırmaya yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Akdoğan, A. ve B. Eker, “Tarım makinalarında korozyonun etkileri ve çözüm yolları”, **8. Denizli Malzeme Sempozyumu**, Denizli, 38-47 (2000).

Angus, H. T., “The significance of hardness”, *Wear*, 40 (3): 33-78 (1979).

Aykas, E., and Önal, I., “Effects of different tillage seeding and weed control methods on plant growth and wheat yield”, **7. International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture**, Adana, 119-124 (1999).

Axen, N., and Zum Gahr K. H., “Abrasive wear of tic-steel composite clad layers on tool steel”, *Wear*, 157 (4): 189-201 (1992).

Badini, C., Gianoglio C., and Pradelli G., “The effects of carbon, chromium and nickel on the hardness of borided layers”, *Surface and Coatings Technology*, 30 (2): 157-170 (1987).

Balla, J., and Seckar, P., “The utilization of a new method of evaluating worn edge by systems approach to solving the problem”, **3rd Int. Tribology Process in Solid Body Contact Areas**, Poland, 17-23 (1981).

Bayhan, Y., “Trakya bölgesinde imal edilen bazı toprak işleme aletlerinin uç demirlerindeki aşınma ve aşınmaya etkili bazı etkenlerin saptanması üzerinde bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Tekirdağ, 84 (1996).

Bejar, M.A., Moreno, E., “Abrasive wear resistance of boronized carbon and low alloy steels”, *Journal of Material Processing Technology*, 173 (2006) 352-358.

Bel’skii, E. I., Sitkevich M. V., Rogov V. A. and Kryukov V. P., “Chemicothermal treatment of dies”, *Metal Science and Heat Treatment*, 22 (1): 5-6, 398-401 (1980).

Biddulph, R. H., “Boronizing for erosion resistance”, *Thin Solid Films*, 45: 341-347 (1977).

Bindal, C., “Az alaşımlı ve karbon çeliklerinde borlama ile yüzey kaplanan borürlerin bazı özelliklerinin tesbiti”, Doktora Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 149 (1991).

Bozkurt, N., “Bor yayınımlı çeliklerde yüzey sertleştirme”, Doktora Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 113 (1984).

Bourithis, L., Papaefthymiou, S. and Papadimitriou, G.D., "Plasma transfer arc boriding of a low carbon steel: microstructure and wear properties", **Applied Surface Science**, 200 (2002) 203>218.

Çelebi, G., İpek, M., Bindal, C. and Ücisik, A.H., Some mechanical properties of borides formed on AISI 8620steel, **Materials Forum** Vol. 29 -Published, 456-460, 2005.

Çelik, O. N., "Küresel grafitli dökme demirlerde cu, ni ve mo alaşım elementlerinin ostemperleme sonucu beynit oluşumuna etkisinin incelenmesi ve sinirsel ağ modeli ile değerlendirilmesi", Doktora Tezi, **Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, 123 (1996).

Çelik, O.N., Ö. Akbayır., H. Gaşan., Ü. Er., N Aydınbeyli, Borlanmış AISI 1030 Çeliğinin Abrazif Aşınma Özellikleri. **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi** C.XXI, S.1, 2008

Çelikyürek, İ., Baksan, B., Torun, O., Gürler, R., Boronizing of iron aluminide Fe72Al28, **Intermetallics**, Vol. 14, 136-141, 2006

Çetinkaya, C., "Pulluk uç demirlerinin aşınmaya dayanımlarının belirlenmesi ve iyileştirme imkanları üzerinde araştırmalar", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 96 (1994).

Çil, G., Farklı Çeliklerin Borlanması ve Borlama Özelliklerinin İncelenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, **Yüksek Lisans Tezi**, s:92, 2010

Dube, N.B., Hutchings, I.M, "Influence of Particle Fracture in the High Stress and Low Stress Abrasive Wear of Steel", **Wear**, 233-235, 246-256, 1999.

Er, Ü., 2003, Bor yayınıyla yüzeyi sertleştirilmiş çeliklerin aşınmaya karşı dayanımlarının ve pulluk uç demirlerinde uygulama olanaklarının araştırılması, Osmangazi Üniversitesi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, 124 s.

Evtifeev, S. L., and Sin'kovskii A. S., "Method of improving the heat resistance of parts working under conditions of discontinuous lubrication", **Metal Science and Heat Treatment**, 27 (7-8): 627-629 (1985).

Eyre, T. S., "Effect of Boronising on friction and wear of ferrous metals", **Wear**, 34: 383-397 (1975).

Fichtl, W., Trausner N., and Matuschka A. G., "Boronizing with ekabor", **Elektroschmelzwerk Kempten GmbH**, 12 (2): 6-8 (1987).

Foley, A. G., Lawton P. J., Barker A. W., and Melees V. A., "The use of alumina ceramic to reduce wear of soil-engaging components", **Journal of Agricultural Engineering Research**, 30 (3): 37-46 (2000).

Frantsuzova, L. P., Vladimirov A. V., Chetchasova T. E., Lisitskaya L. A., and Fal'kin A. I., "Increasing the impact strength of constructional steels by thermocycling treatment", *Metal Science and Heat Treatment*, 26 (3): 3-4, 269-272 (1984).

Gopalakrishnah, P., Shankar P., Subba Rao R. V., Sundar M. and Ramakrishnan S. S., "Laser surface modification of low carbon borided steels", *Scripta Materialia*, 44 (5): 707-712 (2001).

Gökçebay, B., "Tarım makineleri-1", *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ankara, 979: 3-16, 39-68 (1986).

Göktürk, B., "Kültivatör uç demirlerine uygulanan farklı ısıl işlemlerin mekanik özelliklere etkilerinin karşılaştırılması üzerine bir araştırma", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 60 (1995).

Habig, K. H., "Wear, corrosion and fatigue behaviour of steels coated with hard surface layers", *Proc. Int. Conf. On Wear of Materials*, Virginia, 288-297 (1983).

Holmberg K., Matthews, A., "Coatings Tribology-Properties, **Techniques and Applications in Surface Engineering**, Elsevier, 28:3-13, 33-121, 125, 257-307 (1994).

Hunger, H. J. and Trute G., "Boronizing to produce wear-resistant surface layers", *Heat Treatment of Metals*, 2 (1): 31-39 (1994).

Hurricks, P. L., "Review paper: some aspects of the metallurgy and wear resistance of surface coatings", *Wear*, 22 (2): 291-320 (1972).

Hurricks, P. L., "Some metallurgical factors controlling the adhesive and abrasive wear resistance of steels. a review", *Wear*, 26 (2): 285-304 (1973).

Hutchings, I. M., "Surface Engineering In Tribology, chapter 8, in: tribology: friction and wear of engineering materials", *Edward Arnold Pub.*, London, 273 (1992).

Ivanov, A. S. and Sokolov A. N., "Surface hardening of low-carbon martensitic steels by boronizing", *Metal Science and Heat Treatment*, 40 (3): 7-8, 266-268 (1998).

Jain, V. and Sundararajan G., "Influence of the pack thickness of the boronizing mixture on the boriding of steel", *Surface and Coatings Technology*, 149 (5): 21-26 (2002).

Karakan, M., Alsanar A. ve Çelik A., "Plazma borlama", *Mühendis ve Makine*, 43 (512): 51-54 (2002).

Karamış, M. B., "Toprak işleme aletlerinde iş organının aşınmasının etüdü", Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 120 (1985).

Keçecioglu, G. ve Ulusoy, E., “Ege bölgesinde yapılan bazı pulluk uç demirleri üzerinde bir araştırma”, *E.Ü.Z.F. Yayınları*, İzmir, 278: 56-58 (1975).

Khruschov, M. M., “Principles of abrasive wear”, *Wear*, 28 (4): 69-88 (1974).

Kufel, K. and Wierzcholski K., “The wear of the plough bodies with rigid and elastic connections to the frame”, *Wear*, 48 (4): 162-164, 1002-1003 (1993).

Kulka, M., Pertek, A., “Characterization of complex(B + C + N) diffusion layers formed on chromium and nickel based low carbon steel”, *Applied Surface Science* 218 (2003) 113–122

Kushwaha, R. L., Chi L. and Roy C., “Investigation of agricultural tools with plasma-sprayed coatings”, *Tribology International*, 23 (5): 297-300 (1990).

Küper, A., Qiao X., Stock H. R., and Mayr P., “A novel approach to gas boronizing”, *Surface and Coatings Technology*, 130 (4): 87-94 (2000).

Martini, C., Palombarini, G., Poli, G. and Prandstraller, D., “Sliding and abrasive wear behaviour of boride coatings”, *Wear* 256 (2004) 608–613.

Matuschka, A. G., “Boronizing”, *München Wien*, 100-102 (1980).

Meriç, C., Şahin S. and Yılmaz S.S., “Investigation of the effect on boride layer of powder particle size used in boronizing with solid boron-yielding substances”, *Materials Research Bulletin*, 35 (4): 2165-2172 (2000).

Misra, A. and Finnie I., “A review of the abrasive wear of metals”, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 104 (2): 94-101 (1982).

Moore, M. A., “A review of two-body abrasive wear”, *Wear*, 27 (5): 1-17 (1974).

Moore, M. A., “The relationship between the abrasive wear resistance, hardness and microstructure of ferritic materials”, *Wear*, 28 (2): 59-68 (1974).

Moore, M. A., “Abrasive wear by soil”, *Tribology International*, 42 (2): 105-110 (1975a).

Moore, M. A., “The abrasive wear resistance of surface coatings”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 20 (3): 167-179 (1975b).

Mutaf, E., “Tarım Alet ve Makinaları”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, 218-414 (1974).

Mutaf, E. ve Ulusoy E., “Toprak işleme aletlerinin iş organlarında kullanılan bazı çeliklerin farklı ısıl işlemlere göre laboratuvar ve tarla şartlarında aşınma dirençleri”, *TÜBİTAK Yayınları*, Ankara, No: 337, 64-68 (1977).

Mutton, P. J. and Watson J. D., "Some effects of microstructure on the abrasion resistance of metals", *Wear*, 48 (2): 385-398 (1978).

Nair, F., "Koruyucu gaz atmosferinde macun borlama tekniği ile çelik yüzeylerinin sertleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 62-85 (1996).

Nair, F., Karamış, M.B., ve Taşdemirci, A., "Endüstriyel uygulamalarda borlanmış çeliklerin aşınma davranışlarının incelenmesi", 8. **Denizli Malzeme Sempozyumu**, 26-28 Nisan 2000, Denizli, Bildiri Kitabı, ss. 334-343.

Oğuz B., Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları, **Oerlikon**, İstanbul, 709, 1993

Olson, D.L., Cross, C.E., "Friction and Wear in the Mining and Mineral Industries", ASM Handbook, Vol. 18: **Friction, Lubrication and Wear Technology**, ASM, International, 1992.

Owsiak, Z., "Wear of spring tine cultivator points in sandy loam and light clay soils in southern poland", *Soil and Tillage Research*, 50 (5): 333-340 (1999).

Önal, İ., "Ekim Bakım Ve Gübreleme Makinaları", *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, 490: 52-65 (1995).

Öz, İ. H., "Ziraat Makineleri", *İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi*, İstanbul 11-41 (1977)

Özbek, İ., "Borlama yöntemi ile (AISI M50, AISI M2) yüksek hız çeliklerinin ve AISI W1 çeliğinin yüzey performanslarının geliştirilmesi", Sakarya Üniversitesi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 161 s., 1999.

Özbek, İ. and Bindal C., "Mechanical properties of boronized aisi w4 steel", *Surface and Coatings Technology*, 154 (3): 14-20 (2002).

Özemer, Y. ve Kurtay, T., "Tarım makinalarının esasları", *İTÜ Müh. Mim. Fak. Yayınları*, İstanbul, 540-550 (1977).

Özsoy, A., "Çeliğin borlanmasında borür tabakası, geçiş zonu ve ana matriksin özelliklerinin iyileştirilmesi", Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 100-108 (1991).

Özsoy, A., "Çeliğin borlanmasında borür tabakası, geçiş zonu ve ana matriksin özelliklerinin iyileştirilmesi", Anadolu Üniversitesi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Doktora Tezi, Eski-ehir, 1991.

Quirke, S., Scheffler O., and Ailen C., "An evaluation of the wear behaviour of metallic materials subjected to soil abrasion", *Soil and Tillage Research*, 11 (2): 27-42 (1988).

Palalı, T., "Farklı Kaplamaların Pulluk Uç Demirlerinin Aşınmasına Etkisi" Gazi üniversitesi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisan Tezi. (2007)

Par, B. ve Komaç O. Ş., “Tarımsal mekanizasyonda östenitik mangan çeliğinin aşınma direncine yüzey basıncının etkisi”, **4. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı**, Isparta, 803-813 (1990).

Permyakov, V. G., Loskutov V. F., Trush I. K., and Pisarenko, V. N., “Boriding of tool steels in commercial boron carbide”, **Metal Science and Heat Treatment**, 16 (2): 1-2, 160-162 (1974).

Polat, Ş., “Farklı alaşımlardaki çeliklerden üretilen kültivatör uç demirlerinin aşınma özelliklerinin teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 37 (1994).

Richardson, R. C. D., “The wear of metallic materials by soil-practical phenomena”, **Journal of Agricultural Engineering Research**, 12 (1): 22-39 (1967).

Rie, K. T., “Recent advances in plasma diffusion processes”, **Surface and Coatings Technology**, 112 (2): 56-62 (1999).

Rus, J., Luis De Leal C. and Tsipas D. N., “Boronizing of 304 steel”, **Journal of Materials Science Letters**, 4 (3): 558-560 (1985).

San, N. Y. ve Kaluç, E., “Endüstride aşınma problemleri”, **Makine ve Metal Teknolojisi**, 50 (2): 64-68 (1996).

Shadrichev, E.V. and Rumyantsev, S.I., “Wear kinetics of a two phase boride layer”, **Metal Science and Heat Treatment (USSR)**, Vol. 24, No. 7-8, pp. 495-498, 1982.

San, N. Y., Şirin Ş. Y., Kaluç E. ve Tülbentçi K., “Makine parçalarının aşınmasına karşı modern yüzey işlemleri”, **Makine Magazin**, 14 (2): 48-51 (1997).

Selçuk, B., İpek R., Karamış M. B. and Kuzucu V., “An investigation on surface properties of treated low carbon and alloyed steels (bonding and carburizing)”, **Journal of Materials Processing Technology**, 103 (3): 310-317 (2000).

Sert, H., Can, A., Arıkan, H., Selçuk, B. ve Toprak, H., “Wear behavior of different surface treated cam spindles”, **Wear** 260 (2006) 1013–1019

Singhal, S. C., “A hard diffusion boride coating for ferrous materials”, **Thin Solid Films**, 45 (2): 321-329 (1977).

Soydan, Y., “Katı ortamda bor yayımı ile yüzeyi sertleştirilen çelik yüzeylerinin kuru kayma halinde sürtünme ve aşınma davranışları”, Doktora Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 141-175 (1996).

Subrahmanyam, J. and Gopinath K., “Wear studies on boronized mild steel”, **Wear**, 95 (1): 287-292 (1984).

Sungur N., “Tarım makineleri işletme tekniği”, **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları**, İzmir, 215 (3): 8-11 (1974).

Şen, Ş. ve Bindal, C., “AISI 5140 çeliğinin yüzeyinde oluşan borürlerin bazı özellikleri”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Denizli Şubesi Bilim Günleri Bildiri Kitabı*, 670-675 (1999).

Şen, Ş., Özbek, İ., Şen U., and Bindal C., “Mechanical behavior of borides formed on borided cold work tool steel”, *Surface and Coatings Technology*, 135 (2): 173-177 (2001).

Tabur M., M.İzciler., F. Gül, 2009. Borlanmış hardox 400 çeliğinin abrasif aşınma davranışları. **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu** (IATS'09), 13-15 Mayıs2009, Karabük, Türkiye

Tarhuni, M., “Bazı kültivatör uç demirlerinde aşınmanın azaltılabilmesini sağlayan yöntemler üzerinde araştırmalar”, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 88-100 (1996).

Tekin, A., “Çelik ve Isıl İşlemi”, **Hakan Ofset Yayınevi**, Adana, 14-56 (1984).

Tian, Z., Sun W., Shang M., Jiang X., Han W. and Li L., “Application of boronizing technology on ploughshares and study on the abrasive wear characteristics under low stress of boronized layer”, *Proceedings of the International Symposium on Agricultural Engineering*, Beijing, 248- 249 (1989).

Tsipas, D. N. and Rus J., “Boronizing of alloy steels”, *Journal of Materials Science Letters*, 6 (2): 118-120 (1987).

Tylcak, J.H., “Abrasive wear”, ASM Handbook, Vol. 18: **Friction, Lubrication and Wear Technology**, ASM International, 1992.

Uetz, H. and Fohl J., “Wear as an energy transformation process”, *Wear*, 49 (3): 253-264 (1978).

Ulusoy, E., “Bazı toprak işleme alet ve makinelerinde iş organlarının aşınması üzerine araştırmalar”, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi*, İzmir, 8-68 (1977).

Vang, B., Levy, A. B., “Erosion of Hard Material Coating Systems” *Wear*, Spon Pres, 325-346 (1988).

Vasil’eva, E. V., Yurkov I. I., Uralpov A. M. and Mel’nichuk G. A., “Structure and properties of borided chromium stainless steels”, *Metal Science and Heat Treatment*, 27 (5): 391-394 (1985).

Venkatesan, K., Subramanian C. and Summerville E., “Three-Body abrasion of surface engineered die steel at elevated temperatures”, *Wear*, 48 (5): 129-138 (1997).

Vijh, A. K., “The influence of solid state cohesion of metals an non-metals on the magnitude of their abrasive wear resistance”, *Wear*, 35 (2): 205-209 (1975).

Wang, A. G. and Hutchings I. M., “Mechanisms of abrasive wear in a boronized alloy steel”, *Wear*, 40 (2):124,149-163 (1988).

Yaldız, S., “Bazı toprak işleme aletlerinin işleyici organlarında uygulanan ısıt işlemler ve uygun ısıt işlemlerin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 63-85 (1990).

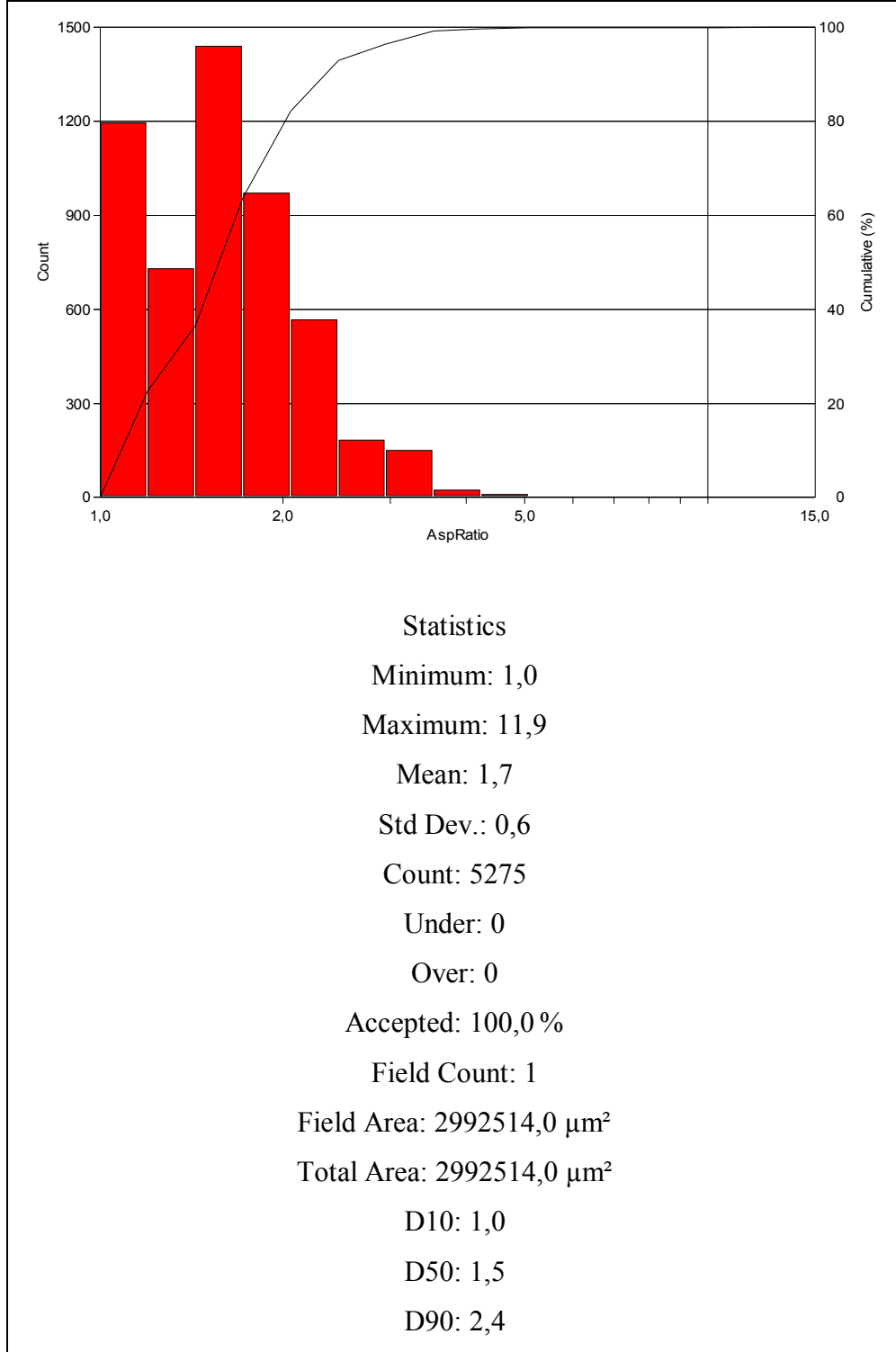
Yan, P.X., Wei, Z.Q., Wen, X.L., Wu, Z.G., Xu, J.W., Liu, W.M., Tian, J., Post boronizing ion implantation of C45 steel, *Applied Surface Science*, Vol. 195, 74-79, 2002.

Yılmaz, R., Türkmen, M. ve Fıçıcı, F. “Hardoks 500 çeliğinin abrasif aşınma davranışının incelenmesi. *International Iron & Steel Symposium*, 02-04 April, Karabük, Türkiye 522-530, 2012.

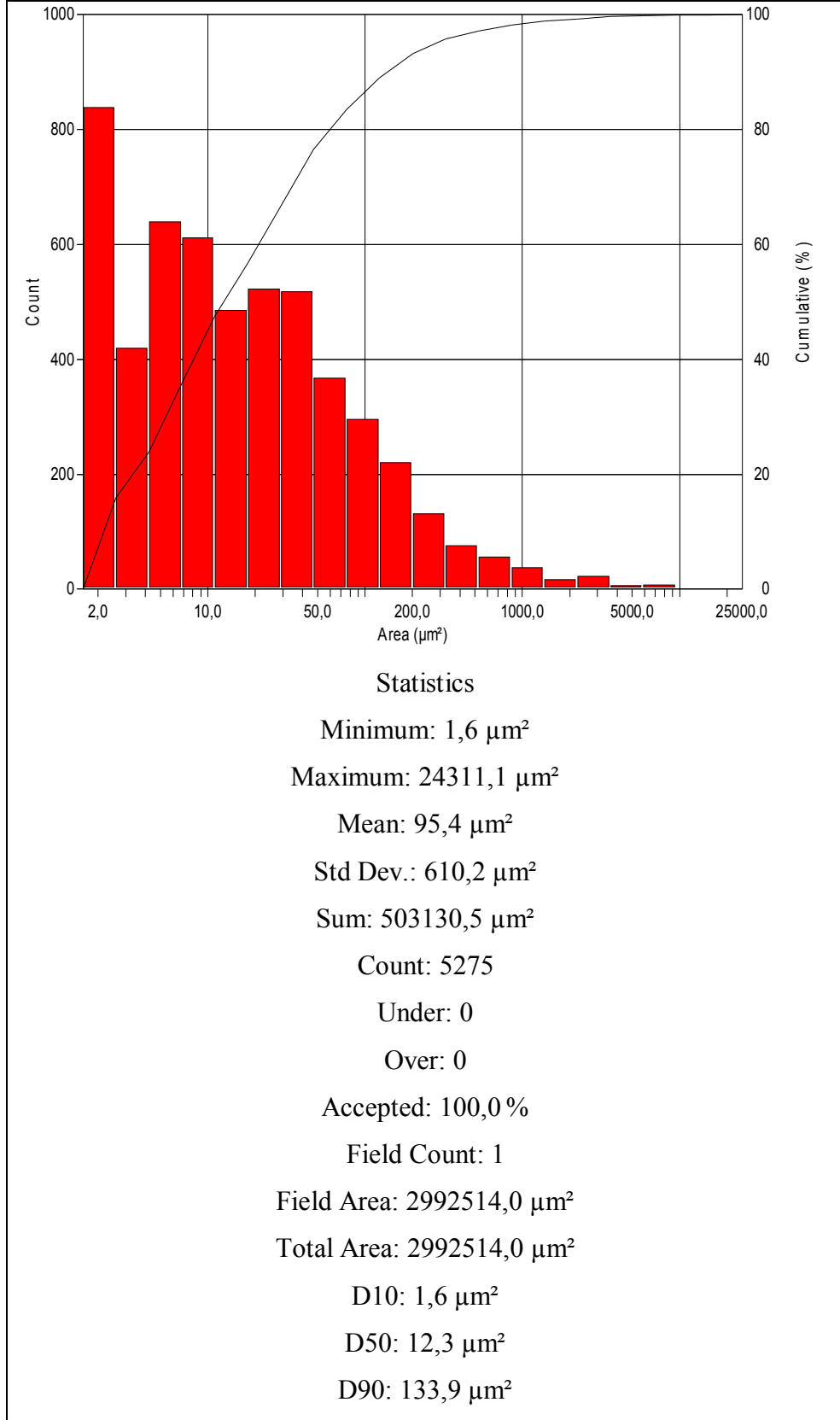
Yu, H. J., and Bhole S. D., “Development of a prototype abrasive wear tester for tillage tool materials”, *Tribology International*, 23 (5): 309-316 (1990).

Zagulyaeva, S. V., Denisyuk A. K. and Makashova L. S., “Boronizing and resistance of steel and cast iron to thermal erosion”, *Metal Science and Heat Treatment*, 41 (3): 11-12, 473-475 (1999).

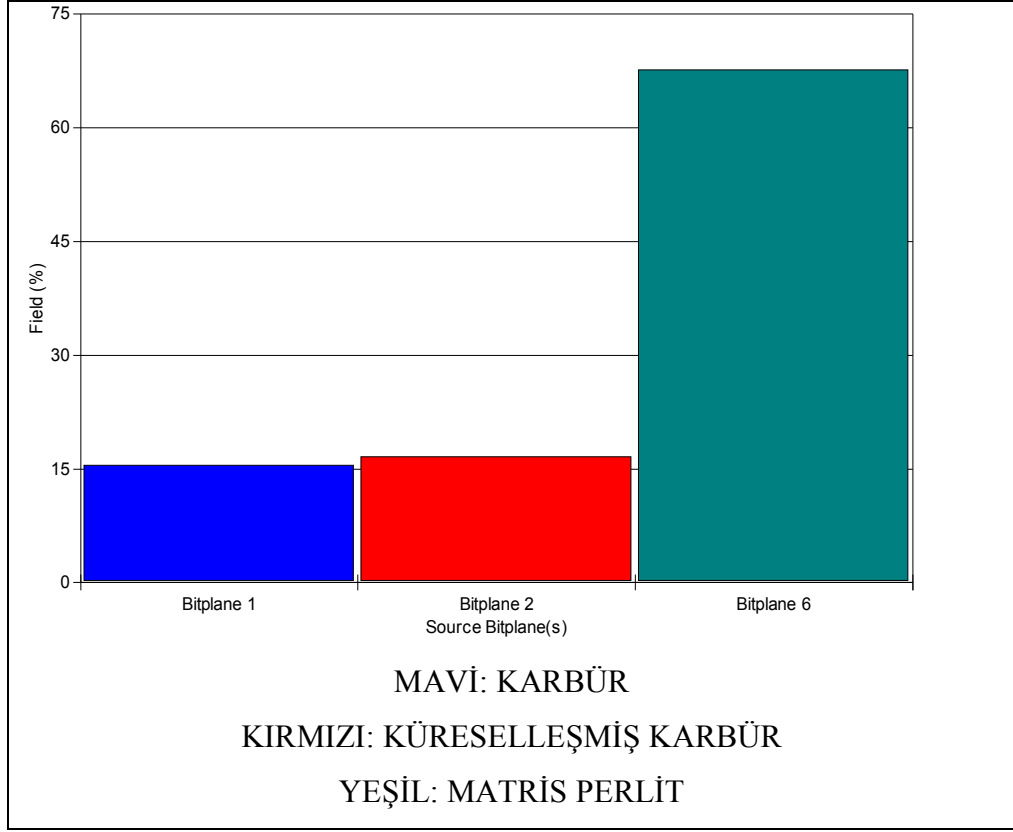
EK AÇIKLAMALAR A
YÜZEY ALAN GRAFİKLERİ



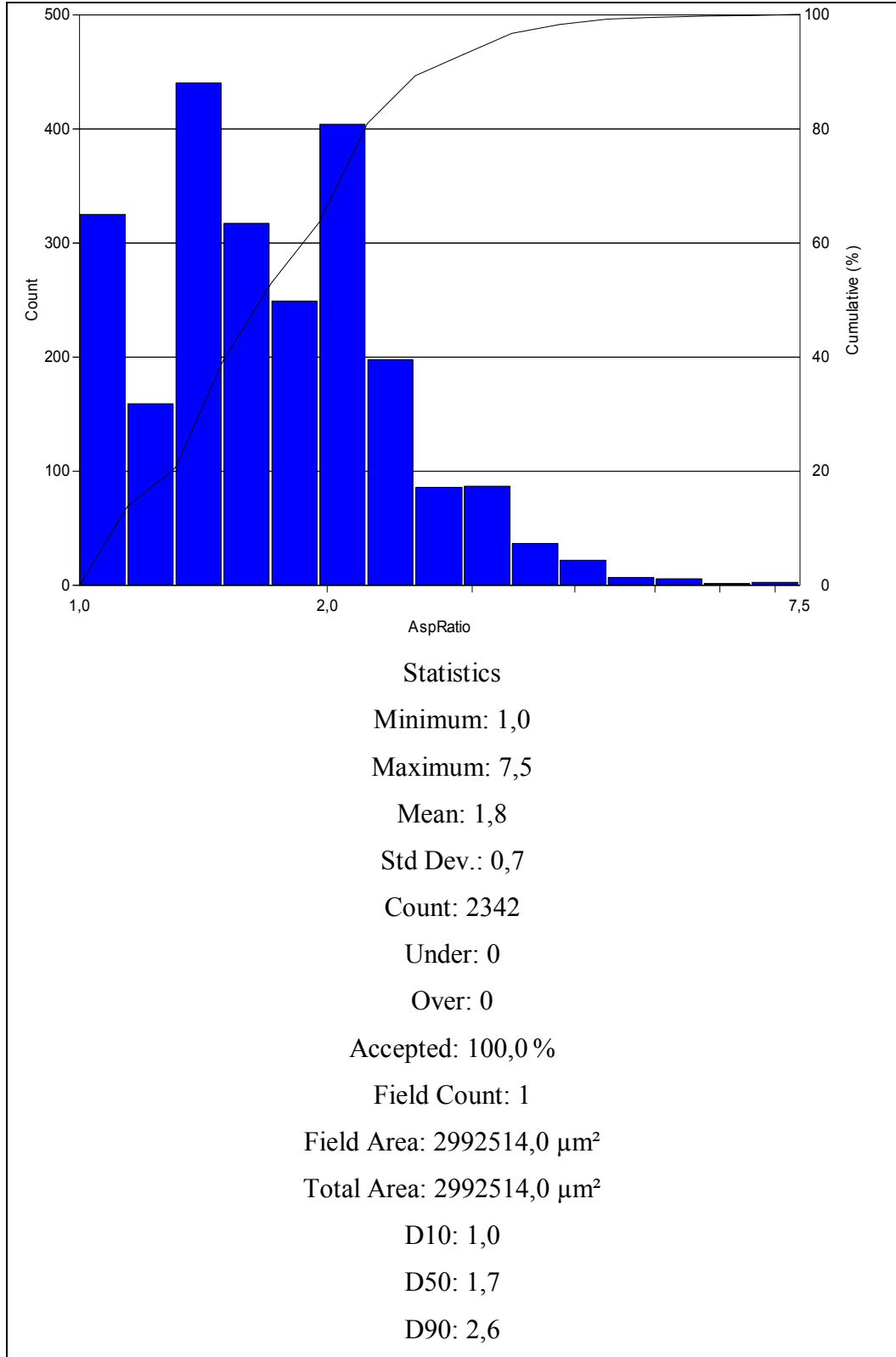
Şekil Ek A.1. Verilen değerlere göre Asp oranı.



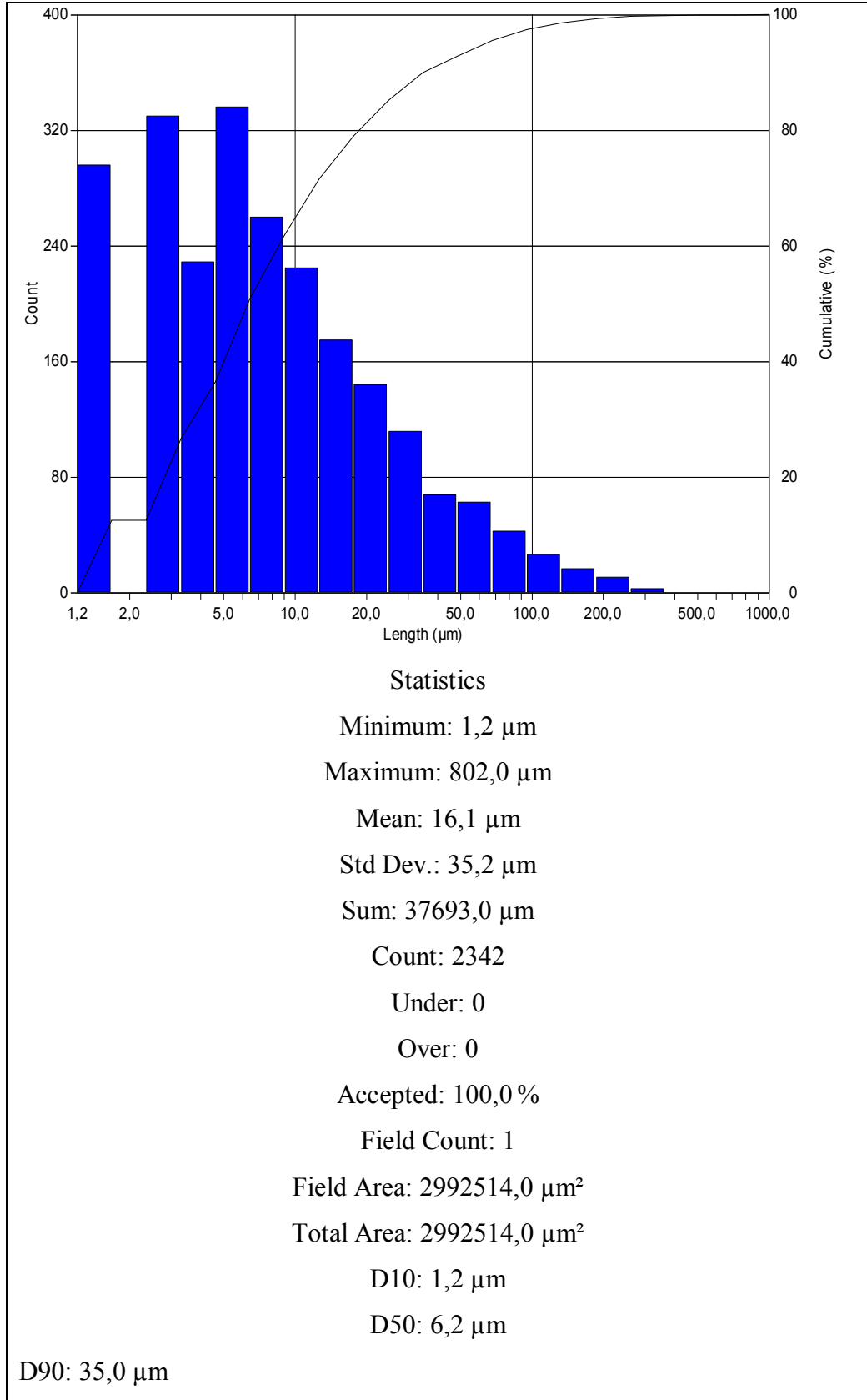
Şekil Ek A.2. Verilen değerlere göre alan yüzde ilişkisi grafiği.



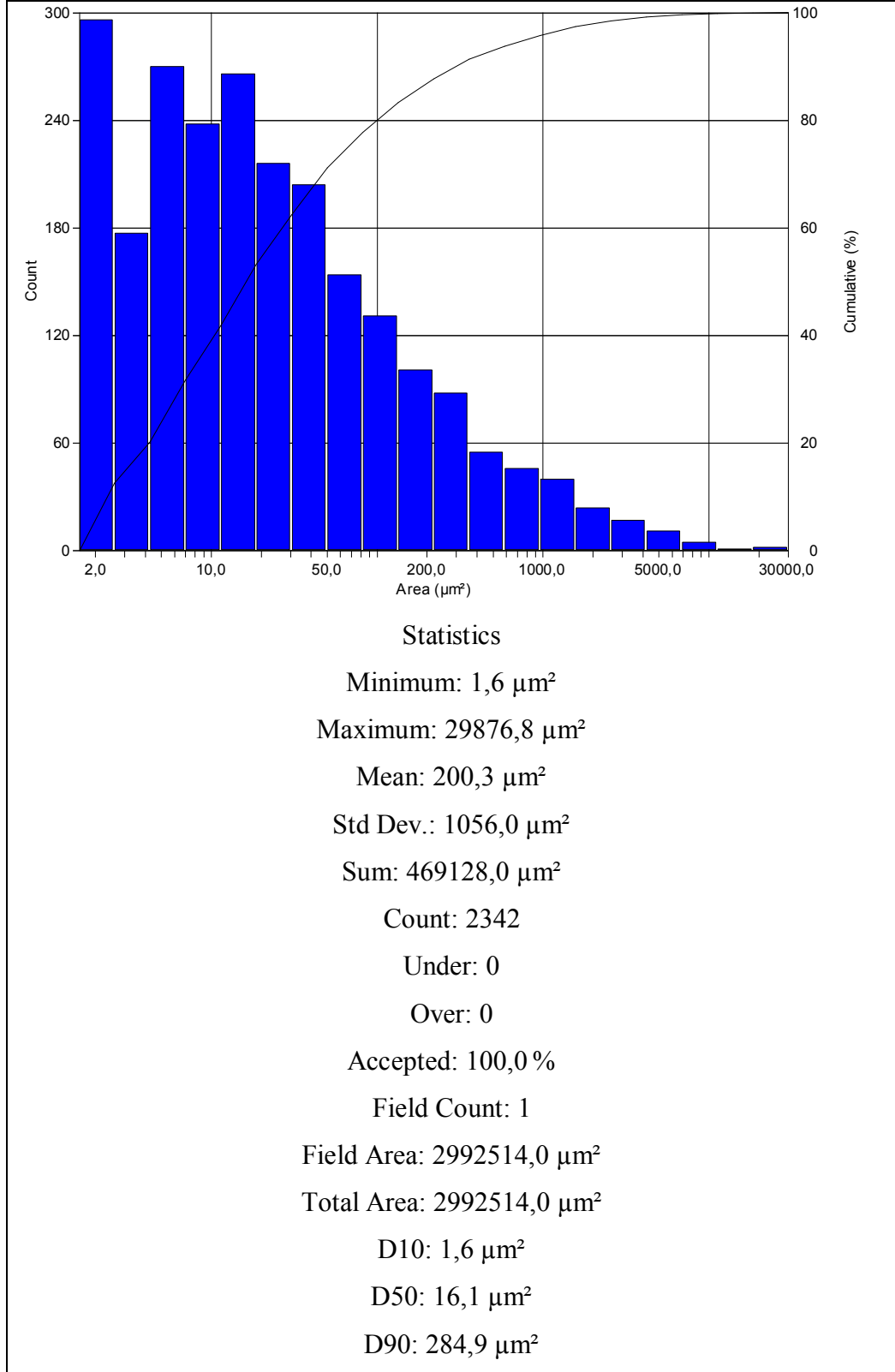
Şekil Ek A.3. Matris yapıları – yüzde alan ilişkisi grafiği.



Şekil Ek A4. Verilen değerlere göre Asp oranı.



Şekil Ek A.5. Verilen değerlere göre uzunluk oranları.



Şekil Ek A.6. Verilen değerlere göre alan yüzde ilişkisi grafiği.

ÖZGEÇMİŞ

Savaş ŞENAY 1985 yılında Karabük'te doğdu. İlk ve orta eğitimini Karabük'te tamamladı. 2002 yılında Karabük 75. Yıl Anadolu lisesinden mezun oldu ve aynı yıl Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2008 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği A.B.D.'da yüksek lisans eğitimine başladı. Halen aynı anabilim dalında lisansüstü eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kayabaşı Mh. Bahattingazi Cd.

Şenay No:19. KARABÜK

E-posta : svssenay@gmail.com