

**BUHAR KAZANLARINDA ISI İLETİMİNDE
KULLANILAN ÇELİK BORULARIN KOROZYON
DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

Mesut MEYDO

**BUHAR KAZANLARINDA ISI İLETİMİNDE KULLANILAN ÇELİK
BORULARIN KOROZYON DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mesut MEYDO

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

Eylül 2013

KARABÜK

Mesut MEYDO tarafından hazırlanan “BUHAR KAZANLARINDA ISI İLETİMİNDE KULLANILAN ÇELİK BORULARIN KOROZYON DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 20/09/2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Melik ÇETİN (KBÜ)

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

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

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Mesut MEYDO

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BUHAR KAZANLARINDA ISI İLETİMİNDE KULLANILAN ÇELİK BORULARIN KOROZYON DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI

Mesut MEYDO

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

Eylül 2013, 48 Sayfa

Bu çalışmada buhar kazanlarında kullanılan St 45.8 kalite çeliğin korozyon direnci incelenmiştir. İşlemsiz ve yüzeyleri borla kaplanmış St 45.8 kalite çelik numuneler korozyon deneyine tabi tutulmuştur. Borlama uygulanan numunelerin korozyon direncinin arttığı tespit edilmiştir. Ana malzeme (işlemsiz) ve borlama ısıl işlemi yapılmış numunelerin mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri yapılan numunelerde; borlama ısıl işlemi yapılmış numunelerin ana malzemeye oranla 10 kat arttığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra her iki grup numunenin ısı iletim katsayısı ölçümleri yapılmış, işlemsiz ve borlanmış numuneler arasında % 1-3 arasında fark gözlenmiştir. Korozyon deneyine tabi tutulan numune yüzeylerinin EDS donanımlı SEM analizleri yapılmış ve korozyona sebep olan elementlerden oksijenin varlığı tespit edilmiştir. Borlama ısıl işlemine tabi tutulan numuneler, x-ışını kırınım analizine tabi tutulmuştur. FeB ve Fe₂B fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Korozyon, DIN17175, borlama ısıl işlemleri.

Bilim Kodu : 710.3.022

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF PIPE CORROSION RESISTANCE USED HEAT TRANSFER IN STEAM BOILERS

Mesut MEYDO

**Karabuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metallurgy Education**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

September 2013, 48 pages

In this study examined the corrosion resistance of steel boilers used St 45.8 quality. Were subjected to corrosion tests the samples taken from quality steel St 45.8 and new materials. Then, boron coated surfaces, surface corrosion resistance was investigated. Samples are subjected to boriding, corrosion resistance were increased. Main material and boriding of heat-treated samples micro-hardness measurements were made. Samples of micro-hardness measurements, boriding heat-treated samples were increased 10 time compared to the main material. Besides the two groups of the sample thermal conductivity measurements are done, the difference between untreated and borided. samples were 1-3% observed. Samples are subjected to corrosion tests; EDS analyzes were conducted and SEM photographs were taken. Oxygen in the presence of corrosive elements have been identified. The samples subjected to boriding heat treatment, were analyzed by x-ray diffraction. FeB and Fe₂B phases have been identified to occur.

Keywords : Corrosion, DIN17175, Boronizing heat treatment
Science Code : 710.3.022

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamamda bana büyük yardımları dokunan ve değerli vakitlerini benimle paylaşan, bilgileri ile beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Mustafa YAŞAR' a sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarımnda bana yardımcı olan Doç. Dr. Melik ÇETİN, Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI' hocalarıma ve makine mühendisi Zafer Şahin ve Aytekin KURT' a sonsuz saygı ve teőekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen aileme sonsuz saygı ve teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2	3
KAZANLAR.....	3
2.1. GİRİŞ.....	3
2.1.1. Su Borulu Buhar Kazanları.....	6
2.1.1.1. Suyun sirkülasyon şekline göre.....	7
2.1.2. Buhar Kazanlarında Blöf.....	9
BÖLÜM 3	17
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	17
3.1. MALZEME VE ÖZELLİKLERİ.....	17
3.2. METALOGRAFİK İNCELEMELER.....	20
3.3. BORLAMA İŞLEMİ.....	20
3.4. X-IŞINLARI KIRINIM ANALİZİ İNCELEMELERİ	21
3.5. MİKRO SERTLİK DENEYİ.....	21
3.6. KOROZYON DENEYİ.....	22
3.7. ISI İLETKENLİK ÖLÇÜMLERİ.....	22

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	23
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	23
4.1. MİKROYAPI.....	23
4.2. BORLAMA	24
4.3. X-IŞINLARI KIRINIM ANALİZİ SONUÇLARI	25
4.4. MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ.....	35
4.5. KOROZYON DENEYİ.....	36
4.6. ISI İLETKENĞİ.....	42
BÖLÜM 5	44
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	44
5.1. SONUÇLAR.....	44
5.2. ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Su borulu kazan	7
Şekil 2.2. Bir korozyon hücresinde İcor ve Ecor değerleri.....	14
Şekil 3.1. Buhar kazanlarında kullanılan St 45.8 kalite çeliğin ana malzemesi	18
Şekil 3.2. Buhar kazanlarında kullanılan St 45.8 kalite çeliğin çukur korozyonu görüntüsü.....	18
Şekil 3.3. Buhar kazanında kullanılan St 45.8 kalite çelitte oluşan çukur korozyonu	19
Şekil 4.1. Metalografik resimleri verilen çelik numuneler	23
Şekil 4.2. Borlama işleminden sonra alınan metalografik görüntüler	24
Şekil 4.3. SEM analiz görüntüleri	26
Şekil 4.4. Borudaki oyuktan alınan (1) EDS analiz sonuçları	27
Şekil 4.5. Borudaki oyuktan alınan (4) EDS analiz sonuçları	28
Şekil 4.6. Düz yüzeyden alınan (1) EDS analiz sonuçları.....	29
Şekil 4.7. 950 °C borlanmış yüzeyden alınan (1) EDS analiz sonuçları.....	30
Şekil 4.8. 950 °C borlanmış yüzeyden alınan (5) EDS analiz sonuçları.....	31
Şekil 4.9. 1050 °C borlanmış yüzeyden alınan (1) EDS analiz sonuçları.....	32
Şekil 4.10. 1050 °C borlanmış yüzeyden alınan (2) EDS analiz sonuçları.....	33
Şekil 4.11. 950 °C’de borla yüzey kaplamadan alınan XRD analizi.....	33
Şekil 4.12. 1050 °C’de borla yüzey kaplamadan alınan XRD analizi.....	34
Şekil 4.13. Oyuktan alınan XRD analizi	34
Şekil 4.14. Mikrosertlik ölçümleri	35
Şekil 4.15. 950 °C de bor kaplamadan alınan sertlik sonuçları.....	36
Şekil 4.16. 1050 °C de bor kaplamadan alınan sertlik sonuçları.....	36
Şekil 4.17. % 10 H ₂ SO ₄ asit çözeltisinde ana malzeme yapılan korozyon deneyi ..	37
Şekil 4.18. Borla kaplama yüzeylerinde % 10 H ₂ SO ₄ asit çözeltisinde yapılan korozyon deneyi	38
Şekil 4.19. Korozyon deneyi Ecor değerleri.....	40
Şekil 4.20. Korozyon deneyi İcor değerleri.....	40
Şekil 4.21. Borla yüzey kaplama korozyon deneyi Ecor değerleri	41

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.22. Borla yüzey kaplama korozyon deneyi İcor değerleri	42
Şekil 4.23. Test edilen malzemenin bitiş yüzey sıcaklığı.....	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Buhar kazanlarında kullanılan çelik boru standartları ve kimyasal kompozisyonları.....	17
Çizelge 3.2. Bu çalışmada kullanılan St 45.8 kalite çelik malzemenin spektral analizi.....	19
Çizelge 3.3. Buhar kazanlarından alınan numunelerin kimyasal analizleri	20
Çizelge 4.1. Korozyon deneyi sonuçları.....	39
Çizelge 4.2. Borlama işleminden sonra korozyon deneyi sonuçları.	41
Çizelge 4.3. Ana Metal (borlanmamış).	42
Çizelge 4.4. Borla yüzeyi kaplanmış numune.	43

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Buharın proses amacıyla kullanıldığı endüstriyel sistemlerde ve buhar kullanılan büyük çaplı ısıtma sistemlerinde, yakıtla verilen enerjiden faydalı enerjiye dönüştürülebilen enerji oranı ciddi ölçüde sınırlıdır. Özellikle enerji verimliliğine özen gösterilmeyen tesislerde, sistem verimi olarak tanımlayabileceğimiz bu değer %50-60 mertebelerinin altına kadar düşebilmektedir. Burada verimsizlik veya kayıp unsurları kazanın kendi içindeki proseste ve buhar tesisatında olmak üzere iki grupta toplanabilir. Sözü edilen verim bunların toplamını ifade etmektedir. Çok sayıda noktada ve çok sayıda parametreye bağlı olarak oluşan kayıplar içinde, bacadan sıcak duman gazlarıyla atılan enerji ve kondensle kaybedilen enerji başı çekmektedir. Halen endüstride kullanılan konvansiyonel buhar kazanlarında 300-350 °C baca sıcaklıkları ölçülebilmektedir. Aynı şekilde kondensin tamamının dışarı atıldığı tesisler mevcuttur. Kondens toplardaki buhar kaçakları çoğu kez fark edilmez ve bu yolla üretilen buhar hiç kullanılmadan kaybedilir. Bazı büyük ve yaygın sistemlerde buhar kaçakları ve kaçak buhar kullanımı inanılmaz boyutlardadır. Buhar kaybının yanı sıra kullanılan malzeme kayıpları da büyük önem taşımaktadır. Kullanılan malzemelerin kırılması çatlaması ve korozyona uğraması sonucu çalışan buhar kazanının durmasına ve tamiratının yapılincaya kadar zaman ve iş kaybına neden olmaktadır. Buhar kazanlarında kullanılacak malzemelerin iyi analiz edilip kullanılması büyük önem taşımaktadır. Buhar kazanlarında su boru hatları yanlış kullanım ve yeterli kontrol altında tutulmadığı sürece korozyona uğraması kaçınılmazdır. Korozyona uğrayarak çatlamalara ve boru duvarlarında incelmelere sebep olan korozyon, buhar kazanları için büyük sorundur. Su boru hattında oluşan çatlak işletmenin durmasına ve kazanın içi bu borularla kaplı olduğundan sistemin uzun süre beklemeye alınmasına sebep olacaktır.

Bu çalışmada buhar kazanlarında kullanılan St 45.8 kalite çeliğin korozyon direnci incelenmiştir. Korozyon deneyi yapmak amacıyla bir işletmeden servis şartlarında kullanılan üç farklı buhar kazanından (kazan 1, kazan 2 ve kazan 3) numuneler alınarak korozyon deneyi yapılmıştır. St 45.8 kalite elik piyasada bulunduğu haliyle temin edilerek korozyon deneyine tabi tutulan numuneler karşılaştırılmıştır. Daha sonra borla yüzey kaplama işlemi yapılan numunelerin korozyon direnci araştırılmıştır. Borla yüzey kaplama işleminden sonra St 45.8 kalite çeliğin korozyon direncinin arttığı gözlenmiştir. Borla yüzey kaplama işleminden sonra ısı iletim katsayı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, borla kaplı numune zerine SEM ve XRD analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2

KAZANLAR

2.1. GİRİŞ

Genel olarak, bir yakıttaki enerjiyi ısı şeklinde açığa çıkartarak oluşan ısı enerjisini bir akışkana verecek şekilde imal edilmiş ve basınç altında çalışan kapalı bir kap olarak tanımlanır. Kazanlar, konutlarda ısınma için kullanılabildiği gibi enerji gereksinimi olan birçok sanayi dalında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kazanlarda üretilen buhar, sanayi proseslerinde doğrudan ısı enerjisi olarak pişirme, kurutma gibi işlerde ve buhar makinelerinde kullanılmaktadır.

Kullanım ihtiyaçlarına göre çok değişik türlerde üretilen kazanlar, ilk yatırım ve işletme giderleri bakımından oldukça pahalı enerji üreteçleridir. Bu nedenle, amaca uygun kazan seçilmeli, işletilmesinde ve bakımında gerekli özen gösterilmelidir.

Isı transferi ve akışkanlar mekaniğindeki araştırmalar, büyük kapasitedeki yakacakların verimli bir şekilde yakılabilme imkânlarının doğması, çelik ve çelik alaşımlarındaki gelişmeler ve imalatın daha hassas kontrol edilebilmesi buhar kazanlarının son yıllardaki gelişmelerine büyük katkılar sağlamıştır.

Buhar kazanlarının imalatında ve işletilmesinde önemli olan etmenler, kazanların emniyetli, çevreyi kirletmeden ve verimli çalıştırılabilmesidir. Buhar kazanı imalatçısı ve işletmecisi olan mühendisler, bu üç konuyu daima göz önünde tutmalı, bunların birbirine olan ters etkilerini azaltmaya çalışmalıdır [1].

Kazanın esas görevi, yanma odasında yakıtının kimyasal enerjisinin ısıya dönüştürülmesi sayesinde ortaya çıkan ısının suya verimli bir şekilde geçmesini sağlamaktır. Yakıt, kazanın yanma odası içinde yakılır ve bu sayede ısı açığa çıkar.

İdeal bir kazan aşağıdaki özellikleri içerir.

Yapı yönünden basit olması ve malzemenin ısıyı iyi bir şekilde suya geçirmesi,

- Yeterli miktarda buhar ve su boşluğunun olması,
- Yanmanın verimli olması ve ısının suya etkin bir biçimde geçmesi,
- Emniyetli olması,

Bir kazan, yanma esnasında en yüksek miktarda ısıyı suya geçirebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Kazanlar değişik görevleri yerine getirebilmek için, çok çeşitli büyüklüklerde ve biçimde yapılır. Günümüzde çoğu kazan, yakıtı daha verimli kullanmak amacı ile birden fazla yakıtı yakacak şekilde tasarlanır.

Kazanlarda suyun buharlaştırılması,

- Sabit basınçta buharlaşma sıcaklığına kadar ısıtılması,
- Doymuş sıvı fazından doymuş buhar fazına kadar buharlaşma işlemi,
- Sabit basınçta buharın istenilen sıcaklığa kadar kızdırılması,

şeklinde üç kademe oluşur [2].

Endüstride buhar kullanımında tercih nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Yüksek akışkan sıcaklıklarına çıkmak mümkündür.
- Isı geçiş yüzeylerinde sıcaklık sabittir. Buhardan ısı çekişi genellikle doymuş buharın yoğuşmasıyla gerçekleşir. Bu işlem, sabit sıcaklıkta gerçekleştiğinden bütün ısıtma yüzeyi boyunca buhar tarafından sıcaklığı sabittir.

- Sıcaklık kontrolünü çok hassas biçimde gerçekleştirmek mümkündür. Söz konusu sabit yoğunlaşma sıcaklığı buharın basıncına bağlıdır. Basınç kontrolü yoluyla proses sıcaklığını çok hassas olarak kontrol etmek mümkündür.
- Büyük miktarda ısı enerjisini küçük bir kütle ile taşımak mümkündür.
- Buhar sağlığa uygun ve tamamen saf bir maddedir.

Buharın dezavantajları ise:

- Buhar tesisatında korozyon riski fazladır.
- Kondens hattının oluşturulması, işletmesi zor ve pahalıdır.
- Buhar dağıtım hatları, belirli bir eğime sahip olmalı ve içinde kondens birikmemelidir [3].

Bir buhar kazanı genel olarak şu elemanlardan meydana gelir:

- Ocak: Yakacakların yakılarak ısı enerjisinin elde edildiği kısımdır.
- Asıl Isıtma Yüzeyleri: Sıcak duman gazları ile buharlaşmakta olan suyun temasta olduğu yüzeyler.
- Kızdırıcı: Doymuş ıslak buharın sabit basınçta ısıtılarak sıcaklığının artırıldığı yüzeyler.
- Su Isıtıcıları: Besleme suyunun asıl ısıtma yüzeyine girmeden önce bir miktar ısıtıldığı yüzeyler.
- Hava Isıtıcıları: Yakma havasının duman gazları ile ısıtıldığı yüzeyler.
- Baca: Duman gazlarını kazandan uzaklaştıran ve çekmeyi sağlayan elemandır [3].

Korozyon, metallerin içinde buldukları ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlara girerek metalik özelliklerini kaybetmeleridir. Metallerin büyük bir kısmı su ve atmosfer etkisine dayanıklı olmayıp, normal koşullar altında dahi korozyona uğrarlar [4]. Metallerin korozyonları içerisinde en önemli ve tehlikeli boyutta olanı, çeliğin korozyonudur. Üretim kolaylığı ve düşük maliyet birçok yerde çelik kullanımını yaygınlaştırmıştır. Özellikle boru hatları ve tankların metal

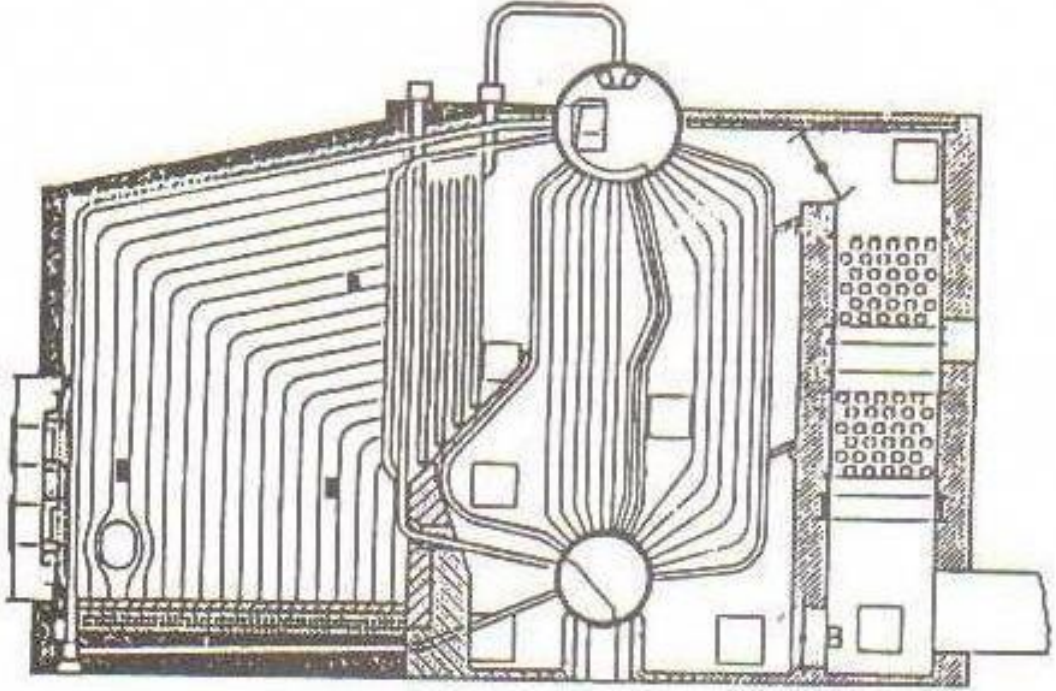
yüzeyleri, korozyona karşı koruma amaçlı kaplanmaktadır. Ancak, bu metalin herhangi bir noktasında oluşabilecek muhtemel tahribat neticesinde belli noktadan başlayarak çok hızlı şekilde korozyon mekanizması çalışmaya başlar [5]. İşletme sırasında korozyon, çevrimin değişik bölümlerinde değişik veya benzer etmenlere bağlı olarak çok çeşitlilik göstermektedir. Örneğin; türbin, kondense ve besleme sisteminde, karıncalanma, çukur, tekdüze (uniform) korozyon gözlenirken kazanda bunların dışında kavrulma, hidrojen kırılması, kostik korozyonu vb. hasarlar ve korozyon olayı gözlenmektedir. Bunlar su tarafında gözlenen korozyon olaylarıdır. Kazanın ateş tarafında gözlenen korozyon türleri ise daha farklı olup kükürt ve vanadyumun neden olduğu korozyon, düşük ve yüksek sıcaklık korozyonudur [6].

Yüksek sıcaklıkta yürüyen oksitlenme reaksiyonları dışındaki bütün korozyon olayları elektrokimyasal reaksiyonlar ile gerçekleşir. Bu reaksiyonlar metal/elektrolit ara yüzeyinde meydana gelir. İyonik iletken olan bütün çözeltiler, doğal sular, zeminler ve beton elektrolit olarak korozyona neden olabilir. Rutubetli hava içinde bulunan su buharı da, metal yüzeyinde yoğunlaşarak korozyon için uygun bir elektrolitik ortam oluşturur. Bu nedenle atmosfer içinde gerçekleşen korozyon olayları da elektrokimyasal reaksiyonlar ile yürür. Korozyon reaksiyonlarının yürütücü kuvveti reaksiyon sırasında açığa çıkan enerji, yani serbest entalpi azalışıdır. Termodinamik yasalarına göre, bir reaksiyonun kendiliğinden yürüyebilmesi için reaksiyon serbest entalpi değişimi negatif olmalıdır. Ancak termodinamik olarak mümkün olabilen reaksiyonların bazı kinetik engeller nedeniyle yürümediği görülebilir. Bu nedenle söz konusu kuralın “serbest entalpi değişimi pozitif olan reaksiyonlar kendiliğinden yürüyemez” şeklinde ifadesi daha kesin ve anlamlıdır. Bir metal ne derece aktif ise, yani iyon haline geçme isteği ne derece yüksek ise, o metalin korozyona uğraması da o derece kolay olur. Standart elektrot potansiyelleri metallerin aktiflik durumu hakkında fikir verebilir. Standart elektrot potansiyeli daha pozitif olan metaller daha aktif sayılır. Ancak metal yüzeyinin pasifleşmesi nedeniyle bu kuraldan sapmalar olabilir.

2.1.1. Su Borulu Buhar Kazanları

Su borulu kazanlarda yanma odası, içinden su ve buhar karışımının sirkülasyon yaptığı tüplerle çevrilidir. Bu tip kazanlar rafineri operasyonlarında alev borulu kazanlara göre çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarımları son zamanlarda önemli gelişmeler göstermiştir. Dikey veya dikeye yakın doğrultulu tüpler hem radyasyon (yanma odası) hem de konveksiyon (yanma gazları) bölgelerinde verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca ekonomizer ve hava ısıtıcılarının da kullanımıyla sıcak baca gazlarının atık ısısından maksimum derecede yararlanılmaktadır [7,8].

Avantajları; buhar elde etmek için fazla zamana ihtiyaç olmaması, yüksek basınç, sıcaklık ve yüke uygun olması ve sürekli maksimum yükte çalışabilmesidir. Dezavantajları ise; bakımı, temizliği ve işletmesinin zor olması ve tasfiye edilmiş, kaliteli besi suyunun kullanılmasının zorunlu olmasıdır.



Şekil 2.1. Su borulu kazan.

2.1.1.1. Suyun Sirkülasyon Şekline Göre

Tabii Sirkülasyonlu Kazanlar

Sanayi tesislerinde en çok kullanılan kazan tipidir. Kazan içinde ısınan suyun yoğunluğu ile soğuk suyun yoğunluğu farkı nedeniyle, ısınan suyun yükselerek drama giderken yerini nispeten daha soğuk suyun yerleşmesi prensibine dayanır. İki grupta incelenebilir. Bunlardan ilki serbest tabii sirkülasyonlu kazanlardır. Bu tip kazanlarda buhar üretici borular yatay ve yataya yakındır, besi suyu kazana alt taraftan verilir ve buhar üstten alınır. Diğer tip ise tabii hızlandırılmış sirkülasyonlu kazanlardır. Bu tip kazanlarda ise buhar üretici borular dikeydir, besi suyu kazana üst domdan verilir, nispeten soğuk besi suyu buhar üretici borular veya downconer adı verilen borularla sirkülasyonunu tamamlar. Genelde günümüzde kullanılan kazan tipidir.

Cebri Sirkülasyonlu Kazanlar

Bu tip kazanlarda suya ve buhara pozitif bir sirkülasyon sağlanmaktadır. Bu sirkülasyon cebri bir pompa ile sağlanır [7,9].

Su Borulu Kazanların Kısımları ve Görevleri

Su borulu kazanlarda boruların içinden su, dışından alev dolaşır. Saatte 1,5-2,5 ton buhar üretirler. 600-650 °C kızgın buhar üretirler yüksek sıcaklık ve basınç özellikle kara tesislerindeki termal güç santrallerinde kullanılır. Bu kazanların bakım tutumları son derece hassastır. Ana makinesi dizel motoru ile çalışan büyük ham petrol taşıyan tankerlerde yardımcı kazanlar su borulu kazanlardır. Bu kazanlardan elde edilen düşük süperheaterli (kızgın buhar) (150-250 °C) ve 10 kg/cm² basınçlı buhar türbinle çalışan ham petrolü basan pompalarda ve doymuş 7 kg/cm² buhar, güvertede buharla çalışan demir ırgatın halat ırgatı ve vinçlerin çalıştırılmasında ve ısıtma sistemlerinde kullanılır.

Dramlar

Buhar dramlarının başlıca görevi dışarıdan gelen fid suyunu, buhar yapıcı borulara göndermek, buhar yapıcı borulardan gelen buharla sıcak sularında birbirinden ayrılabilceği bir mahal teşkil etmek ve buharı dışarıya vermektir. Su dramlarının görevi ise buhar yapıcı borulara suyu düzenli bir şekilde dağıtmak ve su içinde çökebilecek yabancı maddelerin toplanacağı bir mahal teşkil etmektir. Bütün dramların baş tarafına temizlik muayene ve onarım için menholler açılmıştır.

Hederler

Hederler iki şekilde yapılırlar. Birincisi tek parçadan ve prizma şeklinde olanı ikincisi ise dilimlerden yapılanlarıdır. Son yıllarda dilimli tip daha çok kullanılmaktadır. Böylece ısıl genişmeden gelen gerilmeler giderilmektedir. Dilimlerin üzerinde bulunan menhol adı verilen kapaklardan boruların değiştirilmesi veya tapalanması işlemi yapılır. Hederler ön ve arkada olmak üzere iki tanedir ve aralarında 12 -18 °C'lik açıyla su boruları donatılmıştır.

Su Boruları

Su borulu kazanlarda kullanılan borular dış çaplarına göre ölçülendirilirler. Borunun et kalınlığı iç basınca veya kazanın maksimum basıncına göre hesaplanır. Heder ve dram türü kazanların su boruları hederlere veya buhar dramları ile su dramları arasındaki karşılıklı deliklere geçirilir ve ağızları boru makinetosu ile genişletilerek yerlerine tespit edilirler.

Ocaklar

Su ve alev borulu kazanların cehennemlikleri ısıya yalıtkan ateş tuğlalarından örölmüş duvarlarla çerçevenmiştir [10].

2.1.2. Buhar Kazanlarında Blöf

Blöf, kazan suyu içinde buharlaşma sonucu konsantrasyonu artan çözünmüş ya da askıda kalmış katı madde miktarını kazan için belirlenen limitlere çekebilmek amacıyla kazan suyunun bir kısmının sistemden atılması işlemidir. Kazana besleme suyu ile gelen katı asıtlılar ve çözünmüş katı maddeler buhara geçemeyeceğinden kazan suyunda kalır ve zamanla derişimi artar. Eğer blöf ile kazan suyu ayarlanmazsa buhar kalitesi bozulur ve belirli bir zaman sonra tehlike arz eder ve hatta kazan çalışamaz hale gelir.

Katı asıtlılar ve çözünmüş katı maddeler kazan suyuna besleme suyundan ve kondense kaçaklarından gelir.

İşletmede kaçak olması durumunda blöf miktarı arttırılarak kazan suyu ve buhar kalitesinin korunmasına çalışılır. Ancak sürekli yüksek blöf ekonomik olmayacaktır. Öyleyse kondensat devrelerindeki kaçaklar önlenmelidir. Bu durumda kaçak olduğu kesin saptanırsa yük düşürülüp kaçak kısa sürede bulunup sistemden atılmalıdır.

Kazan suyundaki katı asıtlı ve çözünmüş madde konsantrasyonunun kazana zarar vermesini engellemek amacıyla kazan suyundaki bazı parametrelere sınır değerler konulmuştur. Buhar kazanlarında blöfler bu sınır değerlere göre yapılmaktadır. Kazan suyu sınır değerleri belirlenirken kazan besleme suyunun karakteri, kazan ve bağlı olduğu sistem türü ile özellikle kazanın çalışma basıncına bakılmaktadır.

Kazan suyunda istenmeyen safsızlıklar (katı asıtlılar, tüm tuzlar, alkalite ve silis) kazanda korozyon, depozit, çöküntü ve sürüklenme sebebi olabilmektedir. Bu riskleri minimuma en ekonomik şekilde indirmek uygun limitler ve doğru bir blöf rejimi ile mümkündür. Bu da safsızlıkların belirlenmiş olan sınır değerlerinin altına düşürmek için, kazan dışına atılarak sağlanmaktadır [11].

Su borulu kazanlarda kostik korozyonu başlıklı çalışmada; boru et kalınlığında azalma tespiti gözlenmiş ve nedenleri araştırılmıştır. Bu çalışmada; Na_2FeO_2 ve

NaFeO₂ bileşiği olduğu SEM görüntülerinde tespit edilmiştir. Na ve Cu EDS analizi ile oyuklar içinde toplandığı tespit edilmiştir. XRD sonuçlarına göre ise NaFeO₂ bileşiğinin kostik korozyona neden olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak; kimyasal kullanımında dikkatli davranılmalı ve fazla kullanılmamalıdır. Boru içerisinde tortu oluşumu engellemek için make up suyu kontrolü tam yapılmalıdır [12].

Midwest'te bir endüstriyel güç santralinde ekomizerden buhar kazanı drumuna kadar bulunan 6 inç çapındaki su besii hattında oluşan çatlak, buhar basıncını 900 psi (61.24 atm) ye kadar düşürmektedir. 2 yıllık bir araştırma sonucunda kimyasal bağlayıcıların bu çatlaklara sebep olduğu anlaşılmıştır. 5 ayrı kazandan alınan örneklerle incelemeler yapılmış ve kimyasal bağlayıcıların yanlış kullanımı, buruların incelmesine ve çatlamalara neden olduğu anlaşılmıştır.

Kimyasal bağlayıcıların fazla kullanılması sıcaklığın yüksek olduğu yerlerde yüzeyden ayrışmasına neden olmakta ve aşırı kimyasal bağlayıcı beslemesi, kazan suyu sertliğini aşırı derecede yükseltmiştir. Artan basınç ve sıcaklık ile korozyon riski artar bu nedenle kimyasal kullanımında çok dikkatli davranılmalıdır. 900 psi (61.24 atm) e yakın veya aşan basınçlarda özellikle önemlidir, 1000 psi (68.94 atm) nin üstünde kimyasal bağlayıcı kullanılması tavsiye edilmez. Sık ölçüm yapılmalı ve pH değeri 9.5 olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Oksijen ölçümü korozyona neden olduğundan sık sık yapılması gerektiği anlaşılmıştır [13].

Taler, Duda, Weglowski, Zima, Gradziel, Sobota ve Taler'in yapmış oldukları çalışmada; Buhar kazanlarında kullanılan boruların ısı transfer sıcaklıkları ölçümü için formüle edilmiştir. Yapılan boru kalınlığı ölçümleri sonucunda buhar kazanları için en uygun et kalınlığına sahip borular belirlenmiştir. Belirlenen boruların ısı transferi hesaplanmış ve buhar kazanlarında kullanmak için en uygun boru kalitesi oluşturulmuştur.

Büyük buhar kazanlarındaki su duvarı borularının termal çalışma koşullarını belirlemek için yeni bir yöntem sunulmuştur. Isı akımının su duvarı boruları

tarafından emilmesi, boru iç yüzeyi üzerinde ısı transfer katsayısı ve su-buhar karışımının sıcaklığı, bu yöntemle takip edilmesi mümkün olmaktadır. Boruların iç yüzeyinde oluşan birikinti tabakaları boru sıcaklığını artırmaktadır. Isı transfer sıcaklıkları ölçümü sayesinde bu durumun değerlendirilmesi mümkün olmaktadır [14].

Huang, Zhou, Xu ve Bain'in yapmış olduğu çalışmada; Buhar kazanlarında kullanılan boruların iç yüzeyinde oluşan oksit tabakasının kalınlığı ve bu tabakada oluşan hataların analizleri değerlendirilmiştir. Oksit tabaka kalınlığı ve oluşan hataların incelenmesi sonucunda elde edilen verilere dayanarak, makul buhar sıcaklığı ve uygun değişim süresi için öneriler sunulmuştur. Yapılan incelemeler neticesinde buhar sıcaklığını belli bir aralıkta tutmak ve oluşan birikinti tabakaları nedeniyle oluşacak sıcaklık artışını göz önünde bulundurarak sıcaklık değişimi yapılmıştır. Santraller bakıma alındıklarında korozyon oluşabilecek noktalarda temizlik yapılmalıdır. Oksit tabakası kalınlığındaki artış kritik buhar sıcaklığını düşüreceğinden, buhar sıcaklığı süresini artırmaktadır [15].

Buhar kazan ve tesisatlarında korozyon koruma programı deneysel uygulama adlı çalışmada buhar kazanlarında kullanılan ısıtma tesisatlarında korozyon koruma programının nasıl uygulanıp kontrol edilmesi gerektiği açıklanarak ilgili ölçütlerin hesapları verilmiştir. Tesisatlarda korozyondan koruma programı, kullanılan su ve üretilen buhar akımı içerisine kimyasal madde kullanılması ile tanımlanabilir. Besleme suyunun sisteme alınması ve sistemde dolaşımı tamamlandıktan sonra tekrar arıtılıp kaybedilen su miktarı kadar su ilavesi takip edilmiştir. Yapılan ölçümler hesaplanarak sistemde eksik olan kimyasal ilave edilmiştir. Tüm kazan sistemi gözden geçirilerek korozyon oluşumunun sebebinin otomasyonlu blöf sisteminde ki arızadan kaynakladığı tespit edilmiştir. Blöf sisteminde ki arıza besleme suyundaki kimyasal dengesini sağlayamadığından, az veya aşırı kimyasal yüklemesi sistemde birikinti oluşumuna nede olmaktadır. Korozyonu önlemenin en etkili yolunun, koruma programına aralıksız devam edilmesi sonucuna varılmıştır [16].

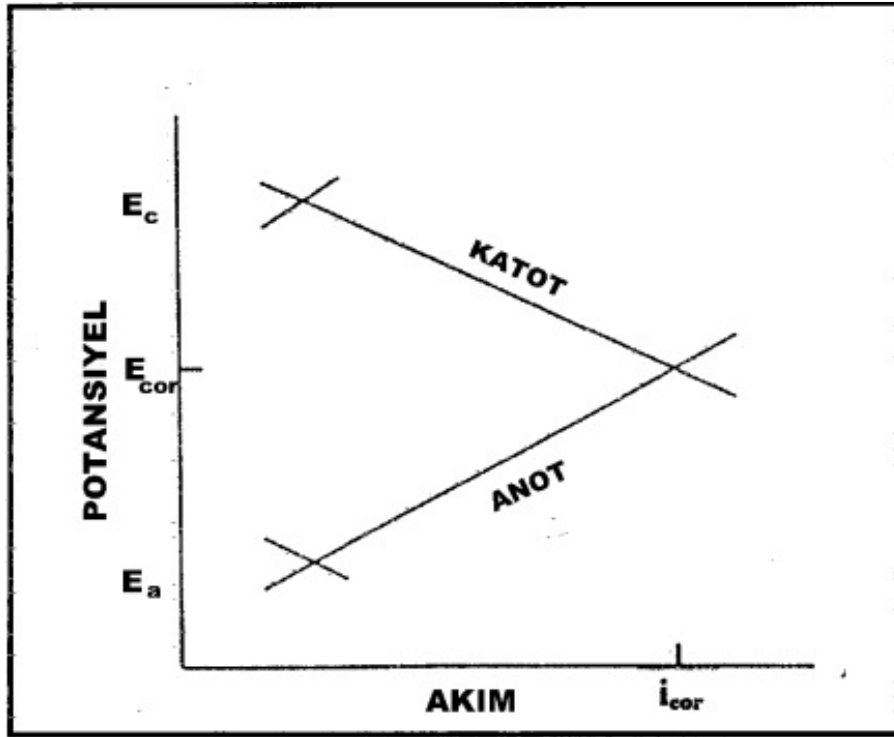
Er ve Par'ın yapmış olduğu çalışmada; 1030 ve 1050 kalite sade karbon çeliklerine toz borlama tekniğiyle yüzey sertleştirme işlemi yapılmıştır [17]. Yapılan sertlik ölçümü ve aşınma direnci deneysel incelemeler sonucunda malzemenin borlama ile sertliğinin yaklaşık olarak 8-10 kat arttığı gözlenmiştir. Yine aynı şekilde aşınma direnci işlem görmemiş malzemeye oranla 8-10 kat artığı gözlenmiştir. Borla yüzey kaplamanın tabaka kalınlığı ölçülmüş ve karbon oranının bor tabakasını etkilediği tespit edilmiştir. Karbon oranı düşük olan malzeme bor tabakasının kalın olduğu sonucuna varılmıştır.

Yılmaz ve Ünlü'nün yaptığı çalışmada; Ç 1020 kalite çeliğin borla yüzey kaplama işlemi yapılmıştır [18]. Bu çalışmada farklı sıcaklıklarda ve farklı zaman dilimlerinde en iyi tabaka oluşumu için deney yapılmıştır. Bor kaplama işleminde tabaka kalınlığının düşük alaşımli çeliklerde çok iyi olduğu bilinmektedir. Borla yüzey kaplama işlemi yapıldıktan sonra sertlik ve metalografik resim sonuçlarıyla tabaka kalınlığı incelenmiş ve en uygun bor kaplama parametreleri tespit edilmiştir.

Uzun'un yaptığı çalışmada; borla yüzey kaplama işlemi beş farklı parametrede gerçekleştirilmiştir [19]. Sertlik değerleri ölçülmüş ve metalografik resimler ve SEM resimleri alınarak tabaka kalınlığı değerlendirilmiştir. Korozyon testine tabi tutularak, borlanmış ve borlanmamış numuneler karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda; sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Korozyon direncinin borlanmamış numuneye oranla yaklaşık 8 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aşınma deneylerine tabi tutulan borlanmış numunenin borlanmamış numuneye göre aşınma dayanımının 6 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Taştan, Akgün ve Şahin'in yapmış olduğu çalışmada; 1020, 1040, 4140 ve H13 kalite çeliklerin borla yüzey kaplama parametrelerini belirlemek için deneyler yapılmıştır [20]. Yapılan deneyler sonucuna dayanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu numunelerin en iyi bor tabakasının hangi parametrelerde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Alaşım elementlerinin bor kaplama işlemini zorlaştırdığı gözlemlenmiştir. Düşük alaşımli çeliklerin borla yüzey kaplama için uygun malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Etkime şekline göre, inhibitörler “anodik inhibitör” veya “katodik inhibitör” olarak ikiye ayrılır. Anodik inhibitörler anodik reaksiyonun hızını, katodik inhibitörler de katodik reaksiyonun hızını kontrol eder. Elektrolit içine inhibitör katılmak suretiyle anodik veya katodik polarizasyon eğrisinin eğimi değiştirilebilir. Bilindiği gibi korozyon hızı anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinin kesim noktası ile bulunabilir. İnhibitörlerin etkisi korozyon hücrelerinin polarizasyon diyagramları çizilerek belirlenebilir.



Şekil 2.2. Bir korozyon hücresinde i_{cor} ve E_{cor} değerleri [22].

Anot ve katotta yürüyen bu iki reaksiyonun dengeye ulaşması ile bir denge potansiyel oluşur. Bu potansiyele korozyon potansiyeli (E_{cor}) denir. Grafikte katodik ve anodik polarizasyon eğrilerinin kesim noktası korozyon akımını (i_{cor}) verir. Şekilden görüldüğü üzere, polarizasyon eğrilerinin eğimine göre korozyon hızı artar veya azalır. O halde anodik ve/veya katodik polarizasyon eğrilerinin eğimi değiştirilmek suretiyle korozyon hızı azaltılabilir. Elektrolit içine uygun bir inhibitör katılarak polarizasyon eğrilerinden birinin (veya ikisinin) eğimleri daha dik hale getirilirse, korozyon hızında azalma olacaktır [21].

Yapı malzemelerinin ısı iletim katsayıları yapıların ısı yüklerini etkiler. Etkili bir yalıtım için malzemelerin ısı iletim katsayılarına ihtiyaç vardır. Isı iletim katsayısının tanımı Fourier'ın ısı iletim yasası kullanılarak [22];

$$k = - \frac{\dot{q}_x / A_x}{\partial T / \partial x} \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır. Eşitlik (2.1)'in integrali alınarak ısı iletim katsayısı;

$$k = \frac{\dot{q}_x \cdot L}{A_x (T_1 - T_2)} \quad (2.2)$$

şeklinde de ifade edilebilir. Bir katı ortamın ortalama iletkenliği, C (/m²K)

$$C = k/L \quad (2.3)$$

şeklinde tanımlanırsa, bu tanım denklem (2.2)'de kullanılarak C için

$$C = \frac{\dot{q}_x}{a_x (T_1 - T_2)} \quad (2.4)$$

ifadesi elde edilir. Bu bağıntı, sürekli rejim şartlarında bir katı ortamın ortalama iletkenliğinin, katının iki yüzü arasında birim zamanda iletilen ısı enerjisinin katının yüzeylerinin ortalama sıcaklıkları arasındaki farka ve ısı iletimine dik kesit alana bölümüne eşit olduğunu gösterir. Plaka yönteminde ısı iletim katsayısı denklem (2) kullanılarak hesaplanır. Plaka metodu ile -20 °C ile 100 °C sıcaklık aralığında yalıtım malzemelerinin sürekli şartlardaki ısı iletim katsayıları belirlenebilir. Plaka yöntemi ile ısı iletim katsayısı aşağıdaki aralıklarda kullanılabilir [22].

- Isı iletim katsayısı, $k < 2$ W/mK
- Ortalama ısı iletkenlik, $c < 50$ W/m²K

- Isı geçirgenlik direnci, $R = 1/C < 0,02 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Isıl direnç katsayısı, $r = 1/k < 50 \text{ mK/W}$

Plaka yöntemi ile ısı iletim katsayısı belirlenecek malzemeler üç grupta toplanabilir:

- Isının, katıda yalnız iletimle aktarıldığı homojen izotropik malzemeler. Örneğin; yoğun plastikler, lastikler, pyreks cam.
- Isının, katı, gazda iletim ve ışınım ile aktarıldığı ısı olarak homojen, gözenekli malzemeler. Örneğin; fiber, bu özelliğe sahip yalıtım malzemeleri ve içerisinde hava boşluğu bulunan betonlar.
- İçerisinde ısının, iletimle veya iletim ve ışınım ile aktarıldığı ısı olarak homojen olmayan malzemeler.

Örneğin; tabaka yapıya sahip sistemler, içerisinde homojen olmayan ısı aktarımı olan malzemeler.

BÖLÜM 3

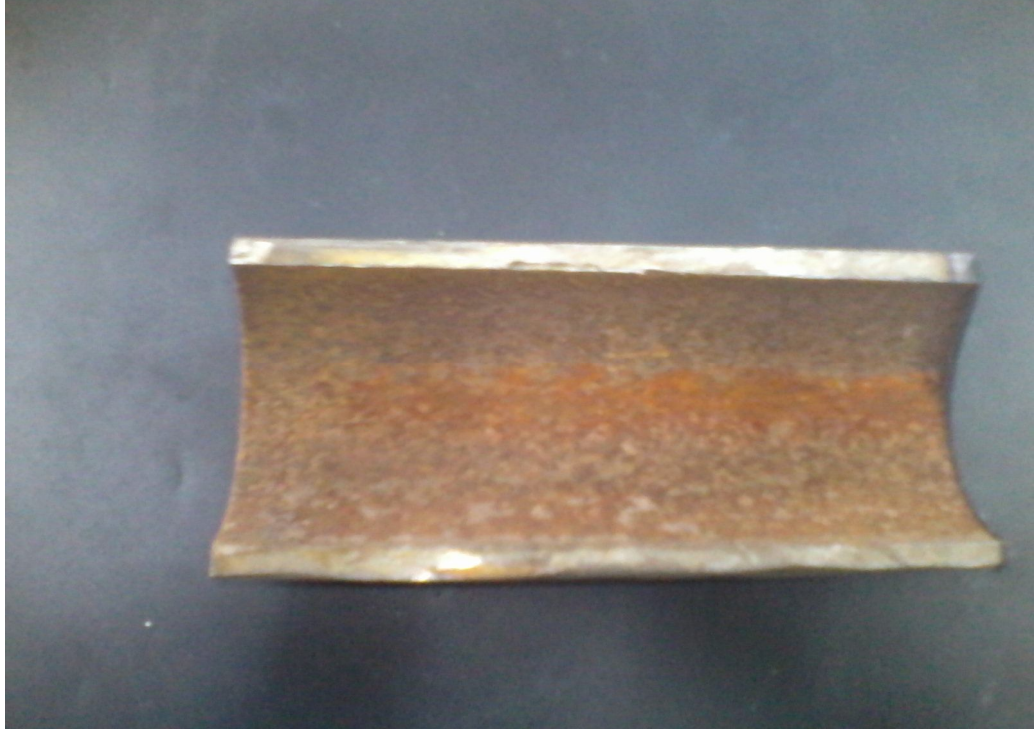
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

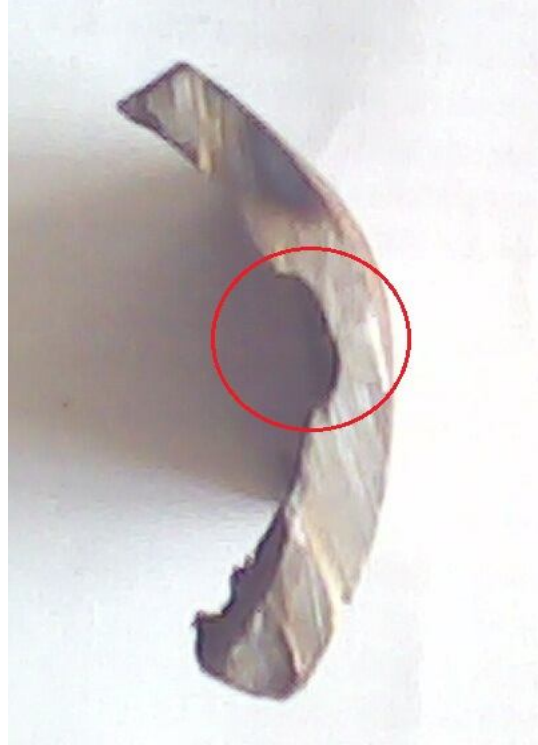
Deneysel çalışmada; Buhar kazanlarında kullanılan borularının korozyon direnci ve korozyon oluşum sebepleri araştırılmak amacıyla St 45.8 kalite çelik borular kullanılmıştır. St 45.8 kalite çelik borular üç farklı kazandan ve ana malzeme olmak üzere dört farklı malzeme üzerinde deneysel işlemler uygulanarak karşılaştırma yapılmıştır. Buhar kazanlarında kullanılan çelik boru standartları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Buhar kazanlarında korozyona uğramış çelik malzemenin görüntüsü Şekil 3.1, Şekil 3.2, ve Şekil 3.3’te verilmiştir. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi iç yüzeyde çukur korozyonu görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan DIN 17175 standardında St 45.8 kalite çeliğin spektral analiz sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Buhar kazanlarında kullanılan çelik boru standartları ve kimyasal kompozisyonları.

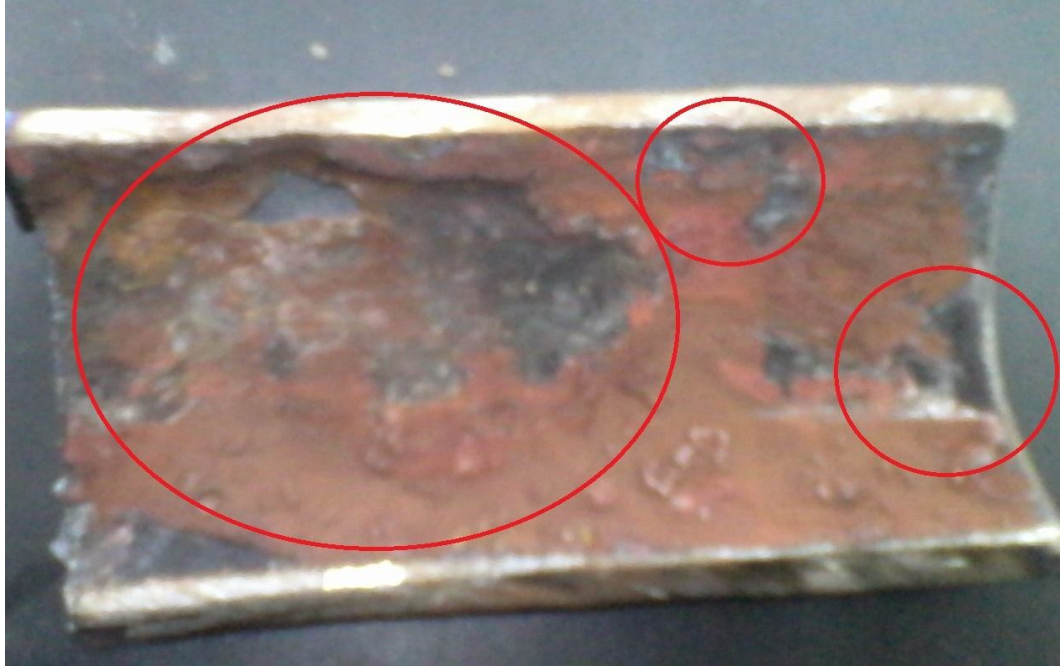
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V
A106	Max 0,25	0,27- 0,93	Min 0,10	0,035	0,035	Max 0,40	Max 0,40	Max 0,15	Max 0,08
A106-B	Max 0,30	0,29- 1,06	-	-	-	-	-	-	-
St35.8	Max 0,17	0,40- 0,80	0,10- 0,35	0,4	0,4	-	-	-	-
St45.8	Max 0,21	0,40- 1,20	0,10- 0,35	0,4	0,4	-	-	-	-
15Mo3	0,12- 0,20	0,40- 0,80	Max 0,50	0,035	0,0035	-	-	0,25- 0,35	-
10CrMo910	0,08- 0,15	0,40- 0,70	0,10- 0,35	0,035	0,0035	-	2,00- 2,50	0,90- 1,20	-
13CrMo44	0,10- 0,18	0,40- 0,70	0,10- 0,35	0,035	0,0035	-	070- 1,10	045- 0,65	-



Şekil 3.1. Buhar kazanlarında kullanılan St 45.8 Kalite çeliğin ana malzemesi.



Şekil 3.2. Buhar kazanında kullanılan St 45.8 kalite çeliğin çukur korozyonu görüntüsü.



Şekil 3.3. Buhar kazanında kullanılan St 45.8 kalite çelikte oluşan çukur korozyonu.

Çizelge 3.2. Bu çalışmada kullanılan St 45.8 kalite çelik malzemenin spektral analizi (Ağırlıkça %).

	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V
St 45.8	0,203	0,69	0,262	0,016	0,017	0,076	0,157	0,010	0,003

Ana malzeme ile (işlemsiz) servis şartlarında kullanılan buhar kazanlarından (kazan 1, kazan 2 ve kazan 3) numuneler alınmak suretiyle, deneysel sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Servis şartlarında kullanılan buhar kazanlarından (kazan 1, kazan 2 ve kazan 3) numunelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Buhar kazanlarından alınan numunelerin kimyasal analizleri (Ağırlıkça %).

St 45.8	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V
Ana Malzeme	0,203	0,69	0,262	0,016	0,017	0,076	0,157	0,010	0,003
Kazan 1	0,213	0,75	0,229	0,031	0,042	0,068	0,137	0,007	0,001
Kazan 2	0,207	0,71	0,214	0,014	0,024	0,025	0,039	0,005	0,001
Kazan 3	0,206	0,64	0,236	0,013	0,027	0,103	0,157	0,009	0,001

3.2. METALOGRAFİK İNCELEMELER

Çalışmada kullanılan çelik boruların mikroyapı mekanik özellik ilişkisinin belirlenmesi amacıyla ana malzeme ve her kazandan (ana malzeme, kazan 1, kazan 2 ve kazan 3) alınan numuneler boru eksenine dik METKON marka diskotom kesme cihazı kullanılarak kesilmiştir. Numuneler kesildikten sonra soğuk reçine ile kalıba alınmıştır. Daha sonra klasik metalografi hazırlama işlem basamakları kullanılarak ölçümde doğru sonuçların alınması için numuneler 100, 400, 600, 1000 ve 1200 meshlik su zımparasıyla zımparalanarak, pürüzsüz yüzey elde edilmiştir. Parlatılan numune % 3'lük nital çözeltisinde 3-10 sn zaman diliminde bekletilerek incelemek için hazır hale getirilmiştir. Optik inceleme LEICA DMILM marka mikroskopta (20X -50X büyütme kapasitesine sahip) inceleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.3. BORLAMA İŞLEMİ

Bu çalışmada piyasada kullanılan haliyle temin edilen ve kimyasal bileşimi Çizelge 2'de verilen ST 45.8 kalite çelik, 950 °C'de 3 saat ve 1050 °C'de 3 saat borlama ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Borlama ısıl işlemi, 120 mm çapında 50 mm yüksekliğinde kapaklı paslanmaz çelikten imal edilmiş kap içerisine, kap kenarlarından 12 mm mesafe kalacak şekilde, bor kaynağı olarak kullanılan EKABOR 2 tozunun içine numuneler yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir.

Borlama ısıl işlemine tabi tutulmuş çelikler, karakterizasyon ve mekanik deneylere tabi tutulmuşlardır. Numunelerin karakterizasyonu, metalografik inceleme, EDS donanımlı SEM, X-ışınları analizi, sertlik ölçümleri ve ısı iletkenlikleri ile yapılmıştır. Standart yöntemlerle parlatılan numunelerin mikroyapısı, dağlama çözeltisinde (oxalik asit) 1.5 volt altında 15 saniye süreyle elektrolitik olarak dağlandıktan sonra Leica marka DM/ILM model optik ışık mikroskobu ve EDS donanımlı SEM kullanılarak incelenmiştir. Borlama ısıl işlemi uygulanmış çeliklerin mikroyapısı ve yüzeyinin yapısal analizi XRD cihazı ile yapılmıştır.

Borla yüzey kaplama işlemi St 45.8 kalite çelik malzemenin sertlik, aşınma ve korozyon direncini artırmak amacıyla uygulanmıştır. Borla yüzey kaplama işleminden sonra metalografik resim alınarak, oluşan tabakanın kalınlığı ölçülmüştür.

3.4. X-IŞINLARI KIRINIM ANALİZİ İNCELEMELERİ

EDS donanımlı SEM analizleri Sakarya Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır. XRD analizleri Konya Selçuk Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Laboratuvarında yapılmıştır.

XRD çalışmaları, Cu-K α radyasyonu kullanarak 40 mA akımda 40 kV jeneratör gerilimi altında 10-80 °C açı aralığında ve 0.02°/s değerinde bir tarama hızı ile gerçekleştirilmiştir.

3.5. MİKRO SERTLİK DENEYİ

Sertlik ölçümleri, metalografik olarak hazırlanmış, tüm incelenen numuneler üzerinde Vickers batıcı ucu ile Shimadzu marka HMV2 Model mikrosertlik cihazında 200 g yük altında yapılmıştır. Sertlik değerleri, en az 5 ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

3.6. KOROZYON DENEYİ

Potansiyodinamik korozyon deneyleri, DC105 Korozyon Analiz yazılımına sahip bilgisayar kontrollü Gamry model PC4/300mA potansiyostat/galvonostat cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Korozyon deney numuneleri, iletkenliği sağlayabilmek amacıyla arka yüzeyine 1,5 mm çapında 150 mm uzunluğunda bakır tel lehimlenmiş ve yalnızca elektrolit ile temasta olması istenen yüzeyleri açıkta kalacak şekilde reçine ile kalıplanmış olup yüzeyleri standart metalografik yöntemle hazırlanmıştır. Deney hücresi içerisinde korozyon çözeltisi olarak % 5, % 10, % 20 H₂SO₄ çözeltisi kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında yapılmış olup deney hücresi içerisine çalışma elektrotu olarak 0,785 cm² sabit yüzey alanına sahip incelenen çelikler, karşı elektrot görevini yapan 6 mm çapında karbon elektrot ve referans elektrot olarak da doygun kalomel elektrot (SCE) yerleştirilmiştir. Çalışma elektrotu ile karbon elektrot yüzeyleri karşılıklı gelecek şekilde belirli uzaklıkta, referans elektrot ise çalışma elektroduna olabildiğince yakın yerleştirilmiştir.

Korozyon deneyleri sırasında elektrolit içine çalışma ve referans elektrotunun daldırılmasından itibaren ikisi arasındaki korozyon potansiyellerinin mV olarak değişimi ilk 45 dakika süreyle, zamana karşı ölçülmüştür. Denge potansiyeline (E_{cor}) ulaşıldıktan sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri 1 mV/s tarama aralığında katodikten anodik yöne doğru potansiyeli tarayarak çizilmiştir.

3.7. ISI İLETKENLİK ÖLÇÜMLERİ

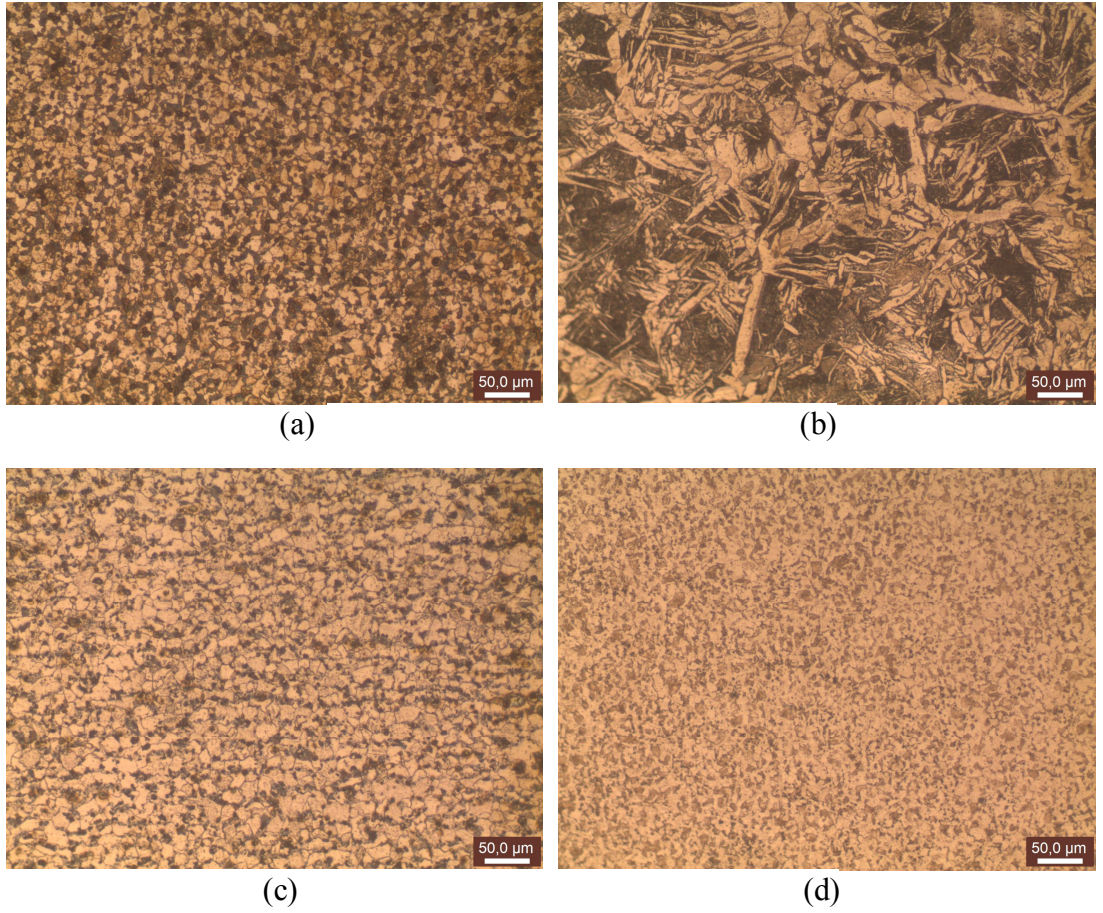
St 45.8 kalite çelikten alınan numune ile ısı iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Deney numuneleri, borla yüzey kaplama ve ana malzeme olarak iki şekilde ısı iletkenlik ölçümü yapılmıştır. Isı iletkenlik ölçümüm beş farklı sıcaklıkta ve beş farklı parametrede gerçekleştirilmiştir. Isı iletim ölçümleri H940 Kondüksiyonla Isı İletim Cihazı'nda yapılmıştır. 30mm çapında ve 25 mm çapında temin edilen deney numunelerin ısı iletim ölçümleri dijital ekrandan okunarak çizelge oluşturulmuştur.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. MİKROYAPI

Ana malzeme, kazan 1, kazan 2 ve kazan 3 test numunelerinden alınan mikroyapı resimleri Şekil 4.1’de verilmiştir.

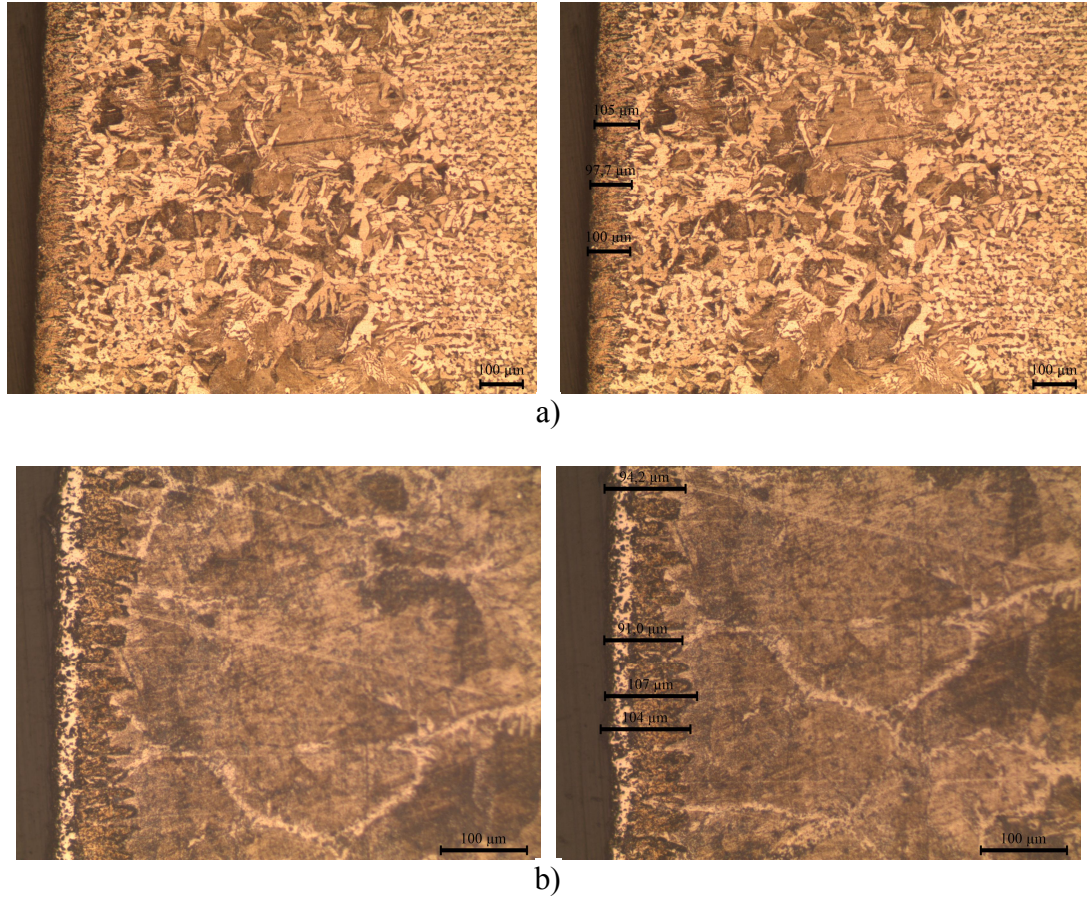


Şekil 4.1. Metalografik resimleri verilen çelik numune sırasıyla a) Ana malzeme, b) Kazan 1, c) Kazan 2, d) Kazan 3 olarak verilmiştir.

St 45.8 kalite çeliğin mikroyapısı ferrit ve perlit fazından oluşmaktadır. Kazan 1 (Şekil 4.1(b))’de görüldüğü gibi mikroyapının kolonsal ferrit ve dentritik bir morfolojiye sahiptir. Kazan 2 (Şekil 4.1(c))’de tane yapısının değişmediği ve kazan 3 (Şekil 4.1(d))’de ise mikroyapıda tane incelmesi görülmektedir.

4.2. BORLAMA

St 45.8 kalite çeliğin 950 °C’de ve 1050 °C’de 3 saat borlanmış numunelerin mikro yapısı Şekil 4.2’de verilmiştir.



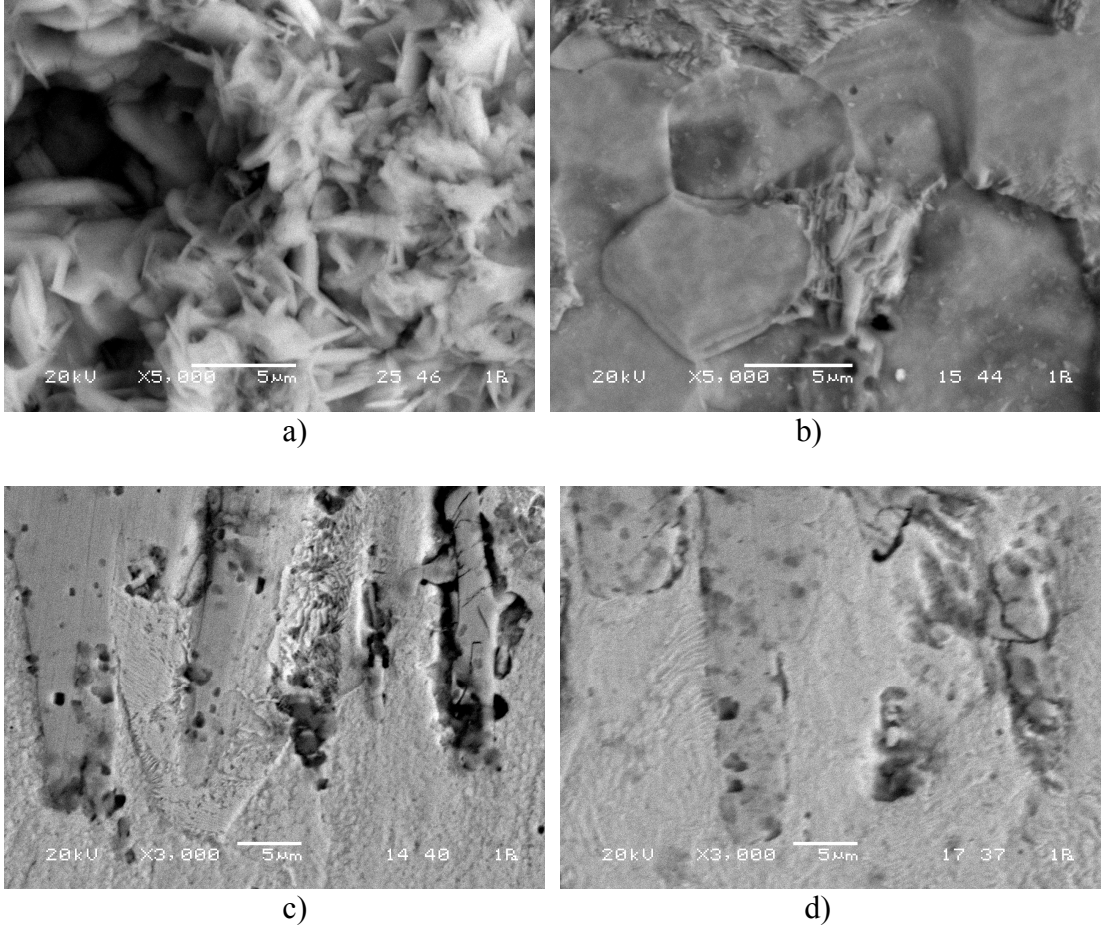
Şekil 4.2. Borlama işleminden sonra alınan metalografik görüntüler a) 950 °C’de 3saat ve 1050 °C’de 3 saat olarak verilmiştir.

Borlanmış numunelerin yüzeylerindeki borürlerin düzgün kolonsal bir morfolojiye sahip oldukları görülmektedir. Her iki numunede de bor tabakasının tarak dişi morfolojide olduğu görülmektedir. Borlanmış St 45.8 kalite çeliğin yüzeyinde üç

bölge görülmektedir. Bunlar yüzeyden iç kısımlara doğru; borür katmanı, geçiş bölgesi ve ana matristen oluşmaktadır. Bor tabakası kalınlığının sıcaklığa bağlı olarak arttığı görülmektedir. Borür tabakasının malzemenin yüzeyinde homojen bir yapı sergilediği tespit edilmiştir. Bu durumun malzemenin bileşimindeki alaşım elementlerinden olduğu düşünülmektedir. Pek çok araştırmacı termokimyasal yöntemlerle borlanan düşük alaşımlı çeliklerin borür tabakasının kolonsal bir yapı sergilediğini belirtmektedir [17-19]. Kolonsal yapı borür katmanının karakteristik özelliğidir. Kaplama ve ana malzeme arasında dış biçimli geçişin oluşma miktarı işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olduğu kadar malzemenin içerisindeki alaşım elementlerine de bağlıdır. Çelik ve dökme demirlerde alaşım elementleri oranı arttıkça kolonsal yapı azalır [23].

4.3. X-IŞINLARI KIRINIM ANALİZİ SONUÇLARI

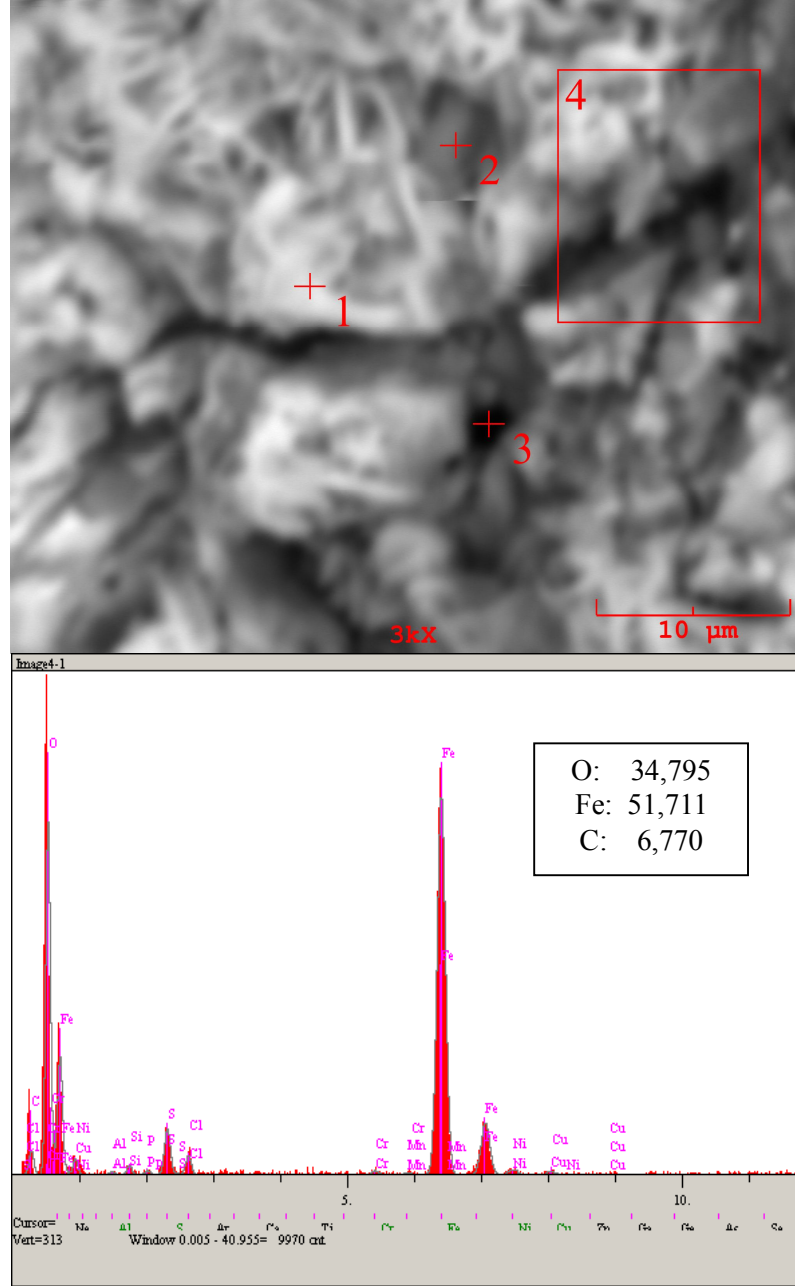
950 °C ve 1050 °C’ de 3 saat borlanmış numuneler EDS donanımlı SEM analiz ve X-ışını kırınım (XRD) analizine tabi tutulmuştur. SEM analiz görüntüleri sırasıyla boruda oluşan oyuk, kullanılmamış ana malzeme numunesi, 950 °C de borla yüzey kaplama ve 1050 °C de borla yüzey kaplama olarak Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3. SEM analiz görüntüleri sırasıyla a) Oyuk, b) Ana malzeme c) 950 °C de bor kaplama d) 1050 °C de bor kaplama.

Borla yüzeyi kaplanan malzemenin cinsi, borlayıcı ortamın bileşimi, işlem şekli, sıcaklık ve süre borür tabakasının kalınlığına etki eden faktörlerdir. Çelik esaslı malzemeler için kullanım şartlarına göre 20-200 μ m tabaka kalınlığı uygundur. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere borla yüzey kaplamanın nüfuziyetinin taraklı bir şekil alması ve tabaka kalınlığının ortalama 100 μ m olması kaplamanın uygun olduğunu göstermektedir. Kırılgenlik yönünden alaşımlı çeliklerde 100 μ m, düşük alaşımlı çeliklerde 200 μ m borür tabaka kalınlığına kadar çıkılabilmektedir [17,18]. EDS analiz görüntüleri Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir. Borla yüzey kaplama işlemi yapıldıktan sonra XRD analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları her iki sıcaklıkta da Fe₂B ve Fe₃B₆ borür tabakasının oluştuğu tespit edilmiştir. XRD analiz görüntüleri Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir.

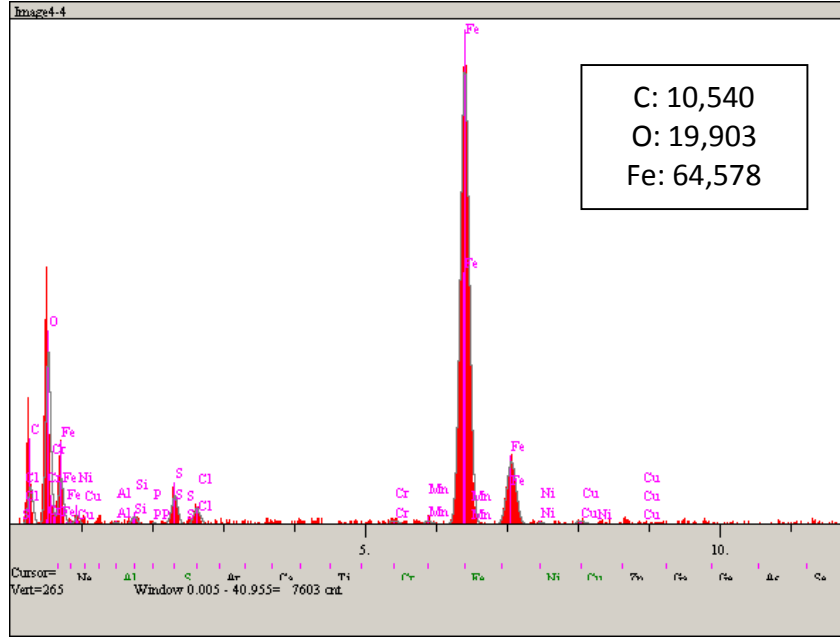
Şekil 4.4’de yapılan EDS analiz sonuçlarına bakıldığında yüksek oranda oksijenin varlığı görülmektedir. Buda bölgede Fe_2O_3 bileşiği oluşturarak malzemenin korozyona uğramasına sebep olmaktadır. Yine tabloda diğer alaşım elementlerinin de varlığı, boru malzemesinde oluşan çukur bölgesinde biriktiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. Borudaki oyuktan alınan (1) EDS analiz sonuçları.

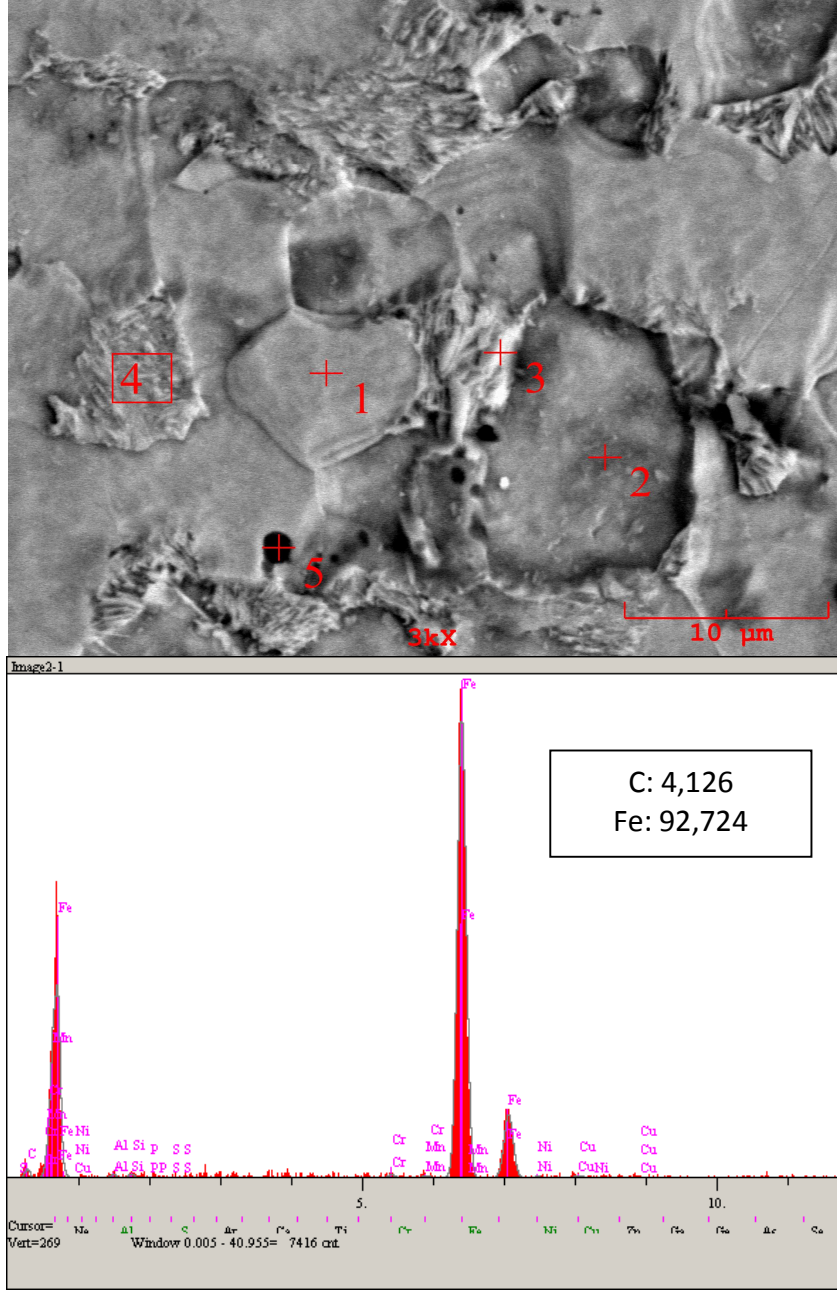
Şekil 4.5’te alan taramasından alınan EDS analiz sonuçlarına bakıldığında, oksijenin varlığı tüm alanı kapladığı görülmektedir. Bu da Fe_2O_3 bileşiğinin oluşmasına ve

korozyon hızının artmasına sebep olmaktadır. Oksijenin çözünürlüğü, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak azaldıkça, oksijen suda aşırı doymuş halde bulunur ve likit fazı terk ederek kazan cidarlarına doğru gitme eğilimi gösterir.



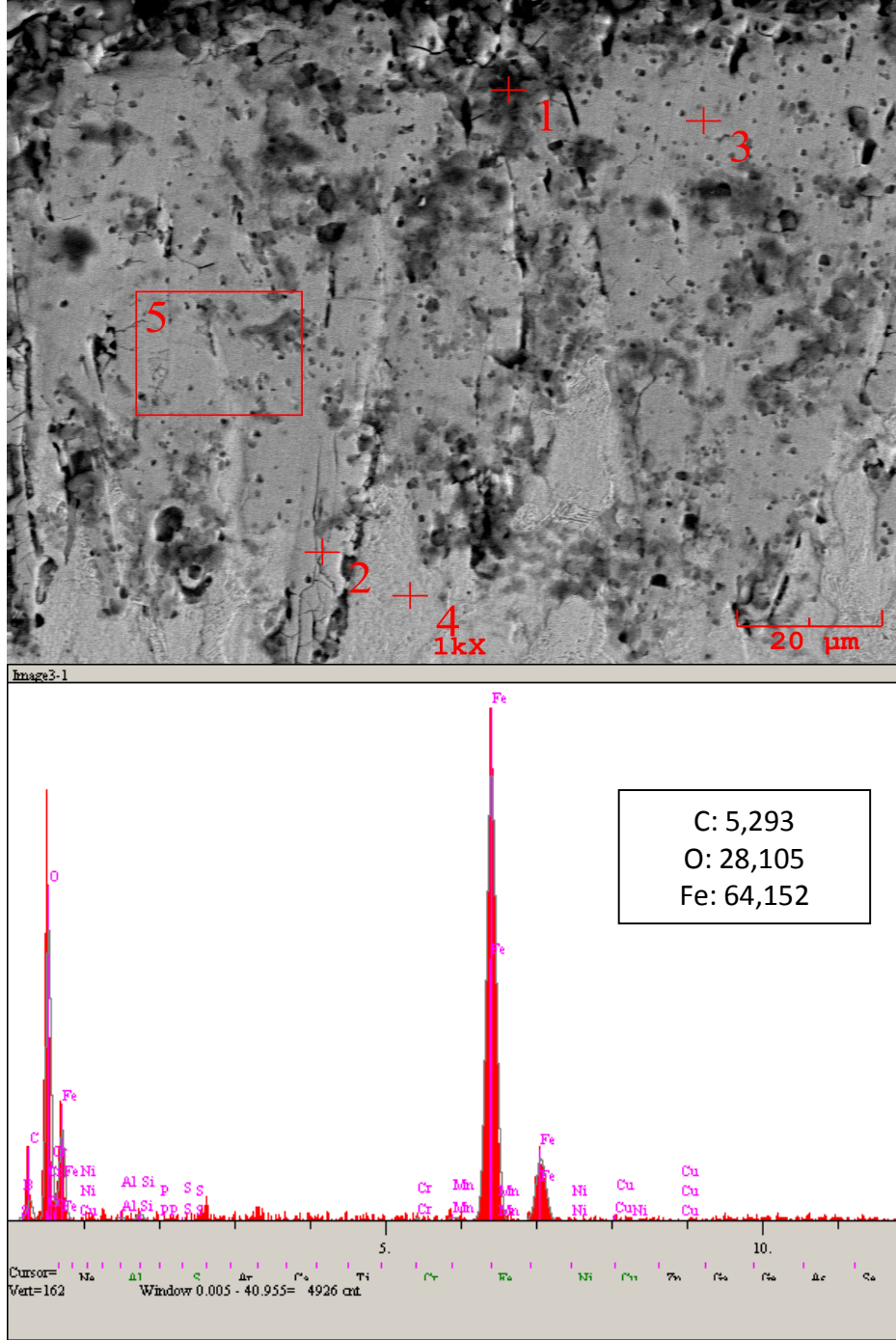
Şekil 4.5. Borudaki oyuktan alınan (4) EDS analiz sonuçları.

Şekil 4.6'da taneler arasında oksitlenmenin varlığı tespit edilmiştir. Bu da korozyonun taneler arasında başladığını ve sıcaklığın ve basıncın da etkisiyle büyük oyuklara dönüşmektedir. Oluşan oyuklar boru çeperini incelterek çatlamalara ve delinmelere sebep olmaktadır.



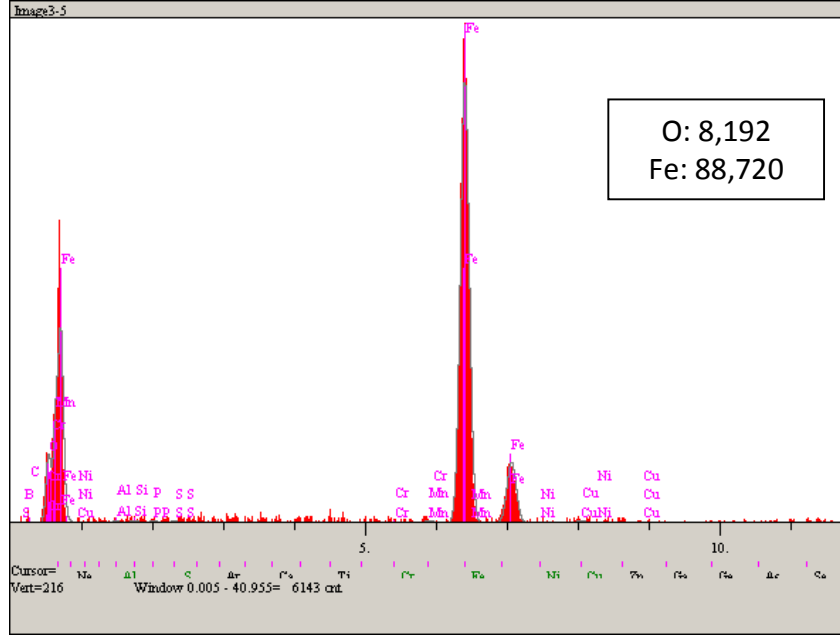
Şekil 4.6. Düz yüzeyden alınan (1) EDS analiz sonuçları.

Şekil 4.7’de borlanmış yüzeyden alınan EDS analiz sonuçlarına bakıldığında borür tabakasının Fe_2O_3 bileşiğinin oluşumunu azalttığı görülmektedir. Literatürde de belirtildiği üzere 950 °C de borla yüzey kaplamanın en uygun parametre olduğu belirlenmiştir. Borür tabakasının korozyon oluşumunu engellediği gözlenmiştir.



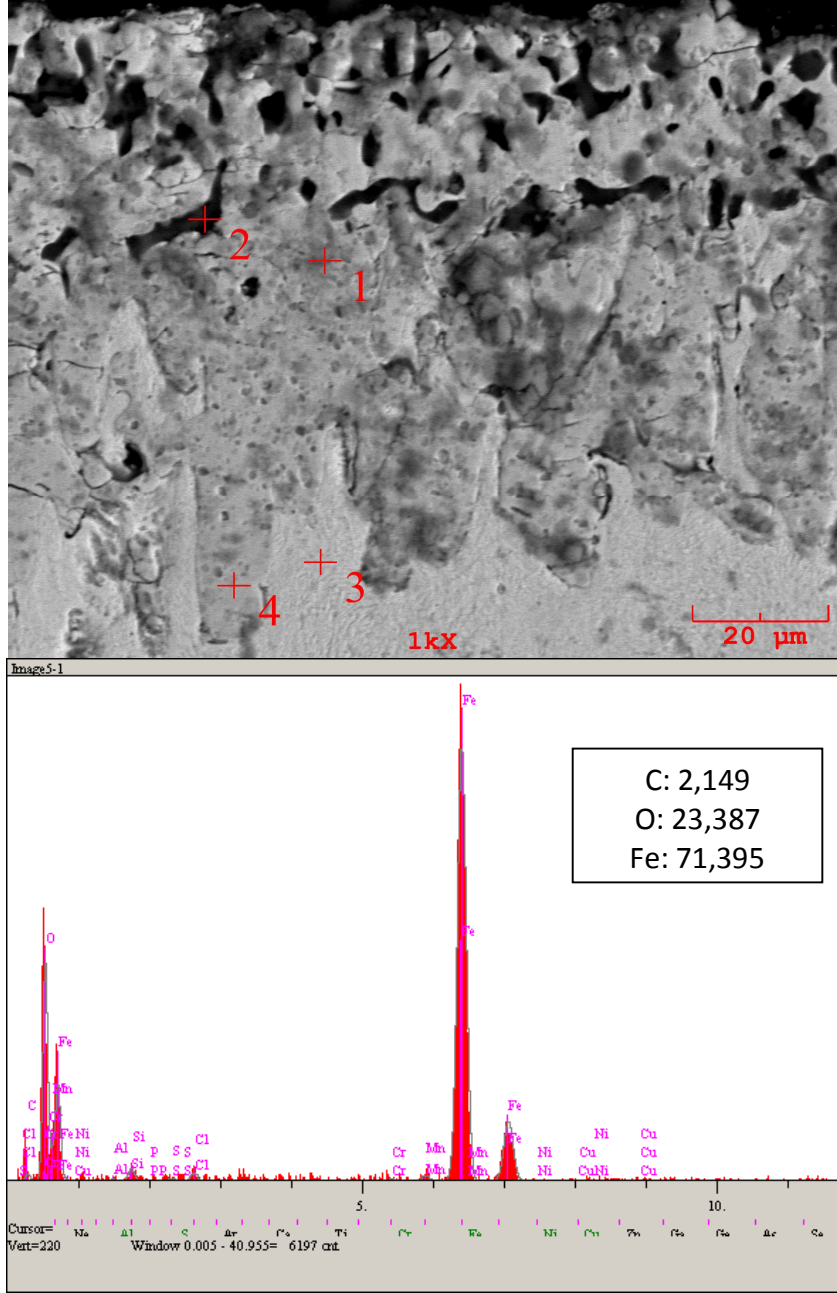
Şekil 4.7. 950 °C borlanmış yüzeyden alınan (1) EDS analiz sonuçları.

Şekil 4.8’de alan taraması yapılarak EDS analiz sonuçları alınmıştır. Elde edilen verilerde, bor elementinin homojen bir şekilde yayıldığı görülmektedir. Buda borür tabakasının istenilen değerlere ulaştığını göstermektedir.



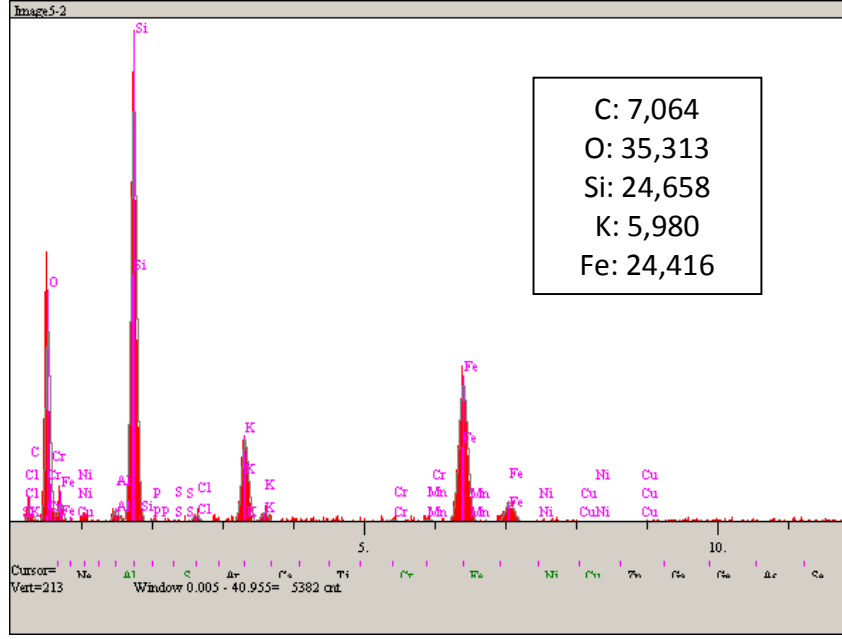
Şekil 4.8. 950 °C borlanmış yüzeyden alınan (5) EDS analiz sonuçları.

Şekil 4.9'da 1050 °C de borla yüzey kaplamadan EDS analiz sonuçları alınmıştır. 1050 °C de borür tabakasının kalınlığı artmış ancak yapı gözenekli bir hal almıştır. Borür tabakasının demir oksit oluşumunu önemli ölçüde önlediği tespit edilmiştir.



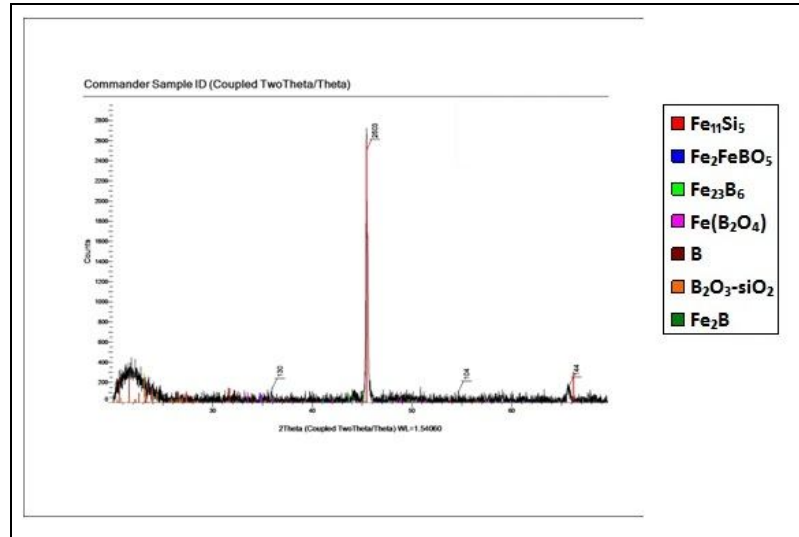
Şekil 4.9. 1050 °C borlanmış yüzeyden alınan (1) EDS analiz sonuçları.

Şekil 4.10'da 1050 °C de borla yüzey kaplamadan alınan EDS analiz sonuçları alınmıştır. Gözenekli yapı incelendiğinde silisyum (Si)'un yüksek oranda varlığı tespit edilmiştir. Silisyum oksijen tutucu olduğu için çelik yapıda bulunmaktadır. Aynı zamanda silisyum çeliğin akma, çekme dayanımı ve elastikiyetini artırır. Buda malzemenin daha sert bir yapıya sahip olmasını sağlar. Yüksek oranda bulunması çeliğin gevrekleşmesine sebep olur. Borür tabaka içinde gözenekli yapıda birikmesi, yapının sertliğinin arttığını ve korozyon hızını düşürdüğünü göstermektedir.

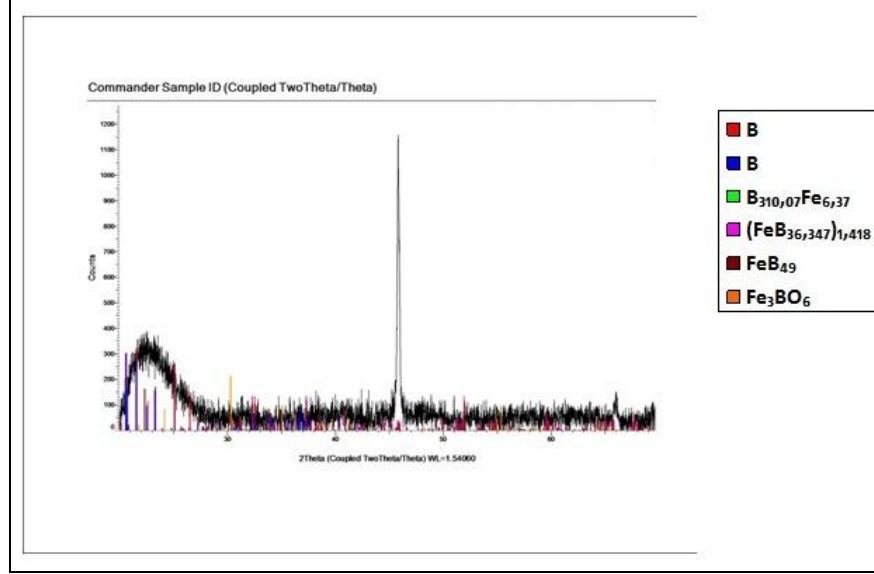


Şekil 4.10. 1050 °C borlanmış yüzeyden alınan (2) EDS analiz sonuçları.,

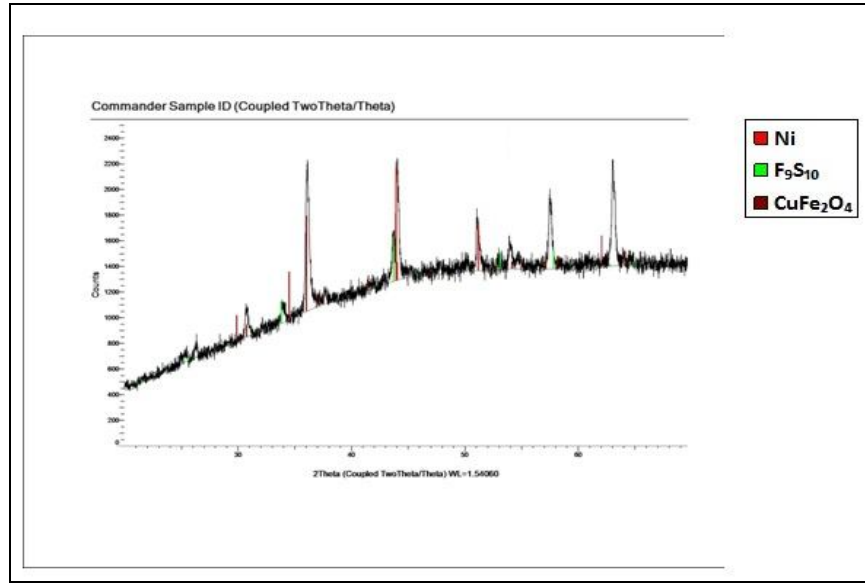
950 °C ve 1050 °C' de 3 saat borlanmış numuneler X-ışını kırınım analizine tabi tutulmuştur. Borlanmış numunelerin yüzeylerinde oluşan borür tabakası Fe₂B X-ışını kırınım cihazı ile Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te görüldüğü gibi teyit edilmiştir.



Şekil 4.11. 950 °C'de borla yüzey kaplamadan alınan XRD analizi.



Şekil 4.12. 1050 °C’de borla yüzey kaplamadan alınan XRD analizi.



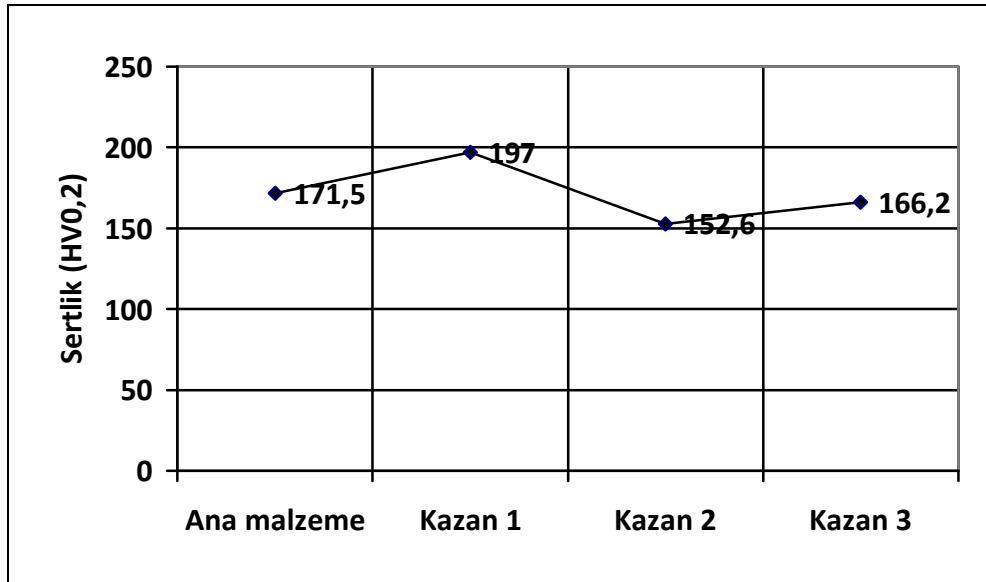
Şekil 4.13. Oyuktan alınan XRD analizi.

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi 950 °C’de borlama ısıl işlemi yapılmış yüzeyde Fe_4Si_5 , Fe_2FeBO_5 , $Fe_{23}B_6$, $Fe(B_2O_4)$, B, $B_2O_3-SiO_2$, Fe_2B demir-bor fazlarının oluşması, malzemenin yüzeyinde borür tabakasının varlığıyla birlikte diğer alaşım elementleriyle de bileşiklerin oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.12’de görüldüğü gibi 1050 °C’de borlama ısıl işlemim yapılmış yüzeyde B, $B_{310,07}Fe_{6,37}$, $(FeB_{36,347})_{1,418}$, FeB_{49} , Fe_3BO_6 fazlarının oluşması, malzeme yüzeyinde demir-bor bileşiklerinin oluştuğu

görülmektedir. Bu da demir-bor fazlarının homojen olarak dağıldığını göstermektedir. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi servis şartlarından alınan St 45.8 çelik numunenin korozyona uğramış haliyle X-ışınları kırınım analizi yapılarak, Ni, F₉S₁₀ ve CuFe₂O₄ gibi bileşiklerin korozyonun oluştuğunun tespit edilmesini teyit etmiştir.

4.4. MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

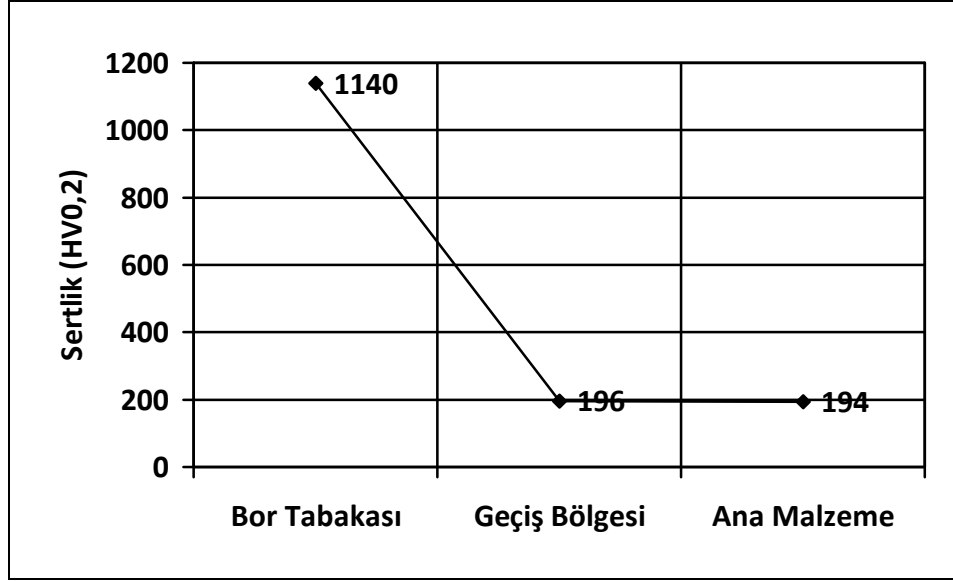
Mikro sertlik ölçümleri ana malzeme ve 3 farklı kazandan alınan numunelere uygulanmıştır. Mikro sertlik ölçüm sonuçları Şekil 4.14' de verilmiştir.



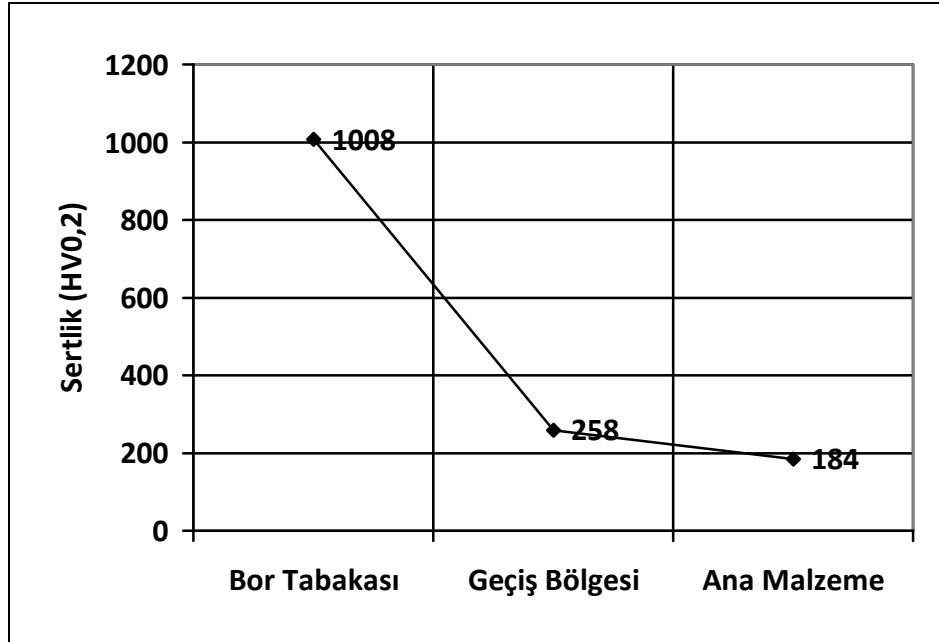
Şekil 4.14. Mikro sertlik ölçümleri.

Şekilde görüldüğü gibi St 45.8 kalite çeliğin ticari olarak elde edildiği şekliyle sertlik 171.5 HV 0,2 olarak bulunmuştur. Kullanılan çelik malzeme buhar kazanlarında kullanıldıktan sonra korozyona uğramış ve hasarlı malzemeler sertlik testine tabi tutulmuştur. Aynı malzemenin farklı kazanlarda kullanılması sonucu oluşan fiziksel değişimleri sonucunda sertliklerinde çok fazla fark olmadığı görülmüştür.

Borla yüzey kaplama işlemi yapıldıktan sonra yüzey kaplama yapılmamış malzemelerde uygulanan parametreler tekrarlanarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. Borla yüzey kaplama sertlik ölçüm sonuçları Şekil 4.15 ve 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.15. 950 °C de bor kaplamadan alınan sertlik sonuçları.

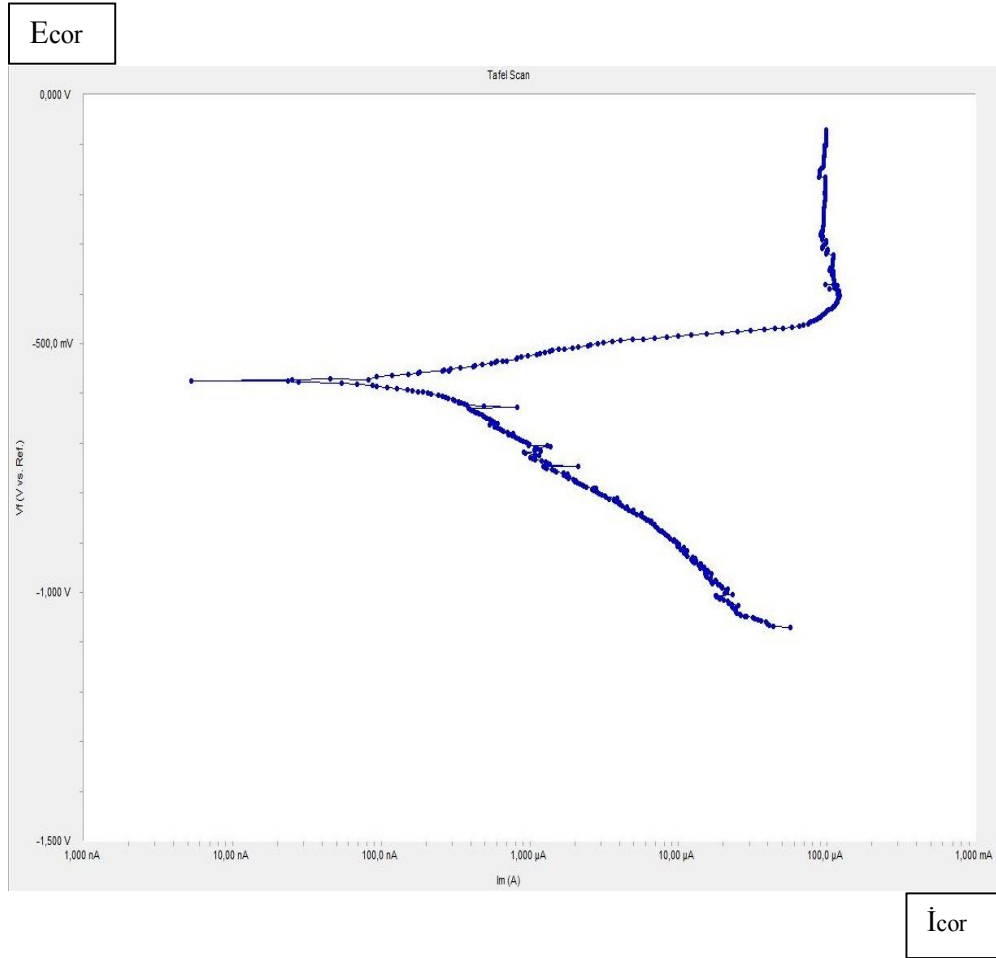


Şekil 4.16. 1050 °C de bor kaplamadan alınan sertlik sonuçları.

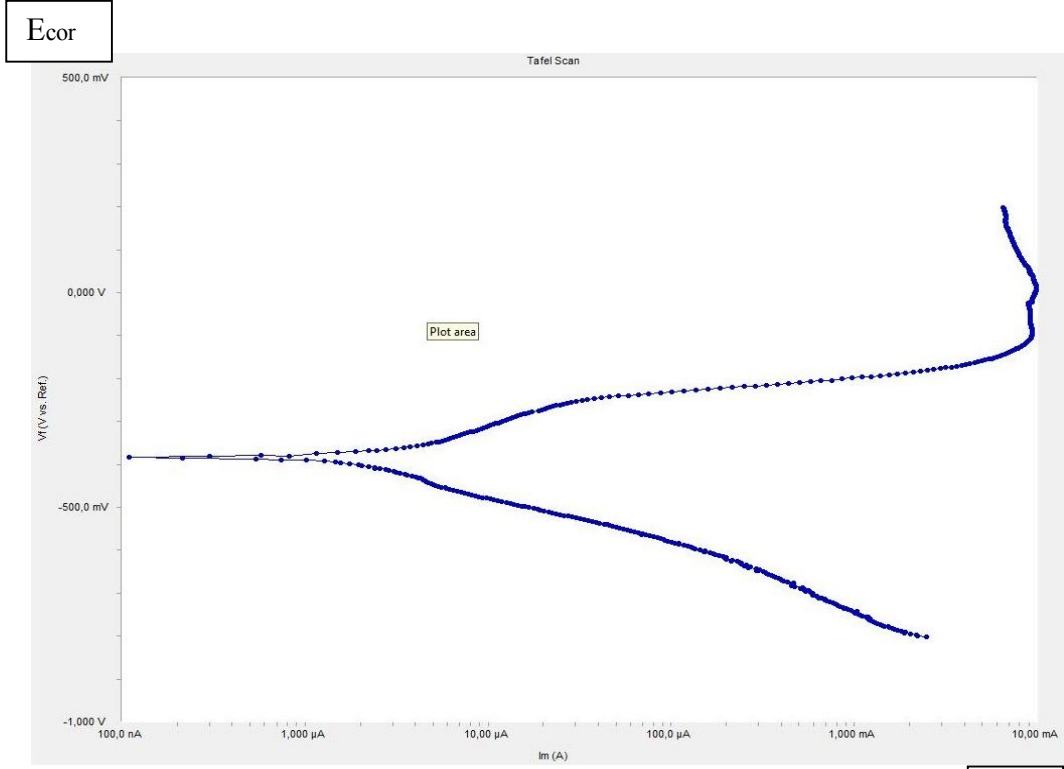
4.5. KOROZYON DENEYİ

İşlemsiz ve borlanmış St 45.8 kalite çeliğin saf su ile % 10 H₂SO₄ çözeltisi içerisinde potansiyostat kullanılarak yapılan korozyon deneylerinden elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 4.17 ve 4.18'de verilmiştir. Bu

eğrilerden elde edilen korozyon akım yoğunluğu (I_{cor}) ve korozyon potansiyeli değerleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Korozyon deneyi I_{cor} ve E_{cor} değerleri karşılaştırmaları Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilmiştir. Korozyon potansiyeli ve korozyon akım eğrileri incelenen numunelerin korozyon potansiyellerinin arttığı, korozyon akımlarının ise borlama ısıl işlemiyle azaldığı görülmektedir.

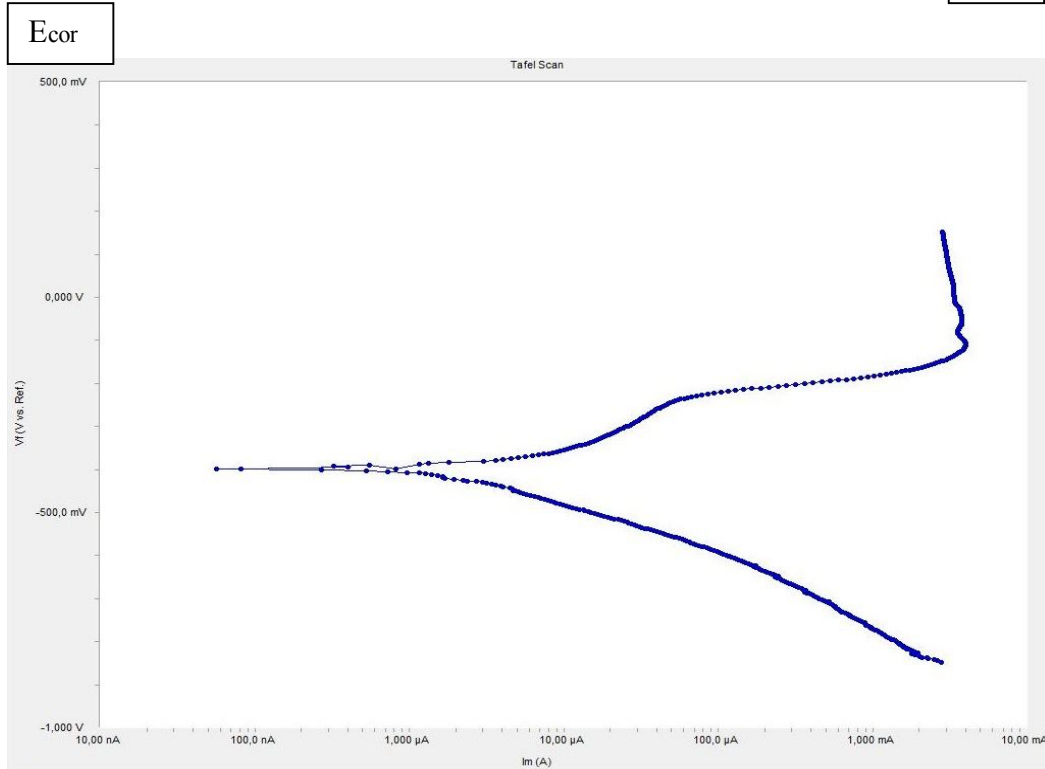


Şekil 4.17. % 10 H₂SO₄ asit çözeltisinde ana malzemeye yapılan korozyon deneyi.



a)

İcor



b)

İcor

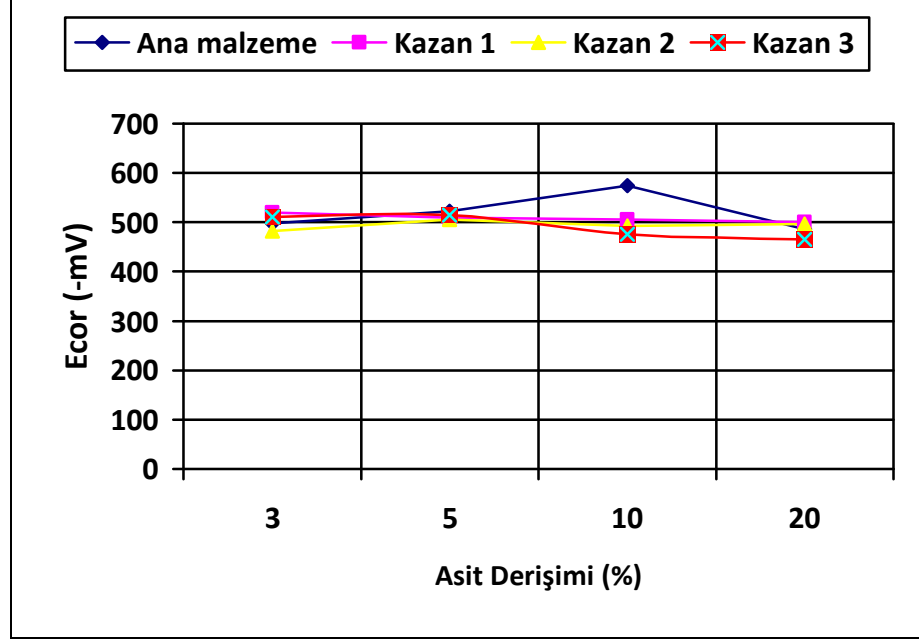
Şekil 4.18. Borla kaplama yüzeylerinde % 10 H₂SO₄ asit çözeltisinde yapılan korozyon deneyi sırasında a) 950 °C b) 1050 °C.

Ana malzeme, kazan1 kazan 2 ve kazan 3 kazandan alınan numunelerin korozyon deneyi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

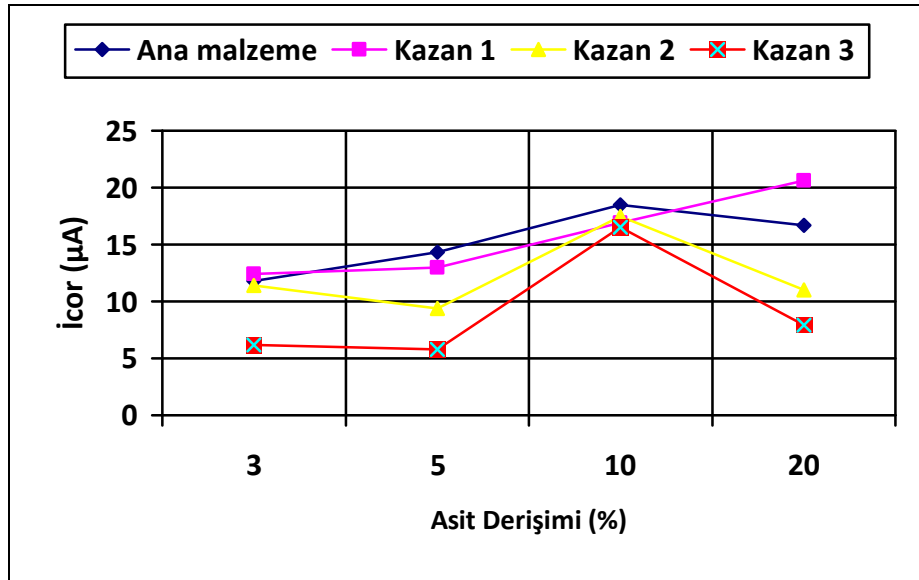
Çizelge 4.1. Korozyon deneyi sonuçları.

Malzemeler	\dot{I}_{cor} (μA)	E_{cor} (mV)
Ana malzeme %3	11,8	-498
Ana malzeme %5	14,3	-522
Ana malzeme %10	18,5	-574
Ana malzeme %20	16,7	-486
Kazan 1 %3	12,4	-520
Kazan 1 %5	13	-509
Kazan 1 %10	16,9	-506
Kazan 1 %20	20,6	-500
Kazan 2 %3	11,4	-482
Kazan 2 %5	9,4	-506
Kazan 2 %10	17,5	-493
Kazan 2 %20	11	-497
Kazan 3 %3	6,2	-511
Kazan 3 %5	5,8	-515
Kazan 3 %10	16,5	-476
Kazan 3 %20	7,9	-466

Korozyon deneyi E_{cor} ve i_{cor} değeri karşılaştırılmaları Şekil 4.19 ve Şekil 4.20' de verilmiştir.



Şekil 4.19. Korozyon deneyi E_{cor} değerleri.



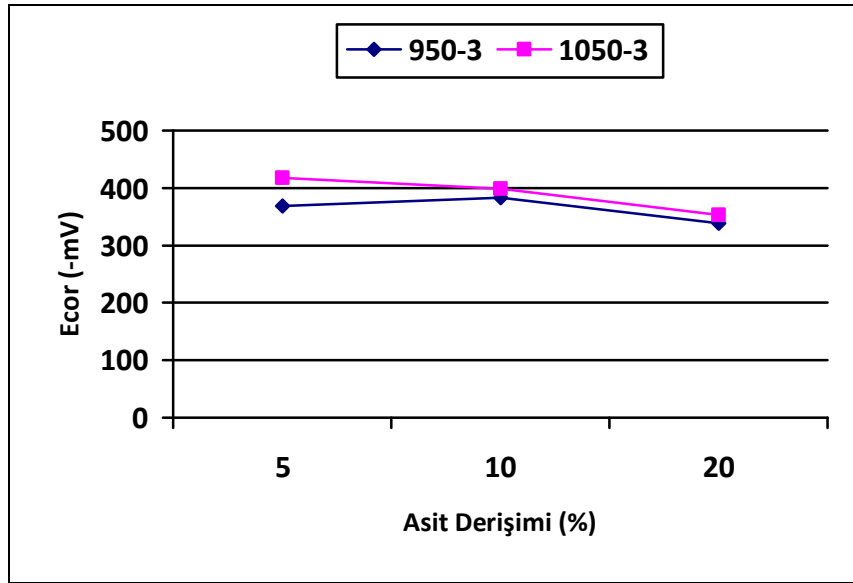
Şekil 4.20. Korozyon deneyi i_{cor} değerleri.

950 °C'de ve 1050 °C'de borlama işleminden sonra korozyon deneyi sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

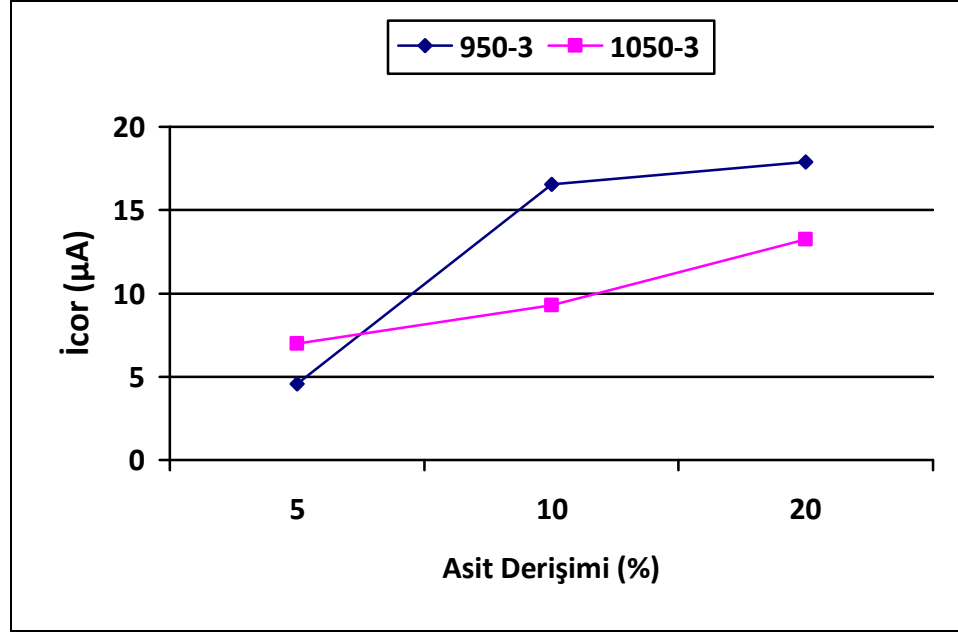
Çizelge 4.2. Borlama işleminden sonra korozyon deneyi sonuçları.

Borlama	\dot{I}_{cor} (μA)	E_{cor} (mV)
950 3 % 5	4.560	-368.9
950 3 % 10	16,54	-382.9
950 3 % 20	17,9	-338.2
1050 3 % 5	6.98	-417.8
1050 3 % 10	9.3	-398.6
1050 3 % 20	13.25	-353.4

Borla yüzey kaplama işleminden sonra yapılan korozyon deneyi E_{cor} ve \dot{I}_{cor} değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Borla yüzey kaplama korozyon deneyi E_{cor} değerleri.



Şekil 4.22. Borla yüzey kaplama korozyon deneyi I_{cor} değerleri.

Korozyon deneyinde E_{cor} değerleri artarken korozyon oluşma oranı düşer ve korozyon direnci artmaktadır. I_{cor} değerleri artarken korozyon oluşma oranı artar ve korozyon direnci düşmektedir [23].

4.6. ISI İLETKENLİĞİ

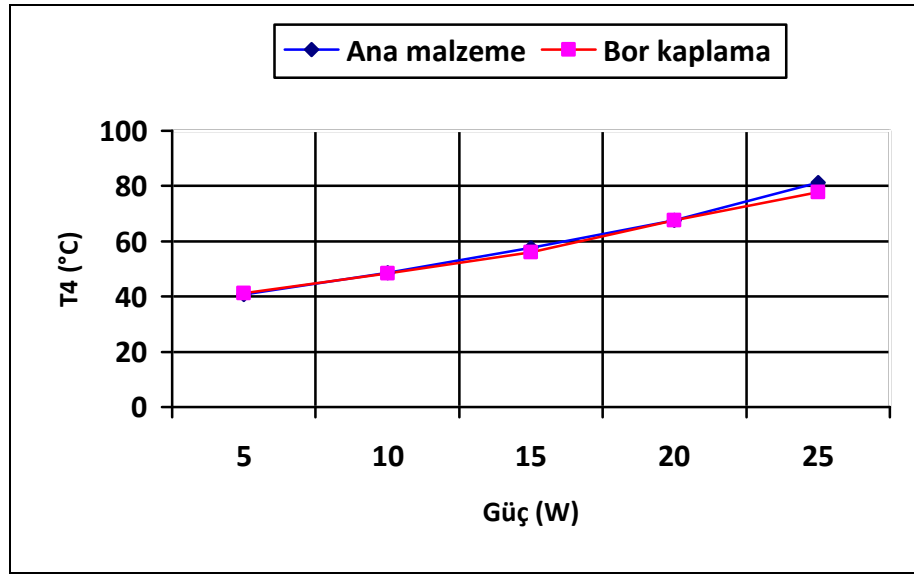
Isı iletkenliği ölçüm sonuçları Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de verilmiştir. Isı iletkenlik ölçümleri yapılan ana malzeme (borlanmamış) ve borla yüzeyi kaplanmış çeliğin karşılaştırılması Şekil 4.23’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Ana malzeme (borlanmamış).

Güç (Wat)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)
5	46,7	41,7	41,1	40,8	21,2
10	59,0	49,2	48,9	48,6	21,0
15	73,7	58,4	58,0	57,7	21,1
20	93,3	69,5	68,0	67,6	21,3
25	114,5	82,0	81,6	81,2	21,2

Çizelge 4.4. Borla yüzeyi kaplanmış numune.

Güç (Watt)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T ₅ (°C)
5	46,7	42,0	41,7	41,2	20,3
10	59,1	49,4	48,9	48,4	20,4
15	73,8	56,7	56,3	56,0	20,5
20	93,6	68,8	68,0	67,7	20,5
25	114,5	79,5	78,6	77,7	20,5



Şekil 4.23. Test edilen malzemenin bitiş yüzey sıcaklığı.

T₁: Sıcak kaynak sıcaklığı

T₂: Test edilen malzemenin başlangıç yüzey sıcaklığı

T₃: Test edilen malzemenin orta nokta sıcaklığı

T₄: Test edilen malzemenin bitiş yüzey sıcaklığı

T₅: Soğuk pim sıcaklığı

Yapılan ısı iletkenlik ölçümleri sonucunda ana malzeme ve borla yüzeyi kaplanmış çelik numunelerin ısı iletkenliği arasında % 1-3 arasında göz ardı edilecek bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bu da borla yüzey kaplamanın malzemenin ısı iletkenliğine çok az etki ettiğini göstermektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

- SEM incelemeleri sonucunda, borlama ısıl işlemine tabi tutulan numunelerde borür tabakası, kaplama-matris ara yüzeyi ve matris açık bir şekilde ortaya çıkmıştır.
- Borlama ısıl işlemine tabi tutulmuş numune yüzeylerinde borür tabakasının difüzyon doğrultusunda kolon biçimli yapıya sahip olduğu görülmüştür.
- X-ışını kırınım analizi sonuçlarında, St 45.8 kalite çeliğin borür tabakasında FeB ve Fe₂B gibi borür fazları olduğu görülmüştür. Borür tabakasının kolonsal dentritik bir yapıya sahip olması, oluşan fazların daha kararlı olduğunu göstermektedir. Borür tabakasının kolonsal dentritik bir yapıda olması yapılan literatür çalışmalarına uygunluk göstermektedir.
- Sertlik deneyi sonucunda elde edilen veriler, borlama ısıl işlemine tabi tutulmuş numunede ana malzemeye (işlemsiz) oranla 10 kat arttığı tespit edilmiştir. Geçiş bölgesinden itibaren sertliğin düştüğü görülmüştür.
- Korozyon deneyi sonuçları değerlendirildiğinde borla yüzey kaplama işlemi yapılan malzemenin korozyon direncinin yaklaşık 8 kat arttığı görülmektedir.
- Isı iletim deneyi sonucunda malzemenin ısı transfer değerlerinde % 1-3 oranında çok küçük fark olduğu tespit edilmiştir. Bu da bor kaplamanın ısı transferini çok az etkilediğini göstermektedir.

5.2. ÖNERİLER

- Yapılan araştırmalar sonucunda St 45.8 kalite elik malzemenin buhar kazanlarında kullanılmadan önce temizlenmesi ve atmosfer ortamına fazla maruz kalmadan sistemde kullanılması gerekmektedir.
- Sisteme alınan boruların sürekli ve sabit aralıklarla analiz sonuçları kontrol edilmelidir. Kullanılan kimyasal oranına özellikle dikkat edilmelidir.
- Bor tabakası uygulanmasında maliyet yüksek olacağından kullanımı düşünülebilir. Bor tabakası malzeme üretilirken uygulanacağından buhar kazanları sisteminin uzun yıllar kullanımda kalmasını sağlayacaktır.
- SEM analiz sonuçları, bor yüzey kaplam işleminin 950 C uygulanması 1050 C de uygulanmasından daha iyi sonuç doğurmaktadır. Yapının taraklı bir Şekil alması kaplama işleminin ana malzeme matrisinde homojen bir morfolojiye sahip olduğunu göstermektedir. Buradan birçok bilim adamının yaptığı çalışmalarının desteklediği bir sonuç alındığının görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Başer, B., “Kazan verim artırma teknikleri”, Bitirme Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Trabzon, 1-10 (2010).
2. Yalçın, E., S., “Buhar kazanlarının eksergoekonomik çözümlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-7 (2006).
3. Küçükçalı, R., “Buhar tesisatı”, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 253-266 (1999).
4. Çağlaroğlu, A., “AISI 1045 Çeliğinin fretting yorulmasına ve korozyon davranışına fosfat kaplamanın etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 45-51 (2006).
5. Kaftan, M., A., “Çelik yapılarda korozyon oluşumu ve korozyondan koruma yöntemlerinin maliyet açısından karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 3-24 (2006).
6. Özcan, M., “Organik kaplamalı metalik malzemelerde kaplama etkinliği ve metal korozyonunun belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 1-7 (2000).
7. TMMOB, “Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı ve Buhar Isıtma Sistemleri”, *Makine Mühendisleri Odası Yayınları*, İstanbul, 6-22 (2003).
8. Tawil, E., “Boiler Classification and Application”, <http://www.cedengineering.com/upload/Boiler%20Classification%20and%20Application.pdf> (2001).
9. Topal, O., “Bir Demir-Çelik fabrikasının kojenerasyonu matlab ile modellenmesi”, Bitirme Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 24-27 (2007).
10. Megep, “Buhar Devreleri”, *MEGEP*, Ankara, 30-38 (2008).
11. Deren, “Buhar Kazanlarında Blöf”, *Deren Makine Kimya Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.*, İstanbul, 1-6 (2012).
12. Daneshvar-Fatah, F., Mostafaei, A., Hosseinzadeh-Taghani, R., and Nasirpour, F., “Caustic corrosion in a boiler waterside tube: Root cause and mechanism”, *Engineering Failure Analysis*, 28: 69-77 (2013).

13. Hales, C., Stevens, K., J., Daniel, P., L., Zamanzadeh, M., and Owens, A., D., “Boiler feedwater pipe failure by flow-assisted chelant corrosion”, *Engineering Failure Analysis*, 9: 235-243 (2002).
14. Taler, J., Duda, P., Weglowski, B., Zima, W., Gradziel, S., Sobota, T., and Taler, D., “Identification of local heat flux to membrane water-walls in steam boilers”, *Fuel*, 88(2): 305-311 (2009).
15. Huang, H., J., Zhou, K., Y., Xu, J., Q., and Bian, C., X., “On the failure of steam-side oxide scales in high temperature components of boilers during unsteady thermal processes”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 30: 1-10 (2012).
16. Kıncay, O., “Öztop, M. ve Ağustos, H., Buhar kazan ve tesisatlarında korozyon koruma programı deneysel uygulama”, www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7737ef924014622_ek.pdf (2011).
17. Er, Ü. ve Par, B., “Bor yayınımla yüzeyi sertleştirilmiş AISI 1030 ve AISI 1050 çeliklerinin abrazyon dayanımlarının incelenmesi”, *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Eskişehir, 17 (1): 1-10 (2004).
18. Yılmaz, S., S. ve Ünlü, B., S., “Ç 1020 Çeliğinin farklı parametrelerde borlama özelliklerinin belirlenmesi”, *Teknolojik Araştırma E-dergi*, Manisa, 2 (3): 11-21 (2005).
19. Uzun, H., A., “Borlama ile yüzeyleri sertleştirilen çeliklerin aşınma ve korozyona karşı dayanımları”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 53-67 (2002).
20. Taştan, F., Akgün, S. ve Şahin, S., “Borlama işleminde malzemenin bileşiminin borür tabakası özelliklerine etkisinin incelenmesi”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 1-6 (2009).
21. Topaktaş, Konuş, M., “Alüminyum-Bakır-Silisyum alaşımlarının sulu ortamlardaki korozyonuna lantanitlerin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12-25 (2005).
22. Özkaya, G. M., “Isı iletim katsayısının plaka metodu ile ölçülmesi”, *ZKÜTeknoloji*, 6 (1-2): 45-50 (2003).
23. Demirel, Ç., “AISI 8640 ve GS 60 çelik malzemelerin abrazyon aşınma ve korozyon davranışına borlama işleminin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 70-80 (2013).

ÖZGEÇMİŞ

16.03.1982 tarihinde Iğdır'da doğdu. 1993'te Kazım Karabekir İlköğretim Okulu, 1996'da Ziya Gökalp Orta Okulu, 1999'da Iğdır Lisesi ve 2003'te Yüzüncü Yıl Üniversitesi Makine Teknikerliği'ni bitirdi.

2006 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümünü kazandı. 2011 yılında mezun olduktan sonra yine Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim dalında yüksek lisans programını kazandı. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Atatürk Mah. Kanuni Cad. No:114 IĞDIR
Tel : 0505 878 0220
E-posta : mmeydo@gmail.com