

**BORLA KAPLANMIŞ TAŞIT AKTARMA ORGANLARININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Erkan YILMAZ**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Reşat SELBAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI  
ISPARTA – 2005**

**BORLA KAPLANMIŞ TAŞIT AKTARMA  
ORGANLARININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Erkan YILMAZ**

**Yüksek Lisans Tezi  
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA 2005**

**T.C.**  
**SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BORLA KAPLANMIŞ TAŞIT AKTARMA ORGANLARININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Erkan YILMAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**Isparta 2005**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI'nda  
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT.....

Üye : Yrd. Dç. Dr. Cengiz KAYACAN.....

Üye : Yrd. Dç. Dr. Reşat SELBAŞ (Danışman).....

ONAY

Bu tez ...../...../ 2005 tarihinde Enstitü Yönetim kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri  
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../ 2005

Prof. Dr. Çiğdem SAVAŞKAN  
Enstitü Müdürü

**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Güç Aktarma Organlar.....	2
1.1.1. Aktarma Organlarında Kullanılan Dişli Çarklar.....	3
1.1.1.1. Düz Dişli Çarklar.....	4
1.1.1.2. Helis Dişli Çarklar.....	5
1.1.1.3. Konik Dişli Çarklar.....	5
1.1.2.Vites Dişli Kutusu.....	6
1.1.3. Vites Dişli Kutusundaki Dişlilerin Özellikleri.....	7
1.1.4. Vites Dişli Kutusunun Çalışması.....	8
1.1.5. Dişlilerde Meydana Gelen Hasarlar.....	10
1.2. Borlama Isıl İşlemi.....	11
1.2.1. Borlanabilen Malzemeler.....	13
1.2.2. Borlama Yöntemleri.....	16
1.2.2.1. Katı Ortamda Borlama.....	16
1.2.2.2. Sıvı Ortamda Borlama.....	18
1.2.2.3. Gaz Ortamda Borlama.....	20
1.2.2.4. Plazma (İyon) Borlama.....	21
1.2.2.5. Pasta Borlama.....	22
1.2.3. Borlu Tabakanın Yapı ve Bileşenleri.....	23
1.2.3.1. Borür Tabakası.....	23
1.2.3.2.Geçiş Bölgesi.....	28
1.2.4. Alaşım Elementlerinin Borlamaya Etkisi.....	30
1.2.5. Borlu Tabakanın Kalınlığı.....	32

1.2.6. Borlu Tabakanın Karakteristik Özellikleri .....	34
1.2.6.1. Sertlik.....	34
1.2.6.2. Aşınmaya Karşı Dayanıklılık .....	36
1.2.6.3. Korozyona Karşı Dayanıklılık.....	38
1.2.7. Borlu Tabakanın Sürtünme Özellikleri.....	40
1.2.8. Borlama Sonrası Uygulanabilen Isıl İşlemler.....	41
2. KAYNAK BİLGİSİ.....	44
3. MATERYAL VE METOD.....	52
3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler .....	52
3.2. Borlama İşlemi.....	53
3.3. Metalografik İnceleme.....	54
3.4. Mikrosertlik Ölçümleri .....	56
3.5. Aşınma Deneyi .....	57
3.6. Korozyon Deneyi.....	60
4. BULGULAR.....	61
4.1. Metalografik İnceleme Sonuçları .....	61
4.2. Mikrosertlik Ölçümleri Sonuçları.....	66
4.3. Aşınma Deneyi Sonuçları .....	66
4.4. Korozyon Deneyi Sonuçları .....	68
5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	71
6. KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

**ÖZET****BORLA KAPLANMIŞ TAŞIT AKTARMA ORGANLARININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Bir araçta vites dişlileri çalışma şartları itibariyle ezilme, aşınma ve mekanik zorlamalara en fazla maruz kalan parçalardır. Bu sebeplerden dolayı mekanik özelliklerinin iyi olması istenir. Yapılan araştırmalar sonucunda dünyada korozyon ve aşınmadan meydana gelen zararların bir yılda 200 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir. Bu zararlar düşünüldüğünde borlamanın önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada Anka firmasından temin edilen Ç 8620 malzemesinden yapılmış olan vites dişlilerine bor kaplama ısıl işlemi uygulanmıştır. Borlama ısıl işlem deneyleri 1200 °C sıcaklık kapasiteli kül fırında yapılmıştır. Dişlilere % 90 Ekabor-2 ile % 10 SiC tozunun karışımı bulunan ortamda 900 °C sıcaklıkta 5 saat fırında bekletilip; yine fırında soğutularak katı borlama işlemi uygulanmıştır. Borlanan dişlilerin optik ve SEM mikroyapı fotoğrafları çekilmiş ve EDS analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda bu dişlilerin tabaka kalınlığı ve mikrosertlikleri incelenmiştir. Borlanmış dişliler korozyon ve aşınma deneylerine tabi tutularak aralarındaki farklar grafik ve tablolarla karşılaştırılarak açıklanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Taşıit Aktarma Organları, Vites Dişlileri, Borlama

**ABSTRACT****THE INVESTIGATION OF MECHANIC PROPERTIES OF VEHICLE  
TRANSMISSION SYSTEMS COVERED WITH BORON**

The gear wheel is the most exposed part of a vehicle to the strain stress, corrosion and mechanical pressure due to its working conditions. Since the mechanical properties of these parts should be good. According to the research of the corrosion and mechanical pressure are guessing in a year totally 200 billion dollars in the world.

In this work, the process of boron coating by heat treating process is applied to the gear wheels use of material SAE 8620 provided by Anka. The boronizing experiments by heat treating process are applied to the sample. First the gears processed in the 900 °C furnace with % 90 Ekabor-2 and % 10 SiC powder for 5 hours. Then the sample is cooled down without taking it out of the furnace. The optical microscopy and micrographs of the sample are obtained EDS analyzes has been done by optical microscope and SEM. Also the layer thickness and the micro-hardness of the sample are determined. Finally the boronized gears are exposed to the corrosion experiments and data are compared through graphs and tables.

**KEYWORDS:** Vehicle Transmission Systems, Gear Wheel, Boronizing



**TEŞEKKÜR**

Yapmış olduğum bu alıőmada her tŸrlŸ desteği esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Reşat Selbaş ve Prof. Dr. Ali Kemal Yakut'a, deneylerin yapımında yardımcı olan Őđr. GŸr. Dr. Adnan alık ve Őđr.GŸr. Mithat Őimőek'e, vites diőlilerini gŸnderen Anka firmasına, atŸlye imkanlarını sunan Keçiborlu MYO personeline, Isparta EML personeline ve Uluborlu EML personeline ve ayrıca tez sŸresi boyunca her tŸrlŸ fedakarlığı gŸsteren eőime çok teőekkŸr ederim.

**SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ**

SEM	Taramalı elektron mikroskobu
ppm	Pörsin milyon
$\text{Å}$	Angstrom
HV	Vickers sertlik değeri
RC	Rockwell sertlik değeri
n	Devir sayısı (dev/dak)
$n_1$	Motora bağlı kasnağın devir sayısı (dev/dak)
$n_2$	Dişlileri döndüren kasnağın devir sayısı (dev/dak)
d	Kasnağın çapı (cm)
$d_1$	Motora bağlı kasnağın çapı (dev/dak)
$d_2$	Dişlileri döndüren kasnağın (dev/dak)
$F_t$	Tepki kuvveti (N)
$G_b$	Balatanın ağırlığı (N)
$G_ç$	Çubuğun ağırlığı (N)
$G_a$	Çubukta asılı demirin ağırlığı (N)
$\Sigma M$	Toplam moment (Ncm)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Arkadan çekişli bir araçtaki aktarma organlarının şematik olarak görünüşü .....	3
Şekil 1.2. Düz dişli çark.....	4
Şekil 1.3. Helis dişli çark.....	5
Şekil 1.4. Konik dişli çark .....	6
Şekil 1.5. Mercedes Benz, 6 vites düz şanzıman.....	6
Şekil 1.6. Bir vites kutusunda bulunan dişliler .....	7
Şekil 1.7. Bir taşıtta bulunan vites dişli kutusunun şematik görünümü.....	9
Şekil 1.8. Kilitli senkronizasyon sisteminin parçaları .....	10
Şekil 1.9. Fe-B denge diyagramı .....	13
Şekil 1.10. Borlama sonrası alaşımsız çelikte FeB ve Fe <sub>2</sub> B fazlarının şematik ve metalografik görünüşü.....	25
Şekil 1.11. Diş biçimli demirborür kristalleri ( Fe <sub>2</sub> B ).....	26
Şekil 1.12. Borür tabakası çeşitleri .....	27
Şekil 1.13. Fe <sub>2</sub> B ve geçiş bölgesi kalınlığının borlama süresi ile değişimi.....	28
Şekil 1.14. Borlanmış AISI 1020 çeliğinde yüzeyin mikroyapısı .....	29
Şekil 1.15. Borlanmış AISI 4140 çeliğinde yüzeyin mikroyapısı .....	29
Şekil 1.16. Alaşım elementlerinin borür tabakasına etkisi .....	30
Şekil 1.17. Alaşımli ve alaşımsız çeliklerde eşit şartlarda borlama ile elde edilen borür tabaka kalınlıkları .....	33
Şekil 1.18. Borlu tabaka ile semantasyonlu tabakanın sertlik dağılımları kıyaslaması.....	36
Şekil 1.19. Yüzeyi borlu ve borsuz AISI 1116 çeliğinin yüke karşı aşınma davranışı .....	37
Şekil 1.20. 1045 çeliğinin 56 °C 'taki değişik asit ortamlarındaki korozyonu ....	39
Şekil 1.21. Borlanmış ve borlanmamış sade karbonlu çeliğin sıvı çinko banyosundaki korozyonu .....	40
Şekil 1.22. Borlamadan sonra yapılabilen ısıl işlem örnekleri .....	42
Şekil 3.1. Nüve firmasına ait kül fırını .....	53

Şekil 3.2. Hassas kesme cihazı .....	54
Şekil 3.3. Buehler marka taşlama-parlatma cihazı .....	55
Şekil 3.4. Olympus marka elektron mikroskobu .....	55
Şekil 3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) .....	56
Şekil 3.6. Metkon marka mikrosertlik ölçüm cihazı.....	57
Şekil 3.7. Aşınma deney düzeneğinin fotoğrafı.....	58
Şekil 3.8. Aşınma deney düzeneğinin şematik resminin üstten görünüşü.....	58
Şekil 3.9. Diskin üzerine uygulanan kuvvet .....	59
Şekil 3.10. 1/10000 hassasiyetindeki Sartorius marka elektronik tartı.....	60
Şekil 4.1. Borlanmış Ç 8620 çeliğinin borür tabakası ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları.....	62
Şekil 4.2. Borlanmış Ç 8620 çeliğinin borür tabakası ve geçiş bölgesinin mikroyapı fotoğrafları.....	63
Şekil 4.3. Borür tabakasının üzerindeki bir noktanın elementer analiz dağılımı .....	64
Şekil 4.4. Borür dışından alınan bir noktanın elementer analiz dağılımı .....	65
Şekil 4.5. Borlanmış ve borlanmamış dişlilerin aşınma kaybının süre ile değişimi .....	67
Şekil 4.6. Aşınma deneyi sonucunda dişlilerin görünümü .....	68
Şekil 4.7. Borlanmış ve borlanmamış dişlilerin ağırlık kaybının ikişer saat korozi ortamda kalma sıcaklığı ile değişimi .....	69
Şekil 4.8. Korozyon deneyi sonucunda dişlilerin görünümü.....	70

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Borlanabilen bazı ferro malzemeler ve kullanım alanları .....	15
Çizelge 1.2. Katı ortam borlamasında kullanılan maddelerin bazı özellikleri ....	17
Çizelge 1.3. Sıvı ortam borlamasında kullanılan bor kaynakları ve özellikleri...	18
Çizelge 1.4. Çeşitli metallerde elde edilen borür fazları ve mikro sertlik değerleri .....	24
Çizelge 1.5. Fe <sub>2</sub> B ve FeB'nin bazı özellikleri .....	26
Çizelge 1.6. Çeşitli işlemlere tabi tutulmuş malzemelerin mikrosertlik değerleri.....	35
Çizelge 1.7. 800-1000 °C sıcaklıklarda, 2–6 saatte borlanan ve borsuz numunelerin aşınma esnasındaki sürtünme katsayıları.....	41
Çizelge 1.8. Sementasyon ve borlama ile elde edilen sertliklere ısıtma işlem sıcaklığının etkisi .....	43
Çizelge 3.1. Deneyleerde kullanılan dişli malzemesi Ç 8620 çeliğinin kimyasal bileşimi (Ağırlık %) .....	52
Çizelge 3.2. Deneyleerde kullanılan dişli malzemesi Ç 8620 çeliğinin mekanik özellikleri .....	53
Çizelge 4.1. Deneyleer sonucunda elde edilen ortalama tabaka kalınlığı ve sertlik değerleri .....	66
Çizelge 4.2. Borlanmış ve borlanmamış dişlilerin aşınma deneyi sonuçları.....	67
Çizelge 4.3. Borlanmış ve borlanmamış dişlilerin % 10 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> korozif ortamında ağırlık kaybı sonuçları.....	69

## 1. GİRİŞ

Dünyada aşınma ve korozyondan dolayı her yıl önemli malzeme kayıpları olmaktadır. Ülkelerin korozyon nedeniyle kayıpları gayrisafi milli hâsıllarının % 3,5-5'i arasında değişmektedir. Yalnızca Türkiye'deki 1991 yılı kaybı 4,5 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir (Khoee,1992; Taylan ve Özsoy, 2002).

Aşınma, endüstrinin her dalında gözlemlenmektedir. Makine mühendisliği problemlerinin yaklaşık % 20 kadarı, aşınma konularını kapsamaktadır. Aşınma nedeniyle oluşan hasarların sürekli olarak araştırılması gerektiğinden, aşınma olayları makine mühendisliğinin daima ilgi alanında olan bir konu olmuştur. Makinelerin aşınan parçalarının yenilenmesi de, çok büyük meblağlar tutmaktadır (Tarhan, 2001).

Günümüzde hemen her sektörde kullanılan makine ekipmanlarında dişli çarklar büyük oranda kullanılmaktadır. Bu elemanların verimli bir şekilde çalışması büyük önem arz etmektedir. Bu konuda birçok çalışma yapılmış olup önemli mesafeler kat edilmiştir. Dişli çark mekanizmalarında en önemli olay bu elemanların aşınmaya maruz kalmasıdır. Bu bakımdan dişli çark mekanizmalarında aşınmanın önlenmesi için çalışmalar devam etmektedir (Şahin, 2002).

Dişli çark sistemleriyle güç iletiminin sağlandığı aktarma organlarının içerisinde vites kutusunun büyük önemi ve fonksiyonu vardır. Motorlu araçlarda en az kayıp ile güç ve hareket iletimi dişli çarklarla tasarlanmış kademeli vites kutularından sağlanmaktadır. Güç iletiminin verimli bir şekilde yapılabilmesi için bu sistemlerin dayanıklı bir şekilde yapılması gerekmektedir (Gülmez, 1995).

Genelde dişli çarkların işletme ömrü eğilme dayanımından ziyade yüzey dayanımı ile sınırlandırılmaktadır. Son yıllarda dişlilere uygulanan ısıl işlemlerdeki gelişmelerle ve diş taşlama tekniğinin gelişmesi ile çok iyi yüzey kalitesine sahip dişli çarklar üretilmektedir (Akçadağ, 1992). Yüzey sertleştirme ve kaplama işlemi, özel bir işlem olup bir metalin iç kısmının (yapısının) nispeten yumuşak olması istenirken, yüzeyinin belirli bir kalınlıkta sertleşmesi istenir. Yüzey sertleştirmenin amacı, metal

parçaların yüzeylerinin sertliğini, aşınma direncini, korozyon direncini ve bununla birlikte yorulma ömrünü arttırmaktır. Bu özellikleri malzemelere kazandırmanın en ekonomik ve kolay yolu borlama ısıtma işlemidir. Yüksek yüzey sertliği ve düşük sürtünme katsayısıyla aşınma dayanımının artırılmasının yanında birçok korozif ortama da dayanıklı olan borlama işlemi, dünya bor kaynaklarının önemli bir kısmını oluşturan ülkemizde de geliştirilmeli ve kullanımını yaygınlaştırılmalıdır (Çalık vd, 2004).

Borlama işlemi uzun bir geçmişe sahiptir. Çeliklerde bor yayınımla yüzey sertleştirme, ilk kez 1895 yılında Moissan tarafından yapılmıştır. 1970'li yıllardan itibaren borlama konusunda çalışmalar hızlanmıştır. Günümüzde borlama, teknolojik olarak gelişmiş ve özellikle endüstride alternatif bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Almanya'da katı ortamda borlama, Rusya'da ise sıvı ortamda borlama birçok endüstriyel alanda başarıyla kullanılmaktadır (Delikanlı vd, 2003).

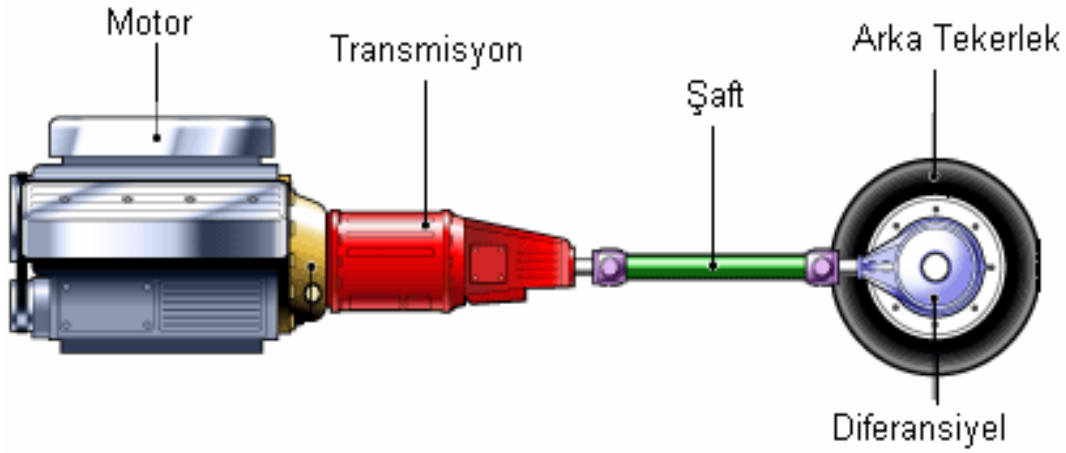
### **1.1. Güç Aktarma Organları**

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de otomotiv sanayi çok hızlı bir gelişim içerisinde. Her gün yeni bir gelişme yaşanmakta, yeni buluşlar yapılmakta ve motorlu taşıtların özellikleri sürekli iyileştirilmektedir. Motorlu taşıtların ilk üretilmesiyle birlikte, motorun ürettiği gücün tekerleklere nasıl aktarılacağı, istenilen tork ve hızın sağlanabilmesi için neler yapılması gerektiği büyük bir problem olmuş ve araştırmacıları bu konuda yoğun çabalara sevk etmiştir.

İlk motorlu taşıtlarda kullanılan güç aktarma düzenleri genellikle bisikletlerdeki gibi dişli çark zincir ikilisinden ya da kayış-kasnak tertibatlarından oluşmuştur. Günümüz manasında bir vites anlayışı da yoktur. Genellikle vites kademesi tek ya da bir boş ve bir ileri hareket olmak üzere iki kademedir. İlk taşıtların motor güçleri günümüz motorlarıyla kıyas edilemeyecek kadar düşüktür. Bu sebeple bu taşıtlarda ilk amaç çekişi arttırmak olmuştur. Bunun içinde çekiş tekerleklerinin çapları büyük tutulmuş, üzerlerindeki dişli çarklarda hareketin çıktığı çarktan daha büyük yapılar, dişli oranı büyütülmeye çalışılmıştır. Daha sonraları sistemlerin gelişmesiyle dişli

çarklarının sayıları arttırılarak, bugünkü manada vites kademeleri elde edilmiştir. Motorlu taşıtlarda motor tarafından üretilen gücün; aracı yürütebilmesi ve araca hareket verebilmesi için döndürücü kuvvetin yeteri kadar artırılarak önden ya da arkadan çekişli sistemlere bağlı olarak tekerleklere kadar iletilmesi gerekir. Hareketin ve döndürücü kuvvetin (momentin) tekerleklere kadar iletilmesinde aktarma organları kullanılır.

Aktarma organları; debriyaj, vites kutusu, şaft ve akslardan meydana gelmektedir (Şekil 1.1). Önden çekişli taşıtlarda şaft bulunmaz. Vites dişlileri ve aks dişlileri vites kutusu içerisinde yer alır. Hareket direkt olarak buradan akslar yardımıyla tekerleklere aktarılır.



Şekil 1.1. Arkadan çekişli bir araçtaki güç aktarma organlarının şematik olarak görünüşü (www.quantum-tuning.com)

### 1.1.1. Aktarma Organlarında Kullanılan Dişli Çarklar

Dişli çarklar devir hareketlerini bir milden diğer mile kinematik olarak aktaran makine elemanlarıdır. Aktarma anında tahrik eden ve edilen çarkların dişleri birbirlerini kavrar. Diş sayılarının ve bu suretle iletme oranlarının seçilmesi suretiyle, tahrik milinde arzu edilen devir sayısı ve gerekli olan döndürme momenti elde edilir. Güç iletme bakımından, mekanizmanın bir döndüren ve bir veya birkaç döndürülen elemanı vardır. Genellikle mekanizmanın küçük dişlisine pinyon diğerine çark denir (Akkurt, 1990).



Mekanik gücün naklinde mühendislik ve maliyet avantajlarını bir arada sunan dişli çarklar, saat mekanizmaları gibi hassas cihazlardan, otomobil ve uçak-uzay teknolojisine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda mühendislik teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yüksek hızlarda çalışan ve daha fazla yük taşıyan dişli çarklara ihtiyaç artmaktadır (Fetvacı ve İmrak, 2004).

Motorlu taşıtlarda en çok rastlanan dişli çark çeşitleri; düz dişli, konik dişli, helisel konik dişli, sonsuz vida dişlisi, kramayer dişlisi ve çavuş dişlisidir. Bunlardan başka otomatik vites kutularında, overdrive tertibatında ve bazı tip diferansiyellerde kullanılan planet dişli sistemleri vardır (Yücelen ve Betun, 1980). Aktarma organlarında genellikle düz dişliler, helisel dişliler ve konik dişliler kullanılmaktadır.

#### 1.1.1.1. Düz Dişli Çarklar

Silindir biçiminde ve dişleri eksenini doğrultusunda olan dişli çarklara düz dişli çark denir (Şekil 1.2). Düz dişli çarklar birbirlerini çok kez dıştan çevirir ve dönme yönleri terstir. Düz dişli çarkların birbirlerini içten döndürenleri de vardır. Birbirini içten döndüren düz dişli çarklarda hareket veren dişli çark küçüktür ve her iki dişli çarkın dönme yönleri aynıdır (Çerik, 1996). Aktarma organlarındaki düz dişli çarklar geri vites dişlilerinde kullanılmaktadır.



Şekil 1.2. Düz dişli çark (www.ermaksandisli.com.tr)

### 1.1.1.2. Helis Dişli Çarklar

Helis dişli çarklarda dişler, dişli çarkın eksenine göre bir helis çizer konumdadır. Yani dişlerle dişli çark eksenini arasında bir helis açısı vardır. Helisel dişli çarklarda daima birkaç diş kavramış durumdadır. Dişler bütün diş genişliğini kavramadığından düz dişli çarklara göre daha sessiz çalışırlar. Ayrıca helisel çarklar daha büyük momentleri düz dişli çarklara göre daha kolay aktarırlar (Çerik, 1996).

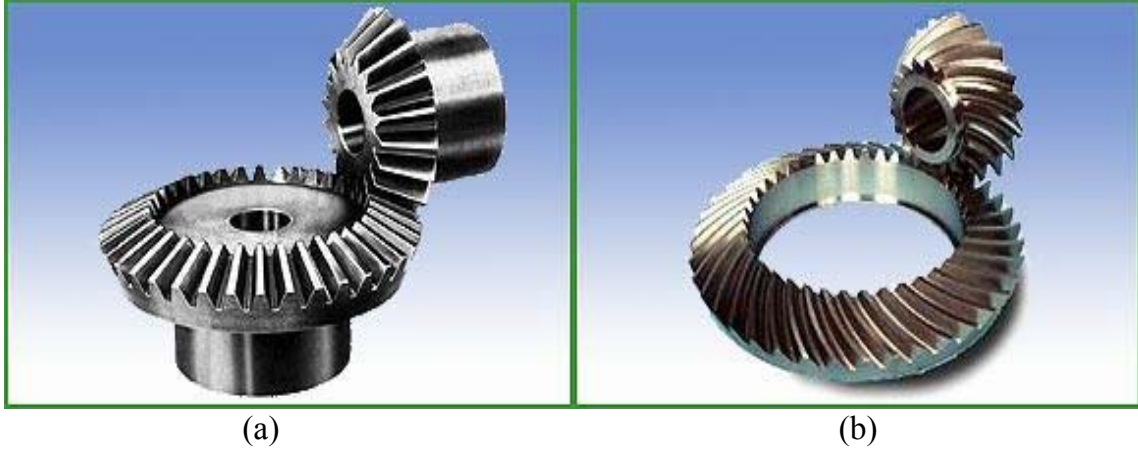
Günümüzde kademeli vites kutularındaki daimi iştirakli çalışan tüm dişliler helis dişlilerdir. Şekil 1.3'te bir helis dişli çark resmi görülmektedir.



Şekil 1.3. Helis dişli çark (www.ermaksandisli.com.tr)

### 1.1.1.3. Konik Dişli Çarklar

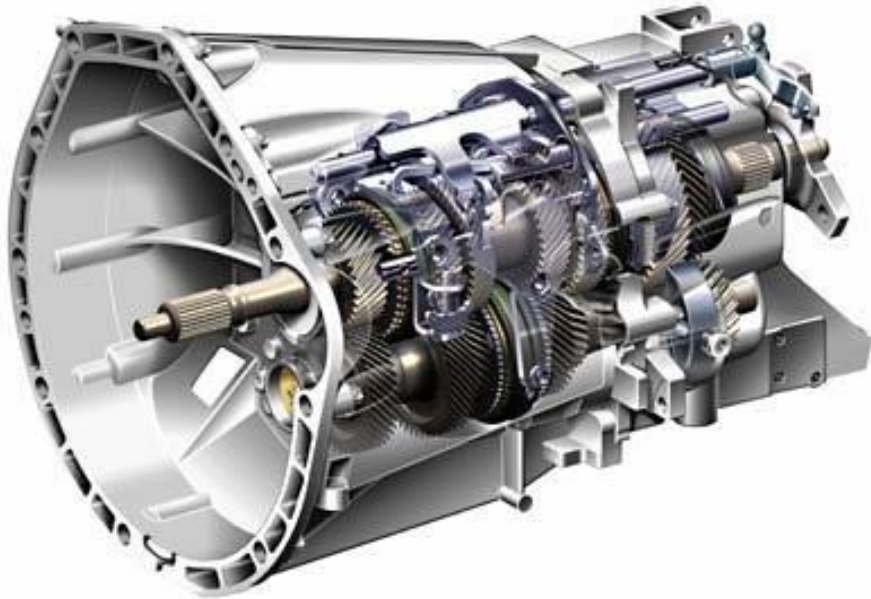
Eksenlerin uzantıları birbirini kesen miller arasında hareket ulaştırılmasında kullanılan ve dişlerin bulunduğu kesik koni biçiminde olan dişli çarklara konik dişli çark denir (Şekil 1.4). Konik dişli çarkların diş doğrultuları düz veya eğri biçimdedir. Dişlerin doğrultusu düz olanlara düz konik dişli çark (Şekil 1.3.a), dişlerin doğrultusu eğri olanlara da helis konik dişli çark (Şekil 1.3.b) denir. Helis konik dişli çarklar vuruntusuz, sessiz çalışması istenilen ve fazla zorlanan yerlerde kullanılır (Çerik, 1996). Konik dişli çarklar diferansiyellerde kullanılmaktadır.



Şekil 1.4. Konik dişli çarklar (a) Düz konik dişli çark (b) Helisel konik dişli çark  
([www.ermaksandisli.com.tr](http://www.ermaksandisli.com.tr))

### 1.1.2.Vites Dişli Kutusu

Dişli kutuları, farklı hız ve güçleri aktarmak için kullanılan sistemlerdir (Şekil 1.5). Çıkıştaki dönme momenti değiştirilerek çalışma koşullarına göre taşıtın gerektirdiği momentler karşılanmaktadır. Mekanik bir transmisyonda hız ve güç, dişli ve diğer mekanik parçalarla elde edilir. Farklı hız ve güç oranları transmisyon üzerine monte edilen paralel millerdeki dişlilerin çeşitli şekillerde devreye girmesi ile sağlanır. ([www.hemaendüstri.com.tr](http://www.hemaendüstri.com.tr)).



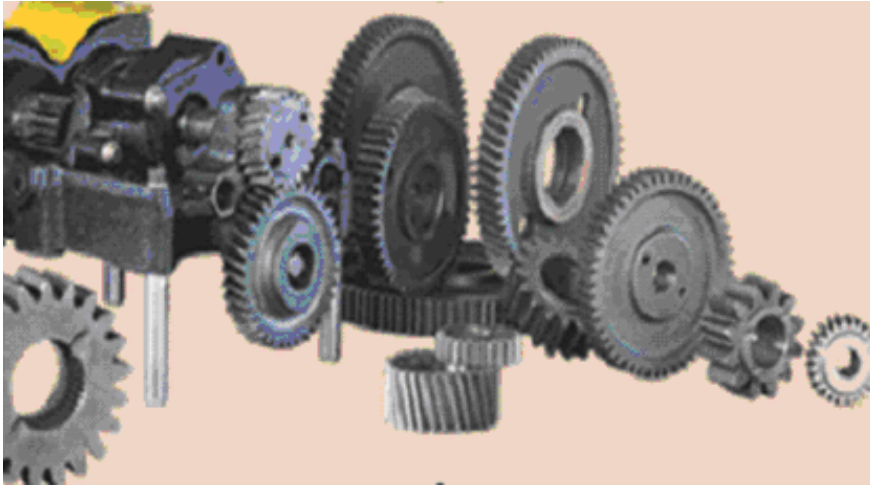
Şekil 1.5. Mercedes Benz, 6 vites düz şanzıman ([www.quantum-tuning.com](http://www.quantum-tuning.com))

Taşıttaki yeri kavramayla şaftın arası olan vites dişli kutusu şu görevleri yerine getirmektedir (Yücelen ve Betun, 1980).

1. Motorla tekerlekler arasındaki irtibatı keserek taşıt hareket etmeden motorun çalışmasını sağlamak.
2. Taşıttın ilk harekete geçebilmesi, bir yokuşu çıkması veya çabuk bir şekilde hızlanabilmesi için gerekli moment artışı sağlamak.
3. Yol ve trafik durumuna göre taşıta en uygun hızı vermek.
4. Taşıta geri hareket temin etmek.

### 1.1.3. Vites Dişli Kutusundaki Dişlilerin Özellikleri

Standart vites kutularında düz ve helisel dişliler kullanılmaktadır (Şekil 1.6). Helisel dişlilerin sessiz çalışmaları ve birden fazla dişin teması, dolayısıyla daha fazla güç iletebilmeleri nedeniyle düz dişlilerden üstünlükleri vardır. Vites kutusu dişlileri çalışmaları esnasında büyük bir baskıya maruz kaldıklarından yüksek kaliteli çeliklerden yapılmıştır. Dişler baskı kuvvetinin meydana getirdiği eğilmeye karşı dayanıklı ve yüzeyleri darbeler tesiriyle bozulmayacak sertlikte olmalıdır ve aynı zamanda da kavramalar sırasında meydana gelecek çarpmalarda zarar görmemesi için kırılman olmalıdır. Bu yüzden dişlilerin yüzeylerinin sert çekirdek yapının ise yumuşak olması istenir (Yücelen ve Betun, 1980).



Şekil 1.6. Bir vites kutusunda bulunan dişliler ([www.hemaendüstri.com.tr](http://www.hemaendüstri.com.tr)).

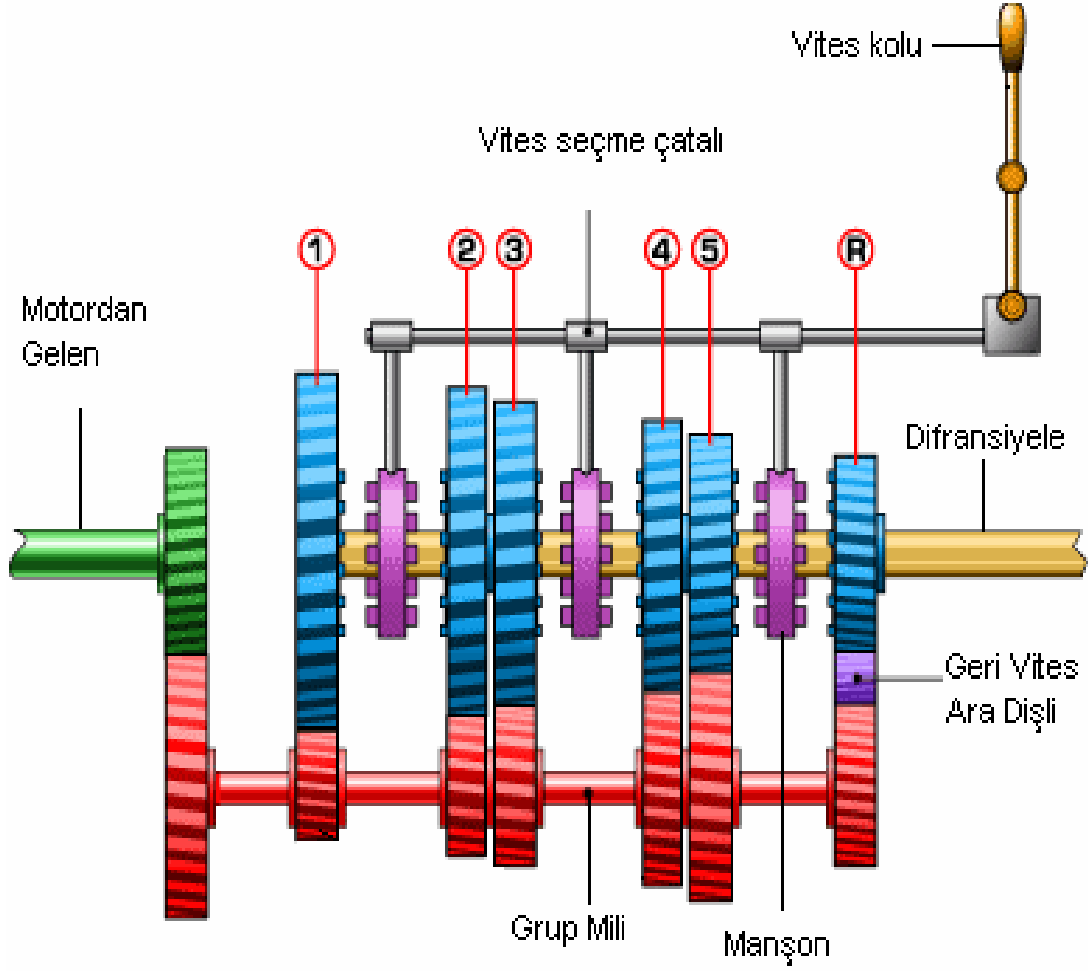
Dişlilerin sertleştirilmesinde iki genel metot uygulanmaktadır. Birincisinde dişlinin tamamı sertleştirilir, ikincisinde ise yalnız yüzey sertleştirilmesi yapılır. Tamamı sertleştirilen dişlilerin yapımında orta miktarda karbon ihtiva eden (% 0,45) çelikler ve yüzey sertleştirilmesi yapılanlarda ise az karbonlu (% 0,20) çelikler kullanılır. Yüzeylerin daha sert ve darbeye karşı dayanımının daha fazla olması nedeniyle yüzey sertleştirme yapılanların sertliği 58-65 RC, tamamı sertleştirilenlerin ise 48-54 RC kadardır (Yücelen ve Betun, 1980).

#### **1.1.4. Vites Dişli Kutusunun Çalışması**

Elle kumandalı mekanik vites kutularında genellikle, kayıcı dişli ile kayıcı yekparedir. Vites değişimi için kamalı mil üzerindeki bir dişli, vites çatalının yardımıyla kaydırılarak, grup mili üzerindeki bir dişli ile kavuşturılmaktadır. Daimi iştirakli tiplerde ise, çoğunlukla helisel dişlilerin kullanılmasıyla düz dişli vites kutularına oranla daha sessiz çalışmaları, vites değiştirmelerin daha kolay ve gürültüsüz olması sağlanmıştır.

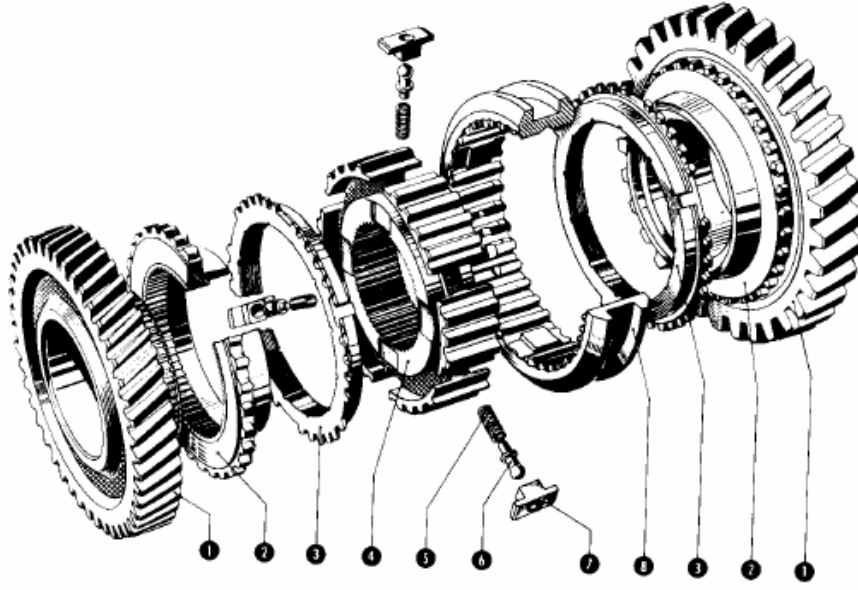
Kayıcı manşonlu vites kutularında bulunan dişliler bir ana mil (kamalı mil) ile burç ve yay yatakları üzerinde dönmekte ve ilgili dişlilerin kavraması, dişlilerin göbek kısımlarında bulunan köpek dişli kavrama tertibatları ile sağlanmaktadır. Köpek dişlilerin kavraması, düz vites dişlilerine oranla daha sessiz ve kolay olmaktadır. Herhangi bir hata, vites dişlilerinin değil, sadece köpek dişlilerin dişlerinin hasar görmesine sebep olmaktadır. Vitese geçirme işlemi tamamlandığında, köpek dişlilerin dişleri arasında herhangi bir hareket olmamakta; güç, vites dişlileri üzerinden aktarılmaktadır.

Kayıcı manşonlu vites kutularında, gürültüsüz vites değiştirebilmek için, ara debriyaj ve ara gaz gerekmektedir. Daimi iştirakli senkromeçli vites kutularında ise konik kavramalı senkromeç tertibatları sayesinde, kamalı mil ile vites dişlilerinin çevresel hızlarının eşit olmasını sağlanmakta olduğundan, ara debriyaj ve ara gaz gerekmeksizin vites değiştirme sessiz ve kolay bir şekilde yapılabilmektedir (Gülmez, 1995). Şekil 1.7’de vites dişli kutusunun şematik resmi görülmektedir.



Şekil 1.7. Bir taşıtta bulunan vites dişli kutusunun şematik görünümü (www.quantum-tuning.com)

Senkromeçli vites kutularında herhangi bir vites durumunu elde etmek için vites kolu hareket ettirilince, önce sürtünmeli kavrama harekete geçerek döndüren ve döndürülen üniteyi (yay basıncının sağladığı sürtünme tesiriyle) birleştirmiş olur. Bu sırada kavrama ayırmış durumda olduğundan, güç iletme durumunda olmayan iki ünitenin eşit hıza gelmesi sürtünmeli kavramanın sağladığı kuvvetle mümkün olur. Bundan sonra vites kolunun devam eden hareketi ile dişli manşon hemen hemen eşit dönme hızındaki iki üniteyi sessiz ve kolay bir şekilde birleştirir. Dişli manşon için kayma durumu olmayacağından kavrama pedalının bırakılmasıyla motordan gelen güç tekerleklere iletilmiş olur. Böylece vites dişlilerinin kavramaları daha darbesiz ve güç aktarımı kolay olduğundan dolayı aşınmalar da en aza indirilmiş olur. Şekil 1.8'de vites kutusunda bulunan kilitli senkronizasyon sisteminin parçaları görülmektedir (Demirsoy, 1998).



- |                 |                   |               |               |
|-----------------|-------------------|---------------|---------------|
| 1-Dişli ark    | 3-Senkron bilesik | 5-Baskı yayı  | 7-Baskı par. |
| 2-Kavrama par. | 4-Senkron par.   | 6-Küresel pim | 8-Kayıcı mut  |

şekil 1.8. Kilitli senkronizasyon sisteminin parçaları (Demirsoy, 1998)

### 1.1.5. Dişlilerde Meydana Gelen Hasarlar

Dişli sistemler karma sürtünme alanlarının veya yüksek kontak yüzeylerin söz konusu olduğu, diş diplerinde ve uçlarında aşınmaların ortaya çıktığı yağlama gerektiren sistemlerdir. Yıpranmış dişli yüzeylerinde gri noktalar ve oyuklaşma oluşumları görülebilir ve sistemdeki aşınma belirtileri gözlemlerle kolaylıkla tespit edilebilir. Çalışma sırasında sesin veya sıcaklığın artması, filtrelerde veya yağ içinde metal parçacıklara rastlanması aşınmanın en belirgin işaretleridir. Aşırı yük etkisinde kalan dişli elemanlarının yüzeylerinde gri lekeler neden olur. Çoğu zaman, büyüyen ve derinleşen hasarlar çalışma sırasında ileride oluşabilecek sorunlara neden olabilecek, malzemenin yapısını veya yorgunluğunu gösteren belirtilerdir (www.tribolub.com).

Çalışan tüm makine elemanları yorulmaya maruz kalırlar. Yorulma tüm çalışan elemanlarda olduğu gibi dişlilerde de hasarlar oluşturmaktadır. Dişlilerde yorulmadan kaynaklanan oyuklaşma ve kabarma şeklinde hasarlar oluşur.

Oyuklaşma, diş yüzeyinden çok az miktarda malzemenin ayrıldığı, yüzey yorulma hasarıdır. Yükün diş üzerindeki bir bölgeye yoğun olarak etki etmesi sonucu oluşur (Orhan ve Aktürk, 2003). Dişli çarklarda üç çeşit yorulma olayı meydana gelmektedir (Akçadağ, 1992).

1. Eğilme yorulması: Dişli çarkların diş dibinde çentik etkisi nedeniyle yerel gerilme yığılmaları oluşur. Bu gerilmelerin seviyesi malzemenin yorulma dayanımından daha büyük ise diş dibinde çatlak meydana gelir. Bu çatlak yüklerin sürekli tekrarı ile sürekli ilerleyerek diş dibinde kırılmaya sebep olur.

2. Oyuklaşma (pitting): Pitting malzemenin yüzey yorulma kopması (aşınması) olarak tarif edilmektedir. Tekrarlanan yüzeylerde metalin kalkması ve oyukların oluşması şeklinde görülmektedir.

3. Pul pul kalkma: Yüzeyi sertleştirilen dişli çarklarda, özellikle sementasyon yapılan dişlilerde görülür. Yüzeyi sertleştirilen dişli çarklarda, sertleştirilen tabaka ile sertleşmemiş bölüm arasındaki ayırma yüzeyindeki kayma gerilmeleri, yorulma dayanımını aştığı noktalarda bir çatlak başlamakta ve yüklerin tekrarlanması ile yüzeye çıkarak dişli yüzeyinde metalin pul pul dökülmesine sebep olmaktadır.

## **1.2. Borlama Isıl İşlemi**

Borlama, metalik malzemenin yüzeyine borun yayındığı termokimyasal bir işlemdir. Demir ve demir dışı birçok alaşım ile sinterkarbür ve seramik malzemelere uygulanabilmektedir. Borlanacak malzemeler, özelliklerine göre 700–1000 °C sıcaklıkları arasında, yaklaşık 1–12 saat süre ile katı, macun (pasta), sıvı veya gaz fazındaki bor verici ortamlarda bekletmek suretiyle borla kaplanırlar (Çalık vd, 2002; Çalık ve Özsoy, 2002).

Borlu tabakanın özellikleri, borlanan çeliğin bileşimine, borlama sıcaklığıyla süresine ve ısıl işleme bağlıdır. Bor, çeliklerde alaşım elementi ve yüzey sertleştirici ve çelik üretiminde cüruf yapıcı olarak ta kullanılır (Selçuk, 1994). Bor demir esaslı



malzemelerin yüzeylerinin sertleştirilmesinde kullanıldığında makine parçalarının sürtünme ve aşınmaya, korozyona ve yüzey basıncına karşı dirençli bir dış yüzey kazanmasını sağlar (Selçuk vd, 2002).

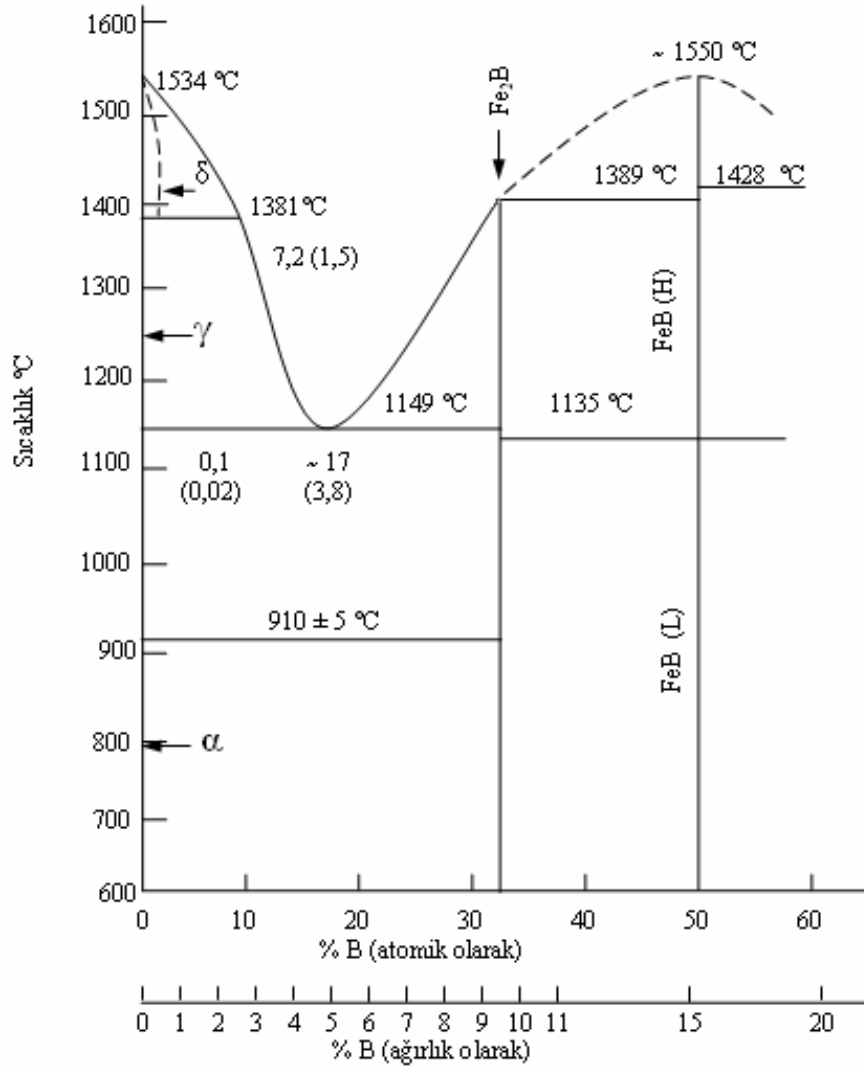
Borlama, demir-çelik grubu malzemelerin akma ve kopma dayanımlarını % 10-20, yorulma dayanımlarını % 25 ve korozyonlu yorulma ömrünü % 200 arttırmasına karşın, malzemelerin plastisite özelliklerini kötü yönde etkiler. Borlama ile volframkarbürün sertliğine eşdeğer bir sertliğin yanında, teflon malzemeninkine yakın sürtünme katsayıları elde edilebilir (Çalık vd, 2004).

Borlama ile adi karbon çeliklerinde 1800–2000 HV, alaşımlı çeliklerde 2500–2800 HV ve yüksek hız çeliklerinde 2800–3000 HV’lik sertlik değerleri elde edilmektedir (Varol vd, 2002).

Bor ile yapılan yüzey sertleştirmesinde, bor elementi tek başına kullanılmaz. Daha çok borkarbür ( $B_4C$ ), veya boraks veya borik asidin aktivatör ve katkı maddelerinin karışımları ile yüzey sertleştirme yapılır. Bu olay sırasında sıcaklığın etkisiyle bor serbest ve atomik hale gelir ve çeliğin bünyesine yayılır. Bu yayılan bor hemen demir ile  $Fe_2B$  ya da  $FeB$  şeklinde bileşik yapar. Bu yapılar tek tek oluştuğu gibi bir arada da oluşabilir (Selçuk vd, 2002).

Bor  $\alpha$ ,  $\gamma$  ve  $\delta$  demirinde çok az çözünebilmektedir.  $\alpha$ - demirinde, 910 °C civarındaki maksimum çözünebilirlik sıcaklıklarında 20–80 ppm borun çözünebildiği; buna karşılık, 1150–1170 °C sıcaklıklarda  $\gamma$ - demirinde 55–260 ppm bor çözünebildiği bildirilmiştir. Çözünebilirlik sınırlarının genişliğinin, esas malzemenin saflığı ve tane boyutundaki değişikliklerden kaynaklandığına inanılmaktadır (Özsoy, 1991).

Şekil 1.9’da Fe-B ikili denge diyagramı görülmektedir. Fe ile B arasında  $Fe_2B$  (%8,83 B) ve  $FeB$  (% 16,23 B) bileşikleri meydana gelmektedir. Fe-B diyagramında 1149 °C’de, % 3,8 B bileşiminde bir ötektik nokta oluşmaktadır (Çetin, 2003). Dolayısıyla borlanmış yüzey 1149 °C sıcaklığına kadar ısıdan etkilenmemektedir (Atik, 2001).



Şekil 1.9. Fe-B denge diyagramı (Matuschka, 1980)

### 1.2.1. Borlanabilen Malzemeler

Borlama işlemi gerek toz metalurjisi ve gerekse diğer metotlarla üretilen bütün demir esaslı alaşımlara başarıyla uygulanabilmektedir. Yapı çelikleri, sement çelikleri, ıslah çelikleri, takım çelikleri, çelik döküm, armco (ticari saflıkta) demir, gri döküm, sfero döküm, sinter demir ve sinter çelik, borlama için uygun malzemelerdir (Selam, 1996; Şen, 1997).

Borlama termokimyasal bir ısıl işlem olup çeliklere, dökme demirlere ve hatta demir olmayan metallere de uygulanabilir (Selçuk, 1994).

Refrakter metaller (W, Ta, Mo, Zr, Hf, Nb), karbürler (özellikle Co ile bağlı WC) ve Ni esaslı alaşımlara başarı ile uygulanarak özel yapıda borlu tabakalar elde edilebilmektedir (Yılmaz, 1997).

Ayrıca; titanyum, titanyum alaşımları, krom, manganez, tungsten gibi demirli olmayan malzemelere de uygulanabilmektedir. Fakat alüminyum alaşımları, çinko ve bakır borlama işlemi için uygun değildir. Ancak bu malzemeler, bazı iş parçalarında bütün yüzeylerin borlanması istenmediği durumlarda, kaplamaya karşı koruyucu bölge olarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Karaman, 2003).

Cr, Mn, Ni, Co, Mo, Ta, vb. demir dışı alaşımlar ile seramik malzemeler borlanabilir. Co ve Ni esaslı Wc ve TiC gibi karbürler çok sert ve yüksek ergime sıcaklığına sahip olmalarına karşılık, nemli atmosferik şartlarda, oksidasyon dayanımları düşüktür. Bunu uygulamak için borlama uygulanabilir. Ancak, Co veya Ni içeriğinin % 6'dan küçük olması gerekmektedir (Uzun, 2002).

Borlama işleminin ostenit fazında gerçekleşmesi sebebiyle havada sertleşen çelikler, borlama sonrasında anında sertlik kazanırlar. Suda sertleşen parçalar borür tabakasının termal şoka maruz kalması sebebiyle su verilmesi gerekli olduğu durumlarda borlanmazlar. Benzer şekilde sülfürlenmiş ve kurşunlanmış çelikler yüzeylerde çatlak oluşturma eğilimleri, nitrürlenmiş çelikler ise çatlak hassasiyetleri sebebiyle borlama işlemine tabi tutulmamaktadır (Şen, 1998).

Borlama ile iş parçalarının ömürleri önemli derecede arttırılabilir. Daha kalın ve matris malzeme ile iyi bağlantılı borür tabakalarının, yüksek alaşımlılardan daha çok, düşük alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde elde edildiği düşünülürse; alaşımlı çelikler, alaşımsız çeliklerle değiştirilerek iş parçası maliyetleri düşürülebilir. Ya da talaşlı imalat vb. yöntemlerle üretilen parçalar toz metal tekniği ile üretilenlerle değiştirilebilir (Özsoy, 1991).

Borlama işlemi yapılabilen bazı ferro malzemeler ve kullanım alanları Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Borlanabilen bazı ferro malzemeler ve kullanım alanları (Çalık, 2004)

Malzeme Numarası	DIN	AISI	Kullanım Alanları
1.0037	St 37		Kovanlar, manifoldlar, nakil boruları, darbe plakaları, yatak levhaları, civatalar, çarklar, diş kılavuzları
1.0401	C15 (Ck15)	C1020	Dişli kutuları, pompa şaftları
1.0503	C 45	C1043	Pimler, taşlama diskleri, civatalar, bilyalar
1.0052	St50-1		Manivelalar, hamlaçlar
1.0727	45 S 20 (K)	C1138	Bilezikler, miller, zımbalar
1.1191	Ck 45	C1042	Helezon gövdeler, hamlaçlar, civatalar, haddeleme silindirleri
1.1730	C 45 W 3		Döküm levhalar
1.1740	C 60 W 3	W1	Bağlama kelepçeleri, kılavuz çubuklar
1.2080	X 210 Cr 12	D3	Pres kalıpları, zımbalar, matrisler (dişi kalıplar), burçlar, pleytler, mandrenler
1.2210	115 CrV 3	C2	Sementasyonlu pimler ve saplamalar, kalıp zımbaları
1.2311	40 CrMnMo 7		Döküm levhalar, bükme çeneleri
1.2343	X 38 CrMoV 51	H11	Delme takımları, Pistonlar, baskı silindirleri,
1.2344	X 40 CrMoV 51	H13	ağızlıklar (zivanalar), ingot (kütük) kalıpları
1.2365	X 32 CrMoV 33	H10	Enjeksiyon zımbaları, dövme kalıpları
1.2379	X155 Cr V Mo 121	D2	Değişik formlardaki haddeler
1.2419	105 WCr 6		Gravür merdaneleri
1.2436	X 210 CrW 12	D6	Doğrultma merdaneleri
1.2550	60 WCrV 7	S1	Mandrenler, matrisler, çekme ve hadde kalıpları, zımbalar, kalıp bilezikleri
1.2601	X 165 CrMoV 12	D2	Çekme takımları, soğuk haddeleme silindirleri
1.2714	56 NiCrMoV 7	L6	Civatalar, dövme kalıpları
1.2767	X 45 Ni Cr Mo 4		Baskı aletleri, bükme kalıpları çeneleri, pres
1.2842	90 MnCrV 8	O2	kalıpları, çekme kalıpları, delici zımbalar
1.3505 (2067)	100 Cr 6		Bilyalarda (rulmalar), kılavuzlar
1.3947	X 50 CrMnNiV 22 9		Mıknatıslanmayan aletler (avadanlıklar)
1.4006	X 10 Cr 13	410	Valf parçaları
1.4034	X 40 Cr 13	420	
1.4300	X 12 CrNi 18 8	302	Dişli gövdeleri ve kovanları
1.4401	X 5 CrNiMo 18 10	316	Eleklerin delikli parçaları
1.4410	G-X 10 CrNiMo 18 9		Erkek kılavuzlar
1.4541	X 10 CrNiMo 8	321	Bağlama bilezikleri, besleme memeleri , dişli gövdeleri
1.6580	30 CrNiMo 8		Haddeleme silindirleri
1.6587	17 CrNiMo 6	4317	Konik dişli çarklar (konik mahrutu dişliler)
1.7131	16 Mn Cr 5	5115	Helisel dişliler, kızak yatakları
1.7147	20 Mn Cr 5		Kızak kolonları
1.7225	42 CrMo 4	4140	Pres matrisleri, ekstrüder sonsuz vidaları, helisel kovanlar ve silindirleri, pistonlar, geri hareket mandalları
1.7228	50 CrMo 4	4150	
1.7707	30 CrMoV 9		Sonsuz dişliler, silindirler, enjektör meme plakları
	Gri pik döküm Örneğin: GG 20		Tekstil makinesi parçaları, bilezikler, kalıplar

### 1.2.2. Borlama Yöntemleri

Esas itibariyle bir yayınma işlemi olan, karbürleme ve nitrürlemeye benzeyen borlama termokimyasal bir işlemdir. Uygun işlem sıcaklıklarında metal malzemenin yüzeyine yayılan bor, metal ile bir ve birkaç intermetalik fazdan meydana gelen bir tabaka oluştururlar (Taşçı,1993).

Bor atomları ısı enerjisi yardımıyla, iş parçası yüzeyindeki metalik latislere yayındırılır ve buradaki malzeme atomlarıyla birlikte uygun borürleri oluştururlar. Eğer demir ve çelik türü malzemeler borlanıyorsa demir borürler oluşur (Özsoy, 1991).

Bu olayda bor kaynağının fiziksel durumu katı, sıvı veya gaz olabilir. Borlama ortamı ise, bor kaynağı (bor veya bileşikleri), aktivatör, dolgu veya deoksidantlardan oluşur. Aktivatörler tabakanın düzenli büyümesine ve oluşmasına etki ederler. Dolgu ve deoksidantlar ise borlama sıcaklığında oksijeni tutarak redükleyici bir ortam oluştururlar ve ayrıca borlama maddelerinin ana malzemeye yapışmalarını önlerler (Çetin, 2003).

#### 1.2.2.1. Katı Ortamda Borlama

Katı ortamda borlama yönteminin gerçekleştirilmesi oldukça basittir. Yüzeyi borlanacak malzeme, toz halindeki bor verici ortam içinde 800–1000 °C sıcaklıklarda 4–10 saat bekletilerek borlama işlemi yapılır. Borlama tozu ısıya dayanıklı çelik saç kutu içerisine konur ve borlanacak parça yüzeylerden 10 mm az olmayacak şekilde gömülür. Kutuların ağzı bir kapak ile kapatılarak önceden belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmış bir fırına konur. Fırın kapağı kapatılarak fırın içi sıcaklığı borlama sıcaklığına yükseltilir. Bir süre bekledikten sonra kutu fırından alınarak soğutulur ve parça içinden çıkartılır (Uzun, 2002).

Katı ortamda sementasyona (karbürizasyona) benzeyen bu yöntem; işlem kolaylığı, toz bileşiminin kolayca değiştirilebilmesi, gerekli cihaz ve donanımın basitliği ve

ekonomik yönden de ucuz olması gibi faktörlerden dolayı geniş bir uygulama alanına sahiptir. Borlama ortamının ana bileşeni borkarbür, ferrobor ve amorf bordur. Borkarbür diğerlerine göre ucuz olduğundan tercih edilirler (Şen, 1998). Çizelge 1.2’de borkarbür, ferrobor ve amorf bor’un bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. Katı ortam borlamasında kullanılan maddelerin bazı özellikleri (Çetin, 2003).

<b>Malzeme</b>	<b>Kimyasal Formülü</b>	<b>Molekül Ağırlığı (gr/mol)</b>	<b>Teorik Bor Miktarı(%)</b>	<b>Ergime Sıcaklığı(°C)</b>
Amorf Bor	B	10.82	95....97	2050
Ferrobor	-----	-----	17....19	-----
Borkarbür	B <sub>4</sub> C	55.29	77.28	2450

Ticari alanda katı ortam borlama maddeleri kullanım alanlarına göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır (Yünker, 2000).

Ekabor 1: Tozdur. Optimum tabakanın elde edilmesinde kullanılır. Yüzey pürüzlülüğü açısından yüksek kaliteye ulaşılır. Demir ve çelik malzemelerde kullanılır.

Ekabor 2: Granüldür. Yüzey pürüzlülüğü açısından çok yüksek kaliteye sahiptir. Düşük alaşımlı çeliklerde kullanılır.

Ekabor 3: Granüldür. Ekabor 2’den daha iri taneli olup yüzey kalitesi daha iyidir. Yüksek alaşımlı çelikler için kullanılır.

Ekabor HM: Sert malzemelerin borlanması için özel olarak üretilmiştir.

Ekabor Pasta: Macun şeklinde olup metalik malzemelerin borlanması istenen bölgelerine sürülerek uygulanır.

### 1.2.2.2. Sıvı Ortamda Borlama

Borlama şartlarında ortam sıvıdır. Borlanacak malzeme 800–1000 °C arasındaki sıcaklığa sahip sıvı bir borlu ortamda 2–6 saat bekletilerek bor yayılımı gerçekleştirilir. Banyonun esas bileşenleri ve özellikleri çizelge 1.3'te verilmiştir. (Bozkurt, 1984)

Çizelge 1.3. Sıvı ortam borlamasında kullanılan bor kaynakları ve özellikleri (Bozkurt, 1984)

Malzeme	Formül	Molekül Ağırlığı	Teorik Bor Miktarı	Erime Sıcaklığı	Açıklama
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 10 \text{H}_2\text{O}$	381.42	11.35	----	Su miktarından dolayı eritmek için
Susuz Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	201.26	21.50	741 °C	20 °C de 25.2 gr/lit $\text{H}_2\text{O}$ çözünür
Metabor Asidi	$\text{HBO}_2$	43.83	24.69	-----	-----
Sodyum Borflorit	$\text{NaBF}_4$	109.81	9.85	-----	-----
Borik Asit	$\text{B}_2\text{O}_3$	69.64	31.37	450 °C	20 °C de 25.2 gr/lit $\text{H}_2\text{O}$ çözünür
Borkarbür	$\text{B}_4\text{C}$	55.29	78.28	2450 °C	-----

Sıvı ortamda borlama yöntemi, uygulanabilirlik açısından basit oluşu, vakum ve kontrollü atmosfer gerektirmemesi, karmaşık ekipmanlara gerek duyulmaması ve sarf malzemesinin ucuz olması bakımından önem kazanmaktadır (Yünker, 2000).

Bu yöntem laboratuarlarda iyi bir şekilde kullanılmasına rağmen erimiş boraksın yüksek viskozitesi endüstriyel boyutlardaki bir banyoda sıcaklığın homojen olmasını güçleştirir. Borlama sonucunda düzensiz kalınlıklar elde edilmesi de bu yöntemin

sakıncalı yönleridir. Borlama sonucunda numuneler yapışkan ve temizlenmesi zor olan bir toz banyosu ile kaplanır. Bu aynı zamanda pahalı bir temizleme işlemi de beraberinde getirir (Yünker, 2000).

Sıvı ortamda borlama işlemi daldırma yöntemi ve elektroliz yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır.

### **a) Daldırma Yöntemi**

Elektrolizsiz ergitilmiş tuz eriyiği veya normal sıvı ortam borlaması olarak adlandırılır. Bu yöntem genelde  $B_4C$ 'in katı fazı ile sıvı sodyum klorürden ibarettir. Bu da Boraksın viskozite azaltma yöntemleriyle elektrolit olarak erimesi esasına dayanır (Selçuk, 1994).

Ortamın esas bileşeni boraks olup, aktivatör olarak  $B_4C$ , SiC, Zr, B, vs. kullanılır. Klorürün karışımı veya klorürler ile floritlerin karışımına bor karbür ilavesi ile ya da boraks banyolarına bor karbür ilave edilerek yapılır. Bu yöntem ucuz ve fazla ihtisas istemez. Fakat termal şok, borlamadan sonra parçanın temizlenmesi ve büyük boyutlu karmaşık parçalara uygulanamaması bu metodun kötü yönleridir. Çalışma sıcaklığı 800–1000 °C ve borlama süresi 2–6 saattir (Uzun, 2002).

### **b) Elektroliz Yöntemi**

Elektrolitik borlama boraks veya borik asit gibi bor içeren ve  $Na_2O$ ,  $ZrO_2$ , SiC, NaCl, lityum veya potasyum gibi aktivatörleri içeren bir sıvı banyodan bor atomlarının katot görevi üstlenen parça yüzeyinde elektrolitik olarak biriktirilmesi işlemidir (Özsoy, 1991). İşlem yüksek sıcaklıkta tuz banyosu, elektrolit kullanılarak yapılan bir elektroliz uygulamasına benzer. Katot olarak iş parçası, anod olarak grafit kullanılır. Akım yoğunluğu 0,2-0,7 A/cm<sup>2</sup>, 2-14 volt olarak uygulanır (Yünker, 2000).

Farklı akım şiddetleri, özellikle karmaşık şekilli parçalarda borür tabakasının kalınlığının düzgün olmasına neden olur. Bu yöntemde iş parçası bir tuz tabakasıyla



kaplanır ki bunu temizlemek oldukça zordur. Elektrolizle borlamada anodun bir tarafında ince borür tabakası oluşur. Bu da gölge etkisi yaparak değişik ve düzensiz kalınlıklara sebep olur (Çetin,2003).

Sodyum klorür (NaCl) ve borasit anhidritin karışımı ile yapılan çalışma sonucu banyodaki sıcaklık dağılımının eşit olduğu, parçaların daha kolay yıkandığı ve viskozitenin azaldığı görülmektedir. Ayrıca NaCl, B<sub>4</sub>C ve NaBF biçiminde oluşan tuz eriyiğinde diğer problemler ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemin tesisi pahalıdır. Karışık şekilli parçalarda homojen kalınlıklı tabaka oluşumu oldukça zordur. İşlem 800–1000 °C sıcaklıkta 0,5–5 saat süre ile yapılmaktadır. Banyo bileşimlerinde 0,2 A/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu 600–700 µm kalınlıkta borlu tabaka elde edilmiştir (Selçuk,1994).

### 1.2.2.3. Gaz Ortamda Borlama

Gaz ortamda borlamada, bor kaynağı olarak bor halojenürleri, diboran ve organik bor bileşikleri kullanılır. Gaz borlayıcıların en önemli üstünlüğü, gaz sirkülasyonunun sonucu olarak daha üniform bir bor dağılımının sağlanabilmesi ve elde edilmelerinin kolay olmasıdır. Prensip olarak gaz ortamda borlamada, bor potansiyelinin ayarlanabilmesinden dolayı, tek fazlı tabaka elde etmek mümkündür (Özsoy, 1991).

Gaz ortamın bileşimi, basıncı ve gazın tanktan akış hızı borlamaya etki eden faktörlerdir. Gaz ortamda borlama yapmak için bor verici ortam olarak bor halojenleri diboran B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ve organik bileşikleri kullanılır. Bu bor vericilerden BF<sub>3</sub>, BCl<sub>3</sub>, BBr<sub>3</sub>, saf veya su ile; B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> su ile ve (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>B / (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>B olarak kullanılırlar. Bunlardan diboran B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ile bor halojenleri ile birlikte kullanılırsa çok olumlu sonuçlar görülür. Ancak diboran zehirli ve hidrojen ile inceltmesi pahalıdır. Diboran 150 °C'ye yakın sıcaklıklarda ayrıştığı için sıcak bir parça üzerine uygulamak için soğuması gerekir. Bütün bunlara rağmen birçok araştırmacı diboran ve su ile gaz ortamda borlamayı yapmışlardır (Uzun, 2002). Amerika'da geliştirilen bir yöntem de bor ve borkarbürden ayrılan bir gaz fazıyla yapılan bir borlamadır. Bortriklorit ile hidrojen karıştırılarak 1300–1500 °C de sıcak grafit çubuk üzerine

tatbik edilir ve borkarbür oluşması sağlanır. Bu yöntem yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelere uygulanmaktadır. Bu yöntemle Fe esaslı malzemelerin yanısıra silika, mullite, Ti, Ni, Co ve W başarıyla borlanmıştır (Çetin, 2003).

Gaz borlama bileşikleriyle çalışmak için karışık cihazlar gereklidir. Buna ilaveten bazı sakıncalı tarafları da vardır (Karaman, 2003).

1. Diboran, kullanılan temel bileşiktir ve çok zehirlidir. Diboran için en düşük zehirlilik sınırı 0,1 ppm'dir. Çok tehlikeli olarak bilinen hidrojen siyanür (prussik asit) için bile 10 ppm'e kadar müsaade edilmektedir.

2. Diboran, hidrojen ile karıştırıldığında bile çok pahalıdır.

3. Trimetilbor  $[(CH_3)_3B]$  ve trietilbor  $[(C_2H_5)_3B]$  ile yapılan gaz ortam borlamasında, bu bileşiklerin yüksek oranda karbon içermeleri sebebiyle karbürizasyon sözkonusu olabilmektedir. Bu etki trietilborda, trimetilbordandan daha kuvvetlidir.

4. Bor halojenürleri korozyona sebep olabilirler. Gaz ortamın bileşimi, basıncı ve gazın tanktan akış hızı borlamayı etkiler.

#### 1.2.2.4. Plazma (İyon) Borlama

Plazma ile borlama işlemi ile 20 yıldan daha fazla süredir çalışılmasına rağmen henüz tam olarak anlaşılammıştır. Ar ve  $H_2$  gazları ile birlikte bor kaynağı olarak  $BCl_3$ ,  $B_2H_6$ ,  $BF_3$  veya trimetilborat kullanarak, 800–1000 °C sıcaklıkta yaklaşık  $10^{-2}$  Pa basıncında oluşturulmuş plazma içerisinde yapılan borlamadır (Çelik vd, 2002). Gaz ortamda 300–700 Pa basınçla borlama yapmak mümkündür. İşlem sıcaklığı diğer borlama yöntemlerine kıyasla düşmekte ve borlama süresi kısalmaktadır. Reaktif gazın daha iyi kullanımı ile işlem atmosferinde  $BCl_3$  buharının miktarı azaltılabilir. Bu yöntemde işlenen parça yüzeyinin aktiflenmesi katodik püskürtmeden dolayı (özellikle işlemin başlangıç aşamasında, yani ısınma esnasında) akkor ışık ile başarılır (Çetin, 2003).

Yüzey difüzyonu ve kimyasal emilme gibi yüzey işlemlerinin büyük ölçüde yükseltilmiş yüzey enerjisinden dolayı yüzeydeki kimyasal reaksiyonlar katalitik etki ile hızlanırlar. Bunun sonucu oluşan iyon ve elektronlar elektrik alanına etkide

bulunurlar. Sistemi besleyen enerji, bu iyon ve elektronlar tarafından iletilir. Elektriksel alanın etkisi altında iyon ve elektronlar gaz moleküllerin bu sıcaklığa ait ortalama enerjisinden daha yüksek bir enerji kazanırlar. Elektronlar ile moleküllerin çarpışmasında sonuç olarak moleküllerin bir kısım enerjisi iletilir. Bu durum, bu şartlar altında, sistem içindeki partiküller (iyonlar, atomlar, moleküller)'in uygun sayıları yüksek enerji ile mevcut olduklarından ve atmosferdeki bu sıcaklıkta dengeli enerji dağılımını anormal akkor ışık saçılımı olmadan karşılanabildiği için başarılı (Selçuk,1994).

Plazma borlamanın avantajları şunlardır (Karakan vd., 2002),

1. Bilinen borlama işlemlerinde (katı, sıvı, gaz) tabaka kalınlığı ve homojenliği kontrol edilemezken, plazma borlamada mümkündür.
2. Kompleks parçalarda homojen difüzyon tabakası ve sertlik elde edilmektedir.
3. Daha düşük sıcaklıkta ve işlem süresinde gerçekleştirilir.
4. İşlem çok yoğun enerjide gerçekleştirilir.
5. Bu yöntemle yüzeyde tek fazlı Fe<sub>2</sub>B tabakası elde edilebilir.
6. Daha büyük boyutlu (katı borlamaya göre) malzemeleri işleme tabi tutulabilir.
7. Zehirlilik, patlayıcı yapı ve çevre kirliliği gibi etmenler kontrol altına alınabilir
8. İşlem sonrası daha düşük distorsiyon sağlanabilir.

#### **1.2.2.5. Pasta Borlama**

Borlama için kullanılacak tozlar macun haline getirilir ve borlanacak parçanın üzerine 2 mm kalınlıkta sürülür. Parça yüzeyine sürülen macun derhal sıcak hava akımında, ön ısıtma odasında veya kurutma fırınında maksimum 150 °C'de kurutulur. Gerekli takdirde macun üzerine tekrar birkaç kez daha sürülebilir. Kurutma işleminden sonra macun ile kaplanmış parçalar önceden ısıtılmış fırına konur ve fırın ağzı kapatılarak borlama sıcaklığına ısıtılır. Belirli süre bu sıcaklıkta tutulan parçalar dışarı alınır ve soğumaya terk edilir. Parçalar soğuduktan sonra yüzeyinde yapışmış olan artıklar temizlenerek borlama yapılmış olur (Çetin, 2003). Bu yöntemle borlama mutlaka koruyucu gaz ortamında yapılması gerekir. Aksi

takdirde kötü bir borür tabakası oluşur. Bu yöntemle kısmi borlama yapılabilir. Bor korbür ( $B_4C$ ), kriyolit ( $Na_3AlF_6$ ) ve bağlayıcı olarak da hidrolize edilmiş etilsilikat karışımından macun yapılarak borlama yapılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan koruyucu gazlar; Argon, Formier Gazı,  $NH_3$  ve saf azottur (Uzun, 2002).

Pasta Borlama yöntemi, katı ortamda borlama işlemine göre özellikle zamandan tasarruf edilmesi yönüyle (yaklaşık % 50), alternatif bir borlama işlemidir. Aynı işlem şartları altında, katı ortamda borlama işlemine göre daha kalın tabakalar elde edilmektedir. Özellikle büyük hacimli karışık şekilli parçalarda bu yöntemin tercih edilmesi, diğer borlama yöntemlerine göre ekonomiklik sağlamaktadır. Bu yöntem, kısmi borlama işlemlerinde de kullanılabilir. İş parçasına bu yöntemin tatbik edilmesi daldırma, püskürtme veya fırçayla yapılabilir. İş parçası ile macun arasında hava kabarcıklarının kalmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. 1,5–3 mm kalınlıktaki bir pasta tabakası 100  $\mu m$  kalınlığında borür tabakası oluşumunu sağlamaktadır (Karaman, 2003).

### **1.2.3. Borlu Tabakanın Yapı ve Bileşenleri**

Borlu tabakanın özellikleri, borlanan malzemenin kimyasal bileşimi, borlama ortamının bileşimi, işlem sıcaklığı ve süresi ve ilave ısı işlemlere bağlıdır. Demir ve çelik malzemelerde borlama işlemi sonucunda borür tabakası ve geçiş tabakası oluşmaktadır (Özsoy, 1991).

#### **1.2.3.1. Borür Tabakası**

Bu tabaka malzemenin en dış yüzeyi ile yüzeyin altındaki parmaklı (dişli) kısım arasına verilen addır. Bu bölgeye difüzyon bölgesi de denmektedir. Demir ve alaşımlarının borlanması, ya tek fazlı ( $Fe_2B$ ) veya çift fazlı ( $FeB + Fe_2B$ ) borür tabakaları elde edilir. Borlayıcı ortamdan sağlanan aktif bor,  $Fe_2B$  oluşumu için esas malzeme tarafından tüketilen miktardan daha fazla olduğu için işlem şartlarında sadece  $Fe_2B$  oluşmaz, aynı zamanda  $Fe_2B$ 'a göre borca daha zengin reaksiyon ürünleri de meydana gelebilir (Çalık ve Özsoy, 2002).

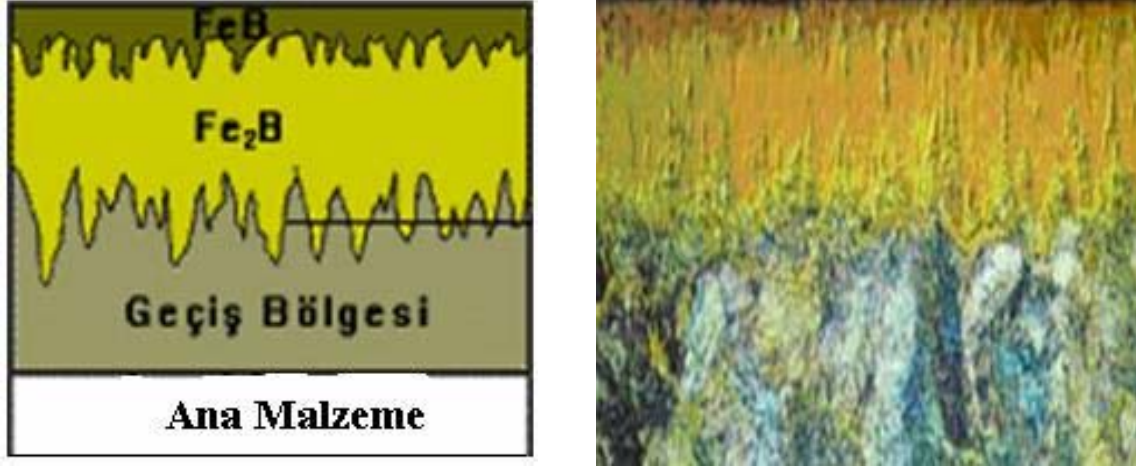
Eğer borlama maddeleri ile çalışıldığında, yüksek borlama potansiyeli söz konusu ise, iki fazlı borür tabakası meydana gelir. Bu tabakanın dış kısmı FeB'den, içinde ise Fe<sub>2</sub>B'den meydana gelmektedir. FeB, Fe<sub>2</sub>B ile kıyaslandığında daha yüksek sertliğe sahiptir, fakat kırılımandır. Bunun için, borlama maddesinin bor potansiyeline bağımlı olarak farklı tabaka tipleri üretilebilir (Karaman, 2003).

Çizelge 1.4'te çeşitli malzemelerde borlama ile elde edilen borürler ve mikrosertlik değerleri verilmiştir. Özellikle demir ve çelik türü malzemelerde, borlama işlemi sonucunda ana yapının dışında borür tabakası ve geçiş bölgesinden oluşan iki farklı yapı ortaya çıkmaktadır (Özsoy, 2001).

Çizelge 1.4. Çeşitli metallerde elde edilen borür fazları ve mikrosertlik değerleri (Özsoy, 2001)

Borlanan alt yüzey	Borür tabakasındaki fazlar	Borür tabakasının sertliği
Fe	FeB Fe <sub>2</sub> B	1900–2100 1800–2000
Co	CoB Co <sub>2</sub> B Co <sub>3</sub> B	1850 1500–1600 700–800
Ni	Ni <sub>4</sub> B <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub> B Ni <sub>3</sub> B	1600 1500 900
Mo	Mo <sub>2</sub> B MoB <sub>2</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>5</sub>	1660 2330 2400–2700
W	W <sub>2</sub> B	2600
Ti	TiB TiB <sub>2</sub>	2500 3370
Nb	NbB <sub>2</sub> NbB <sub>4</sub>	2200 -
Ta	Ta <sub>2</sub> B TaB <sub>2</sub>	- 2500
Hf	HfB <sub>2</sub>	2900
Zr	ZrB <sub>2</sub>	2250
Re	ReB	2700–2900

Şekil 1.10'da alaşımsız bir çelikte iki fazlı bir borür tabakası gösterilmiştir. En dış bölümde FeB fazı, onun altında Fe<sub>2</sub>B, onun altında geçiş bölgesi, onun da altında ana malzeme görülmektedir. Bor tabakasının kalınlığı borlama sıcaklık ve süresine bağlı olarak artış göstermektedir (Çalık vd, 2004).

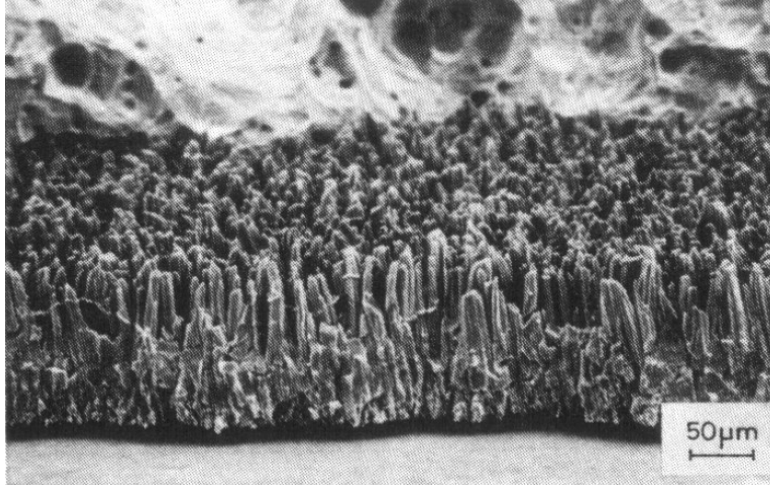


Şekil 1.10. Borlama sonrası alaşımsız çelikte FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarının şematik ve metalografik görünüşü (Çalık vd, 2004).

Genellikle, bor tabakasında testere dişi şeklinde tek bir Fe<sub>2</sub>B fazının oluşumu FeB ve Fe<sub>2</sub>B çift fazlı tabakanın oluşmasından daha fazla arzu edilir. FeB fazı yaklaşık ağırlıkça % 16,23 oranında bor içerir ve borca zengindir. Bu durum istenmez çünkü FeB fazı diğer demir bor fazlarından daha gevreklerdir. Fe<sub>2</sub>B fazı ise ağırlıkça % 8,93 bor içerir ve daha az kırılmandır. Borür tabakasında, çatlak oluşumu ve kabuk gibi kalkma ve yırtılmalar çift fazlı tabakalarda ve FeB fazında çok sık oluşur. Bu çatlaklara bir mekanik yük uygulandığı zaman pul pul ve yaprak yaprak dökülmelere yol açmaktadır. (Çalık ve Özsoy, 2002).

FeB ve Fe<sub>2</sub>B optik mikroskop altında renk farkıyla birbirlerinden ayırt edilmesi mümkün olmuştur. FeB fazı Fe<sub>2</sub>B fazından daha koyu renkte olduğu görülmüştür. Ayrıca FeB ile Fe<sub>2</sub>B ve Fe<sub>2</sub>B ile matris ara yüzeyindeki yapı kolonsaldır. FeB fazı, Fe<sub>2</sub>B üzerinde oluşmakta ve Fe<sub>2</sub>B fazından daha fazla bor içermektedir. Bor tabakasının kalınlığı borlama sıcaklık ve süresine bağlı olarak artış göstermektedir (Çeğil ve Şen, 2002).

Taramalı elektron mikroskopunda elde edilen borlanmış bir çeliğin % 18 hidroklorik çözeltisi içinde birkaç saat kaynatılması sonrası çözünmüş, yaklaşık 120  $\mu\text{m}$  uzunluğunda diş biçimli demirborür kristalleri ( $\text{Fe}_2\text{B}$ ) Şekil 1.11’de görülmektedir (Çalık vd, 2004).  $\text{Fe}_2\text{B}$  ve  $\text{FeB}$ ’ye ait bazı özellikler de Çizelge 1.5’te verilmiştir (Karaman, 2003).

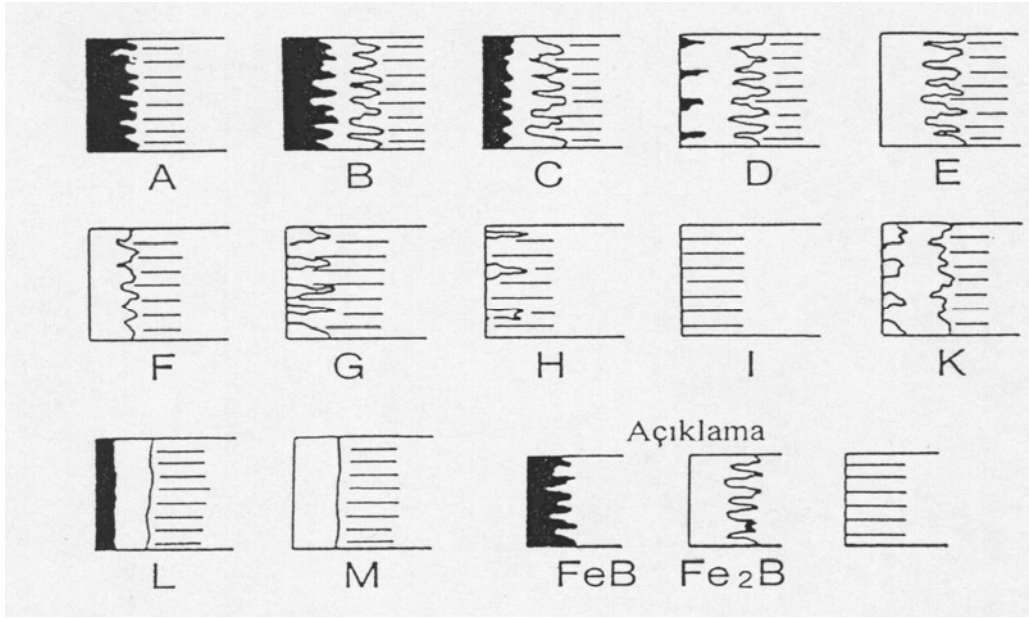


Şekil 1.11. Diş biçimli demirborür kristalleri ( $\text{Fe}_2\text{B}$ ) (Çalık vd, 2004)

Çizelge 1.5.  $\text{Fe}_2\text{B}$  ve  $\text{FeB}$ ’nin bazı özellikleri (Karaman,2003)

Özellik	Borür	
	$\text{Fe}_2\text{B}$	$\text{FeB}$
Ergime Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )	1390	1550
Mikro sertlik (Vickers)	1600-1800	1800-2400
Uzama Katsayısı ( $1000^{\circ}\text{C}$ )	$8.0 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$	$10 - 16 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$
Termal İletkenlik ( $1000^{\circ}\text{C}$ )	$0.2 - 0.3 \text{ W/cm}^{\circ}\text{C}$	$0.1 - 0.2 \text{ W/cm}^{\circ}\text{C}$
Kuri (Curie) Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )	742	325
Kristal Sistemi	Tetragonal Hacim Merkezli	Ortorombik
Kafes Parametreleri ( $\text{Å}$ )	a: 5.075 b: 4.249	a: 4.053 b: 5.495 c: 2.496
Yoğunluk ( $\text{gr/cm}^3$ )	7.32	-

Borür tabakalarının yapısı; borlama yöntemine, borlanan malzemenin bileşimine, borlama ortamına ve işlem şartlarına bağlı olarak; ya düz bir formda veya parmaklı formda olabilir. Tabaka tiplerinden hareketle bazı tabaka özelliklerinin belirlenebileceğini söylemek mümkündür. Çeşitli borlama yöntemleri ile 14 farklı yapıda borür tabakası elde edilebilmektedir. Kunst ve Schaaber tarafından geliştirilerek düzenlenen sistematik sınıflandırma şekil 1.12'de gösterilmiştir (Uzun, 2002).



Şekil 1.12. Borür tabakası çeşitleri (Uzun, 2002).

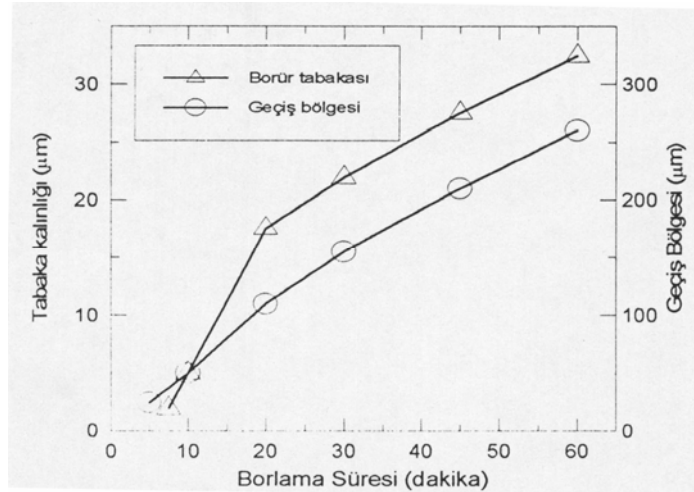
- A: Tek fazlı tabaka, sadece FeB  
 B: İki fazlı tabaka, Fe<sub>2</sub>B ve FeB  
 C: İki fazlı tabaka, B'dekinden daha ince bir FeB tab.  
 D: İki fazlı tabaka, yalnız FeB dişleri izole edilmiş  
 E: Tek fazlı tabaka, sadece Fe<sub>2</sub>B, kuvvetli dişler  
 F: Tek fazlı tabaka, sadece Fe<sub>2</sub>B, daha az kuvvetli dişler  
 G: Fe<sub>2</sub>B dişli özel tabaka  
 H: Fe<sub>2</sub>B dişleri çok izole edilmiş tabaka  
 I: Geçiş bölgesi  
 K: Bozulmuş tabaka  
 L: İki fazlı tabaka, düz yani parmaklı değil  
 M: Tek fazlı tabaka, FeB ve Fe<sub>2</sub>B, düz



F tipi Endüstride E ve yani tek fazlı borür tabakası ( $Fe_2B$ ) tercih edilmektedir. Bu tabakalar, düşük kırılgenlık değeriine sahiptir ve ana malzemeye, borlu tabakanın özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden; borlama sonrası ısıl işlemler uygulanabilir (Matuschka, 1980).

### 1.2.3.2. Geçiş Bölgesi

Geçiş bölgesi, borür tabakası ile anayapı (matriks) arasında kalan bölgeye verilen addır. Borlama işlemi esnasında, çelik bileşiminde bulunan elementler bu bölgede yeniden dağılarak şekillenirler. FeB ve  $Fe_2B$  tabakalarının C ve Si gibi elementleri çözüdürememesi nedeniyle bu elementler yüzeyden içeri doğru itilirler. Bu bölgede bulunan bor, borür oluşturamayacak miktardadır. Bunun neticesinde bu geçiş bölgesinin meydana geldiği bilinmektedir. Geçiş bölgesi, mikroyapı bakımından esas malzeme ve borür tabakasından farklıdır. Bu bölgenin kalınlığı, borür tabakasının kalınlığının 10–15 katı kadardır. Bor bu bölgede tane irileşmesine sebep olduğundan geçiş bölgesinde malzemenin taneleri irileşmekte ve sertliği de düşmektedir (Çalık ve Özsoy, 2002).

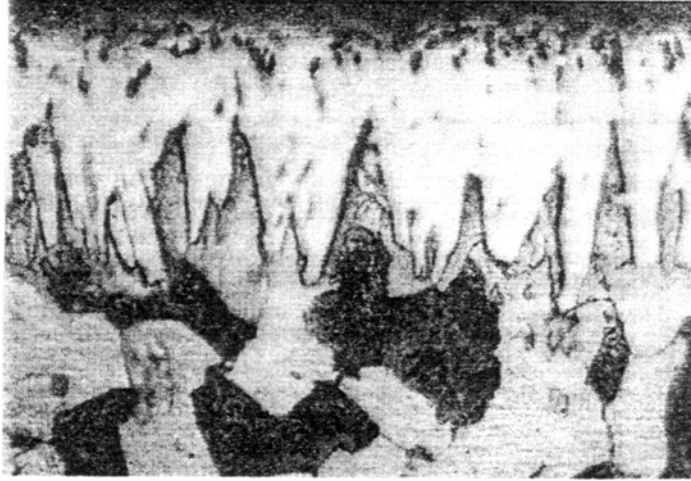


Şekil 1.13.  $Fe_2B$  ve geçiş bölgesi kalınlığının borlama süresi ile değişimi (Uzun, 2002)

Şekil 1.13'te  $Fe_2B$  ve geçiş bölgesi kalınlığının borlama süresi ile değişim grafiği görülmektedir. Genel olarak, geçiş bölgesindeki tane boyutu, ana malzeme boyutuna göre daha büyük olduğu halde, sinterlenmiş Fe-C alaşımlarında bu bölgede tane

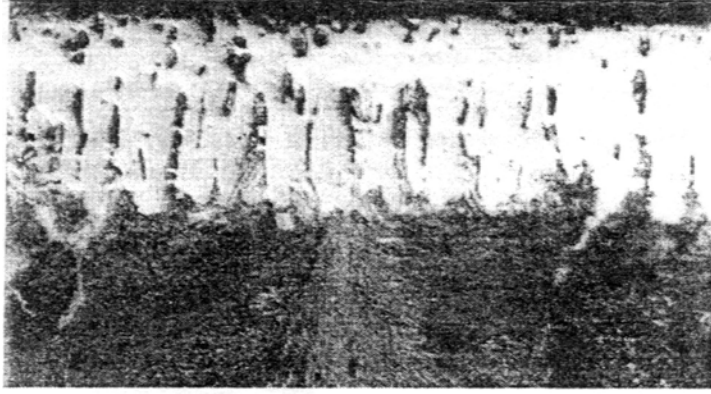
büyümesine rastlanmadığı ileri sürülmektedir. Lu (1983), Ck 15 çeliğinde borlama süresine bağlı olarak borür tabakası ve geçiş bölgesi kalınlıklarının farklı tarzlarda arttığını belirtmektedir (Uzun, 2002).

Yüzey tabakalarının incelendiği bir borlama işlemi deneyinde, deney numunesi olarak kullanılan AISI 1020, AISI 4140 çeliklerinin aynı şartlarda borlandığında, birbirinden farklı özelliklere sahip yüzey tabakaları sergiledikleri görülmüştür. Bu özellikler alaşımsız ve alaşımlı çeliklerde aşağıdaki şekilde gözlenmiştir. Düşük ve alaşımsız çeliklerde borlama sonucu oluşan yüzey tabakası Şekil 1.14'te görüldüğü gibidir (Nair ve Karamış, 1997).



Şekil 1.14. Borlanmış AISI 1020 çeliğinde yüzeyin mikroyapısı (Nair ve Karamış, 1997)

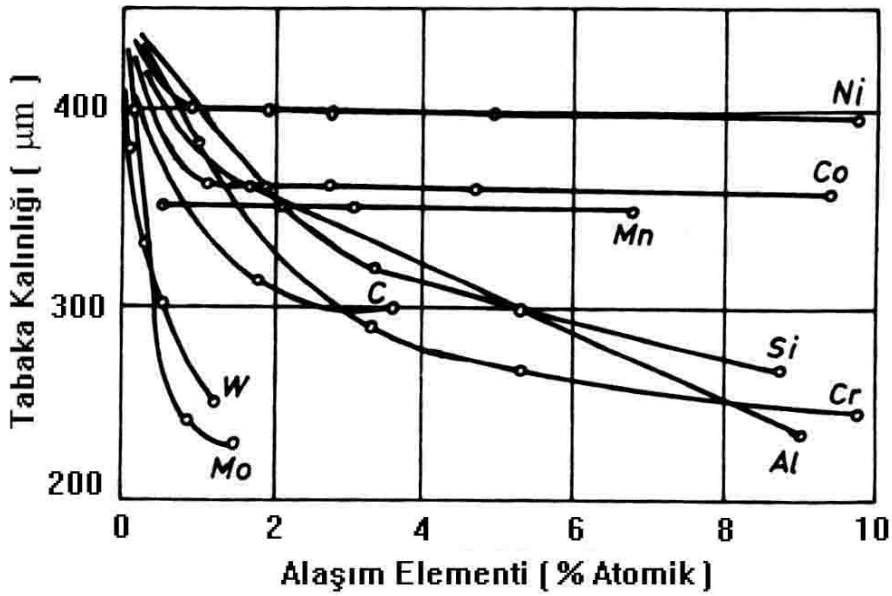
Burada en dışta (malzeme yüzeyinde) borür tabakası görülmektedir. Borür tabakası; dişli forma sahip, açık beyaz renktedir. Borür tabakasının ana malzemeye bağlantısı bir geçiş bölgesi üzerinden olmayıp, doğrudan tane sınırlarına ve tane içlerine uzanan dişlerle gerçekleşmiştir. Alaşımlı AISI 4140 çeliğinin borlanması neticesinde elde edilen yapı Şekil 1.15'te görülmektedir. Malzeme yüzeyinde açık renkli dişli forma sahip borür tabakası bulunmaktadır. Borür tabakasının ana malzemeye bağlantısı, ana malzemedan ve borür tabakasından farklı özelliklere sahip bir geçiş bölgesi üzerinden gerçekleşir. Geçiş bölgesi alaşımlı ve yüksek karbonlu çeliklerde meydana gelmektedir. Tane sınırları belirli olmayıp koyu renkte perlitik bir görünüme sahiptir (Nair ve Karamış, 1997).



Şekil 1.15. Borlanmış AISI 4140 çeliğinde yüzeyin mikroyapısı (Nair ve Karamış, 1997)

#### 1.2.4. Alaşım Elementlerinin Borlamaya Etkisi

Termokimyasal borlama üzerinde alaşım elementlerinin etkisi, kaplamannın içine giren alaşım elementinin miktarı ve türü ile ilişkilidir. Alaşım elementleri bor difüzyonunu düşürmekte, matris ve kaplamannın özelliklerini değiştirmektedir (Bindal, 1991). Şekil 1.16'da alaşım elementlerinin borür tabakasına etkisi görülmektedir (Yünker, 2000).



Şekil 1.16. Alaşım elementlerinin borür tabakasına etkisi (Yünker, 2000)

Yüksek alaşımlı çeliklerde oluşan ince tabakalar zorunlu olarak ( $FeB + Fe_2B$ ) şeklinde iki fazlı oluşurlar. Tabakalar ince olduğu için elastik özellik gösterirler.

Yüzeydeki FeB girintilerinin oluşumu işlem sıcaklığına ve malzemeye bağlıdır. Yüksek alaşımlı çeliklerde borun yayınma hızı düşük olduğu için kenar tabakada oluşan kalın FeB fazını ortaya çıkartan bir kabartı oluşur. Yüksek alaşımlı çeliklerdeki dişlenmenin az olmasından dolayı tabakanın tutma mukavemeti, düşük alaşımlı veya alaşımsız çeliklerden daha azdır. Bu nedenle darbeli zorlamalarda borlu tabakanın pul pul dökülmesi görülebilir (Selçuk, 1994).

Alaşım elementlerinin diğer bir etkisi de, borür tabakasının sertliğini artırması ve FeB denge diyagramındaki ötektik noktayı aşağıya kaydırmasıdır. Fe-B sistemindeki % 1 C ötektik sıcaklığını 50 °C kadar düşürmektedir (Taşçı, 1993).

Karbon, demir borürlerde çözünemediğinden, ana malzemeye doğru yayılır ve tabakanın altında  $Fe_3C$ ,  $Cr_3C$ ,  $Fe_6C_3$  gibi karbür şeklinde birikir. Karbon, geçiş bölgesi denilen bu bölgenin yapısını etkiler ve daha düzenli ve sert bir yapı oluşmasına neden olur. Karbon yoğunlaşmasındaki artış, daha dengeli su vermeyi, dolayısıyla çok sert borür tabakasından, yumuşak olan ana malzemeye doğru daha dengeli bir geçişi sağlar. Karbon miktarının artışına bağlı olarak, tabaka sertliğinde artış meydana gelmektedir. Bu artış % 0,4 C' a kadar devam etmekte, bu değer üzerinde hemen hemen sabit kalmaktadır. Bu durum FeB veya  $Fe_2B$  bileşiklerinde daha fazla karbon ikamesinin zorlaşmasından kaynaklanmaktadır (Uzun, 2002). Karbon yoğunluğundaki artış, borür tabakasının toplam kalınlığı ve sertliğinin azalmasına, demir borürlerin izafi dengelerinin değişmesine ve geçiş bölgesinde karbürlerin oluşmasına sebep olur.  $Fe_2B$ , FeB' ye göre daha dengelidir (Özsoy,1991).

Blazon (1975), karbon miktarının artışı ile borür tabakası kalınlığındaki azalmayı FeB'nin azalmasına bağlamaktadır. % 1,2–1,25 karbon bileşiminde FeB'nin tamamen ortadan kalkacağını ve sertliğin düşeceğini söylemektedir. Karbon miktarının artışı ile parmaklı yapı düzleşir. Düşük ve orta karbonlu çeliklerde iğnemsî yapı oluşur (Uzun, 2002).

Periyodik tablonun aynı bölgesinde yer alan Si, P, N, Ti, V, Nb, Ta'da karbon gibi etki etmektedir. V'nin % 0,15'i geçmemesi istenir. Cr, Mo, W, Mn, Ni'nin FeB ve

$Fe_2B$ 'ye etkisi aynıdır ve alışlagelmiş yoğunlukları için bor difüzyonuna etkisi ihmal edilebilir. Ayrıca bu alaşım elementlerinden W, Mo ve Cr'un miktarı çelik içinde arttıkça borlanmış parçanın yüzey pürüzlülüğü azalır. Alaşım elementlerinden W, Mo ve V in artan miktarları ile tabakanın büyümesi azalır ve dişlenme kısmındaki diş boyları küçülür. Cr'da tabaka kalınlığının ve dişlenmenin azalmasına neden olur. % 6 dan fazla Cr içeren çeliklerde ana malzeme üzerine hemen hemen pürüzsüz dayanmakta ve borür tabakasının tutunma mukavemetine zararlı etkide bulunmaktadır. Cr'un etkisiyle incelen tabaka yine FeB ve  $Fe_2B$  fazlarından oluşur. Cr'da bu faz içerisinde yer alarak  $(FeCr)B$  ve  $(FeCr)_2B$  şeklinde borür oluşturur. Bu durumda ise tabakanın aşınma ve korozyon dayanımlarını artırır (Selçuk, 1994).

Dikkati çeken bir nokta da, borür tabakasının karbon içermemesi ve silisyum çözünürlüğünün de çok düşük olmasıdır. Borlama esnasında Si ve C, borür tabakası tarafından içeri doğru itilerek geçiş zonunda C ve Si zenginleşmesine yol açtığı ileri sürülmüştür. % 1'in üzerinde Si içeren çeliklerde borür tabakası altında silisyumca zengin bir tabaka görülmekte ve bu ferrit çukuru olarak adlandırılmaktadır. Özellikle darbe ve lokal basınçlara maruz kalan borlanmış parçalarda Si içeriği % 0,7'nin altında olması istenir (Bozkurt, 1984).

Alaşım elementlerinin orijinal malzemede yaptığı etki, borlanan yüzeyde borun etkisiyle birleşerek daha büyük ölçülere varabilmektedir. Yani borlu yüzeylerdeki sertlik, borürlerin cinsi, miktarı ve uyumuna bağlıdır. Her ne kadar Mn ve Cr borürlerle birlikte demir borürlerin rolü var ise de, yüzeyi borla kaplı karbon çelikler ve özel alaşımlı çelikler arasındaki yüzey sertlik farkı izahını sadece alaşım elementlerine bağlamamak gerekir (Karaman, 2003).

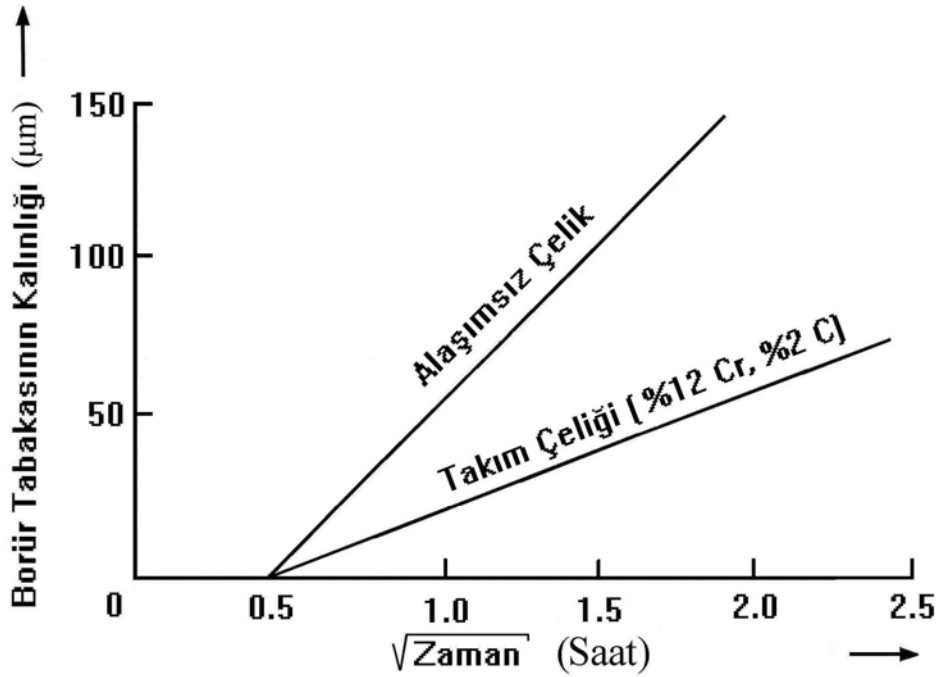
### **1.2.5. Borlu Tabakanın Kalınlığı**

Bor tabakasının kalınlığı işlem süresi ve sıcaklığının değişmesiyle değişmektedir. Yalnız işlem sıcaklığının Fe-B denge diyagramındaki ötektik sıcaklığın ( $1149\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) altında olması gerekir. Bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklar lokal erimeler oluşturarak malzeme yüzeyinin bozulmasına neden olmaktadır. Kalınlığın artmasını sınırlayan

diğer bir faktörde kırılmalıdır. Borlanmış tabakanın kırılmalıdır kalınlık arttıkça artar. Dolayısıyla çelik esaslı malzemeler için 20–200  $\mu\text{m}$ 'lik kalınlık, kullanma şartlarına, su verilip verilmeme ve borlanan malzeme cinsine göre ayarlanır. Kırılmalıdır yönünden alaşımlı çeliklerde maksimum 100  $\mu\text{m}$ , alaşımsız çeliklerde 150–200  $\mu\text{m}$ , darbesiz çalışacak parçalarda su vermeme koşuluyla 400  $\mu\text{m}$ 'lik kalınlığa kadar çıkılabilmektedir (Taşcı, 1993).

Teorik olarak adhesif aşınmayı önlemek için 5  $\mu\text{m}$ 'lik kalınlık yeterlidir. Ancak alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerde olduğu gibi tabaka geometrisinin parmaksı olduğu durumlarda, bu kalınlıkta bir tabaka elde etmek mümkün değildir. Tabaka kalınlığı arttıkça tabakanın gevrekliği de artacağı için özellikle çift fazlı tabakalarda tabakanın çok kalın olmamasına dikkat edilmelidir (Özsoy, 1991).

Şekil 1.17'de eşit şartlarda borlama işlemiyle, alaşımlı (takım çeliği) ve alaşımsız çeliklerde elde edilen borür tabaka kalınlıklarını gösteren grafik gösterilmektedir (Bozkurt,1984).



Şekil 1.17. Alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde eşit şartlarda borlama ile elde edilen borür tabaka kalınlıkları (Bozkurt, 1984)

Çeliğin yüzeyinde oluşan borür tabakasının kalınlığı, borlama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır. Aynı şekilde sıcaklığın ve sürenin artmasıyla birlikte yüzeyde oluşan FeB borürünün derinliği de artmaktadır. Borür tabakası kalınlığı üzerine AISI 5140 çeliği ile yapılan bir deneyde; 850 °C’de 2 saat borlama sonucu yaklaşık 45 µm, 8 saat borlama sonucu yaklaşık 91 µm, 950 °C’de 2 saat borlama sonucu yaklaşık 134 µm, 8 saat borlama sonucu yaklaşık 238 µm borür tabaka kalınlığı elde edilmiştir (Karaman, 2003).

## **1.2.6. Borlu Tabakanın Karakteristik Özellikleri**

### **1.2.6.1. Sertlik**

Borlamadaki en büyük kazanç sertliktir. Borlanmış çeliklerde, yüksek sertliklerinden dolayı nitrürlenmiş ya da karbürleşen çeliklerden daha iyi sonuçlar vermektedir. Borlu tabakanın sertlik yönünden bir özelliği de müteakip ısı işlemleriyle bu sertliğini muhafaza etmesidir. Borlu tabakanın ısıya dayanıklılığı fevkalade iyidir ve diğer sertleştirme metotları ile elde edilen kenar tabakalarından daha yüksektir (Karakan vd, 2002).

Sertlik, ana malzeme cinsine ve yüzeyde oluşacak borür fazlarına bağlıdır. FeB fazı Fe<sub>2</sub>B fazından daha sert ve gevreklerdir. Fe<sub>2</sub>B tek fazlı tabakanın 1800–2000 HV arasında sertliğe sahiptir. Fe<sub>2</sub>B ve FeB den oluşan iki fazlı tabakanın sertliği 1900–2400 HV arasındadır. Borlanmış yüzeylerde sertlik, yüzeyden içeriye doğru azalmaktadır (Bayça ve Şahin 2004).

Borlama ile elde edilen sertlik; karbon çeliklerinde 1800–2000 HV, alaşımlı çeliklerde 2500–2800 HV, titanyumda ise 3000 HV civarındadır (Bozkurt, 1984).

Bor kaplanmış çeliklerin borür tabakalarının sertliğinin diğer sertleştirme yöntemlerine göre daha yüksek olduğu çizelge 1.6’da açıkça görülmektedir. Borlama ile sertleştirilmiş takım çeliklerinde, elektrolitik sert krom kaplama ve WC sertlik değerlerine ulaşmak mümkündür (Çeğil ve Şen, 2002).

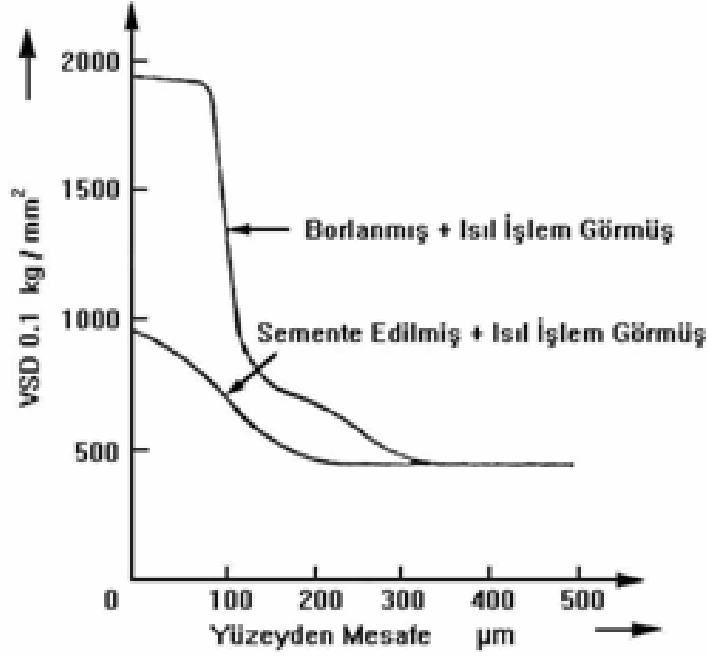
Çizelge1.6. Çeşitli işlemlere tabi tutulmuş malzemelerin mikrosertlik değerleri (Çeğil ve Şen, 2002)

<b>Malzeme</b>	<b>Mikrosertlik, HV</b>
Borlanmış yumuşak çelik	1600
Borlanmış AISI H13 kalıp çeliği	1800
Borlanmış AISI A2 çeliği	1900
Su verilmiş çelik	900
Su verilmiş ve temperlenmiş H13 çeliği	540–600
Su verilmiş ve temperlenmiş A2 kalıp çeliği	630–700
Yüksek hız takım çeliği BM42	900–910
Nitrürlenmiş çelik	650–1700
Karbürlenmiş düşük alaşımlı çelik	650–950
Sert krom kaplama	1000–1200
Sementit karbürler WC + CO	1160–1820 (30 kg)
$Al_2O_3 + ZrO_2$ seramikler	1483 (30 kg)
$Al_2O_3 + TiC + ZrO_2$	1730 (30 kg)
Sialon seramikler	1768 (30 kg)
TiN	2000
TiC	3500
SiC	4000
$B_4C$	5000
Elmas	$\cong 10000$

Borlanmış alaşımlı bir çelikte yüksek sertlikli yüzey tabakasından düşük içyapı sertliğine geçiş ani olmayıp yavaş yavaş azalarak gerçekleşmektedir. Bu, borlanmış alaşımlı çeliklerde meydana gelen geçiş bölgesinin sertlik dağılımına sağladığı bir



avantajdır (Nair ve Karamış, 1997). Şekil 1,18'de borlu tabaka ve sementasyonlu tabakadaki sertlik dağılımları kıyaslanmıştır (Çetin, 2003).



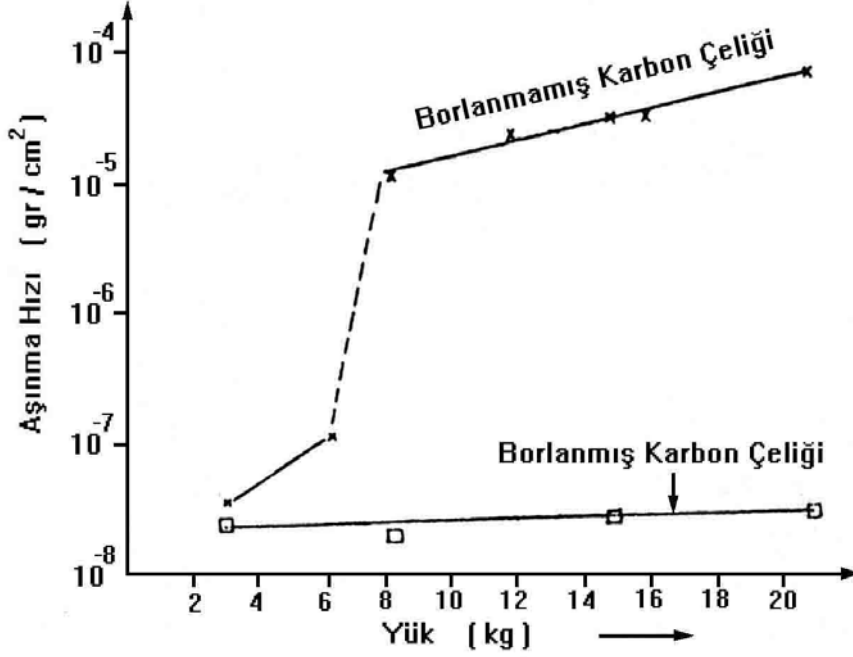
Şekil 1.18. Borlu tabaka ile sementasyonlu tabakanın sertlik dağılımları kıyaslaması (Çetin, 2003)

### 1.2.6.2. Aşınmaya Karşı Dayanıklılık

Sürtünmeye maruz kalan yüzeylerin aşınma dayanımları çok önemlidir. Aşınma bir tribolojik sistem özelliği olduğu için doğrudan sertlikle ilişkilendirilemez. Ancak borlamayla elde edilen yüksek yüzey sertlikleri ve düşük sürtünme katsayısı abrasiv aşınmaya, borlanmış tabakanın arabileşik yapısı da adhesiv aşınmaya karşı direnci artırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı borlama, diğer yüzey sertleştirmelerine nazaran aşınma dayanımı açısından çok büyük üstünlükler sağlamaktadır (Atik, 2001).

Borlanmış çeliklerin aşınma dirençleri sementasyon, nitrürasyon, sert krom kaplama ve su vererek sertleştirme ile elde edilen yüzeylere göre oldukça yüksektir. Kaymalı sürtünmede açığa çıkan ısı sementasyon ile sertleştirilmiş tabakanın yumuşamasına sebep olurken borlu tabakaya etki etmez. Borlu tabakanın 900–1000 °C sıcaklıklara kadar sertliğini koruması, aşınma direncini de yüksek sıcaklıklarda muhafaza etmesini sağlamaktadır (Yünker, 2000).

Standart “Pim-disk” aşınma makinasında yapılan aşınma testinde pim olarak borlu AISI 1116, disk olarak AISI E4340 çeliğiyle borlu veya borsuz durumların aşınma kıyaslanması Şekil 1.19’da verilmiştir (Bozkurt, 1984).



Şekil 1.19. Yüze borlu ve borsuz AISI 1116 çeliğinin yüke karşı aşınma davranışı (Bozkurt, 1984)

Şekil 1.19’da borsuz malzemede, 7 kg’lık yüke kadar oksidasyon, 7 kg’dan sonra ise adhezyon aşınması hâkim olduğundan eğride bir kırıklık görülmektedir. Borlu malzemede ise, aşınma son derece az olmakta ve eğride bir kırıklık görülmemektedir (Bozkurt, 1984).

Sürtünme sırasında açığa çıkan ısı yüzeyin yumuşamasına ve termal kararlılığa etki eder. Borlanmış yüzeylerde ise demir-borür fazının ötektik noktası yaklaşık olarak 1149 °C olduğundan sertliklerini 1000 °C’ye kadar koruyabilmektedirler. Borlanmış yüzeyde 1000 °C’de 1560 HV sertlik değeri elde edilmiştir. Bu nedenle borlanmış yüzeylerde, yüksek borlama sıcaklığına sebep olan yüksek kayma hızlarında dahi adhezyonun artmadığı gözlenmiştir. Borlanmış yüzeylerin aşınma yönünden iyi olması, borlanmış yüzeylerde daha az yağ kullanılmasını sağlar. Daha az ya da hiç yağ kullanılmaması ekonomik açıdan ve çevrenin korunması açısından önemlidir (Nair ve Karamış,1997).

Darbesiz yüklemenin söz konusu olduğu derin çekme kalıpları, dişli çarklar, tekstil makinelerinde kullanılan yönlendirme tamburları, abrasiv aşınmaya maruz kalan çuval doldurma nozulları, plastik enjeksiyon makinelerinin helezonları gibi makine parçalarında borlanmış yüzeylerin diğer işlemlerle elde edilenlerden çok yüksek aşınma direncine sahip oldukları belirlenmiştir. Ancak bu yöntemde, doğru tribolojik sistem seçimleri yapılmadığı takdirde veya uygun borlama işlemi ve ek ısıl işlemler yapılmadığı takdirde sementasyon ve nitrürasyon işlemlerinden daha kötü sonuçlar verebilir (Yılmaz, 1997).

### **1.2.6.3. Korozyona Karşı Dayanıklılık**

Çevrenin kimyasal ve elektrokimyasal etkilerinden dolayı metalik malzemelerde meydana gelen hasara korozyon denir. Malzemelerin rutubetin veya başka kimyasal bileşenlerin bulunduğu bir ortamla reaksiyona girmeleri korozyon olayını, kuru hava ile reaksiyona girmeleri oksidasyon olayını meydana getirir. Korozyona karşı alınabilecek önlemlerden biri de malzemeleri koruyucu kaplamalarla kaplamaktır (Uzun, 2002).

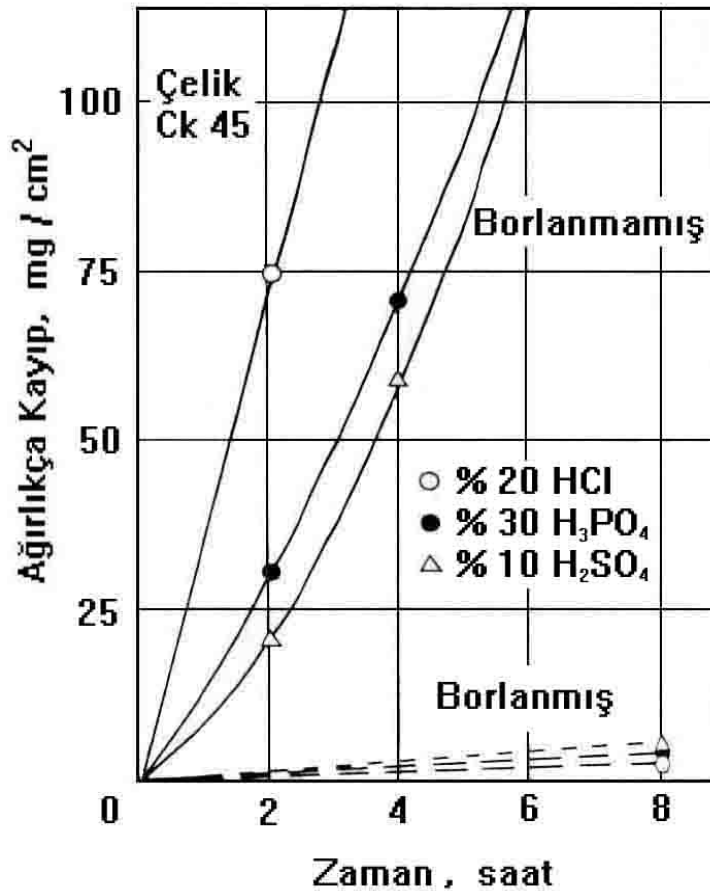
Borlama, düşük alaşımlı çeliklerin, asitlere ve sıvı çinkonun korozyonuna karşı direnci artırır. Borlamaya, özellikle ostenitik çeliklerin, hidroklorik asitlere karşı korozyon direncinde büyük bir artış sağlanır. Tuz ve sodanın sudaki çözeltilerinde takım çeliklerinin korozyon direnci borlama sonrasında artar, alkali çözeltilerinde ise azalır (Özsoy, 2001).

Demir grubu malzemelerin borlanması, atmosferik korozyona karşı az, fakat bazı asit ve sıvı metallere karşı büyük dayanıklılık kazandırır. Özellikle HCl asit Al, Pb ve Zn metallerinin sıvı banyolarında borlu malzemelerin korozyon direnci çok yüksektir. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin korozyon direnci borlama ile iyileşmektedir. Borür tabakası altında yer alan ana malzemeye oranla borür tabakası çevre ortamının oluşturduğu korozif şartlara oldukça fazla dayanıklıdır. Borlanmış parça % 18'lik HCl (tuz asidi) içersine daldırılırsa borlu tabakada herhangi bir hasar oluşmazken ana malzeme asidin etkisiyle çözünür ve demir borür dişleri (çıkıntıları) serbest hale

gelir. Ayrıca korozyon özellikleri  $H_2SO_4$  (sülfürik asit) gibi oksitlenmeyen asitlere karşı da iyidir. Buna karşılık  $HNO_3$  (Nitrik asit) gibi oksitlendirici asitlerde tekrar kötüleşir.  $H_3PO_4$  (fosforik asit) ortamında da borlu tabakanın korozyon direnci iyidir (Selçuk, 1994).

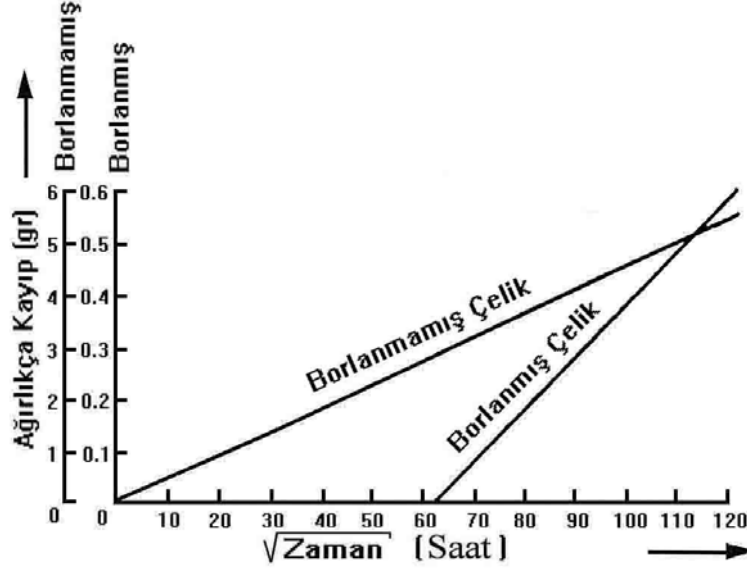
Yüksek Cr'lu çeliklerde borlama ile koruyucu krom oksit yerine daha az koruyucu olan Cr-borür meydana gelmektedir. Bu bakımdan yüksek alaşımli malzemelerin borlanmasıyla daha iyi korozyon özelliği her zaman elde edilmeyebilir (Yılmaz, 1997; Delikanlı vd, 2003).

Borlanmış ve borlanmamış AISI 1045 çeliğinin  $56\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki % 20 HCl, % 30  $H_3PO_4$  ve % 10  $H_2SO_4$  asitlerinde zamana bağlı korozyon durumu şekil 1.20'de görülmektedir (Bindal, 1991).



Şekil 1.20. 1045 çeliğinin  $56\text{ }^\circ\text{C}$ 'taki değişik asit ortamlarındaki korozyonu (Bindal, 1991)

Borlu malzemeler bazı sıvı metal korozyonuna karşı da başarıyla kullanılmaktadır. Şekil 1.21’de, sade karbonlu bir çeliğin borlanmış ve borlanmamış haliyle sıvı Zn banyosundaki korozyon kıyaslanması görülmektedir (Bozkurt, 1984).



Şekil 1.21. Borlanmış ve borlanmamış sade karbonlu çeliğin sıvı çinko banyosundaki korozyonu (Bozkurt, 1984).

### 1.2.7. Borlu Tabakanın Sürtünme Özellikleri

Sürtünme, bir katı cismin kendisiyle temas eden başka bir katı cismin bağlı hareketine veya hareket haline karşı gösterdiği dirençtir. Birbiri ile temasta olan yüzeyler arasındaki sürtünme hareketi kayma, yuvarlanma veya bu iki hareketin bileşimi şeklindedir (Selçuk,1994).

Sürtünme, pek çok alanda olduğu gibi özellikle otomobil sanayinde pek de istenmeyen bir durumdur. Otomobillerin çalışması sırasında enerji kayıplarına, dolayısıyla da daha düşük verimle çalışmalarına yol açmaktadır. Bir başka sorunsu parçaların sürtünmeden dolayı aşınmaya uğrayarak hızla yıpranmaları ve bunun doğuracağı bakım masraflarıdır (Yılmaz, 2002).

Borun oksijene karşı ilgisi yüksek olduğundan yüzeyde koruyucu ince bir oksit filmi oluşturmaktadır. Bu oksit filmi yüzeyde yağlayıcı vazifesi görerek, sürtünmeli

aşınma esnasında sürtünme katsayısını düşürürken yüzeylerin birbirine kaynamasını da önlemektedir. Kaymalı sürtünmelerde açığa çıkan ısı sement edilmiş tabakanın yumuşamasına neden olurken borlu tabakaya etki etmemektedir (Yılmaz, 1997; Bayça ve Şahin, 2004).

Borlamanın, aşınma esnasındaki sürtünme katsayılarına etkisi üzerine yapılan bir çalışmada; borlanmamış gri dökme demir numuneler ile % 66 Boraks, % 20 Ferro-Silis ve % 14 Kalsine borik asit kullanılarak, 800–1000 °C sıcaklıklarda 2–11 saat süre ile borlanmış gri dökme demir numuneler kullanılmıştır. Çizelge 1.7’de farklı sürelerde borlanmış numuneler ile borlanmamış numunelerin sürtünme katsayıları verilmiştir (Selam, 1996).

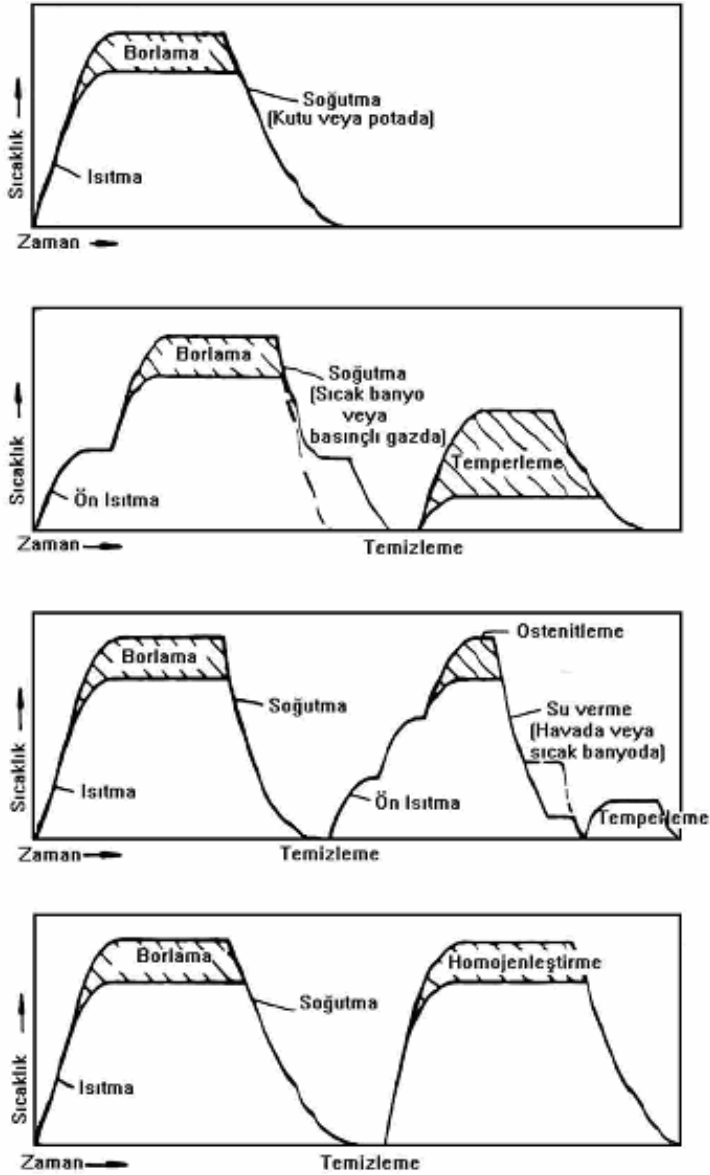
Çizelge 1.7. 800–1000 °C sıcaklıklarda, 2–6 saatte borlanan ve borsuz numunelerin aşınma esnasındaki sürtünme katsayıları (Selam, 1996).

Normal Yük (N)	Kayma Hızı (m/sn)	Kayma Süresi (sn)	Kayma Yolu (m)	SÜRTÜNME KATSAYISI				
				Borlama Sıcaklığı: 900 °C				Borsuz
				2 saat	3 saat	4 saat	5 saat	
50	1	10	10	0.45	0.46	0.40	0.36	0.70
		30	30	0.55	0.60	0.55	0.44	0.76
		80	80	0.70	0.80	0.86	0.70	1.00
		180	180	0.85	0.85	0.73	0.72	1.30
		350	350	0.90	0.87	0.80	0.81	1.25
		650	650	1.10	1.00	1.30	0.95	1.25
		1000	1000	1.10	1.20	1.20	1.05	1.25

### 1.2.8. Borlama İşlemi Sonrası Uygulanabilen Isıl İşlemler

Borlamada yüzeye kazandırılan iyi özelliklerin yanında, malzemelerin iç bölgelerine de gerekli özellikleri kazandıracak ısıl işlemleri borlama sırasında veya sonrasında yapabilme olanağı vardır. Matriks malzemesinin mekanik özelliklerini iyileştirmek için yapılacak ısıl işlemlerin koruyucu gaz, vakum veya nötr tuz banyolarında

yapılması önerilmektedir. Bu ısıl işlemler, eğer katı borlama yapılmışsa borlama kutusuyla birlikte, borlama işleminin ardından hızlı soğutma olarak yapılabilir. Ayrıca ılık banyo ve basınçlı gazda hızlı soğutma, ardından temperleme, ostenitleme veya matris malzemesini homojenleştirme gibi işlemleri yapılabilir (Atik, 2001). Şekil 1.22’de borlamadan sonra yapılabilen ısıl işlem örnekleri görülmektedir.



Şekil 1.22. Borlamadan sonra yapılabilen ısıl işlem örnekleri (Atik, 2001)

Parçaların merkez sertliklerini artırmak için borlanmış iş parçaları sertleştirilip temperlenirler. Uygun işlem yapıldığında 120–150  $\mu\text{m}$ 'ye kadar kalınlıktaki borür tabakalarının temperlenmesi, tabakada çatlaklara yol açmaz. Ostenitleme sıcaklığı

1149 °C'nin üzerinde olmamalıdır. Su vermede sıcak yağ yeterlidir. Bununla birlikte malzemenin sertleşebilme kabiliyetine göre, havada su verme veya sıcak tuz banyolarında su verme, yüzey gerilmelerini minimize eder (Özsoy, 1991).

Borlu tabakalar, borlama işleminden sonra yapılan ısıl işlemlerden, sertliğini muhafaza eder. Sementasyon ve borlama işlemine tabi tutulmuş 1010 çeliğinin, sonradan farklı sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulduktan sonraki sertlik mukayesesi Çizelge 1.8'de verilmiştir (Tezcan, 1996).

Çizelge 1.8. Sementasyon ve borlama ile elde edilen sertliklere ısıl işlem sıcaklığının etkisi (Tezcan, 1996)

Isıl İşlem Sıcaklığı °C	1010 Çeliği	
	Sementasyonlu Tabaka Sertliği, HV	Borlu tabaka Sertliği, HV
200	680	1680
400	380	1500
600	330	1600
800	220	1575
1000	200	1565
% Değişim (Sertlik)	%70	%6



## 2. KAYNAK BİLGİSİ

Bayça ve Şahin (2004), Borlama konusunda bir araştırma yapmıştır. Borlama işlemi, borlama yöntemleri ve borür tabaka özellikleri konusunda geniş bilgiler vermişlerdir. Özellikle darbesiz aşınmanın olduğu nozullar, otomotiv endüstrisi ve ekstruder vidası gibi makine parçalarının yüzeylerinin sertleştirilmesinde aşınma kayıplarını önemli ölçüde azalttığını vurgulamışlardır.

Çalık (2004), Bu çalışmada makine ve metalürji sanayinde bor ve bileşiklerinin kullanımını incelemiştir. Bor ve bileşiklerinin özellikleri, avantajları ve dezavantajları detaylı olarak araştırarak malzemenin özelliklerini fiziksel, kimyasal, mekanik ve metalürjik yönden olumlu yönden artırdığını tespit etmiştir. Bor ve bileşiklerinin makine ve metalürji sanayinde yaygın olarak kullanılması için örnekleri ile öneriler sunmuş; dünya bor ve bileşikleri rezervlerinin yaklaşık %72'sinin Türkiye'de bulunduğunu belirterek kaynağın katma değere dönüşümü için kamu ve özel sektöre tavsiyelerde bulunmuştur.

Çalık ve Arkadaşları (2004), çalışmalarında Ç1035 çeliğinin borlama özelliklerini incelemiştir. Bor verici kaynak olarak yurt dışından ithal edilen Ekabor, Tigranit gibi ticari bor tozları yerine ülkemizde bulunan ve maliyeti çok düşük olan % 80 suzuz boraks ve % 20 silisyum tozunun karışımından oluşan bor kaynağının kullanılabilirliğini yapılan deneyler sonucunda tespit etmişlerdir.

Çetin (2003), Hadfield çeliğine borlama işlemi yaparak hadfield çeliklerinin aşınma davranışlarını incelemiştir. 1000 °C'de 2 saat borlanmış numuneler ile Havada soğutulan numunelerin suda soğutulanlara göre daha az aşındığını gözlemiştir. 1050 °C'de borlanarak havada soğutulan numunelerde borlama süresinin aşınma miktarı üzerine etkisinin olmadığı; 2 saat borlama ile 6 saat borlamada aşınma miktarının yaklaşık olarak aynı olduğunu tespit etmiştir.

Delikanlı ve Arkadaşları (2003), sade karbonlu bir çeliğin yüzeyine bor emdirmiş ve malzeme yüzeyinin kimyasal bileşimini değiştirerek borlama ısıl işlemi yapmışlardır.

Borlanan numunelerin SEM ve EDS analizlerini yapmışlar ve borür tabakasının morfolojisini, tabaka kalınlığını ve sertliklerini tablo ve şekillerle açıklamışlardır. Mekanik testler sonucunda sertlik değerinin matris sertlik değerinden oldukça yüksek olduğunu tespit etmişler ve akademik çalışmaların endüstriyel alanlara yönlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Karaman (2003), Endüstriyel alanlarda borlama üzerine yapılan çalışmaları araştırmış ve borlama üzerine çalışan şirketlerden bilgiler almıştır. Ayrıca iplik fabrikalarında sık aşınan iplik kılavuzlarını borlamış ve ömürlerinin 7 kattan daha fazla arttığı sonucuna varmıştır.

Orhan ve Aktürk (2003), Bu çalışmada aktarma organları dişlilerinde oluşan hataların neden olduğu titreşimlerin analizi ile uygulanan erken uyarıcı bakım konusunda bilgi vermişler ve bir kompresör dişli kutusunda yapılan uygulama çalışmasının sonuçları sunmuşlardır. Titreşimlerin dişli kutusu hatalarını belirlemede etkili bir araç olduğunu belirlemişlerdir.

Çalık ve Özsoy (2002), termal çevrimli borlama işleminin Ç1010 çeliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Mikroyapı ve mikrosertlik çalışmalarıyla, aynı şartlar altında yapılan borlama işleminde elde edilen borür tabaka kalınlıklarının termal çevrimli borlamada daha yüksek çıktığını; termal çevrimli borlamada geçiş bölgesine rastlanılmadığını; termal çevrimli borlamada belirgin olarak tanelerin küçüldüğü ve homojen dağıldığını tespit etmişlerdir.

Çalık ve arkadaşları (2002), alaşımsız ve düşük karbonlu Ç1040 çeliğinin yüzeyine bor emdirmiş ve malzeme yüzeyinin kimyasal bileşimini değiştirerek borlama ısı işlemi yapmışlardır. Mekanik testler sonucunda sertlik değerinin, matris sertlik değerinden oldukça fazla olduğunu ve mikro sertlik değerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Çeğil ve Şen (2002), AISI 8620 çeliğinin yüzeyinde vanadyum borür tabakası oluşturarak özelliklerini incelemişlerdir. Borlama ve bor vanadyumlama işlemi sonrasında oluşan borür ve vanadyum borür tabakalarının yüzey morfolojileri ve faz

analizlerini, optik mikroskop ve x-ışınları difraksiyon analizi yardımıyla yapmışlardır. Çelik yüzeyinde bor-vanadyumlama işlemi ile üstün özelliklere sahip vanadyum borür tabakaları elde etmişlerdir.

Çelik ve Arkadaşları (2002), Plazma ile termokimyasal yüzey işlemleri hakkında bilgi vermişlerdir. Plazma ile nitrürleme, karbürleme ve borlama işlemlerinin nasıl yapıldığını ve üstün yönlerini açıklamışlardır. Bu işlemlerin malzemenin yüzey ve yüzeye yakın bölgelerinin aşınma, korozyon direnci ve yorulma mukavemetini artırdığını belirtmişlerdir.

Karakan ve Arkadaşları (2002), plazma borlama ve borlama yöntemleri hakkında değerlendirmeler yapmıştır. Diğer borlama yöntemlerine göre daha avantajlı olan plazma borlamayla ilgili ülkemizde hiçbir çalışma yapılmadığından yakınmaktadırlar.

Selçuk ve Arkadaşları (2002), demir esaslı makine elemanlarının aşınma ve korozyon direncinin artırmasında borun etkisini deneysel olarak ortaya koymuşlardır. Bor ile sertleştirilen yüzeylerin, borlanmamış yüzeylere göre aşınma ve korozyon direnci yönünden oldukça yüksek olduğunu ve sürtünmeli çalışan makine elemanlarının ömürlerinin çok uzun olacağını savunmuşlardır.

Şahin (2002), Dişli çarklarda karşılaşılan ve en önemli problemlerden olan aşınma ve sıcaklık artışı olaylarını incelemiştir. Bu çalışmada dişli çarklarda aşınma miktarları ölçülmüştür. Deneyleri farklı kayma hızları, farklı yükler ve farklı yağlama yağları ile yapmış ve elde edilen sonuçları grafiklerle sunmuştur.

Taylan ve Özsoy (2002), erimiş boraks banyosunda karbürleme işlemi yapmışlardır. Sıvı ortamda yapılan karbürleme işleminin alaşimsız eliklerden ziyade alaşımli çeliklerde daha iyi sonuçlar verdiği; Boraks banyosuna katılan Fe-V toz boyutu küçüldükçe karbürli tabaka kalınlığında artış meydana geldiği sonuçlarına varmışlardır.

Uzun (2002), borlama ile yüzeyleri sertleştirilen çeliklerin aşınma ve korozyona karşı dayanımlarını incelemiştir. Ç1040 çeliğine farklı sıcaklık ve sürelerde termokimyasal işleme bor kaplama işlemi uygulamıştır. 950 °C'de ve 1000 °C'de 3 saat ve 5 saat süreyle ayrı ayrı yapılan borlama işlemlerinde borür tabakalarının dişli bir yapıya sahip olduğu; Borlanmış numunelerin borlanmamış numunelere nazaran 8 kat daha fazla korozyon dayanımı gösterdiği ve 6 kat daha fazla aşınma dayanımı gösterdiği sonuçlarını elde etmiştir.

Varol ve Arkadaşları (2002), T/M çelik parçalarını borlayarak mikroyapı ve mikrosertliklerini incelemiştir. T/M çelik malzemelerin borlanması sonucunda tam yoğun malzemelerde olduğu gibi üç bölgenin de oluştuğunu; borür tabakasının diş formunu ve borür tabakasının sertliğinin arttığını gözlemlemiştir.

Yılmaz (2002), Türkiye'nin bor madeni potansiyeli ve bor madeninin kullanım alanları üzerine bir araştırma yapmıştır. İleri teknolojilerin geliştirilmesinde borun oynadığı önemli rolün, bu element ve bileşikleriyle ilgili araştırmalar yapılmasının ne derece önemli olduğunu, önemli olanın teknolojiyi izleyen konumundan sıyrılıp, teknolojiyi üreten, yani yenilikler yaratan konumuna geçilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Atik (2001), ısıtma yöntemlerinden borlama işleminin, yüzey modifikasyonlarının yapıldığı ileri teknoloji gerektiren uygulamalarda yaygınlaştığını; birçok uygulamada iyi sonuçlar verdiği konusunda üniversitelerimizde tamamlanmış ve devam eden çok sayıda akademik çalışma olmasına rağmen sanayimizde pek uygulanmamış olmasından bahsetmektedir.

Özsoy (2001), Borlama ile ilgili genel bir değerlendirme yapmıştır. Demir ve demir dışı birçok metal ve alaşım ile sinterkarbür ve seramik malzemelere uygulanabilen borlamada, malzemenin yüzey sertliği, korozyon ve aşınma direncinin artarken, çok düşük sürtünme katsayılarının elde edildiğini ifade etmektedir. Bor kaynakları açısından zengin olan ülkemizde, borlamanın endüstriyel alanlarda kullanılabilirliğinin artırılması gerektiğini belirtmektedir.

Tarhan (2001), Bu çalışmada makine sanayisinde çok fazla kullanılan 42 CrMo<sub>4</sub> İslah çeliğinin abrasiv aşınma davranış incelenmiştir. Aşınmaya çalışan uygulamalarda 42 CrMo<sub>4</sub> ıslah çeliğinin aşınma dayanımına ısıtılma işlem parametrelerinin etkisini incelemiştir. Aşınma deneyleri sonunda, 850 °C'de su verilen, 250 °C'de temperlenen numunenin en az aşınma gösterdiğini tespit etmiştir. En büyük aşınma kaybını ise ısıtılma işlem uygulanmayan numunelerde gözlemlemiştir.

Yünker (2000), Borlanmış çeliklerin aşınma davranışlarının belirlenmesi konusunda bir araştırma yapmıştır. Makine imalatında kullanılan çeliklerde, yüzey sertleştirme işleminin çalışma ortamına ve tribolojik çalışma ortamına uygun seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Sertlikle aşınma arasında doğrusal bir orantı olmadığı ve sertliğin aşınmayı olumsuz yönde etkilediği sonucuna varmıştır.

Şen (1998), Bu çalışmada AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerini borlayarak, borür tabakasının mikroyapısı, faz dağılımı, büyüme termodinamiği ve kinetiği gibi karakteristik özelliklerinin yanında sertlik, kırılma tokluğu, darbe, yorulma ve aşınma özelliklerini araştırmıştır. 850 °C'de 2 saat borlanan ve düşük alaşım elementi ihtiva eden AISI 5140 çeliğinin mekanik ve metalografik özelliklerinin daha iyi sonuçlar verdiğini görmüştür.

Nair ve Karamış (1997), katı borlama tekniklerinden biri olan, macun borlama ile farklı alaşım ve karbon oranlarına sahip çelikleri borlayarak yüzey sertlik özelliklerini incelemişlerdir. Farklı alaşım ve karbon oranına sahip numunelerin borlama sonucu farklı mikrosertlik değerleri vermesi yanında, sertlik dağılımlarının da farklı olduğunu belirlemişlerdir.

Şen (1997), Küresel grafitli dökme demir malzemelerin termo-kimyasal olarak borlanabileceği üzerine çalışmalar yapmış ve başarıyla uygulanabileceğini belirtmiştir. Ancak küresel grafitli dökme demir malzemelerin kimyasal kompozisyonu, kaplama kalitesi üzerinde oldukça etkili olduğunu, örneğin silisyum içeren çeliklerin borlanmasının sakıncalı olduğunu belirtmektedir.

Yılmaz (1997), Ç 1020 çelik numunelerini katı ortamda 800 °C, 850 °C, 900 °C, 950 °C, 1000 °C, 1050 °C sıcaklıklarda 1–5 saat arasında değişik sıcaklık ve sürelerde borlama işlemine tabi tutmuştur. 800 °C, 850 °C, 900 °C sıcaklıklarda borlamanın gerçekleşmediğini; 950 °C de 2, 3 ve 4 saatlerde borlamanın istenilen şekilde olduğunu, 1000 °C ve 1050 °C de bor tabakasının bozulduğunu tespit etmiştir.

Selam (1996), borlanmış gri dökme demirin aşınma davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Borlanan gri dökme demir numunelerinin yüzeylerindeki borlu tabakaların çok sert ve kırılgan olduğunu; temizliğinin dikkatli bir şekilde yapılması gerektiğini; borlama neticesinde sıcaklık ve zamanın artmasıyla orantılı olarak numunelerin mikro sertliklerinin 2700 HV'ye çıktığını; kayma yolunun artmasıyla, sürtünme katsayısının numunelerdeki bor tabaka kalınlığına ters orantılı olarak arttığını belirtmiştir.

Tezcan (1996), Borlama işlemi ve endüstriyel uygulamaları konusunda, bir yüksek lisans tezi hazırlamıştır. Çalışmada, literatürde borlama işlemi üzerine yapılmış çalışmalardan bir derleme yapılmıştır. Değişik borlama metotları ele alınmış, endüstride çeşitli makina parçalarında uygulama örneklerine yer verilmiştir.

Gülmez (1995), motorlu taşıt vites kutularını incelemiştir. Vites kutusu ve çeşitlerini, kademeli vites kutularını, otomatik vites kutularını, vites kutularında kademelendirme tasarımını ve senkromeç sistemlerin çalışma prensiplerini anlatmıştır.

Selçuk (1994), sementasyon ile sertleştirilerek, kam mili üretiminde kullanılmakta olan AISI 5115 çeliğinin yerine, yüzeyi borlanarak sertleştirilen AISI 1020 çeliğinin kullanılabilirliğini deneysel olarak incelemiştir. Yapılan deneylerin sonuçlarını birbirleri ile mukayese etmiş, buna göre borlama ile sertleştirmenin semente etmeye göre daha etkili olduğunu ve borlanarak yüzeyi sertleştirilen AISI 1020 çeliğinin düşük yüklerde semente edilmiş AISI 5115 çeliğinin yerine kam mili üretiminde ve diğer kullanım alanlarında kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Taşçı (1993), Borlanmış çeliklerin aşınma ve korozyon dayanımları ile ilgili bir araştırma yapmıştır. Borlanan demir grubu malzemelerin kopma ve akma mukavemetlerini % 10–20, yorulma dayanımını % 25 ve korozyonlu yorulma ömrünü % 200 artırmasına karşılık plastisite özelliklerini azalttığı yönünde sonuca varmıştır.

Akçadağ (1992), dişli çarklarda yorulma olayını incelemiştir. Eğilme yorulma dayanımını artıran yöntemler ve eğilme yorulma kırılmasının mekanizmasını açıklamıştır. Ayrıca dişli çarkların geometrik faktörlerinin değişiminin düz dişli çarkların, helisel dişli çarkların ve iç düz dişli çarkların eğilme yorulma dayanımına etkilerini ele almıştır.

Bindal (1991), 940 °C’de değişik sürelerde borlanan AISI 1020, AISI 1040 ve AISI 1050 ticari karbon çeliklerindeki borlamayı incelemiştir. Borlama süresiyle borür tabakası kalınlığının arttığını, ancak sertlik ve kırılma tokluğu gibi parametrelerin borlama süresinden ziyade oluşan borür bileşiğinin cinsi ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Mn ve Cr difüze olduğu halde borür yapmıyorsa bu, alaşım elementlerinin FeB ve Fe<sub>2</sub>B latisinde kısmen de olsa demirin yerini almasıyla ilgili olduğu, alaşım elementlerinin borür yapmaması halinde de kolona yerleşebildiği, Mn miktarındaki artışın kırılma tokluğunu arttırdığı, Cr ilavesi Mn’a nazaran azaltma yönünde fakat daha az etkili olduğu sonucuna varmıştır.

Özsoy (1991), çeliğin borlanmasında borür tabakası, geçiş zonu ve ana matriksin özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmıştır. Termal çevrimli borlama şartlarında elde edilen tabaka kalınlıkları, sabit sıcaklıkta borlamayla elde edilene göre daha ince veya eşit olduğu, sabit sıcaklıkta ve termal çevrimli şartlarda borlanan numunelerin mikro sertlikleri arasında belirgin bir fark olmadığı sonucuna varmıştır.

Bozkurt (1984), bor yayınıyla çeliklerde yüzey sertleştirme konusunda çalışmıştır. Deneysel çalışmalarda, borlama metodu olarak “sıvı ortam borlaması” ve borlama ana bileşeni olarak da boraksı seçmiştir. Çalışmayı, ülkemiz kaynaklarıyla borlama

banyosu tespiti ve elde edilen borlu tabakanın özellikleri çerçevesinde yapmıştır. Çalışmada borlu tabakanın özellikleri ve kinetiği araştırılmıştır.

Matuschka (1980), borlama üzerine bir kitap yazmıştır. Kitapta, borlama işleminin uygulama yöntemleri geniş bir şekilde ele alınmıştır. Borlama işleminin ilk yapılmaya başladığı 1895'li yıllardan 1980'li yıllara kadar çok geniş bir literatür taraması yapılmış, Elektroschmelzwerk firmasınınca yapılmış bazı borlama uygulamalarına yer verilmiştir.



### 3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada Anka firmasından temin edilen Ç 8620 Murat 124-131 geri vites dişlisi borlama işlemine tabi tutularak; borlama işlemine maruz kalmayan dişlilerle mukavemet özellikleri bakımından deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Deneysel malzemesi olarak bizzat dişlinin kendisi kullanılmıştır. Borlama işlemi neticesinde borlanan malzeme ile diğer malzemenin korozyon ve aşınma deneyleri yapılarak iki malzeme arasındaki farklar tablolar ve grafiklerle açıklanmıştır. Borlanan numunelerin borür tabakalarını net görebilmek ve ölçebilmek için SEM (Scanning Elektron Mikroskopy) ve optik mikroskopta mikroyapı fotoğrafları çekilerek borür tabakası ve geçiş bölgesinin mikroyapıları incelenmiştir. EDS ile de borür tabakası, geçiş bölgesi ile anayapıdaki element analizi tespit edilmiştir.

#### 3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada borlama yöntemi olarak katı ortamda borlama yöntemi seçilmiştir. Borlamaya tabi tutulan dişli (Ç 8620) genellikle traktör ve oto dişlilerinin yapımında kullanılmaktadır. Dişlinin çizelge 3.1’de spektral analizi sonuçları, çizelge 3.2’de de mekanik özellikleri verilmiştir. Malzemenin kimyasal bileşimi Eskişehir Şeker Fabrikaları Makine atölyelerinde spektral analiz cihazıyla belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan dişli malzemesi Ç 8620 çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

Mlz	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Cu	Sn	Fe
Ç8620	0,216	0,23	0,75	0,017	0,005	0,47	0,17	0,45	0,008	0,29	0,007	97,35

Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan dişli malzemesi Ç 8620 çeliğinin mekanik özellikleri (www.çelikticaret.com).

Kopma Dayanımı Kg/mm	Akma Sınırı Kg/mm	Kopma Uzaması d°	Sıcak Şekil Verme °C	Yumuşatma °C	Normalize °C	Sertleştirme °C	Menevişleme °C
76	65	23	1100	790	870	830	210

Katı ortam borlamasında bor verici kaynak olarak ağırlıkça % 90 Ekabor-2 tozu ile %10 SiC tozu kullanılmıştır. Borlamanın yapılacağı potalar 120x90x80 boyutunda (CrNi) paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir. Deneyde 1200 °C sıcaklık kontrollü ± 5 hassasiyetli Nüve firmasına ait kül fırını kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Nüve firmasına ait kül fırını

### 3.2. Borlama İşlemi

Borlama işlemi Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi laboratuvarında bulunan ve şekil 3.1’de gösterilen fırında yapılmıştır. Borlama yöntemi olarak katı borlama yöntemi kullanılmıştır. % 90 Ekabor-2 tozu ile % 10 SiC tozu iyi bir şekilde karıştırılmıştır. Karışım daha önceden hazırlanmış olan 120x90x80 boyutundaki paslanmaz çelik pota içerisine tabandan 2 cm olacak şekilde

konmuştur. Anka firmasından temin edilen 3 dişli aralarında eşit mesafe olacak şekilde potanın merkezine yerleştirilmiş ve kalan boşluklar bor verici kaynakla doldurulmuştur. Daha sonra potanın kapağı kapatılarak şamot çamuru ile sızdırmazlık sağlanmıştır. Pota fırına, fırın oda sıcaklığındayken yerleştirilip 900 °C'de 5 saat bekletilmiştir. Süre dolduktan sonra fırın kapağı açılarak fırın içerisinde soğuması sağlanmıştır. Fırından çıkarılan numunelerin üzerlerindeki Ekabor-2 tozları temizlenerek borlama işlemi tamamlanmıştır.

### 3.3. Metalografik İnceleme

Numunelerin mikro yapılarını incelemek için birtakım ön işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Numuneler öncelikle Isparta Endüstri Meslek Lisesi Döküm Bölümü Laboratuvarlarında hassas kesme cihazıyla kesilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Hassas kesme cihazı

Kesme işleminden sonra malzeme Buehler marka taşlama-parlatma cihazında ortalama 250 dev/dak'da sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1200 numaralı SiC su

zımparaları kullanılarak zımparalama işlemi yapılmıştır. Daha sonra sırasıyla 6  $\mu$  ve 1  $\mu$ 'luk elmas parlaticıları kullanılarak çuhada parlatma işlemi yapılmıştır (Şekil 3.3). Parlatılan numuneler % 3 nital çözeltisiyle 10 saniye süreyle dağlanarak Olympus marka optik mikroskopta mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 3.4).

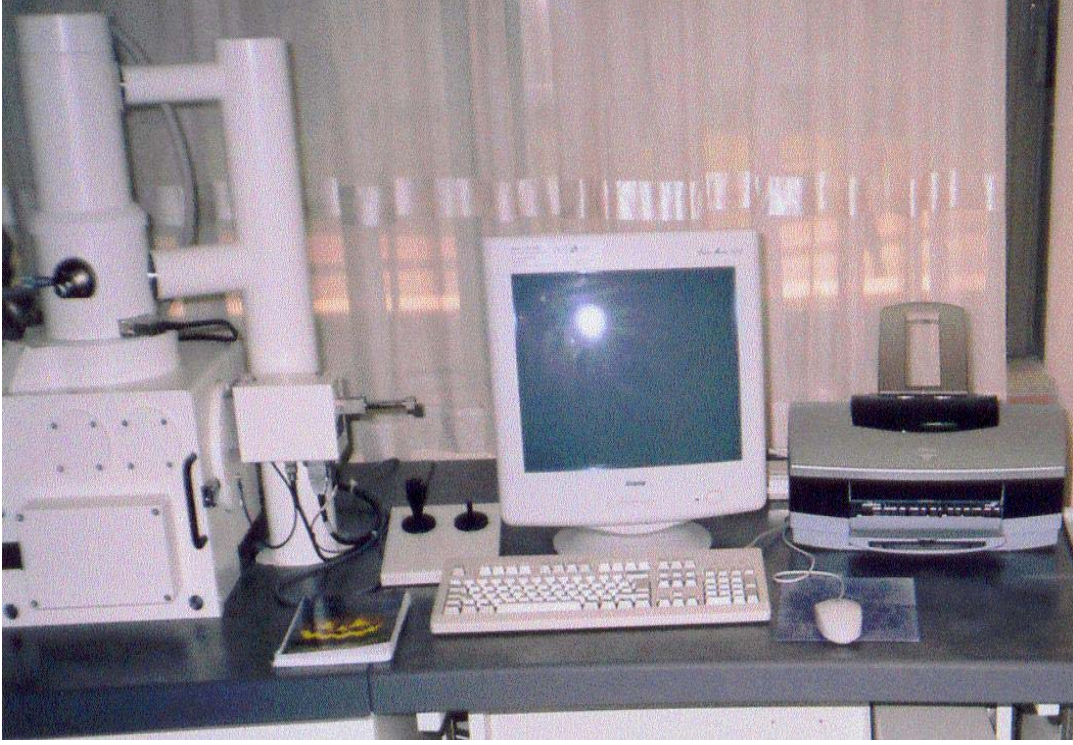


Şekil 3.3. Buehler marka taşlama-parlatma cihazı



Şekil 3.4. Olympus marka elektron mikroskobu

Borür tabakasındaki alaşım elementlerinin dağılımını ve morfolojiyi tespit etmek için Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM (Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi) laboratuvarlarında SEM fotoğrafları çekilmiştir (Şekil, 3.5). Aynı yerde EDS analizleri ile alaşım elementleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

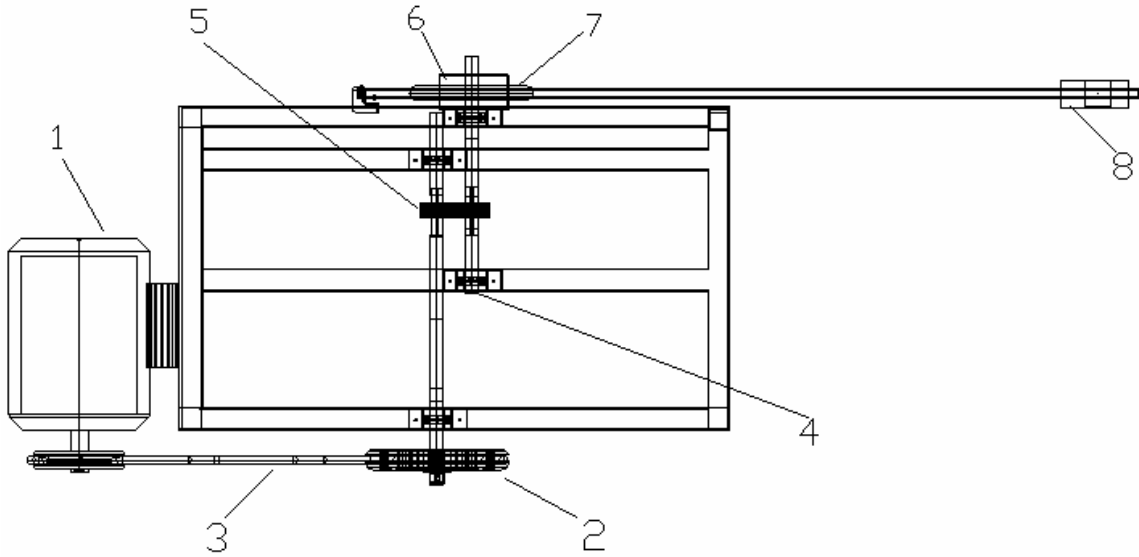
### 3.4. Mikrosertlik Ölçümleri

Mikrosertlik deneyleri Süleyman Demirel Üniversitesi T.E.F. Makine Eğitimi bölümü laboratuvarlarında Metkon marka mikrosertlik ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Borür tabakasının, geçiş bölgesinin ve anayapının sertlikleri mikrosertlik cihazında vickers uç kullanılarak 100 gr'lık yükler altında 15 saniye sürelerle uygulanarak ölçülmüştür (Şekil 3.6). Ölçme işlemleri yapılırken en az beş değer aritmetik ortalaması alınmıştır. Ölçme işlemi yüzeyden itibaren matrikse kadar belirli aralıklarla yapılmıştır.





Şekil 3.7. Aşınma deney düzeneğinin fotoğrafı



- |                    |                 |                                  |                   |
|--------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|
| 1- Elektrik motoru | 3- V Kayış      | 5-Dişli çifti (deney numuneleri) | 7-Frenleyici disk |
| 2-Kasnak           | 4-Bilyalı yatak | 6-Frenleyici balata              | 8-Ağırlık         |

Şekil 3.8. Aşınma deney düzeneğinin şematik resminin üstten görünüşü

Bu çalışmada aşınma deneyi şekil 3.7’de görülen düzenekte kuru sürtünme şartlarında yapılmıştır. Deneyde hareket 0,25 KW gücünde, iki fazlı ve dakikada 2850 devirle dönen bir elektrik motorundan sağlanmaktadır. Motora bağlı olan kasnağın çapı 7 cm diğer tarafta hareket alan kasnağın çapı 15 cm’dir. Buna göre hareket alan kasnağın devri;

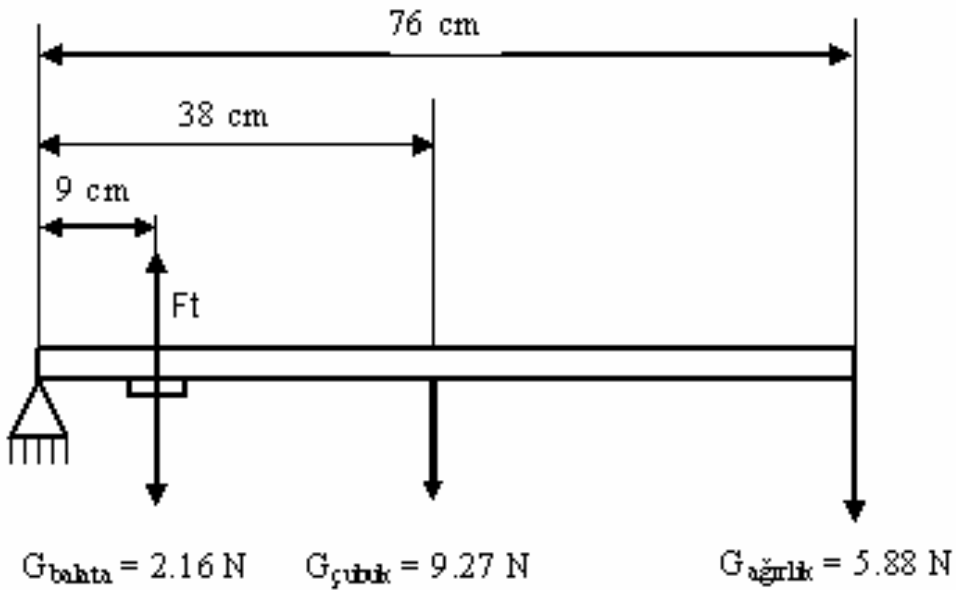
$$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2 \text{ formülünden,} \quad (3.1)$$

$$2850 \cdot 7 = n_2 \cdot 15 \text{ eşitliğinde,}$$

$$n_2 = 1330 \text{ dev/dak olarak bulunmaktadır.}$$

Hareket alan kasnak 1330 dev /dak. hızla dönmektedir. Dolayısıyla dişlilerde aynı devirle dönmektedir. Bu devir sayısı vites dişlilerinin dönüş hızına uygundur.

Vites dişlileri rulmanlarla yataklanmış paralel millere cıvata ile rijit olarak monte edilmiştir. Hareket alan milin karşı ucuna bir disk bağlanmıştır. Diskin üzerine 76 cm uzunluğundaki demir bir çubuğa monte edilmiş bir balatayla frenleme yaptırılmıştır. Böylece dişlilerin yükte çalışması sağlanmıştır. Demir çubuğun ucuna 600 gr ağırlığında bir yük bağlanarak frenleme gücü artırılmıştır. Şekil 3.9’da görüldüğü gibi disk üzerine etki eden kuvvet denge denklemlerine göre hesap edilebilir.



Şekil 3.9. Diskin üzerine etki eden kuvvet



$$\Sigma M = 0 \quad (3.2)$$

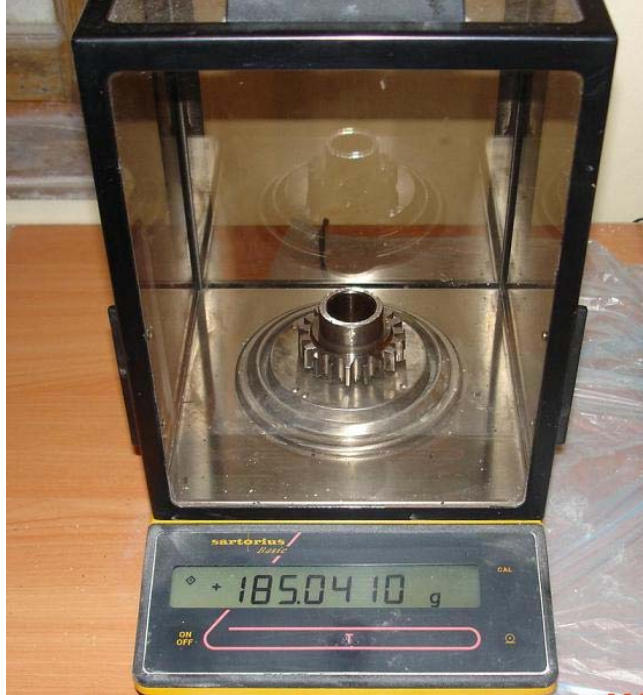
$$G_b \cdot 9 + G_{\check{c}} \cdot 38 + G_a \cdot 76 - F_t \cdot 9 = 0$$

$$F_t = 90,95 \text{ N olarak bulunur.}$$

Bu sonuca göre yaklaşık olarak diskin üzerine 91 N'luk bir kuvvet etki etmektedir. Balata ve disk arasındaki sürtünme değişken olduğu için sürtünme kuvveti hesaba katılmamıştır.

### 3.6. Korozyon Deneyi

Bu çalışmada korozyon deneyleri, dişlilerin % 10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> korozif ortamında 2 saat oda sıcaklığında, 2 saat 60 °C'de ve 2 saat 80 °C'de fırın içerisinde bekletilmek suretiyle yapılmıştır. Her deney sonucunda dişliler alkol ile yıkanarak tartılmıştır. Ağırlık kayıpları 1/10000 hassasiyetindeki Sartorius marka elektronik tartıda yapılmıştır (Şekil 3.10). Her bir korozyon Şartlarına maruz bırakılan numuneler hassas terazide ayrı ayrı tartılmıştır.

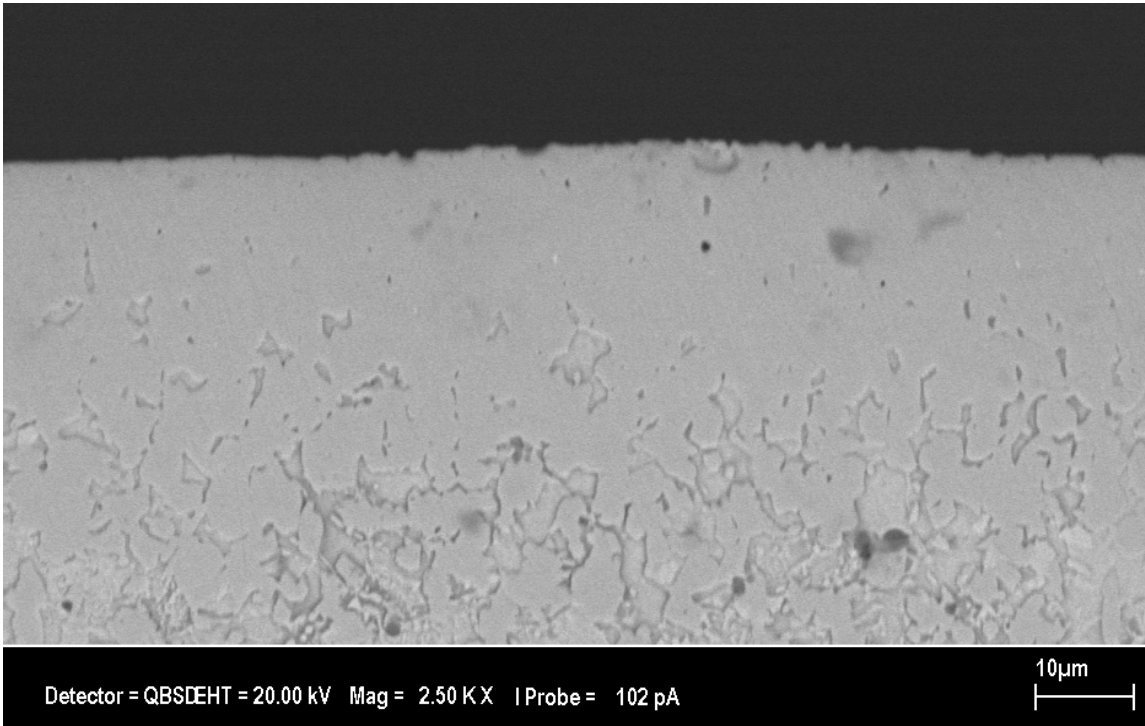
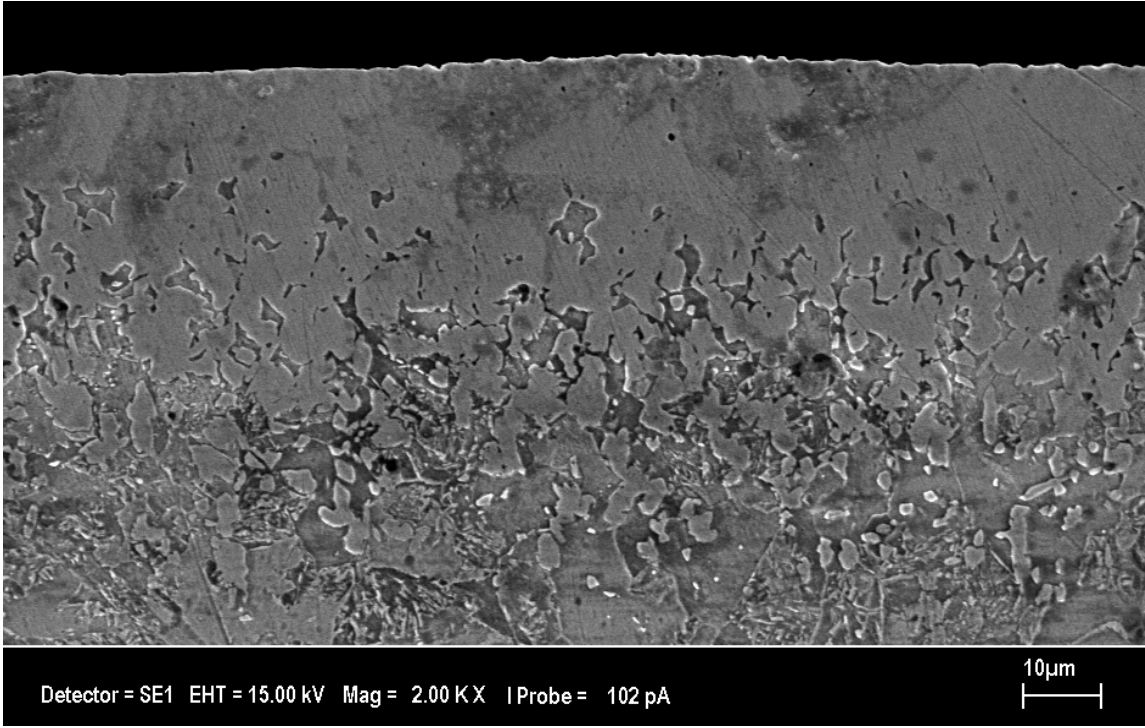


Şekil 3.10. 1/10000 hassasiyetindeki Sartorius marka elektronik tartı

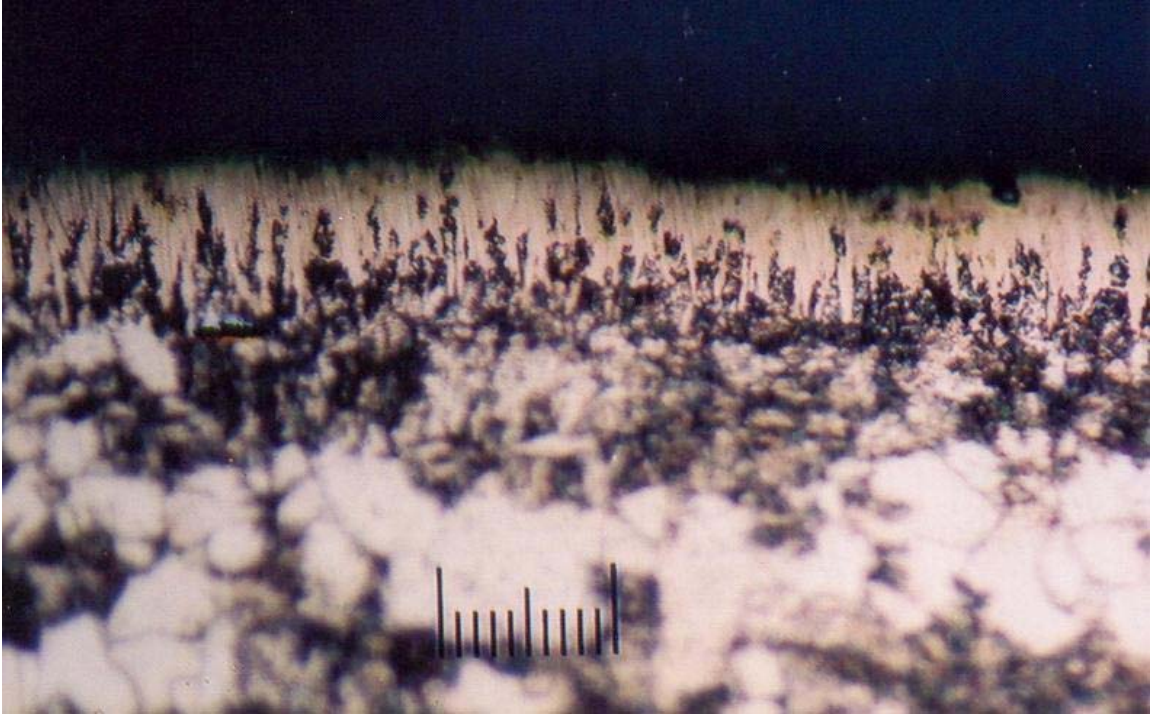
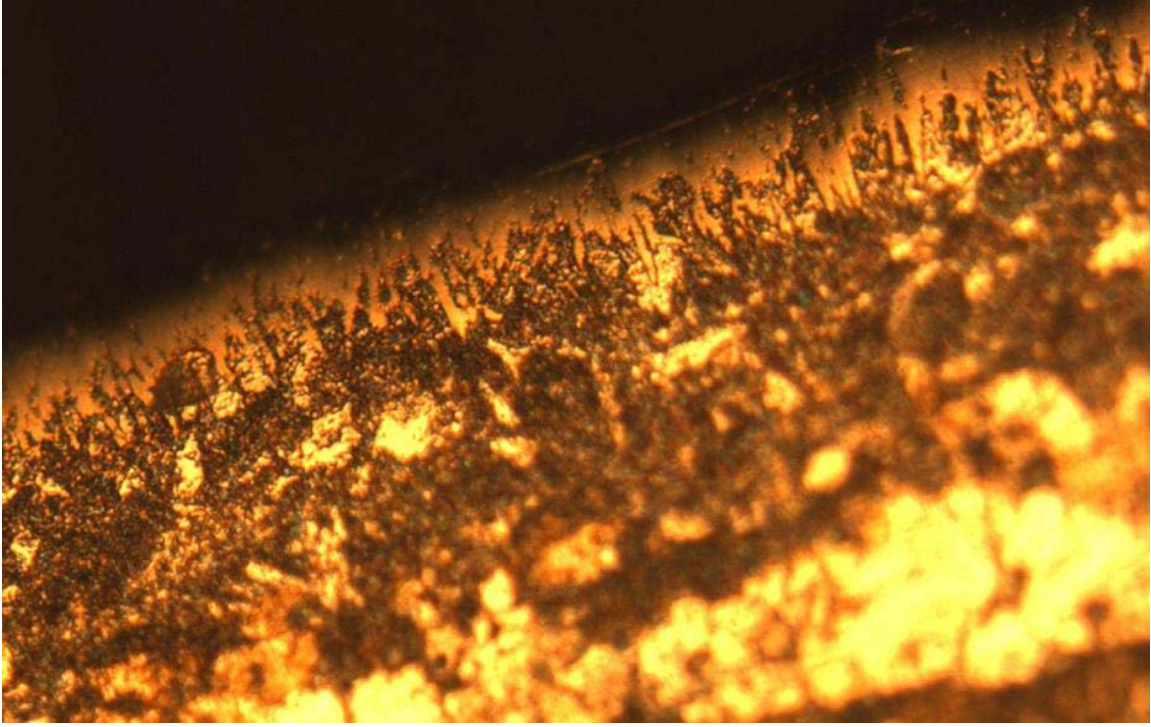
## 4. BULGULAR

### 4.1. Metalografik İnceleme Sonuçları

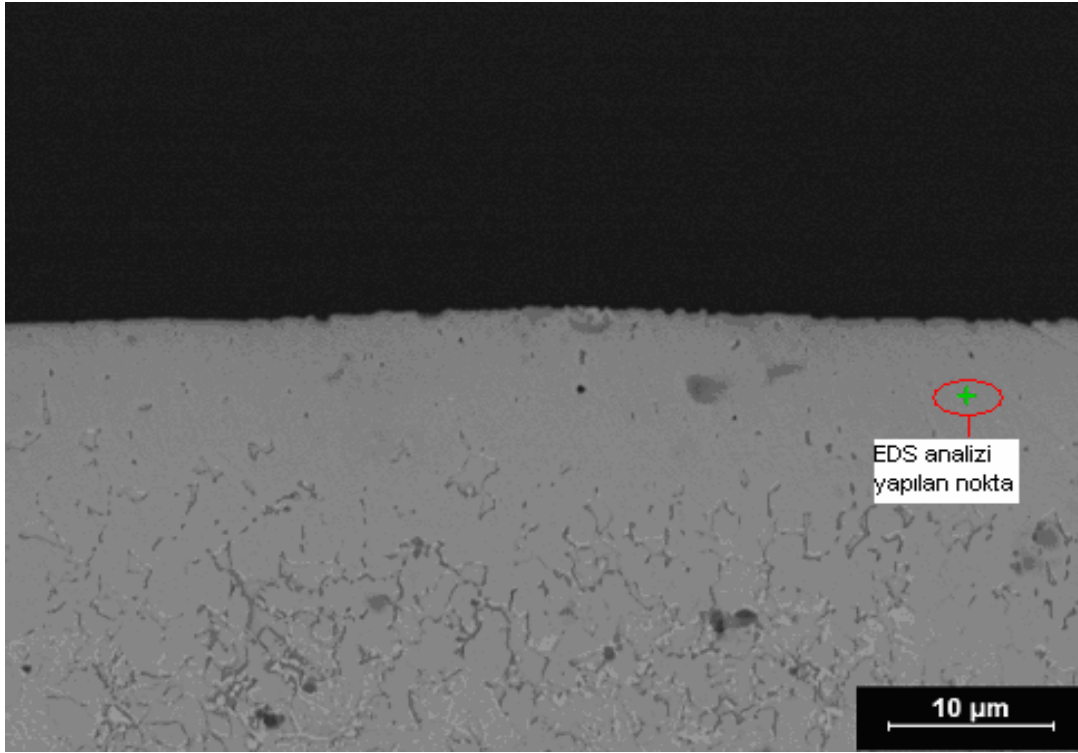
Metalografik incelemeler sonucunda Ç 8620 çeliğinin 900 °C'de 5 saat borlanması sonucunda borür tabakası, geçiş bölgesi ve anayapının belirgin bir şekilde ayrıldığı ortaya çıkmıştır. Borürler, literatürde de belirtildiği gibi kolonsal (parmaksı) bir şekilde malzemeye nüfuz etmiştir. Bunun oluşumu bor atomlarının tane sınırlarını difüzyon ile zorlaması ve malzeme merkezine doğru ilerlemesi şeklinde açıklanmaktadır. Bu durum Şekil 4.1'deki SEM fotoğrafları ve şekil 4.2'deki mikroyapı fotoğraflarında görülmektedir. Şekil 4.3'te Borür tabakasının üzerindeki bir noktadan alınan EDS elementlerinin dağılım grafiği, Şekil 4.4'te de borür dışından alınan bir noktanın EDS elementlerinin dağılım grafiği görülmektedir.



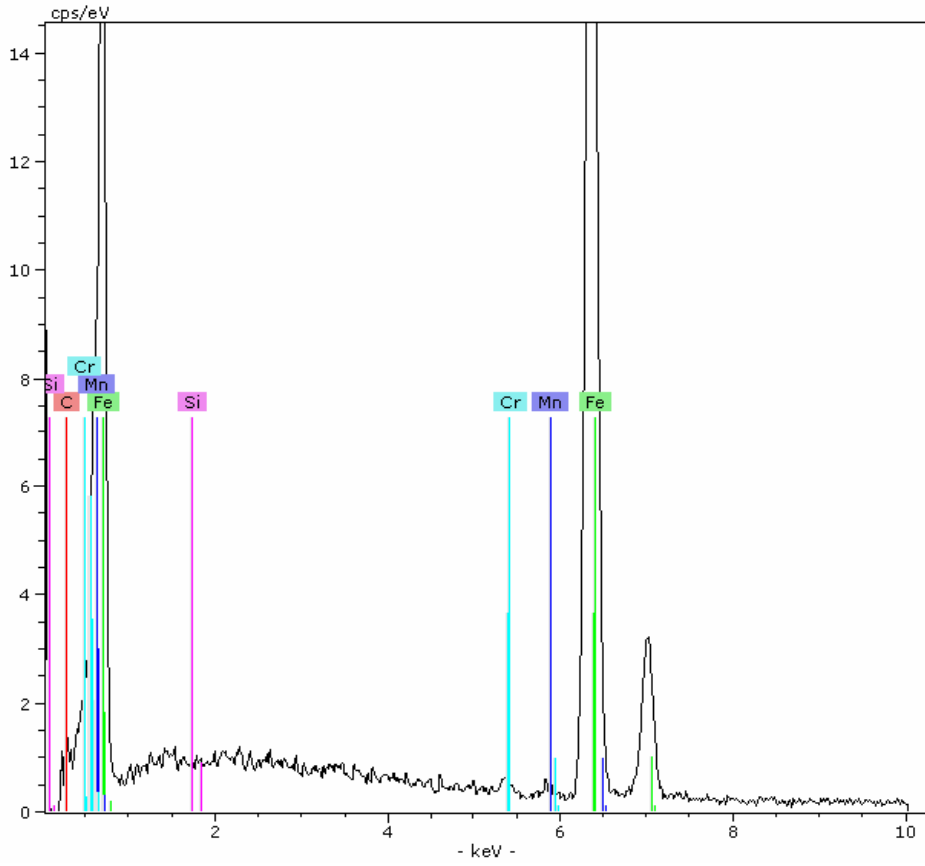
Şekil 4.1. Borlanmış Ç 8620 çeliğinin borür tabakası ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları



Şekil 4.2. Borlanmış Ç 8620 çeliğinin borür tabakası ve geçiş bölgesinin mikroyapı fotoğrafları (X 100)

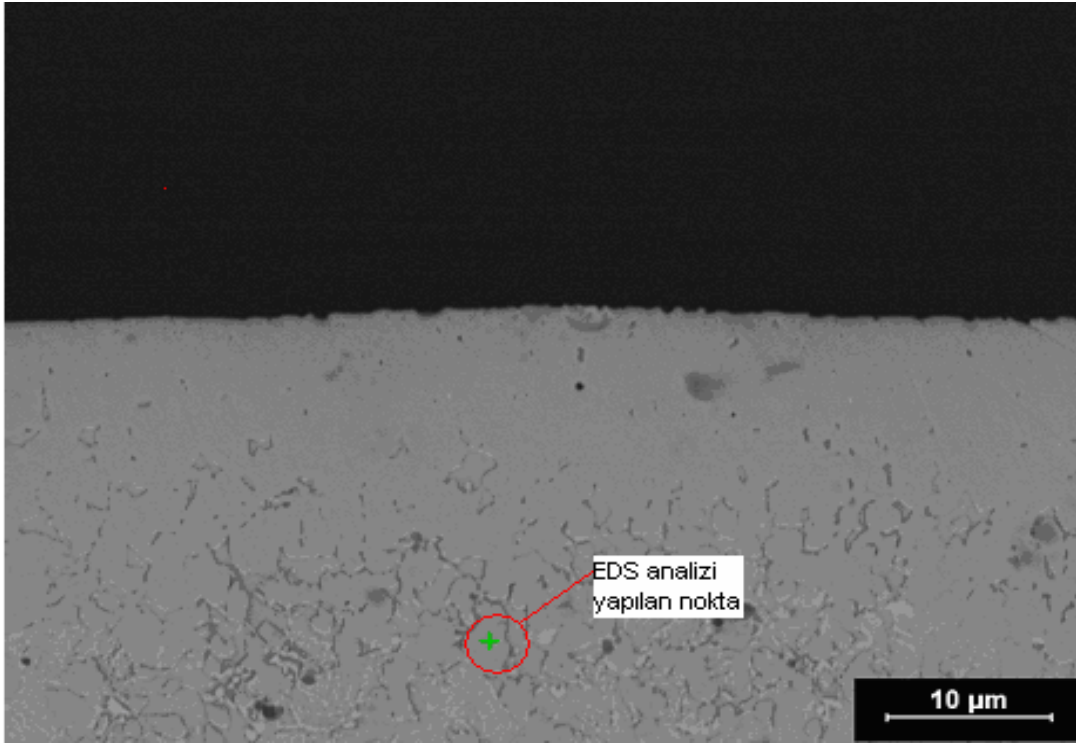


(a)

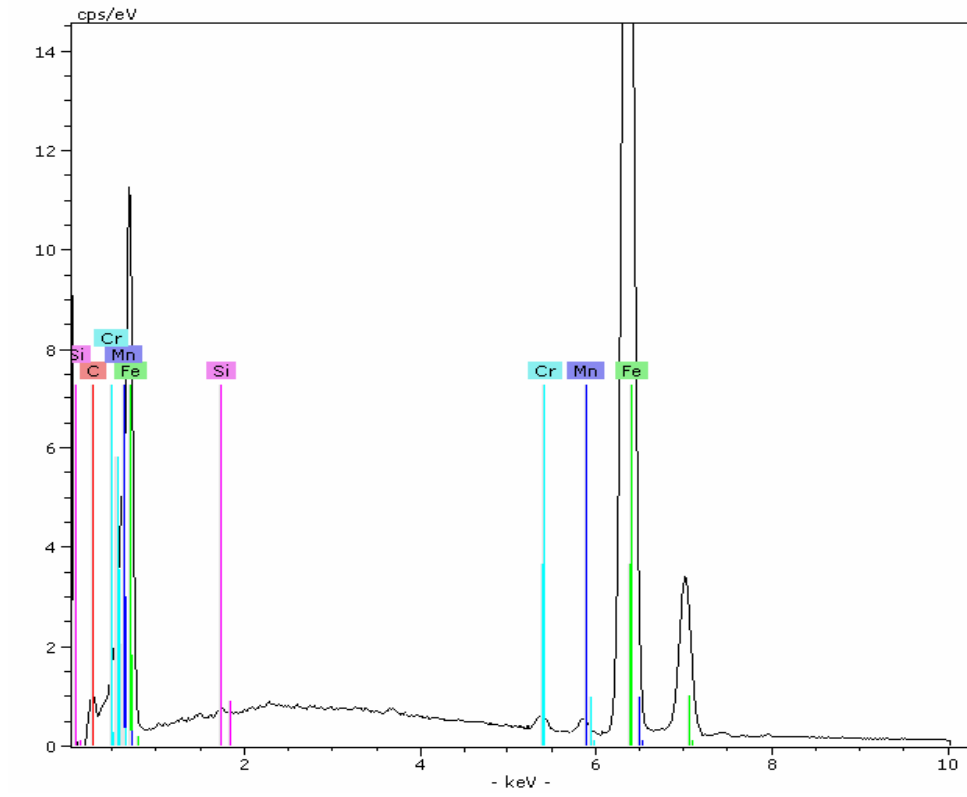


(b)

Şekil 4.3. Borür tabakasının üzerindeki bir noktanın elementer analiz dağılımı.  
 (a) Mikro yapı görüntüsü (b) Çizgisel analiz grafiği



(a)



(b)

Şekil 4.4. Borür dişinden alınan bir noktanın elementer analiz dağılımı. (a) Mikro yapı görüntüsü (b) Çizgisel analiz grafiği

## 4.2. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

Borlanmış Ç 8620 dişlisinin tabaka, geçiş bölgesi ve ana yapının mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Mikro sertlikler 100 gr yük altında en az 5 sertlik değerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur (Çizelge 4.1). Borlanmış numunelerin tabakalarının sertliği 1400–1600 HV<sub>0,1</sub>, arasında, geçiş bölgesi ve anayapının sertliği ise 200–500 HV<sub>0,1</sub> arasında değişmektedir. Mikrosertlik değerleri borür tabakasından matrikse doğru gidildikçe düşmektedir. Bunun sebebi borür tabakasının en dış yüzeyinde FeB fazı, borür tabakasının dışından içine doğru borür dişlerinin Fe<sub>2</sub>B fazından oluşmasıdır. Borlama işlemine tabi tutulan Ç 8620 malzemesinden yapılan dişlinin tabaka kalınlığı 75 µm çıkmıştır. Bunun nedeni ise çelik içerisinde bulunan Mo, Cr ve Si'un borür tabaka kalınlığını azaltıcı etki göstermesidir.

Çizelge 4.1. Deneyle sonuçunda elde edilen ortalama tabaka kalınlığı ve sertlik değerleri

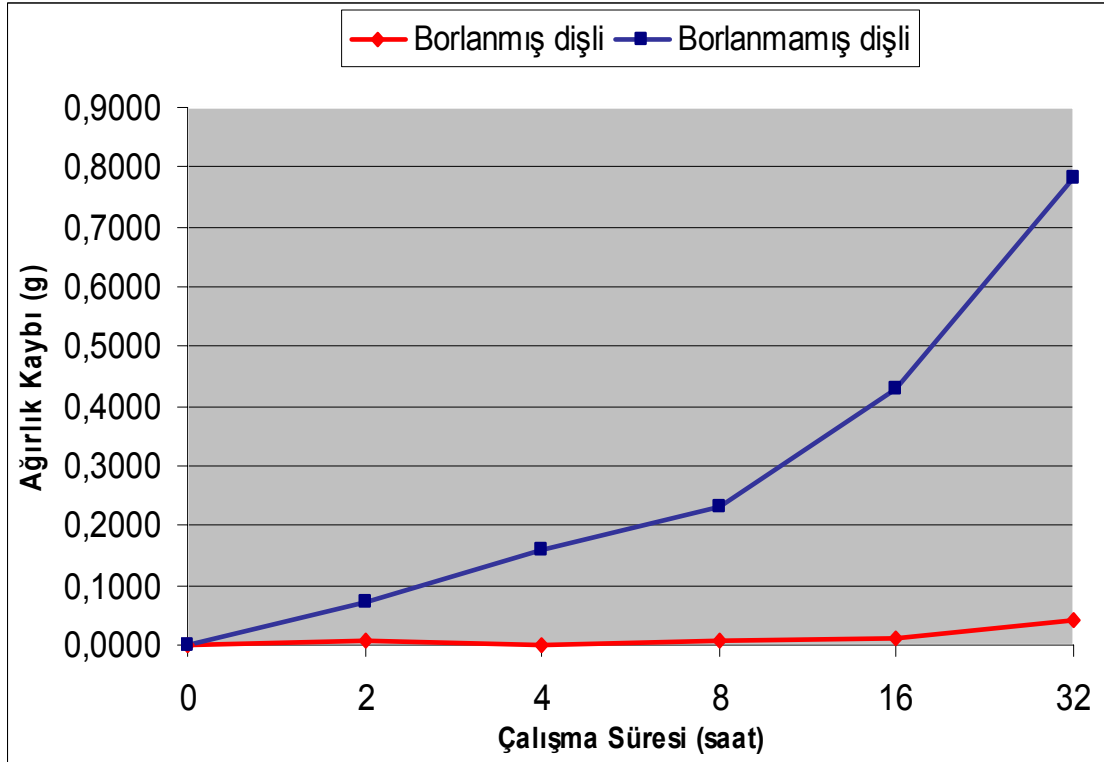
Numune	Tabaka Kalınlığı (µm)	Tabaka Sertlik Değeri (HV <sub>0,1</sub> )	Geçiş Bölğ. Sertlik Değeri (HV <sub>0,1</sub> )	Anayapı Sertlik Değeri (HV <sub>0,1</sub> )
Ç 8620	75	1450	450	205

## 4.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

Aşınma deneyleri tarafımızdan tasarlanan ve gerçek çalışma koşullarına uyarlanan bir kuru sürtünme aşınma cihazında yapılmıştır. Aşınma deneylerinde 62 saatlik çalışma sonucunda borlanmamış dişlinin dişlerinde aşınmalar ve dolayısıyla incelmeler görülmüştür (Şekil 4.6). Borlanmış dişlide ise önemli bir aşınma miktarı ve pul pul dökülmeler görülmemiştir. Toplam borlanmış dişlide 0,0665 gr, borlanmamış dişlide ise 1,6729 gr'lık bir aşınma meydana gelmiştir (Çizelge 4.2). Dişlilerin ağırlık kayıpları da incelendiğinde borlanmamış dişlinin borlanmış dişliye göre toplamda yaklaşık 25 kat daha fazla aşındığı görülmektedir. Şekil 4.5'deki grafikte de aşınma miktarları net bir şekilde görülmektedir.

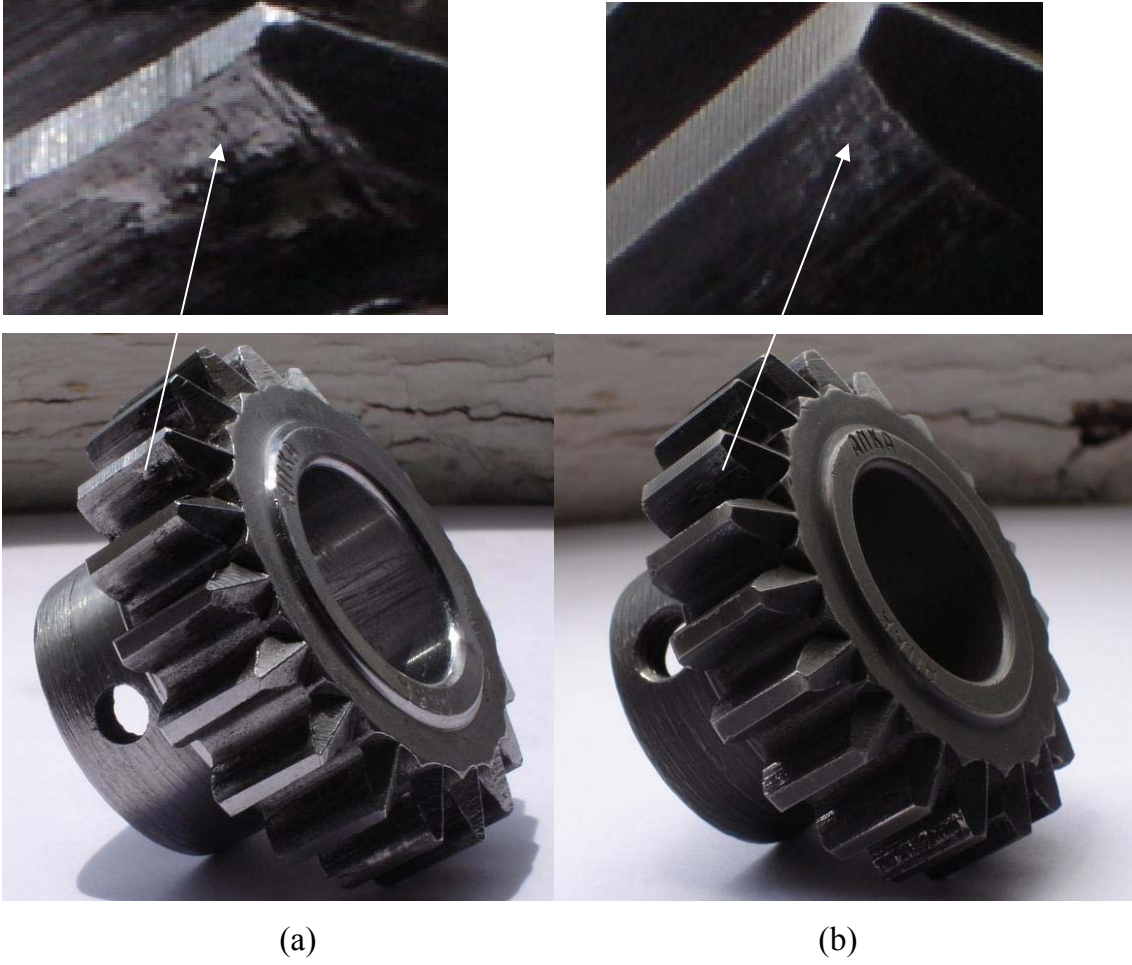
Çizelge 4.2. Borlanmış ve borlanmamış dişlilerin aşınma deneyi sonuçları

Malzeme Durumu	Çalışma süresi (saat)	İlk Ağırlık (gr)	Son Ağırlık (gr)	Ağırlık kaybı (gr)
Borlanmamış Dişli	2	186,7139	186,6433	0,0706
	4	186,6433	186,4855	0,1578
	8	186,4855	186,2542	0,2313
	16	186,2542	185,8245	0,4297
	32	185,8245	185,0410	0,7835
Borlanmış Dişli	2	186,8717	186,8658	0,0059
	4	186,8658	186,8642	0,0016
	8	186,8642	186,8575	0,0067
	16	186,8575	186,8479	0,0096
	32	186,8479	186,8052	0,0427



Şekil 4.5. Borlanmış ve borlanmamış dişlilerin aşınma kaybının süre ile değişimi





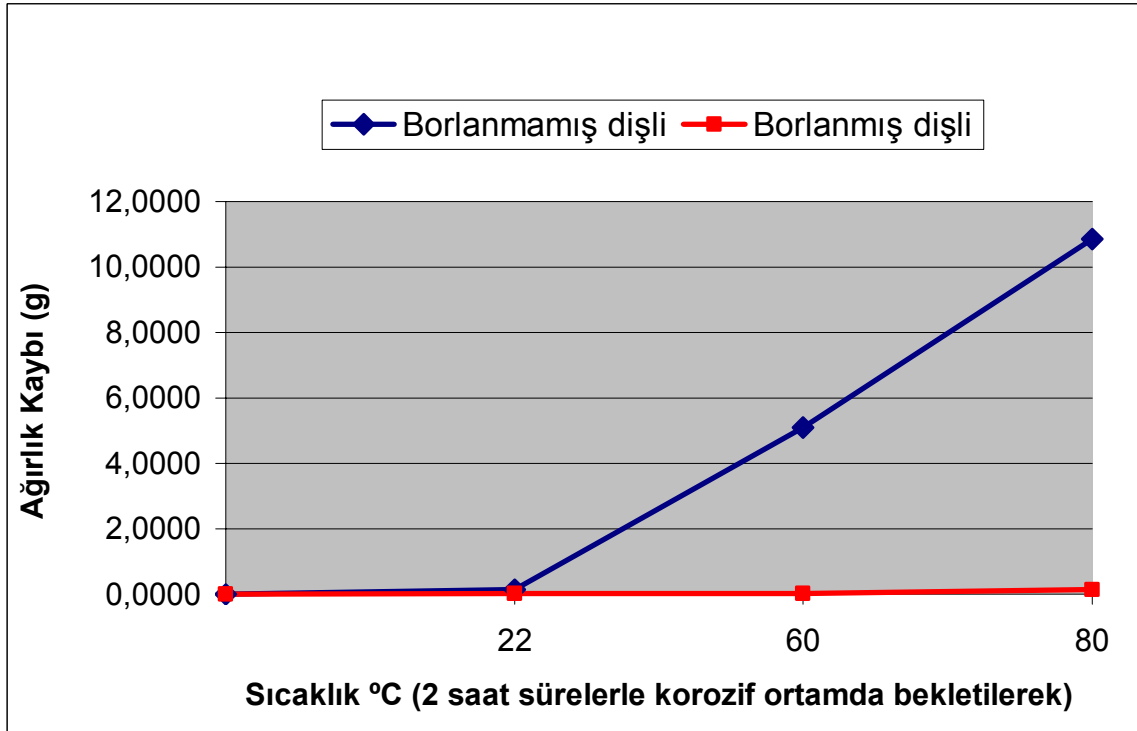
Şekil 4.6. Aşınma deneyi sonucunda dişlilerin görünümü (a) Borlanmamış dişli (b) Borlanmış dişli

#### 4.4. Korozyon Deneyi Sonuçları

Borlanmış ve borlanmamış dişlilerin % 10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> asit çözeltisi içerisinde 2 saat oda sıcaklığında, 2 saat 60 °C’de ve 2 saat 80 °C’de bekletilerek yapılan korozyon deneyi sonucunda dişliler şekil 4.8’deki duruma gelmişlerdir. Korozyon deney sonuçları genel olarak literatürde olduğu gibi ortalama ağırlık kaybı olarak bulunmuştur. Toplam ağırlık kaybı borlanmış dişlide 0,1756 gr, borlanmamış dişlide 16,1093 gr’dır. Borlanmamış dişli çizelge 4.3’te ve şekil 4.7’de görüldüğü gibi borlanmış dişliye göre yaklaşık olarak 95 kat daha fazla aşınmıştır.

Çizelge 4.3. Borlanmış ve borlanmamış dişlilerin % 10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> korozif ortamında ağırlık kaybı sonuçları

Malzeme Durumu	Korozyon Ortamı ve Süresi	İlk Ağırlık(gr)	Son Ağırlık(gr)	Ağırlık Kaybı (gr)
Borlanmamış dişli	2 saat oda sıcaklığında	206,3438	206,1942	0,1496
	2 saat 60 °C sıcaklıkta	206,1942	201,0971	5,0971
	2 saat 80 °C sıcaklıkta	201,0971	190,2345	10,8626
Borlanmış dişli	2 saat oda sıcaklığında	206,6668	206,6563	0,0105
	2 saat 60 °C sıcaklıkta	206,6563	206,6283	0,0280
	2 saat 80 °C sıcaklıkta	206,6283	206,4912	0,1371



Şekil 4.7. Borlanmış ve borlanmamış dişlilerin ağırlık kaybının ikişer saat korozif ortamda kalma sıcaklığı ile değişimi



(a)

(b)

Şekil 4.8. Korozyon deneyi sonucunda dişlilerin görünümü (a) Borlanmamış dişli  
(b) Borlanmış dişli

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bor mineralleri açısından oldukça önemli bir yere sahip olan ülkemizde, borlama işleminin sadece akademik düzeyde kaldığı, endüstride kullanılmadığı görülmektedir. Gelişmiş ülkelerde ise iş parçalarının kullanım ömürlerini artırmak için borlama işlemi endüstriyel alanda başarıyla uygulanmaktadır. Oysaki sürtünen ve aşınmaya maruz kalan makine elemanlarının yüzey sertleştirilmesinde borlamanın diğer ısıtma işlemlerine nazaran daha iyi sonuçlar verdiği yapılan akademik çalışmalarda görülmektedir.

Vites dişlilerindeki aşınma çok önemlidir. Dişliler aşındıkları zaman hem seyir esnasında araç içerisinde sesten durulmaz hale gelir, hem de dişliler arasında boşluk olacağı için güç aktarımı zorlaşır. Az bir miktar aşınma bile dişlilerin değiştirilmesini gerektirebilir. Bu sebeplerden dolayı dişlilere uygulanan ısıtma işlemleri önemlidir.

Yüksek sertlik ve mukavemete sahip vites dişlileri üretmek için genellikle alaşımlı çelikler kullanılmaktadır. Bunun yerine az alaşımlı yada alaşımsız çelikler kullanılarak; hem maliyet düşürülmüş olur hem de daha kaliteli yüzey elde edilmiş olabilir.

Yapılan bu çalışmada vites dişlilerinde sementasyon ısıtma işlemi yerine borlama ısıtma işlemi yapılarak daha iyi sonuçlar alınabileceği deneylerle gösterilmiştir. Günümüz vites dişlilerinde geri vites dişlileri haricinde genellikle helisel dişliler kullanılmaktadır. Fakat bu çalışmada boyutları daha küçük olduğu için helisel dişli yerine düz dişliler kullanılmıştır. Eğer düz dişli yerine vuruğu daha az olan helisel dişli kullanılmış olsaydı daha da iyi sonuçlar alınabilirdi.

Dişliler kuru sürtünme şartlarında yağsız ve vuruğulu çalışmasına rağmen borlanan dişlide önemli bir aşınma miktarı ve pul pul dökülme görülmemiştir. Oysa aynı dişliler yağlı ortamda çalışmış olsalardı vuruğu daha az olacağı için daha iyi sonuçlar alınabilirdi. Hatta dişliler taşıtın kullanım ömrü kadar ömre sahip olabilirlerdi.

Aşınma ve korozyon deneyleri sonucunda borlanmış dişli, borlanmamış dişliye nazaran yaklaşık olarak aşınmaya karşı 25 kat, korozyona karşı 95 kat daha iyi sonuç vermiştir. Bu sonuçlar literatürde elde edilen sonuçlara uygunluk göstermektedir.

Borlama işlemine tabi tutulan Ç 8620 malzemesinden yapılan dişlinin tabaka kalınlığı 75 µm çıkmıştır. Bunun nedeni ise çelik içerisinde bulunan Mo, Cr ve Si'un borür tabaka kalınlığını azaltıcı etki göstermesinden dolayıdır.

Bu sonuçlardan sonra borlama ısıl işleminin vites dişlilerinde de uygulanabileceği kanısına varılmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

- Akçadağ, T., 1992. Dişli Çarklarda Yorulma Olayının İncelenmesi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65 s. İstanbul.
- Akkurt, M., 1990. Makina Elemanları Cilt II. Birsen yayınevi, 288 s. İstanbul.
- Atik, E., 2001. Farklı Bir Yüzey Sertleştirme Yöntemi: Borlama, Makina ve Metal, 117, 86-90.
- Bayça, S., Şahin, S., 2004. Borlama. Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 532
- Bindal, C., 1991. Az Alaşımli ve Karbon Çeliklerinde Borlama ile Yüzeye Kaplanan Borürlerin Bazı Özelliklerinin Tespiti. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 165s, İstanbul.
- Bozkurt, N., 1984. Bor Yayınımla Çeliklerde Yüzey Sertleştirme. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 113s, İstanbul.
- Çalık, A., Özsoy A., 2002. Termal Çevirimli Borlama İşleminin Ç1010 Çeliğine Etkileri. 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, İstanbul.
- Çalık, A., Delikanlı, K., Uzun A., 2002. Ç1040 Çeliğinin Borlanması Oluşan Borür Tabakasının Özelliklerinin İncelenmesi. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, 109–113, Kütahya.
- Çalık, A., Delikanlı, K., Uzun A., 2004. Ç 1035 Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Çalık, A., 2004. Makine ve Metalurji Sanayinde Bor Kullanımı II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Çeçil, Ö., Şen, Ş., 2002. AISI 8620 Çeliğinin Bor-Vanadyumlanması ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 6, 3, 113-117, Sakarya.
- Çelik, A., Alsaran, A., Karakan, M., 2002. Plazma İle Termokimyasal Yüzey İşlemleri. Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 510, Ankara.
- Çerik, H.V., 1996. Makine Bilgisi ve Makine Elemanları Cilt 1. Vefa yayınevi, Ankara, 254 s.
- Çetin, M., 2003. Borlanmış Hadfield Çeliklerinin Aşınma Dayanımının İncelenmesi. Dumlupınar Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50 s. Kütahya.
- Delikanlı, K., Çalık, A., Uzun, H.A., 2003. Sade Karbonlu Bir Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi. BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 99–110, Balıkesir.

- Delikanlı, K., Ulusoy, N., Uzun, H.A., 2003. Yüzeyleri Borlama İle Sertleştirilen Ç 1040 Çeliğinin Abrasiv Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımı. II. Demir Çelik Sempozyumu, Zonguldak.
- Demirsoy, M., 1998. Motorlu Araçlar Cilt 1. Birsen Yayınevi, İstanbul, 361 s.
- Fetvacı, M.C., İmrak, C.E., 2004. Diş dibi Gerilmelerinin Analizi İçin Düz Dişli Çarkların Sonlu Eleman Modellenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 199–203, Ankara.
- Gülmez, S., 1995. Motorlu Taşıtların Vites Kutularının İncelenmesi. Marmara Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62 s. İstanbul.
- Karakan, M., Alsaran, A., Çelik, A., 2002. Plazma Borlama. Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı 512.
- Karaman, Y., 2003. Endüstriyel Borlama ve Tekstil Endüstrisinde Bir Uygulama. Süleyman Demirel Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 121s, Isparta.
- Khoei, S.M.M., 1992. Ergimiş Boraks Banyosunda Çeliklere Vanadyum Karbür Kaplama. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 112s, İstanbul.
- Matuschka, A.G., 1979. Wärmebehandlungen zum Andern des Randbereichs von Stahlteilen: Borieren, Merkblätter, 446, 3-15.
- Matuschka, A.G., 1980. Boronizing. Carl Hanser Verlag, 100s, München
- Nair, F., Karamış, M.B., 1997. Borlanmış Çeliklerde Malzeme Bileşiminin Mikrosertliğe Etkileri, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 354-360. Denizli.
- Orhan, S., Aktürk, N., 2003. Aktarma Organları Dişlilerinde Oluşan Fiziksel Hataların Titreşim Analizi İle Belirlenmesi. Gazi Ü. Mühendis ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 97–106, Ankara.
- Özsoy, A., 1991. Çeliğin Borlanması Borür Tabakası, Geçiş Zonu ve Ana Matriksin Özelliklerinin İyileştirilmesi. Anadolu Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 101s, Eskişehir.
- Özsoy, A., 2001. Borlama ile İlgili Genel Bir Değerlendirme. Endüstriyel Yüzey Teknolojileri Dergisi, Sayı, 22, 10–13.
- Selam, M., 1996. Borlanmış Gri Dökme Demirin Aşınma Davranışlarının Deneysel Araştırması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56s, Kayseri.
- Selçuk, B., 1994. Borlanmış AISI 1020 ve AISI 5115 Çeliklerinin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Erciyes Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.

- Selçuk, B., Yüksek, S., Uysal, Ö., 2002. Demir Esaslı Makine Elemanlarının Aşınma ve Korozyon Direncinin Arttırılmasında Borun Rolü. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu Kitabı, 114-118, Kütahya.
- Şahin, Ö.S., 2002. Düz Dişli Çarklarda Diş Sıcaklık Değişimleri ve Aşınma Etkileşiminin Deneysel Olarak İncelenmesi. Selçuk Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 61 s. Konya.
- Şen, U., 1997. Küresel Grafitli Dökme Demirin Borlanması ve Özellikleri. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 177s, İstanbul.
- Şen, Ş., 1998. Termokimyasal Borlama İşlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 Çeliklerinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Sakarya Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 166 s, Sakarya.
- Şen, Ş., Bindal, C., 1999. AISI 5140 Çeliğinin Yüzeyinde Oluşan Borürlerin Bazı Özellikleri. Denizli Makina Mühendisleri Odası Bilim Günleri, 670–675. Denizli.
- Tarhan, E., 2001. İslah Çeliklerinde Isıl İşlem Parametrelerinin Aşınma Dayanımına Etkisi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 88 s, Isparta
- Taşcı, A., 1993. Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları. İstanbul Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 45 s, İstanbul.
- Taylan, F., Özsoy, A., 2002. Erimiş Boraks Banyosunda Karbürleme İşlemi. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu Kitabı, 118-123, Kütahya,
- Tezcan, R, 1996. Borlama İşlemi ve Endüstriyel Uygulamaları. Osmangazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46 s, Eskişehir.
- Uzun, H.A., 2002 Borlama İle Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımları. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75 s. Isparta.
- Varol, V., Yılmaz, S.S., Tunay, R.F., 2002. Borlamanın T/M Çelik Parçaların Mikroyapı ve Yüzey Sertliğine Etkisi. 3<sup>rd</sup> International Powder Metallurgy Conference . 1039–1047, Ankara

#### Web Siteleri;

[www.hemaendüstri.com.tr/hemaürünlerdisli.php](http://www.hemaendüstri.com.tr/hemaürünlerdisli.php)  
[www.tribolub.com/diřliler.htm](http://www.tribolub.com/diřliler.htm)  
[www.ermaksandisli.com.tr/urunler.htm](http://www.ermaksandisli.com.tr/urunler.htm)  
[www.çelikticaret.com/sementasyon.htm](http://www.çelikticaret.com/sementasyon.htm)  
[www.quantum-tuning.com/www/index1.htm](http://www.quantum-tuning.com/www/index1.htm)



Yılmaz, S.S., 1997. Çeliklerde Bor İle Yüzey Sertleştirme. Celal Bayar Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 35s, Manisa.

Yılmaz, A., 2002. Bor. Bilim ve Teknik Dergisi, 414, 38–48.

Yünker, U., 2000. Borlanmış Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi. Celal Bayar Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 161 s, Manisa.

Yücelen, D., Betun, A., 1980. Motorlu Taşıtların Güç Aktarma Organları. Etüd ve Programlama Dairesi Yayınları, Ankara, 175 s.

**ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Erkan YILMAZ

Doğum Yeri : Sivrihisar/ESKİŞEHİR

Doğum Yılı : 20.02.1975

Medeni Hali : Evli ve bir çocuk babası

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise :1990-1994 Eskişehir Yunus Emre Teknik Lisesi, Elektronik Bölümü

Lisans :1996– 2000 Sakarya Üniversitesi, Otomotiv Öğretmenliği

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

2000-2005 Motor Öğretmeni