

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

**BORLAMANIN PASLANMAZ ÇELİĞİN RADYASYON
ZIRHLAMA ÖZELLİĞİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Adem TURHAN

Danışman: Yrd.Doç.Dr.Adnan ÇALIK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI
ISPARTA – 2008**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından ANABİLİM DALI'nda oybirliği/oyçokluğu ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : (Ünvanı, Adı ve Soyadı)

(İmza)

(Kurumu).....

Üye : (Ünvanı, Adı ve Soyadı)

(İmza)

(Kurumu).....

Üye : (Ünvanı, Adı ve Soyadı)

(İmza)

(Kurumu).....

ONAY

Bu tez .../.../20.. tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

.../.../20...

(Enstitü Müdürünün İmzası)

(Ünvanı, Adı Soyadı)

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1. Radyasyon.....	4
2.1.1. Çekirdek ve Özellikleri.....	5
2.1.2. Radyoaktivite.....	7
2.1.3. Radyoaktif Bozunma Türleri.....	9
2.1.3.1. Alfa (α) Bozunması.....	9
2.1.3.2.Negatif Beta (β) Bozunması.....	10
2.1.3.3. Pozitif Beta (β) Bozunması.....	12
2.1.3.4.Gamma (γ) Bozunması.....	12
2.1.3.5. Elektron Yakalanması (K-Yakalanması).....	13
2.1.3.6. Nötron Yayını.....	14
2.1.4. Yarı-Ömür.....	15
2.1.5. Radyasyon Tehlikelerinden Korunma Yöntemleri.....	16
2.1.5.1. Radyasyon Kaynağına Uzaklık.....	17
2.1.5.2. Işınlama Süresi.....	17
2.1.5.3. Radyasyon Kaynağının Zırhlanması.....	18
2.1.6. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi.....	20
2.1.6.1. Fotoelektrik Olay.....	22
2.1.6.2. Compton Saçılımı.....	22
2.1.6.3. Çift Oluşumu.....	23
2.1.7. Radyasyonun Metalik Malzeme Özelliklerine Genel Etkileri.....	24
2.2. Bor Elementi.....	25

2.2.1. Atomik Yapısı	26
2.2.2. Kimyasal Özellikler	26
2.2.3. Fiziksel Özellikler	27
2.2.4. Bor Mineralleri.....	28
2.2.5. Borlama.....	29
2.2.5.1. Borür Tabakası.....	31
2.2.5.2. Geçiş Bölgesi.....	32
2.2.6. Borlama Yöntemleri.....	34
2.2.6.1. Katı Ortamda Borlama.....	34
2.2.6.2. Macun (Pasta) Ortamda Yapılan Borlama.....	36
2.2.6.3. Gaz Ortamda Borlama.....	36
2.2.6.4. Sıvı Ortamda Yapılan Borlama.....	37
2.2.6.5. Akışkan Yatakda Borlama.....	39
2.2.6.6. Plazma Borlama.....	39
2.2.7. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları.....	40
2.2.8. Nükleer Sanayide Bor Kullanımı.....	43
2.2.8.1. Atom reaktörlerinde	43
2.2.8.2. Nötron absorpsiyonunda	44
2.2.8.3. Nötron izolatörü olarak kullanılması	45
2.2.8.4. Borlu paslanmaz çelik	46
2.2.8.5. Nötron odaları	46
2.2.8.6. Borlu reaktör grafiti	46
2.3. Paslanmaz Çelikler.....	46
2.3.1. Paslanmaz Çeliklerin Metalurjik Özellikleri.....	49
2.3.2. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması.....	51
2.3.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	51
2.3.2.2. Martensitik Paslanmaz Çelikler.....	51
2.3.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	51
2.3.2.4. Çökelti Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler.....	52
2.3.2.5. Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler.....	52
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	53
3.1. Giriş.....	53

3.2. Deneylerde Kullanılan Numune.....	55
3.3. Deneylerde Kullanılan Cihazlar.....	55
3.3.1. Borlama Fırını.....	55
3.3.2. Borlama Ortamı.....	55
3.4. Borlama İşlemi.....	55
3.5. Radyasyon Zayıflatma Katsayısının Ölçülmesi.....	56
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	59
4.1. Giriş.....	59
4.2. Çekme Deneyi.....	59
4.3. Metalografik İnceleme.....	60
4.4. Sertlik Ölçümü.....	62
4.5. Liner Radyasyon Soğurma Katsayısı.....	62
5. SONUÇLAR.....	65
6. KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BORLAMAMANIN PASLANMAZ ÇELİĞİN RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİĞİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Adem TURHAN

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Juri: Doç. Dr. İskender AKKURT
Yrd. Doç. Dr. Osman ŞAHİN
Yrd. Doç. Dr. Adnan ÇALIK (Danışman)

Bu tez çalışmasında AISI 304 paslanmaz çeliğin dış yüzeyi Ekabor 3 tozu ile 1200 °C sabit sıcaklıkta 3 saat süre ile katı ortamda borla kaplaması yapılmıştır. Borlanmış ve borlanmamış paslanmaz çeliklere çekme deneyi uygulanmış, optik mikro yapı resmi çekilerek sertlikleri ölçülmüştür. Daha sonra borlanmış ve borlanmamış paslanmaz çelikler, Geiger-Müller sayacı kullanılarak Co 60 ve Cs 137 gama kaynakları ile 652 keV ve 1250 keV enerjide 3 adet ölçüm alınarak radyasyon soğurma katsayıları ölçülmüştür. Bu sayede bor' un radyasyon zırhlamasında kullanılabilirliği tespit edilmeye çalışılmıştır.

Borlama işleminin, AISI 304 paslanmaz çeliğin akma dayanımını düşürmediği yaklaşık olarak sünekliği % 25, çekme dayanımını ise % 15 oranında düşürdüğü tespit edildi. Borür tabakasının ana yapıya paralel düz bir yapıda olduğu belirlendi. Borür tabakası kalınlığında 10-15 mikron gibi düşük bir seviyede olduğu tespit edildi.

Borlamanın radyasyon soğurma katsayısını olumlu yönde etkilediği ve borla kaplanmış paslanmaz çeliklerin radyasyon zırhlamasında daha etkili sonuçlar vereceği belirlenmiştir. Çeliğin radyasyon soğurma katsayısı gamma enerjisine bağlı olarak değişmektedir. Nükleer santrallerde, normal paslanmaz çelik yerine borla kaplanmış paslanmaz çeliğin kullanılması borlamanın radyasyon geçirgenliğini azaltıcı etkisinden dolayı nükleer santrallerin güvenliğinin artırılmasına olumlu yönde etkisi olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz Çelik, Bor, Borlama, Radyasyon, Zırhlama

2008, 83 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF BORONIZING ON THE RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF STAINLESS STEEL

Adem TURHAN

**Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences
Machine Education Department**

Thesis Committee: Assoc. Prof. İskender AKKURT
Asst. Prof. Osman ŞAHİN
Asst. Prof. Adnan ÇALIK (Supervisor)

In this research, the surface of the AISI 304 stainless steel is boronized with the dust of ekabor 3 in 1200 °C temperature for three hours. Shrinkage experiment has been applied to the boronized and non-boronized stainless steel and their hardness has been measured by taking picture of optical micro structure. Then radiation absorbing capabilities of the boronized and non-boronized stainless steel has been measured by taking three samples, using geiger-müller counter with Co 60 and Cs 137 gamma sources in the range of 652 keV and 1250 keV. With the help of this the applicability of the boron's shielding effect against radiation is tried to be measured.

It is determined that the boronizing of the AISI 304 stainless steel doesn't decrease the yield resistance of it, approximately ductility decreased as % 25 and tensile strength decreased as %15. It has been defined that the boron layer has parallel structure to the main construction. Also it is defined that the boron layer has low level as 10-15 micron.

So it is determined boronizing of the stainless steel's shielding effect against radiation will give effective results. Radiation absorbing capabilities of steel change with relation to gamma energy. It is claimed that instead of using normal stainless steel in the nuclear reactors, using boronized steel will help decreasing the security of the reactors stainless.

Keywords: Stainless Steel, Boron, Boronizing, Radiation, Shielding

2008, 83 pages

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmamda, bor ve borlama konularındaki büyük bilgi birikimi ve tecrübesiyle gerek literatür taramalarında gerekse de deneysel çalışmalarda tüm gücüyle yardımcı olan danışmanım, hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Adnan ÇALIK' a sonsuz teşekkür ederim. Radyasyon konularındaki araştırmalarım da etkin ve derin bilgisi ile bana yol gösteren ve yönlendiren sayın hocam Doç. Dr. İskender AKKURT' a çok teşekkür ederim. Radyasyon konusundaki deneysel çalışmalarda yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Hakan AKYILDIRIM' a teşekkür ederim. Yüksek lisans arkadaşım Şahin AKBUNAR' a yardımlarından ve katkılarından dolayı teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

1130-YL-05 No'lu Proje ile tezimi maddi açıdan destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni manevi açıdan destekleyen ve yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Adem TURHAN
ISPARTA, 2008

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Çekirdek kararlılığının nötron proton oranına bağlılığı.....	6
Şekil 2.2 Kararsız bir radyoaktif çekirdekten kararlı bir çekirdek oluşumu.....	8
Şekil 2.3 Uranyum-238 radyoaktif serisi.....	8
Şekil 2.4 α , β ve γ Işınlmasının insan üzerine etkileri.....	10
Şekil 2.5 Beta (-) bozunumu.....	10
Şekil 2.6 Radyasyonların birbirine göre gericilik gücü.....	11
Şekil 2.7 β (+) bozunumu.....	12
Şekil 2.8 x gram ağırlığında radyoaktif bir maddenin yarı-ömürleri ve kalan miktarları arasındaki ilişki.....	15
Şekil 2.9 Radyasyon yayınıcı.....	17
Şekil 2.10 Zayıflama.....	18
Şekil 2.11 Zırhlama	19
Şekil 2.12 Fotoelektrik Olay.....	22
Şekil 2.13 Compton saçılımı.....	23
Şekil 2.14 Çift Oluşumu.....	24
Şekil 2.15 Borlanmış AISI 4140 çeliğinde borür tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının mikro yapı resmi	33
Şekil 2.16 Borür tabakasının şematik gösterimi.....	33
Şekil 2.17 Katı borlama işleminin şematik gösterimi	35
Şekil 2.18 Akışkan yatakta borlama sistemi.....	39
Şekil 2.19 Fe-Cr alaşımlarında Cr miktarının korozyon direncine etkisi.....	47
Şekil 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan numunenin şekil ve boyutları.....	55
Şekil 3.2 SDÜ Nükleer Fizik Laboratuvarında kullanılan Geiger- Müller sayacı.....	56
Şekil 3.3 Lineer zayıflatma katsayısının deneysel olarak elde edilmesi.....	57
Şekil 3.4 X ve gama ışınlarının soğurulmaları.....	57
Şekil 4.1 Borlanmış ve borlanmamış AISI 304 paslanmaz çeliğin çekme diyagramı.....	60
Şekil 4.2 Borlanmış AISI 304 çeliğin mikroyapısı.....	61

Şekil 4.3. AISI-304 paslanmaz çelik için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.....	63
Şekil 4.4. İki farklı enerjide çeliklerin soğurma katsayılarına borlamanın etkisi.....	63
Şekil 4.5. İki farklı enerjide çeliklerin soğurma katsayılarına borlamanın etkisinin üç boyutlu grafiksel gösterimi.....	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 İyonlaştırıcı radyasyonların karşılaştırılması.....	14
Çizelge 2.2 Bazı radyoaktif izotoplar ve yarı-ömürleri.....	16
Çizelge 2.3 Metallerin mekanik özelliklerine hızlı-nötron radyasyonunun etkisi.....	25
Çizelge 2.4 Ticari öneme sahip başlıca bor mineralleri.....	28
Çizelge 2.5 Borlanmış çeliklerin yüzey sertliklerinin diğer işlemlerle ve sert malzemelerle karşılaştırılması.....	31
Çizelge 2.6 Macunla borlamada kullanılan koruyucu gazlar ve özellikleri.....	36
Çizelge 2.7 Bor Ürünlerinin Kullanım Sektörleri.....	41
Çizelge 2.8 Bor Kimyasal ve Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	42
Çizelge 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.....	54
Çizelge 4.1 Borür tabakasının ve geçiş bölgesinin kalınlıkları ile borür tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının mikro sertlikleri.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	Alfa taneciği
β	Beta taneciği
γ	Gama ışması
μ	Lineer zayıflatma katsayısı
p	Proton
n	Nötron
D	Emilen doz derecesi
P	Malzeme yoğunluğu
Q	Hacimsel ısı üretimi
H_v	Vickers sertliği
e⁻	Elektron
e⁺	Pozitron
I₀	Soğurucuya giren radyasyon şiddeti
I	Soğurucudan çıkan radyasyon şiddeti
x	Soğurucu kalınlığı
τ	Fotoelektrik soğurma katsayısı
σ	Compton soğurma katsayısı
K	Çift oluşumu soğurma katsayısını
ALARA	Olabilen en düşük radyasyon miktarı
DPA	Atomun yer deđiřtirmesi
YMK	Yüzey merkezli kübik
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
YTK	Yarı tabaka kalınlığı
OTK	Onuncu tabaka kalınlığı
I.S.I.C.	Uluslararası standart sanayi tasnifi
G-M	Geiger-müller

1. GİRİŞ

İnsanlar tüm yaşamları boyunca radyasyonla iç içe olmuşlardır. Radyasyon kaynakları var olduğu sürece radyasyon olacak ve bundan uzak durmak mümkün olmayacaktır. 19. yüzyılın sonlarına doğru X ışınları ve radyoaktivitenin keşfiyle birlikte tıbbi ve endüstriyel alanlardaki kullanımının günümüze kadar giderek artan bir hızla yaygınlaşması radyasyonu yaşantımızın ayrılmaz bir parçası haline getirmiştir. Radyasyon teknolojisi toplumsal yaşamı kolaylaştırmasının yanında maruz kalmaya bağlı birçok sağlık problemini de beraberinde getirmiştir.

Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir. Radyasyondan korunmanın üç temel unsuru zaman, mesafe ve zırhlama kuralıdır. Radyasyon kaynağı ile insan arasına zırhlama malzemesi konulmasıyla maruz kalınacak doz azaltılır. X ve gama ışınlarının zırhlanması, zırh malzemesinin yoğunluğuna bağlıdır (Kılınçarslan vd, 2007).

Günlük hayatta çok sık kullanılan AISI 304 gibi çelik malzemelerin radyasyon soğurma özelliğinin belirlenmesi gereklidir. Kullanılacak alanlara bağlı olarak radyasyon soğurma özelliğinin artırılması çok önemlidir. Borlama bu tür uygulamalar için en yaygın olan methodur.

Borlama, yüksek sıcaklıkta ana metalin yüzeyinde borür tabakası oluşturulması işlemidir. Borlama günümüzde yalnızca metallere değil, Sermet ve seramik malzemelere de uygulanmaktadır. Bor kaplama, yüzeyde bileşik oluşturacak şekilde bor atomlarının difüzyonu olarak da bilinmektedir. Borlama işlemi, yüzeyi iyi temizlenmiş malzemelere 700-1000 °C sıcaklık aralığında, 1-10 saat sürelerde katı, sıvı veya gaz ortamında termo-kimyasal borlama, plazma borlama ve akışkan yatakta borlama gibi yeni olan tekniklerde kullanılmaktadır (Şen, 1997).

Borlama işleminde bor' un yüzeye yayılması sonucu parçanın en üst yüzeyinde bileşik tabaka adı verilen borürlü bölge, onun altında yer alan yayınma (difüzyon) bölgesi ve en iç kısmında ise çekirdek bölgesi yer alır (Toprak, 2002).

Bütün paslanmaz çelikler esas olarak demir alaşımlarıdır ve pasifleşme özelliği gösterirler. Bunu ifade etmek üzere İngilizcede lekesiz anlamına gelen “stainless” kelimesi kullanılmıştır. Bu çeliklerde pasifleşmeyi sağlayan asıl metal kromdur. Alaşımı oluşturan diğer bileşenler paslanmaz çeliğin diğer yapısal özelliklerini geliştirmek içindir. Eğer yüzeyde pasif film oluşmaz ise, paslanmaz çelikler de diğer demir alaşımları gibi korozyona uğrayabilir. İlk paslanmaz çelikler demir içine %10-%18 krom katılarak elde edilmiştir. Başlangıçta elde edilen paslanmaz çelikler içerisindeki karbon yüzdesi oldukça yüksekti. Günümüzde karbon yüzdesi düşürülerek paslanmaz çelik teknolojisinde büyük gelişmeler olmuş ve üstün mekanik özelliklere sahip çelikler elde edilmiştir (Gürkan, 2007).

Bu çalışmada, AISI 304 paslanmaz çeliğin yüzeyi kutu borlama tekniği ile katı ortamda, Ekabor 3 tozu kullanılarak çelik pota içinde borla kaplaması yapılmıştır. Borlama sonrası numuneler üzerinde mekanik ve metalurjik ölçümler ve analizler yapılmıştır. Elde edilen bor kaplı çeliklerin radyasyon soğurma katsayıları Geiger-Müller (G-M) sayacı kullanılarak ölçülmüştür. Bunun için radyoaktif kaynaklardan kobalt 60 ve sezyum 137 kaynakları kullanılarak elde edilen radyasyonun çelik malzemelerinden geçişleri ölçülerek soğurma katsayıları elde edilmiştir. Ölçümler önce borlanmamış paslanmaz çelikte yapılmış sonra ise borla kaplanmış çeliklerle gerçekleştirilerek ölçümlerde borlamanın etkisi ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kılınçarslan vd. (2007), Belli oranlarda barit ve normal agregada ile C20, C30 ve C40 dayanım sınıfına sahip üç farklı seri betonlar üretmişler, elde edilen beton serilerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile radyasyon soğurma katsayılarını bulmuşlar, beton bileşimleri ve agregadaki barit miktarı değişiminin beton dayanım değerlerini ve lineer soğurma katsayılarının değişimini incelemişler ve hangi oranlarda değiştirdiğini istatistiksel analizler ile belirlemişlerdir. Çalışma neticesi normal agregada yerine barit kullanılması ile barit oranı artışı ile lineer soğurma katsayısının arttığını, fiziksel ve mekanik dayanımlarda değişme olduğunu tespit etmişlerdir.

Kaçar (2006), 0.001 Mev ile 10000 Mev enerji aralığında beton barit agregalı ağır beton ve kurşun malzemeleri için delphi programlama dili kullanarak zırh kalınlığı hesaplama programı oluşturmuştur. El ile çözülen örnekler ile karşılaştırmış ve aynı değerlerin tespitini sağlamıştır. Ayrıca zırh malzemesi kalınlığının yoğunlukları sırası ile 11.35 gr/cm³, 3,2 gr/cm³ ve 2.35 gr/cm³ olan kurşun, baritli ağır beton ve normal beton yoğunluğa ters orantılı olarak azaldığını tespit etmiştir.

Başığit ve Kaçar (2006), Radyasyon zırhlanmasında yapı malzemelerinin özellikleri malzemeler ile olan etkileşiminin ifadesi olan radyasyon tutuculuk katsayısı (μ); cam, normal beton, baritli beton, düşük karbon çeliği, ahşap gibi yapı malzemeleri için 10 keV ile 100 GeV geniş enerji aralığında hesaplamışlardır. Hesaplanan μ değeri, yüksek ve düşük enerji bölgelerinde önemli değişimler gösterirken, orta enerji bölgelerinde ise aynı değişimi göstermediğini tespit etmişlerdir.

Şahinaslan (1997), Blanket malzemedeki DPA değeri, helyum ve hidrojen üretimleri SS-304, SiC ve grafit için değerlendirildiğinde en iyi, yıpranmanın 30 yıl sonunda en az olduğu blanket malzemesinin SS-304 olduğunu, bu malzemeyi grafit ve SiC' in takip ettiğini tespit etmiştir. Ayrıca bu blanket yıpranmasının en aza indirilmesi için en ideal soğutucu akışkanın da Flibe olduğunu, bunu natural lityum ve Li₁₇Pb₈₃' ün takip ettiğini ortaya koymuştur.

Onur (2002), Farklı beton tiplerini, uygulamada sıkça kullanılan üç farklı gama kaynağı için zırlama özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Yarı tabaka kalınlığı tayinini beton yoğunluğuna göre grafik olarak çizmiştir.

Durmaz (2002), Karbonlu yapı çelikleri için, üç farklı gama radyoizotop kaynağına ilişkin yarı-kalınlık tayini yapmıştır. Çalışılan karbonlu yapı çelikleri için üç farklı gama radyoizotop kaynağı için yapılan deneylerden hareketle tayin edilen yarı-kalınlıklar çerçevesinde yapı çeliklerine ilişkin zırlama değerlendirilmesi yapmış ve karşılaştırmalı olarak yorumlamıştır.

Kılınçarslan (2004), Barit oranının artışı ile tüm beton serilerinde betonların yoğunluğu ve radyasyon geçirgenliği arasında anlamlı bir ilişki bulmuştur. Barit oranının artması, radyasyon geçirgenliğini olumlu yönde etkilediğini belirlemiştir.

Akkurt vd. (2008), Borlanmış demir esaslı paslanmaz çelik malzemelerin radyasyonu daha iyi soğurduğu sonucuna ulaşmışlardır.

2.1. Radyasyon

Radyasyon, doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjiler diye adlandırılır. Radyasyon esas itibarıyla “parçacık” ve “dalga” tipi radyasyon olarak iki kısımda incelenebilir. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyondur. Dalga tipi radyasyon, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla (3×10^8 m/saniye) hareket ederler. Parçacık ve dalga tipi radyasyonlar da ikiye ayrılır. Bunlar, “iyonlaştırıcı” ve “iyonlaştırıcı olmayan” radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilir. İyonlaşma, radyasyonla etkileşime giren herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dâhil tüm canlıların vücudunda da ortaya çıkabilir.

Radyoaktiflik, 1895 yılında Wilhelm Röntgen'in x-ışınlarını bulmasından sonra, 1896 yılında Henry Becquerel'in uranyumun gözle görülmeyen ışınlar yaydığını keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu buluşların ardından Marie ve Pierre Curie tarafından başka radyoaktif elementler bulunarak izole edilmiştir. Radyoaktif maddeler tarafından yayılan ışınların özellikleri ise, Ernest Rutherford tarafından ortaya konulmuştur. (www.aof.anadolu.edu.tr).

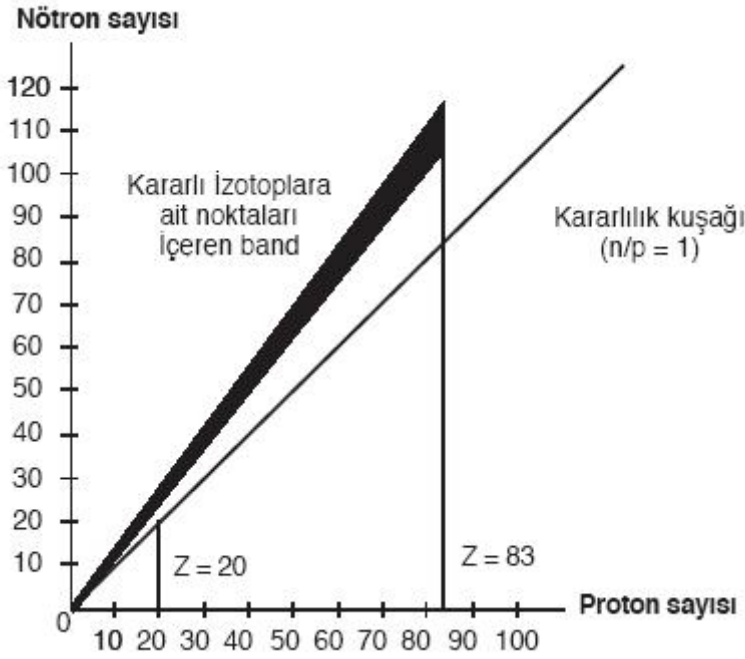
2.1.1. Çekirdek ve Özellikleri

Bir atomun çekirdeğinde, proton ve nötron, çekirdeğin çevresinde de elektron bulutu vardır. Proton, pozitif elektron yüklü taneciktir. Atomun tüm kütlesi çekirdeğinde toplanmıştır. Elektronlar ise negatif yüklü elektrik taneciğidir. Atomda, protonlar ve nötronlar toplamı kütleyi meydana getiren çekirdeği oluştururlar. Proton ve nötron taneciklerine “çekirdeklerin yapı taşları” anlamına gelen nükleonlar adı verilmektedir. Bir çok olayın araştırılmasından ortaya çıkan sonuç, proton ve nötronlar aynı bir ana parçacığın birbirine dönüşebilen değişik halleridir (Şahinaslan, 1997).

Atom çekirdeklerinin, parçalanmaya ve nükleer bozunmaya karşı dayanıklılığına çekirdek kararlılığı adı verilir. Çekirdek kararlılığında en büyük etken, atom çekirdeklerinin bünyesinde yer alan nötron ve protonların birbirlerine olan oranlarıdır. Atom kütlesi küçük olan çekirdeklerin kararlı olabilmeleri için nötron/proton oranının bir veya bire yakın bir değerde olması gereklidir. Örneğin ${}^{12}_6C$, ${}^{13}_6C$ ve ${}^{14}_6C$ izotoplarına ilişkin nötron/proton değerleri sırasıyla 1,00, 1,16 ve 1,33 dür. Bu nedenle doğal karbon, izotopları arasında kararlı olmasına karşın, kararsız radyoaktif bir elementtir. Atom kütlesi büyük olan bir çekirdeğin kararlı olabilmesi için nötron/proton oranının yaklaşık 1,5 civarında bir değerde olması gereklidir (Berber, 2005).

Eğer bir genelleme yapılacak olunursa, ${}^{40}_{20}Ca$ kadar olan küçük kütleli atomlarda nötron/proton oranının yaklaşık bir olduğunu, daha büyük kütleli atomlar için bu

eşitliğin bozulduğunu belirtebiliriz (Şekil 2.1). Bu durumun sebeplerini, atom çekirdeklerindeki itme ve çekme kuvvetlerinde arayabiliriz. Doğal olarak atomların atom numarası arttıkça, proton sayıları artmakta ve protonlar arası itme etkileşimi de buna paralel artmaktadır. Yani çekirdeği bir arada tutan çekme kuvvetlerine kıyasla, itme kuvvetleri gittikçe daha etkin olmakta ve bir noktadan sonra ön plana geçebilmektedir. Bu durum ise çekirdeklerin kararlılığının azalmasına neden olmaktadır. (www.aof.anadolu.edu.tr).



Şekil 2.1. Çekirdek kararlılığının nötron proton oranına bağlılığı (Berber, 2005)

Atom numarası ${}_{20}^{40}\text{Ca}$ ' den yüksek çekirdeklere bu itme kuvvetlerinin etkisini azaltmak için gittikçe artan nötrona ihtiyaç duyulur. İşte bu nedenle atom numarası arttıkça nötron/proton oranı 1,5' a doğru yükselir. Atom çekirdeklerindeki nötron sayısı ne kadar çok olursa olsun, yine de kararlı bir çekirdekte bulunabilen proton sayısı sınırlıdır. En büyük atom numarasına sahip kararlı çekirdek, ${}_{83}^{209}\text{Bi}$ çekirdeğidir. Daha büyük atom numarasına sahip çekirdeklerin hepsi

"radyoaktif" özellik taşırlar. Radyoaktif çekirdekler, kararlı bir nötron/proton oranına ulaşınca kadar "radyoaktif çekirdek bozunması" olarak adlandırılan bir süreçle "radyasyon" yayarlar. Çekirdek kararlılığını etkileyen nedenlerden bir diğeri de nötron ve proton sayılarının tek veya çift oluşudur. Tek - çift kuralı olarak bilinen bu kurala göre, nötron ve (veya) proton sayıları çift olan çekirdeklerin kararlı oldukları tespit edilmiştir. Örneğin bilinen 264 kararlı çekirdekten 102 tanesinde nötron veya proton sayılarının çift olduğu, 157 tanesinde hem nötron hem de proton sayılarının çift olduğu ve sadece 5 tanesinde nötron ve proton sayılarının tek olduğu belirlenmiştir. Çekirdek kararlılığına ilişkin bir diğeri ilginç durum ise "sihirli sayılar" olgusudur. Sihirli sayılar kuralına göre nötron ve/veya proton sayıları 2, 8, 20, 50, 82, 126 olan çekirdekler çok kararlıdır. Bu sebeple söz konusu sayılara "sihirli sayılar" adı verilmektedir. Aynı zamanda hem proton hem de nötron sayıları sihirli sayılardan birine eşit ${}^4_2\text{He}$, ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ gibi çekirdekler, bolluk dereceleri (doğal dağılım oranları) yüksek olan kararlı izotoplardır (www.aof.anadolu.edu.tr).

2.1.2. Radyoaktivite

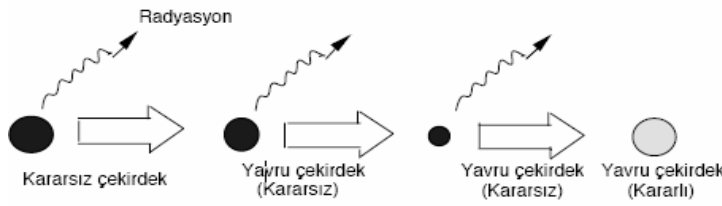
Doğada kararlı bir çekirdeğe sahip atom sayısı ok azdır. Bir çekirdeğin kararlı olabilmesi için, belli sayıda nötrona ve protona sahip olmasına gerekir. Bu sayıların dışına çıkıldığı zaman, çekirdekler kararsız bir yapıya dönüşürler. Kararlı hale gelebilmek için parçalanan bu tür çekirdekler, "radyoaktif çekirdek" ler olarak adlandırılırlar. Ağır elementlerin çoğu radyoaktif özelliklere sahiptir (Berber, 2005).

Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Herhangi bir şekilde müdahale edilip yavaşlatılmaz veya durdurulamaz. Üstel bir fonksiyon şeklinde zayıflayan bir tempo ile azalarak tükeninceye kadar devam eder. Buna radyoaktif bozunma denir (Mavi, 2004).

Radyoaktif çekirdekler kararlı bir nötron/proton oranına ulaşınca kadar, bozunmayı sürdürürler. Bozunma sürecindeki radyoaktif çekirdekler, alfa (α), beta

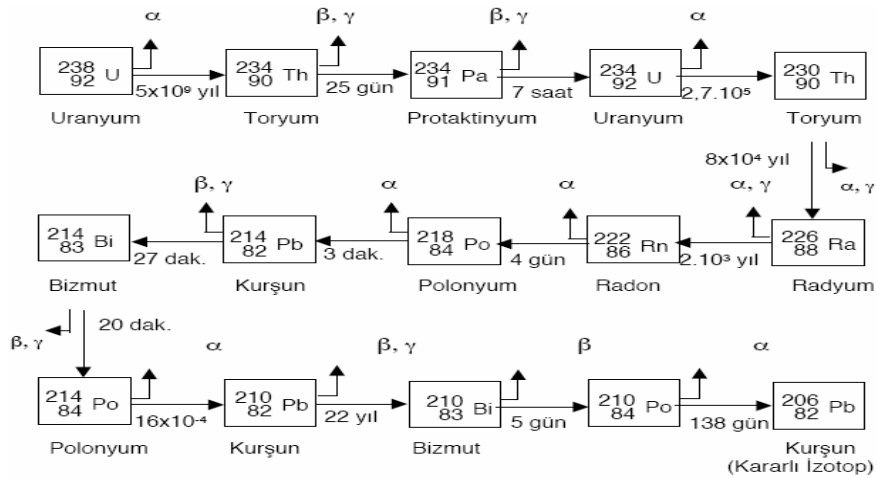
(β) ve gamma (γ) radyasyonlarından birini veya birkaçını yayımlayarak, kararlı bir çekirdek olmaya çalışırlar (Berber, 2005).

İlk bozunmaya uğrayan radyoaktif çekirdek "ana çekirdek", ve ana çekirdeğin radyoaktif bozunmaya uğraması sonucu oluşan çekirdek ise "yavru çekirdek" adını alır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Kararsız bir radyoaktif çekirdekten kararlı bir çekirdek oluşumu (www.aof.anadolu.edu.tr)

Bir radyoaktif ana çekirdekten alfa (α), beta (β) ve gamma (γ) bozunmaları sonucu yavru çekirdekler oluşturan serilere, "radyoaktif seriler" adı verilir. Radyoaktif seriler uranyum, toryum, aktinyum ve neptinyum serisi olarak dört gruptan meydana gelir. Her seri, bozunma zincirini tamamladıktan sonra kararlı bir çekirdek haline dönüşür. Şekil 2.3' de Uranyum-238 serisi gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Uranyum-238 radyoaktif serisi (www.aof.anadolu.edu.tr)

2.1.3. Radyoaktif Bozunma Türleri

Genel olarak altı önemli radyoaktif bozunma türü vardır.

1. Alfa bozunması
2. Negatif Beta bozunması
3. Pozitif Beta bozunması
4. Gamma bozunması
5. Elektron yakalaması (K-Yakalaması)
6. Nötron Yayını

2.1.3.1. Alfa (α) Bozunması

α -bozunması radyoaktif çekirdeklerin kararlı bir çekirdek yapısına ulaşmak için izlediği yollardan birisidir. Alfa (α) bozunması, radyoaktif çekirdekten kütle numarası 4 atom numarası 2 olan bir taneciğin ayrılması sonucu meydana gelir.

Ayrılan tanecik aslında bir helyum ${}^4_2\text{He}$ çekirdeğidir. Bir atom çekirdeği α

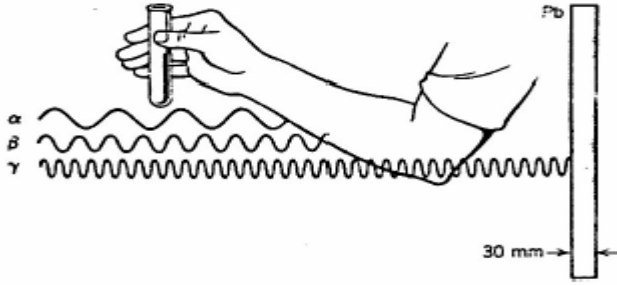
bozunmasına uğradığı zaman kütle numarasında 4 ve atom numarasında 2 eksilme olur. Örneğin uranyum' un en bol bulunan izotopu uranyum-238 bozunmasına uğradığı zaman toryum-234' e dönüşür (Berber, 2005).



Bu tür bozunmalarda okun sol tarafı başlangıçtaki radyoaktif çekirdeği, sağ taraf ise bu çekirdeğin radyoaktif bozunması sonucu meydana gelen ürünü gösterir. İfadenin doğruluğu ise her iki tarafta bulunan nötron ve proton eşitliğinin sağlanmasıyla kontrol edilir. Yukarıdaki ifade de,

	Okun solu	Okun sağ
Kütle numarası	238	234 + 4
Atom numarası	92	90 + 2

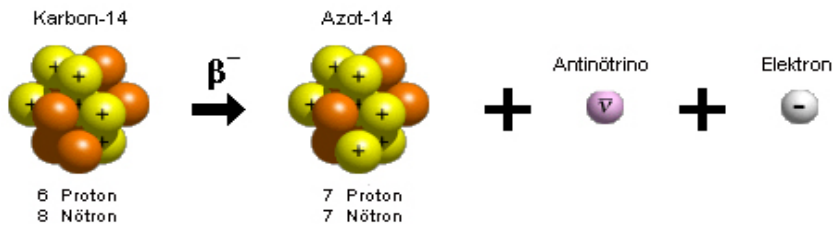
olduğundan doğru yazıldığı görülür. Bu ifade de oluşan toryum-234 (yavru çekirdek) de kararsız bir radyoaktif çekirdektir. Alfa (α) taneciklerinin giricilikleri (nüfuz etme gücü) azdır. Alfa tanecikleri ince bir kâğıt yardımıyla durdurulabilir. İnsan derisi alfa (α) taneciklerini hücrelere ulaşmadan durdurabilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. α , β ve γ Işınlarnın insan üzerine etkileri (www.aof.anadolu.edu.tr).

2.1.3.2. Negatif Beta (β^-) Bozunması

Beta (β) taneciğı çekirdekten yayınlanan yüksek enerjili bir elektrondur $\begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix} e$. Beta (β) bozunması sürecinde, radyoaktif çekirdekte bulunan bir nötron, bir proton ile bir elektrona β veya $\begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix} e$ dönüşür (Şekil 2.5) (Berber, 2005).



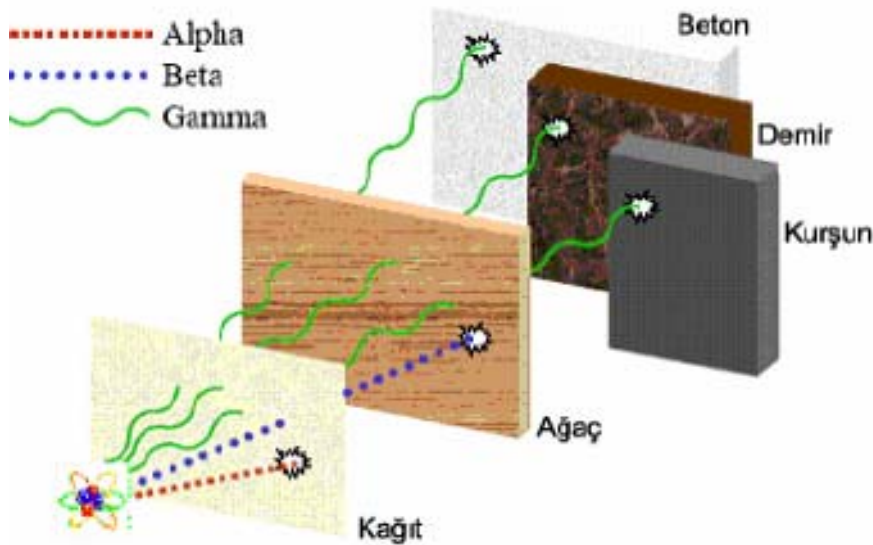
Şekil 2.5. Beta ($-$) bozunumu

Nötron/proton oranı çok yüksek radyoaktif çekirdeklerde, beta bozunması n/p oranının azalmasına ve bu azalma nedeniyle kararlılık artışına sebep olur. Oluşan bu elektron çekirdekten ani bir şekilde fırlar ve bu fırlama neticesi, radyoaktif çekirdek ardında kütle numarası aynı fakat atom numarası farklı bir yavru çekirdek bırakır. Örneğin uranyum-238 in α ışınması sonucu oluşturduğu toryum-234 bir β taneciği fırlatıcısıdır. Örnekte görüldüğü gibi ana ve yavru çekirdeklerin atom kütle numarasının değişmemesine karşın, yavru çekirdeğin atom numarasında bir artma meydana gelmektedir (www.aof.anadolu.edu.tr).



Beta, kütleleri ve tek değerli yükleri sebebi ile alfa parçacıkları gibi kolayca durdurulabildikleri gibi, düşük enerji seviyelerinde madde içine nüfuz etme kabiliyeti göstermezler (Şekil 2.6) (Kılınçarslan, 2004).

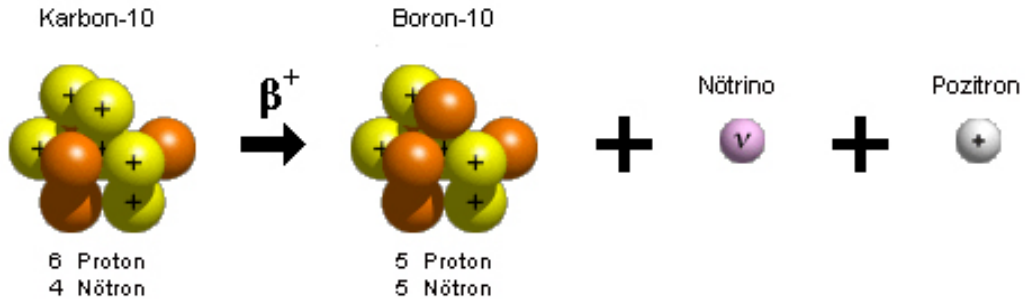
Beta tanecikleri kâğıttan geçerler fakat birkaç metre hava tabakası ve birkaç milimetrelik alüminyum levha ile bu ışınlar engellenebilir. Beta ışınları, dış derideki ölü seviyeye nüfus eder ve derinin iç kısmında durduğu için dış derideki dokuları yakmak suretiyle zarar verir (Bkz. Şekil 2.4) (www.aof.anadolu.edu.tr).



Şekil 2.6. Radyasyonların birbirine göre giricilik gücü

2.1.3.3. Pozitif Beta (β) Bozunması (Pozitron)

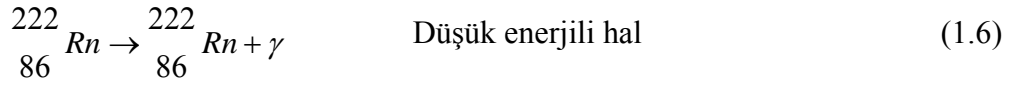
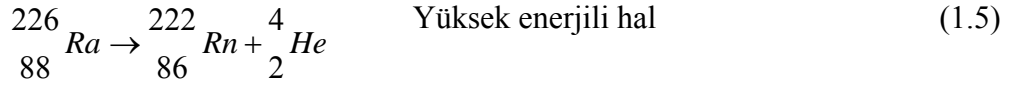
Pozitron bozunması çekirdekten bir pozitif elektron fırlatılması sonucu oluşur. Radyoaktif izotoplar çekirdeklerinde çok fazla protonlara sahip olabilirler. Aşırı sayıda proton içeren çekirdekler bozunmaya uğrayarak proton sayısı bir azalarak, kütle numarası sabit kalacak şekilde yeni bir izotop oluştururlar. Pozitron elektronun aynı değerine sahip kütleinin bir parçasıdır, fakat pozitif olarak yüklenmiştir. Pozitron pozitif olarak yüklenmiş beta parçası olarak da adlandırılır. Burada bir proton bir nötrona dönüşerek yeni çekirdek şekillenmesi oluşur (Şekil 2.7) (Mısıır, 2001).



Şekil 2.7. $\beta(+)$ bozunumu

2.1.3.4. Gamma (γ) Bozunması

Gamma (γ) ışınları tanecik değil, kısa dalga boylu ve yüksek enerjili (x- ışınları benzeri) ışınlardır. Alfa (α) ve beta (β) bozunması esnasında birçok atom çekirdeği uyarılarak yüksek enerjili hale gelirler. Bu şekilde yüksek enerjili hale gelen çekirdekler, gamma (γ) ışıması yardımı ile rahatlama yolunu seçerler. Kısaca birçok alfa ve beta bozunmalarının, gamma ışımasını da birlikte sürdürdüklerini söyleyebiliriz (Bkz. Şekil 2.3). Gamma ışıması sürdüren bir çekirdekte atom kütle numarası ve atom numarası değişmez. Gamma (γ) ışımasının mekanizmasını aşağıdaki gibidir (Berber, 2005).



Gama ışınları yüksüz oldukları için, malzeme içerisinde etkileşmeye maruz kalmaksızın uzun mesafe yol alabilirler. Bir fotonun malzeme içerisinde alacağı yol, istatistiksel olarak birim mesafede yapacağı etkileşmelere bağlıdır. Bu etkileşmeler de fotonun enerjisine ve fotonun yol almakta olduğu malzemeye bağlıdır. Bir gama fotonu malzeme ile etkileştiği zaman, malzeme tarafından yutulabilir, enerji kaybederek veya kaybetmeden saçılabilir ve yönü değişebilir. Genellikle, gama ışınları malzeme ile etkileşip zayıflarlar, tamamen yok olmazlar (Toprak, 2001).

2.1.3.5. Elektron Yakalanması (K- Yakalanması)

Elektron yakalanmasında atomun çekirdeği yörünge elektronlarından birini yakalar. Bu elektron çekirdekteki protonlardan biri ile birleşerek nötrona dönüşür ($p + e - 1 \rightarrow n$). Bu olay atomun proton sayısının 1 azalmasına sebep olur. Yani β^+ bozunmasına benzer ve çekirdek tarafından yörüngedeki bir elektronun yakalanması yörüngede bir elektron boşluğu oluşturur, bu yüzden yörüngeler arasında elektron geçişleri başlar ve bunun sonucunda da X-ışınları oluşur. Yani birincil ürünler X-ışınları salarak ikincil ürün haline gelirler. Bundan dolayı elektron yakalaması iki aşamalı bir olaydır. Birinci aşamada elektron çekirdek tarafından yakalanır ve bu olay atomu uyarılmış bir halde bırakır, ikinci aşamada ise elektro manyetik radyasyon yayınlanır. Bu olayda yakalanan elektron genellikle iç tabaka yani K tabakası elektronlarıdır ve bu sebeple bu olaya “ K yakalaması” denir. Bu olay genellikle β^+ bozunmasına uğrayan atomlar için alternatif bir bozunma şeklidir ve proton sayıları fazla olan kararsız çekirdeklerin çoğu zaman bu iki yoldan birine göre bozunma ihtimalleri vardır (Yülek, 1992).

2.1.3.6. Nötron Yayımları

Eğer çekirdek son derece yüksek uyarılma enerjisine ve nötron sayısına sahip ise nötron yayımlar. Çekirdekte nötronun bağ enerjisi kütle numarası ile değişirse de çoğu zaman bağ enerjisi ortalama 8 MeV civarındadır. Böylece, eğer çekirdeğin uyarılma enerjisi 8 MeV değerinden küçük ise nötron yayımlayarak bozunur (Mısırlı, 2001).



Nötronlar, giricilikleri son derece yüksek olan parçacıklardır. Nötronlar, atmosferde atomların çarpışmaları sonucu, uzaydan ve nükleer reaktörün içerisindeki bazı atomların parçalanmaları sırasında meydana gelir. Çizelge 2.1' de iyonlaştırıcı radyasyonların karşılaştırması verilmiştir (Kılınçarslan, 2004).

Çizelge 2.1. İyonlaştırıcı radyasyonların karşılaştırılması (Holbert, 2004)

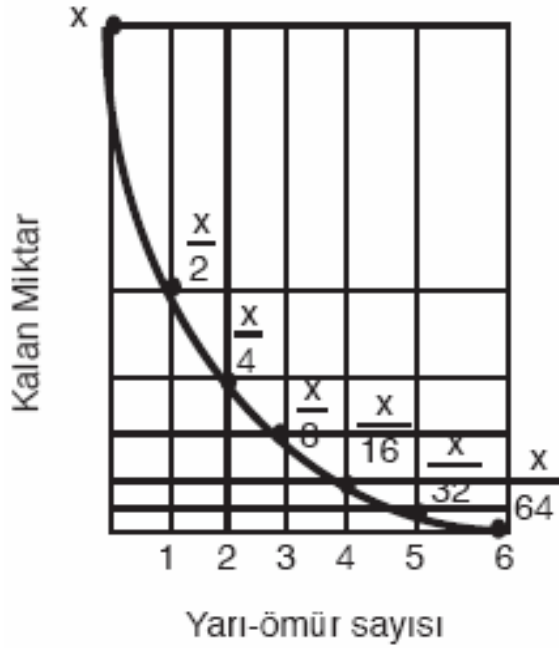
Özellik	Radyasyon ($E_K = 1$ MeV)				
	Alfa (α)	Proton (p)	Beta (β) veya Elektron (e)	Foton (γ veya x ışını)	Nötron (n)
Sembol	${}^4_2\alpha$ veya He^{2+}	1_1p veya H^{1+}	${}^0_{-1}e$ veya β	${}^0_0\gamma$	1_0n
Yük	+2	+1	-1	nötr	nötr
İyonlaşma	Doğrudan	Doğrudan	Doğrudan	Dolaylı	Dolaylı
Kütle (amu)	4.001506	1.007276	0.00054858	-	1.008665
Hız (cm/sn)	6.944×10^8	1.38×10^9	2.82×10^{10}	$c = 2.998 \times 10^{10}$	1.38×10^9
Işığın hızı	2.3%	4.6%	94.1%	100%	4.6%
Havadaki menzil	0.56 cm	1.81 cm	319 cm	82,000 cm*	39,250 cm*

* % 99.9' un üzerinde azaltılmış bir menzil temel alındı.

2.1.4. Yarı - Ömür

Radyoaktif maddelerin, kendilerine özgü bir bozunma hızları vardır. Radyoaktif izotopların bozunma hızı "yarı-ömür" adı verilen bir sayı ile gösterilir ve yarı ömür " $t_{1/2}$ " olarak ifade edilir. Yarı ömür ($t_{1/2}$), radyoaktif ve bozunmaya uğrayan bir örnekteki atomların yarısının yok olması için geçen zamandır (Berber, 2005).

Radyoaktif bir izotopun birinci yarı ömrü sonrası yarı miktarı yok olurken, diğer yarısı değişmeden kalır. İkinci yarı-ömür sonrası başlangıç miktarının $1/4$ ' ünü, üçüncü yarı-ömür sonrası başlangıç miktarının $1/8$ ' ini vs. kaybedecek şekilde azalmaya uğrar (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. x gram ağırlığında radyoaktif bir maddenin yarı-ömürleri ve kalan miktarları arasındaki ilişki (www.aof.anadolu.edu.tr).

Özellikle altının çizilmesi gereken bir durum ise, radyoaktif özelliğe sahip farklı izotoplara ilişkin yarı ömürlerin ve yayınladıkları radyasyon türlerinin farklılık gösterdikleridir. Çizelge 2.2' de bazı izotoplara ilişkin yarı-ömür ve radyasyon türleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı radyoaktif izotoplar ve yarı-ömürleri (Berber, 2005)

ELEMENT	İZOTOP	YARI-ÖMÜR	VERDİĞİ RADYASYON
Hidrojen	^3_1H	12 yıl	Beta
Karbon	$^{14}_6\text{C}$	5730 yıl	Beta
Fosfor	$^{32}_{15}\text{P}$	14 gün	Beta
Potasyum	$^{40}_{19}\text{K}$	$1,28 \times 10^9$ yıl	Beta ve Gama
Kobalt	$^{60}_{27}\text{Co}$	5 yıl	Beta ve Gama
Stronsiyum	$^{90}_{38}\text{Sr}$	28 yıl	Beta
İyot	$^{131}_{53}\text{I}$	8 gün	Beta ve Gama
Sezyum	$^{137}_{55}\text{Cs}$	30 yıl	Beta
Polonyum	$^{214}_{84}\text{Po}$	$1,6 \times 10^{-4}$ saniye	Alfa ve gama
Radyum	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 yıl	Alfa ve gama
Uranyum	$^{235}_{92}\text{U}$ $^{238}_{92}\text{U}$	$7,1 \times 10^8$ yıl $4,5 \times 10^9$ yıl	Alfa ve gama Alfa

2.1.5. Radyasyon Tehlikelerinden Korunma Yöntemleri

Radyasyondan korunmanın ana ilkesi, vücudun maruz kalacağı radyasyon seviyesini mümkün olan en düşük düzeye indirmektir. “Olabilen en düşük radyasyon miktarı” (ALARA) ile çalışmak radyasyonla çalışmada esastır.

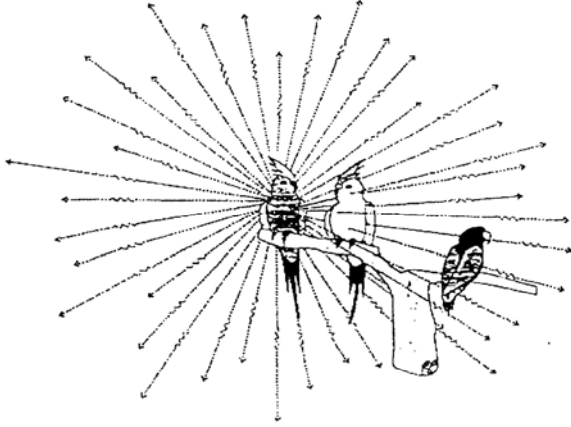
Bu açıdan radyasyon tehlikelerinden korunmada üç önemli faktör vardır. Bunlar;

- ✓ Radyasyon kaynağına uzaklık
- ✓ Işınlama süresi
- ✓ Zırhlama

olmaktadır (Durmaz, 2002).

2.1.5.1. Radyasyon Kaynağına Uzaklık

Radyasyon tehlikelerinden korunmada ilk önemli faktör uzaklıktır. Burada “ters kare” kanunu geçerlidir. Ters kare kanunu; Radyasyon şiddetinin, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalmasıdır (Şekil 2.9), (Onur, 2002). Bu durumda, radyasyon kaynağından 100 cm uzaklıktaki radyasyonun şiddeti, 10 cm uzaklıktaki radyasyon şiddetinden 100 kere daha az olacaktır. Bu yüzden radyasyonlu çalışmada ana ilke; radyasyon kaynağından mümkün olduğu kadar uzak durmak ve uzakta çalışmaktır (Durmaz, 2002).



Şekil 2.9. Radyasyon yayılımı (Durmaz, 2002)

2.1.5.2. Işınlama Süresi

Radyasyon ortamında çalışırken, gereksiz radyasyon dozu almamak için çalışma süresi mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır. Bunun içinde, çalışmaya başlamadan önce çalışma süresinin iyi planlanması ve bu plana çalışma süresince uyulması gerekir. Müsaade edilebilecek çalışma zamanı (saat/gün); günlük doz eşdeğeri sınırının (mrem/gün), ölçülen radyasyon doz şiddetine (mrem/saat) oranı olacak şekilde bulunabilir.

$$t_{\phi} = d_{mmd} / d_m \quad (1.9)$$

t_{ϕ} : Çalışma Süresi

d_{mmd} : Maksimum müsaade edilebilecek doz

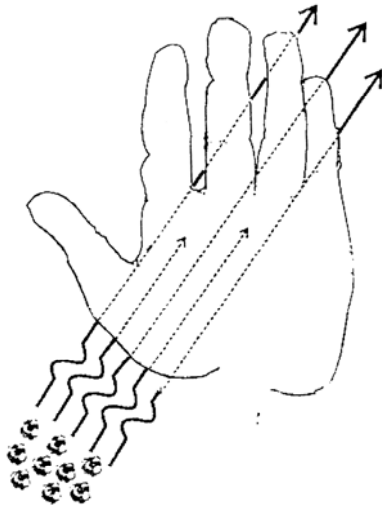
d_m : Ölçülen doz (Onur, 2002).

2.1.5.3. Radyasyon Kaynağının Zırhlanması

Radyasyon kaynağına olan uzaklığın ve kaynak yakınında çalışma süresinin sınırlanması radyasyon dozunu yeterince azaltamıyorsa, “zırhlama” yapılması gerekir (Durmaz, 2002).

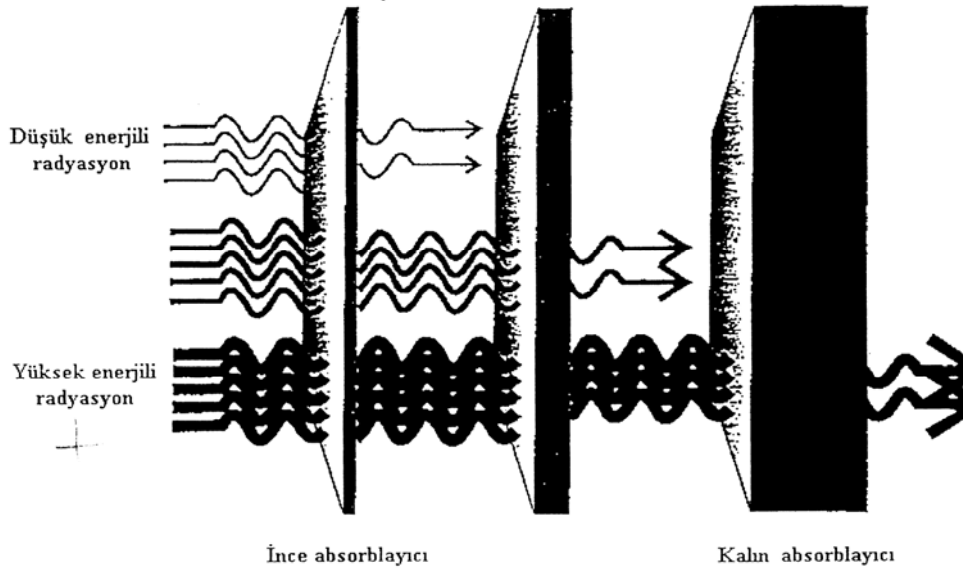
Belirli bir nokta için, radyasyon şiddeti (veya radyan enerji akı yoğunluğu), o noktayı merkez kabul eden birim tesir kesitli bir küreye birim zamanda giren enerji olarak tanımlanır (Durmaz, 2002). Bir radyasyon demetinin belirli bir ortamdaki şiddetinin ölçülmesi ise söz konusu ortamda 1 cm² lik alandan geçen foton veya parçacık sayısının belirlenmesi yoluyla yapılır (Yülek, 1992).

Radyasyon maddeyi geçerken çeşitli etkileşmelerin neticesinde şiddetinde bir azalma olur. Şiddetteki bu azalmaya “zayıflama” denir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Zayıflama (Durmaz, 2002)

Zırhlamanın amacı, radyasyon kaynağı ile çalışılacak yer arasında radyasyonu tamamen emecek veya şiddetini müsaade edilebilecek doz seviyelerine kadar azaltacak özellikte bir engel konulmasıdır. Genellikle, zırhlama; radyasyon tehlikesini önlenmede en etkin yoldur (Şekil 2.11), (Onur, 2002).



Şekil 2.11. Zırhlama (Durmaz, 2002)

Kaynaktan çıkan radyasyon, öncelikle zırh malzemesi ile etkileşerek enerjisinin büyük kısmını kaybeder, şiddeti azalır ve zırh tarafından önemli ölçüde yutulur.

Genellikle “yakın zırhlama” ve “uzak zırhlama” adı verilen iki zırhlama yöntemi vardır.

Yakın zırhlama yönteminde; bir radyasyon kaynağı içeren madde veya kap zırhlanır. Bu yöntem alfa ve beta gibi giricilikleri az olan radyasyonlara uygulanır.

Uzak zırhlama yönteminde ise; radyoaktif maddenin yakın çevresindeki bölge bir zırh ile çevrilir. Bu yöntem, özellikle yüksek giricilik kabiliyeti olan radyasyon türleri için kullanılır (Durmaz, 2002).

2.1.6. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Gama ve X ışını gibi bütün elektromanyetik radyasyonlar birçok olayda parçacıklara benzer davranış sergilediği için radyasyonların birim elemanına foton adı verilmiştir. Radyasyonun belirli bir frekansı için bütün paketlerde taşınan enerji miktarı aynıdır ve $E=h\nu$ gibi ifade edilir. Fotonlar, içinden geçtikleri maddenin atomları ile rastgele yaptıkları karşılıklı etkileşimler sonucu ortama enerji salarak absorblanabileceği gibi saçılma da uğrayabilirler. Radyasyonun madde ile etkileşimindeki önemli üç olay;

- Fotoelektrik Olay
- Compton Saçılımı
- Çift oluşumu olaylarıdır.

Bu üç olayın olma ihtimali, X ve gama ışınlarının enerjileri ile etkileşilen maddenin atom numarasına bağlı olarak değişir. Gelen radyasyonun şiddetindeki azalmaya radyasyonun zayıflaması veya zayıflatılması, etkileştiği maddede terk edilen enerjiye de soğurulma denilir (Şekil 2.12).

I şiddetinde paralel bir gama radyasyon demeti, Δx kalınlığındaki bir soğurucuda ΔI kadar azalırsa

$$\Delta I = -\mu I \Delta x \quad (1.10)$$

yazılabilir. Burada μ soğurucunun lineer soğurma katsayısı olup, her soğurucuya ait bir sabittir. Bu eşitliğin integrali alınırsa,

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1.11)$$

elde edilir. Burada I soğurucudan çıkan, I_0 da soğurucuya giren radyasyonun şiddetini, x soğurucunun kalınlığını, μ Lineer soğurma katsayısını gösterir.

$$\mu = \tau + \sigma + K \quad (1.12)$$

τ fotoelektrik soğurma katsayısını, σ Compton soğurma katsayısını ve K çift oluşumu soğurma katsayısını göstermek üzere üç ayrı enerji kaybetme olayının soğurma katsayılarının toplamına eşittir. Lineer soğurma katsayısının soğurucunun özgül ağırlığına bölümü ile kütle soğurma katsayısı (μ_m) elde edilir.

$$\mu_m = \mu / \rho \quad (1.13)$$

Gelen radyasyon şiddetini yarıya indiren soğurucu maddenin kalınlığına Yarı Tabaka Kalınlığı (YTK), onda birine indiren kalınlığa onuncu tabaka kalınlık (OTK) denir

$$\text{Yarı Tabaka Kalınlığı (YTK)} = l_{n2} / \mu \quad (1.14)$$

$$\text{Onuncu Tabaka Kalınlığı (OTK)} = l_{n10} / \mu \quad (1.15)$$

Burada, l_{n2} ve l_{n10} sabit değerler olup, μ maddenin lineer zayıflatma katsayısını ifade etmektedir. Foton demeti paralel ve geniş bir yapıya sahip ise, ölçülen radyasyon şiddeti saçılan fotonları da içerir. Bu nedenle zırh malzemesini geçen radyasyon şiddeti dar demet geometrisine göre daha büyük olur;

$$I = B \cdot I_0 e^{-\mu x} \quad (1.16)$$

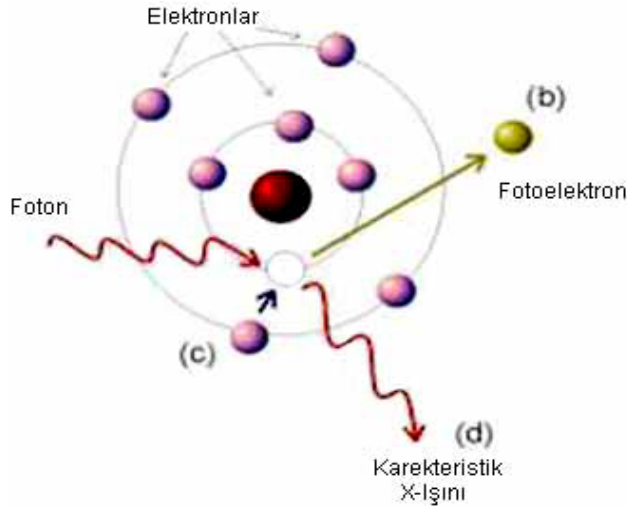
şeklinde ifade edilir. B düzeltme faktörü olup ($1 \leq B$) olarak tanımlanır. Verilen bir zırh malzemesi, kalınlık, foton enerjisi ve kaynak geometrisine bağlı düzeltme faktörü hesaplanır ve kullanılır. Bu faktör deneysel olarak elde edilen foton zayıflatma ölçümleri ile bulunabilir.

Düzeltilme faktörü ile ilgili yapılan çalışmalardan, bu faktörün

- a) Zayıflatılan ortamın doğasına
- b) Kaynak fotonlarının enerjisine
- c) Kaynak ile nokta arasındaki uzaklığın, ortalama serbest uzaklığa oranına
- d) Kaynağın geometrisine bağlıdır.

2.1.6.1. Fotoelektrik Olay

Düşük enerjili bir foton genellikle içinden geçtiği ortamdaki atomların K veya L yörüngesindeki bir elektrona enerjisinin tamamını vererek onu pozitif yüklü çekirdeğin bağlayıcı kuvvetinden kurtarır. Dışarıya fırlatılan bu elektrona fotoelektron denir. Bu olay sonucunda meydana gelen elektron boşluğu dış yörüngedeki diğer bir elektrona doldurulur ve bu sırada x ışını yayımlanır. 0,5 MeV' dan daha küçük enerjili fotonların ağır elementler tarafından soğurulmasında bu olayın çok büyük önemi vardır (Şekil 2.12). Bu olay esnasında gelen fotonun enerjisinin bir kısmı elektrona bağlı olduğu atomdan kopartabilmek için harcanır, geri kalan kısım koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır. Kurşun için fotoelektrik olay, 1 MeV' luk fotonlarla oluşabilir. Foton-elektron çarpışmaları düşük enerjilerde dış, yüksek enerjilerde iç yörüngelerde meydana gelir (Kaçar, 2006).

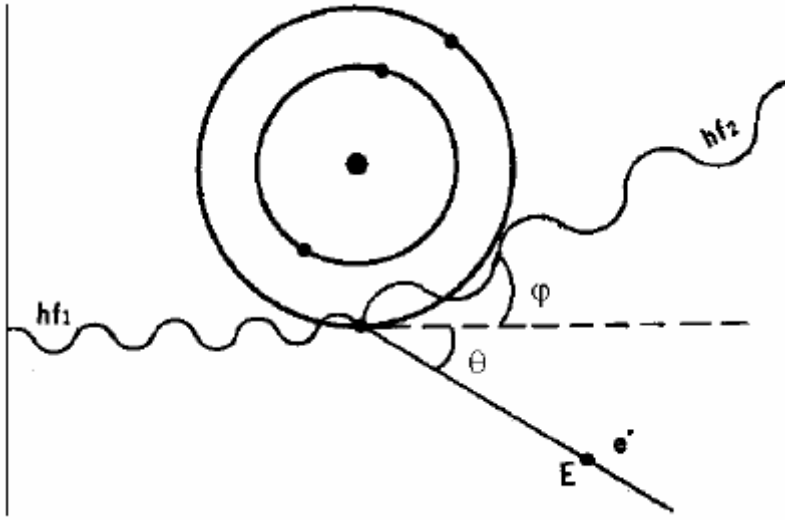


Şekil 2.12. Fotoelektrik Olay (Kaçar, 2006).

2.1.6.2. Compton Saçılımı

Bu olayda bir foton bir atomun elektronuyla çarpışır, enerjisinin bir kısmını kaybederek geliş yönünü değiştirir. Gelen foton üzerinde, atom çekirdeğinin bir nötron üzerindeki etkisine benzer bir etkisi vardır. Her iki durumda da gelen parçacık

çarpışmadan sonra ortamda kalmaya devam eder. Compton saçılması, 1 MeV ila 10 MeV enerji aralığındaki gama fotonları, düşük ve orta değerli atom numaralı elementler açısından baskınlık gösterir. Gama zayıflatma hesaplamalarındaki ana zorluk, Compton saçılmasında ortamda varlığını sürdüren gama fotonlarından kaynaklanır. Gama radyasyonunun zırhlanması bakımından Compton saçılması önemli bir mekanizmadır (Şekil 2.13), (Toprak, 2001).

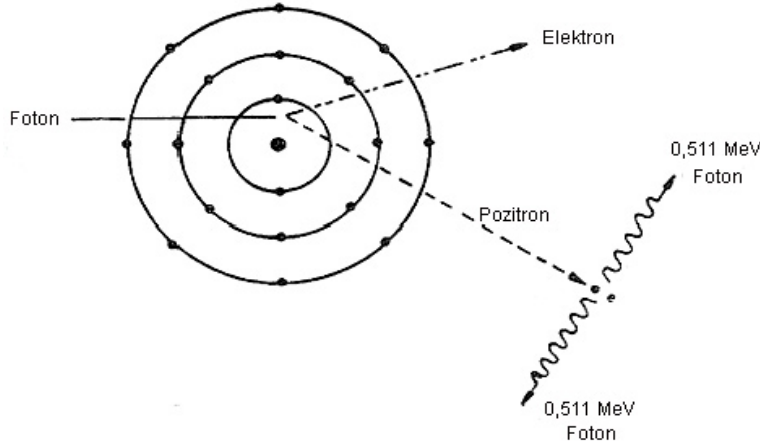


Şekil 2.13. Compton saçılımı (Kaçar, 2006)

2.1.6.3. Çift Oluşumu

Gama foton enerjisi, elektronun durgun kütle enerjisinin iki katından (1,02 MeV) da fazla ise çift oluşumu olayı meydana gelir (Onur, 2002). Enerjisi 1,02 MeV' u aşan bir gama ışını, bir atom çekirdeğinin elektriksel alanının tesiriyle bir elektron ve pozitrona dönüşerek kaybolur.

Çift oluşum olayının olma ihtimali, gama foton enerjisinin artmasıyla artar. Aynı zamanda gama foton şiddetinin çift oluşum olayı ile azalması, soğurucu maddenin atom numarasının karesi (Z^2) ile orantılıdır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Çift Oluşumu (Kaçar, 2006)

2.1.7. Radyasyonun Metalik Malzeme Özelliklerine Genel Etkileri

Radyasyonun malzeme üzerine genel etkileri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

1. Bozulma üretimi, kendileri radyoaktivite olabilen çekirdeğin diğer çekirdeğin içindeki faz değişimidir. Bu mekanizma, füzyon veya etkinleştirme işlemi sırasında nötronlar tarafından oluşmaktadır. Bozulmalar, aynı zamanda, bir proton veya bir alfa taneciği, sırasıyla malzeme geçişinde nötralize olurken, bir hidrojen ve helyum oluşumu sırasında birikmiş olabilir,
2. Malzeme yapısında normal durumlarda yer değiştirmeler; yer değiştiren atomlar kafes boşluğundan ayrılabilirler ve aradaki yerlerde kalabilir veya kafes yapısındaki birbirinden farklı atomların değiş tokuşuna neden olurlar.
3. İyonlaşma, malzemedeki atomlardan elektronların uzaklaştırılması ve yüklü parçacıkların yolunda iyon çiftinin oluşturulmasıdır.
4. Küçük bir hacimde büyük enerji salınımı, malzemenin ısınmasıyla sonuçlanabilir. Bu özellikle malzemenin bir radyasyon zırlaması olarak kullanılması durumunda önemli olabilir.

Nötronlar, yukarıdaki ilk iki etki ile özellikle verimliliğe neden olurlar. Radyasyon ve etkilerinin bir karşılaştırılması Çizelge 2.3' de verilmiştir. Doz ve doz oranının her ikisinin düşünülmesi, kalıcı ve ağır ışığa maruz kalma olarak tanımlanabileceği gibi radyasyon zararının değerlendirilmesinde de önemlidir (Holbert, 2004).

Çizelge 2.3. Metallerin mekanik özelliklerine hızlı - nötron radyasyonunun etkisi (Holbert, 2004).

<u>Malzeme</u>	<u>Tümleşik Hızlı Akış (NVT)</u>	<u>Radyasyon Sıcaklığı (°C)</u>	<u>Max. çekme Gerilmesi (MPa)</u>	<u>Akma Gerilmesi (MPa)</u>	<u>Uzama (%)</u>
Austenitic SS	0	-	576	235	65
Type 304	1.2x10 ²¹	100	720	663	42
Düşük Karbonlu Çelik	0	-	517	276	25
A-212 (.2%C)	2.0x10 ¹⁹	80	676	634	6
	1.0x10 ²⁰	80	800	752	4
	2.0x10 ¹⁹	293	703	524	9
	2.0x10 ¹⁹	404	579	293	14
Alüminyum 6061-0	0	-	124	65	28.8
	1.0x10 ²⁰	66	257	177	22.4
Alüminyum 6061-T6	0	-	310	265	17.5
	1.0x10 ²⁰	66	349	306	16.2
Zircaloy-2	0	-	276	155	13
	1.0x10 ²⁰	138	310	279	4

2.2. Bor Elementi

Dünya’da sayıca en fazla kimyasal türevleri olan elementlerden birisi olan bor, kökeni Farsça’da Burah, Arapça’da Buraq (Baurach) kelimelerinden gelmektedir. Genellikle doğada Na ve Ca’ nın tuzları şeklinde bulunmaktadır. Bor’ lu malzeme üretimi için bor cevherinden ve rafine edilmiş bileşiklerinden faydalanılmaktadır. Bor bileşikleri Uluslararası Standart Sanayi Tasnifi’ ne (I.S.I.C) göre grup kodu 311 olan Kimya Sanayi Sektörü içerisinde yer almaktadır (Irmak, 2006)

Bor, periyodik cetvelde “B” simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan geçiş elementidir. Bor tabiatta serbest halde bulunmaz. Doğada yaklaşık olarak 230 çeşit bor mineralinin varlığı bilinmektedir. Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, endüstride pek çok bor bileşiğinin kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Bor bileşiklerinin elektrik iletkenliği azdır, ancak, farklı olarak saf bor, karbon iletkendir. Kristalize bor görünüm ve optik özellikleri bakımından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir (Uluköy ve Can, 2006).

Bor elementi tabiatta serbest şekilde bulunmamaktadır. Yapay bor ise amorf ve kristal yapıda olmak üzere iki şekilde üretilmektedir. Amorf bor, siyah veya

kahverengi toz halinde, kristal bor ise siyah, sert ve kırılıgandır. Üç değeri bor, iyonik yarıçapının dört değeri silisten daha küçük olması sebebiyle, magmanın ilk kristalleşmesi esnasında meydana gelen minerallerin kristal kafeslerinde yer alamaz. Turmalin, danburit, dumortiyerit gibi borosilikatlar, granit pegmatitleri içinde ve granit dokularından oluşan pnömatolitik cevherlerde bulunmaktadır (Sümer, 2004).

Amorf Bor: Günümüzde askeri amaçlarla karakteristik yeşil renkli hedef aydınlatma malzemesi ve roketlerde ateşleyici olarak kullanılmaktadır. Amorf bor, bor karbür' ün KBF_4 ile birlikte ergimiş tuz rafinasyon elektrolizi ile elde edilmektedir.

Kristalin Bor: Wolfram filament üzerinde bor tın klorürün hidrojen gazı altında ayrıştırılması ile üretilir. Oda sıcaklığında yarı iletken bir malzemedir. Yüksek sıcaklıkta metaller gibi elektriği iyi iletir. $2180^{\circ}C$ ' de ergir, $3650^{\circ}C$ ' de kaynar. Metal berillerin hazırlanmasında kullanılır. Yan iletkenlerde dapont elemet olarak ve laser teknolojisinde kullanılmaktadır (Addemir, 2007).

2.2.1. Atomik Yapısı

- **Atomik Çapı:** 1.17\AA
- **Atomik Hacmi:** $4.6\text{cm}^3/\text{mol}$
- **Kristal yapısı:** Rhombohedral
- **Elektron Konfigürasyonu:** $1s^2 2s^2 p^1$
- **İyonik Çapı:** 0.23\AA
- **Elektron Sayısı (yüksüz):** 5
- **Nötron Sayısı:** 6
- **Proton sayısı:** 5
- **Valans Elektronları:** $2s^2 p^1$.(www.boren.gov.tr)

2.2.2. Kimyasal Özellikler

- Elektrokimyasal Eşdeğer: 0.1344g/amp-hr
- Elektronegativite (Pauling): 2.04

- Füzyon Isısı: 50.2kJ/mol
- İyonizasyon potansiyeli :
- Birinci: 8.298
 - İkinci: 25.154
 - Üçüncü: 37.93
- Valans elektron potansiyeli (-eV): 190 (www.boren.gov.tr).

2.2.3. Fiziksel Özellikler

- Atomik Kütle: 10.811
- Kaynama Noktası: 4275K 4002°C 7236°F
- Termal Genleşme Katsayısı: 0.0000083cm/cm/°C (0°C)
- Kondüktivite: - Elektriksel: $1.0E^{-12} 10^6/cm \Omega$
 - Termal: 0.274 W/cmK
- Yoğunluk: 2.34g/cc @ 300K
- Görünüş: Sarı-Kahverengi ametal kristal.
- +Elastik Modülü:
 - Bulk: 320/GPa
- Atomizasyon Entalpisi: 573.2 kJ/mole @ 25°C
- Füzyon Entalpisi: 22.18 kJ/mole
- Buharlaşma Entalpisi: 480 kJ/mole
- Sertlik:
 - Mohs: 9.3
 - Vickers: 49000 MN m⁻²
- Buharlaşma Isısı: 489.7kJ/mol
- Ergime Noktası: 2573K 2300°C 4172°F
- Molar Hacmi: 4.68 cm³/mole
- Fiziksel Durumu: (20°C & 1atm): Katı
- Spesifik Isısı: 1.02J/gK
- Buhar Basıncı: 0.348Pa@2300°C (www.boren.gov.tr).

2.2.4. Bor Mineralleri

Bor minerallerinin sınıflandırılması kristal yapılarına ve kristal yapılarındaki karmaşık bor-oksijen polianyonlarına göre yapılmaktadır. Bor üç oksijen ile çevrelenerek bir üçgen veya dört oksijen ile bağlanarak bir dört yüzlü oluşturur. Bu B-O üçgenleri ve dörtyüzlüleri köşe paylaşarak polinükleer anyonları yaparlar. Hidroksilli boratların polianyonlarında iki bor ile paylaşılabilen oksijenlere bir proton eklenir ve bunlar hidroksil gruplarını meydana getirirler. Bu polianyonlar bir molekül su bırakarak değişik şekillerde birleşir ve çeşitli bor minerallerini meydana getirirler (Çizelge 2.4), (www.boraxtr.com).

Çizelge 2.4. Ticari Öneme Sahip Başlıca Bor Mineralleri (www.boren.gov.tr)

Kernit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Tinkalkonit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<u>Tinkal</u>	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Probertit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<u>Üleksit</u>	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
<u>Kolemanit</u>	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Meyerhofferit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
İnyoit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
Pandermit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
İnderit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
Hidroborasit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$
Aşarit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Datolit	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Sassolit (doğal borik asit)	$\text{B}(\text{OH})_3$

2.2.5. Borlama

Borlama, termokimyasal bir yüzey sertleştirme işlemi olup, esas itibariyle metal yüzeyine bor atomu difüzyonu olarak adlandırılabilir. Borlama teknik açıdan oldukça geliştirilmiştir. Bor atomları ısı enerjisi etkisiyle metal yüzeyine yayınırlar ve esas metal atomlarıyla uygun borürler meydana getirirler. Aynı zamanda yaygın bir şekilde sert ve aşınma direnci yüksek tabakalar oluşturmada kullanılmıştır. Bu işlem bor atomlarının metalik malzemelerin yüzeyinden içeriye doğru difüzyonu ile gerçekleşmektedir. Özellikle ince tabakalı Fe borür (Fe B) fazı endüstriyel uygulamalar için arzu edilmektedir (Baştürk ve Erten, 2006).

Borlama işleminde bor' un malzeme yüzeyine yayınması neticesinde malzemenin en üst (dış yüzeyinde) kısmında borür tabakası, onun altında geçiş (difüzyon) bölgesi, bunun altında da anayapı (matris, çekirdek) meydana gelmektedir. Borür tabakasının kalınlığı malzemenin kimyasal bileşimine (cinsine), ergime sıcaklığına, ostenitleme (dönüşüm) sıcaklığına, alaşım elementlerinin oranına ve dağılımına bağlı olarak değişir. Borür tabaka kalınlığı arttıkça, borlanmış tabakanın kırılabilirliği artar. Borür tabaka kalınlığı; borlama sıcaklığına, borlama yöntemine ve borlama işlem süresine bağlı olarak değişir. Borlama sıcaklığı ve süresinin artması borür tabaka kalınlığı da artırır. Malzemedeki beklenen yüzey özellikleri bu şekilde elde edilir.

Borlama demir gurubu metallerin kopma ve akma dayanımlarını % 10 ila 20, yorulma dayanımlarını % 25 ve korozyonlu yorulma dayanımlarını % 200 artırmaya karşılık, metallerin plastisite özelliklerini düşürür. Borlama işlemi yapılacak malzemeler; özelliklerine göre 700 – 1000 °C sıcaklık aralığında, yaklaşık 1-12 saat süre ile katı, macun (pasta), sıvı, gaz veya plazma (iyon) fazındaki bor verici ortamlarda bekletmek suretiyle yapılan kaplama ısıl işlemidir (Çalık 2005a).

Borlama işleminin en önemli karakteristik özelliği, elde edilen borür tabakasının çok yüksek sertlik (1450-5000 HV) ve ergime sıcaklığına sahip olmasıdır. Sade karbonlu çeliklerde oluşan borür tabakalarının sertliği, diğer klasik sertleştirme yöntemleri olan semantasyon ve nitrürasyona göre çok daha yüksektir. Borür tabakasının yüksek

sertlik değeri ve düşük sürtünme katsayısı değerlerine sahip olması, aşınma direncinin oldukça yüksek olmasını sağlamaktadır. Borlama işlemi ile tungsten karbürün, elektrolitik sert krom kaplamaların ve sertleştirilmiş takım çeliklerinin sertlik değerlerine ulaşmak mümkündür (Şen, 1998).

Borlama, uygun malzemeye uygulandığında, sinterlenmiş karbürlerle karşılaştırılabilecek derecede iyi aşınma direnci sağlar (Körpe vd, 2004).

Bor kaplanmış çeliklerin ve diğer sert metallerin yüzey sertlik değerleri Çizelge 2.5’ da verilmektedir.

Borlama işlemi sayesinde, düşük alaşımlı ve yüksek alaşımlı çeliklerin H_2SO_4 , H_3PO_4 ve HCl gibi asitlere karşı dayanımını artırmak mümkündür. Borlanmış yüzeyler, yüksek sıcaklıklarda ($850^\circ C$) orta seviyede oksidasyon direncine karşı dayanıklıdır.

Borür tabakasının ergimiş metal eriyiklerine karşı dayanma direnci oldukça yüksektir. Borlanmış yapının yorulma ömrü ve servis süresi oksitleyici ve korozif ortamlarda yüksektir. Borlama işlemi, sürtünme katsayısını düşürür ve yağlayıcı kullanımını en aza indirir.

Borlama işleminin sahip olduğu avantajlar yanında bazı sınırlayıcı dezavantajları da vardır. Bunlar; bu yöntem borlanacak malzemenin yüzey özellikleri açısından çok hassas bir işlem ve işçilik gerektirmektedir.

Bu nedenle borlama, gaz karbürleme ve plazma nitrürleme gibi termokimyasal yüzey sertleştirme işlemlerine oranla daha pahalıdır. Borlama neticesinde, malzemede, ana malzemesinin bileşimine bağlı olarak borlanmış tabaka kalınlığının % 5-25’si oranında boyutsal artış gerçekleşir (Çalık, 2005b).

Çizelge 2.5. Borlanmış çeliklerin yüzey sertliklerinin diğer işlemlerle ve sert malzemelerle karşılaştırılması (Sinha, 1991)

Malzeme	Mikrosertlik HV (Kg/mm²)
Borlu Yumuşak Çelik	1600
Borlanmış AISI H13 Takım Çeliği	1800
Sertleştirilmiş ve Temperlenmiş A2 Takım 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 Çeliği BM42	900-910
Nitrürasyon Çelikleri	650-1700
Karbürleşmiş Düşük Alaşımli Çelikler	650-950
Sert Krom Kaplama	1000-1200
Sementit karbürler, WC+Co	1160-1820 (30 kg)
Al ₂ O ₃ + ZrO ₂ seramikler	1483 (30 Kg)
Al ₂ O ₃ + TiC + ZrO ₂ seramikler	1730 (30 Kg)
Sialon seramikler	1768 (30 Kg)
TiN	2000
TiC	3500
SiC	4000
B ₄ C	5000
Elmas	>10000

2.2.5.1. Borür Tabakası

Demir ve çelik cinsi malzemelerde, borlama işlemi sonucunda ana yapının dışında borür tabakası ve geçiş bölgesinden oluşan iki farklı yapı meydana gelmektedir (Çalık, 2005a).

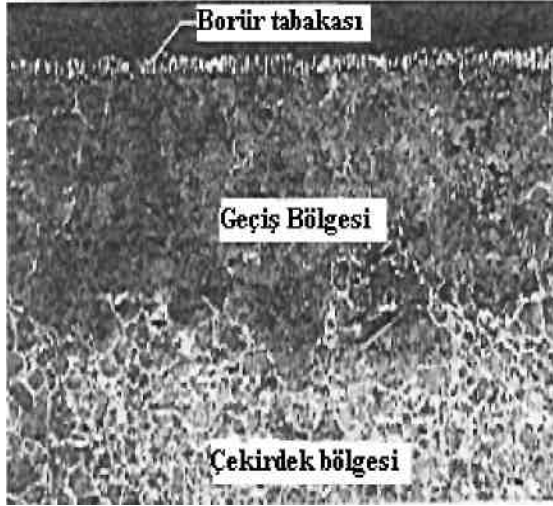
Bu tabaka, malzemenin en dış yüzeyi ile yüzeyin altındaki parmaklı (dişli) kısım arasına verilen isimdir. Bu bölgeye difüzyon bölgesi adı da verilmektedir. Bu tabaka

borlayıcı ortamdan alınan aktif bor, FeB veya Fe₂B oluşumu için, asıl malzeme tarafından tüketilen miktardan daha fazla olduğu işlem şartlarında sadece FeB veya Fe₂B oluşmaz aynı zamanda Fe₂B' a göre bor' ca daha zengin olan reaksiyon ürünleri de oluşabilir. Borür tabakasının kalınlığı, malzemenin kimyasal bileşimine, işlem sıcaklığına, işlem yöntemine ve süresine bağlıdır. Genellikle, bor tabakasında testere dişi şeklinde tek bir Fe₂B fazının oluşması istenir. Fe₂B fazının oluşması, FeB ve Fe₂B çift fazlı tabakanın oluşmasından daha fazla arzu edilir. Çünkü FeB fazı borca zengindir ve bu faz yaklaşık ağırlıkça % 16.23 oranında bor içerir. Bu durum arzu edilmez, çünkü FeB fazı diğer demir bor fazlarından daha gevreklerdir. Fe₂B fazı ağırlıkça % 8.93 bor içerir. FeB ve Fe₂B fazları çok farklı ısıl genleşme katsayılarına sahiptir. FeB fazının ısıl genleşme katsayısının $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ iken, Fe₂B fazınıninki ise $7.85 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ' dir. 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. FeB ve Fe₂B fazları birbirlerine çekme ve basma gerilmeleri uygulamakta ve fazlar arasında yüzeye paralel ve dik çatlaklar oluşturmaktadır. Dolayısıyla borür tabakasında mümkün olduğunca çok az oranda FeB fazının oluşturulmasına çalışılmalıdır (Delikanlı vd., 2003).

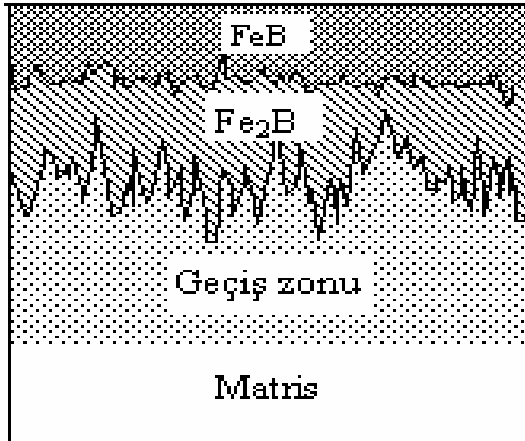
2.2.5.2. Geçiş Bölgesi

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 Fe₂B tabakalarının C, Si gibi elementleri çözündürememesi nedeniyle bu elementler yüzeyden içeri doğru itilir. Bu bölgede bulunan bor, borür oluşturamayacak sayıdadır. 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, tane irileşmesine neden olduğundan geçiş bölgesinde malzemenin taneleri irileşmekte ve sertliği azalmaktadır.. Malzeme yüzeyinde açık renkli oluşan diş şeklindeki borür tabakası ile ana malzeme arasında geçiş bölgesi olarak isimlendirilen bölge oluşur. Geçiş bölgesi alaşımlı ve yüksek karbonlu

çeliklerde meydana gelmektedir. Tane sınırları belirli olmayıp koyu renkte perlitik bir görünüme sahiptir. Şekil 2.15’ de borlanmış AISI 4140 çeliğinde borür tabakası, geçiş bölgesi ve anayapının mikroyapı resmi ve Şekil 2.16’ de şematik resmi verilmiştir. Bu bölgenin kalınlığı borlama şartlarına bağlı olarak, borür tabakası kalınlığının 3-10 katı arasında değişmektedir (Çalık, 2005a).



Şekil 2.15. Borlanmış AISI 4140 çeliğinde borür tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının mikro yapı resmi (Çalık, 2005a)



Şekil 2.16. Borür tabakasının şematik gösterimi (Şen, 1998)

Bor ile yüzey sertleştirmenin diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre üstün tarafları; yüzey tabakasının çok sert olması, sürtünme katsayısının düşük olması, bazı asit baz metal eriyikleri ve yüksek sıcaklık oksidasyonuna karşı dirençli olmalarıdır. Borlanmış çelikler, 1000 °C' ye kadar olan yüzey sıcaklıklarında dahi tribolojik özelliklerini kaybetmeden aşınmaya ve oksidasyona karşı direnç gösterirler. Borlama işlemi esnasında kullanılan yöntem, borlama malzemesinin (ortamının) bileşimi, borlanacak malzeme cinsi, işlem süresi ve işlem sıcaklığı elde edilen tabakaya etki eden faktörlerdir. Teorik olarak borür tabaka kalınlığı sınırsızdır. Bu ise işlem sıcaklığı ve sürenin artması ile mümkündür. Ancak işlem sıcaklığının Fe-B denge diyagramındaki ötektik sıcaklığın (1149 °C) altında olması gerekir. Çünkü bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklar malzeme yüzeyinde lokal ergimeler meydana getirerek malzeme yüzeyini ve geometrisini bozar. Zaman faktörü ise ekonomik durum bakımından belli bir değeri aşmamalıdır (Çalık, 2005a).

2.2.6. Borlama Yöntemleri

Son teknolojik gelişmelerle birlikte borlama yöntemleri temel olarak iki ana grupta toplanmaktadır.

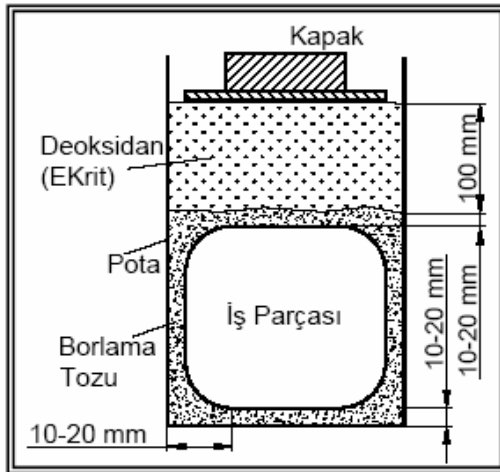
- a. Termokimyasal yöntemler (kutu borlama, pasta borlama, sıvı borlama ve gaz borlama).
- b. Termokimyasal olmayan yöntemler (fiziksel buhar biriktirme (PVD) , kimyasal buhar biriktirme (CVD), plazma sprey kaplama vb. yöntemler).

Bu teknikler arasında en çok kullanılanı termokimyasal yöntemlerdir. Termokimyasal bor kaplama işlemleri sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonu olarak bir atomun metale difüzyonu esasına göre çalışır (Şen, 1997).

2.2.6.1. Katı Ortamda Borlama

Katı ortamda, toz haldeki bor vericilerle yapılan borlama yani kutu borlama işlemi, kutu karbürizasyonuna benzer. Borlanan malzemeye ve ulaşılmak istenen bor

tabakası kalınlığına bağı olarak genellikle 800 – 1050 °C sıcaklık aralığında, bir saat ve daha uzun sürelerde işlem gerçekleştirilir. Toz haldeki bor verici karışımlar; bor verici bileşikler (Bor karbür, saf bor, vb.), alkali metaller, aktivatörler ve dolgu maddelerinin belirli oranlarda karıştırılması ile meydana gelir. Buradaki karışım oranları ve tozların tanecik büyüklüğü işlem uygulanacak malzemenin cinsine göre değişir. Borlama toz karışımları, işlem yapılacak malzemenin şekline uygun üretilmiş ısıl dirençli çelik kutularda, parçanın etrafını en az 1 cm kalınlıkta kaplayacak şekilde doldurulur. Kutunun üstü sızdırmaz bir kapakla kapatılarak işlem normal atmosferde yapılabilir; ya da işlem, kutunun veya fırının içinin koruyucu gaz atmosferiyle korunduğu ortamlarda gerçekleştirilir (Şekil 2.17). Borlanmış parçaların üzerindeki karışım kalıntıları tel fırça yardımıyla kolayca temizlenebilir. Toz karışımlarla kısmi borlama işlemi de yapılabilir (Er ve Par, 2004).



Şekil 2.17. Katı borlama işleminin şematik gösterimi (Uluköy ve Can, 2006)

Bu yöntemin faydaları; işlem basitliği, oldukça düzgün yüzeylerin elde edilmesi, gerekli donanımların kolayca temin edilebilmesi ve ucuz olmaları, toz bileşiminin kolayca değiştirilebilir ve işlem sonu parça yüzeyinin kolayca temizlenebilmesidir. Bu yöntemin yaygın olarak kullanılmasının sebebi faydalarının diğer borlama yöntemlerinin faydalarına göre daha çok olmasıdır. Dezavantajları ise işlem parametrelerinin kontrol kabiliyetinin kötü olması, otomasyonun mümkün olmaması ve atık ürünlerinin çevreye zararlı olmasıdır (Er ve Par, 2004).

2.2.6.2. Macun (Pasta) Ortamda Yapılan Borlama

Borlamada kullanılan tozların macun haline getirilerek kullanıldığı borlama yöntemidir. Yöntemin en önemli avantajı kısmi borlama yapılabilmesidir. Macun şeklindeki borlayıcı madde sertleştirilerek kaplanmak istenen yüzeye 3-6 mm kalınlıkta sürülür ve kül fırınına katılmadan önce kuruması sağlanır. Kurutma işleminden sonra macunlanmış parçalar fırına konur ve uygun sıcaklığa ayarlanarak borlama işlemi yapılır. Bu yöntemde borlama kesinlikle koruyucu gaz ortamında yapılması gerekir. Katı borlamaya göre işlem süresi daha kısadır. Bu yöntemin önemli bir dezavantajı, borlama işleminden sonra numune yüzeyine macunun yapışmasıdır. Bu etkiyi en aza indirmek için sulu sodyum silikat çözeltisi, organik karakterli çözeltiler ve %3 polivinil alkol yada %0.5 metil selüloz içeren sulu çözeltiler kullanılabilir (Çizelge 2.6) (Çalık, 2005a).

Çizelge 2.6. Macunla borlamada kullanılan koruyucu gazlar ve özellikleri (Çalık, 2005a)

Koruyucu gazın adı	Kimyasal bileşimi
Argon	% 99.996 Argon
Kalıp gazı (Formier gazı)	% 5-30 H ₂ geri kalan N ₂
NH ₃ spalt gazı (Amonyak)	% 75 H ₂ % 25 N ₂
Saf azot	% 99 N ₂ % 1 H ₂

2.2.6.3. Gaz Ortamda Borlama

Gaz ortamda yapılan borlama işlemlerinde, bor kaynağı olarak bor halojenürleri, diboran ve bor hidrürleri kullanılır. Bunlardan diboran (B₂H₆) ile beraber kullanıldığında çok olumlu neticeler ortaya çıkmaktadır. Fakat bu işlemin olumsuz yönü kullanılan maddelerin zehirli ve patlayıcı olmasıdır. Trimetil bor (CH₃)₃B kullanıldığında ise borlama ile birlikte C yayımına neden olduğundan kaplama tabakasının kalitesi bozulur. Ortam yine zehirlidir ve patlama tehlikesi de vardır .

Gaz ortamda borlama işleminin avantajları:

- a. Gaz ortamda borlama işleminde bor potansiyeli ayarlanabilir. Böylece tek fazlı bir borlu tabaka elde etmek mümkün olur.
- b. Gaz ortamda borlama işleminde bor dağılımının düzenli olması nedeniyle homojen kaplama kalınlıkları elde edilir.
- c. Gaz ortamda borlama işlemi neticesinde parçalar temiz yüzeyli olarak elde edilir. Bu sebeple borlanmış malzemenin yıkanmasına ihtiyaç yoktur.

Gaz ortamda borlama işleminin dezavantajları:

- a. Gaz ortamda borlama işleminde kullanılan bor bileşikleri çok zehirli ve çok pahalıdır.
- b. Bor halojenürleri korozyona neden olurlar ve istenmeyen metal halojenürler oluşur.
- c. Tesis maliyeti çok yüksektir (Tezcan, 1996).

2.2.6.4. Sıvı Ortamda Yapılan Borlama

Sıvı ortamda yapılan borlama iki türdür. Borlama işlemi elektrik akımı uygulanarak yapılıyorsa 'Elektrolitik Borlama' uygulanmadan yapılırsa 'Normal Sıvı Ortamda Borlama' olarak adlandırılır. Akışkan yatakta borlama ısıl işlemi de sıvı borlama yöntemi olarak yapılmaktadır. Bununla birlikte sıvı ortamda borlama işlemi, tuz eriyiği içinde elektrolitik veya elektrolitsiz (daldırma) ve derişik çözeltide de gerçekleştirilir (Çalık, 2005a).

Bu yöntemlerin birçok dezavantajı vardır. Bunlar:

- a. Tuz kalıntıları malzeme üzerinde kalır ve ortamda reaksiyona girmeyen borun varlığı zaman ve para kaybına yol açar.

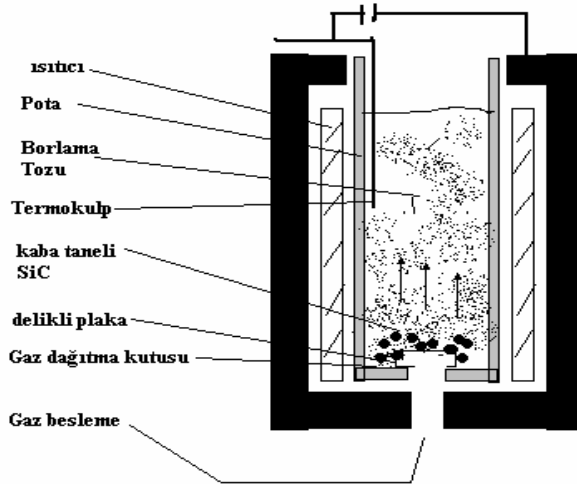
- b. Borlama işleminin başarıyla yapılabilmesi için banyo vizkozitesinin artırılmaması gerekir ve bu sebeple tuz ilavesi yapılır. Bu da işlemin maliyetini artırır.
- c. İşlem için malzemeyi korozif ortamlardan koruyacak fırınlara ihtiyaç duyulur (Bekteş, 2006).

Elektrolitik Borlama: Elektrolitik borlama yüksek sıcaklıkta yapılan bir elektroliz işlemidir. Sıvı borlama malzemesi içinde borlanacak numune katot, grafit bir elektrot da anot görevi yapar. Elektrolizin bileşeni boraks ve borik asittir. Ana bileşene ilaveten NaF, NaCl, NaF+B₂O₃, Na₂PO₄, Na₂CO₃+ B₂O₃, B₄C, Na₂SO₄, NaOH gibi aktivatörler kullanılır. İşlem sıcaklığı 700-1000 °C, işlem süresi ise 1-5 saat arasındadır. Akım yoğunluğu 0.2-0.7 A/cm² dir (Çalık, 2005a).

Normal Sıvı Ortamda Borlama: Metalik malzemelerin bor kompozisyonlu erimiş tuz banyosuna daldırılmalarıyla gerçekleştirilir. Erimiş tuz banyosu değişik oranlarda, boraks, susuz boraks, metabor asidi, sodyum borflorid, borik asit, borkarbür (B₄C, B₂O₃, KCl, HBO₂, NaCl) ihtiva eder. SiC eklenmesi difüzyonu önemli ölçüde iyileştirir. Oluşan demirbor tabakalarının kalınlıkları 50-250 µm'dir. Bu yöntemin zehirli, patlayıcı, doğa ve çevresel kirlilik gibi dezavantajları kullanımını azaltmaktadır. Sıvı ortamda borlama yöntemi, uygulanabilirlik bakımından basit oluşu, vakum ve kontrollü atmosfer ile gaz koruması gerektirmemesi, karmaşık donanımlara ihtiyaç duyulmaması ve sarf malzemenin ucuz ve bol miktarda bulunması bakımından önem arz etmektedir. Yöntemin laboratuvar boyutundan, endüstriyel boyutta uygulanmasında ergimiş boraksın yüksek vizkozitesi bir banyodaki sıcaklığın homojen olmamasıdır. Borlama sonucunda düzensiz kalınlıklar meydana gelir. Borlama işlemi sonunda numune yüzeylerine temizlenmesi zor olan tuz banyosu artıkları yapışır. Bu artıkların temizlenmesi maliyetli ve zaman alıcıdır (Çalık, 2005a).

2.2.6.5. Akışkan Yatakta Borlama

Macun ve sıvı borlama yönteminin karışımı olan bir yöntemdir. Burada bor verici akışkan olarak meydana gelen bir karışım kullanılmaktadır. Bor verici toz başlangıçta oksijensiz gaz (örneğin N_2/H_2 karışımı) ile akıcı hale gelmektedir. Bu şekilde malzeme yüzeyleri bor ile kaplanarak sertleştirilmektedir. Bu yöntemin bazı avantajları şunlardır; Borlama sıcaklığına aniden ulaşma ve daha kısa süreli işlem görecektir parçaları doğrudan dışarıya çıkarma ile birlikte malzemedeki daha az ısıl gerilme meydana gelmektedir. Bor ve borlanan malzeme arasındaki çok yüksek ısı transfer hızı nedeni ile mükemmel ısıl kararlılığı elde edilmektedir. Sürekli, seri ve otomatik çalışma imkanı vardır. Borlanacak parçalar aralıklı bir şekilde şarj edilir ve fırından çıkarılabilir. Borlama sonrası parçaya doğrudan su verilebilir. Bu işlemler borlama ve su verme işlemlerini tek bir aşamada yapma anlamına gelir (Şekil 2.18). Seri üretilmiş parçaların işlemlerinde zaman ve enerji tasarrufu sağlanır (Çalık, 2005a).



Şekil 2.18. Akışkan yatakta borlama sistemi (Sinha, 1991)

2.2.6.6. Plazma Borlama

Katı haldeki bir maddeye enerji vererek sıvı, sıvı haldeki maddeye enerji vererek gaz ve gaz haldeki maddeye enerji vererek plazma durumuna getirmek mümkündür. Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom veya molekül

içeren karışımdır. Uygulamada plazma, ısı enerjisi verilerek, ışınla veya elektriksel boşalma ile oluşturulur. En çok kullanılan plazma yöntemi elektriksel boşalmadır. Bir elektrik gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa belirli koşullar sağlandığı takdirde uygulanan gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerinde ise, bu iki plaka arasında bir elektrik akışı meydana gelir (Bayça ve Şahin, 2004).

$B_2H_6-H_2$ ve $BCl_3-H_2-Ar_2$ ' un karışımları plazma borlama işleminde başarılı bir şekilde kullanılır. Ancak ilk bahsedilen gaz karışımı bir paket veya sıvı ortam borlama süreci ile mümkün olmayan 600^0 C gibi düşük sıcaklıklarda çeşitli çelikler üzerinde borlu tabaka üretmek için kullanılır. BCl_3-H_2-Ar gazlarının karışımı içinde plazma borlamanın BCl_3 konsantrasyonunun daha iyi kontrol edilmesi, kalıntı geriliminin azaltılması ve borlu film tabakalarının daha yüksek mikrosertliği olumlu özellikler gösterdiği söylenmektedir.

Bu işlemin avantajları şunlardır:

- 1- Borlanan tabakanın bileşim ve derinlik kontrolü yapılabilir.
- 2- Klasik paket borlamaya nazaran daha yüksek bir bor potansiyeli mevcuttur.
- 3- Daha ince borlu tabakalar elde edilebilir.
- 4- İşleminde kullanılan sıcaklık ve uygulanan işlem süresinde azalma olur.
- 5- Yüksek sıcaklık fırınlarına ve aksesuarlara gerek yoktur.
- 6- Enerji ve gaz sarfiyatında tasarruf sağlanır (Tezcan, 1996).

2.2.7. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları

Yeknesak ve çok özel kimyasal karakteristiklerinden dolayı, özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra bor kimyasının hızla gelişmesi sayesinde, bugün hammadde, rafine ürün ve bor bileşikleri şeklinde, en az 200' ünde alternatifsiz olmak üzere, adeta beşikten mezara kadar 250' den fazla kullanım alanı ortaya çıkmıştır (Çizelge 2.7), (Çizelge 2.8). Bor, ilave edildiği malzemelerin katma değerlerini olağanüstü derecede yükseltmekte, bu sebeple bugün sanayinin tuzu olarak isimlendirilmektedir.

Gelişen teknolojiler, bor kullanımını ve bora bağımlılığı artırmakta, borun stratejik mineral olma özelliği giderek daha da belirgin hale gelmektedir (Anonim, 2003).

Çizelge 2.7. Bor Ürünlerinin Kullanım Sektörleri (Anonim, 2003)

KULLANIM ALANI	KULLANIM YERLERİ
Savunma Sanayi	Zırh Plakalar, Seramik Plakalar, Ateşli Silah Namluları, Fişek vb
Cam Sanayi	Borosilikat Camlar, Laboratuvar Camları, Uçak Camları, Borcam, Pyrex, İzole Cam Elyafı, Tekstil Cam Elyafı, Optik Lifler, Cam Seramikleri, Şişe, diğer Düz Camlar, Otomotiv Camları vb.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayi	Mikrodalga tüpleri, Sensörler, Süper iletkenler, Yarı iletkenler, Magnetler, Elektron emitterleri, Mikro Çipler, LCD Ekranları, CD-Sürücüler, Akım Levhaları, Bilgisayar Ağlarında; Isıya-Aşınmaya Dayanıklı Fiber Optik Kablolar, Vakum Tüpler, Dielektrik Malzemeler, Elektrik Kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli Sigortalar, Bataryalar, Piller, Laser Printer tonerleri
Enerji Sektörü	Gaz türbinleri, Yüksek ısı transistörleri, Bor hidrür yakıtları(boranlar), Isı enerjisi depolayıcılar, Piller, Hidrojen depolayıcılar, Güneş Enerjisinin Depolanması, Güneş Pillerinde Koruyucu olarak, Hücre Yakıtları vb
Görüş Sistemleri	Kamera ve Mercek Camları, Fotoğraf Makinaları, Dürbünler, Banyo ve Film İmalatları
İlaç ve Kozmetik Sanayi	Dezenfekte Ediciler, Antiseptikler, Diş Macunları, Lens Solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan vb
İletişim Araçları	Cep Telefonları, Modemler, Televizyonlar vb.
İnşaat Sektöründe	Çimentoya Mukavemet Artırıcı ve İzolasyon Amaçlı olarak
Kağıt Sanayi	geri kazanılan kağıtların mürekkeplerinden arındırılması, Yüksek kaliteli kağıtların parlaklaştırılması, kağıt hamurunu beyazlatılması,
Kimya Sanayi	Bazı Kimyasalların İndirgenmesi, Elektrolitik İşlemler, Flotasyon İlaçları, Banyo Çözeltileri, Katalistler, Atık Temizleme Amaçlı olarak, Petrol Boyaları, Yanmayan ve Erimeyen Boyalar, Tekstil Boyaları, Yapıştırıcılar, Soğutucu Kimyasallar, Korozyon Önleyiciler, Mürekkep, Pasta ve Cilalar, Kibrit, Kireçlenme Önleyicileri, Dezenfektan kimyasallar, Kozmetikler, yumuşatıcılar, Sabun, Toz Deterjanlar, Toz Beyazlatıcılar, Ağartıcılar, Parlatıcılar, Ahşap emprenye çözeltileri, Mumyalama vb
Koruyucu	Ahşap Malzemeler ve Ağaçlarda Koruyucu olarak, Boya ve vernik Kurutucularında, Küf ve mantar önleyiciler, vb.
Makine Sanayii	Manyetik Cihazlar, Zımpara ve Aşındırıcılar Kompozit Malzemeler, Titreşim söndürücü malzemeler, Sert malzemeler, Motorlar, Katı yağlayıcılar, Yüksek sıcaklık sızdırmazlık contaları, Yüksek performanslı motor yağları, vb.
Metalürji	Paslanmaz ve Alaşımli Çelik, Sürtünmeye-Aşınmaya Karşı Dayanıklı Malzemeler, Kaynak Elektrotları, Metalürjik Flaks, Briket Malzemeleri, Lehimleme, Döküm Malzemelerinde Katkı Maddesi olarak, Kesiciler, Kompozit Malzemeler, Zımpara ve Aşındırıcılar vb.
Nükleer Sanayi	Nükleer atık depolama (kolemanit cam bloklar), Reaktör Aksamları, Nötron Emiciler, Reaktör Kontrol Çubukları, Nükleer Kazalarda Güvenlik Amaçlı ve Nükleer Atık Depolayıcı olarak, Nükleer teknolojiye emniyet malzemeleri, vb
Otomobil Sanayi	Titreşim söndürücü malzemeler, Hava yastığı şişirme mekanizmaları, Bor hidrür yakıtları (boranlar), Isı enerjisi depolayıcılar, Hidrojen depolayıcılar, Hava Yastıklarında, Hidroliklerde, Plastik Aksamda, Yağlarda ve Metal Aksamlarda, Isı ve Ses Yalıtımı Sağlamak Amacıyla, Antifrizler, vb
Seramik Sanayi	Emaye, Fayans, Porselen Boyaları, sırlar, vb
Spor Malzemeleri	Kayak Aksamları, Tenis Raketleri, Ok-yay, Balık Oltaları, Golf Sopaları, Darbe söndürücüler, vb.
Tarım Sektörü	Sentetik gübreler, Biyolojik Gelişim ve Kontrol Kimyasalları, Küf ve mantar önleyiciler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabani Otlar, vb
Tekstil Sektörü	Isıya Dayanıklı Kumaşlar, Yanmayı Geciktirici ve Önleyici Selülozik Malzemeler, İzolasyon Malzemeleri, Tekstil Boyaları Deri Renklendiricileri, Dericilikte kireç çöktürücü, Suni İpek Parlatma Malzemeleri, vb.
Tıp	Yapay organlar, Antibiyotikler(boromicyn), Osteopoz Tedavilerinde, Alerjik Hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik Gelişiminde ve Artritte, Menopoz Tedavisinde, BNTC Terapi Yöntemiyle Beyin Kanserlerinin Tedavisinde tümör öldürücüler, Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında, vb
Uzay ve Havacılık Sanayi	Sürtünmeye-Aşınmaya ve Isıya Dayanıklı Malzemeler, Roket Yakıtı, Uydular, Uçaklar, Helikopterler, Zeplinler, Balonlar, Radar dalgası soğurucular, vb

Çizelge 2.8. Bor Kimyasal ve Alaşımalarının Kullanım Alanları (Anonim, 2003)

ÜRÜN	KULLANIM ALANLARI
Amorf ve Kristal Bor	Askeri Piroteknik, Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde, Metallerde Alaşım Elemanı ve Deoksidan, Bakır ve Alaşımalarında Gaz Giderici, Alüminyum Dökümlerinde Tane Rafinasyonu, Yarı İletkenlerde,
Boranlar	Roketlerde ve Atmosfer Üstü Uçaklarda Yakıt
Bor Fiberleri (Cam Elyaf)	Tekstil Tipi Cam Elyaf: Dokuma, Kompozit Oluşturma, Otomobillerin Dış ve Aksamlarında, Motor ve Hava Giriş Manifoltlarında, Elektronik Baskı Devrelerinde, Elektrik Yalıtım Uygulamalarında, İnşaat Duvarlarında, Mahfaza Panellerinde, Sıhhi Tesisatlarda, Banyo Malzemelerinde, Duvar Kaplamalarında, Alev Geciktirici Örtülerde, Yüzme Havuzlarında, Yaya Köprülerinde, Kapı İmalinde, Boru Yapımında, Yakıt Tanklarında, Kimyasal Depolarda, Tarımsal Aletlerde, Endüstriyel Makinalarda, Koruyucu Kasklarda, Deniz Ulaşım Araçlarında, Polyester Üretiminde, İzolasyon Tipi Cam Elyaf: Isı Yalıtıcı Olarak Binalarda, Akustik İzolasyon amacıyla, Boru, Kazan ve Tank Kaplamalarında, Otomobillerin İzolasyon Panellerinde, Optik Tipi Cam Elyaf:Telek. Alan.
Disodyum Oktaborat Tetrahidrat	Borlu Gübre Olarak, Toprakta Bor Eksikliğini Gidermede, Kumlu veya Gevşek Yapılı Toprakta verimi Artırmada, Yabani Otların Kontrol Altında Tutulmasında, Kereste Korunmasında Böcek ve Mantar Öldürücü Olarak, Alev Önleyici,
Bor Flamentleri	Havacılık ve Spor Malzemeleri İçin Kompozitler
Bor Karbür	Askeri Araçlarda Zırh Plakaları, Uzay Mekiklerinde Kimyasal Korozif Ortamlarda Dış Yüzey Koruyucu, Regülasyon, Kontrol ve Zırhlama Amacıyla Nükleer Reaktörlerde, Nükleer Sanayinde Nötron Absorblayıcı, Serbest Partiküllü Aşındırıcılar, Kumlama Nozulları, Tel Hadde Lokmaları, Ekstrüder Memeleri, Otomatik Havanlar, Tekstilde İplik Yönlendiriciler, Filtreler, Bujiler, Tesviye Aksamları, Yüzey Polijastaları, Transformatorlerde Silisli Saç Yerine, Kesme Ekipman Bileyicileri, Endüstriyel Yataklar, Çok Yüksek Sıcaklıklarda Korozyon ve Oksitlenme Direnci Gerektiren Ekipmanlar, Refrakter Malzeme Olarak
Bor Nitrür	Sıcak ve Ergimiş Metallerle Temas Eden Yüzeylerin Kaplamalarında, Aşınmaya Maruz ve Kimyasal Korozyona Karşı Yüzeylerde, Özel Abrasivler, Seramik Silikon Yarı İletken Wafer'lerde Bor Dop Malzemesi, Nükleer Uygulamalarda Nötron Yakalamada, Vakum Ergitme Potaları, CVD Potaları, Mikrodevre Paketleme, Yüksek Hassasiyet Contaları, Mikrodalga Tüpleri, Dökümde Stoper Halkaları, Plazma Ark Yalıtkanları, metalurjik fırınlarda Destekleyici İskeletler, Yüksek Sıcaklıklarda Yağlayıcı Olarak, Yüksek Isıl Şok Direncinin ve Yüksek Tokluğun İstendiği Uygulamalarda, Dielektrik Malzeme Olarak, Nozul Pota, Termokupul Kılıfı ve Cam Kalıplarla İlgili Refrakter Malzeme Olarak, Pota ve Refrakterde Astar Uygulamaları, Diğer Seramik Malzemelerle Birlikte Kompozit Yapımında, Kozmetik Endüstrisinde, Seramik ve Cam Endüstrisinde, Yüksek Sıcaklıklarda Kesme Aletlerinde, Aşındırıcı Olarak, Dökümle ve Dövmeyle Üretilen Parçaların İşlenmesinde,
Metal Borürler	Sıvı Metaller ve Metal Buharlarına Karşı, Yüksek Emisyon Gerektiren Elektriksel Uygulamalar, Alüminyum Ergitilmiş Tuz Elektrolizinde İner Elektrota Olarak(Tib ₂), Termoelement Kılıflar(Zrb ₂), Alüminyum ve Alaşımalarında Nükleant Olarak(Tib), Refrakter Metallerle Katıldıklarında Tane İnceltici, Magneto-Hidrokinamik Jeneratörlerin Elektrot Malzemesi, Borlu Çeliklerin Üretiminde, Helikopterler İçin Hafif Zırh Malzemesi, Yüksek Sıcaklığa ve Kimyasal Atağa Maruz Kalan Kısımlarda Kaplama veya Parça Olarak, Silisyum Karbür(Sic) Kompozitlerinin Mukavemetlerini Arttırmak İçin(Tib ₂), Yüksek Sıcaklık Elektrik Kontak Malzemesi Olarak,
Ferrobör	Çeliklerde Tane İnceltici ve Su Alma Kapiliyetini Arttırıcı, Yüksek Oranda Mn, Ni, Cr ve Mo'ın Sağlayabileceği Sertleşebilirlik Özelliğini Sağlamada, Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Kapiliyetini Yükseltmede, Nükleer Reaktörlerde Regülatör Çubuğu, Hadde Merdaneleri Üretiminde, Çeliklerde Yüzey Sertleştirmede, Nötron Absorbsiyonunu Arttırıcı Olarak, Yassı ve Derin Çekme İşlemine Tabi Tutulacak Çeliklerde, Otomobillerin Silecek ve Marş Motorlarında, Manyetik Ayırımada, Cep Telefonlarında, Sensörlerde, Neodyum-Demir-Bor(Nd-Fe-B) Miknatıslarında, Metalik Cam Üretiminde,
Borazon	Yüksek Hızlı Kesiciler
Susuz Borik Asit (Bor Oksit)	Özel Bor Kimyasallarının ve Organik Bor Bileşiğinin Üretiminde, Organik Sentezde Katalizör veya Katalizör Taşıyıcısı Olarak, Metalurji Sanayiinde Flaks, Metallerin Borürlendirilmesinde ve Boronizasyonunda, Borlu Alaşımalarının Hazırlanmasında, Cam ve Seramik Sanayiinde, Elektrik-Elektronik Sanayiinde.
Borik Asit	Antiseptikler, Göz Damlaları, Bor Alaşımaları, Nükleer, Yangın Geciktirici, Naylon, Fotoğrafçılık, Tekstil, Dericilik, Gübre, Nikel Kaplama, Kimyasal Katalist, Cam, Cam Elyafı, Emaye, Sır, Vb.
Çinko Borat	PVC, Halojenli Polyester ve Naylonlarda Alev Geciktirici, Duman Bastırıcı ve Korozyon Geciktirici Olarak, Yüksek Sıcaklıklara Dayanıklı Plastik Malzemelerin İmalatında, Elektrik/Elektrotronik Parçalarda, Kabloalarda, Yanmaya Dayanıklı Boyalarda, Kumaşlarda, Yanmaya Dayanıklı Halı Kaplamalarda, Otomobil/Uçak İç Aksamlarında, Tekstil ve Kağıt Endüstrisinde, Mantar ve Böcek Öldürücü Olarak Ahşap Aksamların Korunmasında, Bor Silikat Cam Hammaddesi ve Seramik Sanayiinde Ergime Noktasını Düşürücü(Flux) Olarak,
Kolemanit	Tekstil Kalite Cam Elyafı, Bor Alaşımaları, Cüruf Yapıcı, Nükleer Atık Muhafazası
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil, "Finishing" Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zirai Araçlar

Çizelge 2.9. (Devam)

Sod. Bor Cevheri	Yalıtım Cam Elyafı, Borosilikat Cam
Sodyum Bor Hidrürler	Özel Bor Kimyasallarının Saflaştırılması, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırması, Geri Kazanılan Kağıtların Parlaklığını Artırılması, Metal Yüzeylerin Temizlenmesinde, İlaç Sanayiinde İndirgeme Kimyasalı Olarak, Endüstri Atık Sularından Çözünmeyen Ağır Metallerin ve Organik Kimyasallardan Metal İyonlarının, Karbonil ve Peroksit Empüritelerinin Arındırılması, Pamuğun ve Pamuk-Polyester Karışımlarının Sürekli Boyanma İşlemlerinde verimliliğin ve Performansın Arttırılması, Keton ve Yüksek Alkollerden Koku ve Renk Gidermede, Olefinlerin Stabilizasyonunda, İlaç Hammaddesi, Vitamin ve Kozmetiklerin Üretiminde, Trialkil Boran, Diboran Alkil Türevleri ve Diğer Bor Bileşiklerinin Üretiminde Hammadde Olarak, Füze Katı Yakıtlarında, Yüksek Enerjili Jet Motorlarda ve Roketlerde Saf Hidrojen Kaynağı Olarak
Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, Deterjan, Zirai İlaçlama, Fotoğrafçılık, Tekstil
Sod. Pentaborat	Yangın Geciktirici, Gübre
Sodyum Perborat	Deterjan ve Beyazlatıcı, Tekstil
Potasyum Bor Hidrür	Tekstil Boyalarının, Antibiyotiklerin, Steroid Preparatlarının, Vitaminlerin ve Diğer Kimyasalların ve Farmasötiklerin Üretiminde İndirgeyici Olarak, Trialkil Boran, Diboran Alkil Türevleri ve Diğer Bor Bileşiklerinin Üretiminde Hammadde Olarak, Organik Bileşiklerdeki OH-Gruplarının Korunmasında, Alkoller, Fenoller, Dioller, Şekerler ve Diğer Bileşiklerdeki OH-Gruplarının Hızlı Gazometrik Tayininde, İnorganik, Kompleks ve Organik Tuzların Kristalin Hidratlarındaki Su İçeriğinin Tespit Edilmesinde.
Sod. Tetraborat	Lehim ve Kaynak İşlemlerinde, Metal Yüzeylerinin Temizlenmesi, Seramikler, Sırlama, Yüksek Mukavemetli Camlar vb.
Bor Triklorür	Bor Hidrürlerin Sentezinde, Bor Nitür ve Diğer Bor Bileşiklerinin Üretiminde, Ekstra-Saf Elemental Borun Üretiminde, Bor Fiberlerinin Üretiminde, Katyon Polimerizasyonunda Katalizör Olarak, Alüminyum, Magnezyum, Çinko ve Bakır Ergitilmesi Esnasında İstenmeyen Nitür, Karbür ve Oksitlerin Uzaklaştırılmasında, Daha Düşük Bor İçeriğine Sahip Bor Klorürlerin Üretilmesinde, Elektronik ve Mikroelektronik Endüstrisinde Hammadde Olarak
Susuz Boraks	Gübre, Cam, Cam Elyafı, Metalurjik Cüruf Yapıcı, Emaye, Sır, Yangın Geciktirici
Trimetil Borat	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler

2.2.8. Nükleer Sanayide Bor Kullanımı

2.2.8.1. Atom Reaktörlerinde

Borlu çelikler, titan - bor alaşımları, borkarbürler veya boral reaktörlerde nötron akımı işinde kullanılır. Paslanmaz borlu çelik (% 5 B), nötron soğurucu olarak tercih edilir. Yaklaşık olarak her bor atomu bir nötron soğurur ve tesirli halini kaybeder. Borlu çubuklar daha çabuk ve düzenli yanar. Bor daha çok seykar reaktörlerde, yani nötronların soğurulmasının gerekli olduğu yerlerde tercih edilir. Esaslı bir koruyucudur. B 10 izotopu, bor' a göre 10 kat büyük soğurma kesitine sahip olduğundan aynı amaç için tercihen kullanılır. B 11 izotopu ise, küçük soğurma kesitli olduğundan, aktif elemanın korunması ve reaktörün kaplanması işlerinde kullanılır (Çeçen, 1968).

Atom reaktörlerinin kontrol sistemleri ile soğutma havuzlarında ve reaktörün alarm ile kapatılmasında (B10) bor kullanılır. Aynı zamanda, nükleer atıkların depolanması için kolemanit kullanılmaktadır (Anonim, 2001)

2.2.8.2. Nötron Absorpsiyonunda

Atom reaktörlerinde kontrol işlemleri için kullanılan çubuklar, yüksek dayanımlı bir çelik veya alaşımdan üretilir. Tercih edilen malzeme, bor, kadmiyum, hafniyumdur. Bor, atom ağırlığının ve yoğunluğunun düşük olması nedeniyle tercih edilir. Ağırlıkça kadmiyuma göre üç kat daha avantajlıdır. Şöyle ki :

	Nötron Absorpsiyon		
	Kesidi	Ağırlığı	Yoğunluk
Bor	750	10,82	2,33
Kadmiyum	2400	112,41	8,64
Cd : B	3,2	10,4	3,7

Ayrıca 2300 °C' lik yüksek erime sıcaklığı (kadmiyumunki 321 °C) ve kimyasal dayanıklılığı reaktör tekniğinde avantajlı bir durumdur. Nötron bombardımanı neticesi istenmeyen radyoaktif bileşimler oluşturmaz. Bor' un çok zayıf bir gama radyasyonu vardır. Kadmiyum ise nötron bombardımanından sonra 6 MeV şiddetinde gama ışınları yayar ve dayanıksız 4 izotop verir. 100.000 kW' lik bir reaktörde kontrol işlemleri için 50 kg bor yeterlidir. Norveç' deki Boiling Water reaktörü bir deneme sırasında bor asidi ile boğularak faaliyeti bir anda tamamen durdurulabilmiştir (Çeçen, 1968).

Bor atom çekirdeği, nötronlara karşı oldukça duyarlı olup, onları çok fazla yutabilme niteliğine sahip olduğundan, özellikle nükleer santrallerde kontrol malzemesi olarak kullanılmaktadır (Erdoğan, 2005).

Borkarbür; Atom reaktörlerinde borkarbürden yapılan borular emniyet çubuğu olarak kullanılır. Enerji ayarında kullanılan çubuklar, suyla soğutulan bor karbür çubuklarıdır. B 10 atomları, nötron absorbe ederek Li ve He gazı yayınlara. C 12 ve B 11 atomları nötron moderatörü olarak iş görür. Borkarbür, radyoaktif ışınların etkisi ile önce sertliğini kaybeder, daha sonra parçalanarak ufalanır ve bu arada % 36 kadar zayıat verir. Atom reaktörlerinde bornitrür kullanılması halinde ortaya çıkan Li, malzeme içinde kalmakta, He ise soğutma görevi yapan Na tarafından tutularak zararsız hale getirilmektedir. Bu gaz, reaktörlerde emniyet gazı olarak kullanılır. Donanımlarının ucuz oluşu önemli bir avantajdır (Çeçen, 1968).

Borun en stratejik ve ara hammaddesi özelliğinde olan bu malzemenin en önemli özellikleri, elmadan sonra ikinci sertliğe sahip olması ve nötron absorpsiyon yeteneğidir. Yüksek sıcaklığa karşı dayanımı diğer bor bileşiklerinin sentezlenmesinde ara hammadde özelliğine sahip olmasını sağlamaktadır. Örneğin TiB_2 üretebilmek için çok yüksek sıcaklıkta TiO_2 ' in B_4C ile reaksiyona girmesi gerekmektedir (www.kimyamuhendisi.com).

2.2.8.3. Nötron İzolatörü Olarak Kullanılması

Boral ; % 65 Al, % 35 borkarbürden yapılmış büyük nötron kesitli bir malzemedir. Bu malzemedan yapılan 6.4 mm kalınlığındaki levha, 640 mm kalınlığındaki beton plâkların izolâsyon gücüne sahiptir. Bu malzemeyi üretmek için, B_4C tozu, yeteri kadar alüminyumla karıştırılıp grafit potalarda $670\text{ }^\circ\text{C}$ ' de eritilir. Elde edilen alaşım, 3 mm kalınlığındaki alüminyum levhalar arasında 600°C ' de haddelenir ve bu şekilde ince bir plâk elde edilir. Tavlama ihtiyacı yoktur. Plâğın ağırlığı çok azdır. Bu sebeple hem sabit, hem de gemi vs. reaktörlerinde kullanılır. Boral, kolay kesilmekte, delinmekte, vida açılmakta fakat zor kaynak edilebilmektedir. Boral, genellikle araştırma reaktörlerinde tercihen kullanılır. Yüksek güçlü sanayi reaktörlerinde ortaya çıkan sıcaklık çok fazla olduğundan, boraksla kullanılan alüminyum amaca uygun cevap verememektedir. Boroksit ve alüminyumdan yapılan "Boroksal", boral' la aynı özelliktedir ve onun yerine kullanılır. Daha ucuzdur, fakat daha az bor atomu içerir (Çeçen, 1968).

2.2.8.4. Borlu Paslanmaz Çelik

İzolasyon maksadıyla kullanılan % 1 borlu çelik, normal paslanmaz çeliğe göre 15 kat daha fazla nötron absorpsiyon kesidine sahiptir. 300 °C’ de suya çok dayanıklıdır (Cr-Ni çeliği gibi). Bu çelik kullanılarak reaktör inşaatında maliyetler büyük oranda azaltılır. Normal çelik, ferrobora birlikte indüksiyon fırınlarında eritilerek borlu çelikler üretilir. Haddeye ve dövmeğe uygundur. Kaynağa çok uygun değildir. Bu nedenle daha çok perçin yapımında tercih edilir (Çeçen, 1968).

2.2.8.5. Nötron Odaları

B 10 izotopu, borun kendisine göre çok büyük bir absorpsiyon kesidine sahiptir. Bu nitelik sayesinde sadece radyasyon izolatörü olarak kullanılmayıp, «bor odalarında» olduğu gibi, “nötron odaları” inşasında da kullanılır. Bu iyonizasyon odalarının iç yüzü, bor veya borlu bir malzeme ile kaplanmakta ya da oda, B - florürle doldurulmaktadır. Bu amaçla kullanılacak Borflorürü, Si – tetra florürden temizlemek gerekir. Ayrıca, B – florür su organik maddelere karşı dayanaksız olduğundan, odaları cam - metal konstrüksiyonla takviye gerekir (Çeçen, 1968).

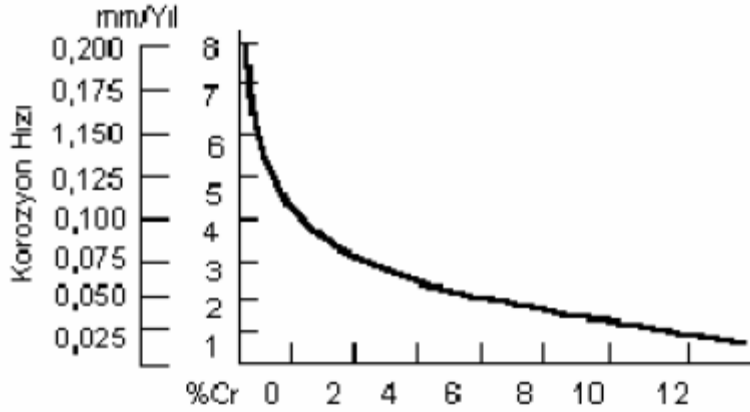
2.2.8.6. Borlu Reaktör Grafiti

Reaktörlerde moderator olarak kullanılan grafitin bor içeriği, en fazla % 0,00002 olmalıdır. Aslında grafitte eser olarak bulunan bor ve B 10 izotopu, grafitle birlikte kuvvetli bir nötron absorblayıcıdır. Boru bu seviyede tutmak için grafit özel olarak eritilir (Çeçen, 1968).

2.3. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler, özellikle mükemmel korozyon dirençlerinden dolayı tercih edilirler. Mükemmel korozyon dirençlerinin sebebi yüksek krom içermeleridir. Demire az miktarda örneğin yaklaşık % 5 krom eklenmesi bir miktar korozyon direnci sağlar, ancak paslanmaz çelik elde etmek için demire en az % 12 Cr

eklenmesi gereklidir. Krom metal alt katmanlarını korozyondan koruyan bir oksit filmi oluşturarak demir yüzeyini pasif hale getirir. Bu koruyucu filmi oluşturmak için paslanmaz çelik yüzeyin oksitleyici maddelerle temas etmesi gerekir. Şekil 2.19'da krom miktarının korozyon direncine etkisi gösterilmektedir (Erdoğan, 2001).



Şekil 2.19. Fe-Cr alaşımlarında Cr miktarının korozyon direncine etkisi (Türkyılmazoğlu, 2006)

Paslanmaz çelik, esas olarak paslanmayan çeliklerin genel adıdır. Özellikle nikel ve molibdenli çeliğin paslanmazlık özelliğini iyileştirmek için alaşım yapımında kullanılsa da paslanmazlığı sağlayan temel element kromdur. Dünyada üretilen çeliğin büyük bir kısmı karbon ve alaşımlı çeliktir. Karbon ve alaşımlı çeliğe göre paslanmaz çeliğin, daha az, ama cazip ve büyüyen bir pazarı vardır.

Doğada yalnızca altın ve platin gibi metaller saf halde bulunur, normal metallerse diğer elementlerle birleşmiştir. Paslanma, bu yüzden tabii bir olaydır. Doğada demir cevheri şeklinde bulunan demir, bu nedenle dengesizdir ve paslanma eğilimindedir. Paslanmak saf demirin suyun varlığında oksijenle birleşmesidir. Herhangi bir koruyucu kaplamaya sahip olmayan karbon çeliği üzerinde bir pas tabakası oluşur ve çeliğin kalan bölümünü korur. Yüzeydeki pas tabakasının temizlenmesi durumunda yeni bir pas tabakası oluşur. Bu durum paslanma olarak isimlendirilir. Boyama, çinko kaplama (galvanizleme), epoksi reçinelerle yapılan değişik kaplamalar paslanma sürecini durdurur. Paslanmaz çelik farklı kullanım alanlarında koruyucu bir kaplamaya sahip karbon çelikleri, alüminyum, pirinç ve tunçla rekabet

etmektedir. Paslanmaz çeliğin rekabet gücü, benzersiz ve karizmatik özelliğinden kaynaklanır. Çelikteki kromun korozyona karşı koruyucu yeteneği, krom ile oksijen arasındaki büyük affiniteden ileri gelir. Malzeme içerisindeki krom miktarı yeterli olduğunda çeliğin dış yüzeyinde ince bir oksit (Cr_2O_3) tabakası oluşur. Oluşan bu oksit tabakası yüzeyi pasif bir hale getirmekte ve çevrenin olumsuz tesirinden korumaktadır. Korozyona karşı dayanımın sağlanabilmesi için malzeme yüzeyinin oksijenle temas etmesi şarttır. Çünkü malzeme yüzeyini korozyona karşı koruyan krom oksit film tabakasıdır (Türkyılmazoğlu, 2006). Bu filmin kalınlığı 130 Angstrom (1 Angstrom = 10^{-6} cm.)' dir. Bu durum, büyük bir binayı, fotokopi kâğıdı kalınlığındaki çatı sacıyla yağmurdan korumaya benzer (Kayır, 2006).

Krom oksit tabakası edilgin, kuvvetli ve kendi kendini yenileme özelliğine sahiptir. Edilgindir, çünkü malzemelerle tepkimeye girmez. Kuvvetli demek çelik yüzeyine iyi yapışmış, yerinden kolayca sökülemez anlamındadır. Yenilenebilir demek krom oksit katmanı aşınırsa veya zorla yüzeyden sökülecek olursa çeliğin içindeki krom havayla derhal yeni bir krom oksit tabakası meydana getirir demektir.

Paslanmaz çelikten yapılmış bir çakı, uzun süre kullanıldığında aşınır ve ağzı körelir, bileği taşında bilendiğinde krom oksit tabakası sökülür. Fakat kromun sağladığı bu yenilenme özelliği sayesinde paslanmazlığını korur. Paslanmaz çeliğin östenitik, martenzitik, ferritik, çökelme sertleştirmeli ve östenitik-ferritik (Dubleks) paslanmaz çelikler adıyla beş temel grubu vardır.

Östenitik paslanmaz çelik krom, nikel ve manganez alaşımıdır. Bu grup paslanmaz çelikler 200 ve 300 no' lu serilerde yer alırlar. Bu gruptaki 304 paslanmaz çelik çok bilinir.

Ferritik paslanmaz çelik 400 seride bulunur. Bu gruptaki çeliklerde ana alaşım elementi kromdur. Bu grupta yer alan çeliklerin işlenme yetenekleri, 200 ve 300 serideki çeliklere göre daha yüksektir.

Martensitik paslanmaz çelikler de 400 seride yer alır. Fakat ferritik çeliklere göre daha az krom, daha çok karbon içerirler. Sertliklerini artırmak için ısıl işleme tabi tutmak gerekir.

Çökelme sertleştirmeli paslanmaz çelikler paslanmaz çeliklerin küçük bir grubudur. Yüksek krom ve nikel içerirler. Yaşlanmayla birlikte sertleşirler. Özellikleri martensitik paslanmaz çeliklere benzemektedir (Kayır, 2006).

2.3.1. Paslanmaz Çeliklerin Metalurjik Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin içerisinde, paslanmazlık özelliğini sağlayan elementlerin yanı sıra, diğer bazı ihtiyaçları karşılamak üzere isteyerek ilave edilen alaşım elementleri veya istenilmediği halde bulunan karbon ve katışıklar bulunmaktadır (Arkun, 2006).

Alüminyum: Güçlü bir ferrit yapıcıdır. %12 C içeren kaynak metaline eklenerek yapıyı ferritik, yani sertleşmez hale getirir. Yüksek sıcaklıklarda tufallaşma direncini artırır. Kuvvetli bir nitrür yapıcıdır. Titanyum ile birlikte yüksek dayanımlı alaşımlara eklenerek yaşlanma sertleşmesi tesirini azaltır (Yorulmazel, 2007).

Karbon: Kuvvetli östenit yapıcıdır. Yüksek mukavemetli alaşımlara sertleştirme ve dayanım arttırıcı etki için katılır (Arkun, 2006).

Niyobyum: Güçlü bir karbür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çelikleri krom karbür çökmesine karşı dengelemede kullanılır. Orta düzeyde ferrit yapıcıdır. Yüksek dayanımlı bazı alaşımlara sertliği ve dayanımı arttırmak için katılmaktadır. Bazı martensitik paslanmaz çelik türlerine karbonu başlayarak çeliğin sertleşme eğilimini azaltmak amacı ile katılır (Arkun, 2006).

Kobalt: Birçok paslanmaz alaşımın yüksek sıcaklıklardaki sürünme ve dayanım özelliklerini iyileştirmek amacı ile katılır (Arkun, 2006).

Krom: Karbür ve ferrit yapıcıdır. Korozyon ve tufalleşme direncini sağlayan alaşım elementidir. Bu elementin paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklıkta dayanım ve sürünme dayanımına belirgin bir etkisi yoktur (Arkun, 2006).

Mangan: Östenit yapıcıdır. Tam östenitik alaşımlarda kaynak metalinin çatlama direncini artırır. Oda sıcaklığında ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda östenitin kararlı olmasını sağlar. Ancak yüksek sıcaklıklarda ferrit ve mangan sülfat oluşturur (Yorulmazel, 2007).

Azot: Güçlü bir östenit yapıcıdır. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini engellemek için eklenir. Dayanımı artırır (Arkun, 2006).

Nikel: Güçlü bir östenit yapıcı ve dengeleyicidir. Yüksek sıcaklıktaki direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliği artırır. Kaynak metali tokluğunu artırıcı bir etkisi vardır. Paslanmaz çeliklerde mekanik özellikleri iyileştirir (Yorulmazel, 2007).

Silisyum: Ferrit yapıcıdır. Östenitik çeliklerde korozyon direncini arttırmak için katılır. Yüksek sıcaklıkta tufalleşme direncini artırır. Yüksek sıcaklıkta kullanılacak çeliklerin karbürizasyon direncini yükseltmek için kullanılır (Arkun, 2006).

Titanyum: Kuvvetli bir karbür ve nitrür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesini engellemek için dengeleme elementi olarak kullanılır. Kuvvetli ferrit oluşturur. Bazı yüksek sıcaklığa dayanımlı alaşımlara sertlik dayanım artırıcı etkilerinden dolayı katılır, bazı yüksek dayanımlı ve ısıya dayanıklı alaşımlara yaşlanma sertleşmesini etkilemek için alüminyum ile birlikte eklenir (Arkun, 2006).

Tungsten (Wolfram): Güçlü bir ferrit yapıcıdır. Bazı yüksek sıcaklık alaşımlarının dayanım ve sürünme direncini arttırmak için eklenir. (Yorulmazel, 2007).

2.3.2. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

2.3.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bu alaşımlarda normal olarak % 11-30 Cr vardır. Karbon içerikleri % 0,12' den azdır. Diğer alaşım elementleri, korozyon dirençlerini veya işlenebilirlik gibi özellikleri iyileştirmek için az miktarda ilave edilirler. Ferritik paslanmaz çelikler, düşük karbon içeriklerinden dolayı normal olarak östenitten ferrite dönüşüme uğramazlar ve bu sebeple ısı işlem uygulanmaz. Buna karşın pek çok ferritik paslanmaz çeliklerde, küçük karbon oranları olan çelikler yüksek sıcaklıklardan hızla soğutulursa biraz sertleşme oluşur. Bu alaşımlarda kaynaklanabilirlik, iyileştirilmiş süneklik ve iyi korozyon direnci için, karbon ve azot düzeylerinin çok az olması gerekir (Erdoğan, 2001).

2.3.2.2. Martensitik Paslanmaz Çelikler

Genellikle krom miktarı %17' den azdır. Aksi halde, östenit alanı çok küçülür. %0,1'den %1'e kadar değişen düşük krom içeriği, farklı sertlikteki martensitlerin ortaya çıkmasını sağlar. Kromun yüksek sertleşebilirlik özelliğinden dolayı, hava ve yağda soğutma ile martensit oluşturulabilir. Martensitik paslanmaz çeliklerin temperleme eğrileri, yüksek alaşımlı takım çeliklerinin temperleme eğrilerine benzer özelliktedir. Temperleme sıcaklığı 500 °C' ye ulaşmaya kadar çok az yumuşama meydana gelir. Temperlenmiş martensitik paslanmaz çeliklerde, düşük krom içeriği diğer paslanmaz çeliklere göre daha az korozyon direncine sahip olmasına sebep olur (Gürkan, 2007).

2.3.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, geniş bir sıcaklık aralığında (oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar) tek fazlı yüzey merkezli kübik (YMK) bir kristal kafes yapısına sahiptir. Bu nedenle, yalnızca katı ergiyikli alaşımlama ve dövmeyle dayanımları yükseltilebilir. Östenitik paslanmaz çelikler, orta dereceli ve şiddetli korozif ortamlar için geliştirilmiştir. Aynı zamanda dondurucu (kriyojenik) sıcaklıklardan 600 °C' ye kadar yüksek tokluğa sahiptir. Bu çelikler, manyetik olmadıkları için manyetik

malzemelerin kullanılmadığı uygulamalarda da tercih edilirler. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde kullanılan en çok tipler AISI 200 ve 300 seri alaşımlardır. Aynı zamanda, alaşım katkılarının ve özel alaşım bileşiminin, kaynak edilebilirlik ve kaynak bölgesinin mikroyapısı üzerinde büyük bir etkisi vardır. Bu alaşımlardan AISI 300 serisi, genellikle % 8-20 Ni ve % 16-25 Cr içerir. Düşük oranlardaki alaşım katkılarında % 1 Si dezoksidasyon için, % 0.02-0.08 C östenitin kararlılığı için ve % 1.5 Mn ise hem östenitin kararlılığı hem de sülfür ve Si ile bileşik yapması bakımından ilave edilmektedir (Koç, 2006).

2.3.2.4. Çökelti Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler

Bu alaşımlar, % 10-30 Cr içermekle birlikte, değişen miktarlarda nikel ve molibdenide vardır. Çökelti sertleştirilmiş fazlar Cu, Al, Ti ve Nb katkılarıyla meydana gelir. Bu alaşımlar pek çok uygulamalar için korozyon dirençlerinde azalma olmaksızın yüksek mekanik dayanımlara sahiptirler. Bu alaşımların çoğu yüksek sıcaklıklarda dahi dayanım özelliklerini muhafaza ederler (Erdoğan, 2001).

2.3.2.5. Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler yüksek miktarda krom (% 18–28) ve orta derecede nikel (% 4,5–8) içerirler. Nikel miktarı en fazla % 8 olup, bütün içyapının östenitik olması için yeterli olmadığından, ferrit ve östenit fazlarından oluşan içyapıları nedeniyle bu çelikler, dubleks olarak isimlendirilirler. Dubleks paslanmaz çeliklerin çoğunluğu % 2,5 – 4 molibden içerir. Hem iyi dayanım hem de iyi süneklik özellikleri beraber sağlanır. Ayrıca korozif ortamlarda bile çok iyi yorulma dayanımı gösterirler (Ertek, 2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu çalışmada, iyi bir radyasyon soğurucu olan bor ve bileşiklerinin bor verici kaynaklarla paslanmaz çeliğin borla kaplanması yapılarak, borla kaplı bu çeliklerin radyasyon geçirgenlikleri araştırılmıştır. Borlama işleminin kolaylıkla uygulanabilirliği, ekonomikliği, pratikliği ve ülkemiz bor mineralleri bakımından dünyanın en zengin ülkeleri arasında yer almasından dolayı işlemin endüstriye kazandırılması büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde bu konuda yapılmış fazla bir çalışma yoktur. Özellikle nükleer santrallerin çekirdeğinde kullanılan paslanmaz çeliğin radyasyona karşı dayanımının artırılması, gelecekte ülkemizde de yapılması düşünülen nükleer santrallerin güvenliğinin artırılması açısından faydalı olacaktır.

Paslanmaz çelik gibi malzemeler, gıda, kimya, havacılık ve tıp endüstrisi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle radyasyonun yoğun olarak kullanıldığı radyoloji gibi birimlerde bu malzemelerin kullanılması önemini daha da arttırmaktadır. Bunun yanında nükleer enerji santralleri gibi nötronun fazla olduğu durumlarda foton gibi radyasyonlardan daha tehlikeli olan nötron radyasyonunun zırhlaması daha önemli ve zordur. Bor ve ürünlerinin nötron yutma kapasiteleri çok fazladır. Bu yüzden bu çalışma ile elde edilecek malzemelerin kullanım alanının ne derece geniş olduğu açıktır. Bu çalışma ile elde edilecek veriler paslanmaz çeliğin borla kaplanarak radyasyona karşı zırh olarak kullanılabilirliğinin araştırılması bu alanda önemli bir çalışma olacaktır. Bu malzemelerin radyasyona karşı daha etkili bir koruma yapabilmeleri için bor aktive edilmesi ve kaplanması Türkiye'nin dünya bor rezervleri bakımından oldukça zengin (% 72 oranında) olduğu düşünülürse katma değer açısından daha da önem kazanacaktır. Rezerv olarak zengin olan ülkemiz ancak dünya borat üretiminin ve kullanımının ancak % 22'ini sağlayabilmektedir. Bu düşük oranın yanında borun çeşitliliği açısından da oldukça yetersiz bir durumdayız. Sadece boraks, borik asit ve sodyum perborat üretmekte ve ürettiğimiz bu ürünlerin daha geniş alanlarda kullanılması noktasında güçlük çekilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan malzeme AISI standartlarına uygun olarak üretilmiş silindirik geometriye sahip AISI 304 çeliğidir (Şekil 3.1). Numunenin kimyasal analizi,

Thermo Jarrell ASH-BAIRD Corp. DV-6S 3063A marka spektral analiz cihazında yapılmıştır. Kullanılan AISI 304 çeliğinin kimyasal analiz sonucu Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çalışma, ticari olarak satılan Ekabor 3 tozu ile gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemi katı ortamda termokimyasal yöntemle paslanmaz çelik potaları içerisinde difüzyon işlemlerine tabi tutulmuştur. Isıl işlem 1200°C sıcaklık kapasiteli bir kül fırınında gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemi sabit sıcaklıkta yapılmıştır.

Borlama sonrası numuneler üzerinde mekanik ve metalurjik ölçümler ve analizler yapılmıştır. Elde edilen bor kaplı çeliklerin radyasyon soğurma katsayıları ölçülmüştür. Bunun için radyoaktif kaynaklardan elde edilen radyasyonun çelik malzemelerinden geçişleri ölçülerek soğurma katsayıları elde edilmiştir. Ölçümler önce borlanmamış paslanmaz çelikte yapılmış sonra ise borla kaplı çeliklerle gerçekleştirilerek ölçümlerde borlamanın etkisi ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada maddelerin radyasyon zayıflatma katsayılarının ölçümü (G-M) sayacı kullanılarak yapıldı. G-M gazlı sayaç olup, bu tip radyasyon algılama cihazlarının en yaygınıdır. İyonlayıcı radyasyonların gazlı ortamda meydana getirdikleri iyonların ölçülmesi esasına dayanır.

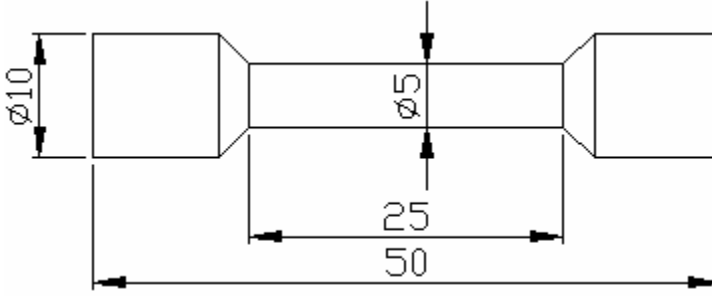
Radyasyon zırlamasında kullanılacak radyasyon kaynağı olarak bir gama kaynağı olan Cobalt 60 ve Sezyum 137 seçilmiştir. Hesaplamalar 652 keV ve 1250 keV enerjide 3 adet ölçüm alınarak yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

Paslanmaz Çelik Kodu	Kimyasal Bileşim (% Ağırlıkça)									
	C	Ni	Cr	Mn	P	S	Si	Cu	Mo	Nb
AISI 304	0.044	8.03	18.26	1.5	0.032	0.0003	0.47	0.38	0.38	0.022

3.2. Deneyslerde Kullanılan Numune

Deneyslerde kullanılan malzeme AISI standartlarına uygun olarak üretilmiş silindir geometriye sahip AISI 304 çeliğidir. Daha sonra bu malzeme işlenmek suretiyle standart çekme deney numunesi haline getirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunenin şekil ve boyutları

3.3. Deneyslerde Kullanılan Cihazlar

3.3.1. Borlama Fırını

Borlama işlemi 1200 °C sıcaklık kapasitesi ± 5 °C hassasiyetli mikro işlemci kontrollü elektrik rezistanslı, dijital göstergeli ve 200x150x250 mm kapasiteli tavlama fırınında gerçekleştirilmiştir

3.3.2. Borlama Ortamı

Ekabor 3 tozlarından, ferro silisyum tozu ve ekrit malzemeler kullanılarak katı ortamda borlama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

3.4. Borlama İşlemi

Deneyslerde AISI 304 malzeme 1200 °C sabit sıcaklık da 3 saat süreyle normal katı borlama işlemine tabi tutulmuştur. Deneyslerde taze (yeni) Ekabor-3 bor tozları kullanılmıştır. Bu işlemler aynı büyüklükteki potalarda gerçekleştirilmiştir. 1200 °C sıcaklıktan fırın dışına alınarak soğumaya bırakılmıştır. Deney numunelerinin üzerinde herhangi bir bor tozunun yapışmadığı gözlenmiştir. Bu numuneler daha

sonra metalografik incelemeler için önce ortalarına yakın bir düzlemde kesildikten sonra, sıcak kalıplama yöntemiyle bakalite alınmıştır. Dağlama işlemi için 1 birim HN_3 , 2 birim HCl ve 3 birim gliserin karışımından oluşan solüsyonda numune 1,5 dakika bekletilmiştir. Bu işlem sonrası standart zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır. Optik mikroskopta incelenen numunelerde borür tabakasının oluştuğu görülmüştür. Oluşan borür tabakası, geçiş bölgesinin kalınlığı, mikroskoba bağlanan optik bir mikrometre ile tespit edilmiştir. Ayrıca borun yayınması ile borür tabakası ve geçiş bölgesindeki değişimler belirlenmeye çalışılmıştır (Çalık, 2005b).

3.5. Radyasyon Zayıflatma Katsayısının Ölçülmesi

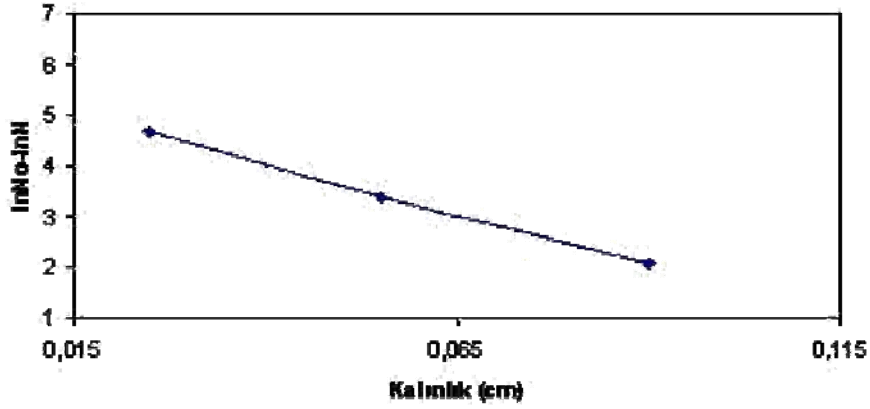
Maddelerin radyasyon zayıflatma katsayılarının ölçümü G-M sayacı kullanılarak yapıldı. G-M gazlı sayaç olup, bu tip radyasyon algılama cihazlarının en yaygınıdır. İyonlayıcı radyasyonların gazlı ortamda meydana getirdikleri iyonların ölçülmesi esasına göre çalışır (Şekil 3.2).



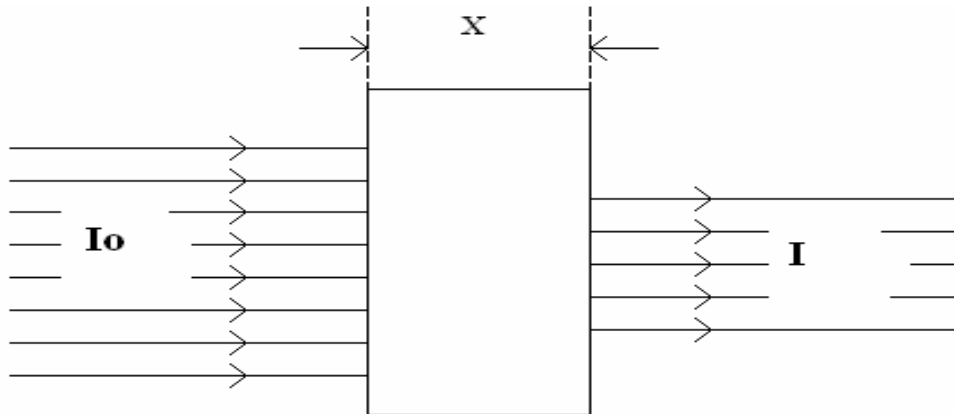
Şekil 3.2. SDÜ Nükleer Fizik Laboratuvarında kullanılan G-M sayacı

Bu amaçla kapalı bir kap içerisindeki gazlı ortama yerleştirilen iki elektrota bir gerilim kaynağı bağlanarak voltaj sıfırdan itibaren artırılarak, maruz bırakıldığı iyonlayıcı radyasyonların gaz içinde meydana getirdiği iyon çifti sayılarına göre, beş ayrı bölgede tanımlanır. Bunlar tekrar birleşme bölgesi, iyon odası bölgesi, orantılı bölge, geiger bölgesi ve sürekli deşarj bölgesidir (Akkurt vd. 2008).

Geiger-Müller sayacı ile ölçüm yapmadan önce bu sayacın çalışacağı voltaj saptanmıştır. Bunun için ^{60}Co kaynağından yayılan γ -ışınları için Geiger-Müller voltajı artırılırken belli bir potansiyelde sayım kaydedilmiştir (Şekil 3.3), (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Lineer zayıflatma katsayısının deneysel olarak elde edilmesi (Akkurt vd. 2008).



Şekil 3.4. X ve gama ışınlarının soğurulmaları

Daha önceden hazırlanan AISI-304 paslanmaz çelik numuneler 30x30x5 mm ebadında kestirilmiştir.

Borlanmış ve borlanmamış AISI 304 paslanmaz çelik numuneler ayrı ayrı ölçüm alınacak bölüme yerleştirildikten sonra her numune için 3 adet ölçüm alınmıştır. Ölçümler önce boş iken sonra numune var iken alınmıştır. Her değerın ortalaması alınmış ve hesaplamalarda ortalama değerler kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

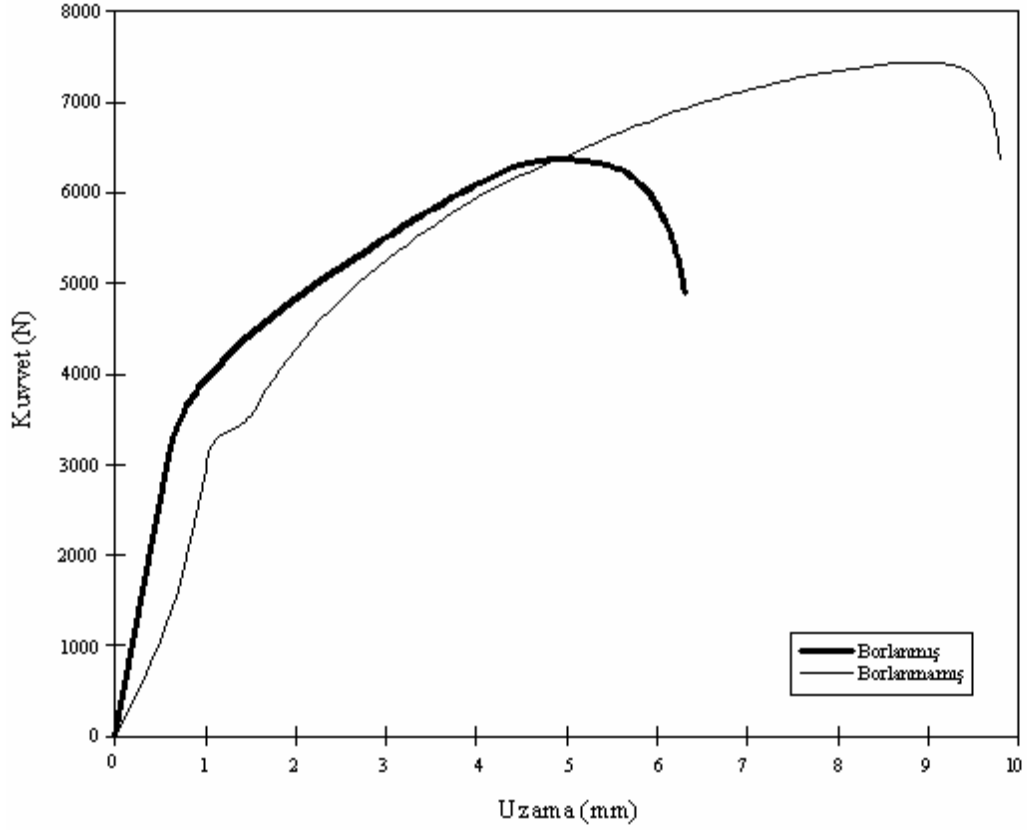
4.1. Giriş

Bu çalışmada, AISI 304 paslanmaz çeliğin yüzeyi kutu borlama tekniği ile katı ortamda, Ekabor 3 tozu kullanılarak çelik pota içinde borla kaplaması yapılmıştır. Daha sonra borlanmış ve borlanmamış çelik malzemelere çekme deneyi uygulanmıştır. Bu sayede borlamanın çekme-uzama eğrisi üzerine etkisi tespit edilmiştir. Borlanmış numunenin optik mikroyapı resmi çekilmiş ve borür tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının özellikleri bulunmuştur. Elde edilen bor kaplı çeliklerin radyasyon soğurma katsayıları G-M sayacı kullanılarak ölçülmüştür. Bunun için radyoaktif kaynaklardan kobalt 60 ve sezyum 137 kaynakları kullanılarak elde edilen radyasyonun çelik malzemelerinden geçişleri ölçülerek soğurma katsayıları elde edilmiştir. Ölçümler önce borlanmamış paslanmaz çelikte yapılmış sonra ise borla kaplanmış paslanmaz çelikte gerçekleştirilerek ölçümlerde borlamanın radyasyon zırlamasına etkisi ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

4.2. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, malzemelerin statik yük altındaki mekanik özelliklerini belirlemek ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla uygulanan, mühendislik açısından çok önemli bir mekanik deneydir. Deney, mekanik özellikleri belirlemek amacıyla bir deney parçasının, genellikle kopuncaya kadar, gerilmesini kapsar.

Çekme deneyi Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde Instron marka çekme cihazı ile yapılmıştır. Silindirik geometride hazırlanan çekme deney numunelerinin kuvvet uzama eğrilerinin borlanmış ve borlanmamış haldeki sonuçları Şekil 4.1' de verilmiştir.



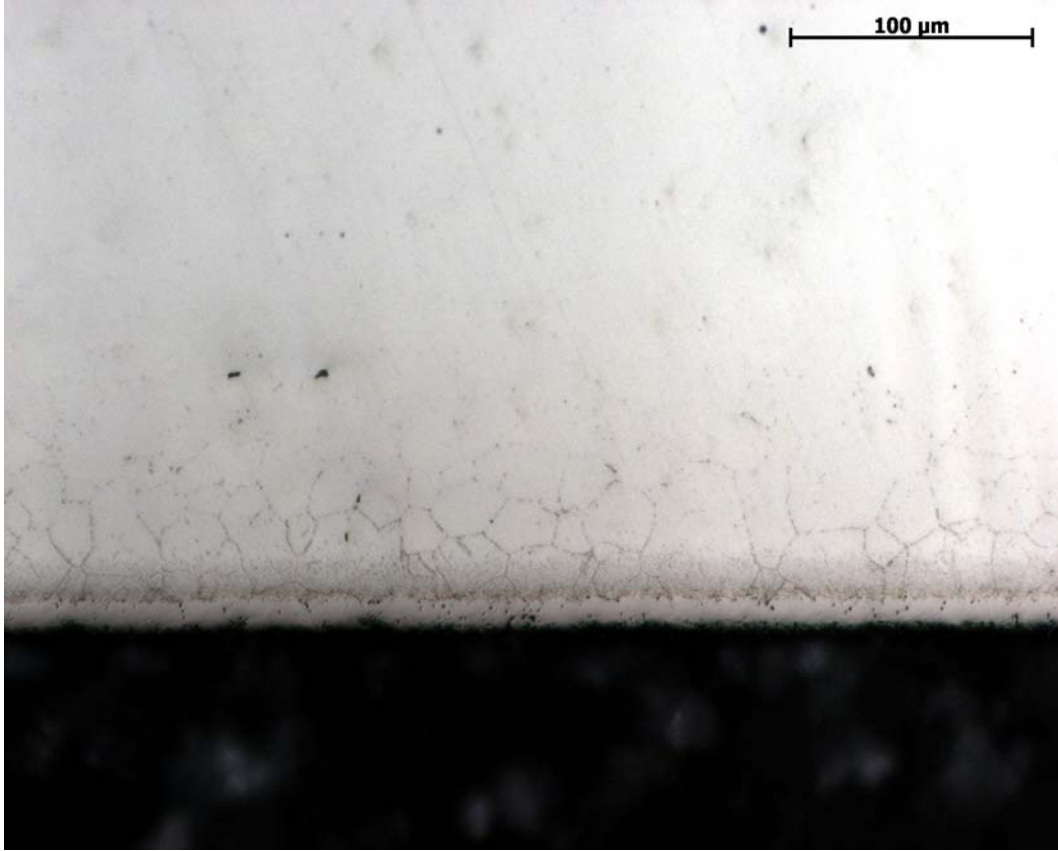
Şekil 4.1. Borlanmış ve borlanmamış AISI 304 paslanmaz çeliğin çekme diyagramı

Borlama işleminin, AISI 304 paslanmaz çeliğin akma dayanımını düşürmediği sadece çekme dayanımını % 15, sünekliğini ise yaklaşık % 25 oranında düşürdüğü tespit edildi. Borlama işleminin seçilen çeliğin akma dayanımını düşürmemesi bu çeliklerin statik ve dinamik dayanımların meydana geldiği yerlerde rahatlıkla kullanılabilceğini ifade eder.

4.3. Metalografik İnceleme

Kaplama işleminden sonra hassas kesme makinesi kullanılarak borlanmış numune kesitlerinin incelenmesi amacıyla mikro yapı numuneleri kesilmiştir. Kesilen numuneler 240–600–800–1200 meş'lik zımparalar kullanılarak taşlanmış ve 3 µm' luk elmas pasta kullanılarak çuha ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler alkolle yıkanarak kurutulmuş ve % 40 HNO₃ + % 60 C₂H₅OH çözeltisi kullanılarak

dağlanmış ve böylece borür tabakalarının mikro yapılarının ortaya çıkması sağlanmıştır. Daha sonra dağlanan numunelerin optik mikroyapı analizleri yapılmıştır. Şekil 4.2' de Borlanmış AISI 304 çeliğin optik mikro yapı resmi verilmiştir.



Şekil 4.2. Borlanmış AISI 304 çeliğin mikroyapısı

Şekil 4.2 incelendiğinde görüldüğü gibi çekme yönüne doğru numunelerin borür tabakalarının çizgi çizgi kalkıp döküldüğü görülmüştür. Borür tabakasının sert ve gevrek olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.2' de numunenin optik mikroyapı resmi incelendiğinde borür tabakasının parmaklı olmadığı aksine paslanmaz çelikteki alaşım elementlerinin fazlalığından dolayı düz bir yapıda olduğu ve bu nedenle ana yapıya olan difüzyonunun çok az olduğu, geçiş bölgesinde de çok fazla tane irileşmesinin meydana gelmediği belirlenmiştir.

4.4. Sertlik Ölçümü

Parlatılmış ve dağlanmış numunelerin yüzeyinden ana yapıya doğru (enine kesitinden) mikro sertlik taramaları yapılarak borür tabakasının, geçiş bölgesinin ve ana yapının mikro sertlikleri ölçülmüş ve borür tabakası ve geçiş bölgesinin kalınlıkları belirlenmiştir. Ölçümler vickers uç ile 100 gr ön yükte 15 sn' lik sürede yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

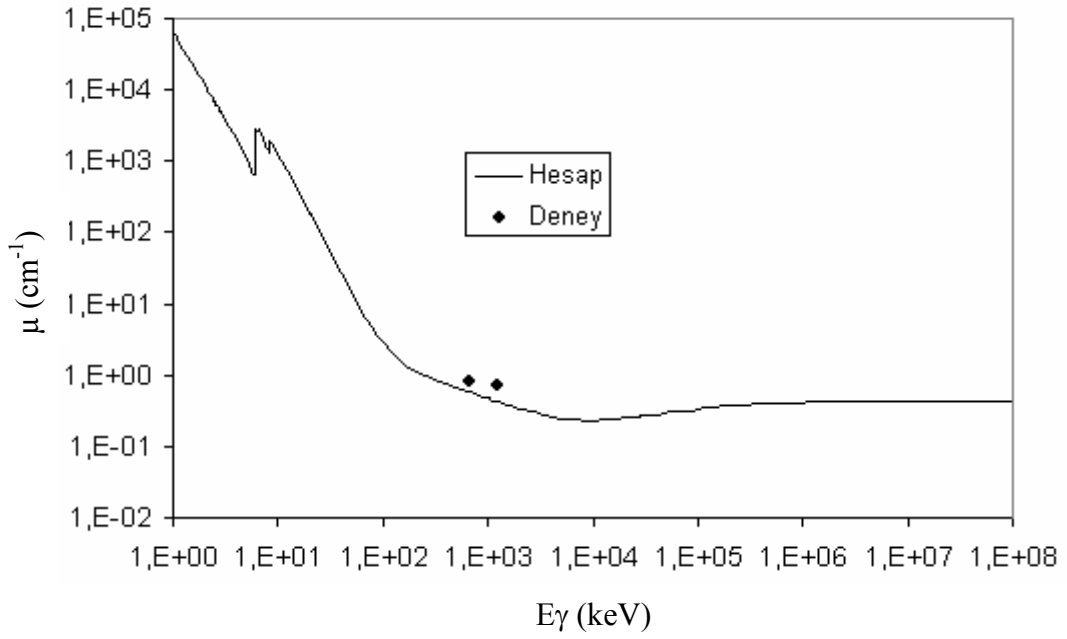
Çizelge 4.1. Borür tabakasının ve geçiş bölgesinin kalınlıkları ile borür tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının mikro sertlikleri

	Borür Tabakası Kalınlığı(μm)	Geçiş Bölgesi Kalınlığı(μm)	Borür Tabakası Sertliği(HV0,1)	Geçiş Bölgesi Sertliği(HV0,1)	Anayapının Sertliği(HV0,1)
Borlanmış Numune	15-20 μm	100 μm	1650-1740	1099-1123	241-285

Mikro sertlik deney sonuçları incelendiğinde yüzeyde elde edilen Fe₂B borür fazının çok sert olduğu, geçiş bölgesinde çok fazla tane irileşmesi meydana geldiğinden dolayı da anayapıya göre çok fazla sertlik artışı gözlenmiştir. Borür tabaka kalınlığı ise malzeme AISI-304 paslanmaz çelik olması ve içinde çok sayıda alaşım elementi bulunmasından dolayı yaklaşık 10-15 mikron gibi düşük bir tabaka kalınlığı elde edilmiştir. Bununla birlikte geçiş bölgesi olarak adlandırabileceğimiz yaklaşık 100 mikronluk bir tane irileşme bölgesi elde edildi.

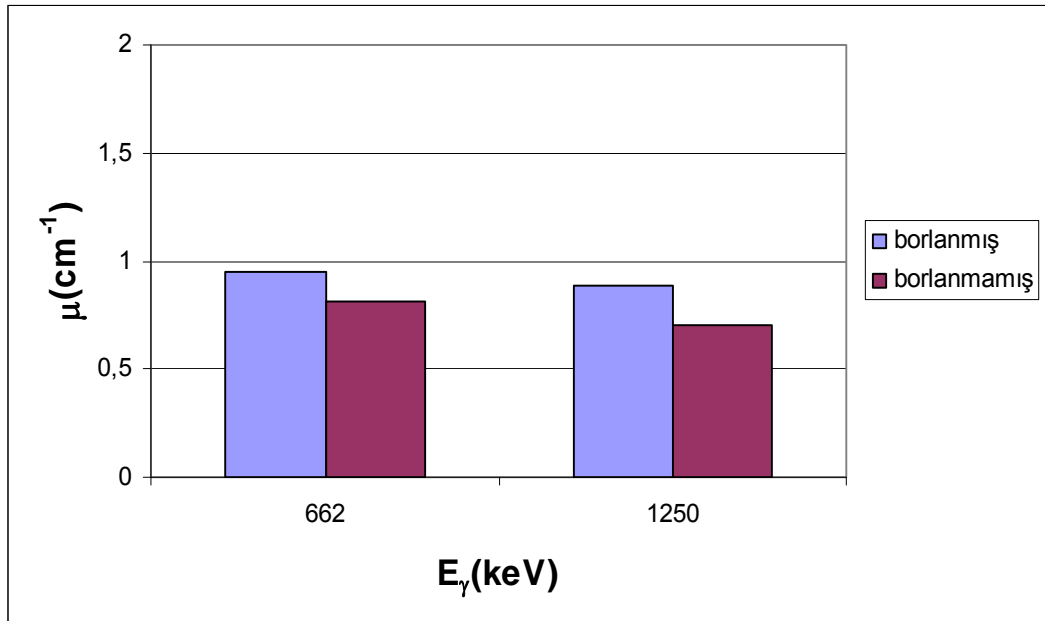
4.5. Lineer Radyasyon Soğurma Katsayısı

AISI-304 paslanmaz çeliklerde radyasyon soğurma katsayıları 1E+00 ile 1E+08 enerji aralığında teorik olarak elde edilmiş ve sonuçlar deneylerle karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak hesaplanan radyasyon soğurma katsayısı ile teorik olarak hesaplanan radyasyon soğurma katsayısı değerleri birbirleri ile uyumludur. Şekil 4.3' te gösterilen sonuçlardan anlaşıldığına göre gama ışınlarının çelikteki etkisi gamma enerjisine bağlı olarak değişmektedir.

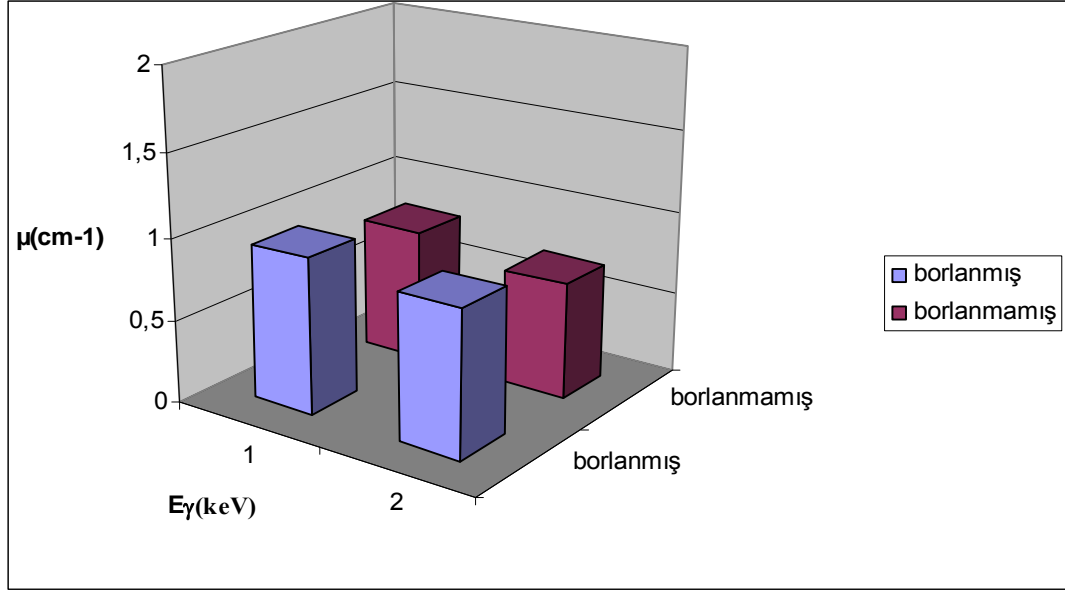


Şekil 4.3. AISI - 304 paslanmaz çelik için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Borla kaplanmış paslanmaz çeliğin elde edilen lineer radyasyon soğurma katsayısına borlamanın etkisi Şekil 4.4 ve Şekil 4.5' de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.4. İki farklı enerjide çeliklerin soğurma katsayılarına borlamanın etkisi



Şekil 4.5. İki farklı enerjide çeliklerin soğurma katsayılarına borlamanın etkisinin üç boyutlu grafiksel gösterimi

Her iki gama ışını enerjisi içinde borlamanın radyasyon soğurma katsayısını olumlu yönde etkilediği ve borla kaplanmış paslanmaz çeliklerin radyasyon zırhlamasında daha etkili sonuçlar vereceği açıkça görülmüştür.

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Borlama işleminin, AISI 304 paslanmaz çeliğin akma dayanımını düşürmediği sadece çekme dayanımını % 15, sünekliğini ise yaklaşık % 25 oranında düşürdüğü tespit edildi.
2. Borlama işleminin seçilen çeliğin akma dayanımını düşürmemesi bu çeliklerin statik ve dinamik dayanımların meydana geldiği yerlerde rahatlıkla kullanılabilceğini gösterir.
3. Çekme yönüne doğru numunelerin borür tabakalarının çizgi çizgi kalkıp döküldüğü görülmüştür.
4. Borür tabakasının sert ve gevrek olduğu tespit edilmiştir.
5. Numunenin optik mikroskop resmi incelendiğinde borür tabakasının parmaklı olmadığı aksine paslanmaz çelikteki alaşım elementlerinin fazlalığından dolayı düz bir yapıda olduğu, geçiş bölgesinde de çok fazla tane irileşmesinin meydana geldiği belirlenmiştir.
6. Mikro sertlik deney sonuçları incelendiğinde yüzeyde elde edilen Fe₂B borür fazının çok sert olduğu görülmüştür.
7. Geçiş bölgesinde çok fazla tane irileşmesi meydana gelmediğinden dolayı anayapıya göre çok fazla sertlik artışı gözlenmiştir.
8. Borür tabaka kalınlığı ise malzeme AISI-304 paslanmaz çelik olması ve içinde çok sayıda alaşım elementi bulunmasından dolayı yaklaşık 10-15 mikron gibi düşük bir tabaka kalınlığı elde edilmiştir. Bununla birlikte geçiş bölgesi olarak adlandırabileceğimiz yaklaşık 100 mikronluk bir tane irileşme bölgesi elde edildi.

9. Borlamanın radyasyon soğurma katsayısını olumlu yönde etkilediği ve borla kaplanmış paslanmaz çeliklerin radyasyon zırlamasında daha etkili sonuçlar vereceği belirlenmiştir.

11. Çeliğin radyasyon soğurma katsayısı gamma enerjisine bağlı olarak değişmektedir.

10. Nükleer santrallerde, patlamanın olduğu çekirdek bölgesinin en iç kısmında paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Çekirdekte, normal paslanmaz çelik yerine borla kaplanmış paslanmaz çeliğin kullanılması deney sonuçlarında da ortaya çıktığı gibi borlamanın radyasyon geçirgenliğini azaltıcı etkisinden dolayı zırh malzemesi olarak kullanılmasının nükleer santrallerin güvenliğinin artırılmasına olumlu etkisi olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Addemir, O., 2007. Bor Ürünlerinin Teknolojileri ve Türkiye' nin Durumu. www.maden.org.tr/resimler/ekler/55e31fa43e652cb_ek.pdf. Erişim Tarihi: 15.03.2008.
- Akkurt, İ., Çalık A., Yıldırım, H., 2008. The Effect of Boronizing on the Radiation Shielding Properties of Steel. Z. Naturfors. (Basımda).
- Anadolu Üniversitesi, 2005. İnternet Sitesi. <http://www.aof.anadolu.edu.tr/kitap/EHSM/1221/unite13.pdf>. Erişim Tarihi: 30.04.2008.
- Anonim, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik ÖİK Raporu Cilt II, Ankara, <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik619.pdf>. Erişim Tarihi: 20.10.2007.
- Anonim, 2003. Bor Raporu. Tmmob Metalurji Mühendisleri Odası.
- Arkun, E., 2006. Paslanmaz Çelik Saclarda Şekillendirme Karakteristikleri. Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 155s, İstanbul.
- Baştürk, S., Erten, M., 2006. Borlama ile Yüzey Sertleştirme Çalışmaları. Mühendis ve Makine, 47 (563), 57-74.
- Bayça, U, S., Şahin, S., 2004. İnternet Sitesi. www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2004/mayis/makale_borlama.htm. Borlama. Mühendis ve Makine, 532. Erişim Tarihi: 16.02.2008.
- Bekteş, M., 2006. Bor ve Borlama Teknikleri. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Seminer Çalışması, 50s, Isparta.
- Berber, H., 2005. İnternet Sitesi. www.aof.anadolu.edu.tr/kitap/IOLTP/2280/unite19.pdf. Erişim Tarihi: 13.05.2006.
- Bor ltd, 2007. İnternet Sitesi. www.boraxtr.com. Erişim Tarihi: 04.05.2007.
- Çalık, A., 2005a. Termokimyasal Borlama Yöntemleri ve Önemi. 4th International Advanced Technologies Symposium, 839-844, Konya
- Çalık, A., 2005b. Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Katı Ortamda Borlama Özelliğinin Araştırılması. 4th International Advanced Technologies Symposium, 849-852, Konya
- Çeçen, D., 1968. Bor Cevherleri ve Bor' un Çağımız ve Gelecekteki Önemi. Madencilik, 8 (1), 10-18.

- Delikanlı, K., Çalık, A., Uzun, H.A., 2003. Sade Karbonlu Bir Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi. BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5 (1), 99-110.
- Durmaz, H., 2002. Radyasyon Zırhlaması Amacıyla Karbonlu Yapı Çeliklerinin Değerlendirilmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi , 245s, Isparta.
- Er, Ü., Par, B., 2004. İnternet Sitesi: www.mmf.ogu.edu.tr/dergi/pdf/1-12.pdf. Bor Yayınımla Yüzeyi Sertleştirilmiş AISI 1030 ve AISI 1050 Çeliklerinin Abrazif Aşınma Dayanımlarının İncelenmesi. Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17 (1). Erişim Tarihi: 05.04.2008.
- Erdoğan, M., 2001 (Çeviri). Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri. Nobel Yayınları No:1, 234s. Ankara.
- Erdoğmuş, E., 2005. Çimentoya Bor Katkısı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 335s, İstanbul.
- Ertek, C., 2006. Plazma Ortamında İyon Aşıl原因mış 304 ve 316L Paslanmaz Çeliklerin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, İstanbul.
- Gürkan, M., 2007. Östenitik ve Martensitik Paslanmaz Çeliklerin Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67s, Afyon.
- Holbert, E., K., 2004. İnternet Sitesi. [www.eas.edu/~holbert/eee460/Radiation Effect Demage.pdf](http://www.eas.edu/~holbert/eee460/Radiation%20Effect%20Damage.pdf). Erişim Tarihi: 05.04.2006.
- Irmak, P., 2006. Türkiye’ de Bor Madeni ve Ekonomik İncelemesi. Eskişehir-Kırka İşletmesi Örneği. Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Eskişehir.
- Kaçar, A., 2006. Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 55s, Isparta.
- Kayır, Z., Y., 2006. Türkiye Paslanmaz Çelik Üretebilir mi. KOSGEB Ankara. www.metalurji.org.tr/dergidergi136d136_3038.pdf. Erişim Tarihi: 12.04.2006.
- Kılınçarslan, Ş., 2004. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 106s, Isparta.

- Kılınçarslan, Ş., Başıyigit, C., Akkurt, İ., 2007. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(2), 393-399.
- KimyaMühendisi.com, 2008. İnternet Sitesi. www.kimyamuhendisi.com. Erişim Tarihi: 12.04.2008.
- Koç, V., 2006. Toz Metalurjisi Tekniği ile Üretilen Bir Paslanmaz Çelikte Katkı Elemanlarının Aşınma Direncine Etkileri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 134s, Elazığ.
- Körpe, Ö.N., Körpe, E., Baksan, B., Çelikyürek, İ., Gürler, R., 2004. Fe₇₄Al₂₆ Alaşımının Borlanması. H. Uluslararası Bor Sempozyumu, 243-247, Eskişehir.
- Mavi, B., 2004. Isparta'daki Baz İstasyonlarının Çevresindeki Radyasyonun Ölçülmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 47s, Isparta.
- Mısır, M., Ş., 2001. Radyoaktif Elementlerin Endüstriyel Alanda Kullanılması. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 201s, Ankara.
- Onur, S., 2002. Gama Radyasyonu Zırhlaması Amacıyla Farklı Betonların Değerlendirilmesi. İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 107s, İstanbul.
- Sinha, A.K., 1991. Asm Handbook, Boronizing, 4, Asm International, Materials Park, Ohio, Usa, , S.437
- Sümer, G., 2004. Bor Bileşikleri. Uluslararası Bor Sempozyumu, 153-164, Eskişehir.
- Şahinaslan, A., 1997. Ağır İyon Sıkıştırılmalı Füzyon Reaktörlerinde SS-304 Çeliğinin Nötron Radyasyonu Altında Yıpranmasının Analizi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 100s, Ankara.
- Şen, U., 1997. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin 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. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 165s, Sakarya.
- Toprak, H., 2002. Borlanmış ve PVD Yöntemiyle TiN Kaplanmış KGDD Kam Milleri ile Kaplamasız ve Sertleştirilmiş Çelik Dövme Kam Millerinin Çalışma Performanslarının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101s, Ankara.

- Toprak, Ö., 2001. Gama Radyasyonunun Toprak İle Zırhlanmasının İncelemesi. İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, İstanbul.
- Tezcan, R., 1996. Borlama İşlemi ve Endüstriyel Uygulamaları. Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46s, Eskişehir.
- Türkyılmazoğlu, A., 2006. Dupleks, Martenzitik ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 138s, Sakarya.
- Uluköy, A., Can, A.Ç., 2006. Çeliklerin Borlanması. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (2), 189-198.
- Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, 2007. İnternet Sitesi. www.boren.gov.tr. Erişim Tarihi: 15.03.2007
- Yorulmazel, C., S., 2007. Paslanmaz Çelik Konstrüksiyonlarda Oluşan Distorsyonların Etüdü. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 150s. İstanbul.
- Yülek, G., G., 1992. Radyasyon Fiziği ve Radyasyondan Korunma. SEK Yayınları No: 14, 195s. Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Adem TURHAN

Doğum Yeri ve Yılı: Ankara, 1975

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dil: İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Lise 1989 – 1993 Antalya Anadolu Teknik, Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi

Lisans 1994 – 1998 Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Kalıpcılık
Öğretmenliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

1999 – 2002 Kazan Efes Endüstri Meslek Lisesi, Tesviye bölümü, Ankara

2002 – 2004 Akseki Şahinler Çok Programlı Lisesi, Antalya

2004 – 2007 Atatürk Anadolu Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, Makine
Ressamlığı, Antalya.

2007- Antalya Organize Sanayi Bölgesi Anadolu Teknik ve Endüstri
Meslek Lisesi, Antalya.