x





T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK ALAŞIMLI BİR ÇELİKTE FARKLI MARTENZİT HACİM ORANLARININ KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

Demet KAYRETLİ
YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

01-2013
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS
DÜŞÜK ALAŞIMLI BİR ÇELİKTE FARKLI MARTENZİT HACİM ORANLARININ KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

Demet KAYRETLİ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin İMREK
İkinci Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa ÜBEYLİ
2013, 76 Sayfa

Jüri
Doç Dr. Hüseyin İMREK
Doç Dr. Mesut UYANER
Yrd. Doç. Dr. A. Serhat ERSOYOĞLU

Bu çalışmada, düşük alaşımlı bir çeliğe, öncelikle normalleştirme işlemi ve daha sonrasında sırasıyla 737 °C, 754 °C, 779 °C, 900 °C sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanarak farklı martenzit hacim oranlarına sahip çift fazlı çelikler elde edilmiştir. Elde edilen çelik numunelere 1,0 M HCl asit çözeltisi içerisinde korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Korozyon deneyleri üç farklı yöntem kullanılarak yapılmıştır. Yöntemler; Alternatif akım (AC) empedans, doğrusal kutuplaşma direnci ve potansiyodinamik kutuplaşma eğrileri (katodik ve anodik kutuplaşma eğrileri) yöntemleridir. Elde edilen bu eğriler yardımıyla çeliklerin korozyon akım yoğunlukları ve kutuplaşma dirençleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ve eğriler yardımıyla çift fazlı çelikler üzerinde martenzit hacim oranın son derece etkili olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucunda, artan martenzit hacim oranıyla çift fazlı çeliklerin korozyona uğrama miktarının arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akım yoğunluğu, Çift fazlı çelikler, Elektrokimyasal yöntemler, Martenzit, Kutuplaşma direnci

ABSTRACT

MS

Investigation On The Effect Of Various Martensite Volume Fractions On The Corrosion Behavior Of A Low- Alloy Steel By Different Methodologies

Demet KAYRETLİ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Hüseyin İMREK
Co-Advisor: Prof. Dr. Mustafa ÜBEYLİ

2013, 76 Pages

Jury
Advisor Assoc. Prof. Hüseyin İMREK
Assoc. Prof. Mesut UYANER
Assist. A. Serhat ERSOYOĞLU

In this study, the various heat teratments at 737 °C, 754 °C, 779 °C, 900 °C have been applied to a normalized low alloy steel. The corrosion tests have been carried out on the samples within the acidic environment of 1.0 M HCl. In these tests, three different methods namely, alternative current (AC) impedance, linear polarization resistance and potentiodynamic polarization curves (cathodic and anodic polarization curves) have been used. Corrosion current density of steel and their polarization resistance have been calculated with the aid of curves. Experimental results have brought out that the ratio of martensite fraction in the steel samples is very effective on the corrosion behaviour. According o the these results, the corrosion of the steel increases with an increate in its martensite fraction.

Keywords: Current Density, Dual-phase Steel, Electrochemical methods, Martensite, Polarization Resistance

ÖNSÖZ

Çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hüseyin İMREK 'e, tezimin her aşamasında bana yardımlarını esirgemen bölüm başkanım ve danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa ÜBEYLİ ’ye, deney numunelerin hazırlanmasında, ölçümlerin alınmasında bilgilerinden faydalandığın ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. A. Ali GÜRTEN 'e, laboratuar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Ercan ÇİFÇİ 'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmam sırasında bana her zaman destek olan sevgili arkadaşım Arş. Gör. Nehir TOKGÖZ 'e ve bu günlere gelmemde büyük payı olan Aileme sonsuz teşekkür ederim.

Demet KAYRETLİ
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **x**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

3. KURAMSAL BİLGİLER **12**

3.1. Çift Fazlı Çelikler 12

3.1.1. Martenzit hacim oranı 14

3.1.2. Çift fazlı çeliklerin ısıl işlemi ve iç yapı oluşumu 15

3.2. Korozyon 16

3.2.1. Demirin korozyonu 16

3.2.2. Korozyon mekanizması 18

3.2.3. Korozyon türleri 18

3.2.4. Korozyon önleme yöntemleri 22

3.2.5. Korozyon hızı ölçme yöntemleri 24

4. MALZEME VE YÖNTEM **33**

4.1. Malzeme Seçimi 33

4.2. Numunelerin Boyutlandırılması 34

4.3. Numunelerin Isıl İşlemi 34

4.4. Numunelerin Sertliklerinin Belirlenmesi 36

4.5. Numunelerin İç Yapı İncelemeleri 36
4.6. Numunelerin Adlandırılması 37
4.7. Numunelerin Korozyon Deneylerine Hazırlanması 38
4.8. Deney Düzeneği 39
4.9. Ölçüm Yöntemleri 41
4.9.1. Alternatif akım (AC) empedans yöntemiyle kutuplaşma direncinin belirlenmesi 41
4.9.2. Yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrilerinin belirlenmesi 41
4.9.3. Doğrusal kutuplaşma direnci yöntemiyle kutuplaşma direncinin belirlenmesi 41
4.10. Deney Sonrası Numunelerin İncelenmesi 42
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 43
5.1. Numunelerin Sertlikleri 43
5.2. Numunelerin İçyapı Görüntüleri 44
5.3. Korozyon Deney Sonuçları 48
5.3.1. Yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen sonuçlar 49
5.3.2. Doğrusal kutuplaşma direnci yöntemiyle elde edilen sonuçlar 53
5.3.3. Alternatif akım (AC) empedans yöntemiyle elde edilen sonuçlar 56
5.4. Deney Sonrası Numunelerin İncelenmesi 63
5.4.1. Makro Olarak İncelenmesi 63
5.4.2. Mikro Olarak İncelenmesi 66
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 69
6.1. Sonuçlar 69
6.2. Öneriler 70
KAYNAKLAR 71

ÖZGEÇMİŞ 77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AC	: Alternatif Akım
B	: Tafel eğrilerine bağlı sabit
b_a	: Anodik tafel eğimi
b_c	: Katodik tefel eğimi
C_{dl}	: Çift tabakanın kapasite eşdeğeri
CHI	: Kimyasal analizör
E_{kor}	: Korozyon potansiyeli
F	: Faraday sabiti
i_{kor}	: Korozyon akımı
M_f	: Martenzit dönüşüm bitiş sıcaklığı
M_s	: Martenzit dönüşüm başlama sıcaklığı
n	: Elektron sayısı
P	: Perlit fazı
R_a	: Dışa doğru birikintilerin oluşturduğu direnç
R_c	: Kapasitif direnç
R_c	: Elektrolit direnci
R_d	: İndüktif direnç
R_{lpr}	: Doğrusal kutuplaşma direnci
R_p	: Kutuplaşma direnci
V_{dl}	: Difüz tabakasındaki potansiyel düşmesi
V_{toplam}	: Toplam potansiyel düşmesi
α	: Ferrit fazı
β_c	: Katodik tafel sabiti
γ	: Östenit fazı
ΔG	: Serbest enerji toplamı

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials
BUE	: Aşınma ve Sıvanma
CPE	: Sabit Faz Elementi
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
DP	: Çift Fazlı Çelik
EIS	: Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
FDL	: Şekillendirme Sınır Diyagramları
HSLA	: Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelikler
LPR	: Doğrusal Kutuplaşma Direnci
MHO	: Martenzit Hacim Oranı
OHP	: Dış Helmholtz tabakası
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
YMDA	: Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelikler

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze gelişen teknoloji ile birlikte insan ihtiyaçlarında bir artış ve çeşitlilik meydana gelmiştir. Artan bu ihtiyaçlar, sınırlı olan enerji kaynaklarını daha verimli bir şekilde kullanılması gerektiği sonucunu ortaya koymuştur. Özellikle otomotiv sektöründe, taşıt ağırlıklarının 1,5 – 1 tondan 500 kg gibi düşük seviyelere çekilmesi ile tüketilen yakıt miktarının yarı yarıya azaltılabilmesi (Senuma, 2001) sonucu, üreticiler yeni malzeme arayışlarına girmiştir. Son yıllarda plastik ve kompozit malzemeler çok fazla kullanım alanı bulmasına karşın yüksek dayanım gerektiren otomotiv gövdeleri için gerekli mekanik özellikleri sağlamamaktadır. Bu durum, üreticileri yeni malzeme arayışına itmiştir.

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (YMDA) çelik türlerinin yeni bir sınıfı (Speich, 1993) olan çift fazlı çelikler bu arayışta tercih edilen ve üzerinde çalışılan çelik türlerinden biri olmuştur.

Çift fazlı çelik kavramı 1937'de yeni bir yatak malzemesinin üretimi için Grabe'in yapmış olduğu çalışma ile ortaya çıkmış. 1970' li yıllarda ortaya çıkan ekonomik krizle birlikte bilim insanlarının otomotiv endüstrisine sunduğu alternatif çözümler olarak üzerinde etraflıca çalışılan bir malzeme olmuştur (Ulu, 2009).

Çift fazlı çelikler sünek (yumuşak) ve küçük taneli ferrit ve sert martenzit fazlarından oluşan bir iç yapıya sahiptir (Durmuş, 2000). Çift fazlı çelikler, diğer çelik türlerine göre, özellikle üretildikleri YMDA çeliklere göre kolay şekil verilebilirlik özellikleri ve düşük üretim maliyetleri ile üstünlük sağlamaktadırlar.

Çift fazlı çelikler ile ilgili yapılan araştırmalar, genellikle mekanik özellikleri hakkında olmuştur. Çift fazlı çeliklerin bu üstün mekanik özelliklerinin yanısıra korozyon eğiliminin de bilinmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Yapılan ilk çalışma, Trejo ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Çift fazlı çeliğin beton içerisindeki korozyon davranışını ağırlık kaybı yöntemine göre inceleyen Trejo, çift fazlı çeliğinin üretildiği çeliğe göre daha korozyona daha yüksek dirence sahip olduğu söylenmiştir. Sarkar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Trejo'nun aksine bir sonuç ileri sürülmüştür (Keleştemur, 2008).

Günümüzde korozyon endüstriyel yatırım ve üretim maliyetlerini etkileyen önemli faktörlerden biri olmasına karşın uygulamada yeteri kadar üzerinde durulmamaktadır. Korozyon nedeniyle ülkelerin uğradıkları malzeme, enerji, emek ve bilgi kaybının yıllık değeri "Gayri Safi Milli Gelir" in %3,5 ile %5'i düzeyindedir. Ülkemiz için bu kaybın %4,5 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu ise yılda 2,5

milyar dolarlık bir kayıp demektir. Fakat ne yazık ki bu durum ülkemizin farkında bile olmadığı bir durumdur. Gelişmiş ülkelerde korozyon hızının ölçülmesi ve korozyondan korunma önlemlerinin alınabilmesi için sürekli araştırmalar yapılmaktadır (Leçe, 2008).

Elektrokimyasal tepkimelere eğilimlerinin yüksek olmasından dolayı, korozyonun en fazla görüldüğü malzeme metallerdir (Leçe, 2008). Metaller doğada oksitleri, sülfürleri vb gibi değişik bileşikleri halinde bulunurlar. Doğadaki bileşikleri en kararlı olanlarıdır. Bir metal termodinamik bir sistem gibi düşünülürse üretimi sırasında verilen enerjiyle kararsız bir haldedir. Çevresi ile etkileşerek fazla enerjisini dışarı vermesi, entropisini küçültmesi ve doğadaki kararlı bileşiği haline dönüşmesi doğal bir olaydır. Bu doğal yapıya dönüşme eğilimi, üretimleri sırasında harcanan enerji ile orantılıdır. Çok enerji sarf edilerek güçlükle elde edilen metaller doğal yapılarına çok kolay dönerler (Erbil,1985; Üneri, 1998). Enerji ve emek sarf edilerek doğadan kazanılan metaller korozyonla tekrar doğaya dönmektedir. En basit deyimle korozyon sonucu kaybedilen metal, elde edilmesi sırasında harcanan enerjinin, emeğin, paranın boşa gitmesi demektir (Süvari, 2007).

Yukarıda sayılan bütün bu sebeplerden dolayı çift fazlı çeliklerin, hızla artan kullanımına karşın yeteri kadar bilinmeyen korozyon davranışı hakkında çalışmalar yapılmalıdır.

Bu çalışmada, sınırlı sayıda çalışılmış olan çift fazlı çeliklerin korozyon davranışını üç farklı elektrokimyasal yöntemle incelenmiştir. Bu amaçla, %0,28 C, %1,45 Mn, %0,21 Cr, % 0,13V, %0,01 Nb, %0, 20 Si, %0,02 P ve %0,02 S içeren düşük alaşımlı bir çeliğe öncelikle farklı martenzit oranlarına sahip çift fazlı çelik elde edebilmek için, arakritik ısıl işlemler uygulanmıştır. Elde edilen her bir farklı faz yapısına sahip çelik için, elektrokimyasal deneyler uygulanarak korozyon eğilimleri incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Keleştemur ve ark. (2009), çalışmada inşaat sektöründe çok yaygın kullanılan bir SEA1010 yapı karbon çeliği kullanılmıştır. Çelik numuneye uygun ısıl işlemler yapılarak farklı martenzit iç yapısına sahip çift fazlı çelikler elde edilmiştir. Çeşitli menevişleme şartları altında betona gömülü çift fazlı çeliklerin korozyon davranışı araştırılmıştır. Betonarme çeliğine ilk olarak arakritik sıcaklıklar arasında ısıl işlem uygulanarak farklı martenzit iç yapılara sahip çift fazlı çelikler elde edilmiştir. Bu çift fazlı çelikler 200, 300 ve 400 °C sıcaklıklarda 45 dakika menevişlenmiş ve oda şartlarında soğutma işleminden sonra korozyon deneyleri iki aşama halinde yapılmıştır. İlk aşamada, beton içerisindeki çeliklerin korozyon potansiyeli değerleri 30 gün boyunca her gün ASTM C 876 standardına göre belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, bu çeliklerin anodik ve katodik kutuplaşma değerlerini belirleyerek katodik kutuplaşma eğrileri yardımıyla çeliklerin korozyon akım yoğunlukları hesaplanmıştır. Bu araştırmada ikinci faz miktarının betona gömülü çift fazlı çeliğin korozyon davranışına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda, artan martenzit miktarıyla korozyon oranının arttığı gözlemlenmiştir (Keleştemur ve ark., 2009).

Bhagavathi ve ark. (2010), tarafından yapılan çalışmada farklı arakritik ısıtma süreleri uygulanarak farklı martenzit hacim oranlarına sahip çift fazlı çelikler elde edilmiştir. Çift fazlı çeliklerin Vickers sertlik ve gerilme gibi mekanik özelikleri ölçmüş ve sonrasında korozyon özellikleri, potansiyel dinamik ve daldırma testleri uygulanarak değerlendirmiştir. Gerilmenin ve sertliğin martenzit hacim oranının artmasıyla arttığı, sünekliğin düştüğü sonucu elde edilmiştir. Çift fazlı çeliklerin korozyon direncinin kritik ısıl işlem altındaki perlit- ferlit çeliğine göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Çift fazlı çeliklerin korozyon dirençleri, iç yapı özelliklerine dayandırılarak açıklanmıştır (Bhagavathi ve ark., 2010).

Sarkar ve ark. (2005), çalışmada farklı yapı ve martenzit içeriklerine sahip beş farklı çift fazlı çeliğin galvanostatik korozyon davranışını % 3,5 NaCI çözeltide, perlit-ferlit çeliğiyle karşılaştırarak değerlendirmiştir. Çift fazlı çeliklerin korozyon davranışında martenzit hacim oranının ve faz yapısının etkisi olduğu belirlenmiştir. Martenzit miktarının ve faz bileşenlerinin artmasıyla korozyona uğrama miktarının arttığı bulunmuştur (Sarkar ve ark., 2005).

Nadlene ve ark (2011), çift fazlı çeliklerde bulunan martenzitin sertlik ve korozyon davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada farklı martenzit oranlarına sahip altı tane çift fazlı çelik araştırılmıştır. Arakritik tavlama işlemi ile farklı martenzit formuna sahip toplam dokuz tane deney numunesi hazırlanmıştır. Düşük karbonlu bu numuneler, 725'den 825 °C'e değişen sıcaklıklarda 25 dakika bekletildikten sonra suda soğutulmuştur. Korozyon ölçümleri için ekstrapolasyon tafel yöntemi kullanılmıştır. Ölçümler sonucunda, artan martenzit hacim oranıyla korozyon hızının arttığı gözlemlenmiştir. Sertlik ölçümlerinde ise düşük karbonlu çeliklerle kıyaslayarak her bir numune için ölçüm yapılmıştır. Sonuçta martenzit hacim oranın artmasıyla birlikte sertliğin de arttığı gözlemlenmiştir (Nadlene ve ark., 2011).

Sudhakar ve ark (1999), tarafından kritik sıcaklıklar arasında tavlanmış %32 ve %76 martenzit hacim oranına sahip çift fazlı çeliklerin, %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde eşik ve en yüksek gerilme yoğunluğu değerleri arasında yorulma çatlama davranışı çalışılmıştır. Bu çalışmada, çift fazlı çeliklerde martenzit oranının yorulma çatlağı büyümesi (FCG) oranında ve hasar eşik kısmında büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ferritte yüksek martenzit içeriğinin, yüksek hasar eşik değerlerine ve düşük FCG oranına yol açtığını, hatta, Delta K-th (yorulma eşiği) %3,5 NaCl çözeltisinde laboratuar hava şartlarıyla karşılaştırılırsa çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Kırılma Bilimi çalışmaları korozyonlu çevrede (%3,5 NaCl çözeltisi) çatlama yüzeylerini esasen tanenler arası çatlamanın karakterize ettiği ve hasar eşiği yakın bölgeleri belirlenmiştir. %3,5 NaCl çözeltisindeki yükte hasar eşiği değerleri kırılma yüzeyi hazırlama aşaması ve korozyon ürünlerinin güçlü sıkma etkileri tarafında yüksek çatlama başlatılmasına bağlanmıştır (Sudhakar ve ark., 1999).

Türkmen ve ark. (2011), tarafından yapılan çalışmada, % 4 ön deformasyon uygulanmış farklı martenzit iç yapılarına sahip çift fazlı çeliklerin 180 °C' de farklı bekleme sürelerinde yaşlanma davranışı incelenmiştir. Yapılan çalışmada, tane sınırlarında ağ şeklinde dağılmış martenzit, ferrit içerisine düzgün dağılan ince iğnemsi martenzit, kaba ferrit ve küresel martenzit yapıları olmak üzere üç farklı martenzit yapıya sahip çift fazlı çeliğin yaşlanma nedeniyle mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimin derecesi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda; ön deformasyon ve yaşlandırma işlemi uygulanmamış ağ, iğnemsi ve küresel martenzit yapıya sahip çift fazlı çeliğin gerilme-uzama diyagramlarının sürekli akma davranışı gösterdiği görülmüştür. Elde edilen diğer sonuçlar; 180 °C'de 10 ila 40 dakika

yaşlandırılan ağ, fiber ve küresel martenzit yapısına sahip numunelerin akma ve çekme dayanımlarında artma görülürken, % uzama değerlerinde azalma olduğu ve yaşlanma süresinin artması sonucu akma dayanımında azalma olurken, % uzamada bir artış görülmüş, aşırı yaşlanmanın iğnemsi martenzit yapıya sahip numunelerde ağ ve küresel martenzit yapıya sahip numunelere göre daha yavaş olduğu tespit edilmiş, iğnemsi martenzit yapıya sahip numunelerde dislokasyon yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı daha fazla dislokasyon kilitlenmesi meydana geldiğinden dolayı aşırı yaşlanma hızının düşürüldüğü şeklinde sonuç elde edilmiştir (Türkmen ve ark., 2011).

Acarer (2005), düşük karbonlu DIN EN 360 B (St 37-2) ve DIN EN 360 D1 (St 37-3) sac çelikleri kritik tavlama sıcaklığında belirli bir süre bekletildikten sonra su+buz+tuz ortamlarında su verme işlemi ile ferrit+martenzitten oluşan çift-fazlı çelik üretilmiştir. Elde edilen bu çift fazlı çeliklerin martenzit hacim oranının (MHO-%VM) sıcaklığa bağlı olarak değişimi tespit edilmiş ve çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme deney sonuçlarına göre, üretilen çift-fazlı çeliklerin orijinal ferrit perlit çeliklerine nazaran oldukça yüksek dayanıma bununla birlikte daha düşük uzama değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Akma oranında belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. MHO'na bağlı olarak dayanım değerleri artarken uzama değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Alaşım elementi miktarının artması ile MHO ve çekme dayanım değerlerinin oldukça arttırdığı gözlemlenmiştir (Acarer, 2005).

Akkaya (2005), tarafından yapılan çalışmada, % 0,055 C' lu çelikten üretilen çift fazlı çelikler iki farklı ısıl işleme tabi tutulmuştur. İlk grup örnekler, normalleştirilmiş örnekler ostenit bölgesinde 940 °C sıcaklıkta 45 dakika tavlanarak suda soğutulmuştur. Daha sonra aynı örnekler, ferrit + ostenit bölgesinde 780 °C, 825°C ve 870 °C sıcaklıklarında 60 dakika tavlanarak suda soğutmuştur. İkinci grup örnekler ise, ilk olarak ısıl işlemle üretilen çift fazlı çelikler 400 ^{o}C' de 2 saat tavlanarak ısı verme işlemi uygulanarak havada soğutma uygulanmıştır. Farklı ısıl işlemlerle üretilen değişik mikro yapılı çift fazlı çelik örneklerine sabit hızda çekme testleri uygulanarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Isıl işlem sonrası, çift fazlı çeliklerin kristal yapısı ve bozunumları X ışını kırınımı deneyi ile, aynı çeliklerin elektrik özdirenç ölçümleri ise dört nokta elektrot yöntemi ile elde edilmiştir. Daha sonra örneklere düşük frekanslarda (50 Hz-100 Hz) mıknatıslama uygulanarak manyetik özellikleri (B – H değişimleri) incelenmiştir. Değişik martenzit miktarına sahip çift fazlı çelik örneklerin yorulma ömürleri yorulma test cihazı ile belirlenmiştir. Çift fazlı çeliklerden elde edilen yorulma

değerleri ferrit + perlit mikro yapısına sahip çeliklere göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Çift fazlı çeliklerin yorulma kırılma yüzeyleri elektron mikroskobu ile görüntülenerek, çatlak başlangıç ve ilerleme mekanizmaları incelenmiştir (Akkaya, 2005).

Güral ve ark., tarafından yapılan çalışmada, ilk iç yapısı ferrit + perlitten oluşan AISI 8620 çeliği ve bu çelikten üretilen farklı martenzit hacim oranındaki çift fazlı çeliklerin farklı kesme hızlarında aşınma ve kenar yığıntısı (BUE) oluşturma eğilimleri ve bu eğilimlerin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Çift fazlı numunelerde, BUE oluşma eğiliminin MHO arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Bu eğilimin kesme hızı arttıkça daha belirgin hale geldiği belirlenmiştir. Ancak MHO fazla olan çift fazlı numunelerin işlenmesinde kullanılan kesici uçlarda yüksek kesme hızlarında çentiklenme tipi aşınma eğilimi olduğu gözlemlenmiştir. Çift fazlı numunelerde BUE oluşma eğilimi, ferrit + perlit mikro yapılı numunelere göre önemli oranda az çıktığı tespit edilmiştir. BUE oluşma eğilimi ile yüzey kalitesi arasında yakın bir ilişki olduğu elde edilmiştir. BUE oluşma eğiliminin azalması ile yüzey kalitesinin iyileştiği belirlenmiştir. Çift fazlı numunelerdeki bu iyileşmenin nedeninin sıcaklıklarda östenitin martenzite dönüşümü sonucu oluşan kalıntı gerilimler olabileceği düşünülmüştür. Kesme kuvvetleri, BUE oluşma eğilimi ve kesme hızının martenzit hacim oranı arttıkça azaldığı sonucu elde edilmiştir (Güral ve ark.).

Dağaşan (2007), çalışmada düşük karbonlu ve düşük alaşımlı AISI 8620, AISI 1020, AISI 4140 ve AISI 1040 çelikleri kullanılarak elde edilen çift fazlı çeliklerin aşınma davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada, AISI 8620 çeliğini 7 farklı sıcaklıkta (723, 740, 760, 780, 810, 820 ve 832 ^{o}C) kritik tavlanarak, -10 ^{o}C de tuzlu su çözeltisinde su verilmiş, böylelikle hem martenzit hacim oranının hem de aşınma oranının kritik tavlama sıcaklığı ile değişimi incelenmiştir. Çalışmada, ikinci adım olarak ise martenzit hacim oranının ve aşınma oranının farklı alaşım elementleri ve farklı karbon oranları ile değişimi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda artan kritik tavlama sıcaklığı ile martenzit hacim oranının arttığı ancak aşınma oranının düştüğü gözlemlenmiştir. Aşındırma süresi üzerine yapılan çalışmalar sonucunda ise aşınma oranının artan deney süresi ile önce sürekli artığı ancak kuluçka periyodu nedeniyle aşınma oranının belli bir süre sonunda azaldığı ya da hemen hemen sabit kaldığı gözlemlenmiştir (Dağaşan, 2007).

Kabakçı (2006), tarafından yapılan çalışmada, %0.0981C, %1,653Mn, %0,54Si ve %0,694Ni kimyasal kompozisyonuna sahip çelik kullanılmıştır. Çalışmada ilk olarak numuneler tavlamış ve bu tavlama üç farklı arakritik sıcaklıkta yapılmıştır (A1-A3 arasında). Tavlama sonrasında ise numunelere suda, yağda, havada ve fırında soğutulma işlemi yapılmıştır. Yapılan işlem sonucunda da, kritik tavlama sırasında sıcaklık arttıkça mevcut olan östenitin martenzite dönüşüm miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Sonrasında ısıl işlem görmüş numunelere oda sıcaklığında çekme testi uygulanmıştır. Çekme deneyleri sonucunda hiçbir numunenin belirli bir akma noktası göstermediği sonucu elde edilmiştir. Martenzit hacim oranının artması ile akma ve çekme dayanımları artarken toplam uzamanın azaldığı sonucu elde edilmiştir. Benzer şekilde, martenzit hacim oranının artması ile mikrosertlik değerlerinin de arttığı görülmüştür. Kırık yüzeylerin SEM incelemesi sonrasında kırılmaya küçük boşlukların yol açtığı görülmüştür (Kabakçı, 2006).

Keleştemur ve ark. (2008), ferrit-perlit yapısına sahip inşaat çeliğinden arakritik su verme ısıl işlemi ile elde edilmiş çift faz (DP) çeliğinin beton içerisindeki korozyon davranışı, elde edildiği çelik ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Çalışmada, korozyon deneylerini iki aşama halinde yapılmıştır. İlk aşamada, beton içerisine gömülü haldeki çeliklerin korozyon potansiyeli değerleri 30 gün boyunca her gün ASTM C 876 standardına göre belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, bu çeliklerin anodik ve katodik kutuplaşma değerleri belirlenerek katodik kutuplaşma eğrileri yardımıyla çeliklerin korozyon akım yoğunlukları hesaplanmıştır. Çift faz çeliğinin korozyon davranışı üzerine martenzit hacim oranının önemli rol oynadığı gözlemlenmiştir. Çalışma neticesinde, çift faz çeliğinin martenzit hacim oranındaki artışa bağlı olarak korozyon hızının arttığı belirlenmiştir (Keleştemur ve ark., 2008).

Hayat ve ark., yapılan çalışmada, %0,076 C, %1,74 Mn ve %0,064 Ni kimyasal bileşime sahip çeliğin hiç bir işlem yapılmamış hali ve 910 °C'de normalleştirme yapılmış hali olmak üzere iki farklı başlangıç numunesi kullanılmıştır. Daha sonra ise, bu numunelere 730-760 °C'lerde kritik tavlama işlemi ve bunun ardından havada soğutma ve suda soğutma işlemi olmak üzere iki farklı soğutma işlemi uygulanarak farklı iç yapılara sahip çelik numuneler elde edilmiştir. Aynı sıcaklıkta tavlama işlemi sonrasında havada soğutma ile suda soğutmaya göre daha az martenzit hacim oranı elde edildiği görülmüştür. Bu işlemler sonrasında numunelerin mekanik özellikleri ve kırılma davranışları incelenmiştir. Martenzit oranı artıkça akma ve çekme

davranışlarının arttığı ancak uzama değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. SEM incelemeleri sonuçları ile yüksek martenzit içeren çift fazlı çeliklerin bile tipik sünek kırılma davranışına sahip oldukları gösterilmiştir (Hayat ve ark.).

Öztürk, çalışmada farklı şekillendirme hızlarında DP600 malzemesinin mekanik özellikleri incelenmiş ve şekillendirme sınır diyagramları (FLD) elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerde FLD'lerin farklı şekillendirme hızlarında çok fazla farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bunun sonucu olarakta, DP600 yüksek mukavemetli çeliğinin şekillendirilmesinin şekillendirme hızına bağlı olmadığı sonucu elde edilmiştir (Öztürk).

Gürel (2010), yapılan çalışmada, dört farklı martenzit hacim oranına sahip ve menevişlenmiş çift fazlı bir düşük alaşım çeliğinin, 7,62 mm zırh delici mermiler karşısındaki balistik başarımı incelenmiştir. Üçü arakritik bölgede, biri östenitik bölgede olacak şekilde su verilerek üretilen çeliklerde düşük, orta, yüksek ve tam martenzit hacim oranına sahip çift fazlı çelikler elde edilmiştir. Su verme ısıl işleminin ardından çelikleri 200 °C ve 400 °C'de menevişlenerek sekiz farklı ısıl işlem koşulunda numuneler hazırlanmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında, numunelerin mekanik özellikleri ve içyapıları incelenmiştir. Her bir ısıl işlem grubundaki numunelere sertlik ve çekme testleri yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında da, hazırlanan atış numunelerine atış poligonlarında 7,62 mm zırh delici mermilerle beş farklı alan yoğunluğundaki her bir numune için üç atış tekrarlanarak 120 atış yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda; çift fazlı çeliklerde artan martenzit hacim oranıyla sertlik ve dayanımının arttığı, incelenen tüm numuneler içerisinde en yüksek balistik başarımı tamamen martenzit içyapıya sahip olan ve 200 °C'de menevişlenen numunelerin gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu numunelerin 94 kg/m² ve üzeri alan yoğunluklarında tam balistik koruma sağladığı görülmüştür. Sonuçta, en yüksek alan yoğunluğuna sahip numunelerin tamamının başarılı ve en düşük alan yoğunluğuna sahip numunelerin tamamının başarısız olduğu gözlemlenmiştir (Gürel, 2010).

Deniz (2009), tarafından yapılan çalışmada, üç farklı arakritik ısıl işlem sıcaklığında elde edilen farklı martenzit hacim oranına sahip çeliklerin hem direk bu şekilde hem de seramik katman eklenerek, zırh delici balistik mermi karşısındaki balistik başarımı incelenmiştir. Kıyas yapabilmek için birde farklı bir grup çelik numuneye tavlama ısıl işlemi uygulanmış ve gene hem bu şekilde hem de seramik katmanlı olarak balistik başarımı incelenmiştir. Deneyler sonucunda, en yüksek başarım oranının seramik katmanlı numune gruplarında olduğu görülmüştür. Çift fazlı çelikler

içerisinde ise en iyi balistik başarımı, martenzit hacim oranı en yüksek olan numune grubunun sağladığı elde edilmiştir (Deniz, 2009).

Topçu ve ark. (2009), düşük karbon ve düşük alaşımlı bir çeliğin iç yapısı ve mekanik özellikleri çalışılmıştır. Çeliğin mekanik özelliklerinde mikro yapının etkilerini araştırmak amacıyla, tam martenzit, tavlama, normalleştirme ve üç farklı sıcaklıkta arakritik ısıl işlemleri uygulanmıştır. Çalışmalar sonucunda, arakritik sıcaklığın artmasıyla martenzit hacim oranının arttığı ve martenzit hacim oranının artmasıyla çeliğin sertlik ve direncinin önemli ölçüde arttığı elde edilmiştir (Topçu ve ark., 2009).

Übeyli ve ark. (2009), tarafından yapılan çalışmada, düşük karbon ve düşük alaşımlı çeliğin balistik performansı arakritik tavlama şartları için incelenmiştir. Üç farklı sıcaklıkta arakritik ısıl işlem yapılarak farklı martenzit hacim oranlarına sahip üç farklı grup çelik elde edilmiştir. Çift fazlı çeliklerle karşılaştırmak için tam tavlama ısıl işlemiyle dördüncü çelik grubu oluşturulmuştur. Deneylerde 7,62 mm ‘lik zırh delici mermi kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, artan martenzit ile birlikte çift fazlı çeliklerin balistik direncinin de arttığı gözlemlenmiştir.Elde edilen sonuca göre, balistik testler sonucunda tüm örneklerde ısıl işlemler göz önüne alınmaksızın bozulmuş kayma bantları ve bozulmuş içyapılar elde edilmiştir. Ayrıca, incelenen çelik numunelerinde balistik etkiden oluşan gerilme nedeniyle makro ve mikro sertliklerin arttığı göze çarptığı gözlemlenmiştir (Übeyli ve ark., 2009).

Topçu ve ark. (2010), düşük karbon ve düşük alaşımlı bir çeliğin sertleşebilirliğini, dört farklı su verme sıcaklığında standart Jominy Uca Su Verme Test’i kullanarak incelenmiştir. Üç çelik örneği ayrı ayrı 737, 754 ve 779 °C ‘lerde arakritik bölgede, birine de 900 °C ‘de yani tam östenit bölgesinde su vererek farklı martenzit hacim oranlarında çelikler elde edilmiştir. Jominy testinden sonra, içyapıdaki değişikliği gözlemleye bilmek için çelik boyu buyunca metalografik inceleme uygulanmıştır. Ayrıca, çelik boyu boyunca sertlik ölçümleri de alınmıştır (Topçu ve ark., 2010).

Oni (1999), bu çalışmada ,katodik akımla koruma sisteminin uygulanmasıyla deniz suyunda korozyon saldırılarına karşı düşük alaşımlı çift fazlı çeliklerin bazı mekanik özelliklerinin aşırı koruma ile nasıl değiştiği belirlenmeye çalışılmıştır. Koruma için 825 mV potansiyel doymuş kalomel çözeltisi yeterli olmasına rağmen, uygulamada 1400 mV SCE kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında hidrojen ve metal etkileşimleri gösterilmiştir (Oni, 1999).

Leçe (2008), tarafından yapılan çalışmada, sentezlenen yedi farklı Schiff bazının 2M HCl ortamında, çelik elektrot üzerindeki önleme etkinlikleri kutuplaşma ve empedans teknikleri kullanılarak araştırılmıştır. Bileşiklerin yapısı, molekül büyüklüğü ve sübstitüent etkileri göz önünde bulundurulmuştur. Çalışılan bileşiklerin hepsinde derişimin artması ile önleyici etkinliğinin arttığı, sıcaklığa bağlı olarak desorpsiyon hızının çok fazla değişmemesine bağlı olarak, sıcaklıkla önleme etkinliğinin pek fazla değişmediği görülmüştür (Leçe, 2008).

Erbil (1987), korozyon hızı ölçme yöntemlerinden biri olan alternatif akım (AC) empedansı yönteminin teorik temelleri gözden geçirilerek deneysel sapmalar tartışılmıştır. Metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan elektrokimyasal çift tabakanın difüz bölgesi ile ilgili olarak yapılacak düzeltmelerin, belirlenen korozyon hızının daha doğru olmasını sağlayacağı ileri sürülmüş ve gerçek korozyon hızının hesaplanmasında kullanılabilecek olan yük transfer direncinin (Rt), AC empedansı yöntemiyle elde edilen kompleks diyagramdan yararlanılarak hesaplanmasını sağlayacak yeni bir formül önerilmiştir. Önleyici etkisi olan maddelerin, yüzey yapısına ve buna bağlı olarak kompleks diyagramın şekli üzerine nasıl etkidiğine kısaca değinilmiştir. Empedans ölçümleri sonucunda elde edilecek kompleks diyagramların yarım daireye değil yarım elipse benzemesi gerektiği ileri sürülmüştür (Erbil, 1987).

Ramirez-Arteaga ve ark. (2010), çalışmada, çift fazlı çeliklerin korozyon direncine ısıl işlemin etkisini, 60 °C'de 0,5 M H_2SO_4 çözeltisinde kütle kaybı, potansiyodinamik kutuplaşma eğrileri, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve elektrokimyasal gürültü ölçümleriyle belirlemeye çalışılmıştır. 750 °C'de ısıl işlem yapılan çelik, 0 °C veya 40 °C'de suda ya da zorlanmış hava ile soğutulduktan sonra 250 °C ve 450 °C' de temperlenmiştir. Deneylerin sonucu, martenzit yüzdesin artması ve ferrit yüzdesinin azalmasıyla korozyon hızının düştüğünü göstermiştir. korozyon mekanizması, soğutma ortamına ve temperleme sıcaklığına bakmaksızın her durumda, korozyon ürünlerinin oluşturduğu tabaka boyunca saldırgan türlerin yayınımı ve yük transferi altındadır. Suda soğutulmuş numuneler için, temperleme sıcaklığı arttıkça yerel korozyon hassasiyetinin düştüğü, zorlanmış hava ile soğutulmuş çelikte ise ısıl işleme bakılmaksızın yerel korozyon olayına daima hassas olduğu gözlemlenmiştir (Ramirez-Arteaga ve ark., 2010).

Ismail ve ark. (2010), tarafında yapılan çalışmada, betona gömülü çift fazlı bir çeliğin korozyon performansı, hazırlanan deney düzeneğinden elde edilen sonuçlar neticesinde değerlendirilmiştir. Çift fazlı çelik, 735 °C' de geleneksel çeliğin arakritik

ısıl işlemiyle üretilmiştir. Test numuneleri ilk olarak %3,5 klorür ve deniz suyunda hızlandırılmış korozyon hücresinde bekletildikten sonra 14 gün süreyle suda bekletilmiştir. Örneklerin korozyon hızları ASTM G 109 tafel ekstrapolasyon korozyon test tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Yönteme ek olarak, benzer hücre şartlarında çelik çubuklar daldırılarak, bir hafta boyunca CMS-105 sistemiyle korozyon davranışı gözlemlenmiştir. Sırasıyla, korozyon potansiyeli, korozyon akımı, kutuplaşma direnci ve korozyon hızının yanı sıra katodik ve anodik tafel sabitleri ölçülmüştür. Çalışma örneklerinin korozyonunda iç yapının etkili olup olmadığını incelemek için, iç yapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, korozyon direncinde, çift fazlı çeliğin performansının geleneksel çelikten daha iyi olduğu bulunmuştur (Ismail ve ark., 2010).

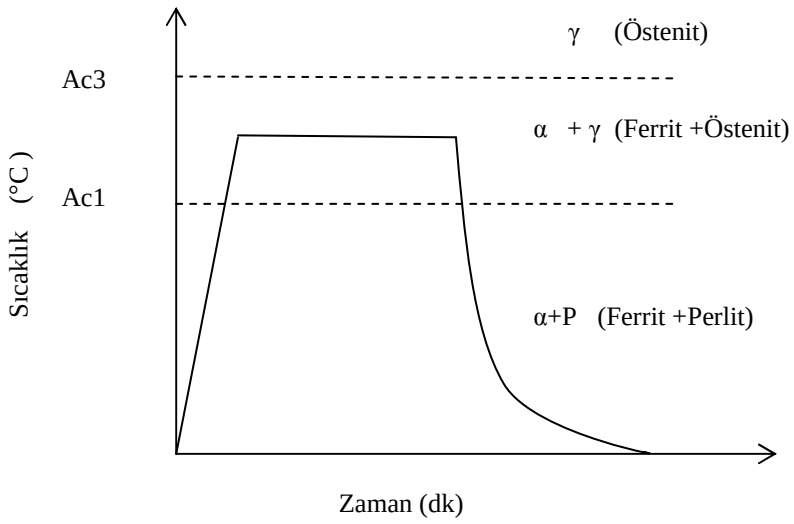
Osorio ve ark. (2009), tarafından yapılan çalışmada, dört farklı geleneksel ısıl işlem ile (sıcak haddelenmiş, normalleştirme, tavlama ve arakritik ısıl işlemi) elde edilmiş çeliklerin elektrokimyasal korozyon davranışı ve korozyon davranışlarına iç yapının nasıl bir etkisinin olduğunu çalışmak amaçlanmıştır. Isıl işlem çeliklerinin nötr pH'da oda sıcaklığında 0,5 M NaCl çözelti içerisinde elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve tafel eğrileri incelenmiştir. Tartışmalarda sayısal veriler elde etmek için eş değer devre modeli oluşturulmuştur. Normalleştirme ve tavlama ısıl işlemiyle sırasıyla en yüksek ve en düşük korozyon direnci elde edilmiştir. Arakritik tavlama ve sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çeliklerde benzer korozyon davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Çift fazlı çeliklerin yapılarında bulunan martenzitten dolayı oluşan artık gerilmelerden ötürü korozyon direncinin olumsuz yönde etki oluşturduğu doğrulanmasına rağmen, martenzitin orta derecede bulunmasıyla elektrokimyasal korozyon direnci ile iyi mekanik özellikleri birleştirdiği görülmüştür (Osorio ve ark., 2009).

Çift fazlı çeliklerin korozyon davranışları, çeliklerde değişen martenzit miktarıyla birlikte beklendiği şekilde değişmektedir. Çalışmayla ilgili yapılan çalışmalar Keleştemur ve ark. (2009), Bhagavathi ve ark. (2010), Oni (1999) bu yaklaşımı desteklemiştir. Yapılan çalışmaya göre, çift fazlı çeliklerin korozyon dayanımının artan martenzit hacim oranıyla birlikte azaldığını üç farklı elektrokimyasal ölçüm yöntemiyle yapılan ölçümlerle ortaya konmuştur.

3. KURAMSAL BİLGİLER

3.1. Çift Fazlı Çelikler

Çift fazlı çelikler, düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çeliklerin ara kritik bölgeye kadar ısıtıp daha sonra bu bölgeden hızla soğutulmaları sonucu elde edilirler. Ara kritik bölgeye çıkarılan çeliğin bu sıcaklıkta tavlanmasıyla yapısında östenit ve ferrit fazları oluşur. Hızla soğutma işleminin sonucunda çeliğin içyapısında ferrit fazı aynen kalırken, östenit fazı martenzit fazına dönüşür. Oluşan ferrit ve martenzit fazı çift fazlı çeliğe ismini veren fazlardır (Gürel, 2010). Şekil 3.1'de çift fazlı yapının ısıl işlem ile oluşumunun çizgisel gösterimi verilmiştir.



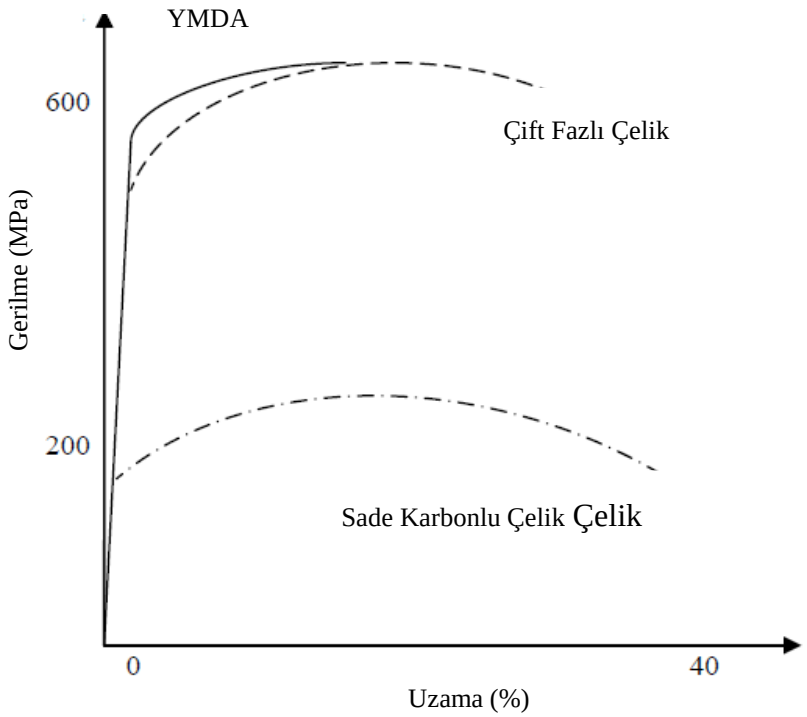
Şekil 3.1 Çift fazlı yapının ısıl işlem ile oluşumunun çizgisel gösterimi

Çift-fazlı çelikler ilk kez 1937'de Grabe tarafından, yatak malzemesi yapmak amacıyla %0,25C içeren çeliği kritik bölgeden soğutarak çift-fazlı bir yapının elde edilmesiyle ilgili yeni bir patent aldığında tanınmıştır (Hayat,2005). 1960'lı yıllarda, Williams ve Davies, kalay kaplama uygulamaları için yeniden fosforlanmış çeliklere bir alternatif olarak ferrit-martenzit şerit gelişimi üzerine bir makale yayımlamışlardır (Hayat,2005). Bu araştırma çift-fazlı çeliklerin esas inceleme periyodu olarak anılır. Cairns ve Charles tarafından yapılan çalışmalar da bu tip çelik üzerine yapılan ilk çalışmalardan biri olarak literatürde yerini almıştır. Fakat asıl araştırmalar, bu çeliklerin gelişmesine ve anlaşılmasına önemli bir yardımın sağlandığı 1970'lerde devam

etmiştir. Özel olarak ise; Tamura ve arkadaşları martenzitin mukavemeti ve hacim oranı arasında bir ilişki tespit etmişlerdir (Hayat, 2005). Hayami ve Furukawa ise sürekli tavlama yoluyla işlenen ferrit-martenzit çeliklerinin özelliklerini tartışmışlardır (Hayat, 2005). Çift-fazlı çelikler olarak bu malzemelerin ilk zamanlardaki tasarımına bu yazarlar ile itibar edilmiştir. Rashid, standart bir vanadyumlu YMDA kalite (GM 980 X) kullanarak ticari çift fazlı çeliklerin üretimi üzerine yayınlar yapmış ve bu malzemelerin gelişimine yardım etmiştir (Hayat, 2005).

Çift fazlı çeliklerin mekanik özellikleri, bilinen yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (YMDA) ve az karbonlu alaşımsız çeliklerden daha iyidir. Bu çelikler genel olarak eşit çekme mukavemetine sahip ferritik perlitik çeliklerden daha yüksek sünekliğe sahiptirler. Bu nedenle gerilme- birim şekil değiştirme eğrilerinde elastik deformasyondan plastik deformasyona geçerken $\alpha+\gamma \rightarrow \alpha+M$ dönüşümü esnasında oluşan hacim büyümesi sonucunda ferrit tanelerinde ortaya çıkan iç uzama enerjileri ve oluşan serbest dislokasyonların varlığı nedeniyle sürekli akma olayının meydana gelmesi ve düşük deformasyon oranlarında deformasyon sertleşmesi hızının yüksek olması çift fazlı çeliklerin özellikleri arasındadır. Akma mukavemeti / çekme mukavemeti oranı düşük ve biçimlenebilme kabiliyeti yüksek olan çift fazlı çelikler, yüksek mukavemet/ağırlık parametresine de sahip olduklarından, taşıt ağırlığını ve dolayısıyla yakıt tüketimini azaltmak amacıyla özellikle otomotiv endüstrisinde kullanım alanı bulmuştur (Speich, 1993; Çimenoğlu, 1988). Şekil 3.2 ‘de aynı kimyasal bileşime sahip YMDA çeliği, çift fazlı çelik ve alaşım elementi bulundurmayan az karbonlu çeliklerin mekanik özelliklerinin kıyaslaması verilmiştir (Gürel, 2010).

Şekil 3.2 'de sade karbonlu çeliğinin gerilme dayanımının çift fazlı çelik ve YMDA çeliğe göre daha düşük ancak uzama miktarının fazla olduğunu görülmektedir. YMDA çelikte ise gerilme dayanımı yüksek, uzama miktarı düşüktür. Ancak çift fazlı çelik ile iki çelik türü için eksik olan özellikler giderilmiştir. Hem gerilme dayanımı YMDA çeliğine çok yakın hem de uzaman miktarı sade karbonlu çeliğe çok yakındır.



Şekil 3.2 Aynı kimyasal bileşime sahip YMDA çeliği, çift fazlı çelik ve alaşım elementi bulundurmayana az karbonlu çeliklerin mekanik özelliklerinin kıyaslaması (Krauss, 2005)

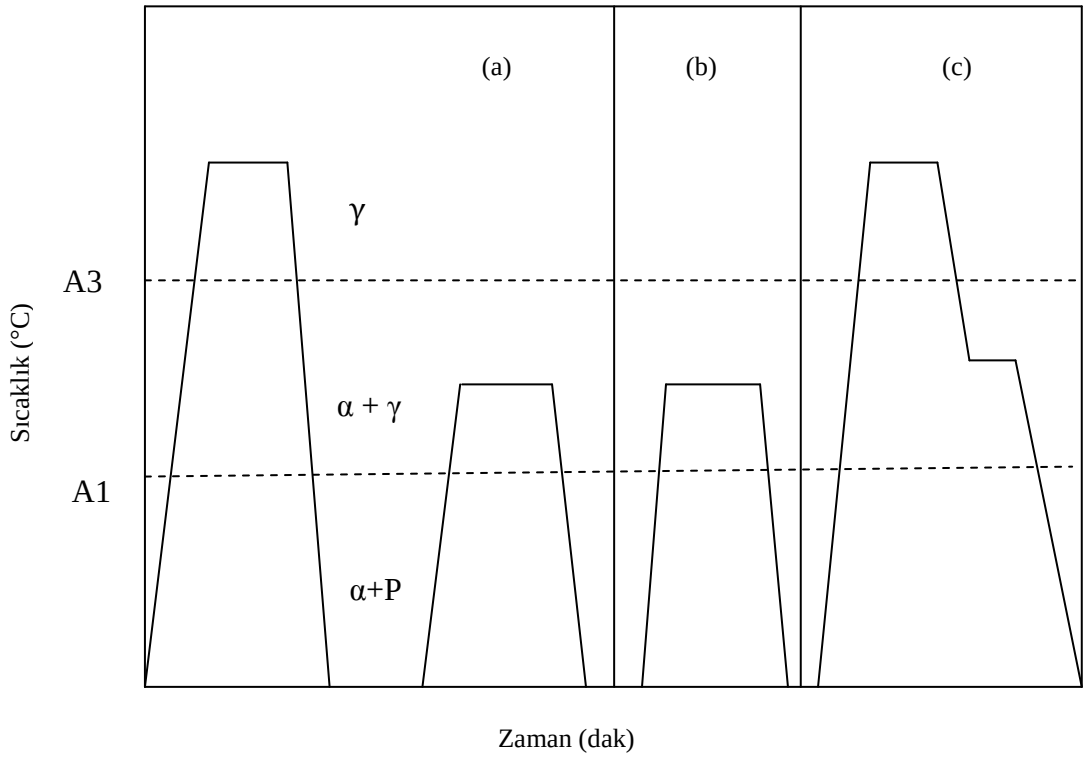
3.1.1. Martenzit hacim oranı

Yüksek sıcaklıklarda, çelik içerisinde yüzey merkezli kübik yapıda bulunan östenit, hızlı soğutma sonucu hacim merkezli tetragonal yapıya sahip olan yeni bir faza dönüşür ki buna martenzitik dönüşüm adı verilir ve meydana gelen faza da martenzit denir. Martenzit dönüşüm başlama sıcaklığı (M_s) ile martenzit dönüşüm bitiş sıcaklığı (M_f) çelikteki karbon içeriğine ve alaşım elementlerine bağlıdır. Martenzit miktarı, plastik şekil verilebilirlik ve yüksek mukavemet özellikleri gibi çift fazlı çeliklerin mekanik özelliklerine etki eden önemli bir unsurdur. Tavlama sıcaklığının ve karbon miktarının artması ile çift fazlı çeliğin iç yapısında bulunan martenzit miktarının arttığı görülmüştür. Martenzit fazının miktarını etkileyen diğer bir unsur ise A1-A3 kritik sıcaklık aralığındaki bölgeden yapılan yüksek ani soğutma hızının değiştirilmesidir. Hızlı soğutma neticesinde östenit martenzite dönüşmekle birlikte soğutma hızının artması sonucu yapı içerisindeki martenzit miktarı da artmaktadır. Yapılan araştırmalara göre; martenzit miktarı arttıkça malzeme mukavemetinin ve sertliğinin arttığı ve sünekliğinin düştüğü gözlenmiştir. Bir başka deyişle çift fazlı çeliğin mukavemeti

üzerinde martenzit yapının, sünekliği üzerinde ise ferrit yapının etkisi bulunmaktadır (Deniz, 2009).

3.1.2. Çift fazlı çeliklerin ısıl işlemi ve iç yapı oluşumu

Genellikle az karbonlu olarak üretilen bu çeliklerde ferrit ve martenzitin yanı sıra mikro yapıda perlit, beynit, sementit ve kalıntı ostenit de bulunabilir. Çift fazlı çelikler; ferrit + östenit bölgesinde bir süre bekletilmeyi içeren, ara su verme (intermediate quenching), doğrudan su verme (intercritical annealing) ve kademeli su verme (step quenching) olarak bilinen üç farklı ısıl işlem yöntemi ile üretilebilir (Akay, 2005).



Şekil 3.3 Çift fazlı çeliklerin üç farklı ısıl işlemi yöntemiyle üretim aşamaları (Akay, 2005)

Şekil 3.3 (a)’ da önce östenit bölgesinde tavlama yapılarak hızla soğutulur. Meydana gelen yapı martenzittir. Sonra tekrar (α +γ) bölgesinde tavlanırsa martenzit tane sınırlarında östenit çekirdekleri oluşur. Bu sıcaklıkta su verilirse ferrit yüzey içerisinde dağılmış martenzit oluşmaktadır.

Şekil 3.3 (b)’de, başlangıçta ferrit ve perlitten ibaret olan yapı (α +γ) bölgesine tavlanır. Ferrit sementit ara yüzeylerinde oluşan östenit çekirdekleri zamanla büyür. Su

verildikten sonraki iç yapı, ferrit sınırları boyunca küresel martenzitten ibaret olmaktadır.

Şekil 3.3(c)' de, kademeli su verme işleminde, önce östenit bölgesine tavlanır, sonra (α +γ) bölgesine soğutulur. Östenit kristal sınırlarında ferrit çekirdekleri oluşur. Ferrit ve östenitten oluşan yapı, hızla soğutulduğunda ferrit yapı tarafından çevrelenmiş kaba martenzit parçacıkları meydana gelir (Akay, 2005).

3.2. Korozyon

Genel olarak maddelerin, özel olarak metal ve alaşımların çevrenin çeşitli etkileriyle kimyasal veya elektrokimyasal değişme ya da fiziksel çözünme sonucu aşınmasına korozyon denir (Üneri, 1998). Doğada bulunan malzemelerin çoğu minimum enerji hali olan bileşik halinde bulunmaktadır. Bu şekildeki malzemeler, kullanılmak üzere alınıp işlenerek metal ve alaşımları elde edilir. Üretilen bu metal ve alaşımları ise tekrar daha kararlı olan en düşük enerji halleri dediğimiz bileşik haline dönme eğilimi içindedirler. Bu neden, metaller içinde bulundukları ortamın elemanları ile tepkimeye girerek önce iyonik duruma, sonra da ortamdaki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar. Bu durumla da, kimyasal değişime veya bozunuma uğrarlar. Sonuçta, metallerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve elektriksel özelliklerinde istenmeyen bazı değişiklikler meydana gelir. Bu değişikliklere neden olan bozunma tepkimesine korozyon adı verilir (Erbil, 1985).

Korozyon birbiriyle elektriksel ve elektrokimyasal temasta olan ve aralarında potansiyel fark bulunan iki metalik bölge arasında meydana gelir. Bu bölgeler arasında potansiyel bakımından daha asil olanın yüzeyinde katodik tepkime meydana gelir, daha aktif olan diğer bölge ise çözünür (Çalışkan, 2012).

3.2.1. Demirin korozyonu

Metallerin korozyonunda ortamda su olup olmamasına göre sulu ya da kuru korozyon olarak adlandırılırlar. Kuru korozyon yüksek sıcaklıkta metalin oksijen ile doğrudan oksit oluşturmasıyla oluşmaktadır. Sulu korozyonda ise, korozyon ürünleri ilk aşamada hidroksitlerdir. Koşullara bağlı olarak zamanla oksitlere dönüşebilmektedir. Aynı ortamda sıcaklığa bağlı olarak sulu ve kuru korozyonu birlikte görmek mümkündür (Fine, 1990).

Metalin ve ortamın doğasına, sıcaklığına, zamana, oluşan ürünlerin kararlılıklarına vb. bağlı olarak, metallerin metalik karakterlerini yitirip doğal kararlı bileşiklerine dönüşmeleri yani korozyonları oldukça karmaşık bir olaydır (Erbil, 1985).

Anodik tepkime:

$Fe_{(katı)} \rightleftharpoons Fe^{2+}_{(suda)} + 2e^-$

Oksijensiz ortamlarda katodik tepkime:

$2H^+_{(suda)} + 2\,e^- \rightleftharpoons H_{2\,(gaz)}$

Oksijen içeren nötr veya hafif bazik ortamlarda katodik tepkime:

$O_{2(gaz)} + 2H_2O_{(sıvı)} + 4e^- \rightleftharpoons 4OH^-_{(suda)}$

Tepkime sonucunda oluşan OH^- iyonları, Fe^{2+} iyonları ile demir(II) hidroksite dönüşür.

$Fe^{2+}_{(suda)} + 2\,OH^-_{(suda)} \rightarrow Fe(OH)_{2(katı)}$

Demir(II) hidroksit,

$2\,Fe(OH)_{2\,(katı)} + H_2O_{(sıvı)} + ½\,O_{2\,(gaz)} \rightleftharpoons 2\,Fe(OH)_{3\,(katı)}$

tepkimesiyle demir(III) hidroksite (hidratlaşmış demir(III) oksit $Fe_2O_3.xH_2O$ pas olarak bilinir) dönüşür. Ancak uygulamada demirin korozyonu, bu şekilde basit değildir. Sulu çözeltilerde demirin, korozyonu sonucunda Fe^{2+}, $HFeO_2^-$, Fe^{3+}, $FeOH^+$, FeO_4^- çözünen iyonlarını ve FeO, Fe_3O_4, Fe_2O_3, $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$ katı bileşiklerini verdiği bilinmektedir (Çalışkan, 2012). Hücre tepkimesinin sol tarafında yer alan bileşenlerin enerjisi veya serbest enerjileri toplamı (ΔG_{sol}), sağ tarafındakilerin enerjisinden ($\Delta G_{sağ}$) fazla ise reaksiyon soldan sağa kendiliğinden gelişir ve sonuçta demir çözünerek, oksijen indirgenir. Bu olay, suyun yüksekten alçağa veya ısının sıcaktan soğuğa doğru doğal akışına benzer biçimde meydana gelir. Hücre reaksiyonunun iki tarafı arasındaki enerji farkı korozyon hücresinin enerjisini verir ve bu enerjinin değeri negatiftir. Bu durum, aşağıdaki bağıntı yardımıyla gösterilebilir (Savaşkan, 1990),

$\Delta G_{kor} = \Delta G_{sağ} - \Delta G_{sol} (\Delta G_{sol} > \Delta G_{sağ})$

$\Delta G_{kor} = -n.F.E_{kor}$

Bu bağıntıdaki (n) korozyon hücresinde alınıp verilen elektron sayısını gösterir. (F) ise Faraday sabitidir. Korozyon hücresine ait enerjinin veya hücre potansiyelinin bir kısmı anodik tepkimenin, bir kısmı katodik tepkimenin belirli bir hızla gelişmesi için, bir bölümü de sistemin direncini yenmek için harcanır. Sistemin direnci ne kadar yüksek

ise harcanacak enerji de o kadar fazla olur ve toplam enerjiden anodik ve katodik tepkimelere harcanan pay da azalır, yani korozyon yavaşlar. Korozyon hızının bu şekilde azaltılması, uygulamada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Savaşkan, 2004).

3.2.2. Korozyon mekanizması

Her türlü sulu ortam korozyonunun mekanizması elektrokimyasal bir pilin mekanizmasıyla aynıdır. Bir korozyon olayının mekanizmasını ayrıntılı olarak inceleyebilmek için aşağıdaki basamakları ele almak gerekir:

1) Elektrokimyasal pil mekanizmasında yürüyen korozyon tepkimesinin anot ve katot tepkimeleri ayrı ayrı ele alınmalıdır. Anotta çözünen metalin çözünme miktarı Faraday yasalarına uygun olarak yürür. Çözünen kütle ile elektrokimyasal pil mekanizmasına göre yürüyen olaylar bağlantılıdır.

2) Pil mekanizmasına göre yürüyen anot ve katot tepkimelerinin enerji ilişkilerinin bilinmesi gerekir. Bir tepkimenin kendiliğinden yürümesi tepkime serbest enerjisinin (ΔG) işaretine bağlıdır. Negatif işaretli olduğu koşullarda mutlak değerinin büyüklüğü oranında, tepkime kendiliğinden yürüme yönünde isteklidir.

3) Termodinamik olarak olanaklı olan korozyon tepkimelerinin son olarak kinetiğini araştırmak gerekir. Termodinamik incelemeler sonucu bir metalin bağışıklık koşullarında olduğu saptanırsa, korozyon tepkimesi termodinamik olarak olanaklı değildir. Örneğin altın su içine daldırıldığında korozyona karşı bağışıktır ve korozyona uğramaz. Metalin pasif koşullarda olduğu saptanırsa, korozyon tepkimesi termodinamik olarak olanaklıdır, fakat korozyon hızı o kadar küçüktür ki korozyona uğramadığı varsayılabilir. Kromun oksitleyici bir asit içine daldırılması halindeki durum buna örnektir. Termodinamik incelemeler sonucu metalin aktif koşularda olduğu saptanırsa korozyon olur ve korozyon hızı da oldukça büyüktür. Asitli ortamda demirin korozyonu bu koşullara örnek olarak gösterilebilir (Erbil, 1985).

3.2.3. Korozyon türleri

Elektrokimyasal korozyonun en belirgin özelliği iyonların hareketine izin veren ortamlarda olmasıdır. Çevre incelendiğinde bu duruma izin veren birçok ortam olduğu fark edilir. Bunun dışında da korozyonu etkileyen ve oluşmasına neden olacak mekanik gerilmeler, kaçak akım gibi birçok etmen vardır. Bunun sonucunda da, korozyon olayının çok farklı şekillerde ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Bu konu üzerinde elde

edilmiş birçok bilgiye rağmen, korozyon uğrayan malzemelerin dış görünüş ve dayanç kaybını temel olarak gerçekte karşılaşılan birkaç türle açıklamak mümkündür (Doruk, 1982).

3.2.3.1 Homojen dağılımlı korozyon

Malzeme yüzeyinden eşit miktarda kaybın olduğu korozyonun en yaygın türüdür. Korozyon olayının tüm yüzeyde eşit olmasının nedeni, anodik ve katodik alanların sürekli yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Malzeme kaybının en fazla olduğu ancak kolayca fark edilmesinden dolayı en az tehlikeli olan korozyon türüdür (Eker, 2008).

3.2.3.2 Galvanik korozyon

Birbirleriyle temas halinde olan elektrot potansiyelleri farklı türden metal ve alaşımların aynı ortama terk edilmesi halinde karşılaşılan bir korozyon türüdür (Doruk, 1982). Ortamdaki malzemeden daha soy olanı katot, diğeri ise anot olarak davranır ve anot olarak davranan malzeme korozyona uğrar. Bu tür korozyonun önlenmesinde; aynı ortamda çalışacak malzemelerin galvanik seriye göre seçilmeleri veya parçalar arasında iyi bir yalıtım yapılması gerekmektedir (Eker, 2008).

3.2.3.3. Çukurcuk korozyonu

Korozyon sonucu bir metal yüzeyinde delikcikler, çukurcuklar oluşursa bu tip korozyona çukurcuk korozyonu denir. Bu korozyon türü gizlice oluşan ve en tehlikeli korozyon türüdür. Çoğunlukla parça delindiğinde korozyon oluşumu fark edilir. Çukurcuk korozyonu özellikle NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$, AlC_3 ve NaBr içeren ortamlar da, borularda ve tanklarda akış hızının azaldığı bölgelerde görülmektedir (Eker, 2008).

3.2.3.4. Aralık korozyonu

Korozyon olayının belirli dar bölgeler üzerinde yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan bir korozyon türüdür. Aralık korozyonun oluşum nedeni çukurcuk korozyonunkine yakındır (Doruk, 1982). Bu korozyonda, elektrolit kılcallık etkisiyle Korozyon aralık içinde ya da dışında yer alan oksijen reaksiyonu ile başlar ve aralığın içindeki oksijeni tamamen tüketir. Aralığın dışı hava ile temas halinde olduğundan burada bulunan elektrolit oksijen bakımından daha zengindir. Ancak, elektrolit aralığın hava almasını yani oksijenin aralığa girmesini engeller. Bu durumda elektrolit içerisindeki oksijen oranında farklılık meydana getirir. Aralık dışında kalan bölge bol

miktarda oksijene sahip olması nedeniyle katot, aralık içinde kalan bölge ise oksijeni az olduğundan anot görevi yapar. Bu nedenle, söz konusu aralık korozyona uğrar (Savaşkan, 2004).

3.2.3.5. Seçici korozyon

Korozyonla bir alaşımın bir bileşiminin uzaklaştırılmasına seçici korozyon denir. Buna en tanınmış örnek pirinçten çinkonun korozyonla uzaklaştırılmasıdır (Üneri, 1998). Korozyon sonucunda malzemenin dayanımı büyük oranda azalır. Korozyonun etkili olduğu bölgelerde çekme dayanımının sıfıra indiği kabul edilir. Bu korozyonda parçada dayanım kaybı olmasına karşın parçanın dış görünüşünde renk değişimi dışında herhangi bir farklılık meydana gelmez. Seçici korozyon daha çok pirinç malzemelerde ve lamel grafitli dökme demirlerde görülmektedir. Çinkosuzlaşma veya önceden çinkosuzlaşma olarak bilinen anacak şimdi, çinko çözeltide iyonları halinde kalırken, bakır katodik indirgenme ile yeniden metal haline geçer. Bu olay çözeltide oksijen olmadan da yürüyebilir. Bakır iyonları çinkonun korozyonunu hızlandırır. Böylece korozyon olayı sadece yüzeyde kalma, gözenekli yapı olaşacak şekilde derinlere doğru ilerlediği (Mamaş, 2003) dezinfikasyon olarak adlandırdığımız olay sonucunda, boşluklu korozyon ürünü ile çevrili bakır kalır ve pirince özgü sarı renk yerini kızıla bırakır. Ferritik grafit tabakalı dökme demirlerde, ferrit ile grafit arasında oluşan potansiyel farktan dolayı, ferrit anodik, grafit katodik davranarak galvanik hücre oluştururlar. Sonuç olarak, süngerimsi yapıdan oluşan grafit iskelet açıkta kalır (Eker, 2008).

3.2.3.6. Taneler arası korozyon

Korozyon olayının malzemenin tane sınırlarına yakın bölgelerinde yoğunlaşması sonucunda ortaya çıkan bir bozunma türüdür. Bu korozyon, metal veya alaşımların tane sınırlarıyla diğer bölgeleri arasında bir gerilim farkının meydana gelmesi durumunda ortaya çıkar. Bu tip korozyon, bir katı çözelti içerisinde bir fazın çökelmesi sonucunda meydana gelir. Tane sınırlarındaki çökelmenin hızlı olması nedeniyle tane sınırlarına yakın bölgeler çökeltiyi oluşturan element bakımından fakirleşir. Bu durum, tane sınırları ve diğer bölgeler arasında bir gerilim farkı oluşturur ve sonuçta tane sınırları tercihli olarak korozyona uğrar. Bu şekilde meydana gelen korozyon sonucunda taneler bütünlük ve şekillerini korurken, taneler arasındaki bağ bozunuma uğrar. Bu tür

korozyona daha çok östenitik paslanmaz çeliklerde ve alüminyum- bakır alaşımlarında rastlanır (Savaşkan, 2004).

3.2.3.7. Gerilmeli korozyon

Yüksek basınçlı kaplar, buhar kazanları, içten yanmalı motorların silindir gömlekleri gibi makine parçaları ve metal yapıların çoğu hem korozyonlu hemde mekanik gerilim altında bulunurlar. (Üneri, 1998).

Gerilmeli korozyon aynı zamana rastlayan korozyonlu ve mekanik etmenlerin yol açtığı bozunma türü olarak tanımlanabilir. Bozunma parça yüzeyinde mevcut çatlaklar veya gerilme yoğunlaşmasına olanak sağlayan diğer şekilsel düzensizliklerle başlar (örneğin, çukurcuk korozyonunun parça yüzeyinde oluşturduğu çukurcuklar mekanik gerilmelerin de etkisi altında giderek keskin uçlu çatlaklara dönüşebilirler). Çatlaklar mekanik gerilmelerin büyüklüğü ve çevresel koşulların etkenliğine bağlı olarak belirli hızlarla malzeme içine doğru yürürler. Parça kesitinin mevcut yükleri taşıyamayacak ölçüde daralması sonucu ani kopmalar meydana gelir. Gerilmeli korozyonun en önemli özelliği kimyasal ve mekanik etkilerin birbirini destekler nitelikte gelişmeleridir. Bu nedenle aynı zamana rastlamayan korozif ve mekanik etkilerin toplamı gerilmeli korozyon olarak nitelenemez. Gerilmeli korozyonun oluşabilmesi için gerekli koşulları şöyle sıralanabilir; duyarlı bir malzeme, etken bir ortam, çekme gerilimi, zaman (Zeren, 1999).

Gerilmeli korozyonun ilginç özelliklerinden biri malzeme ve ortam arası uyum gereksinimidir. Bu ilkenin kanıtlanması için başvurabilecek uygun örnek pirinç ve paslanmaz çeliğin karşılaştırılmasıdır. Pirinç amonyum içeren ortamlarda duyarlılık gösterirken klor içeren ortamlardan hemen hemen hiç etkilenmez. Paslanmaz çeliklerin tutumu bunun tam tersidir. Paslanmaz çelikler klor içeren ortamlarda gerilimli korozyona uğrarlar. Buna karşın amonyum içeren ortamlarda mukavemetlidirler. Gözlemler makine ve diğer yapılarda görülen kırılma olaylarının %22'sinin gerilmeli korozyondan kaynaklandığını göstermektedir. Bunun nedeni korozyona mukavemetli malzemelerin hemen hepsinin belirli ortamlarda duyarlık göstermeleridir. Ortamın sıcaklığı gerilmeli korozyonun hızını artırıcı önemli bir etmendir. Genelde her ortam ve malzeme bileşimi için bir minimum sıcaklık gereksiniminden söz etmek mümkündür. Ancak bazı malzeme ve ortam bileşimlerinde oda sıcaklığı çatlama için yeterli iken diğerlerinde ortamın kaynama sıcaklığına çıkmak gerekebilir. Genel bir yaklaşım olarak

önemli malzeme-ortam bileşimlerinde 100 °C ve üstünün gerilmeli korozyona yol açtığı söylenebilir (Zeren, 1999).

3.2.3.8. Aşınmalı korozyon

Metal malzeme ile ortamdaki akışkan arasındaki bağıl hızın yüksek olduğu durumlarda oluşan korozyon türüdür. Özellikle akmakta olan sıvının yön değiştirdiği noktalarda, boru hatlarında, dirseklerde, pompalarda sıklıkla görülen korozyon türüdür (Çalışkan, 2012).

3.2.4. Korozyon önleme yöntemleri

Korozyon nedeniyle ülkelerin yaptığı parasal harcamalar ve dünyamızın doğal kaynaklarının hızlı harcamayla tüketilebileceği sorunuyla karsı karsıya olmamız, korozyonun önlenmesi ile ilgili yapılan çalışmaların son yıllarda önem kazanmasına neden olmuştur. Korozyonun önlenme yolları aşağıda belirtildiği gibidir (Leçe, 2008).

3.2.4.1. Uygun malzeme seçimi

Metalin çalışma ortamına uygun, birbiriyle galvanik çift oluşturmayacak şekilde malzeme seçiminin yapılması, korozyonu başlamadan engellemenin en önemli şartıdır (Leçe, 2008).

3.2.4.2. Doğru Tasarım

Sistemler dizayn edilirken, korozyona sebebiyet verebilecek durumların göz önüne alınarak karşı tedbirlerin alınması korozyonu önleyici bir etkendir (Leçe, 2008).

3.2.4.3. Kaplamalar

Epoksi, polietilen, galvaniz vb. kaplama malzemeleriyle metalin dış ortamla irtibatı kesilerek elektrokimyasal korozyonun engellenmesi sağlanır. Etkili bir yöntem olmasının yanı sıra beraberinde birtakım riskleri de getirmektedir. Herhangi bir dış etkenle kaplamanın açılması durumunda, kaplamanın açıldığı bölge ile kaplamalı bölge arasında potansiyel fark olacak ve bunun sonucu olarak kaplamasız bölgede galvanik korozyon görülecektir (Leçe, 2008).

3.2.4.4. Boyama veya asıl metale bir başka metal giydirme

Bir metalin üzerine levha halinde bir diğer metal, iki metal beraber silindirlenerek geçirilir. Örneğin bir nikel ve bir demir levha sıcakta beraber silindirlenerek çelik üzerine nikel giydirilir. Genellikle üstteki katman daha incedir.

Dayanıklılığı yüksek olan alüminyum alaşımlarını çoğu kez korozyona daha dayanıklı yapmak için ticari saf alüminyum giydirilir. Çünkü alaşımlar gerilim korozyonuna yatkındırlar (Leçe, 2008).

3.2.4.5. Ortamın değiştirilmesi

Ortamın değiştirilmesi korozyonun azalmasını sağlayan önemli etkenlerden biridir. Ortamın değiştirilmesi çoğu kez şöyledir :

1-) Sıcaklığın değiştirilmesi: Sıcaklığın düşürülmesi genel olarak korozyon hızında önemli bir azalmaya neden olur. Sıcaklığın düşürülmesiyle iyonların yüzeyden uzaklaştırma (desorpsiyonun) olayının azalması bu durumu açıklamaktadır. Ancak bazı koşullarda sıcaklığın değişmesi korozyon hızına az etkir (Leçe, 2008).

2-) Hızın arttırılması: Bu çoğu zaman korozyonu denetlemek için uygulanan kullanışlı bir yöntemdir. Genellikle hız korozyonu arttırsa da bazı kural dışı olanlar da vardır. Paslanmaz çelik gibi pasifleşen metal ve alaşımlar genel olarak korozyona karsı hareketli ortamlarda, korozyona karsı hareketsiz ortamlardan daha dayanıklıdırlar. Çok hızlı hareketlerden her zaman kaçınılmalıdır, çünkü erozyon olabilir (Leçe, 2008).

3-) Oksijenin veya yükseltgeyicilerin uzaklaştırılması: Bu yol çok eski bir korozyon denetleme tekniğidir. Kaynama kazanlarına gönderilen su, çok miktarda parça çelik arasından geçirilerek havası uzaklaştırılabilir. Günümüzde modern uygulamada ek olarak vakum işlemi, asal gaz püskürtme ya da oksijeni harcayan malzemeler kullanılarak havanın oksijeni giderilebilmektedir (Leçe, 2008).

4-) Derişimin değiştirilmesi: Genellikle korozyonlu malzemenin derişiminin azaltılması korozyon üzerine etkir. Pek çok işlemde korozyonlu özdek (malzemenin benzeri) o ortamda rastgele bulunur ve korozyona neden olan madde uzaklaştırılınca korozyon azalır. Pek çok durumda bu değiştirmeler korozyonu önemli derecede düşürür, ama değişmeler büyük bir özenle yapılmalıdır (Leçe, 2008).

3.2.4.6. Anodik koruma

Bir metali anodik olarak korumak ancak potansiyostat kullanarak olanaklıdır. Potansiyostatlar bir yandan elektroliz devresine akım veren bir elektrik kaynağı, diğer yandan elektroliz hücresinde bir metalin potansiyelini önceden saptanan belirli değerlerde tutmak için gereken akım şiddetini ayarlamak üzere akım kaynağını düzenleyici bir organdan oluşurlar (Leçe, 2008).

3.2.4.7. Katodik koruma

Katodik koruma sistemlerinin tatbiki için bir elektrolit ortama ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da katodik korumanın atmosfer ortamında uygulamasını mümkün kılmamaktadır. Katodik koruma özellikle boru hatları, bina çelik donatıları, deniz içi yapılar, gemiler ve depolama tanklarında uygulanmaktadır. Katodik koruma korozyona uğrayan metallerin katot olarak kutuplaşmasını gerektirir. Bu korunacak metali daha aktif bir metal ile eşleyerek sağlanacağı gibi dıştan akım uygulayarak da gerçekleştirilebilir (Leçe, 2008).

3.2.4.8. Öneleyici kullanma

Önleyiciler ortama çok az ilave edildiğinde bile, korozyon hızını azaltan, durduran veya denetleyen maddeler olarak tanımlanmaktadır (Leçe, 2008).

3.2.5. Korozyon hızı ölçme yöntemleri

3.2.5.1. Elektrokimyasal yöntemler

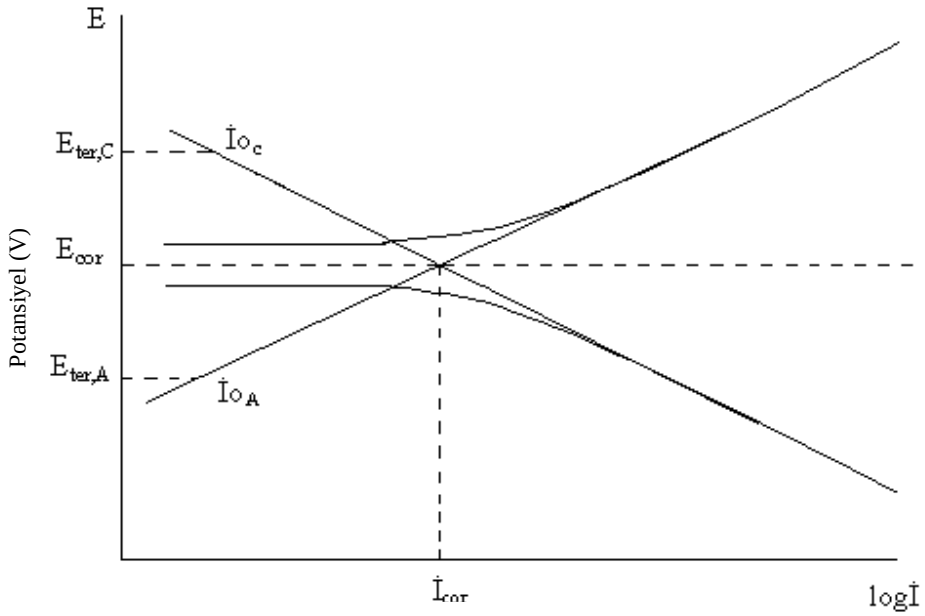
Elektrokimyasal yoldan korozyon hızının belirlenmesi, korozyona uğrayan metal üzerindeki anot ve katot yüzeyleri arasındaki akımın ölçülmesidir. Dolaylı yoldan korozyon hızı ölçülmesinin özü akım-potansiyel ölçmesidir. Akım ya da potansiyelden biri denetimli olarak uygulanarak diğerinin değişimi kaydedilir. Akımın denetimli uygulanması halinde potansiyel değişimi ölçülür ve yöntem genel olarak "Kronopotansiyometrik yöntem" ya da "İntensiyostatik yöntem" olarak adlandırılır. Akımın değişik hızlarla sürekli değiştirilmesi ve buna karşılık değişen potansiyel değerlerinin sürekli kaydedilmesi de olanaklıdır. Bu durumda yöntemin adı "İntensiyodinamik yöntem"dir (Potansiyostatik yöntem; E=K (Potansiyel K gibi bir sabite eşit), i=f(t)). Potansiyelin denetlenerek akım değişiminin ölçülmesi ise "Kronoamperometrik yöntem" dir. Bu yöntemin uygulanmasında da uygulanan sabit potansiyel değerlerine karşı kararlı akım değerleri ölçülür. Potansiyelin belirli hızlarda değiştirilerek bunu karşılayan akım şiddetinin ölçülmesinde "Potansiyodinamik yöntem"dir. (E=K.t, i=f(t)) Akım-potansiyel eğrisi elde edilirken çalışılacak potansiyel aralığı, korozyon hızının belirleneceği yönteme göre seçilir. Bu amaca yönelik başlıca iki elektrokimyasal yöntem bilinmektedir (Erbil, 1985).

Elektrokimyasal yöntemlerde; tek elektrot yönteminde çalışma yapılacak elektrot ve bunun yanında bilinen referans elektrotlardan (kalomel referans elektrotu veya $Cu/CuSO_4$ referans elektrotu, vb.) birisi, ölçüm yapmak için kullanılır. Bu

yöntemle dışarıdan akım uygulamak suretiyle kutuplaşma eğrisi elde edilemez. Yalnız zamana karşı potansiyel değerleri ölçülür (Hoşhan, 1994). İki çalışma elektrotunun kullanıldığı iki elektrot yönteminde, referans elektrot kullanılmaz. Çalışma elektrotlarının her ikisi de aynı metalden yapılır. Potansiyel fark uygulanan dış akıma karşı ölçülür. İki farklı çalışma şekli vardır: Birincisi iki elektrot korozyon potansiyeli farkın sıfır kabul edildiği, ikincisi ise iki elektrot korozyon potansiyeli arasındaki farkın sıfır olmadığı durumdur (Danielson, 1980). Bu yöntem anodik ve katodik kutuplaşma eğrilerinin eşdeğer olduğu kabulüne dayanır (Hoşhan, 1994). Çalışmalarda yaygın olarak kullanılan üç elektrot yöntemi, Özellikle heterojen ortamlarda korozyon hızının ölçülmesinde üç elektrot yönteminin kullanılması tercih edilmektedir. Bu yöntemde yardımcı elektrot ve referans elektrot olarak çalışan elektrot metali kullanılmaktadır. Heterojen yapılı elektrolitler içinde bilinen referans elektrotların kullanılması güçlük oluşturmaktadır. Diğer taraftan elektrolit direncinin yüksek olması, potansiyel ölçümlerinin gerçek halden sapmalar yapmasına neden olmaktadır. Üç elektrot yönteminde denge potansiyelinin her an ölçülebilmesi de mümkün olabilmektedir. Çalışma elektrotu referans elektrotu potansiyeli sıfır kabul edilir. Elektrotların üçü de aynı maddeden yapıldığı için referans elektrota karşı çalışma elektrotu üzerindeki potansiyel değişimi +10 mV civarında olur ve akımlar kaydedilir (Hoşhan, 1994).

1-) Yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri yöntemi: Korozyon potansiyelinden başlayarak anodik ve/veya da katodik yönde çizilen yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrileri Tafel eğrileri olarak bilinir ve Tafel eğrilerinin çizgisel kısımları geriye doğru ekstrapole edildiğinde korozyon potansiyelinde kesişirler. Kuramsal olarak, korozyon potansiyelinde kesiştikleri noktanın belirlendiği akım korozyon akımıdır.

Tafel eğrilerinin ekstrapole edilecek doğrusal kısmı çok önemlidir ve bu bölgenin güvenli olması için, korozyon potansiyelinden en az 40- 50 mV sonra başlaması ve akımın en az 10 kat artmasına kadar sürmelidir (Şekil 3.4). Akımın 10 kat artmasını sağlayacak potansiyel aralığı eğrinin doğruluğu içindir. Korozyon potansiyeli dolayındaki potansiyel aralığı ise; anodik eğrideki katodik akımın ya da katodik eğrideki anodik akımın katkısını en aza indirmek içindir (Çalışkan, 2012).



Akım Yoğunlu ($A.cm^{-2}$)

Şekil Tafel eğrileri 3.4 (Çalışkan, 2012)

Tafel eğrilerinin ekstrapolasyonu yöntemi, aktivasyon denetimli tepkimeler için geçerlidir. Yayınım denetimli tepkimelerde, korozyon akımı katodik sınır akımı büyüklüğündedir. Metalin pasif olduğu koşullarda ise korozyon akımı pasiflik akımına eşittir. Sözü edilen son iki durumda korozyon hızının ölçülmesi için, sırasıyla katodik sınır akımının ya da pasiflik akımının ölçülmesi yeterlidir (Çalışkan, 2012).

2-) Kutuplaşma direnci yöntemi: Elektrokimyasal yöntemlerle korozyon hızının belirlenmesi için Yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri yöntemi, laboratuar koşullarında kolayca uygulanabildiği halde uygulamada bazı zorlukları vardır. Akım-potansiyel eğrilerinin çizimi için gerekli düzen kurulsa bile, eğrilerin çizimi sırasında büyük akım geçeceğinden işletme koşullarında doğrudan uygulanması sakıncalıdır. Oysa Stern ve Geary'e göre akım-potansiyel eğrilerinin korozyon potansiyeli dolayı çizgiseldir (Erbil, 1985). Çizgisel olan ± 7mV'luk aralığın eğimi ile korozyon akımı arasında aşağıdaki bağıntı vardır:

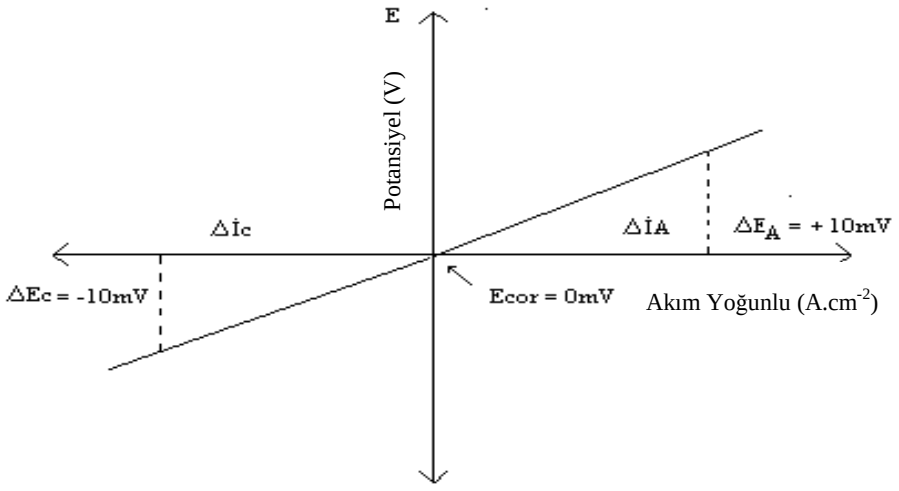
$$\frac{\Delta E}{\Delta i} = \frac{1}{i_{kor}} \left[\frac{(b_a . b_c)}{2{,}303(b_a + b_c)} \right]$$

$$B = \left[\frac{(b_a . b_c)}{2{,}303(b_a + b_c)} \right]$$

$$R_p = \frac{1}{i_{kor}} B$$

$$i_{kor} = B.R_p{}^{-1}$$

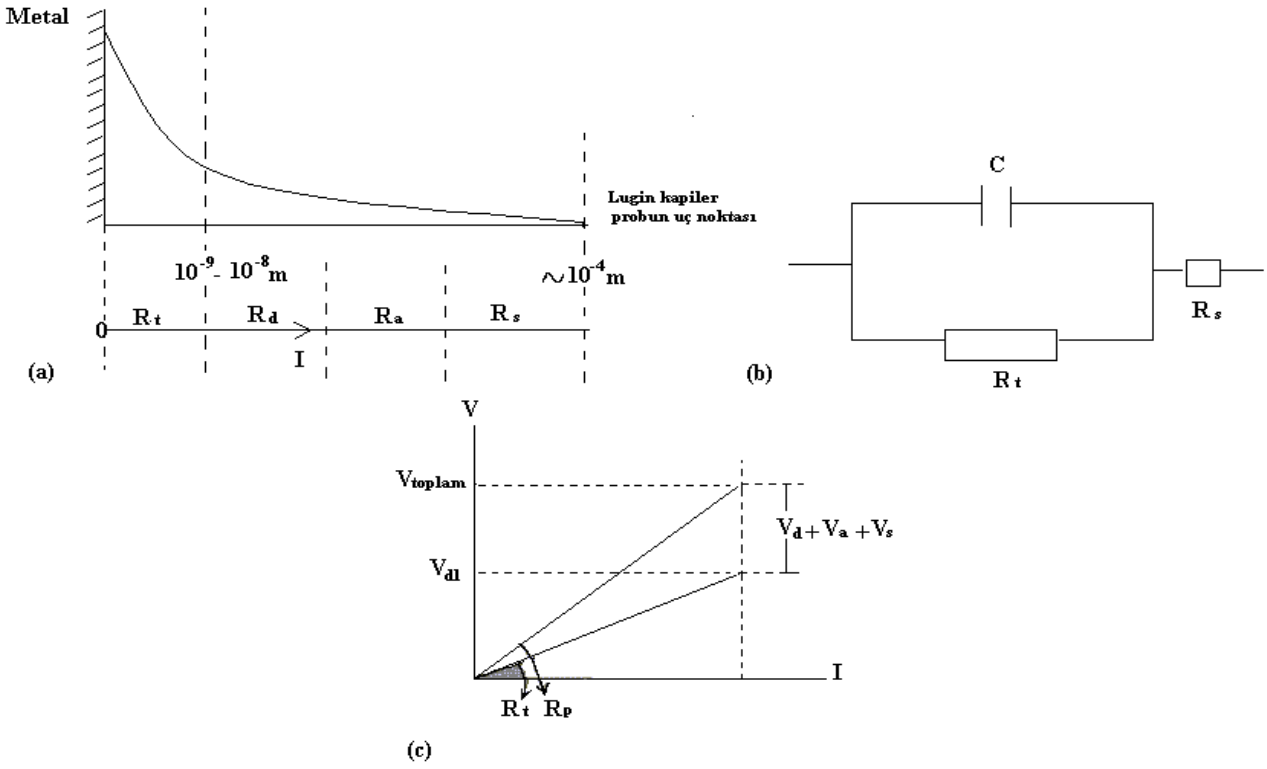
Bu bağıntıda, R_p, Kutuplaşma direnci, B ise anodik (b_a) ve katodik (b_c) Tafel eğimlerine bağlı bir sabittir. $\Delta E/\Delta i$ = akım-potansiyel eğrisinin eğimidir ve "kutuplaşma direnci: R_p olarak adlandırılır (x ekseni = i, y ekseni = E). Δi ya da ΔE farkı, sırasıyla korozyon potansiyelinden itibaren uygulanan akım ve potansiyeldir. Kutuplaşma direncini belirlemek üzere çizilen bir eğri örnek olarak Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Kutuplaşma direnci yöntemiyle korozyon hızı belirlenmesi çok kolay ve hızlı bir yöntemdir. Deney elektrotu ile karşılaştırma elektrotu arasında ilk ölçülen potansiyel korozyon potansiyelidir.



Şekil 3.5 Kutuplaşma eğrisi

Bir üreteçten değişken bir direnç yardımıyla, deney elektrotu ile karşı elektrot arasına belirli akımlar uygulanır ve her akım uygulamasından sonra potansiyelin korozyon potansiyelinden sapan miktarı kaydedilir. Korozyon potansiyeli, sıfır noktası kabul edilerek 2 ya da 3 nokta daha belirlenirse (yaklaşık 10 mV aralığında) hepsinden geçen ortalama bir doğru çizilerek eğimi hesaplanır. Aynı işlem hem anodik hem de katodik yönde uygulanır. Hesaplanan kutuplaşma direnci, çizilen eğrinin eğimidir. Bu nedenle iki yönde de aynı potansiyel aralığında çalışma zorunluluğu yoktur (Erbil, 1985).

3-) Elektrokimyasal empedans yöntemi: Korozyon hızı belirleme yöntemlerinden birisi de elektrotun yüzey yapısını bozmayan elektrokimyasal bir teknik olan alternatif akım (AC) empedans tekniğidir. Yüksek dirençli ortamlarda da ölçme yapılabilmesi, diğer yöntemlere göre bir üstünlük sağlamaktadır. Yöntemin özü, metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan çift tabakanın uygulanan alternatif akım empedansının ölçülmesine dayanmaktadır. Elektrot yüzeyine değişik frekans aralığında küçük genlikli, düşük frekanslı alternatif akım belli sürelerde uygulanmaktadır. AC empedans tekniği ile ölçülen polarizasyon direnci (R_p) toplam dirence eşittir. Kutuplaşma direnci; yük transfer direncine (R_t) ek olarak çift tabakanın kapasitif direnç (R_c), yayınma tabakası boyunca oluşabilecek indüktif direnç (R_d) ve dışa doğru birikintilerin oluşturduğu direnç (R_a) v.b. dirençleri içermektedir (Erbil, 1987; Erbil, 2002).



Şekil 3.6 Metal/Lugin kapiler (tuz köprüsü) arasındaki dirençler, (b) metal/çözelti ara yüzeyi için eşdeğer devre, (c) R_p ve R_t'nin karşılaştırılması($R_p = R_t + R_d + R_a + R_s$) ($R_s$: çözelti direnci) (Çalışkan,2012).

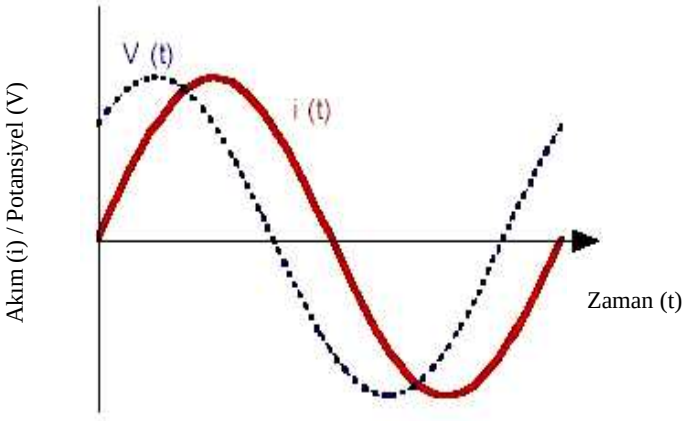
AC yöntemiyle değişik ortamlarda elde edilen karmaşık çizelgeler incelendiğinde genel olarak yarım daireden sapan koniklerin elde edildiği görülür. Sapma daha çok düşey eksen boyunca gösterilen kompleks empedans üzerinde yoğunlaşmaktadır. Yapay elektronik bir eşdeğer devre yardımıyla elde edilen kompleks diyagramlar kuramdan beklenen yarım daire biçimine tam uymakta, alüminyum ile elde

edilen diyagramlar ise yarım daireye çok yaklaşmaktadır. Yapay hücrelerde gerçek kondansatörler kullanılmakta, alüminyum yüzeyinde oluşan ince oksit filmi de gerçek bir kondansatöre yakın özellik göstermektedir. Alüminyum yüzeyindeki ince oksit filmi dışında kalan gözenekli oksit ve yayınma tabakasının toplam kapasiteye katkısı önemsiz kalmaktadır. Oysa herhangi bir basit sistemde, örneğin Fe/çözelti sisteminde yayınma tabakasının etkisi önemli olmakta ve metal/çözelti ara yüzeyinin temsil ettiği kondansatör gerçek bir kondansatörden farklı davranmaktadır (Çalışkan, 2012).

Gerçek bir kondansatörün plakalarında yükler elektron hareketleri ile denetlenirken metal/çözelti ara yüzeyinde; metal tarafını elektronlar çözelti tarafını ise iyonlar denetlemektedir. Elektron ve iyonların büyüklük ve hareketlilik bakımından farklılıkları, kuramdan beklenen değerlerin sapmasına neden olmaktadır. AC empedansı yönteminde küçük alternatif akım frekanslarında gözlenen indüktif lupların oluşması da aynı nedenlere dayanıyor olmalıdır (Erbil, 1987).

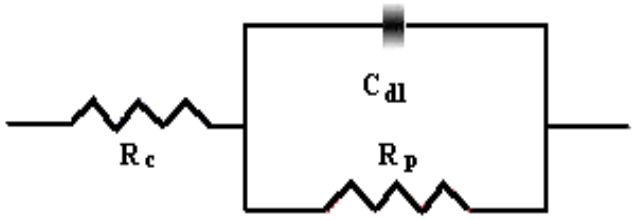
Nyquist diyagramlarında düşük ve yüksek frekanslardaki gerçek empedans farkı R_t, çift tabakanın yapısına göre; iyonik kısımda metal yüzeyine adsorbe olan iyonlar ile metal yüzeyinden çözeltiye doğru en az 10^{-9} – 10^{-8} m uzakta bir OHP (dış Helmholtz tabakası) tasarlanabilir. Lugin kapilerinin (tuz köprüsü ucu) metal yüzeyinden en fazla 10^{-4} m uzakta olduğu varsayıldığında, Lugin kapileri (tuz köprüsü ucu) ve OHP arasında önemli bir mesafe vardır (OHP'nin kalınlığından 10^4 – 10^5 kat daha fazla uzağında). Difüz tabakada adsorplanmış türler (herhangi bir molekül ya da iyon varlığı) ve çözelti bölgesine karşılık gelen her bir katkı, ölçülen dirençte hesaba katılmak zorundadır (Şekil 3.6(a)). Bu görüşe göre, direnç, metal/OHP arasında R_t'ye eşit olmak zorundadır. Diğer bütün dirençler akım üzerinde basit (küçük) dirençler olarak düşünülmelidir. Öyleyse ölçülen R_p-R_t ilişkisi Şekil 3.6(c)'de verildiği gibidir, burada akıma karşılık gelen toplam potansiyel düşmesi, V_{toplam} ve yayınma tabakasındaki potansiyel düşmesi, V_{dl}'dir. Nyquist diyagramlarında düşük ve yüksek frekanslardaki gerçek empedans farkı, R_p olarak değerlendirilmektedir ve R_p bütün dirençlerin toplamı olarak alınmaktadır (Özcan, 2004).

Şekil 3.7'de, AC empedans spektroskopi ölçümlerinde, alternatif akımın bir sinüs tipi dalgası görülmektedir.



Şekil 3.7 AC empedans spektroskopi ölçümlerinde, alternatif akımın bir sinüzoidal dalgası görülmektedir (Çalışkan, 2012).

AC empedans yönteminin uygulanmasında, çift tabaka kapasitesi ve metal yüzeyi ile çözeltinin iç kısmı arasındaki dirençlerden oluşan bir "Elektronik eşdeğer devre" tasarlanarak kutuplaşma direnci belirlenir (Şekil 3.8). Bu şekil, bir korozyon sisteminde metal/elektrolit ara yüzeyinde oluşan çift tabakayı temsil etmektedir. Çift tabaka kapasitesi C olan bir kondansatöre eşdeğer kabul edilmektedir. Empedans spektroskopinin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 3.8 Eşdeğer devre (Çalışkan, 2012)

R_c: elektrolit direnci, R_p: kutuplaşma direnci, C_{dl}: çift tabakanın kapasite eşdeğeri (kapasitans) dir.

Bu devrenin empedansı:

$$Z=Z_r+\dot{I}Z_i=R_c+\frac{R_p}{1+i\omega R_p C_{dl}}$$

Burada;

$\omega=2\pi f$, $i=\sqrt{-1}$

Yukarıdaki eşitliğin son teriminin pay ve paydası $1-i\omega R_p C_{dl}$ ile çarpımı;

$$Z=R_c+\frac{R_p}{1+\omega^2R_p^2C_{dl}^2}-\frac{\text{İ}\omega R_p^2C_{dl}}{1+\omega^2R_p^2C_{dl}^2}$$

Z_r ve Z_i'nin aşağıdaki eşitliklere eşit olduğu kolayca görülür:

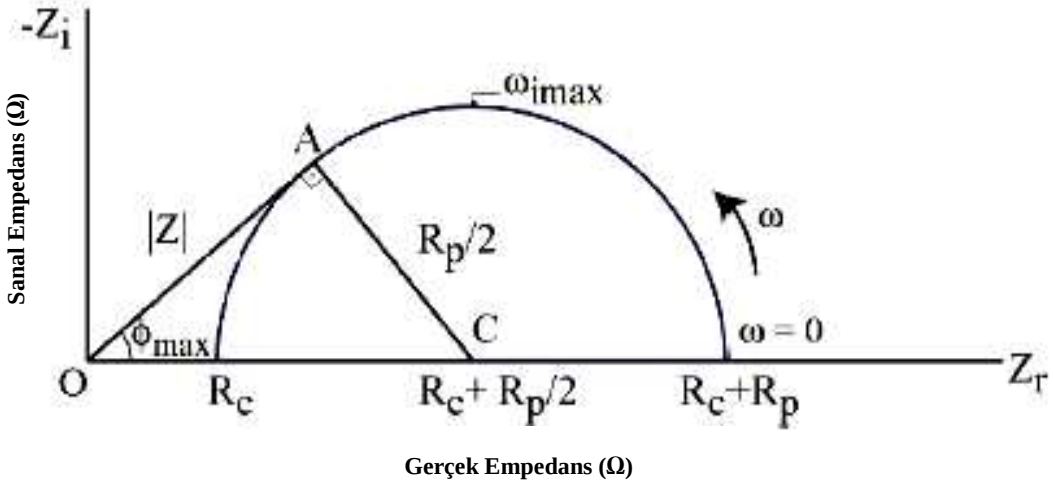
$$Z_r=R_c+\frac{R_p}{1+\omega^2R_p^2C_{dl}^2}$$

$$Z_i=-\frac{\omega^2R_p^2C_{dl}}{1+\omega^2R_p^2C_{dl}^2}$$

$$\left[Z_r-\left[R_c+\frac{R_p}{2}\right]\right]^2+Z_i^2=\left(\frac{R_p}{2}\right)^2$$

Son eşitlik merkezi (R_c + R_p/2,0) ve yarıçapı R_p/2 olan bir çember denklemidir. Bu eşitliğin grafiği Z_r yatay eksen ve Z_i dikey eksen üzerinde gösterilerek bir grafik çizilirse Şekil 1.7'de verilen Nyquist diyagramı elde edilir. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi Nyquist diyagramları, iki bölümden oluşmaktadır. Yüksek frekans bölgesinde diyagram yarım daireseldir. 1/2R_p, Z_{imax}'a eşittir (Erbil, 1987; Gabrielli, 1992).

Frekans sıfıra yaklaştıkça Z_r'nin R_c + R_p'ye eşit olduğu, frekans sonsuza yaklaştıkça Z_i'nin R_c'ye eşit olduğu kolayca görülür. Kutuplaşma direnci belirlendikten sonra Stern ve Geary eşitliği yardımıyla korozyon hızı, i_{cor} belirlenir. Nyquist diyagramında büyük çaplı yarım daireler, kutuplaşma direncinin sayısal olarak dairenin çapına eşit olduğunu gösterir. Bu durumda, korozyon hızı küçük olmaktadır. Korozyon arttıkça, yük transfer direnci değerleri azalır, dolayısıyla, Nyquist diyagramlarında yarı dairelerin çapı azalır (Erbil, 1987; Tüken, 2000).



Şekil 3.9 Nyquist diyagramı (Çalışkan,2012)

$\omega_{imax} = \sqrt{\frac{1}{R_p C_{dl}}}$, $\phi = \arctan\left(\frac{Z_i}{Z_r}\right)$, $\sin\phi_{max} = \frac{R_p/2}{R_c + R_p/2}$ dur.

AC empedans tekniği uygulanması kolay olduğundan, kullanımı son yıllarda artmaktadır. AC empedans spektroskopisi, laboratuar koşullarında yaygın bir şekilde, korozyon hızının belirlenmesi yanında, kaplama ve korozyon inhibitörlerinin etkilerinin incelenmesinde sıkça kullanılan bir tekniktir (Bayol, 2005; Gürten, 2002).

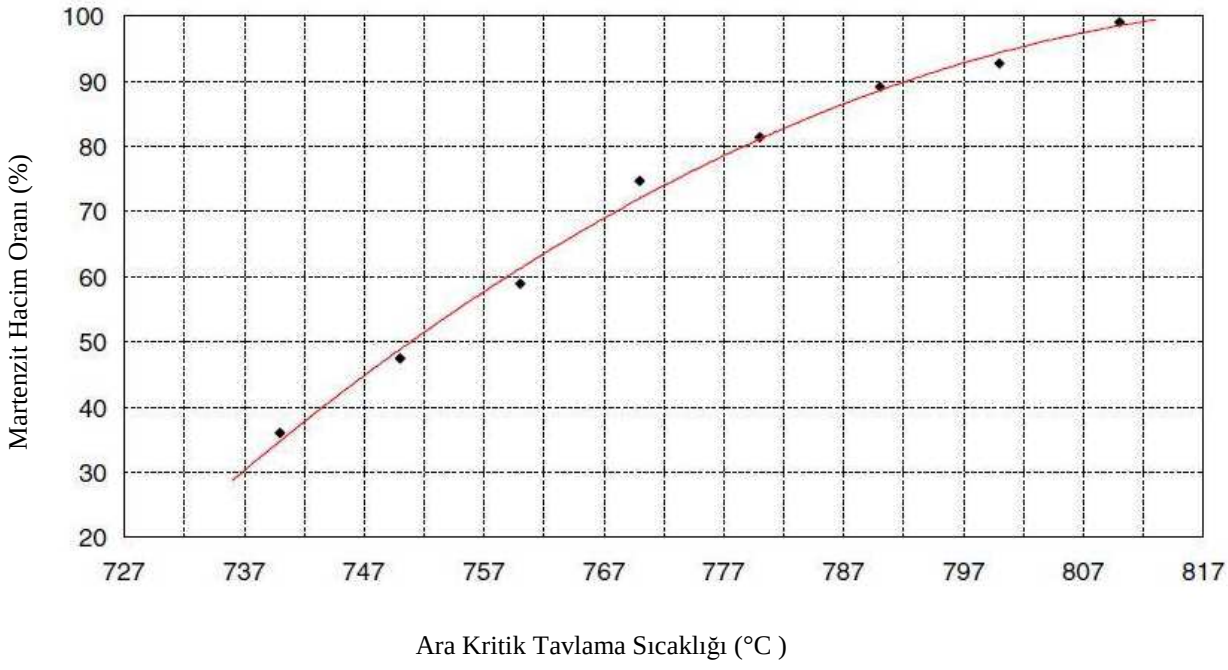
4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Malzeme Seçimi

Yapılan çalışmada; kimyasal içeriği Çizelge 4.1 ‘de verilen mikro alaşımlı, düşük karbonlu çelik kullanılmıştır. Kullanılan bu çelik, daha önce çift fazlı çelikler üzerine yapılmış bir çalışmada kullanılmış ve yine aynı çalışmada; hangi sıcaklıktan su verildiğinde ne kadar yüzde martenzit hacim oranına sahip olacağını ifade eden grafik deneysel olarak elde edilmiştir (Şekil 4.1). Ayrıca elde edilmek istenen martenzit hacim oranlarına karşılık gelen sıcaklık değerleri grafikten okunarak, bu sıcaklıklarda yapılan ısıl işlem sonrası çeliğin mekanik özelliklerinin nasıl değiştiği de bulunmuştur (Çizelge 4.2) (Topçu ve ark, 2009).

Çizelge 4.1 Kullanılan çeliğin ağırlıkça % alaşım elementi içeriği (Topçu ve ark, 2009).

C	Mn	Cr	Si	V	Nb	S	P	Fe
0.28	1.45	0.21	0.20	0.13	0.01	0.02	0.02	Kalan



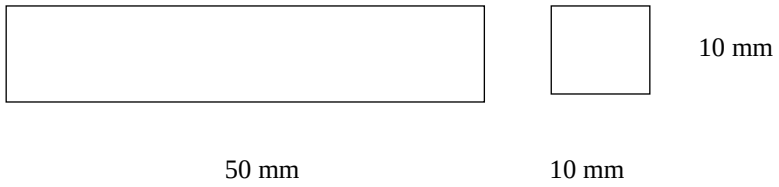
Şekil 4.1 Ara kritik bölge sıcaklığına bağlı ısıl işlem sonrası martenzit hacim oranındaki değişim (Topçu ve ark., 2009).

Çizelge 4.2 Isıl işlem sonrası iç yapısı değişen çeliğin bazı önemli mekanik özellikleri (Topçu ve ark, 2009).

Isıl İşlem	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HBN)
Normalleştirme	541	768	22.5	201
737 °C'de su verme	447	833	9.2	309
754 °C'de su verme	598	1139	3.0	338
779 °C'de su verme	769	1381	2.8	390
900 °C'de su verme	1074	1486	2.2	434

4.2. Numunelerin Boyutlandırılması

Elektrot olarak kullanılacak numuneler 10x10x50 boyutlarında sanayide hazırlatılmışlardır. Numunelerin teknik resmi Şekil 4.2‘ de verilmiştir.



Şekil 4.2 Numunelerin teknik resim görüntüsü

4.3. Numunelerin Isıl İşlemi

Çalışılacak numunelere ilk olarak Şekil 4.3‘ de resmi verilen ısıl işlem fırınında, 900 °C ‘de 30 dk bekletilmek suretiyle normalleştirme işlemi uygulanmıştır. Daha sonrasında normalleştirme işlemi yapılan bu çeliklere düşük, orta ve yüksek martenzit hacim oranlarını elde edebilmek için Topçu ve Übeyli'nin yapmış olduğu çalışma referans alınarak her bir çalışılacak her bir grup numuneyi (2., 3., ve 4., grup) elde edebilmek için sırasıyla 737 °C, 754 °C, 779 °C‘lerde 30 dk bekletilip daha sonra oda sıcaklığındaki suda hızlı bir şekilde soğutma işlemi yapılmıştır (Topçu ve ark., 2009;

Übeyli ve ark., 2009). En son olarak, 5. grup olan tam martenzit yapıyı elde etmek için 900 °C ‘de aynı işlemler yapılmıştır. Yapılan ısıl işlemlerin fırında bekleme süre ve sıcaklıkları Çizelge 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3 Isıl İşlemde Kullanılan Fırın

Çizelge 4.3 Yapılan ısıl işlemler

Grup	Süreler (dk)	Sıcaklıklar (°C)
1 (Normalleştime İşlemi)	30	900
2	30	737
3	30	754
4	30	779
5	30	900

4.4. Numunelerin Sertliklerinin Belirlenmesi

Deney numunelerinin, ısıl işlemden sonra her bir ısıl işlem koşulu için Şekil 4.4'de resmi verilen sertlik ölçüm cihazı ile sertlikleri ölçülmüştür. Her bir numunenin sertliği üçer defa ölçülmüştür. Daha sonra alınan bu ölçümlerin ortalamaları alınmıştır.



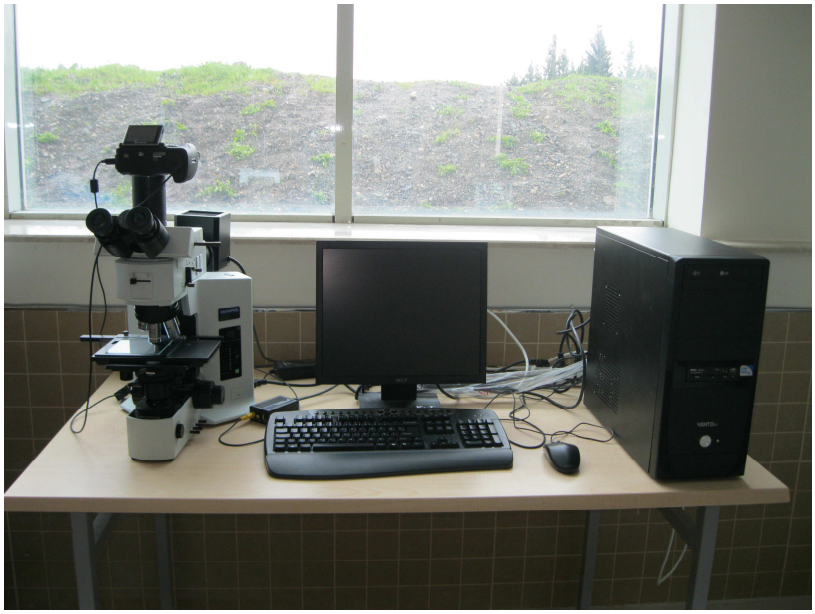
Şekil 4.4 Sertlik Ölçüm Cihazı

4.5. Numunelerin İç Yapı İncelemeleri

Görüntü alımına hazırlanan numuneler, Şekil 4.5 'te resmi verilen zımparalama ve parlatma cihazında sırasıyla; 180, 320, 600, 1000 ve 1200'lük zımparalarla zımparalandıktan sonra üzerine sırasıyla 1 ve 6 mikronluk elmas süspansiyonu dökülen parlatma çuhalarıyla parlatılmıştır. %2 nital dağlayıcı ile yaklaşık 35 sn boyunca dağlanan ve dağlama işleminden sonra numuneler alkol ile temizlenmiştir. Bu işlmelerden sonra numuneler Şekil 4.6 'da resmi verilen ışık mikroskobu ile 500, 1000 büyütme oranında görüntülenmiştir.



Şekil 4.5 Zımparalama ve Parlatma Cihazı



Şekil 4.6 Işık Mikroskobu

4.6. Numunelerin Adlandırılması

Kullanılan çift fazlı çeliklerin incelemelerinin daha kolay olması için numunelerin değişen martenzit miktarlarına göre isimlendirilmesi yapılmıştır. Buna göre;

Nİ : Sadece Normalleştirme İşlemi Yapılan Çelik

LM: Düşük Martenzit Miktarı

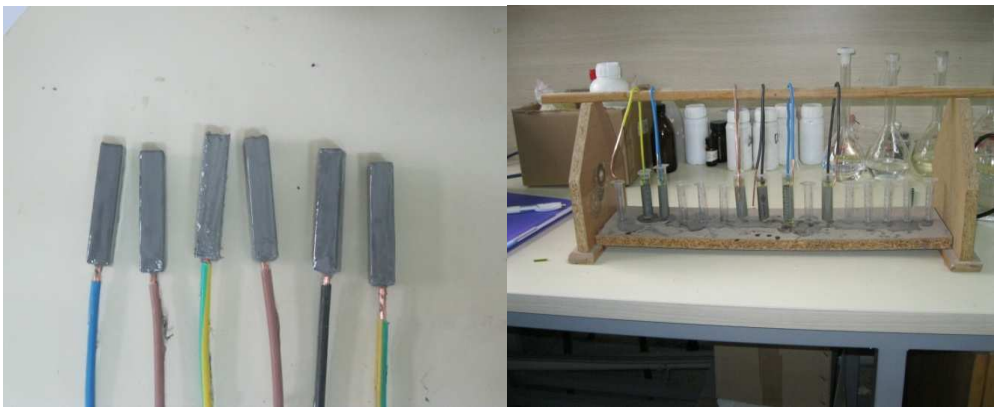
MM: Orta Martenzit Miktarı

HM: Yüksek Martenzit

FM: Tam Martenzit Miktarı şeklinde adlandırılmıştır.

4.7. Numunelerin Korozyon Deneylerine Hazırlanması

Numunelere ilk olarak çalışma elektrotu hazırlayabilmek için bakır kablolar çakılmıştır. Bu işlem için Jet Marka matkapla 2,5 mm çapında delik açılmıştır. Daha sonra ise elektrotların sadece bir yüzeyini korozyona uğratabilmek için 50 mm uzunluğundaki yan yüzeyleri epoksi ile kaplanmıştır (Şekil 4.7 (a)). Bu işlemin sonrasında yine aynı amaçla hazırlanan elektrotlar, içerisine sertleştirici ve hızlandırıcı eklenen sıvı polyester içerisine gömülmüştür (Şekil 4.7 (b)). Ve bir gün katılaşması için beklenmiştir. Bu işlemlerin ardından hazırlanan elektrotlar elektrokimyasal ölçümlerden önce Şekil 4. 7 (c)'de resmi verilen 250 mm disk çaplı zımpara ile sırasıyla 150, 600, 1200' lük zımpara kâğıtlarıyla zımparalanıp korozyona uğratılacak yüzeyler açılmıştır. Numune son olarak, damıtılmış su ile temizlenip sonrasında da aseton ile yüzeyi silinmiştir.



Şekil 4.7 (a) Epoksi İle Kaplanmış Elektrotlar (b) Sıvı Polyestere Gömülü Elektrotlar



(c) Zımpara

4.8. Deney Düzeneği

Deney düzeneği; çözeltilerin sıcaklıklarını sabit tutmak amacıyla Memmert marka WNB 14 model su banyosu (Şekil 4.8 (b)), yine aynı şekilde çözelti sıcaklığını sabit tutmak için su banyosundan gelen suyun hücre etrafında sürekli dolaşmasını sağlayan ve özel olarak imal ettirilmiş cam hücre olan su ceketleri (Şekil 4.8 (a)), CHI 608D model kimyasal bir analizör (CHI) ve elektrokimyasal analizörden okunan verilerin değerlendirilmesini ve saklanmasını sağlayan bir bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 4.8 (c)). Şekil 4.9 da deney düzeneğinin şematik gösterimi verilmiştir.

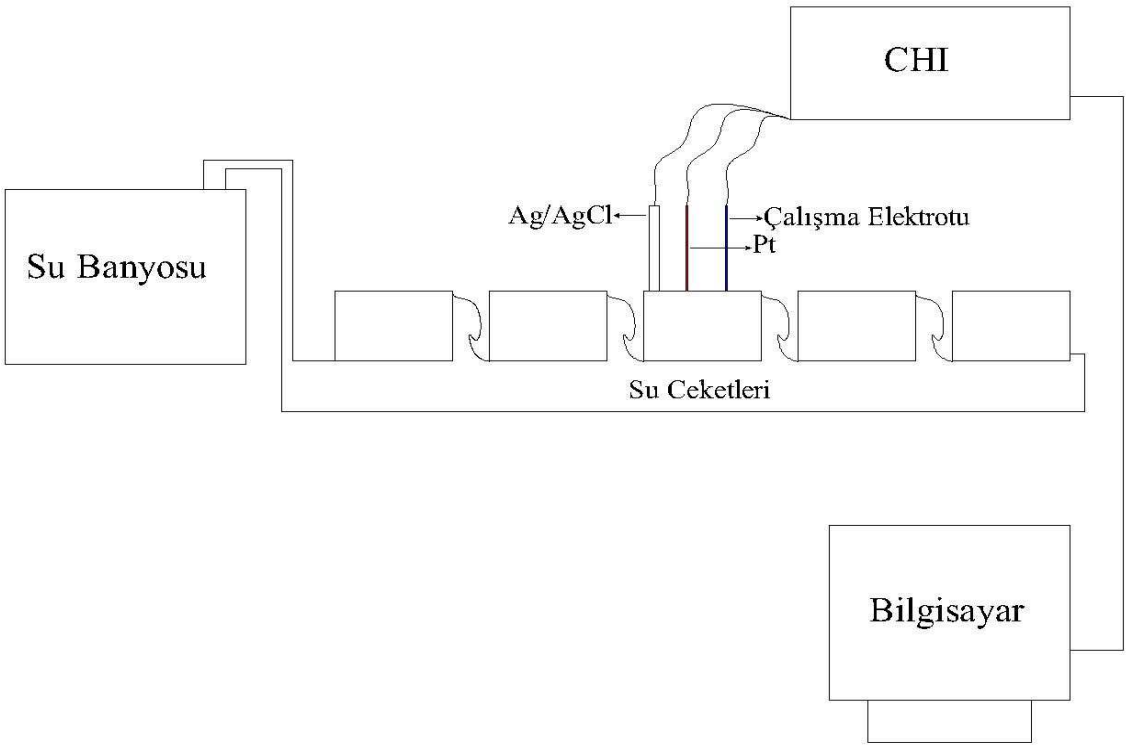


a) Ceketli deney hücresi (b) Su banyosunun genel görünümü



(c) Kimyasal analizör ve verilerin okunduğu bilgisayar

Şekil 4.9 Deney Düzeneği



Şekil 4.9 Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi

Şekil 4.10 'da deney düzeneğinin genel görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.10 Deney Düzeneğinin Genel Görüntüsü

4.9. Ölçüm Yöntemleri

Ölçümlerde, kimyasal bileşimi bilinen ve değişik ısıl işlem koşullarında farklı faz yapılarında elde edilen çelikler çalışma elektrotu olarak kullanılmıştır. Ölçümler, elektrokimyasal ölçüm tekniklerden biri olan üç elektrot tekniği ile (çalışma elektrotu (karbon çeliği), referans elektrot (Ag/AgCl) ve karşı elektrotunun (platin) aynı anda kimyasal çözeltiye daldırılmasıyla kıyas yapılarak gerçekleştirilen ölçümlerdir.) elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS), doğrusal kutuplaşma direnci (LPR) ve yarı logaritmik akım-potansiyel eğrilerinin elde edilmesini sağlayan yöntemlerin sabit sıcaklıkta uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir.

4.9.1. Alternatif akım (AC) empedans yöntemiyle kutuplaşma direncinin belirlenmesi

Çift fazlı çeliğin elektrokimyasal davranışı, üç elektrot tekniği ile oda sıcaklığında, 0,1 M HCl çözeltisinde AC empedans yöntemiyle belirlenmiştir. Çözeltiye; çalışma elektrotu olarak çift fazlı çelik, karşı elektrot olarak platin (Pt) ve referans elektrot olarak da Ag/AgCl daldırılıp iki saat bekleme süresi sonunda çift fazlı çeliğin referans elektroda karşı açık devre potansiyeli belirlenmiştir. 5 mV genlikte ve 10^5 Hz ile $5x10^{-3}$ Hz frekans aralığında tarama yapılarak empedans diyagramları (Nyquist eğrileri) elde edilmiştir.

4.9.2. Yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrilerinin belirlenmesi

1,0 M HCl çözeltide yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri çizilerek çift fazlı çelik numunlerin elektrokimyasal davranışı incelenmiştir. Çift fazlı çelik elektrotun referans elektrota karşı açık devre potansiyeli ölçüldükten sonra, 0,5 mV/s tarama hızıyla önce katodik yöne doğru (-250 mV), daha sonra anodik yöne doğru (+250 mV) tarama yapılmıştır. Cihazdan elde edilen logaritmik akım (log i) değerleri elektrotun yüzey alanına bölünerek yarı logaritmik [log i ($A.cm^{-2}$)] akım yoğunluğu değerleri belirlendi. Korozyon potansiyelleri (E_{kor}) doğrudan cihazdan okunarak bu eğrilerden, korozyon potansiyelleri (E_{kor}), Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile akım yoğunluğu (i_{kor}), katodik Tafel sabiti ($-\beta_c$) değerleri hesaplanmıştır.

4.9.3. Doğrusal kutuplaşma direnci yöntemiyle kutuplaşma direncinin belirlenmesi

Ölçümlerin bu aşamasında çift fazlı çeliğin elektrokimyasal davranışı üç elektrot tekniği ile oda sıcaklığında 1,0 M HCl ortamında, kutuplaşma direnci yöntemiyle (LPR) belirlenmiştir. Çözeltiye; çalışma elektrotu olarak çift fazlı çelik, karşı elektrot olarak

platin (Pt) ve referans elektrot olarak da Ag/AgCl daldırılıp iki saat bekleme süresi sonunda, çift fazlı çeliğin referans elektroda karşı açık devre potansiyeli belirlenmiştir. 0,1 mV/s tarama hızıyla, ± 10 mV'luk potansiyel değişimi sağlanarak, akım-potansiyel (I-E) grafikleri oluşturulmuştur.

4.10. Deney Sonrası Numunelerin İncelenmesi

Aynı şartlarda ve aynı süre korozyon hücresi içinde bekleyen numuneleri, deneyler sonunda yüzeylerindeki korozyon miktarı hem makro hemde mikro boyutta görüntülenmiştir. Bu amaçla, makro olarak fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Mikro görüntülemek içinde SEM-ZEİSSLS-10 marka taramalı elektron mikroskobu ile farklı büyütmelerde ve noktalardan görüntüleri alınarak numunelerin korozyona uğrama hızları incelenmiştir.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Numunelerin Sertlikleri

Her bir ısıl işlem koşulu için 3 ayrı sertlik ölçümü yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Ölçümlerin tamamı Rockwell C (HRC) olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçların her bir numune için ortalama değerleri Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Numunelerin HRC Sertlik Değerleri

	Ortalama (HRC)
LM (737 °C)	23,9
MM (754 °C)	36,9
HM (779 °C)	41,03
FM (900 °C)	45,8

Çizelge 5.1'den görüleceği üzere arakritik ısıl işlem sıcaklığı arttıkça sertliğin 23,9 HRC'den 45,8 HRC arasında değiştiği görülmektedir. Elde edilen sonuçta, arakritik ısıl işlem sonuncunda artan arakritik ısıl işlem sıcaklığı arttıkça bu artışa bağlı olarak martenzit hacim oranıyla birlikte setliğinde arttığı belirlenmiştir. Aynı kimyasal bileşime sahip malzeme ile aynı arakritik ısıl işlem sıcaklıklarında su verme işlemi yapılan diğer çalışmalar da benzer sonuçlar vermiştir. Yapılan çalışmada, numunenin arakritik ısıl işlem sıcaklığı artıkça elde edilen sertlik değerlerinin de yükseldiği görülmüştür (Deniz, 2009; Topçu ve ark 2009; Topçu ve ark., 2010; Übeyli ve ark., 2009).

Betonarme çeliğine farklı sıcaklıklarda yapılan arakritik ısıl işlem ile çift fazlı çelikler elde edilmiştir. Elde edilen çift fazlı çeliklerin artan arakritik ısıl işlem sıcaklığı ile martenzit hacim oranın arttığı ve buna bağlı olarak sertlik değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir (Keleştemur ve ark., 2008; Keleştemur ve ark., 2009).

Farklı arakritik ısıl işlem sıcaklıklarında, düşük karbonlu bir çeliğe yapılan su verme işlemi ile altı farklı martenzit hacim oranına sahip çift fazlı çelik elde edilmiş ve elde edilen bu çift fazlı çeliklerin martenzit hacim oranının, sıcaklığın artmasıyla arttığı

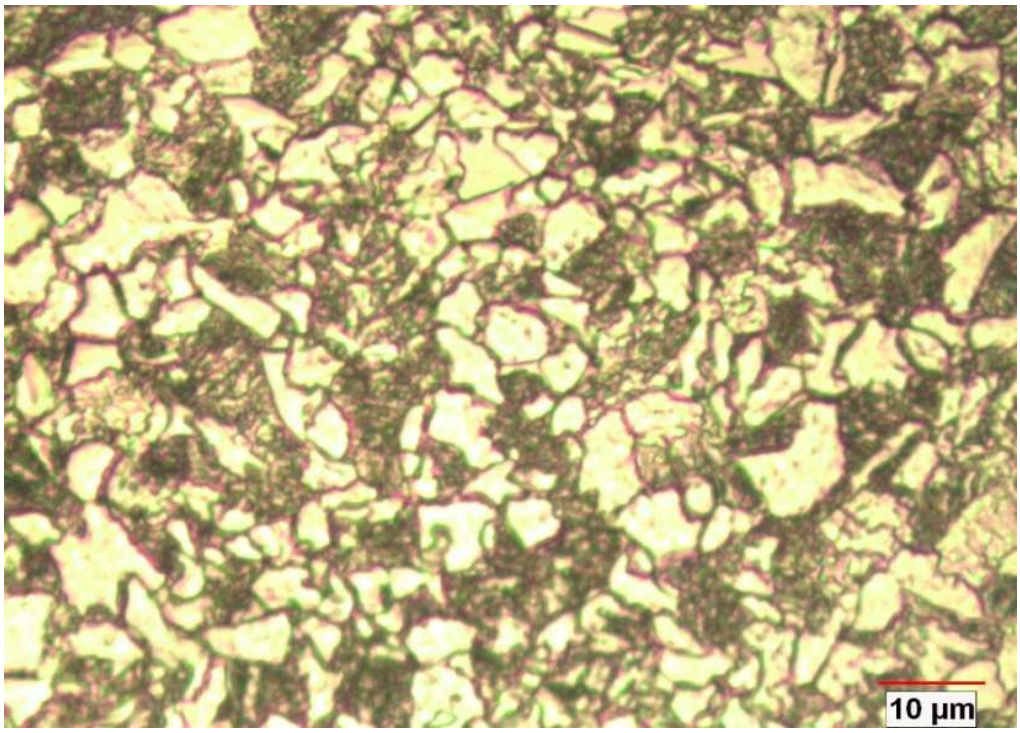
görülmüştür. Artan martenzit hacim oranıyla birlikte ölçülen sertlik değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir (Nadlene ve ark., 2010).

Bahsedilen çalışmalarda elde edilen sonuçlarında yapılan çalışmayı desteklediği görülmektedir. Yani aynı bekleme sürelerinde farklı arakritik ısıl işlem sıcaklıklarında elde edilen çift fazlı çeliklerin martenzit hacim oranının sıcaklık arttıkça arttığı ve buna bağlı olarak sertlik değerinin yükseldiği gözlemlenmiştir.

5.2. Numunelerin İçyapı Görüntüleri

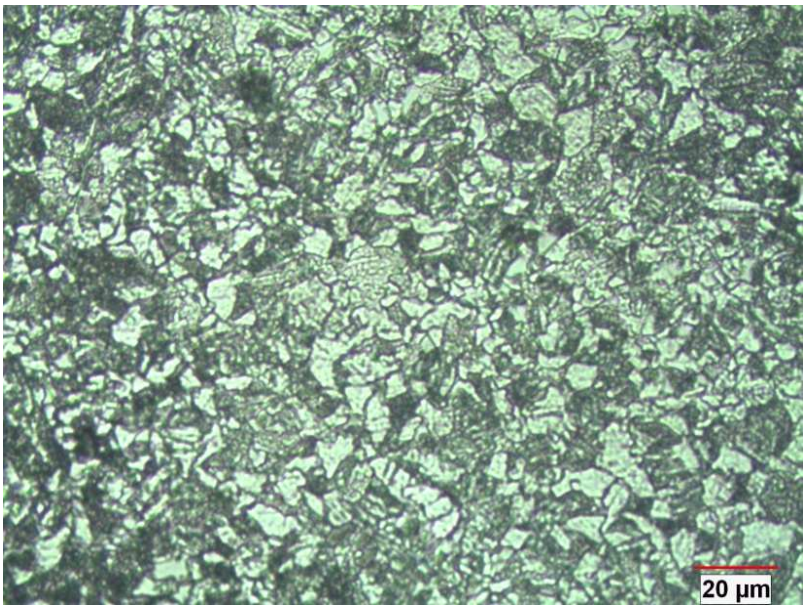
Numunelerin korozyon dayanımını incelemeden önce, normalleştirme işlemi ve sonrasında her bir arakritik işlem koşulunda içyapıları incelenmiştir. Gerekli metalografi işlemlerinin ardından, %2 nital dağlayıcı ile 35 sn dağlandıktan sonra ışık mikroskobuyla incelenmiştir.

Şekil 5.1'de çeliğin normalizasyon işlemi sonrası ferrit ve perlitten oluşan yapısı gösterilmektedir.

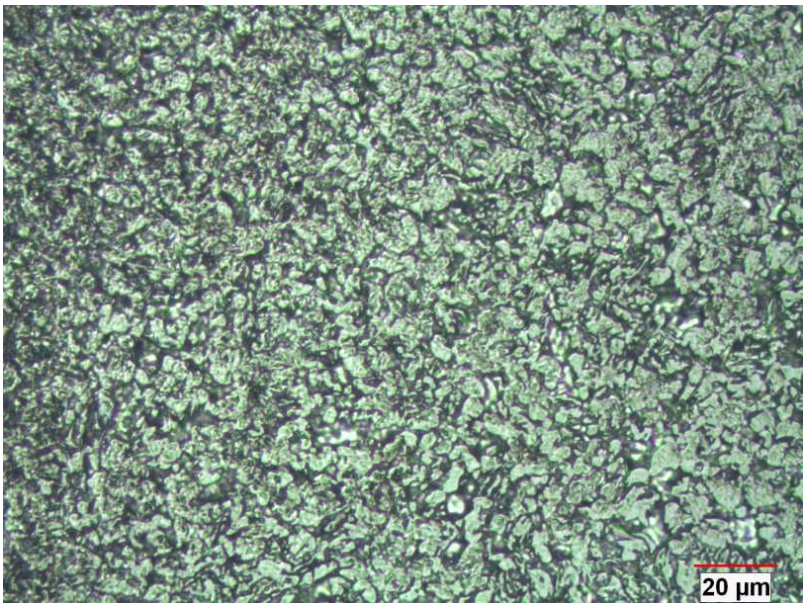


Şekil 5.1 Normalleştirme işlemi sonrası çelik numunenin görüntüsü (x1000)

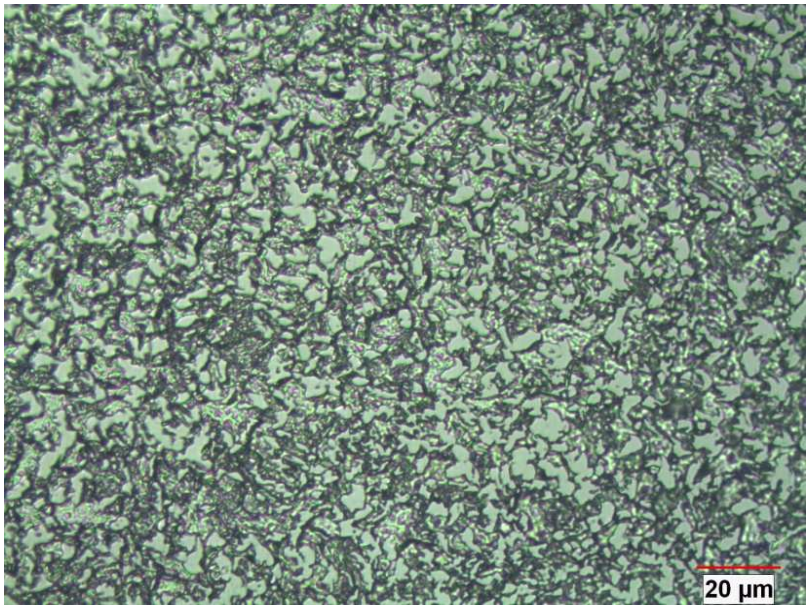
Şekil 5.2'de sırasıyla normalleştirme işlemi yapılmış ve 737 °C, 754 °C, 779 °C 900 °C'ler de yapılmış arakritik ısıl işlemler sonucunda elde edilen içyapı görüntüleri x500 büyütme ile verilmiştir.



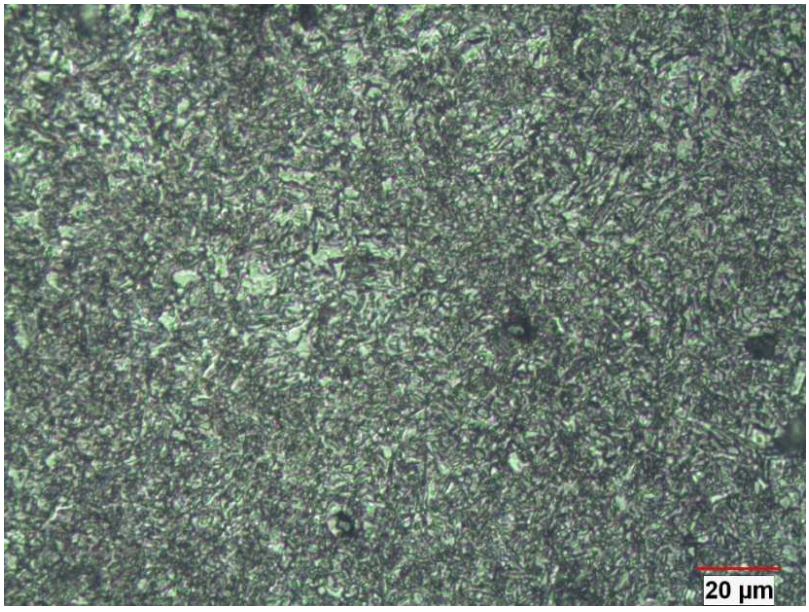
(a) Normalizasyon işlemi sonrasında çelik numunenin görüntüsü (x500)



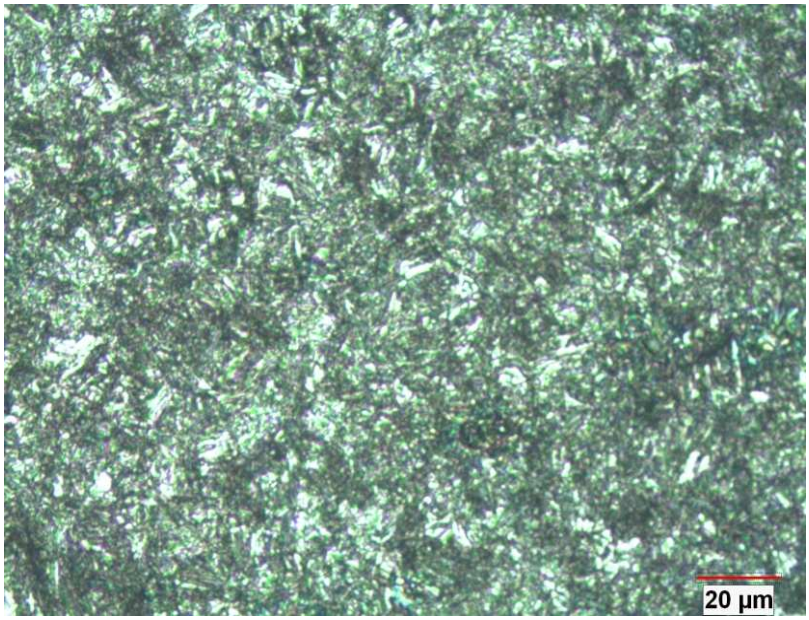
(b)737 ^{0}C arakritik ısıl işlemi sonrasında çelik numunenin görüntüsü (x500)



(c)754 ^{0}C işlemi sonrasında çelik numunenin görüntüsü (x500)



(d)779 ^{0}C işlemi sonrasında çelik numunenin görüntüsü (x500)



(e)900 °C işlemi sonrasında çelik numunenin görüntüsü (x500)

Şekil 5.2'de x500 büyütme ile çelik numunelerin görüntüleri

Şekil 5.1'de görüleceği üzere normalizasyon işlemi sonrasında görüleceği üzere ferlit fazları tarafından çevrilmiş perlit fazından oluşan eşeksenli bir yapı elde edilmiştir.

Şekil 5.2 (a)' da normalleştirme işlemiyle elde edilen ferrit tarafından çevrelenmiş perlit yapı görülmektedir. 737 °C' de arakritik işlemle elde edilen çeliğin yapısının verildiği Şekil 5.2 (b)' de, bu sıcaklığa kadar çıkarılan çelikte ferrit ve östenit yapı elde edildikten sonra suda hızlı soğutma işlemi uygulanarak ferrit ve martenzitten oluşan bir yapı elde edilmiştir. İşlem sıcaklığı çok yüksek olmadığından dolayı martenzit miktarı düşüktür. Burada görülen açık renkli kısımlar ferriti diğer daha az miktarda ve koyu renkli olan kısımlar martenzit yapısını göstermektedir. Daha koyu ve siyah renkli olan kısımlar ise numunenin bu kısımlarının dağlayıcı ile daha fazla tepkimeye girdiğini göstermektedir. İşlem sıcaklığının 754 °C'ye çıkarıldığı noktada ferrit ve östenit miktarları yapıda yaklaşık olarak eşit miktarda oluşacaktır. Şekil 5.2 (c)' de görüleceği üzere soğutma işleminden sonra ferrit ve martenzit oranının yaklaşık olarak eşit olduğu orta martenzit miktarına sahip çelik elde edilmiştir. Şekilde açık renkli kısımların biraz daha azaldığı, koyu renkli ve süreklilik gösteren bir martenzit yapı görülmektedir. Şekil 5.2 (d) 'de görülen numune içyapı görüntüsü 779 °C'de su verilmesiyle elde edilmiştir. Arakritik bölge sıcaklığı yüksek olduğundan dolayı östenit miktarı fazla olmasından ötürü yüksek martenzit miktarı elde edilmiştir. Oluşan sürekli

martenzitler ferrit adalarını çevrelemiştir. Numune 900 °C'ye çıkarılıp gerekli süre bekletildiği zaman ferrit ve sementitler bozularak tamamen östenit yapısına dönüşmektedir. Bu sıcaklıkta su verildiği zaman iç yapı Şekil 5.2 (e)'de görüldüğü gibi tamamen martenzit yapıya dönüşmektedir. Elde edilen görüntüde martenzitin çıta şeklinde olduğu görülmektedir. Buda sertlik deneyleri sonucundan da anlaşılacağı üzere numunenin sert olduğunu göstermektedir. Görüntülerden görüleceği üzere, arakritik sıcaklığı arttıkça ferrite göre daha koyu renkte görülen martenzit miktarı artmıştır. Sertlik ölçümleri sonucunda da numunelerin arakritik sıcaklığı arttıkça artan sertlik miktarıyla martenzit miktarındaki artışı göstermektedir.

5.3. Korozyon Deney Sonuçları

Yalnızca normalleştirme işlemi yapılmış çelik (Nİ) ve farklı martenzit hacim oranlarına sahip (LM, MM, HM, FM) çeliklerin elektrokimyasal davranışları, 298 K'de 1,0 M CHl asit çözeltisinde yarı-logaritmik akım potansiyel eğrileri, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve doğrusal kutuplaşma eğrilerini belirleme yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir.

Çalışılan elektrokimyasal yöntemlerde birbirine en yakın sonuçlar veren ölçümler kullanılmıştır. Çalışma elektrodu olarak kullanılan örneklerin yüzey alanı 1 cm^2 olduğundan dolayı hesaplamalarda akım değerleri, akım yoğunluğu değerleri olarak alınmıştır. Yarı-logaritmik akım potansiyel değerleride korozyon akım yoğunluğu değerleri excell programı ile tafel ekstrapolasyonu yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışılan elektrokimyasal hücrede, korozyon sonucu oluşan demir iyonları klorür iyonları ile birleşerek suda kolayca çözünebilen demir klorür haline dönüşür (Keleştemur ve ark., 2008).

$$Fe + Cl^- \rightleftharpoons (FeCl^-)_{ads}$$

$$(FeCl^-)_{ads} \rightleftharpoons (FeCl)_{ads} + e^-$$

$$(FeCl)_{ads} \rightleftharpoons FeCl^+ + e^-$$

$$FeCl^+ + e^- \rightleftharpoons Fe^{+2} + Cl^- \qquad (5.1)$$

(Salmaz ve ark., 2008) sulu ortamda iyonları halinde ayrışır. Daha sonra ise, demir sulu ortamda bulunduğu için demir hidroksite dönüşür.

$$\text{Katot Tepkimesi: } 2H_2O + 2O_2 + 4e^- \rightleftharpoons 4OH^- \qquad (5.2)$$

$$\text{Anot Tepkimesi: } 2Fe \rightleftharpoons Fe^{+2} + 4e^- \qquad (5.3)$$

Toplam Tepkime: $2Fe + 2H_2O + 2O_2 \rightleftharpoons 2Fe(OH)_2$ (5.4)

Oluşan, demir(II) hidroksit bu şekilde kararlı kalamayacağından dolayı ortamda bulunan su ve oksijen ile tepkimeye girerek demir(III) hidroksiti oluşturur.

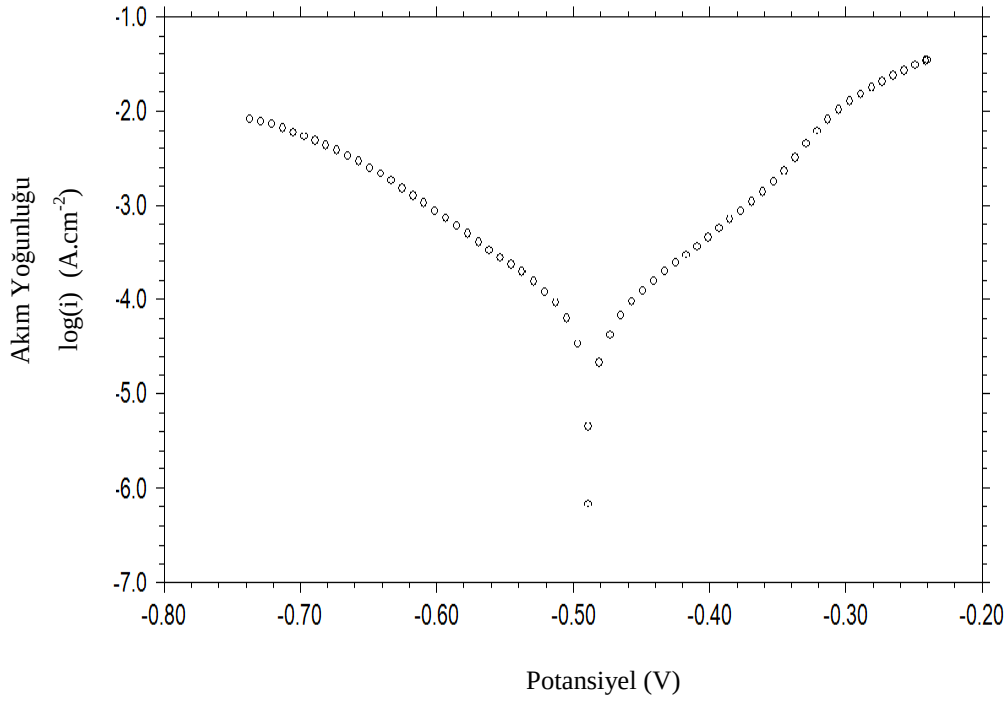
$2Fe(OH)_2 + H_2O + 1/2\ O_2 \rightleftharpoons 2Fe(OH)_3$ (5.5)

Oluşan demir(III) hidroksitte sulu ortamdan çıkartılıp, nemden kurtulduğunda, demir(III) oksite dönüşür.

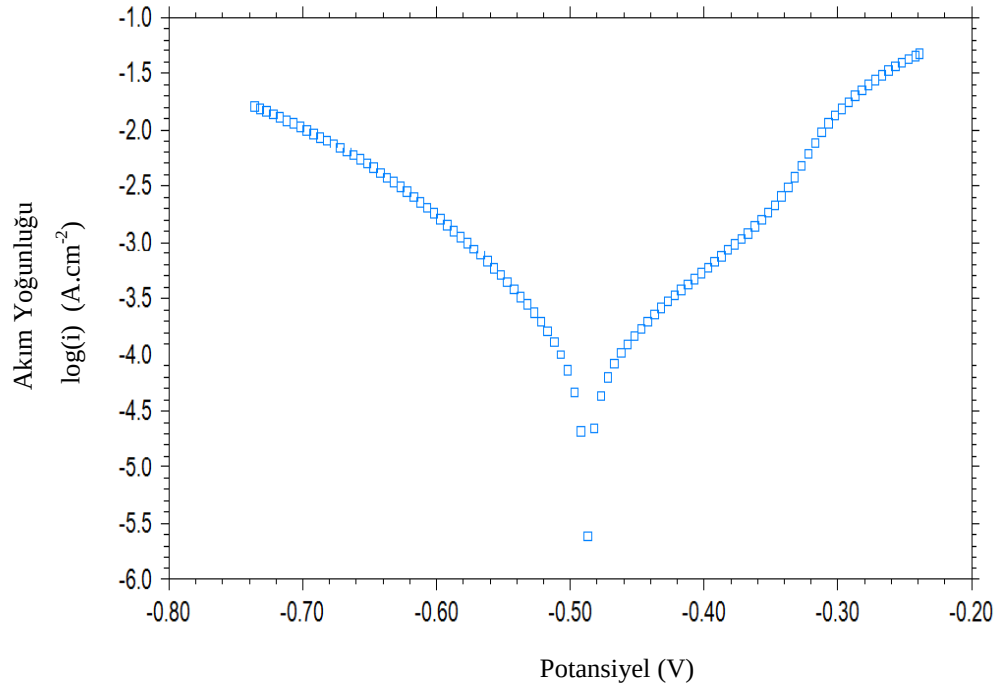
$2Fe(OH)_3 \rightleftharpoons Fe_2O_3 + 3H_2O$ şeklinde olur. (5.6)

5.3.1. Yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen sonuçlar

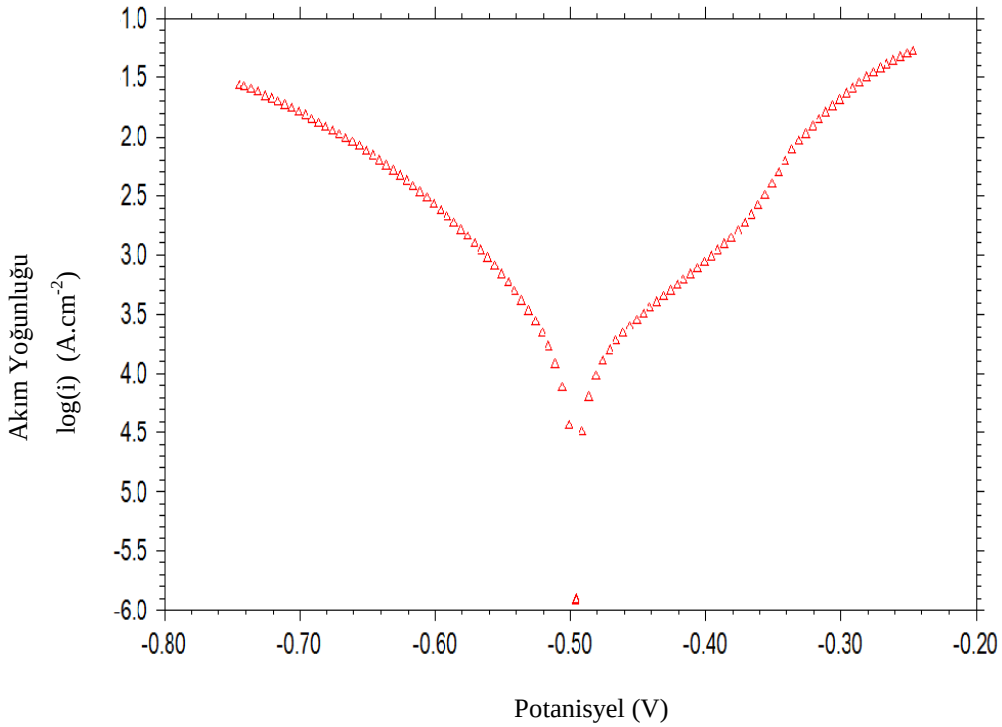
Farklı martenzit hacim oranlarına sahip çeliklerin, korozyon davranışları 298 K'de 1,0 M HCl asit içinde, yalnızca normalleştirme yapılan çelikle kıyas yapabilmek için yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri çizilerek incelenmiştir. Ölçümler sırasında ilk olarak 250 mV katodik yönde gidilerek ölçüm alındıktan sonra numune zımpara ile temizlenerek tekrar aynı denge potansiyeli elde edilince 250 mV'luk anodik yöne gidecek şekilde ölçüm alınmıştır. Şekil 5.3 'de her bir ısıl işlem koşulu için elde edilen yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri verilmiştir. Daha sonra bu eğrilerin katodik kısımlardan, korozyon akım yoğunluğu (i_{kor}) ve katodik tafel sabitleri (β_c) hesaplanmıştır.



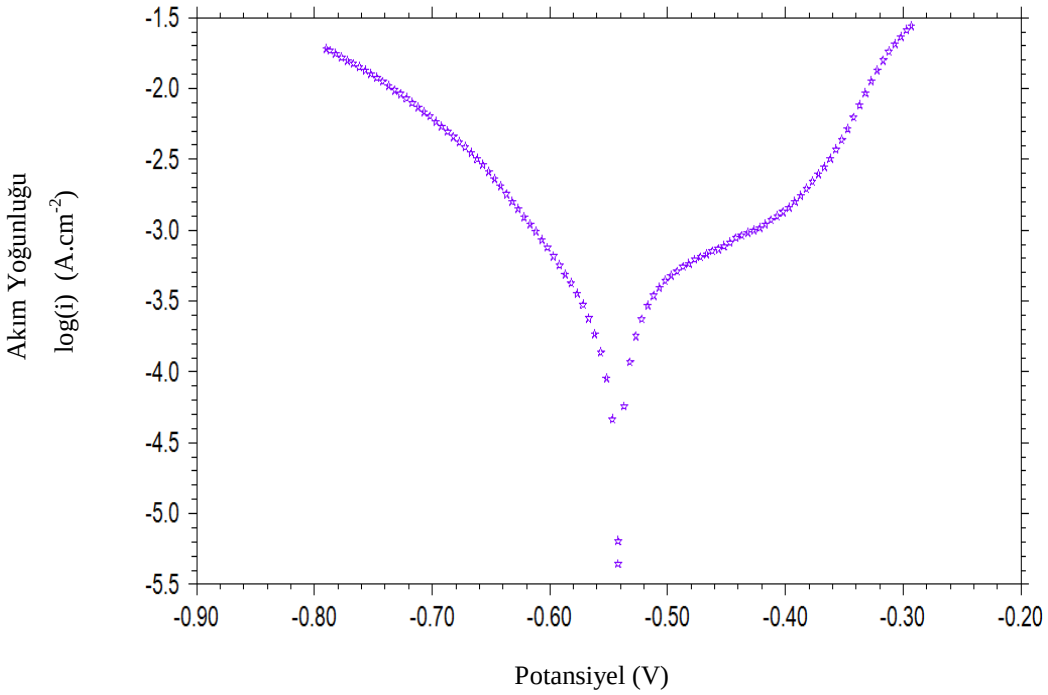
(a) Normalleştirme yapılmış çelik için yarı logaritmik akım-potansiyel eğrisi



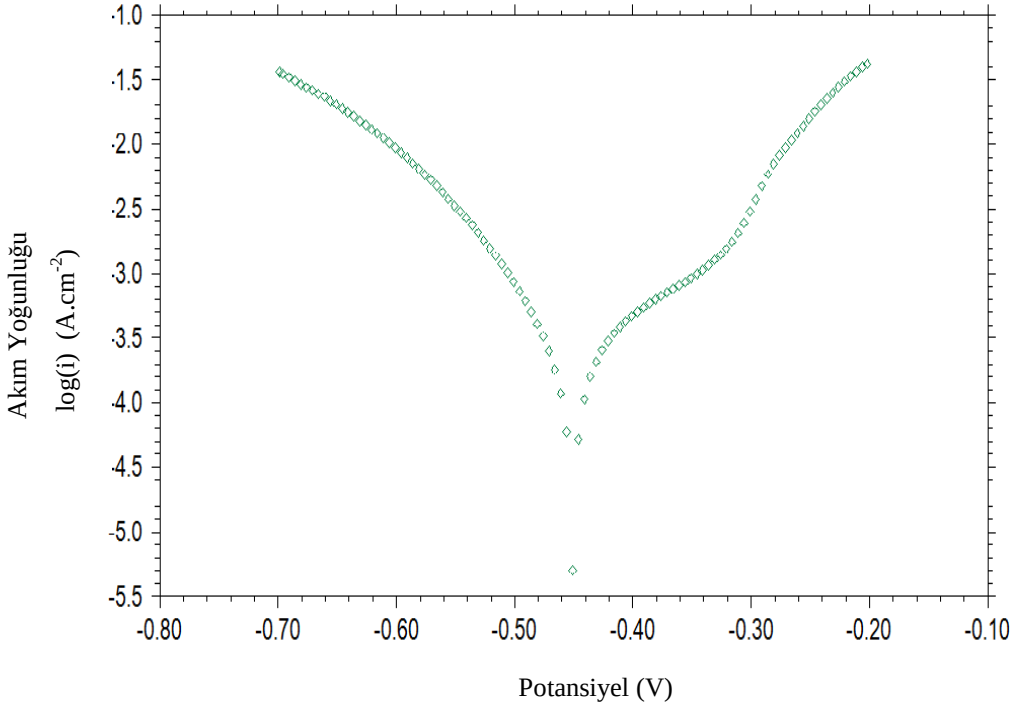
(b)737 °C'de arakritik ısıl işlem yapılmış çelik için yarı logaritmik akım-potansiyel eğrisi



(c) 754 °C'de arakritik ısıl işlem yapılmış çelik için yarı logaritmik akım-potansiyel eğrisi



(d) 779 °C'de arakritik ısıl işlem yapılmış çelik için yarı logaritmik akım-potansiyel eğrisi



(e) 900 °C'de arakritik ısıl işlem yapılmış çelik için yarı logaritmik akım-potansiyel eğrisi

Şekil 5.3 Numuneler için yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri

Şekil 5.3'deki eğrilerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Çift fazlı çeliğin, farklı faz miktarlarında 1,0 M HCl çözeltilerinde potansiyodinamik kutuplaşma parametreleri

	E_{kor} (V/Ag/AgCl)	β_c (mV/dec)	i_{kor} ($\mu A.cm^{-2}$)
Nİ	-0,489	98,1	62,4
LM (737 °C)	-0,487	93,2	103,2
MM (754 °C)	-0,496	92,0	184,4
HM (779 °C)	-0,542	102,0	202,1
FM (900 °C)	-0,451	96,3	294,5

Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi normalleştirme işlemi yapılmış çeliğin E_{kor} değeri -0,489 V'dur. Arakritik ısıl işlem uygulanmış çeliklerde artan ısıl işlem sıcaklığıyla birlikte değişen martenzit oranıyla bu değer sırasıyla -0,487 V, -0,496 V, -0,542 V, -0,451 V olarak ölçülmüştür. Normalleştirme işlemi yapılmış çelikte akım yoğunluğu değerleri 62,4 $\mu A.cm^{-2}$ iken, uygulanan arakritik ısıl işlem sıcaklığı arttıkça akım yoğunluğu değeri artmıştır. Bu sonuç artan martenzit miktarıyla korozyon hızının arttığını göstermektedir. Özellikle 754 °C 'de uygulanan arakritik işlemiyle oluşan yaklaşık %50 martenzit miktarına yaklaşan çift fazlı çeliklerde akım miktarının ani bir şekilde arttığını göstermektedir. Katodik tafel sabitlerinde (β_c) oluşan farklılıklarda, E_{kor} değerindeki farklılıklardan oluşmaktadır (Gerengi, 2008). Katodik tafel sabiti değerlerinin belirgin bir değişim göstermemesi hidrojen oluşum mekanizmasının değişmediğinden kaynaklamaktadır (Özkır ve ark., 2012).

Bhagavathi ve ark.(2010) tarafından yapılan çalışmada, anot ve katot eğrilerinden elde edilen sonuçlarda, çift fazlı çeliklerde artan martenzit hacım oranıyla birlikte elektrottan geçen akım miktarının arttığı gözlemlemişlerdir. Ancak çift fazlı çelik ile ferrit-perlit çeliğini kıyasladıklarında, yapılan bu çalışmadan farklı olarak çift fazlı çeliğinin korozyon direncinin daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir.

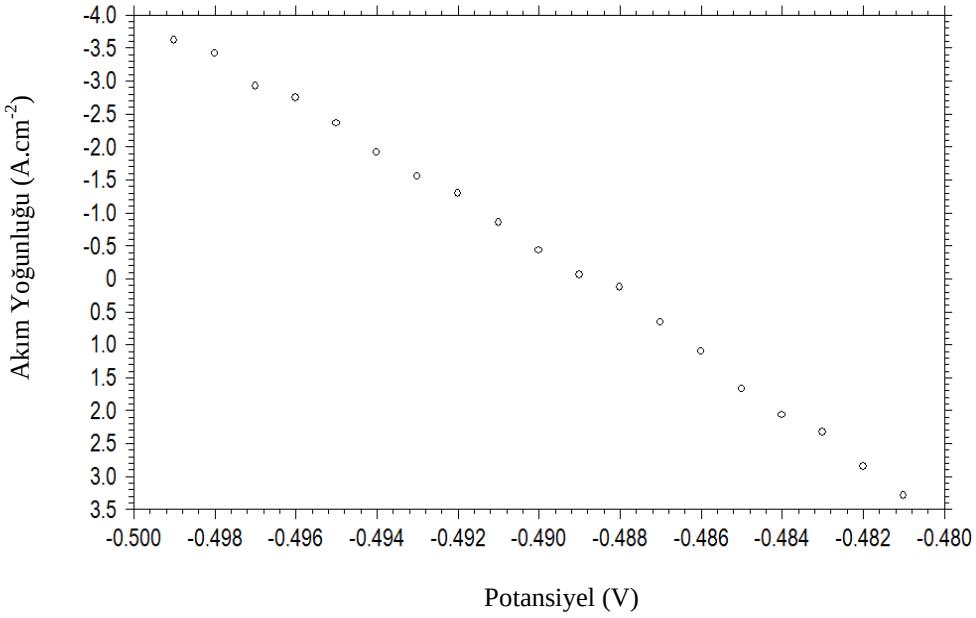
Keleştemur ve ark. (2009) ve Keleştemur ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada, bu çalışmada elde edilen sonucu desteklemiştir. Çalışma sonucunda, ferrit-perlit çeliğinin korozyon dayanımının çift fazlı çeliklerden daha iyi olduğunu

gözlemlemişlerdir. Çift fazlı çeliklerde artan martenzit hacim oranıyla korozyon dayanımının düştüğünü söylemişlerdir.

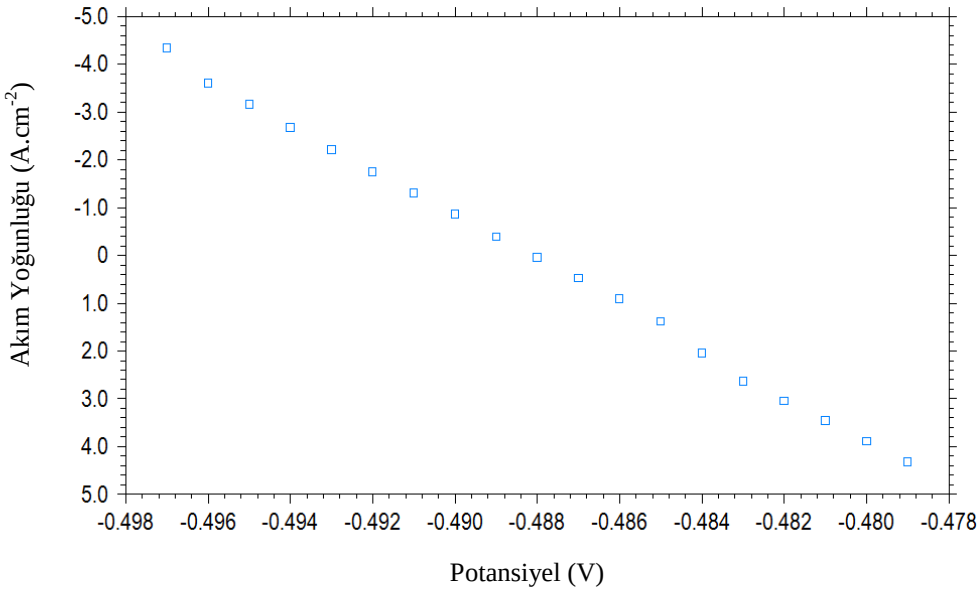
Yapılan çalışmalar, çift fazlı çeliğe martenzitin etkisinde benzer sonuçları verirken, ferrit-perlit çeliği ile çift fazlı çeliğin korozyon dayanımı konusundaki kıyaslamasında farklılık göstermektedir.

5.3.2. Doğrusal kutuplaşma direnci yöntemiyle elde edilen sonuçlar

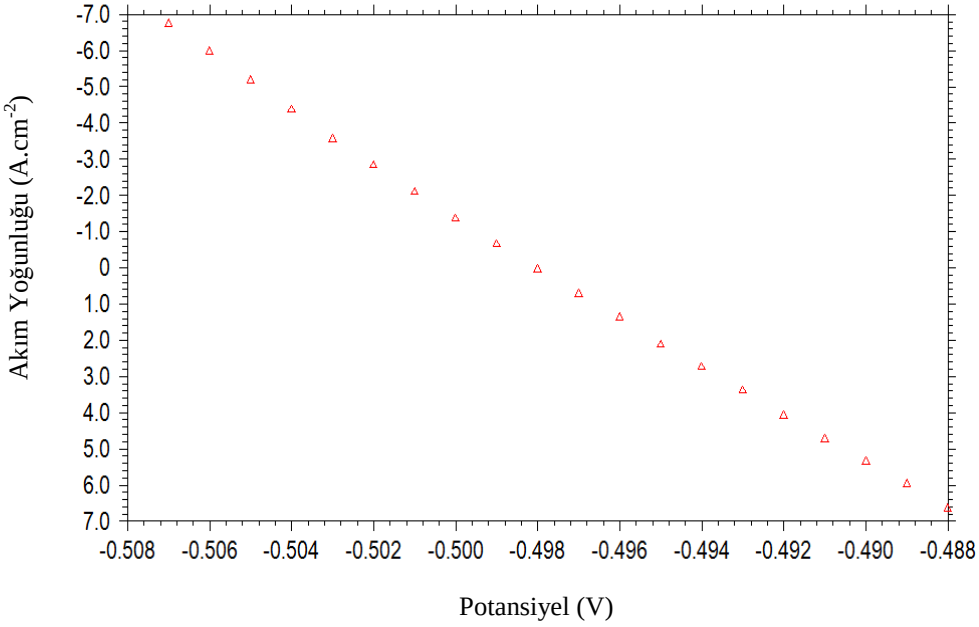
Düşük korozyon hızına sahip malzemelerin korozyon hızını daha doğru ölçmesi, uygulandığı sisteme diğer yöntemlerden daha az zarar vermesiyle ve çok çabuk ölçüm alınmasından dolayı tercih edilen bir yöntem (Gerengi, 2008) olan, çift fazlı çeliğin referans elektroda karşı denge potansiyeli belirlendikten sonra ±10 mV'luk potansiyel aralığında ve 1,0 M HCl içeren ortamda alınan ölçümlerle elde edilen akım-potansiyel (I-E) eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen bu eğriler Şekil 5.4 verilmektedir.



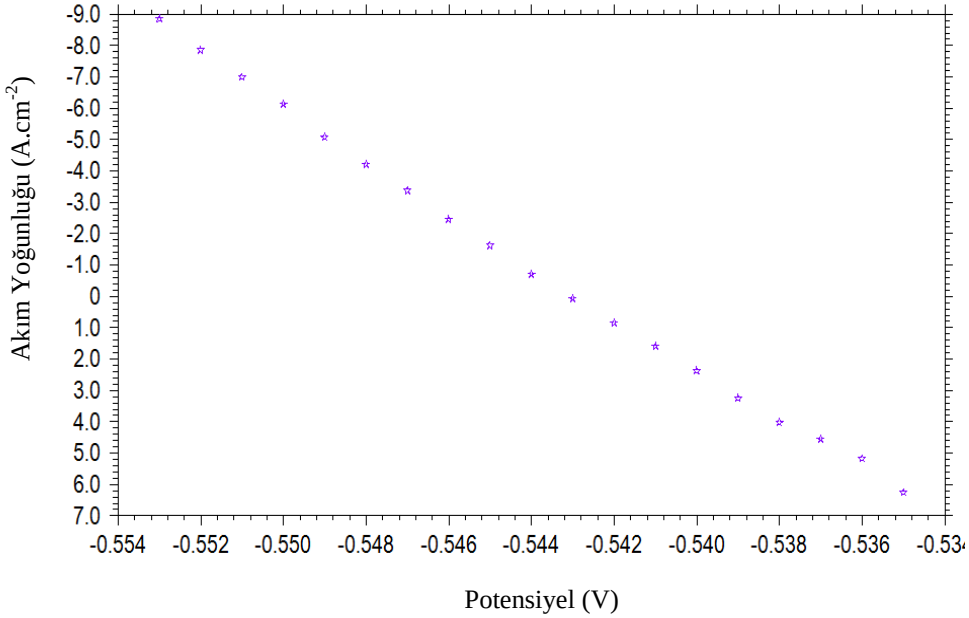
(a) Normalleştirme yapılmış çelik numune için doğrusal kutuplaşma eğrisi



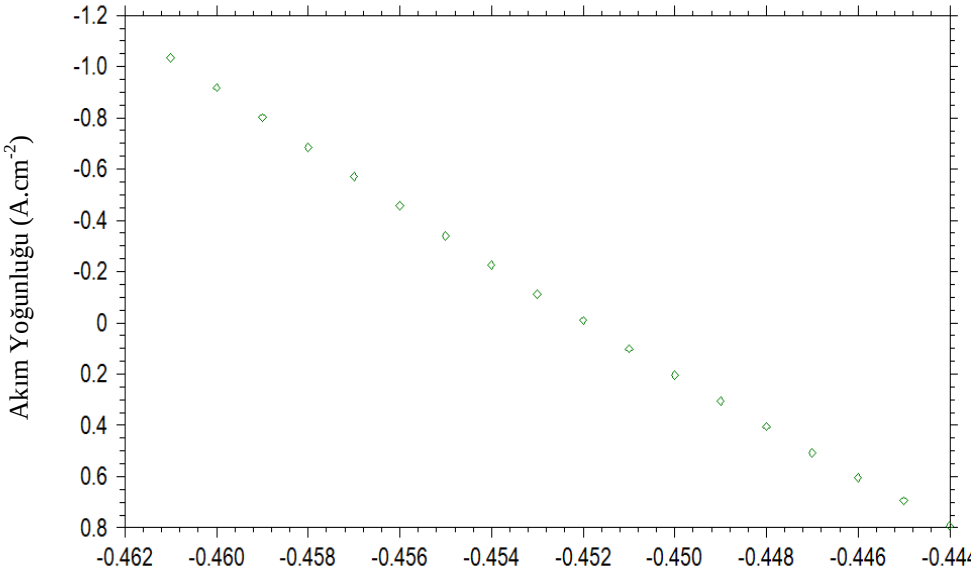
(b)737 °C'de arakritik ısıl işlem yapılmış çelik numune için doğrusal kutuplaşma eğrisi



(c)754 °C'de arakritik ısıl işlem yapılmış çelik numune için doğrusal kutuplaşma eğrisi



(d)779 °C'de arakritik ısıl işlem yapılmış çelik numune için doğrusal kutuplaşma eğrisi



(e)900 °C'de arakritik ısıl işlem yapılmış çelik numune için doğrusal kutuplaşma eğrisi

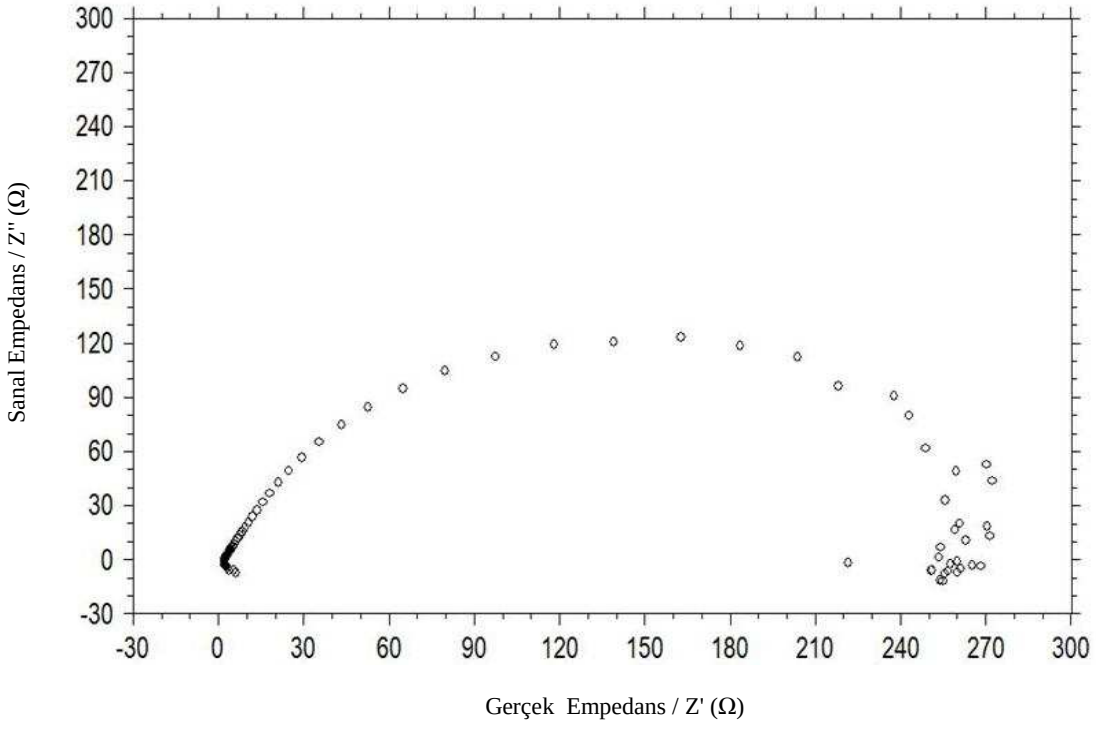
Şekil 5.4 Çelik numuneler için doğrusal kutuplaşma eğrileri

Elde edilen eğrilerden, sadece normalleştirme işlemi yapılan çelik için hesaplanan kutuplaşma direnci 256 Ω olarak bulunmuştur. Diğer numuneler için artan martenzit oranına göre 211 Ω, 142 Ω, 121 Ω, 93 Ω değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçta, artan martenzit hacim oranıyla malzemenin korozyon direncinin düştüğünü ve

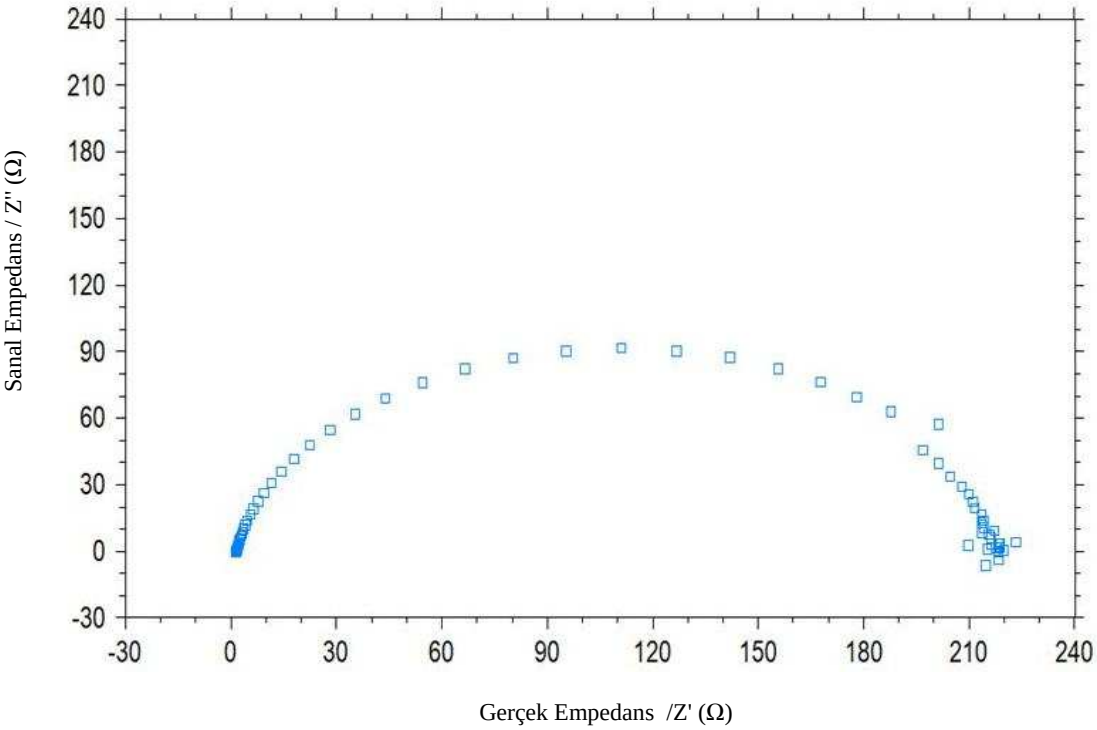
korozyona olan eğilimin arttığını göstermektedir. Eğrilerden elde edilen kutuplaşma direnci (R_{Ipr}) Çizelge 5.3'te verilmektedir.

5.3.3. Alternatif akım (AC) empedans yöntemiyle elde edilen sonuçlar

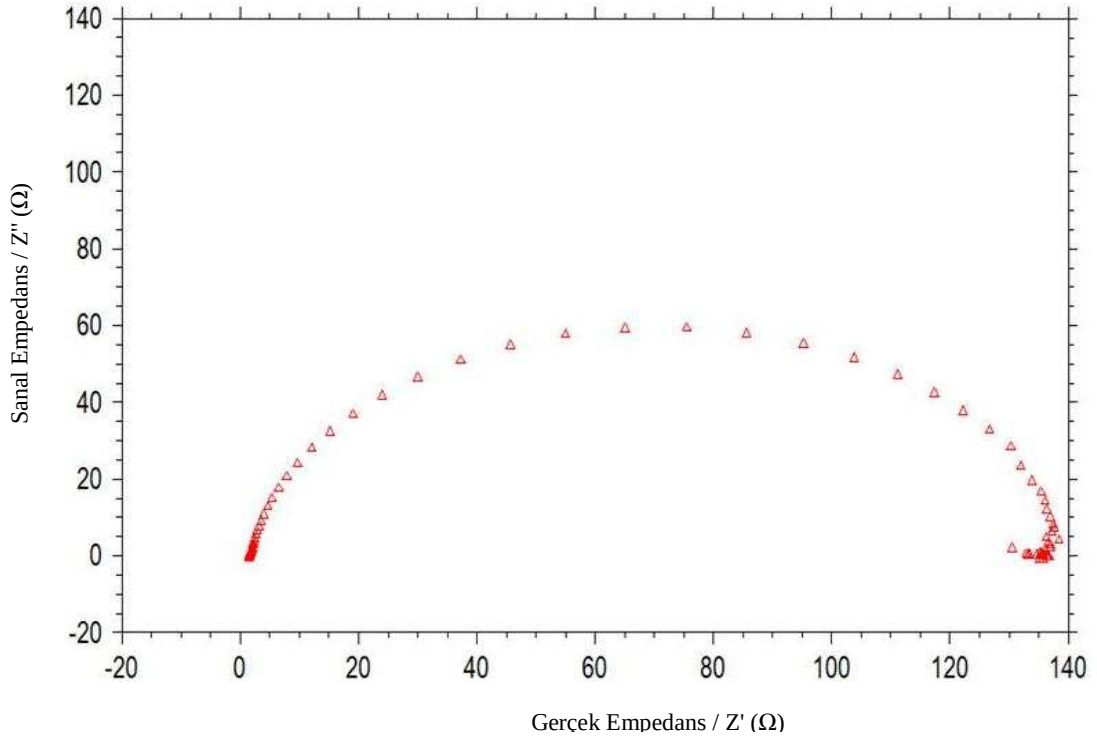
Doğrusal kutuplaşma yöntemi gibi hızlı olan malzeme yapısını bozmadan ölçüm alabilmeyi sağlayan ayrıca diğer yöntemlerden farklı olarak yüksek dirençli ortamlarda bile ölçüm alınabilen, alternatif akımla (AC) empedans yöntemiyle çeliklerin elektrokimyasal davranışı incelenmiştir. CHI 608 D model elektrokimyasal analizör yardımıyla elde edilen Nyquist diyagramları Şekil 5.5'de verilmiştir. Şekil 5.5'de de görüldüğü gibi arakritik ısıl işlem sıcaklığının artmasıyla birlikte artan martenzit hacim oranıyla, numunelerin kutuplaşma dirençleri değerleri düşmüştür. AC empedans yöntemiyle belirlenen korozyon direnç değerleri değişiminin, doğrusal kutuplaşma direnci ve yarı logaritmik akım potansiyel eğrileriyle elde edilen değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür.



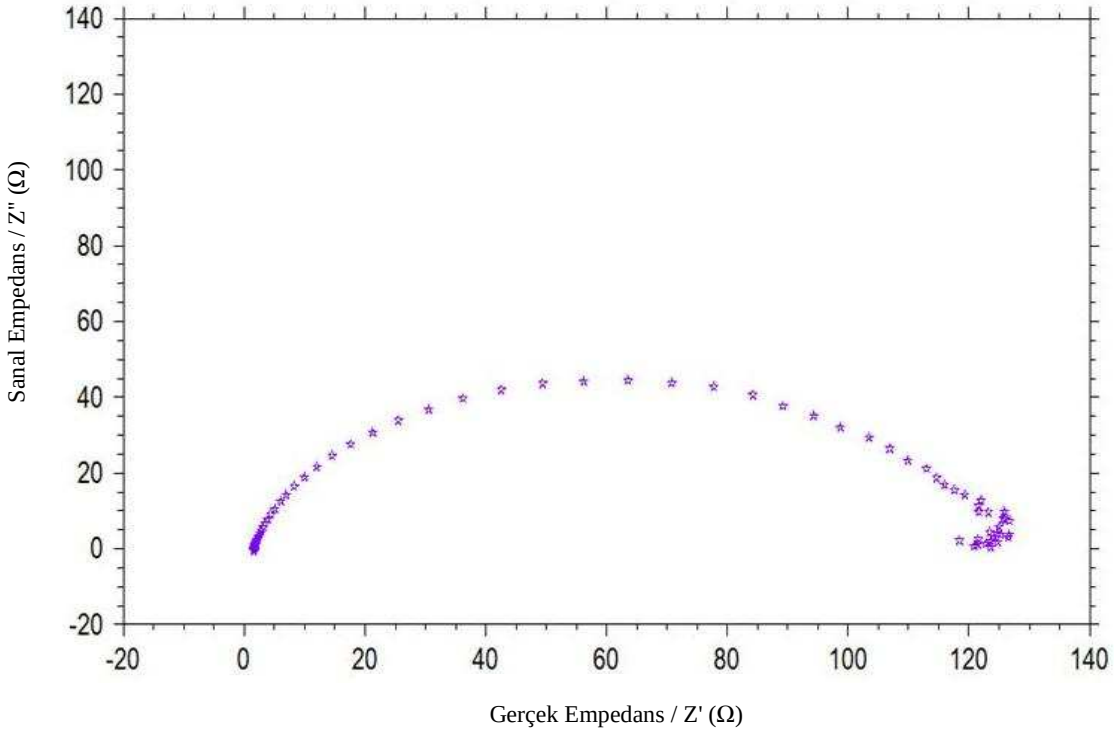
(a) Normalizasyon işlemi yapılmış çelik numune için Nyquist eğrisi



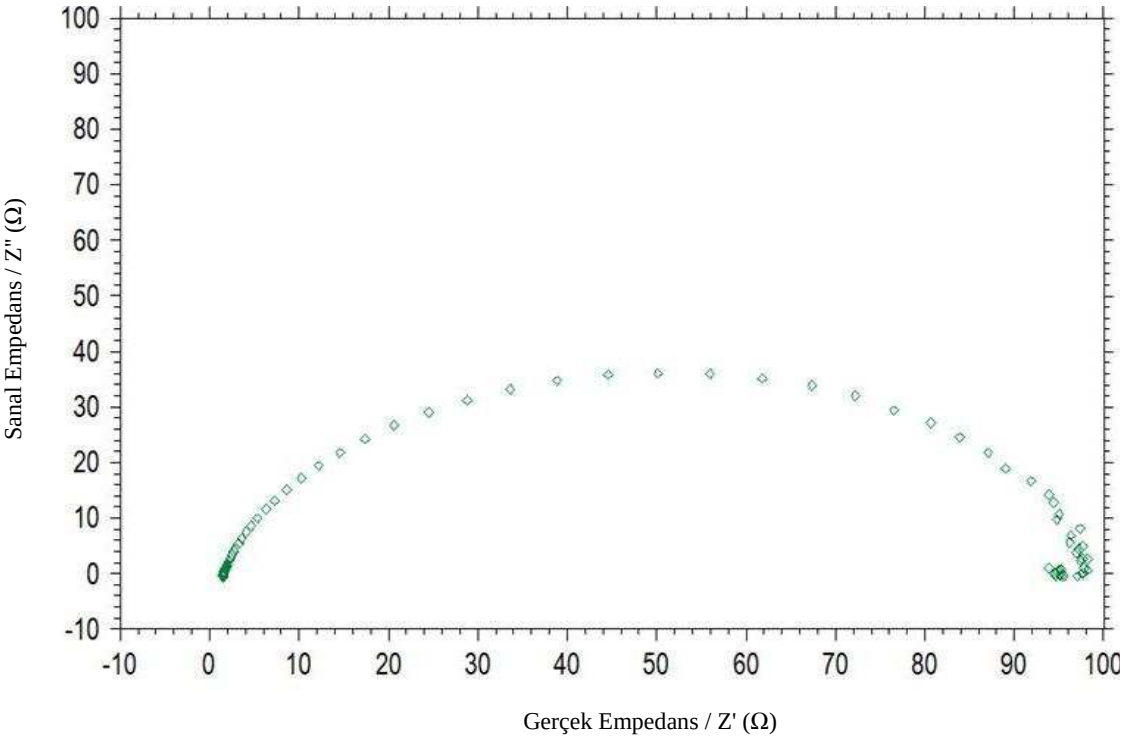
(b)737 °C'de arakritik yapılmış çelik numune için Nyquist eğrisi



(c)754 °C'de arakritik yapılmış çelik numune için Nyquist eğrisi



(d)779 °C'de arakritik yapılmış çelik numune için Nyquist eğrisi



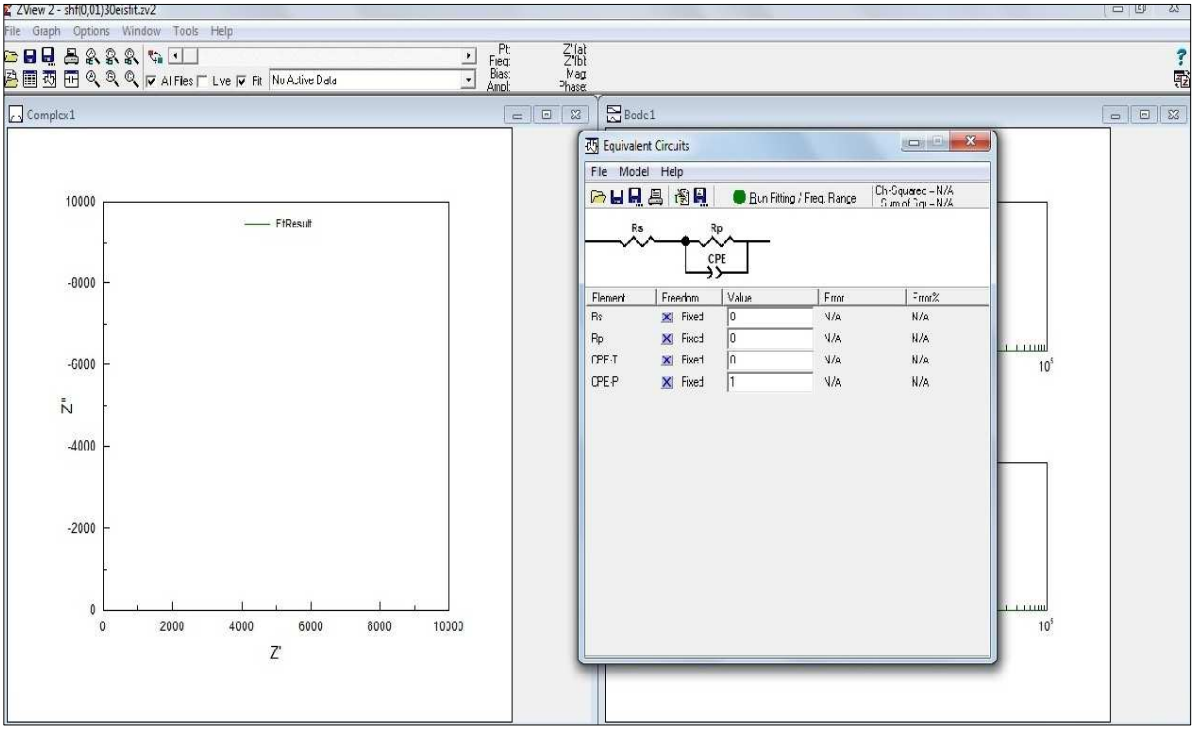
(e)900 °C'de arakritik yapılmış çelik numune için Nyquist eğrisi

Şekil 5.5 Çelik numunelerin Nyquist eğrileri

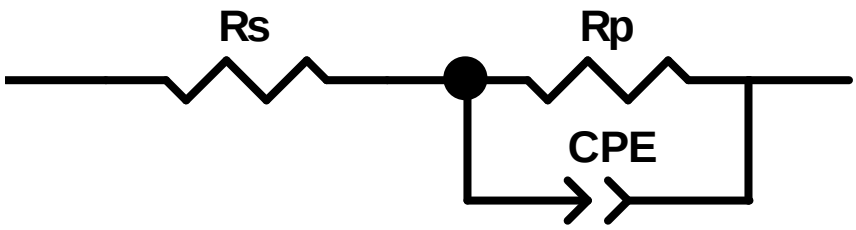
Elde edilen eğrilerden görüldüğü gibi normalleştirme işlemi yapılmış çeliğin direnci yaklaşık olarak 270 Ω iken arakritik işlem sıcaklığının artmasıyla beraber artan

martenzit oranına göre sırasıyla okunan yaklaşık değerler 220, 139, 152 ve 98 Ω olarak ölçülmüştür. Buda artan martenzit hacim oranıyla birlikte direnci değerlerinin azaldığı göstermektedir.

Nyquist eğrilenden elde edilen deneysel veriler 'txt uzantılı' dosyalar halinde kaydedilerek ZView yazılımı yardımıyla sistemin önerilen eş değer devresi oluşturularak sabit faz elementini (CPE), çözelti direnci (R_s), kutuplaşma direnci (R_p) ve sabit faz elementi katsayısı (n) hesaplanmıştır. Bu işlem aynı eş değer devre modeli ile normalleştirme işlemi yapılmış çelik ile yapılan tüm sıcaklıklardaki arakritik ısıl işlemi için yapılmış ve değerler elde edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.6 ZView yazılımı yardımıyla eş değer devre elde edilmesi



Şekil 5.7 Numuneler için oluşturduğumuz sistemin eşdeğer devresi

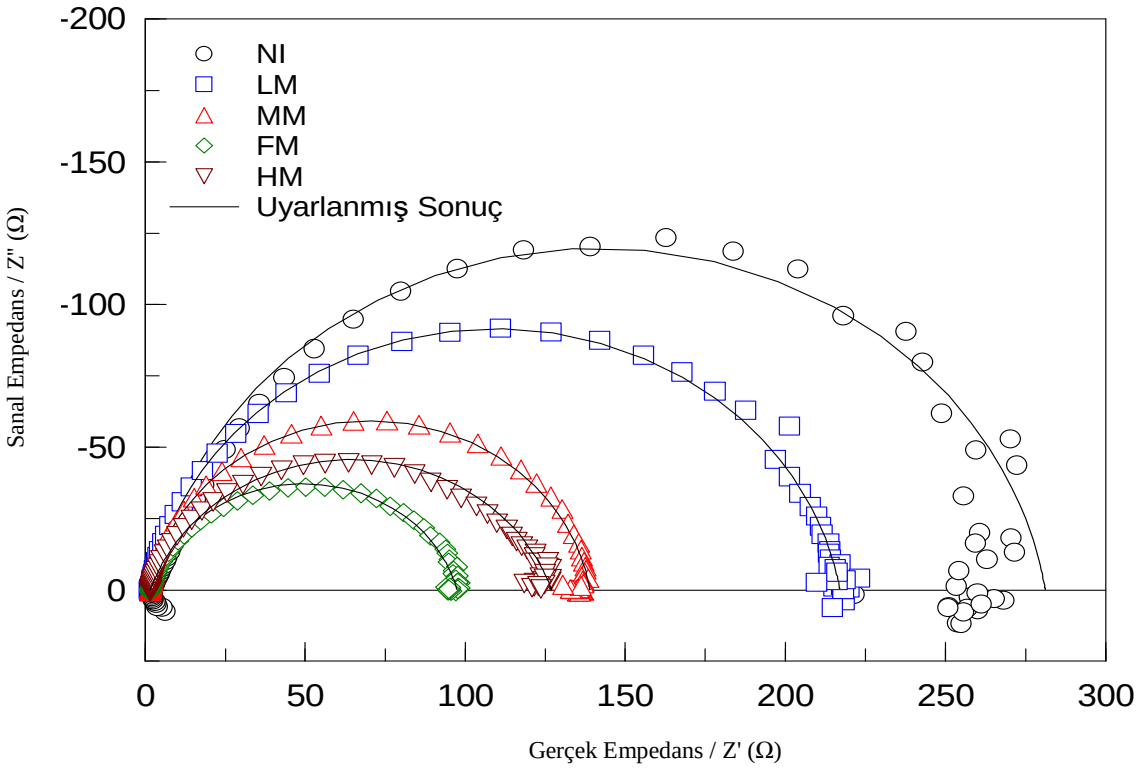
Şekil 5.5'de verilen eğrilerinin, Şekil 5.7'deki eşdeğer devre modeline göre uyarlanmasından sonra elde edilen R_p, R_s, CPE ve n değerleri ve Şekil 5.4'de verilen doğrusal kutuplaşma eğrilerinden elde edilen doğrusal kutuplaşma direnci (R_{lpr}) Çizelge 5.3'te verilmektedir.

Çizelge 5.3 Empedans ve Doğrusal Kutuplaşma eğrilerinden elde edilen değerler

	E_{kor} (V)	**CPE ($\mu F.cm^{-2}$)**	**n**	**R_s (Ω)**	**R_p (Ω)**	**R_{lpr} (Ω)**
Nİ	-0,489	174	0,924	2,2	279	256
LM	-0,487	185	0,894	1,6	216	211
MM	-0,496	222	0,903	1,6	137	142
HM	-0,542	317	0,802	1,6	125	121
FM	-0,451	356	0,840	1,5	96	93

Çizelge 5.3 'te görüldüğü gibi ZView yazılımı yardımıyla elde edilen, kutuplaşma direnci de doğrusal kutuplaşma eğrilerinden elde ettiğimiz kutuplaşma direnç değerleri birbirine çok yakın ve artan martenzit oranıyla birlikte azaldığı görülmektedir. Ayrıca sabit faz elementi CPE kapasitans değerininde artan martenzit miktarıyla birlikte arttığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar artan martenzit miktarıyla birlikte korozyon hızının arttığını göstermektedir. Çizelgede sabit faz elementi katsayısı (n) değerlerinin azalması ölçüm sırasında oluşan korozyon ürünlerinin yüzeyde biriktiğinin bir kanıtıdır (Özkır ve ark., 2012). Elde edilen n değeri 1'e ne kadar yakınsa uyarlanmış eğride o kadar ideale yakın olduğu literatürde belirtilmektedir (Çalışkan, 2012).

Şekil 5.8'da Nyquist eğrileri ve eş değer devre modele göre uydurulmuş sonuçlarıyla birlikte verilmektedir. Şekil incelendiğinde martenzit miktarıyla dirençlerin düştüğü gözlemlenmektedir. Ayrıca şekle bakıldığında orta, yüksek ve tam martenzit hacim oranlarına sahip çeliklerin birbirine yakın değerler verdiği ve orta martenzit hacim oranına kadar çelik direncinin de çok fazla değişmediği görülmektedir.



Şekil 5.8'de Nyquist eğrilerinin uyarlanmış sonuçlarının karşılaştırması

Üç farklı yöntemle alınan ölçümler bir birini desteklemiştir. Artan martenzit miktarıyla birlikte korozyon hızının arttığı dolayısıyla korozyona karşı olan direncin düştüğü görülmektedir.

Deneylerde elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar daha önceki çalışmalarda da elde edilmiştir. Bir betonarme çeliğine arakritik su verme işlemi uygulayarak farklı martenzit hacim oranlarına sahip çift fazlı çelik elde eden Keleştemur ve ark.(2008) çeliğin NaCl içerisinde ASTM 876 standardına ve anodik ve katodik kutuplaşma eğrilerine göre korozyon hızı belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda, bir çift fazlı çelikte artan martenzit hacim oranıyla birlikte korozyon hızının arttığı görülmüştür (Keleştemur ve ark. 2008).

Keleştemur ve ark. (2009) tarafında yapılan çalışma daha önceki çalışmaya benzer olarak, inşaat sektöründe kolay bulunan ve ucuz olan SEA 1010 yapı çeliğine öncelikle ısıl işlem uygulayarak farklı martenzit hacim oranlarına sahip çift fazlı çelikler elde edilmiştir. Daha sonrasında ise arakritik ısıl işlem uygulanmış bu çeliklere farklı sıcaklıklarda menevişleme işlemi uyguladıktan sonra korozyon davranışları incelenmiştir. Sonuçta artan martenzit hacim oranıyla birlikte korozyon eğiliminin arttığı görülmüştür.

Bhagavathi ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada farklı martenzit hacim oranına sahip çift fazlı çeliklerin sertlikleri ve korozyon davranışları incelenmiştir. Sertliklerin artan martenzit hacim oranıyla birlikte arttığı ve çift fazlı çeliklerin korozyon direncinin kritik ısıl işlem yapılmamış pertlit- ferlit çeliğine göre daha yüksek olduğunu anacak artan martenzit hacim oranı ile korozyon direncinin düştüğü bulunmuştur.

% 3.5 NaCl çözeltide perlit-ferlit çeliğiyle karşılaştırarak farklı yapı ve martenzit hacim oranına sahip çeliklerin galvanostatik korozyon davranışını inceleyen Sarkar ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada benzer şekilde çift fazlı çeliklerin korozyon davranışında martenzit hacim oranını ve faz yapısının etkisinin olduğu belirtilmiştir. Martenzit miktarının ve faz bileşenlerinin artmasıyla çelikte yüksek korozyona uğrama hızının arttığı sonucu elde edilmiştir.

Nadlene ve ark. (2011) ise çalışmada kullanılan düşük karbonlu çelikleri 725'den 825 °C'e değişen sıcaklıklarda 25 dakika bekletip sonrasında suda hızlıca soğutarak farklı martenzit hacim oranına sahip çift fazlı çelikler elde edilmiştir. Elde edilen çeliklerin sertlikleri ve korozyon davranışları incelenmiştir. Sonuçta artan martenzit miktarıyla birlikte korozyona uğrama hızının ve sertliğin arttığı görülmüştür.

%32 ve %76 martenzit içereren kritik sıcaklıklar arasında tavlanmış çift fazlı çeliklerin, % 3.5 NaCl çözeltisinde eşik ve en yüksek gerilme yoğunluğu değerleri arasında yorulma çatlama davranışını çalışan Sudhakar ve ark. (1999) tarafından, yükte hasar eşiği değerlerinin kırılma yüzeyi hazırlama aşaması ve korozyon ürünlerinin güçlü sıkma etkileri tarafında yüksek çatlamaya neden olur sonucu elde edilmiştir.

Ramirez-Arteaga ve ark. (2010), tarafından yapılan çalışmada daha çok çift fazlı çeliklerin korozyon direncine ısıl işlemin etkisini 60 °C'de 0,5 M H_2SO_4 çözeltisi içerisinde, kütle kaybı, potansiyodinamik kutuplaşma eğrileri, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve elektrokimyasal gürültü ölçümleriyle incelenmiştir. Deneylerin sonucu, martenzit yüzdesin artması ve ferrit yüzdesinin azalmasıyla korozyon hızının düştüğü gözlemlenmiştir.

Betona gömülü bir çift fazlı çeliğin korozyon performansını, hazırlanan deney düzeneğinden elde edilen sonuçlarla değerlendirildiği çalışmada, Ismail ve ark. (2010), 735 °C'de geleneksel çeliğin arakritik ısıl işlemiyle çift fazlı çelik üretilmiştir. Test numuneleri ilk olarak %3,5 klorür ve deniz suyunda hızlandırılmış korozyon hücresinin

bekletildikten sonra 14 gün süreyle suda bekletilmesiyle yapılan ölçümler sonucunda, korozyon direncinde, çift fazlı çeliğin performansının geleneksel çelikten daha iyi olduğu bulunmuştur.

Yapılan çalışmada, dört farklı ve geleneksel ısıl işlemiyle (sıcak haddelenmiş, normalleştirme, tavlama ve arakritik ısıl işlemi) elde edilmiş çeliklerin elektrokimyasal korozyon davranışını ve iç yapının etkilerini araştırmak amaçlanmıştır. Isıl işlem çeliklerinin nötr pH'da oda sıcaklığın 0,5 M NaCl içinde elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve tafel eğrileri incelenmiştir. Normalleştirme ve tavlama ısıl işlemiyle en yüksek ve en düşük korozyon direnci elde edilmiştir. Arakritik tavlama ve sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çeliklerde benzer korozyon davranışı göstermiştir. Çift fazlı çelikler, martenzitten dolayı oluşan artık gerilmelerden dolayı korozyon direncinde olumsuz etki oluşturduğu doğrulanmasına rağmen, martenzitin orta derecede elektrokimyasal korozyon direnci ile iyi mekanik özellikleri birleştirdiği görülmüştür (Osorio ve ark., 2009).

Daha önce yapılan çalışmalardan çok azında, çift fazlı çelikte artan martenzit ile birlikte korozyona uğrama miktarının düştüğü söylenmiştir (Ramirez-Arteaga ve ark., 2010). Bazıları ise, çift fazlı çeliğin, üretildiği ferrit-perlit çeliğinden daha düşük korozyon hızına sahip olmalarına karşın yapılan bu çalışmada elde edilen artan martenzit miktarıyla birlikte korozyon hızının arttığını söylemiştir (Ismail ve ark., 2010; Bhagavathi ve ark.,2010). Ancak genel olarak yapılan çalışmalar, çift fazlı çeliğin üretildiği çelikten daha yüksek korozyon hızına sahip olduğunu ve artan martenzit hacim oranıyla korozyon hızının arttığını (Keleştemur ve ark., 2008; Keleştemur ve ark., 2009; Sarkar ve ark., 2005; Nadlene ve ark., 2011) söyleyerek bu çalışmayı desteklemiştir.

5.4. Deney Sonrası Numunelerin İncelenmesi

5.4.1. Makro Olarak İncelenmesi

Korozyon deneylerinde 4 farklı arakritik ısıl işlem koşulu ve sadece normalleştirme işlemi yapılmış numune ile tekrarlanarak ölçümler alınmıştır.

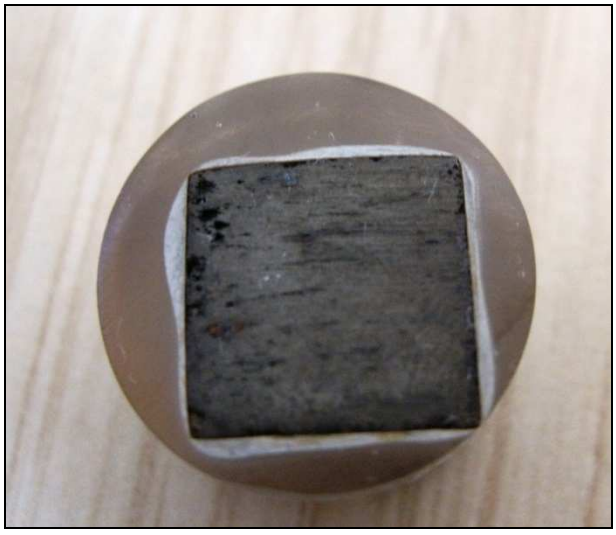
Şekil 5.9' de farklı martenzit hacim oranlarına sahip numunelerin korozyon deneyleri sonrasında görüntüleri verilmiştir.



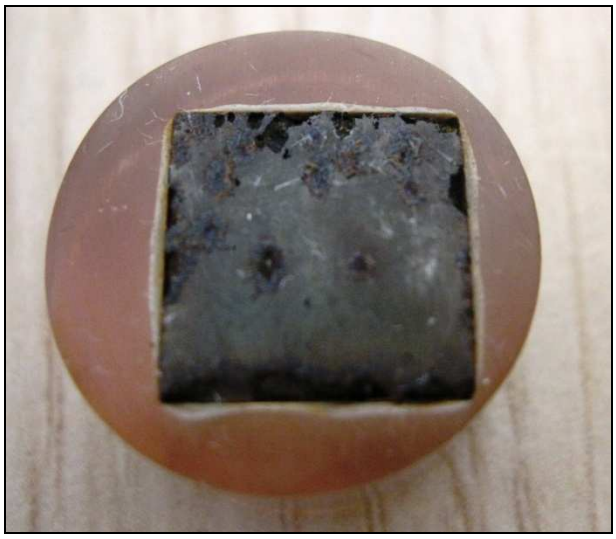
(a) Normalizasyon ısıl işlemi yapılmış çelik numune



(b) 737 °C'de arakritik ısıl işlemi yapılmış çelik numune



(c) 754 °C'de arakritik ısıl işlemi yapılmış çelik numune



(d) 779 °C'de arakritik ısıl işlemi yapılmış çelik numune



(e) 900 °C'de arakritik ısıl işlemi yapılmış çelik numune

Şekil 5.9 Farklı ısıl işlem şartları için korozyon deneyi sonrası görüntüler

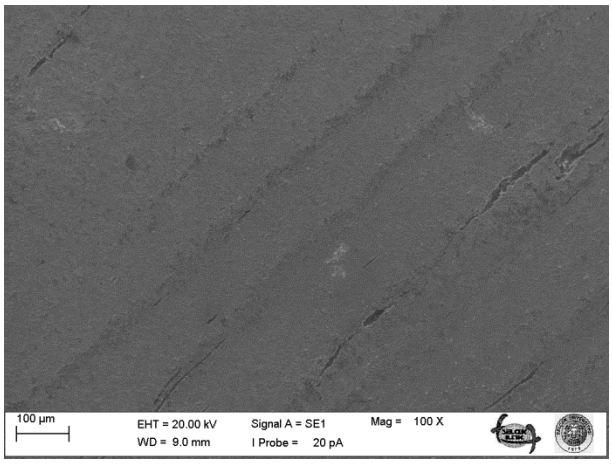
Şekil 5.9' de aynı korozyon hücresinde ve sürede bekletilen numunelerin martenzit hacim oranının artmasıyla birlikte korozyon miktarının arttığı yüzeyde oluşan bozunmadan görülmektedir. Şekil 5.9 (a)' da oluşan korozyonun, numunenin kenarlarında biraz daha fazla görülmekle birlikte yüzeyde çok hafif çizgiler oluşturacak şekilde yüzeyde homojen bir şekilde oluştuğu görülmektedir. Oluşan martenzit ile birlikte Şekil 5.9 (b)' de, çok az da olsa korozyon miktarının arttığını yüzeydeki çok derin olmayan bölgesel çukurlardan ve aşınmalardan görmekteyiz. Şekil 5.9 (c)' de de yüzeydeki kayıplarla birlikte kenarlardan başlayan derin çukurcuklar oluşmaya başlaması korozyonun arttığı görülmektedir. Martenzit miktarının %50 'yi geçtiği Şekil 5.9 (d)' de artık numunenin kenarlarından itibaren fark edilebilir şekilde malzeme kaybının oluşmaya başladığını ve yüzeyin orta kısımlarında az da olsa çukurcukların

oluştuğu görülmektedir. Tamamı martenzit hacim oranına sahip çelik ise Şekil 5.9 (e)' de görüldüğü gibi artık tehlikeli bir korozyon türü olan çukurcuk korozyonun çok fazla arttığını ve bunu yanı sıra malzemenin yüzeyinde yanma şeklinde malzeme renginin değişimine neden olacak şekilde denklem (5.1), (5.4) ve (5.6)'da oluşan kimyasal tepkimelerin çok hızlı olduğu görülmektedir. Görüntülerden elde edilen sonuç, örneklerde artan martenzit hacim oranıyla birlikte korozyona uğrama hızının arttığını göstermektedir. Yapılan çalışmalarda da, çift fazlı çeliklerde artan martenzit hacim oranıyla birlikte korozyona uğrama hızı artmıştır (Sarkar ve ark., 2005; Nadlene ve ark., 2011; Keleştemur ve ark., 2009).

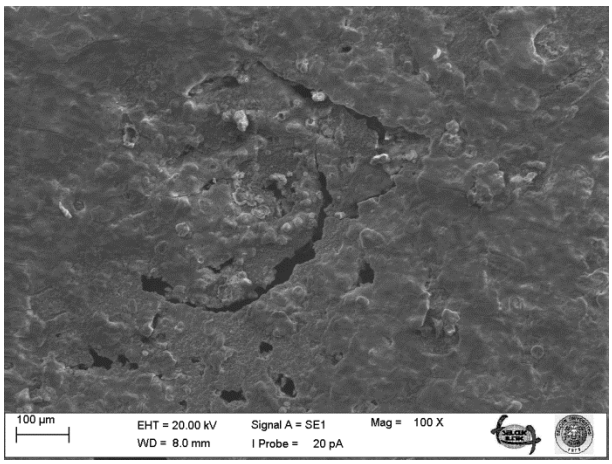
5.4.2. Mikro Olarak İncelenmesi

Korozyon testlerinden sonra her bir ısıl işlem şartı için numunelerin yüzey görüntüleri elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir.

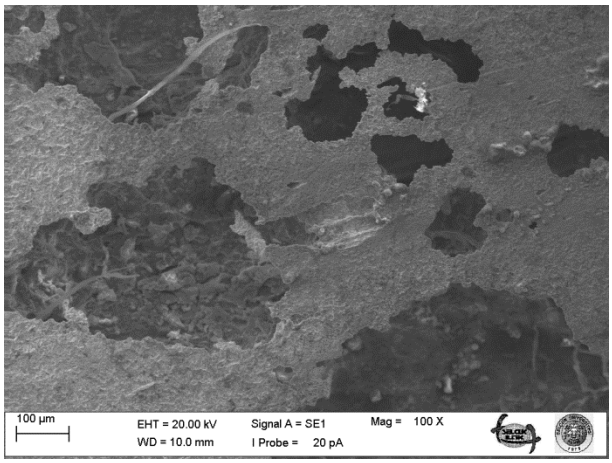
Şekil 5.10' da Şekil 5.9' deki görüntülerin mikron boyutta görüntüleri verilmektedir.



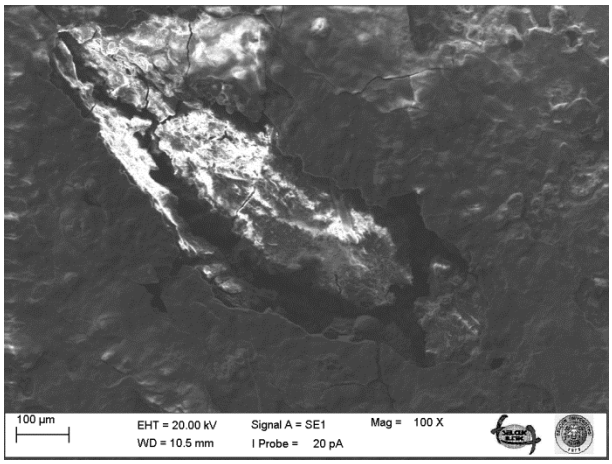
(a) Normalizasyon ısıl işlemi yapılmış çelik numune



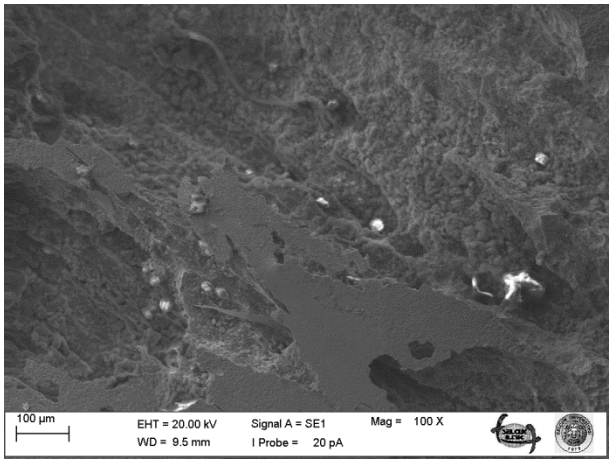
(b) 737 °C'de arakritik ısıl işlemi yapılmış çelik numune



(c) 754 °C'de arakritik ısıl işlemi yapılmış çelik numune



(d) 779 °C'de arakritik ısıl işlemi yapılmış çelik numune



(e) 900 °C'de arakritik ısıl işlemi yapılmış çelik numune

Şekil 5.10 Korozyon testi sonrası elektron mikroskobu görüntüleri

Şekil 5.10'da numunelerin elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde Şekil 5.10 (a)'da yüzeyde çok hafif ve homojen bir şekilde bir bozunmanın olduğu görülmektedir. Şekil 5.10 (b)' de ise, pürüzlülüğün arttığını yani korozyon olayının oluşmaya başlayan martenzit ile birlikte

arttığı görülmektedir. Şekil 5.10 (c), Şekil 5.9 (c)'deki fotoğraftan da görüleceği gibi korozyon miktarının ortaya kısımlara göre biraz daha fazla olduğu kenardan alınan görüntü alınmıştır. Bu da oluşmaya başlayan çukurcukları ve artan korozyonu göstermektedir. Şekil 5.10 (d)' de elektron mikroskobu ile alınan görüntü numunenin kenar kısımlarına göre daha az korozyon olan iç kısımlarından alınmıştır. Buna rağmen derin bir çukur oluşumunu ve çok fazla bozunmuş bir yüzeyi göstermektedir. Şekil 5.10 (e)' de ise tam martenzit hacim miktarına sahip numunenin yüzeyinde artık çok fazla madde kaybının bile oluşmaya başladığı görülmektedir. Kısaca Şekil 5.10 artan martenzit hacim miktarıyla birlikte numune yüzeyinin daha çok bozunduğunu yani korozyon miktarının daha fazla olduğunu göstermektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

1-) Çift Fazlı Çeliklerde arakritik ısıl işlem sıcaklığı arttıkça, artan martenzit hacim oranı arttığı görülmüştür.

2-) Çeliklerde artan martenzit hacim oranıyla birlikte çift fazlı çeliğin sertlik değerleri arttığı belirlenmiştir.

3-) Düşük alaşımlı ve düşük karbonlu bir çeliğin, 1,0 M HCl asit içerisindeki korozyon davranışının incelemek için ölçülen yarı logaritmik akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen akım yoğunluğu değerlerinden anlaşılacağı üzere uygulanan arakritik ısıl işlemleriyle birlikte artan martenzit miktarının etkisiyle korozyona uğrama hızının arttığı görülmektedir.

4-) β_c sabitinin belirgin bir değişim göstermemesiyle hidrojen oluşma mekanizmasının her numune için aynı olduğunu göstermektedir. β_c 'de oluşan ufak farklılıkların sebebi, ölçümler sırasında numuneler için cihazdan okunan E_{cor} değerlerindeki farklılıklardır.

5-) Doğrusal kutuplaşma yöntemiyle, yalnızca normalleştirme işlemi yapılan çelik ile arakritik ısıl işlemi yapılarak farklı martenzit hacim oranlarına sahip çelikler kıyaslandığında martenzit hacim oranı arttıkça kutuplaşma direnci değerlerinin düştüğü görülmüştür.

6-) Empedans yöntemiyle elde edilen polarizasyon dirençlerinde de azalan dirençle birlikte korozyon hızının arttığını ve doğrusal kutuplaşma direnci ve yarı logaritmik akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

7-) Empedans yöntemiyle elde edilen eğrilerin ZView yazılımı yardımıyla hesaplanan kapasitans değerlerinde de artan kapasitans değerleriyle birlikte korozyona uğrama hızının arttığı gözlemlenmektedir.

8-) n değerinin 1 'den uzaklaşması ile ideal bir kapasitans gibi davranmayan devreden dolayı korozyon ürünlerinin elektrot çevresinde biriktiği görülmüştür.

9-) Çift fazlı çelikte, orta martenzit hacim oranına kadar korozyon davranışı açısından çok bir değişikliğin olmadığını ancak bu noktadan sonra ferrit-perlit çeliği ile arasında çok fark olduğu gözlemlenmiştir.

6.2. Öneriler

Yarı logaritmik akım-potansiyel eğrilerine göre daha hızlı ve malzeme yapısını bozmadan ölçüm alabilmeyi sağlayan doğrusal kutuplaşma eğrileri ve bu avantajlara ek olarak yüksek dirençli ortamlarda bile ölçüm alınabilen, alternatif akımla (AC) empedans yöntemleri çalışmada elde edilen sonuçlarda her üç yönteminde birbirini destekler sonuçlar vermesinde dolayı alternatif ölçüm yöntemleri olarak korozyon ölçümlerinde tercih edilebilirler.

Çift fazlı çelikte artan martenzit hacim oranıyla korozyon hızındaki değişmeyi destekler bir çok çalışma olmasına karşın, çift fazlı çelik ver üretildiği ferrit-perlit çeliği arasındaki kıyaslamada farklı sonuçlar elde edilebilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda bu iki çelik türünün kıyaslamasını farklı bileşen ve korozyon hücrelerinde karşılaştırması yapılabilir.

KAYNAKLAR

Aaronson, H.I., The Decomposition Of Austenite By Diffussional Process, Newyork, Interscience, 1962.

Acarer M.,2005. 'Düşük Karbonlu Çelik Saclardan Çift-Fazlı Çelik Üretimi Ve MHO'nın Çekme Özellikleri Üzerine Etkisi', TEKNOLOJİ, Cilt 8, Sayı 3, 237-244

Akay, S. K.,2005, Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çift Fazlı Çelikerin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa

Aksoy, M., Duel Faz Çeliklerin Mekanik Özelliklerine Mikroyapının Etkisi, 3. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 33-44, Mayıs 29-31, 1989.

Bakkaloğlu, A., Sönmez, N., Çift Fazlı Çeliklerin Makine Konstrüksiyonlarında Kullanılabilirlik Sınırları, 3. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 23-32, Mayıs 29-31, 1989.

Bayol, E.,Hekzametilentetramin'in klorürlü ve sülfatlı ortamlarda çeliğin korozyon davranışına etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2005.

Bhagavathi L. R., Chaudhari G. P. ve Nath S. K., 2010. 'Mechanical and Corrosion Behavior of Plain Low Carbon Dual-Phase Steels', Materials & Design Volume 32, Issue 1, Pages 433–440

Can, A.H., Malzeme Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2006.

Chang, W.J., Kim, C.H., Ferrite Growth on Cooling After Intercritical Annealing of Fe-Mn-C Dual Phase Steels, Canadian Metalurgical Quartery, 20 (3), 339-350, 1981.

Çalışkan, E., 2012, " Karbon Çeliğinin HCl Asit Çözeltisindeki Korozyonun Allontoin Moleküllerinden Sentezlenen Schiff Bazının İnhibitör Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 92 s., Osmaniye.

Çimenoğlu, H., Çift Fazlı Çeliklerin Deformasyon Davranışı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1988.

Dağaşan, E., 2007, Çift Fazlı Çeliklerin Eroziv Aşınma Davranışı, Yükse Lisans Tezi,

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri

Danielson, M.J., 1980. Analysis Of Errors İn Using The Two Elektrode and Three Electrode Polarization Resistance Methods İn Measuring Corrosion Rates. Corrosion- NACE, 36, (4), April, 174-177.

Davies, R.G. (1978) Influence Of Martensite Composition And Content On The Properties Of Dual Phase Steels, Met. Trans. V. 9A, pp.671-679.

Demir, B., Çift Fazlı Çelik Üretimi, Çift Fazlı Çeliklerde Martenzit Hacim Oranı ve Morfolojisinin Çekme Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1997.

Deniz H., 2009. ‘ Çift Fazlı Bir Çeliğin 7,62 mm’lik Zırh Delici Mermi Karşısında Balistik Davranışının İncelenmesi’, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Doruk, M. 1982. Korozyon ve Önlenmesi, O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, Yayın No: 70, 198s

Durmuş, A., 2000, “Dual Fazlı Çeliklerde Gerilme-Sekil Değiştirme Eğrilerinin Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 119 s., Bursa.

Erbil, M.,1987. Alternatif Akım (AC) Empedansı Yöntemiyle Korozyon Hızı Belirlenmesi. Doğa, 3: 100-111.

Erbil, M., Korozyon 1, Segem, Ankara, pp. 1-248, 1985.

Erbil, M., Korozyon Hızının AC İmpedans Tekniği ile Ölçümü ve Uygulamaları. VIII. Uluslararası Korozyon Sempozyumu, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, pp. 29–40, 2002.

Fine, L.W., Beall, H., Chemistry for Engineers and Scientists. S aundersCollegePublishing, International Ed., Philadelphia, USA, pp. 707-755, 1990.

Gabrielli, G. and Keddan, M., Review of Application of Impedance and NoiseAnalysis to Uniform and Localized Corrosion, Corrosion, 48, pp.794–810,1992.

Garcia, C.I., DeArdo, A.J., Metal. Transaction, 12 A, 521-530, 1981. Honeycombe, R.W.K. and Bhadeshia, H.K.D.H. (1995) Steels Microstructure and Properties 2nd edn., Butterworth-Heinemann pp.211-212.

Geip, M.D., Matlock, D.K., Krauss, G., The Effect of Intercritical Temperature on The Structure of Niobium Microalloyed Dual Phase Steel, Metarials Transsaction A, 11A, 1683-1689, 1980.

GERENGİ, H., 2008. Tafel Polarizasyon (TP), Lineer Polarizasyon (LP), Harmonik Analiz (HA) ve Dinamik Elektrokimyasal impedans Spektroskopisi (DEIS) Yöntemleriyle Düşük Karbon Çeliği (AISI 1026), Pirinç-MM55 ve Nikalium-118 Alaşımlarının Yapay Deniz Suyunda Korozyon Davranışları ve Pirinç Alaşımlarına Benzotriazol'un İnhibitor Etkisinin Araştırılması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Güral A., Erdoğan M., Şeker U. Ve Korkut İ., 'Çift Fazlı Çeliklerde Martensit Hacim Oranına Bağlı Olarak Kesici Uçta Aşınma Ve Sıvanma (BUE) Oluşumu Eğilimin Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi'

Gürten, A.A., Polivinilprolidon (PVP) ve tiyosemikarbazitin (TSC) betonarme demirinin korozyon davranışına ve beton dayanımı üzerine etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2002.

Hayat F., Demir B., Acarer M., 2007.' 0,076C VE 1,74 Mn'LI Çift-Fazlı Çeliklerin Mikroyapı-Dayanım İlişkisi Ve Kırılma Davranışları' TEKNOLOJİ, Cilt 10, Sayı 2, 123-129

Hoşhan, P., 1994. "Beton İçindeki Çeliğin Korozyonun Üç Elektrot Yöntemiyle İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 78s., Ankara.

Kabakçı,F.,2006, Çift Fazlı Çeliklerde Mikroyapının Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük

Keleştemur O., Aksoy M. ve Yıldız S.2009), 'Corrosion Behavior of Tempered Dual Phase Steel Embedded in Concrete' International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials Volume 16, Issue 1, Pages 43–50

Keleştemur O., Yıldız S., 2008. 'Ara Kritik Su Verme Çift-Faz Isıl İşleminin Betonarme Çeliğinin Korozyon Davranışına Etkisi' Politeknik Dergisi Cilt:11 Sayı: 2 s.187-192

Kim, J.K., Lee, G.J., Lee, S., Effects of Martensite Morphology on Dynamic Torsional Behaviour in Dual Phase Steels, Scripta Materialia, 38(1), 27-32,1998.

Kim, N.J. and Thomas, G. (1981) Effects of morphology on the properties of a Dualphase Fe/2Si/0.1C/steel, Met. Trans. Vol.12A, pp.483-489.

Krauss, G., Steels, ASM International, Materials Park, Ohio 2005.

Ismail, M., Hamzah, E., Guan, G.C., Rahman, I.A., Corrosion Performance Of Dual-Phase Steel Embedded in Concrete, Arabian Journal For Science And Engineering, 2B, 81-90, 2010

Leçe, H.D., 2008, 'Bazı Makro Yapılı Aromatih Shiff Bazlarının Asidik Ortamdaki Çelik Korozyonuna İnhibitör Etkisinin Araştırılması', Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, 99 s., Ankara

Llewellyn, D. T. and Hillis, D. J. (1996) Dual Phase Steels, Ironmaking and Steelmaking Review Vol. 23, pp. 471-478.

Mamaş, S., 2003. Alüminyumun Polipirol Filmlerle Kaplanması ve Korozyona Karşı Etkinliğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, 6-18, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Matlock, D.K., Krauss, G., Ramos, L.F., Huppi, G.S., A Correlation of Processing Variables With Deformation of Dual Phase Steels, Structures And Properties of Dual Phase Steels, 62-89, 1979.

Nadlene R. ,Esah H., Norliana S., Mohd Irwan M.A., 2011.' Study on the Effect of Volume Fraction of Dual Phase Steel to Corrosion Behaviour and Hardness' World Academy of Science, Engineering and Technology 74

Oni A., 1999. 'Effects of cathodic overprotection on some mechanical properties of a dual-phase low alloy steel in sea water' Construction and Building Materials, Volume 10, Issue 6, Pages 481-484

Osorio, W.R.,Peixoto, L.C., Garcia, L.R., Garcia, A., Electrochemical Corrosion Response of a Low Carbon Heat Treated Steel in a NaCl Solution, Materials And Corrosion-Werkstoffe Und Korrosion, 804-812, 2009

Özkır, D., Kaya Kırılmaz, K., Bayal, E., Gürten, A. A., Kandemirli, F., 2008, 'Katodik Tafel Sabiti Değerlerinin Belirgin Bir Değişim Göstermemesi Hidrojen Oluşum Mekanizmasının Değişmediğinden Kaynaklanmaktadır.'

Ramirez-Arteaga, A.M., Gonzalez-Rodriguez, J. G., Campillo, B., Gaona-Tiburcio, C., Dominguez-Patino, G., Lezama, L.L., Chacon-Nava, J.G., Neri-Flores, M. A.,

Martinez-Villafane, A., An Electrochemical Study of the Corrosion Behavior of a Dual Phase Steel in 0.5M H_2SO_4, International Journal Of Electrochemical Science, 1786-1798, 2010

Salamcı E., Kabakcı F.,2011. 'Çift Fazlı Çeliğin Çekme Özelliklerine Mikroyapını Etkisi', Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 26, No 2, 263-272

Saleh, M.H., Priestner, R., Retained Austenite in Dual Phase Silicon Steels and Its Effect on Microstructure, Journal of Materials Processing Technology, 113, 587-593, 2001.

Salmaz, R., Kardaş G., Yazıcı B., Erbil, M., 2008, 'Adsorption and Corrosion İnhibitive Propertities of 2-amino-5-mercapto-1,2,3 thiadionalre on mild steel in HCl media ', Colloid and Surface A, 312

Sarkar P.P., Kumar P., Manna M.K. ve Chakraborti P.C., 2005. ' Microstructural influence on the electrochemical corrosion behaviour of dual-phase steels in .5% NaCl solution', Materials Letters Volume 59, Issues 19–20, Pages 24 2491

Savaşkan, T., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. K.T.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1990.

Speich, G.R., Dual Phase Steels, v.1, pp.424-429, ASM Handbook, 1993.

Speich, G.R., Demarest, V.A., Miller, R.L., Formation of Austenite During Intercritical Annealing of Dual Phase Steels, Metarials Transsaction A, 1981.

Süvari, Y., 2007, " Sarı Kantaron ve Ceviz Yaprağı Bitkilerinin Yumuşak Çeliğin Korozyonu Üzerine İnhibitör Etkilerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 78 s., Adana.

Topbaş, M.A., Isıl İşlemler , Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Ekim 1993.

Topçu O., Übeyli M., Demir T., 2010. ' On The Hardenability of an İntercritically Heat Treated Microalloyed Steel', İnstrumentation Science & Technology, 38:2, 178-186

Topçu O., Übeyli M., 2009. 'On The Microstructural and Mechanical Characterization of a Low Carbon and Mİcro-Alloyed Steel', Materials and Design 30 3274-3278

Tüken, T., Yazıcı, B. and Erbil, M., An Investigation on Natural Occuring Corrosion Inhibitors, in Procedding of the 9th European Symposium on CorrosionInhibitors(9 SEIC) Ann.Univ. Ferrara N.S., Sez. V, Suppl: 11, pp. 115–126, 2000.

Türkmen M. ve Gündüz S., 2011. 'Çift Fazlı Çeliklerde Martenzit Morfolojisinin Statik Deformasyon Yaşlanmasına Etkisi' 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey

Ulu S. "Din17CrNiMo6 Çeliğinin Mikroyapı Özelliklerine Kritik Sıcaklıklar Arası Isıl İşlemlerin Etkisi" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2009, (6), 79-88

Ulu S., Çift Fazlı Çelikler, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2009, (6), 100-113

Übeyli M., Demir T., Deniz H., Yıldırım R.O., Keleş Ö., 2010. 'İnvestigation on The Ballistic Performence Of Dual Pahse Steel Against 7.62 mm AP Projectile', Materials Science and Engineering A 527 2036-2044

Üneri, S., 1998. Korozyon ve Önlenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizikokimya Anabilim Dalı Korozyon Derneği, The Corrosion Associatıon, Ankara, 136, 152, 167, 284, Ankara.

Yalçın, H., Gürü, M., Malzeme Bilgisi, Palme Yayıncılık, Ankara, 2002.

Yong, D.Z., Brown, E.L., Matlock, D.K., Krauss, G., The Formation of Autenite At Low Intercritical Annealing Temperatures In a Normalized 0.08C, 1.4 Mn-0.21 Si Steel, Metarials Transsaction A, 8A, 1523-1526, 1985

Zeren, M. A., 1999, 'Elektrokimya: Temel Bilgiler', İstanbul, Birsen Yayınevi

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Demet Kayretli
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Sungurlu/08.08.1987
Telefon : 05302939479
Faks : -
e-posta : demetkayretli@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**		**Bitirme Yılı**
Lise	:	Doğantepe Ç.P.L	Altındağ /ANKARA	2005
Üniversite	:	Atatürk Üniversitesi	Merkez /ERZURUM	2009
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi	Selçuklu /KONYA	2013
Doktora	:			