



**YAPI PROFİLLERİNDE
SOĞUTMA PARAMETRELERİNİN
ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aytaç BULUT

Danışman

Prof. Dr. Taner KAVAS

**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Eylül 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI PROFİLLERİNDE SOĞUTMA PARAMETRELERİNİN
ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Aytaç BULUT

Danışman
Prof. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Eylül 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Aytaç BULUT tarafından hazırlanan “Yapı Profillerinde Soğutma Parametrelerinin Ürün Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 18/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Taner KAVAS

Başkan : Doç. Dr. Hakan GAŞAN
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Taner KAVAS
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Ziya Özgür YAZICI
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

18/09/2019

Aytaç BULUT

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**YAPI PROFİLLERİNDE SOĞUTMA PARAMETRELERİNİN ÜRÜN
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Aytaç BULUT
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Taner KAVAS

Orta ölçekli hadde işletmelerinde katma değeri yüksek olan hızlı üretim prosesleri ve ürünleri tercih edilmektedir. Bu nedenle bu işletmeler için yapı profili üretmek, ciddi bir öneme sahiptir. Diğer yandan, yapı profilleri kullanım yerlerinden dolayı birçok iç ve dış etkenlere maruz kalmaktadır. Sıcak haddelenen yapı profillerinde su verme işlemi yoğunlukla tercih edilmekte ve bu sayede daha hızlı bir üretim yapılarak üretim kapasitesi artırılmaya çalışılmaktadır. Su verme işlemi ise farklı üretim noktalarında ve farklı teknikler ile yapılabilmektedir. Bu teknikler sayesinde profil mikroyapıları ve son ürün özellikleri geliştirilebilmektedir. Bu çalışmada su verme durumu değiştirilerek son ürün özelliklerine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Yapı profillerinin kullanımı günümüzde birçok alanda göze çarpmaktadır. Bu kullanım alanları enerji, gemi, maden, köprü, otomotiv gibi birçok alanı kapsamaktadır. Literatürde ve uygulamada sıcak haddeleme işlemi sonucu elde edilen malzemenin mikroyapısı ve mekanik özellikleri çeliğin kullanım alanına göre değişmekle birlikte çok önemli bir yere sahiptir. Malzemeden beklenen mekanik özelliklerin sağlanması ve istenilen mikroyapının elde edilmesi ise büyük ölçüde çeliğin soğutulması ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada geleneksel haddelemedeki soğutma durumundan farklı olarak malzeme özelliklerini iyileştirici bir soğutma pratiği önerilmiştir. Geleneksel haddelemedeki soğutma durumları incelendiğinde çeliğin sadece soğuması için yapılan bir proses adımı olduğu görülmektedir. Soğutma durumu bir proses adımından ziyade aslında prosesi geliştirici yenilikçi bilgileri içinde barındıran bir işlem mekanizmasıdır. Genel bir soğutma sistemi su verme bölgesi ve soğutma suyu temin devresinden oluşmaktadır.

Bu çalışmada düşük alaşımlı yapı çeliklerinden üretilen köşebent imalat sürecindeki başlıca soğutma parametreleri (su basıncı, nozul-numune mesafesi ve açılı nozulların konumu) belirlendikten sonra su verme işleminin korozyon davranışı, mekanik ve mikroyapısal değişimleri araştırılmıştır. Kardemir Haddecilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. haddehanesinde yapılan bu çalışmada su verilmemiş bir 50x50x5 mm köşebent numunesi, direk su verilmiş 50x50x5 mm köşebent numunesi ve hadde hızı 13 m/sn, hadde çıkış sıcaklığı 950 °C olan ve 48 m'lik taraklı platformun tayin edilen soğutma bölgesinde JBU-1/4"-90° nozulları ile 350 mm mesafeden 10 °C 'lik su sıcaklığı ve 1.2 bar su basıncı sayesinde beş tarağın her birinde 3.58 sn süre ile soğutulmuş 50x50x50 mm'lik S275JR kalite köşebent numunelerinin özellikleri karşılaştırılmıştır. Soğutma pratiği yapıldıktan sonra her numunenin mekanik özelliklerinin ölçümleri yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri optik mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır. Malzemenin son faz yapısı X-ışınları kırınımı (XRD) yöntemiyle analiz edilmiştir. Numunelerin korozyon davranışı tuz testi ile analiz edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilerek bu çalışmada kullanılan soğutma pratiği sayesinde , proses gereği kullanılması gereken sulu soğutmanın optimum noktası tayin edilmiştir. Malzeme için en doğru soğuma çeşidi olan, kendi ortam koşullarında soğumada ki özelliklerine yaklaştırılması amaçlanıp, sürekli malzemeye su verilme şartlarında oluşabilecek durumlar karşılaştırılmıştır. Uygulanan soğutma pratiği sonucu malzemenin mekanik değerlerinde çok az artış gözlemlenmiştir. Sertlik değerinde artış ve tokluğunda azalma görülse de sürekli soğutmaya göre bu değerler belirgin avantajlar göstermektedir. Bu durum nihai ürünün diğer proses aşaması olan doğrultma da daha iyi doğrulmasına ve üretim hızında herhangi bir yavaşlama yaratmadan standart dahilinde katma değerli ürün elde edilmesini sağlamıştır.

2019, xii + 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yapı Profili, Soğutma Pratiği, Mikro-yapı, Korozyon, Haddeleme

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**EFFECTS OF COOLING PARAMETERS ON PRODUCT PROPERTIES IN
BUILDING PROFILES**

Aytaç BULUT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Prof. Taner KAVAS

Fast production processes and products with high added value are preferred in medium-sized rolling mills. Therefore, it is of great importance to produce building profiles for these enterprises. On the other hand, building profiles are exposed to many internal and external factors due to their place of use. In hot rolled structure profiles, quenching process is preferred and thus, production capacity is increased by making a faster production. The quenching process can be carried out at different production points and with different techniques. Through these techniques, profile microstructures and end product properties can be improved. In this study, it is aimed to contribute to end product properties by changing the quenching status. Today, the use of building profiles stands out in many areas. These fields of application cover many fields such as energy, ship, mine, bridge, automotive. In the literature and practice, the microstructure and mechanical properties of the material obtained as a result of the hot rolling process vary according to the field of use of steel, but have a very important place. The expected mechanical properties of the material and the desired microstructure are achieved by cooling the steel to a large extent. In this study, a cooling practice which improves the material properties is proposed in contrast to the cooling condition in conventional rolling. When the cooling conditions in conventional rolling are examined, it is seen that the steel is a process step for cooling only. The cooling state is not a process step, but rather a process mechanism that incorporates innovative information that improves the process. A general cooling system consists of a quench zone and a cooling water supply circuit.

In this study, after determining the main cooling parameters (water pressure, nozzle-sample distance and position of angled nozzles) in the gusset manufacturing process produced from low alloy structural steels, corrosion behavior, mechanical and microstructural changes of the quenching process were investigated. In this study carried out in the rolling mill of Kardemir Haddecilik Sanayi ve Ticaret A.Ş., a 50x50x5 mm gusset sample without water, 50x50x5 mm gusset sample with direct quenching and a rolling speed of 13 m / sec , the rolling output temperature of 950 °C ve and 48 m the properties of 50x50x5 mm S275JR quality angle specimens cooled by 3.58 sec in each of the five combs were compared with the JBU-1/4 " - 90 ° nozzles in the cooling zone with a water temperature of 10 °C ve at a distance of 350 mm ve and a water pressure of 1.2 bar. After the cooling practice, mechanical properties of each sample were measured. Microstructure investigations were performed with optical microscope and Scanning Electron Microscopy (SEM).The final phase structure of the material was analyzed by X-ray diffraction (XRD) method. Corrosion behavior of the samples was analyzed by salt test. By evaluating the obtained data, the optimum point of the aqueous cooling required for the process was determined by the cooling practice used in this study.. The most accurate cooling type for the material is aimed to be brought closer to the cooling properties in its own ambient conditions and the situations that may occur under the conditions of continuous water supply are compared. A small increase in the mechanical values of the material was observed as a result of the cooling application. Although there is an increase in hardness value and a decrease in toughness, these values show significant advantages over continuous cooling. This has led to better straightening of the final product, the other process step, and to achieve value-added products within the standard without any slowdown in production speed.

2019, xii + 60 pages

Keywords: Building Profile, Cooling Practice, Micro-structure, Corrosion, Rolling

TEŞEKKÜR

Bu çalışma konusu ile ilgili olarak yüksek lisans tezim ve bu eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen, her konudaki üstün bilgi ve tecrübesine güvendiğim değerli hocam Sn. Prof. Dr. Taner KAVAS'a tüm ilgi ve alakalarından dolayı teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında desteğini eksik etmeyen Kardemir Haddecilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. ailesine teşekkür ederim.

Ayrıca hem ilköğretimden itibaren ders aldığım tüm öğretmenlerime hem de lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana gerekli bilgi ve tecrübeleri en iyi şekilde aktarmaya çalışan tüm hocalarıma teşekkür ediyorum. Her türlü desteğiyle çalışmalarımda görüş ve teknik destek ileten değerli hocam ve dostum Öğr. Gör. Samet ABBAK'a teşekkür ederim.

Bu çalışmaya başlamamda ve devamında her türlü çıkabilecek engele karşı bir gün olsun tereddüt etmeden desteğini hissettiren değerli eşime, kararlı ve dik duruş göstermemde yegane kılavuzum olan değerli anne ve babama, gülen yüzüyle evimin neşe kaynağı olan değerli kızıma teşekkür ederim.

Aytaç BULUT

AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Demir Çelik ve Haddelenin Tarihçesi	3
2.2 Çelik Üretimine Genel Bakış	5
2.3 Çelik Üretim Prosesi	8
2.4 Haddelme ve İşlevleri	9
2.4.1 Sıcak Haddelme	10
2.4.2 Soğuk Haddelme	11
2.5 Kardemir Haddecilik A.Ş. Yapı Profil Üretim Prosesi	13
2.6 Düşük Alaşımlı Yapı Çelikleri ve Kullanım Alanları	20
2.7 Yapı Profillerinde Soğutmanın Önemi	24
3. MATERYAL ve METOT	26
3.1 Deney Düzenegi ve Programı	26
3.2 Soğutma Pratiği Deneylerinin Yapılışı	30
3.3 Deneylerde Kullanılan Malzemeler	34
3.3.1 Hammaddeler ve Özellikleri	34
3.3.2 Kimyasal Sıvılar	35
3.4 Numune Hazırlama	35
3.4.1 Soğutma Pratiği Numunelerinin Hazırlanması	35
3.4.2 Test Numunelerinin Hazırlanması	36
3.4.3 Çekme testi ve Numunelerinin Hazırlanması	37
3.4.4 Darbe testi ve Numunelerinin Hazırlanması	38
3.4.5 Tuz testi ve Numunelerinin Hazırlanması	40

3.4.6 Metalografi Numunelerinin Hazırlanması.....	41
3.4.7 Sertlik ölçümü ve Numunelerinin Hazırlanması	44
3.5 Kristal Yapı (Faz) Analizi (X-Işını Kırınımı, XRD)	47
3.6 Mikro Yapı Analizi (Taramalı Elektron Mikroskopu, SEM)	48
4. BULGULAR	49
4.1 Mekanik Özellik Test Sonuçları	49
4.2 Tuz Testi Sonuçları	50
4.3 Optik Mikroskop Mikro Yapı Analiz Bulguları	51
4.4 Kristal Yapı (Faz) Analizi (X-Işını Kırınımı, XRD) Bulguları	54
4.5 Mikro Yapı Analizi (Taramalı Elektron Mikroskopu, SEM) Bulguları	55
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	57
6. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ	61

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

J	Absorbe edilen enerji miktarı (joule)
N/mm ²	Akma ve Çekme dayanımı (MPa)
V _{hadde}	Haddeleme finish çıkış hızı (m/sn)
L _o	İlk boy (mm)
C	Karbon
kV	Kilovolt (v)
T	Sıcaklık (°C)
T _{sulama}	Soğutma bölümü sulama süresi (sn)
P _{max}	Soğutma suyu basıncı (bar)
R	Yarıçap (mm)
A	Yüzey alanı (m ²)

Kısaltmalar

AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
HRB	Brinel Sertlik Değeri
HSLA	Yüksek mukavemetli düşük alaşım çeliği
KN	Kilonewton
NA	Nitrik asit (HNO ₃)
RSD-A	Rockwell Sertlik Değeri
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Çelik üretiminin ve şekillendirme teknolojilerinin gelişimi	4
Şekil 2.2 Dünya çelik üretiminde 1870’den beri gelişen durum.....	5
Şekil 2.3 Çeşitli malzemelerin geri dönüşüm oranı	6
Şekil 2.4 1984-2006 yılları arası çelik ürün gelişimi	7
Şekil 2.5 1974-1994 yılları arası çeşitli ürün fiyatları.....	7
Şekil 2.6 Çelik üretim süreci akış şeması.....	9
Şekil 2.7 Kardemir Haddecilik üretim akış şeması.	14
Şekil 2.8 Su kutusu nozul yerleşim düzeni.	19
Şekil 2.9 Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerde katı çözelti güçlendirme etkileri.	21
Şekil 2.10 Dönüşüm sıcaklığının çekme dayanımı ile ilişkisi.	22
Şekil 3.1 Soğutma pratiği bölgesi ve taraklı platform kesit görünümü.....	27
Şekil 3.2 Nozulların platform altındaki yerleşimi.	28
Şekil 3.3 Soğutma deney düzeneği şasesi.	28
Şekil 3.4 Deney programı aşamaları.	29
Şekil 4.1 KDR 1 numunesi çekme test grafiği görünümü.....	49
Şekil 4.2 KDR 1 numunesi optik mikroskop 100x (üst) ve 500x (alt) büyütme görüntüleri.....	51
Şekil 4.3 KDR 2 numunesi optik mikroskop 100x (üst) ve 500x (alt) büyütme görüntüleri.....	52
Şekil 4.4 KDR 3 numunesi optik mikroskop 100x (alt) ve 500x (üst) büyütme görüntüsü.....	53
Şekil 4.5 KDR1, KDR2, KDR3 numunesi karşılaştırmalı XRD analiz sonucu.....	54
Şekil 4.6 KDR1 numunesine ait (a)5000x ve (b)2500x’te incelenen SEM mikroyapı fotoğrafları.....	55
Şekil 4.7 KDR2 numunesine ait (a)5000x ve (b)2500x’te incelenen SEM mikroyapı fotoğrafları.....	55
Şekil 4.8 KDR3 numunesine ait (a)5000x ve (b)2500x’te incelenen SEM mikroyapı fotoğrafları.....	56
Şekil 4.9 KDR1-2-3 numunesi için EDS analiz görünümü.	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Kullanılan hammaddenin özellikleri.....	34
Çizelge 3.2 Kullanılan kimyasal sıvıların özellikleri.....	35
Çizelge 3.3 Çekme numunesi ölçüleri.....	38
Çizelge 4.1 Karşılaştırmalı mekanik test sonuçları.....	49



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Sıcak haddeleme tezgah görünümü.	11
Resim 2.2 Soğuk haddeleme tezgah görünümü.	12
Resim 2.3 Kütük sahası istif durumu.	15
Resim 2.4 Kütük kesme makinesi yerleşim ve kesim işlemi.	15
Resim 2.5 Fırından çıkan kütüğün görünümü.	16
Resim 2.6 Kaba hadde tezgah görünümü.	17
Resim 2.7 Dik tezgah grubu görünümü.	17
Resim 2.8 Orta hadde tezgah grubu görünümü.	18
Resim 2.9 Finish tezgahından çıkan demirin ilerleyişi.	18
Resim 2.10 Su kutusu iç ünite görünümü.	19
Resim 2.11 Taraklı soğutma platformu görünümü.	20
Resim 2.12 Gemi montajı kesit görünümü.	23
Resim 2.13 Köşebentlerden oluşan enerji nakil hattı görünümü.	23
Resim 2.14 Geleneksel yöntemle doğrudan su verme işlemi.	24
Resim 2.15 Kafaları kırılmış olan 25x25x2.2 mm köşebent profili.	25
Resim 2.16 Platformda doğrultması bozulan malzemenin kamera görüntüsü.	25
Resim 3.1 Protherm-PLF 110/6 markalı fırın.	30
Resim 3.2 KDR 2 numunesine uygulanan soğutma pratiği yer görünümü.	31
Resim 3.3 KDR 3 numunesine uygulanan soğutma pratiği (a) başlangıç görünümü ve (b) bitiş görünümü.	32
Resim 3.4 KDR 3 numunesine uygulanan soğutma pratiği (a) numune ilk değişimi ve (b) ikinci değişimi görünümü.	33
Resim 3.5 OBLF GS 1000 II optik spektrometre cihazı.	34
Resim 3.6 50x50x5 mm köşebent üretim akış görüntüsü	35
Resim 3.7 HARDINGE VMC 800II model CNC dik tezgahı görünümü.	36
Resim 3.8 ALŞA UTM 100 test cihazı.	37
Resim 3.9 Çekme testi numune resmi.	38
Resim 3.10 JBS 300 B Charpy darbe test cihazı.	39
Resim 3.11 Charpy darbe testi numune görünümü.	39
Resim 3.12 WELTECH SP 110 marka tuz testi cihazı görünümü.	40

Resim 3.13 Tuz testi numunelerinin yerleşim görünümü.	41
Resim 3.14 HARDWAY HCM 60 modele sahip kesme cihazı görünümü.	42
Resim 3.15 HARDWAY ZXQ -2 model bakalite alma cihazı görünümü.....	43
Resim 3.16 HARDWAY MT S2 model zımpara ve parlatma cihazı görünümü.....	44
.Resim 3.17 HARDWAY HRS 150 D model sertlik cihazı görünümü.....	45
Resim 3.18 Rockwell sertlik ölçüm numunesi görünümü.	46
Resim 3.19 Bruker D8 Advance marka X-ışınları kırınım cihazı (AKÜ TUAM).....	47
Resim 3.20 LEO 1430VP markalı taramalı elektron mikroskobu (AKÜ TUAM).	48
Resim 4.1 (a) KDR 1, (b) KDR 2 ve (c) KDR 3 tuz testi sonuç görünümü.....	50



1. GİRİŞ

Çelik ve diğer metalik malzemeler, 20'uncu yüzyılda güçlü bir şekilde gelişip küresel ekonominin ve sosyal medeniyetin sürekli ilerlemesi için önemli bir malzeme temeli haline geldi. 1856'da Bessemer dönüştürücüsünün icadından bu yana çelik üretimi yapıldı. O zamandan beri dünya ham çelik üretimi, ekonomik patlama ve krizler, dünya savaşları ve petrol krizleri gibi önemli olaylar arasında sık sık dalgalanmalara rağmen sürekli değişime uğradı (Yin 2011).

Çeliğin en temel yapısal elemanı demir elementidir. Demir elementinin doğal kaynağı yeryüzünde farklı ortamlara dağılmış olan ve ekonomik oranda manyetit, hematit, limonit, siderit ve pirit minerallerini içeren demir cevherleridir. İnsanoğlu ilk çeliği bu cevherlerden üretmiştir. Günümüzde de üretilen çeliğin büyük çoğunluğu bu cevher türlerinden üretilmektedir (İkiz 2009) .

Çelik temel anlamda demirin karbonla belli oranda yaptığı alaşımdır. Zamanla görülen teknik değişimler sayesinde içindeki karbon oranı azaltılarak kuvvetli elementlerle alaşımlandırılmış çeliklerin üretilmesi, çeliğin tanımında da değişimi sağlamıştır. Çelik, demirin çeşitli elementlerle yaptığı alaşımdır (Kayalı ve Ensari 2000).

Geleneksel çeliğin su ile soğutularak oluşturduğu başlıca özelliği sertleşmesi ve kırılganlığı kabul edilir iken günümüz de çeliğin farklı alaşım elementlerinin aracılığıyla yapısında birçok farklı özelliği içerdiği bilinmektedir. Ayrıca bazı çelik türlerinin yüksek sıcaklıklara çıkılıp birden soğutulduklarında sertleşmesi beklenirken aksine tersinir davranış gösterip daha çok sünekleştikleri bilinmektedir (Akbaş vd. 1998).

Her ne kadar Rönesans'tan uzun süre önceleri çelik bazı metotlarla uygulanmış olsa da 17'inci yüzyılda icat edilen üretim yöntemlerinin uygulanmasıyla çelik üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. 19'uncu yüzyılın ortalarında Bessemer Değiştirgeci'nin icadıyla beraber çelik daha kolay üretilen bir malzeme olmuştur. Gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde milyonlarca ton üretilen ve çok çeşitli kullanım alanına sahip bir ürün haline gelmiştir (Czichos 1994).

Bol kaynaklarından ve nispeten düşük maliyet, iyi malzeme özellikleri, işlem ve geri dönüşüm kolaylığından dolayı çelik yapısal ve fonksiyonel özelliklerini gelecek zaman içerisinde de korumaktadır (Yin 2008).

Bir makinede bulunması gereken teknik özellik; gereç olarak yapımında kullanılan çeliğin doğru seçilmiş olmasıyla, yeterli ve verimli olarak görevini yapması, istenen sürede aşınmadan ve bozulmadan dayanması, teknik özellikleri yanı sıra, fiziksel ve kimyasal yapısıyla da çok yakından ilgilidir. Bütün bunlar, kullanılan çeliğe yeterli ölçülerde alaşım elementlerinin katılmasıyla oluşan özel niteliğe bağlıdır (Kesti 2009).

Dünyadaki metal üretiminin %90'ını çelikler ve bu miktarın yaklaşık %77 'sini de düşük karbonlu çelikler oluşturmaktadır. Düşük karbonlu çeliklerin büyük bir kısmı haddelenerek piyasaya sürülmektedir (Erdoğan 2000).

Düşük alaşımlı orta karbon çelikler son yıllarda otomotiv, enerji, yapı, lojistik ve savunma sanayinde büyük bir kullanım alanı bulmuştur. Bu çelikler sanayide hadde ve dokum son ürünü olarak geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bunun nedeni de, bu çeliklerin yüksek mukavemete sahip olmalarının yanında iyi tokluk özellikleri de göstermeleridir. Düşük alaşımlı çelikler, düşük maliyetli olması sebebiyle döküm yöntemiyle kompleks şekilli parçaların üretilmesinde tercih edilir (Tekin 1992, Güleç ve Aran 1987).

Yaygın kullanım alanına sahip çeliklerden istenen ürün özellikleri teknolojinin gelişimi ile birlikte artış göstermektedir. Her alanda bu özelliklerin karşılanabilmesi için yeni nesil çelikler üstünde araştırmalar hız kazanmıştır. Mukavemet ve hafiflik gibi yapısal özellikler bu çalışmalar sonucu elde edilen en önemli kazanımlardır (Ögel 2018).

Bu çalışmada şerit haddehanelerinden esinlenerek soğutma pratiği oluşturulmuştur. Sıcak haddelenmiş ve Kardemir Haddecilik tarafından üretilen S275JR kaliteye sahip yapı profili olan köşebente 3 farklı soğutma pratiği uygulanması sonrasında özellikleri karşılaştırılıp ülkemizde bu konuda oluşan araştırma eksiliğini giderme ve üretim hızını düşürmeden katma değeri yüksek ürün elde edilmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Demir Çelik ve Haddelenin Tarihçesi

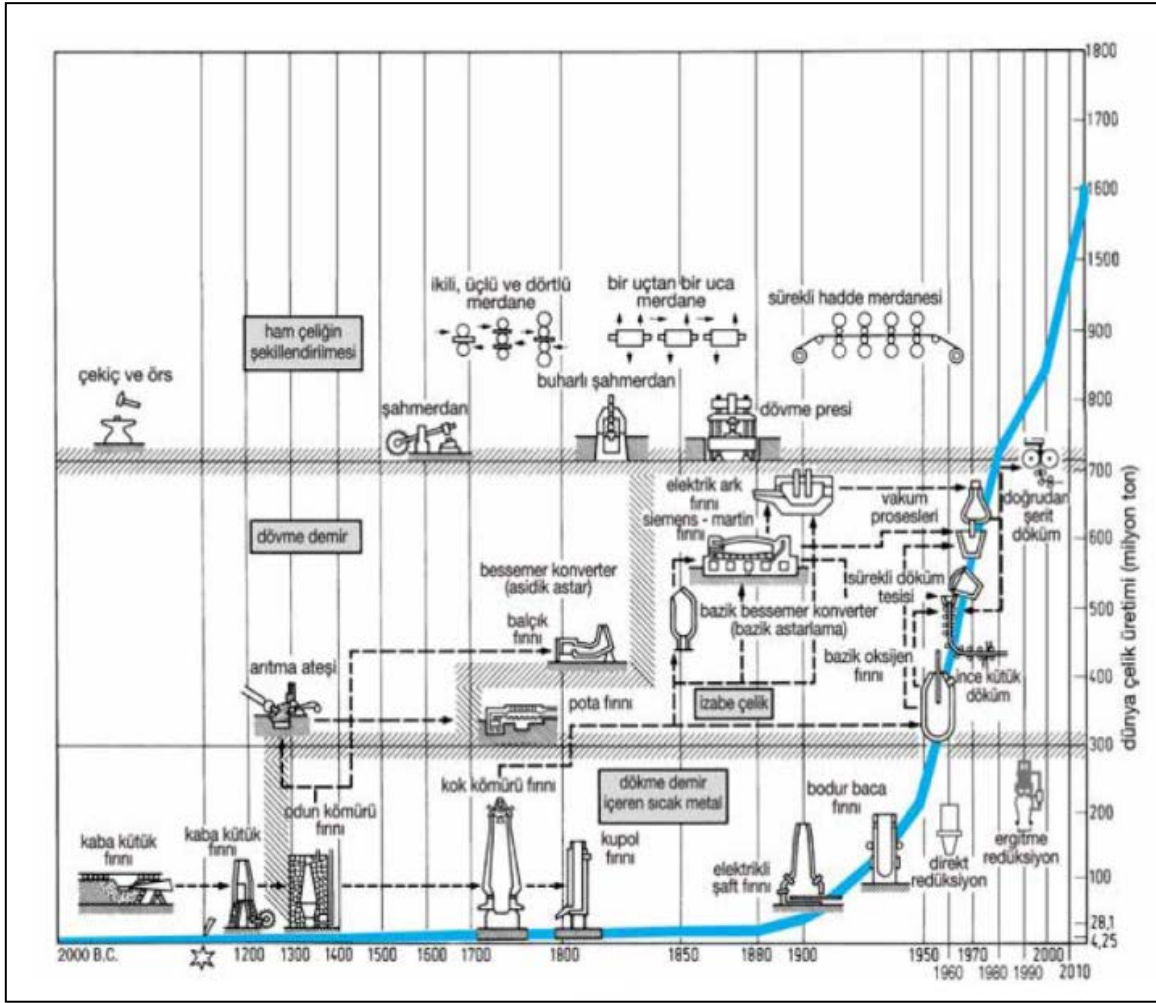
Demir çelik endüstrisi dünyanın en önemli ve geleneği bakımından en eski üretim sektörlerinden biridir. 3000 yıl kadar önce bir zamanda demir, insan kültürü ve uygarlığına temel teşkil ediyordu. Demiri cevherden çıkarma tesisleri zaten geliştiriliyordu. O zamandan beri problem her zaman enerji kullanımını uygun hale getirmek için demir cevherini ve tekniklerini bir arada kullanılmasını sağlamaktır (Stahlesisen 2008).

Demir kullanımı günümüzde demir çağı diye adlandırdığımız dönemden daha önce başlamıştır. İlk olarak Kafkasya'nın kuzeyindeki Küçük Asya'da demir üretimi yapılmıştır (Stahlesisen 2008).

10'uncu yüzyılda, su çarkının gelişi demir üretim teknolojisinde devrim yarattı. Hidrolik güç, cevher yataklarına olan yakınlıktan daha önemli hale geldi. 12 'inci yüzyıla gelindiğinde ilk yüksek fırın denemeleri görülmektedir. Yüksek fırınlarda pik demir üretimi ticari olarak 14'üncü yüzyılın başlarına kadar uzanıyor. Unutulan ürün ve sanat eserleri imalatının yanı sıra, yaklaşık 1500 yılında, bilye, çan, ağırlık ve fırın plakası üretiminde dökme demir de kullanılıyordu (Yin 1993).

Kereste kaynaklarının kademeli olarak tükenmesi, yüksek fırınların koka dönüşmesine neden oldu. 1796 yılında, ilk kok fırını Almanya'da faaliyete geçti. 1856 yılında Henry Bessemer tarafından çelik seri üretiminin başlamasından yıllar sonra 1953 yılında ilk bazik oksijen fırını devreye girdi. İlk şerit haddeleme tesisi 1937 yılında Almanya'da da faaliyete geçti (Stahlesisen 2008).

Geniş bir boyutta ele alınacak olursa demir çelik endüstrisinde Almanya ve İngiltere ciddi atılımlar sayesinde bugünün teknolojik üretimlerine ışık tutmuştur. Çelik üretiminin ve şekillendirme teknolojilerinin gelişimi Şekil 2.1'de belirtilmiştir.



Şekil 2.1 Çelik üretiminin ve şekillendirme teknolojilerinin gelişimi (Llewellyn and Hudd 1998).

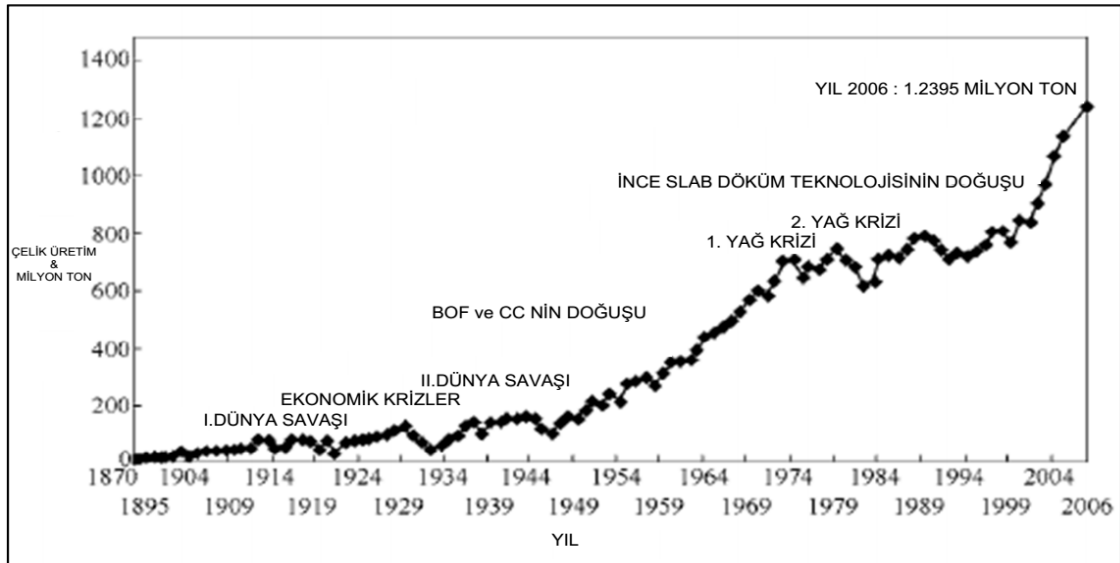
Haddeleme tekniği tarih boyunca dört aşama üzerinden şekillenmiştir. İlk zamanlarda parçalar el ile işletilen bir mekanizma ile basit olarak haddelenmekteydi. İkinci aşama olarak 16'ncı asırda demirin üretilmesinde yapılan haddecilikte, elden ziyade su gücü kullanılarak sıcak haddeleme işinde tecrübeler edinilmeye başlanmıştır (İkiz 2009).

Üçüncü aşamada İngiliz mucit Walt'ın buhar makinesini icadı sonrası ve takiben Puddel metodu ile demirin üretilmesi olmuştur. Bundan dolayı demirin ilk işlenme yeri İngiltere denilebilir. Burada daha çok ray demirinin üretildiği bilinmektedir. Önceki zamanlarda hadde tesisleri sadece demire ön şekil vermek için kullanılmıştır. Son aşama ve sonrasında haddecilik çok daha fazla ilerleme kaydederek gelişen teknolojiyle geniş bir ürün yelpazesine hitap etmeye başlamıştır (Boyoğlu 2014).

Basit olan hadde tezgahı haddeciliğin ilk başlangıcı olarak kabul görmektedir. 1550 senesinde Fransız Brulier, metal levhaları düzgün haddeleyerek eşit ağırlıkta madeni paralar oluşturmuştur. Sonrasında Solamon De Causs demir ve bakırdan yapılmış merdaneler kullanarak, kalay ve kurşun levhalardan müzik aletleri yapmıştır. 1720 yılında John Hanburgy, sac imalatı için gereken ilk haddehane tesisini kurmayı başarmıştır. Pik merdane üretiminden sonra çelik merdaneler yapılmaya başlanmıştır. Zaman içerisinde çeliğin kalitesi arttıkça merdane kalitesi de artarak daha başarılı ürünler elde edilmeye başlanmıştır (İkiz 2009).

2.2 Çelik Üretimine Genel Bakış

Çelik ve diğer metalik malzemeler, 20. yüzyılda güçlü bir şekilde gelişip küresel ekonominin ve sosyal medeniyetin sürekli ilerlemesi için önemli bir malzeme temeli haline geldi. 1856'da Bessemer konvertörünün icadından bu yana çelik üretimi yapılmıştır. O zamandan beri dünya ham çelik üretimi, ekonomik patlama ve krizler, dünya savaşları ve petrol krizleri gibi önemli olaylar arasında sık sık dalgalanmalara rağmen sürekli değişime uğramıştır. Oksijen dönüştürücü çelik üretimi, sürekli döküm, büyük yüksek fırınlar, sürekli haddeleme ve bilgi tekniklerinin kullanımı ve geliştirilmesi ile birlikte üretim sürekli yükselmiştir (Yin 2001). Bu durum Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

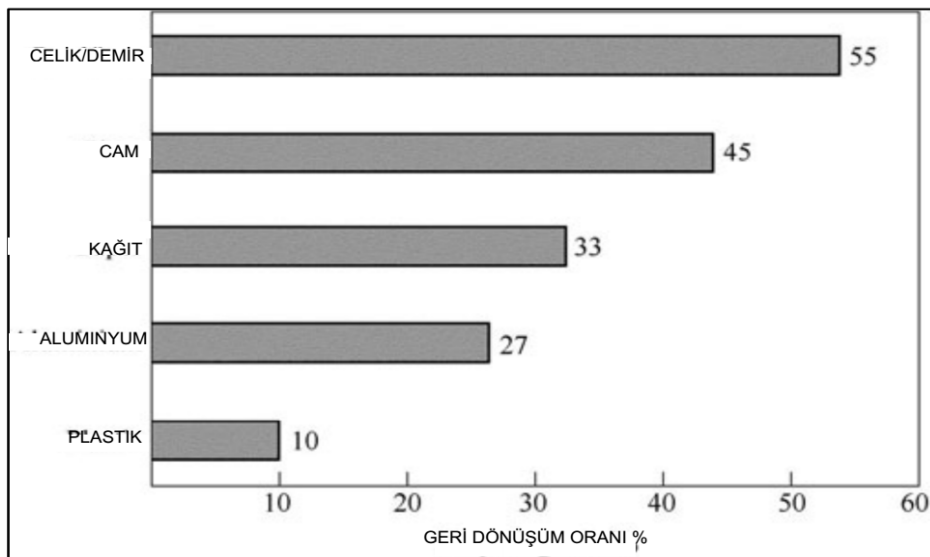


Şekil 2.2 Dünya çelik üretiminde 1870'den beri gelişen durum (Llewellyn and Hudd 1998).

Önemli kaynakları, nispeten düşük maliyeti, mükemmel malzeme özellikleri, işlenmesi ve geri dönüşümü kolay olması nedeniyle çelik, önemli yapısal ve fonksiyonel malzeme olarak konumunu koruyacaktır. Çelik hala tercih edilen geri dönüşüm malzemesidir. Sosyal uygarlık ve ekonomik gelişme süreçlerinde önemli bir temel malzemedir (Yin 2004).

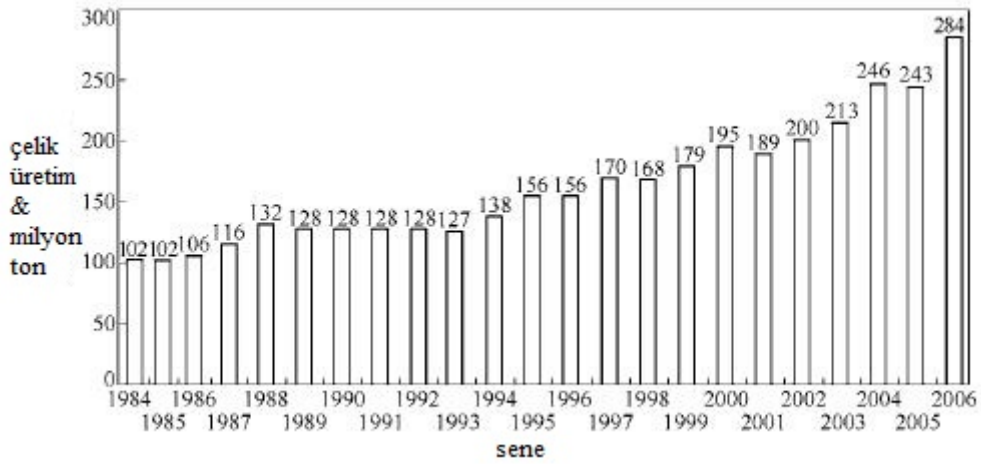
Gelecekte kullanılacak malzeme ve endüstriyel teknikler için değerlendirme endeksleri öne sürülmüştür (Czichos 1994). Değerlendirme için ana endekslerin düşük fiyat, toparlanma kolaylığı, çevre dostu olması ve düşük enerji ve malzeme tüketimi gibi faktörler olduğu açıktır. Çelik malzemeler, değerlendirilen tüm faktörler açısından karşılaştırmalı avantajlar göstermektedir.

Malzemelerin geri dönüşümünün enerji tasarrufu ve çevre üzerindeki etkileri de önemli değerlendirme kriterleridir (Schulz 1993). Çelik, cam, kağıt, alüminyum ve plastik gibi ana malzemelerin geri dönüşüm oranını gösterir. Çeliğin geri dönüşüm oranı diğer malzemelere göre çok daha yüksektir. Dünya çelik hurda üretimi yaklaşık 350 milyon ton civarında dalgalanmıştır. Son 30 yılda 469 milyon tona ulaşmıştır. Demir cevherinden demir elde etmekle karşılaştırıldığında, hurda çeliğinin geri dönüştürülmüş bir kaynak olarak kullanılması, doğal mineral kaynaklarını ve enerjiyi korumak için büyük önem taşımaktadır (Yin and Cai 1999). Çeşitli malzemelerin geri dönüşüm oranı Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



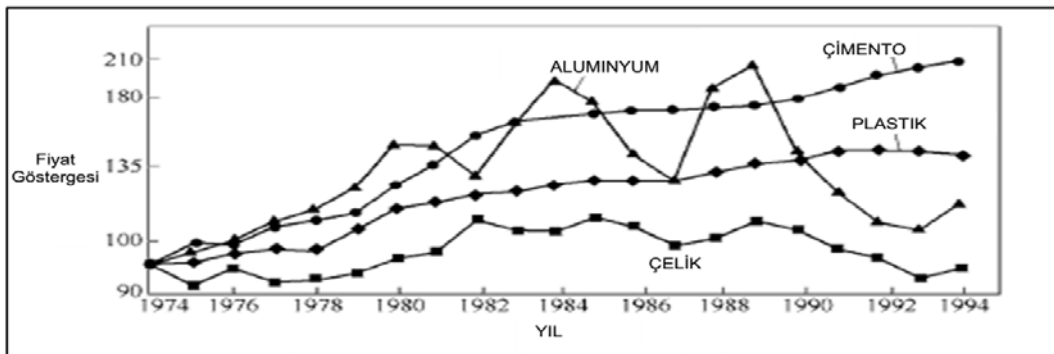
Şekil 2.3 Çeşitli malzemelerin geri dönüşüm oranı (Llewellyn and Hudd 1998).

Çelik, küresel ekonomi ve sosyal kalkınma veya modernleşme sürecinin bakış açılarından bakıldığında, öngörülebilir gelecekte yalnızca önemli bir yapı malzemesi olarak değil, aynı zamanda dünyanın en önemli malzemesi olarak dünyada son derece önemli bir temel malzeme olarak kalmaktadır. Çelik ürün gelişiminin son 30 yıldaki değişimi Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Dünyada fonksiyonel malzemelerden biri olan paslanmaz çelik tüketimi 1980’lerden bu yana hızla artmış, dünyanın paslanmaz çelik üretimi son otuz yılda neredeyse üç katına çıkmıştır. 2006 yılında yaklaşık 28.4 milyon tona ulaşmıştır.



Şekil 2.4 1984-2006 yılları arası çelik ürün gelişimi (Llewellyn and Hudd 1998).

1974'ten 1994'e kadar çelik, alüminyum, plastik ve çimento gibi çeşitli seri üretilen malzemelerin fiyatlarındaki değişiklikler Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Çeliğin fiyatı yaklaşık %15 aralığında dalgalanırken, çimento ve plastik fiyatları aynı dönemde önemli ölçüde artmış, alüminyum fiyatı ise keskin bir şekilde dalgalanmış ve çelik fiyatından daha fazla artmıştır (Ruprecht 1995).



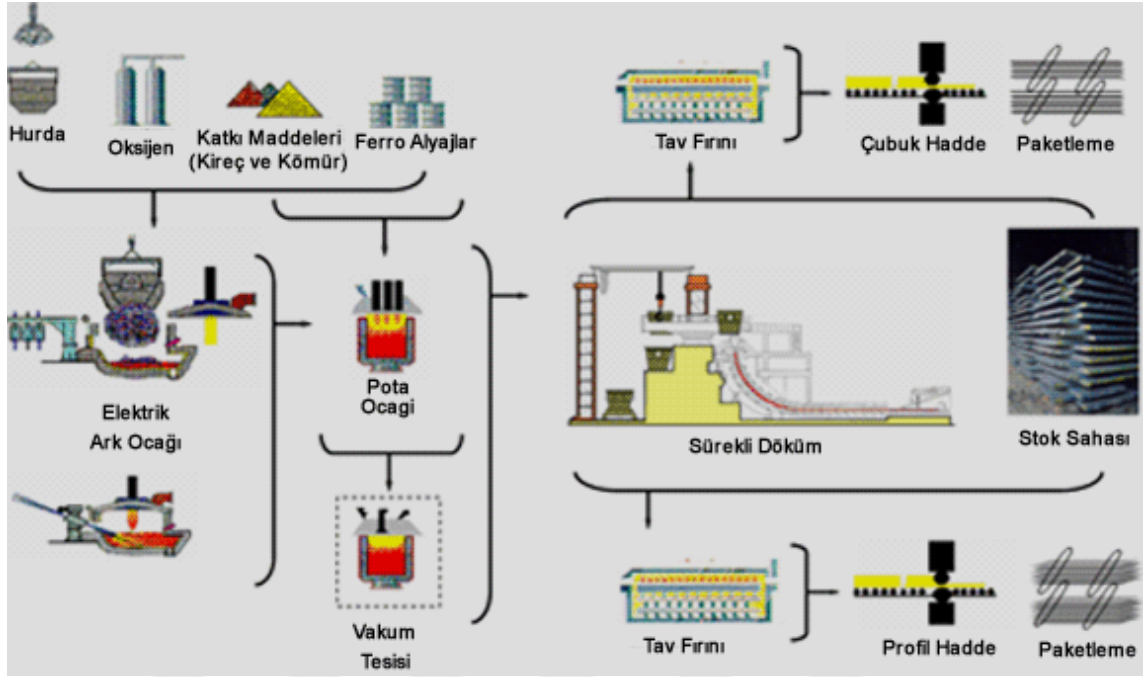
Şekil 2.5 1974-1994 yılları arası çeşitli ürün fiyatları (Llewellyn and Hudd 1998).

İnsanoğlu binlerce yıldır demirden ürün ve kömürlü demir cevheri kullanıyor. Demir cevherlerini indirgemekten ferforje demire, pik demiri eritmeye, sıcak metal ile çelik üretimine kadar uzun bir geçmiş vardır. Döküm külçelerinin dövme çeliğe dövülmesi ve daha sonra basit bir ısıl işlemle performansının arttırılması da uzun zaman almıştır. Bir bütün olarak, demir metalürjisi doksanlı yüzyılın ortalarından önce demircilerin işçiliği olarak bilinmektedir. Verim, kalite, üretim verimliliği ve ürün maliyeti doğal koşullara, özellikle demir ustalarının işçiliğine ve organizasyon kabiliyetine bağlıydı. On dokuzuncu yüzyılın ortasından beri, üretim dökme miktarlarda sıvı çelikten işçilik elde edilmiştir (Xu 2002).

2.3 Çelik Üretim Prosesi

Modern çelik üretim süreci, enerji dönüşümü, kaynak kullanımı, ürün kalite kontrolü ve daha iyi bir dünya için yeni çelik çözümleri, çevre koruma, ekolojik mühendislik ve daha birçok konu içeren geniş bir proses mühendisliği sistemine dönüşmüştür. Sürecin kendi kendine kaygı duyduğu kadarıyla, kompaktlık, basitleştirme, yüksek verimlilik, kapsamlı kullanım ve çevre dostu olma yönünde ilerlemektedir. Çelik üretim süreci, ölçeğin yıllık büyük bir milyon ton kapasiteye sahip olduğu bir özelliğe sahiptir, ancak kilit parçaların kontrol teknolojisi ve ekipman seviyesi, yeni malzemelerin herhangi bir işleme tekniğiyle karşılaştırılabilir (Davis 1995).

Modern demir metalürjik süreç farklı prosedürleri içerir. Bunlar demir cevheri hazırlama ve sıcak metale indirgenmiş sinterleme-koklaşma yapma, sıcak metal ön işlemi, sıcak metalin erimiş çeliğe dekarbürizasyonu, daha sonra özel bileşimler ve belirlenmiş sıcaklık ile zamanla eriyik erimiş temiz çeliğe rafine işlemleri ile başlar (Yin 1994). Ardından bu nitelikli erimiş çeliğin, önceden belirlenmiş boyutta ve kontrollü mikroyapı ve sıcaklıkta yüzey bozukluğu olmadan sürekli olarak kütükler ve plakalar halinde birkaç kalıp dökümü hariç katılaşması ve nihayet sıcak ve soğuk haddeleme ile çeşitli çelik ürünlere sürekli olarak kütük slab dökümü yapılmıştır. Üretim süreciyle ilgili tüm adımlar Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Çelik üretim süreci akış şeması (İnt.Kyn.1)

Çelik üretim süreci, bazı organizasyonel ilgili bileşenlerden oluşur. Bütünlük olarak, bu süreç bazı bileşenlerden ve bunların toplamından farklı yeni işlev almalıdır. Dolayısıyla üretim sürecinin işlevi bütünüyle davranış göstermektedir. Çelik üretim sürecinin bütünleşik işlevi yapısıyla yakından ilgilidir, ancak bütünleşik işlevine bağlı değildir. Çelik endüstrisi, dünyadaki en verimli ve teknolojik açıdan gelişmiş endüstriler arasında yer almaktadır (Kavanagh *et al.* 1998).

2.4 Haddeme ve İşlevleri

Plastik şekillendirme yöntemlerinde birisi olan haddeme, birbirlerine karşı olarak zıt yönde iki tane döner merdanenin basma kuvvetinin etkisiyle araya giren malzemeye soğuk yada sıcak olarak plastik şekil verme işlemine denilmektedir.

Haddeme yoluyla; kare, yuvarlak, yassı, çokgen, kesit, köşebent, T demiri, I demiri, U demiri, ray gibi mamuller üretilir. Şekil olarak haddeme yassı ve profil haddeme olarak ikiye ayrılmaktadır. Plastik şekil vermenin en büyük kısmı haddeme ile yapılmaktadır. Haddeme usulünde ilk amaç haddelenen malzemeyi sıkıştırıp yoğun bir hale getirmektir. Aynı zamanda malzemedeki curuf birikintileri dışarı atılmaktadır.

İkinci amaç malzemeyi daha küçük bir kesit haline getirmektir. Böylece çelikhanede dökülen ham bloklar; haddeler arasından geçirilerek, istenilen iç ve dış düzgünlükte ve teknikte kullanılabilir formlarda şekilli kesitler haline getirilmektedir. Bu işleme haddeleme denilmektedir. Haddeleme içyapı bakımından ikinci derecede, dış yapı bakımından birinci derece düzgünlük arz etmektedir.

Hadde fabrikası, piyasaya ticari çelik sağlayan bir prosedürdür. Bu nedenle, bir çelik tesisinin ekonomik yararı için çok önemlidir. Modern çelik tesislerinde, haddehanenin işlevleri şöyle özetlenebilir:

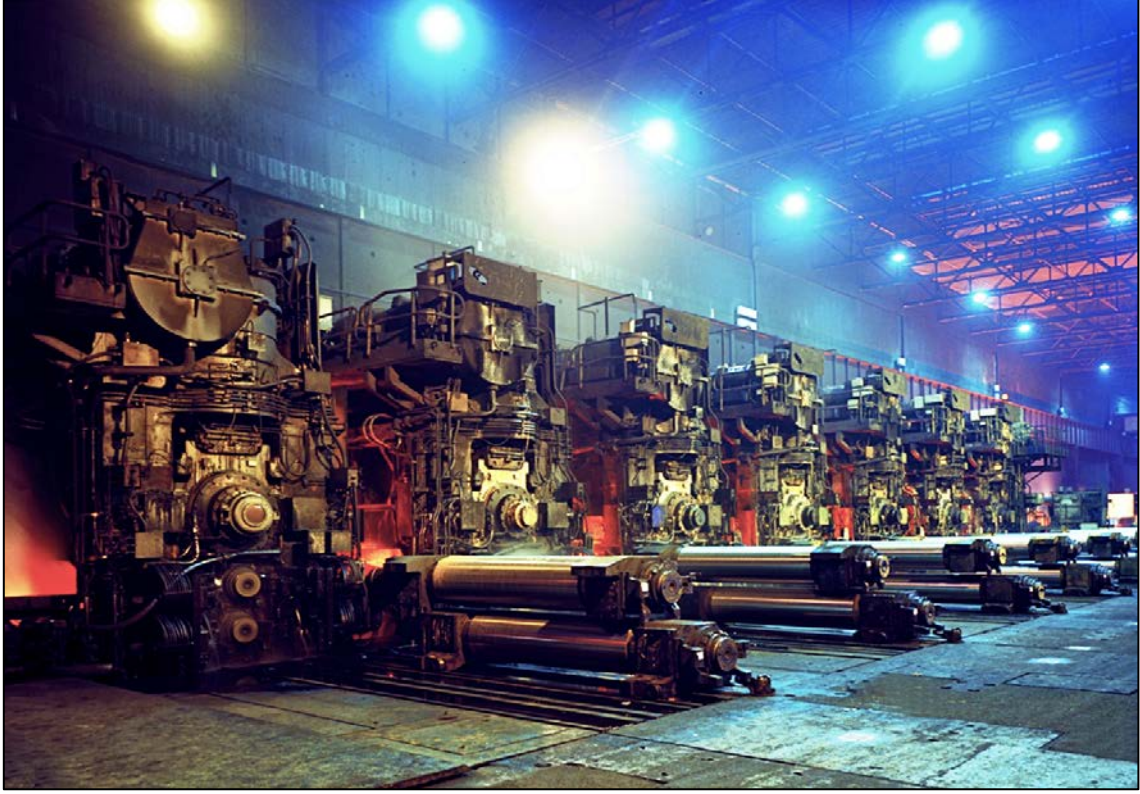
1 - Sürekli deformasyon ünitesi, bir hadde parçasının deformasyonunun her tezgahdaki optimum deformasyon derecesine göre sürekli ve entegre bir şekilde bir dizi merdane üzerinde gerçekleştirildiği anlamına gelir. Süreklilik sadece tezgahların eşleşme ve saniye başına akış hızı eşleşmesi ile ilgili değil, aynı zamanda döküm çıkışlarının kütle akışı ile devam etmesiyle ilgilidir. Modern tandem haddehanesinin bir başka rakamı, daha yüksek haddeleme hızıdır.

2 - Metal yapı ve performans kontrolü sıcaklık ve deformasyon üzerindeki kontroller gittikçe artan şekilde gelişmiş ve doğru hale geldiğinde, bunlara bağlı olarak deformasyon dönüşüm kontrol teknolojisi gelişip olgunlaşmıştır. Çelik yapı ve performans kontrolü bir ve aynı sürekli haddehanede gerçekleştirilebilir. Böyle bir optimum kontrol, çelik imalat ikincil metalurji ve sürekli döküm üzerindeki metalurjik kalite kontrolü ile bağlantılıdır.

2.4.1 Sıcak Haddeleme

İşlem sıcaklığına göre yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yapılan şekil değiştirme işlemlerine sıcak şekil verme, hadde için bunun anlamı da sıcak haddeleme olarak adlandırılır. Tavlanan malzeme düşük şekil değişimi mukavemeti ve yüksek plastik şekil değişimi özelliğindedir. Genelde haddeleme için yarı mamul olan ilk ürün olarak slab, blum levha veya kütükler kullanılır.

Daha sonra bu ürünler tekrar haddeleme işleminden geçirilerek nihai ürün olan profil, ray, çubuk, sac, boru gibi çok çeşitli hadde ürünlerine dönüştürülür. İnce sacların dışındaki hadde mamullerinin birçoğunda sıcak haddeleme kullanılmaktadır. Bu durum Resim 2.1’de gösterilmiştir. Sıcak haddelemedeki biçim ve ölçü durumları sınırlıdır. Bundan dolayı karmaşık ve kapalı profil kesitlerinin haddelenmesi zordur.



Resim 2.1 Sıcak haddeleme tezgah görünümü.

2.4.2 Soğuk Haddeleme

İnce kesitli parça, tel, çubuk üretimi için soğuk haddeleme işlemi kullanılır . Soğuk haddeleme rekristalizasyon sıcaklığının altında uygulanır. Soğuk haddelemede sıcak haddelemeye göre daha düzgün ölçü toleransı ve daha düzgün yüzeylerde ürün üretilir. Soğuk haddeleme sonucu meydana gelen gerilme sertliği malzemenin mukavemetini arttırmak için kullanılır.

Soğuk haddelenmiş levhalar genelde sıcak haddelenmiş şeritlerden ya da bakır alaşımları halinde direkt olarak dökümünden sonra soğuk haddelenir (Dieter 1988).

Soğuk haddelemenin avantajları;

1. Daha ince cidarlı malzemeler haddelenebilir.
2. Çalışma parçasının final özellikleri adım adım kontrol edilebilir ve eğer istenirse, soğuk haddeleme sırasında yüksek mukavemet elde edilebilir ya da yüksek süneklik gerekiyorsa tane boyutu tavlama öncesinde kontrol edilebilir.
3. Yağlama genelde kolaydır.
4. Malzemede mukavemet artışı görülür.

Üç-beş tezgâhlı arka arkaya yüksek devirli dörtlü haddeler çelik levha, alüminyum ve bakır alaşımlarının soğuk haddelemesi için kullanılır. Soğuk haddelemede bloğun kesiti daralır ve boy uzaması gerçekleşir. İşlem için gereken tezgah görünümü Resim 2.2 ‘de belirtilmiştir. Bu işlemde, ezilme ve biraz genişleme görülmektedir. İşlem temel olarak serbest şekilde dövmeye benzer fakat buradaki gibi aralıklı olmayıp sürekli uygulanır.



Resim 2.2 Soğuk haddeleme tezgah görünümü.

2.5 Kardemir Haddecilik A.Ş Yapı Profil Üretim Prosesi

1969'da Denizli'de kurulan ilk üretim tesisiyle Kardemir Haddecilik. San ve Tic. Ltd Şti, adıyla Türkiye demir-çelik sektörüne giriş yapan Kardemir, 2001 yılı itibariyle ithalat ve ihracata başlamış ve 50 yılı aşkın süredir emin adımlar ile ilerleyerek 650 kişiden fazla çalışanı, 3 adet üretim hattı ve uzun mamul ürün grubunda yıllık 700 bin ton uzun çelik profil üretim kapasitesi ile yerli ve uluslararası Demir-çelik sektörünün öncü kuruluşları arasında yerini almıştır. 2018 yılı Ocak ayında ise Anonim Şirket haline gelmesiyle ünvanı Kardemir Haddecilik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi olarak değişmiştir.

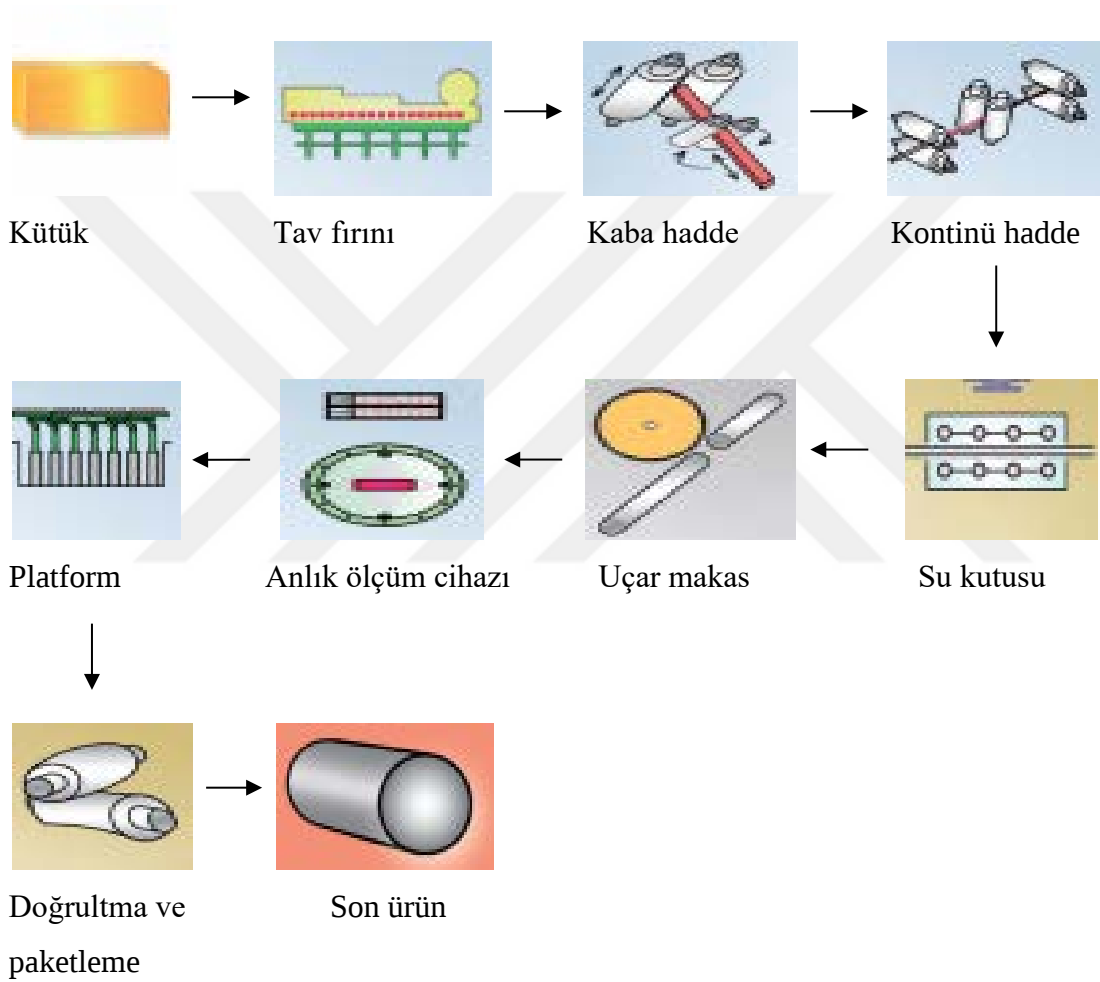
Genel merkezi Denizli'de olan Kardemir'in İzmir ve Denizli'de üretim tesisleri bulunmaktadır; Denizli'de 1969 yılında kurulan tesis 8.000 m² kapalı alanda 1 hat ile İzmir'de 1998 yılında üretime başlayan tesis ise şu anda kapalı 30.000 m², toplam 55.000 m² saha üzerinde 2 hat ile küçük-orta-büyük kesit sıcak haddelenmiş, düşük karbonlu ticari çelik profil üretimini ve ayrıca stoklamasını sürdürmektedir.

En son teknoloji ile donatılmış olan tesislerde ürün gamı dahilinde uluslararası standartlarda 2000'e yakın standart ebat ve kalitede üretim yapılmasının yanı sıra müşterilerin taleplerine bağlı olarak özel kalite, özel veya standart dışı ölçülerde de üretim yapılmaktadır. Üretim yelpazesini yeni ürün ve ebatlarla her dönem daha çok genişleterek tüm ürün gruplarını tek bir kaynaktan sağlayabilme fırsatı sunmakta ve bu yönüyle de uluslararası çapta tercih edilen bir marka haline gelmiş bulunmaktadır.

Türkiye'nin en büyük 500 sanayi kuruluşu sıralamasındaki yerini kapasite artışı ve yeni yatırımlar ile daha üst sıralara taşıyan Kardemir istikrarını korumakta, ihracatta Türkiye'nin en büyük 1000 firması sıralamasında ise her zaman ilk 100 içerisinde yer almasının yanında ihracat pazarlarında da ilk tercih edilenlerden biridir.

Kardemir üretim süreci Şekil 2.7'de gösterilmekte olup, süreç önce kütük sahasına kütüklerin gelişiyile başlamaktadır. Fırına kütük girdisi yapılabilmesi için bu kütükler uygun boya indirilmektedir. Uygun boya ve kaliteye sahip olan kütükler fırına

sürüldükten sonra belirli bir sıcaklığa gelene kadar tavlanmaktadır. Tavlı kütük fırından çıkışından itibaren önce kaba dik tezgah hadde grubunda kaba haddelenip, orta grup ve finish hadde grubuyla şekil ve ölçü oluşumunu tamamlamaktadır. Bu işlemden sonra su kutusu ardından uçar makastan geçen profil ölçüm kontrol cihazından geçerek taraklı platforma gelmektedir. Platformun sonunda hizalama rollerine gelen profil grubu sonrasında doğrultmadan geçerek otomatik olarak paketlenmektedir.



Şekil 2.7 Kardemir Haddecilik üretim akış şeması.

Uygun boylara kesilmeden önce kütük sahasına kalitelerine göre sınıflanan kütüklerin görünümü Resim 2.3’de belirtilmiştir. Fırına şarj işlemi gerçekleşmeden önce kütükler makine ya da manuel olarak kesilmektedir. Bu durum da Resim 2.4’de temsili olarak gösterilmektedir.



Resim 2.3 Kütük sahası istif durumu.



Resim 2.4 Kütük kesme makinesi yerleşim ve kesim işlemi.

Prosesin ilk adımı önceden kesilmiş olan kütük sahasında bulunan kütüğün fırına şarj işlemi ile başlamaktadır. Sonraki proses adımında 1200-1250 °C arasına fırında ısınan kütük haddeye verilmektedir. Bu durumun ilk oluşturduğu durum Resim 2.5'te gösterilmektedir.



Resim 2.5 Fırından çıkan kütüğün görünümü.

Fırından çıkan kütük geleneksel haddelerde 4 ile 7 kontinü haddeler de ise 2 ile 3 kere kaba olarak gel git şeklinde haddelenir. Kaba hadde tezgahının görünümü Resim 2.6 'da belirtilmiştir. Kaba hadde tezgahlarının son işlemi ve orta gruba hazırlama durumu dik tezgahlarda yapılmaktadır. Dik tezgah görünümü Resim 2.7'de belirtilmiştir. Dik tezgahlar da kütük her yönden deforme edilmektedir. Böylece kütüğün içinde oluşabilen gaz boşluğu, çapaklanma ve empürite durumları kendini haddeleme esnasında belli etmektedir. Dik tezgahtan çıkan malzeme orta grup hadde tezgahlarına gelmektedir. Tezgah görünümleri Resim 2.8' de belirtilmektedir.



Resim 2.6 Kaba hadde tezgah görünümü.



Resim 2.7 Dik tezgah grubu görünümü.

Çeliğin içindeki boşluklar minimuma indirildiğinde malzeme nihai şekline yaklaşıncaya kadar orta hadde tezgah grubunda haddelenmektedir. Orta grup hadde tezgahları içinde ayak kontrol ya da makaralı tezgahları da bulundurmaktadır. Bu tezgahların görünüşleri Resim 2.8’de belirtilmiştir.



Resim 2.8 Orta hadde tezgah grubu görünümü.

Malzeme son aşamada sırasıyla yarma, forlider, lider ve finish tezgahında haddelenerek son şeklini almaktadır. Finish grubunun genel görünümü Resim 2.9’da gösterilmektedir.



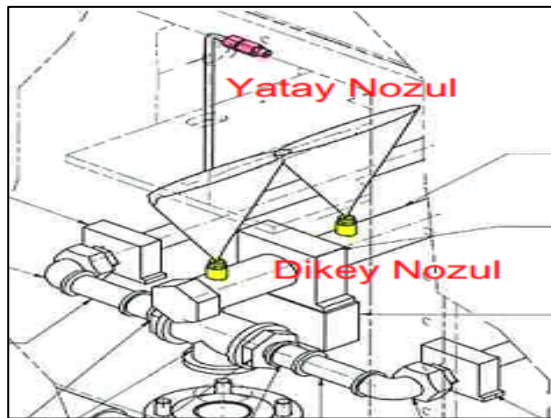
Resim 2.9 Finish tezgahından çıkan demirin ilerleyişi.

Malzeme hadde tezgahlarından kurtulduktan sonra su kutusu dediğimiz yüzeysel sulama sisteminden geçmektedir. Buradaki temel amaç profilin taraklı platforma düşüş sıcaklığını aşağıya çekmektir. Bu sistem et kalınlığı yüksek mamül üretiminde daha az etki göstermektedir. Su kutusundan çıkan malzeme uçarmakasta uygun platform boyuna kesildikten sonra kasetli atıcı yardımıyla taraklı platforma düşmektedir. Su kutusunda ki çelik yatay ve dikey nozullar yardımıyla hattan geçenken yüzeyi suya maruz kalmaktadır. Profilin geçtiği su kutusu yolu Resim 2.10’ da gösterilmektedir.



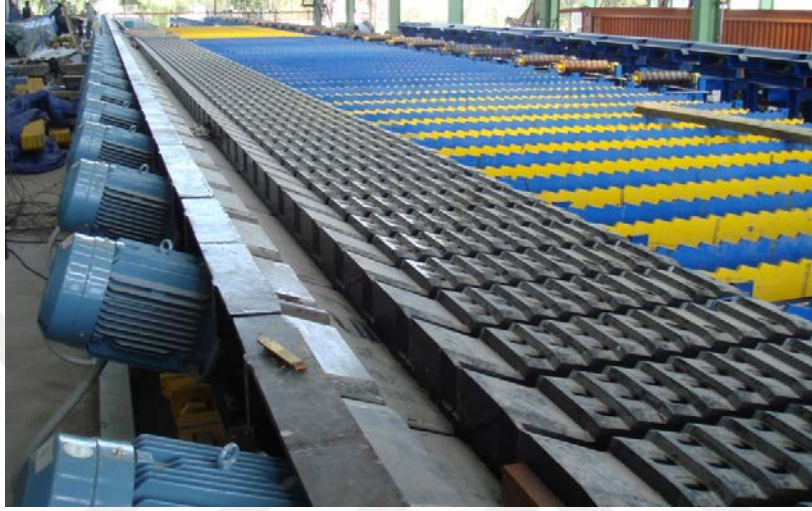
Resim 2.10 Su kutusu iç ünite görünümü.

Su kutusundaki nozulların yerleşimi malzemenin platforma düzgün düşmesi ve homojen soğuyabilmesi için bir ön adım olarak görülmektedir. Nozullar sadece yatay ya da dikey yönlenmeyip ikili şekilde kullanılmaktadır. Bu durum Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Su kutusu nozul yerleşim düzeni.

Su kutusundan çıkan profil malzeme ebadına göre değişkenlik görülse de yaklaşık 700-800 °C arasında taraklı platform üzerine düşmektedir. Platformda oda sıcaklığına kadar soğuyan profil daha sonra doğrultma işleminden geçerek nihai olarak paket haline getirilmektedir. Platform görünümü Resim 2.11’de gösterilmiştir.



Resim 2.11 Taraklı soğutma platformu görünümü.

2.6 Düşük Alaşımlı Yapı Çelikleri ve Kullanım Alanları

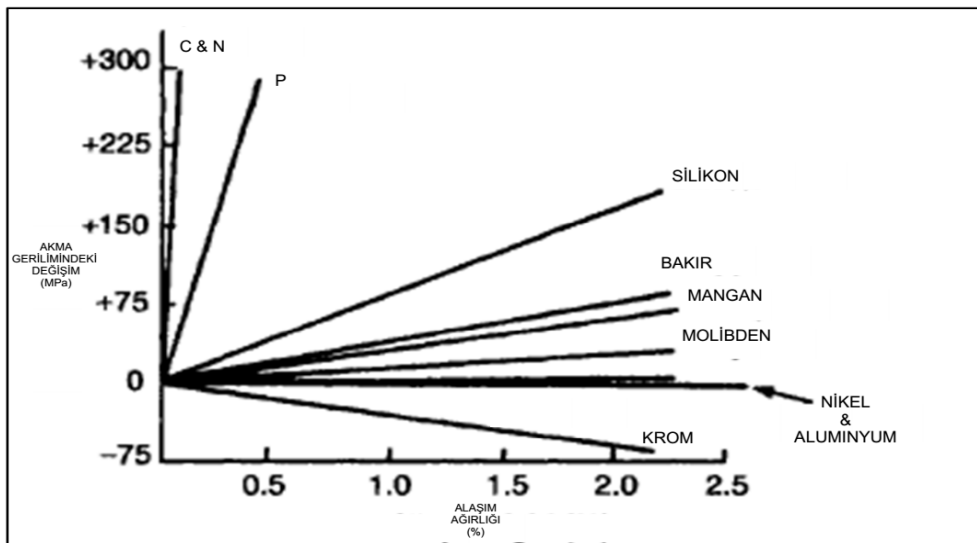
Geniş yorumlamaya açık olmasına rağmen, yapı çeliği terimi, ağırlıklı olarak C-Mn çeliklerini tanımlamak için, inşaat ve kimya mühendisliğinde büyük miktarlarda kullanılan ferrit-perlit mikro yapıları yaygın olarak kullanılır. Çelikler, bazen birkaç inç kalınlığa kadar olan ve genellikle yaklaşık 500 N /mm² 'ye kadar akma dayanımı değerleri ile plakalarda ve kesitlerde üretilir. Çelikler ayrıca yaklaşık 700 N/mm² 'ye kadar akma dayanımları sağlamak için söndürülmüş ve temperlenmiş düşük alaşımlı kaliteleri içermektedir (Llewellyn and Hudd 1998).

Yapı çelikleri çoğu inşaat formunun önemli bir özelliği, kullanılan yüksek kaynak seviyesi ve yüksek bütünlükteki kaynaklar için gerekliliktir. Kaynak, 1940'larda temel birleştirme işlemi olarak perçinlemenin yerini almaya başladı, ancak o zaman, yapısal çelikler yüksek karbon içeriğiyle nitelendirilmişti (Llewellyn and Hudd 1998).

Bu nedenle soğukta çatlamaya yatkındı. Geliştirilmiş kaynak kabiliyetine sahip düşük karbon kaliteleri için gereklilik, II. Dünya Savaşı sırasındaki ilk tamamen kaynaklı ticari gemilerin yapımında çok çarpıcı bir şekilde bu durum gösterilmiştir. Bununla birlikte, bu gemilerin açık denizlerdeki parçalanması aynı zamanda yapısal çeliklerde, yani tokluğun aksine sertlikte bir başka önemli mülkiyet şartının tanınmasına da yol açmıştır. 1950'lerin başında, Hall ve Petch'in çalışmaları, ferrit tanelerinin rafine edilmesinin, ferrit-perlit çeliklerinin hem akma dayanımı hem de tokluğunun artmasına yol açtığı konsepti ile yapı çeliklerinin tasarımında devrim yarattı (Sellers 1985).

Ferrit tanecik artımı, modern yapısal kalitelerinin oluşturulmasında en önemli metalurjik parametre olmaya devam etmektedir, ancak daha yüksek dayanımlı çeliklere olan talep, başka bir güçlendirme mekanizması gerektirmektedir. Böylece, akma dayanımını yaklaşık 500 N/mm² seviyesine yükseltmek için yapısal çeliklere küçük niobium, vanadyum ve titanyum ilaveleri eklenmiştir. Bu ilaveler mikro olarak tanınmıştır. Alloit elementler ve bileşimler yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çelikler olarak belirlenmiştir (Tamura et al. 1988).

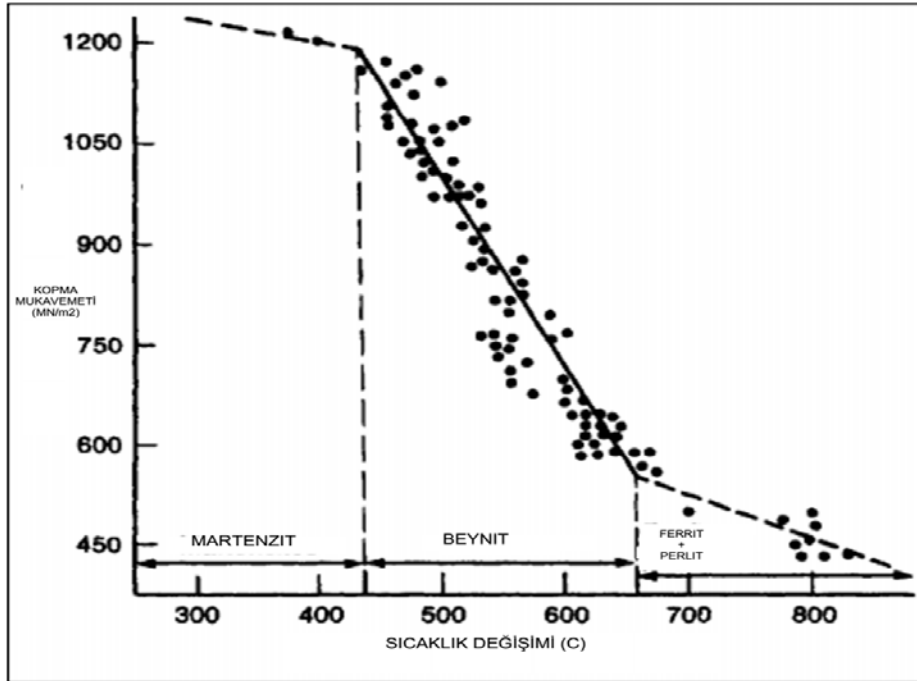
Yapısal çelikler bu nedenle çok önemli değişikliklere tabi tutulmuştur, her değişiklik, dayanıklılık, tokluk veya kaynaklanabilirlik gibi önemli bir özellikte önemli bir gelişme sağlamaktadır. Bazı element katkılarının akma dayanımına etkisi Şekil 2.9'da gösterilmektedir (Pickering and Gladman 1961).



Şekil 2.9 Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerde katı çözelti güçlendirme etkileri.

Daha düşük sıcaklıkta dönüşüm ürünleri tokluk ve süneklik için biraz fedakarlık ederek oluşturulmaktadır. Bununla birlikte, yapısal çelikler bağlamında, 700 N / mm²'ye kadar akma dayanımlarına sahip su verilmiş ve temperlenmiş düşük alaşımlı kaliteler için bir talep vardır. Bu tür çelikler normal olarak sertleşebilirliği arttırmak için molibden ve bor ile alaşımlıdır, fakat ayrıca temperleme direncini arttırmak için vanadyum gibi elementler içermesi gerekir (Pickering 1961).

Daha önce de belirtildiği gibi, hem alaşım elementleri hem de daha hızlı soğutma hızları, östenitin ferrite dönüşme sıcaklığını baskılar ve sonuçta bu etki beynite veya martenzite dönüşüme neden olmak için yeterli olacaktır. Bu ilerlemenin sonucu, % 0.05-0.20 C içeren çeliklerle ilgili olan Şekil 2.10'da gösterilmektedir (Pickering and Gladman 1961).



Şekil 2.10 Dönüşüm sıcaklığının çekme dayanımı ile ilişkisi.

Günümüzde sıcak haddelenmiş birçok ebat ve kalitede düşük alaşımlı yapı profili üretimi yapılmaktadır. Bu profiller her türlü zorlu şartlarda uzun süre mukavemetini koruyabilecek şekilde tasarlanıp kullanılmaktadır. Yapı profilleri köşebent, npu, np₁, ıpe, yuvarlak, kare, lama, ray şekillerinde üretilebilmektedir.

Yapı profilleri barındırdığı çeşitli şekiller itibariyle çok farklı yerlerde kullanılabilmektedir. Bu çelikler; binalar, köprüler, basınçlı kaplar, gemiler ve karayolu taşıtları dahil olmak üzere geniş ve çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.



Resim 2.12 Gemi montajı kesit görünümü.

Daha yakın zamanlarda yapı profilleri, deniz aşırı petrol ve gaz platformları ve genellikle aşırı soğuk ve kimyasal olarak agresif ortamlarda çalışan ilgili boru hatları gibi çok zorlu uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durum Resim 2.12 ve Resim 2.13’ te gösterilmiştir. Ayrıca iş makineleri, tarım araçları, vinç rayı, maden ve enerji gibi kullanım alanları da mevcuttur.



Resim 2.13 Köşebentlerden oluşan enerji nakil hattı görünümü.

2.7 Yapı Profillerinde Soğutmanın Önemi

1970'lerde ve 1980'lerde kontrollü haddeleme kontrollü soğutma ile güçlendirildi. Bu kombinasyon şimdi termomekanik işleme olarak adlandırılmaktadır. Doğrudan su verme veya kontrollü soğutma işlemleri, su verilmiş malzeme veya temperlenmiş kaliteli çelik üretimi için, su verme işleminin yeniden ısıtmaya alternatif olarak kullanıldığını göstermektedir. (Llewllyn and Hudd 1998). Geleneksel su verme yöntemleriyle homojen soğutma ortamı oluşturmakta zorluklar görülmektedir. Bu durum Resim 2.14'te gösterilmiştir.



Resim 2.14 Geleneksel yöntemle doğrudan su verme işlemi.

Yapı profilli olan köşebente baktığımızda homojen bir soğuma ortamı sağlanmadığı takdirde malzemede proses akışını etkileyen sorunlar görülebilmektedir. Bu sorunların en önemlisi malzemenin soğumasından sonra gerçekleştirilen doğrultmaya malzemenin girmemesidir. Doğrultmaya girmeden önce soğumadan kaynaklı kafaları kırılmış köşebent profili Resim 2.15 ve Resim 2.16'da görülmektedir. Oluşan bu durum sonucu malzeme doğrultmaya giremediği için üretimde uzun yavaşlamaya ya da fireye sebep olmaktadır.



Resim 2.15 Kafaları kırılmış olan 25x25x2.2 mm köşebent profili.

Soğutmadan kaynaklı bir diğer sorun olarak malzeme doğrultmasının platform sistemine düşünce doğrultmasının hemen bozulması durumu gösterilebilmektedir. Bu durum da ciddi firelere sebep olmaktadır.



Resim 2.16 Platformda doğrultması bozulan malzemenin kamera görüntüsü.

3. MATERYAL ve METOT

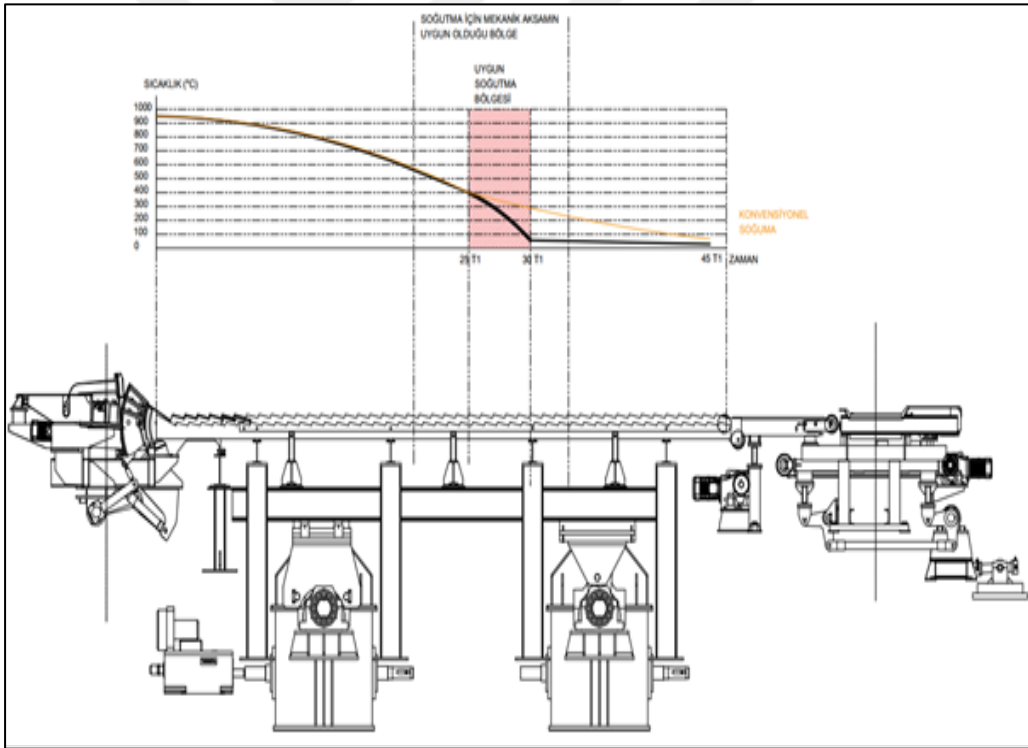
Bu çalışmada S275JR+AR kalite genel yapı çeliğinden sıcak haddelenmiş 50x50x5 mm köşebent profile Kardemir Haddecilik San. Tic. A.Ş Ar-Ge Merkezi bünyesinde gerçekleştirilen tasarım ve projelendirme çalışmaları sonucunda kontrollü soğutma sistemi uygulanmıştır. Bu soğutma sistemi prototip deney düzeneğinde işletmenin mevcut soğutma düzeneği, direk su verme ve belirlenen belli bir soğutma pratiği şeklinde üç farklı soğutma işlemi olarak uygulanmıştır. Üretilen haddelenmiş malzeme taraklı platform düzeneğine düştükten sonra sulu soğutma bölgesine gelene kadar hava ile soğutma durumu başlayıp devam etmektedir. Geleneksel metotlardan farklı olarak malzemeye bu platformda bir soğutma bölgesi tayin edilerek, bu bölgeden çıkan malzemenin artık yapısal ve boyutsal değişimini tamamlamış olarak özelliklerini yerine getirmektedir. Hadde çıkış sıcaklığı pirometre ile ölçülerek, soğutma bölgesindeki 50x50x5 mm köşebent için optimum toplam sulama süresi belirlenmiştir. Ülkemizde diğer sıcak sac haddehanelerinde de malzemeye uygulanan soğutma pratikleriyle katma değeri daha yüksek ürünler elde edildiği görülmüştür. Bu durumdan esinlenerek profil haddehanesinde haddeleme şartları göz önüne alınarak soğutma pratiği belirlenmiştir. Ülkemizde bu konudaki araştırma eksikliğini giderip üretim hızını düşürmeden katma değeri yüksek ürün elde edilmesi amaçlanmıştır.

3.1 Deney Düzeneği ve Programı

İlk olarak haddehane taraklı platform düzeneğinde 50x50x5 mm köşebent için gerekli belirli soğutma pratiği parametreleri tayin edilmiştir. Son ürün özellikleri düşünülerek belirlenen bu parametreler sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

1. Hadde hızı ve haddelenmiş profilin haddeden çıkış sıcaklığı ($V_{hadde}=13,4\text{m/sn}$), ($T=950-1000^{\circ}\text{C}$)
2. Soğutma suyu sıcaklığı, akış hızı, basıncı ve süresi ($T_{su}=10^{\circ}\text{C}$), ($V_{su}=3\text{lt/dk}$) ($P=1,2\text{ bar}$ ve $t_{sulama}=48/13,4 = 3,58\text{sn}$)
3. Haddelenmiş ürünün soğutma suyu ile arasındaki mesafe (350 mm)
4. Soğutma için kullanılan Nozul 1 (type JBU 1780 – 1/ 4 " - 90°)
5. Taraklı platform uzunluğu ve soğutma bölgesindeki tarak sayısı (5), (48 metre)

Sonraki adımda 45 taraktan oluşan platformda 5 taraktan oluşan soğutma bölümü tayin edilmiştir. Oluşan soğutma bölgesinde malzeme toplamda $3,58 \times 5 = 17,9\text{sn}$ ($T_1 \times 5$) süre ile su görüp sonrasında başlangıçta olduğu gibi hava ile soğuyarak taraklı platformda soğumasını tamamlamıştır. Soğutma pratiği bölgesi ve taraklı soğutma platformu kesit görünümü Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Taraklı platform alt eksantrik grubu yardımıyla malzeme hareketli taraklar üzerinde ilerlemeye devam eder. Tarakların altına yerleştirilecek nozullar yardımıyla suyla soğuma işlemi gerçekleştirilecektir. Ancak tasarımdan gelen mekanik aksamın uygun olduğu bölge yaklaşık 5 taraklık bir kısmı ($25T_1-30T_1$) oluşturmaktadır. Sonuç olarak kaset sistemden taraklara düşen sıcak mamül sulu soğutma bölgesine gelene kadar ($0-25T_1$) hava ile temas edip soğuyacaktır. Daha sonra sulu soğutma bölgesinde soğumaya devam edecek ardından doğrultma role yoluna girene kadar ($30T_1-45T_1$) havayla soğuyacaktır.



Şekil 3.1 Soğutma pratiği bölgesi ve taraklı platform kesit görünümü.

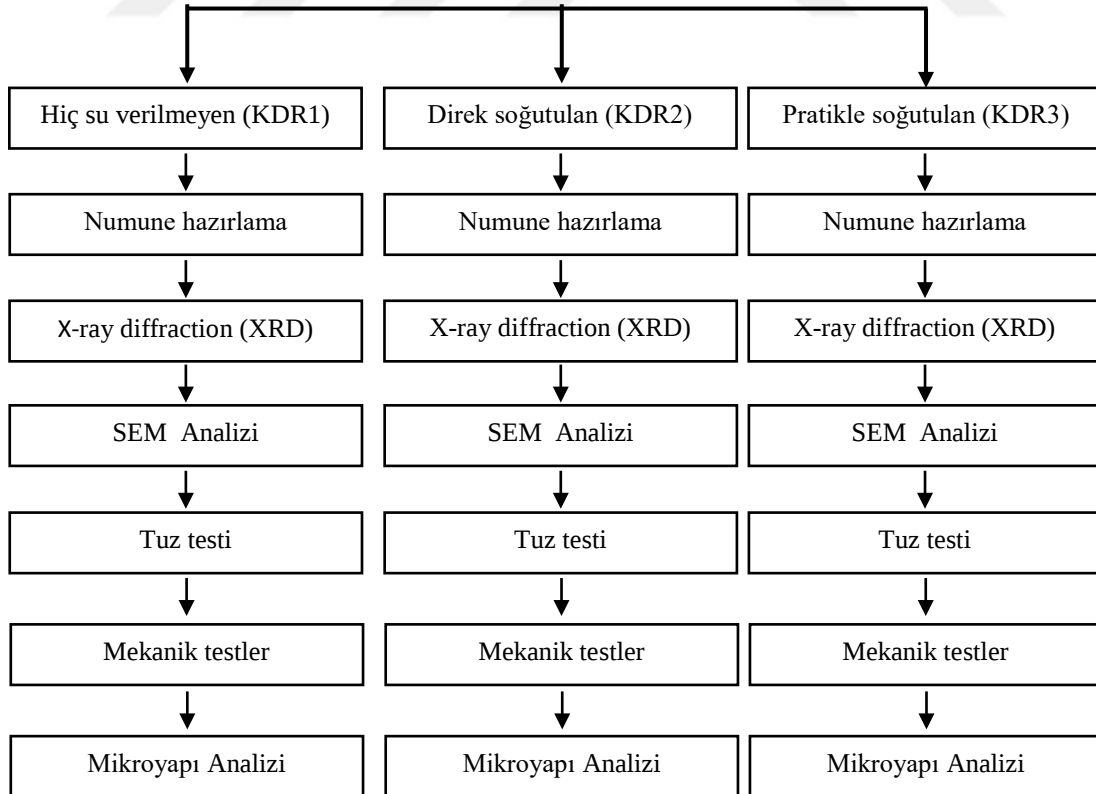
Nozul yerleşimi ve nozul-malzeme arası mesafe 350 mm olan soğutma bölgesinde malzemeye homojen bir pratik uygulanabilmesi için tasarıma uygun bir şekilde hazırlanarak Şekil 3.2’de yerleşimleri gösterilmiştir.

Şase yapımı tamamlandıktan sonra 50x50x5 mm köşebent üretiminden alınan numuneler şase ye yerleşim için uygun boylara kesilmiştir. Kesilen üç numuneye uygulanan deney programı aşamaları Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bu çalışmada üç tip soğutma pratiği üzerine çalışılmıştır.

1. Hiç su verilmeyen soğutma pratiği (KDR1)
2. Soğutma bölgesinden oda sıcaklığına direk soğutulan soğutma pratiği (KDR2)
3. Taraklı platformda belirtilen parametrelerle soğutulan soğutma pratiği (KDR3)

Tüm bu işlemler sonucunda profilin korozyif ortamlardaki direnci, kullanıldığı yerde maruz kaldığı çeşitli gerilme durumlarına daha iyi bir cevap verme durumu incelenecektir. Taramalı elektron mikroskopu (SEM), X-ışınları kırınımı (XRD), tek eksenli çekme testi ve tuz testi teknikleri ile karakterize edilen numunelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

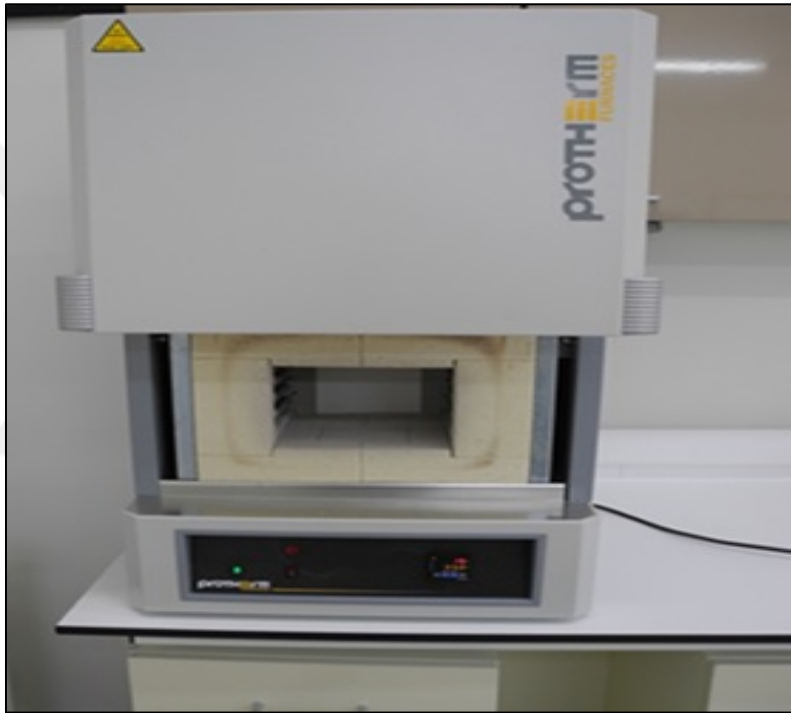
Soğutma Pratikleri



Şekil 3.4 Deney programı aşamaları.

3.2 Soğutma Pratiği Deneylerinin Yapılışı

Taraklı soğutma platformunda uygun boylarda kesilen parçalar Kardemir Haddecilik San. Tic. A.Ş. AR-GE laboratuvarı bünyesindeki ısıtma fırınında haddelenmeden sonra platforma düşüş ısı aralığında olan ve fırın platform arası oluşabilecek ısı kaybı düşünülerek numuneler 850 °C üzeri sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Bu işlem için Resim 3.1’de gösterilen Protherm-PLF 110/6 markalı fırın kullanılmıştır. KDR 1 numunesi için 850 °C ‘ye ısıtılan numune oda sıcaklığında soğuma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.1 Protherm-PLF 110/6 markalı fırın.

KDR 2 numunesi taraklı platforma indiğinde oda sıcaklığına kadar direk su verilme işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen köşebent platforma 872°C’de düşmüştür. Soğutma işlemi deney şasesinde yapılmamıştır. Bunun sebebi malzeme haddelenmiş olduğu için fırına tekrar verildiğinde numunenin normalize olup özelliğinin değişecek olmasıdır. Su verme işlemi tamamen platform şartlarında gerçekleşmiştir. KDR 2 numunesine su verilen yerin görünümü Resim 3.2’de gösterilmektedir.



Resim 3.2 KDR 2 numunesine uygulanan soğutma pratiği yer görünümü.

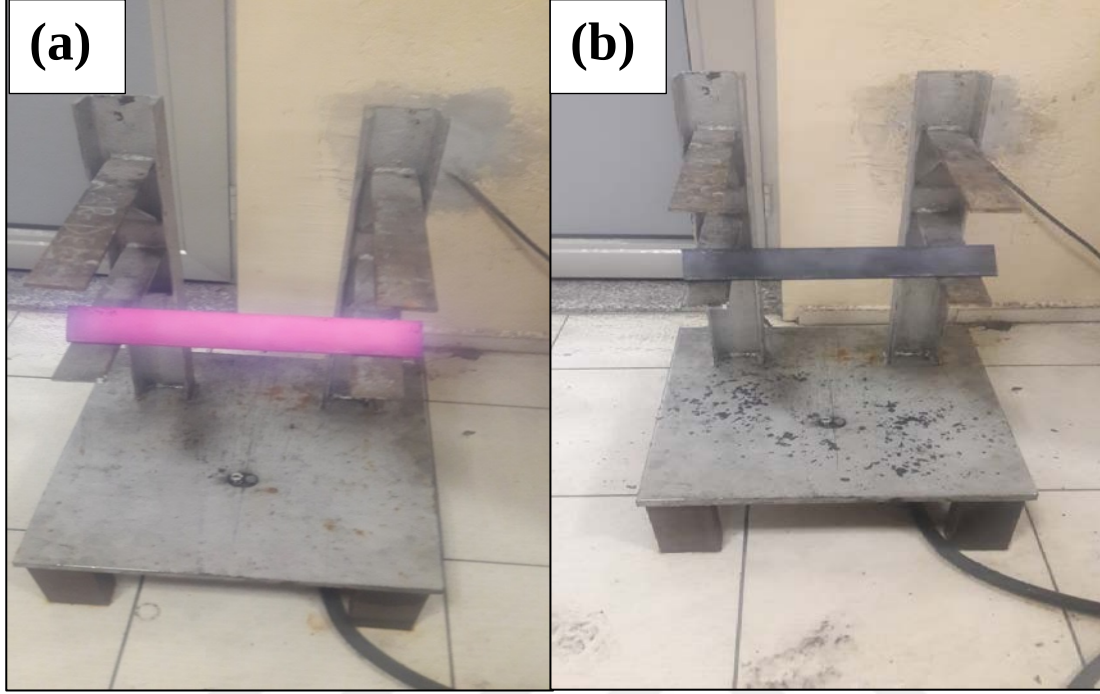
KDR 3 numunesine son ürün özellikleri düşünülerek belirlenen aşağıdaki parametreler doğrultusunda soğutma pratiği uygulanmıştır. Bu parametreler;

1. Hadde hızı ve haddelenmiş profilin haddeden çıkış sıcaklığı ($V_{\text{hadde}} = 13,4 \text{ m/sn}$, $T = 950-1000^{\circ}\text{C}$)
2. Soğutma suyu sıcaklığı, akış hızı, basıncı ve süresi ($T_{\text{su}}=10^{\circ}\text{C}$), ($V_{\text{su}}=3\text{lt/dk}$) ($P=1,2 \text{ bar}$ ve $t_{\text{sulama}}=48/13,4 = 3,58\text{sn}$)
3. Haddelenmiş ürünün soğutma suyu ile arasındaki mesafe (350 mm)
4. Soğutma için kullanılan Nozul 1 (type JBU 1780 – 1/ 4 " - 90°)
5. Taraklı platform uzunluğu ve soğutma bölgesindeki tarak sayısı (5), (48 metre)

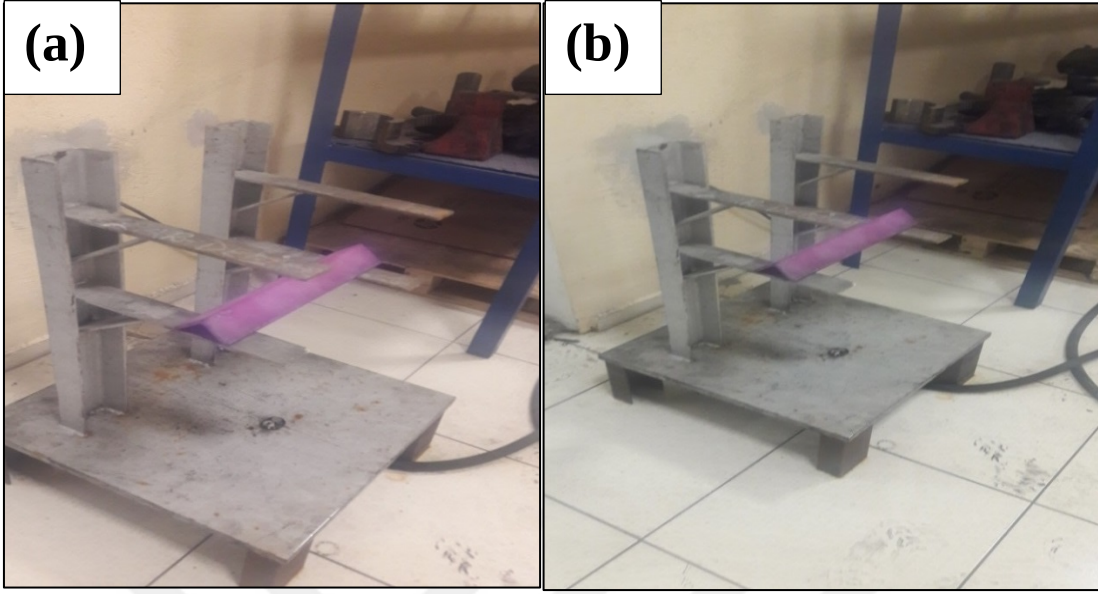
şeklindedir.

KDR 3 numunesi 870°C 'de platforma düştükten sonra ($0-25T_1$) zaman aralığında taraklı platformdaki davranışı gibi atıcı üstünde beklemektedir. Bekleme durumu göz önüne alınarak deney şasesinde numuneye hiç su verilmemiştir. Malzeme ($25-30T_1$) aralığında atıcı tarakların hareket süresi de hesaba katılarak, 3,58 sn su verip 1,5 sn atıcı hareketi süresi beklenerek 5 defa kesikli su verilip ($30-45T_1$) aralığında ise tekrar oda sıcaklığına inmesi beklenerek soğutma pratiği işlemi tamamlanmıştır.

KDR 3 numunesine yapılan soğutma pratiği esnasında numunedeki başlangıç ve bitiş durumları Resim 3.3'te, değişim durumları ise Resim 3.4'te gösterilmiştir.



Resim 3.3 KDR 3 numunesine uygulanan soğutma pratiği (a) başlangıç görünümü ve (b) bitiş görünümü.



Resim 3.4 KDR 3 numunesine uygulanan soğutma pratiği (a) numune ilk değişimi ve (b) ikinci değişimi görünümü.

3.3 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

3.3.1 Hammaddeler ve Özellikleri

Bu çalışmada S275JR+AR kalite aynı döküme sahip kütükten üretilen 50x50x5 mm köşebent profil çubuğundan üç eşit parça alınmıştır. Hammadde analizi için Resim 3.5'te gösterilen OBLF GS 1000 II modele sahip spektrometre cihazı kullanılmıştır.



Resim 3.5 OBLF GS 1000 II optik spektrometre cihazı.

KDR1, KDR2 ve KDR3 için hammadde spektrometre analizi yakma işlemi analiz sonucu ise Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kullanılan hammaddenin özellikleri.

Kalite	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cu	% Cr	% Ni	%N (ppm)
S275JR+AR	0,142	0,839	0,247	0,036	0,040	0,199	0,131	0,077	90

3.3.2 Kimyasal Sıvılar

Çalışmaların değerlendirilmesi için hazırlanan numunelerde ve deney süresince farklı proses aşamalarında kullanılan kimyasal sıvıların içerikleri Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2 Kullanılan kimyasal sıvıların özellikleri

Kimyasal Sıvılar	Ticari Referanslar	Safılık (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)
Tuz	Borkim	96	2,20
Etanol (CH ₃ CH ₂ OH)	Tekkim	96	0,79 (20°C)
Nitrik Asit (HNO ₃)	Sigma-Aldrich	26	0,892-0,910

3.4 Numune Hazırlama

3.4.1 Soğutma Pratiği Numunelerinin Hazırlanması

Soğutma pratiğine göre malzeme taraklı platform üzerinde ya da deney şasesine numune alınabilmesi için 50x50x5 mm üretiminde aynı çubuktan üç adet soğutma pratiği numunesi kesilmiştir. Kesimin yapıldığı andaki üretim akışı Resim 3.6’da gösterilmiştir.



Resim 3.6 50x50x5 mm köşebent üretim akış görüntüsü

3.4.2 Test Numunelerinin Hazırlanması

Mekanik testlerde kullanılacak numuneler, sıcak hadde taraklı platformunda kesilmiş olup, kesilen köşebent numuneleri CNC dik tezgahında işlenerek çekme, darbe, kimyasal ve tuz testi için uygun haline getirilmiştir. Bu işlemler için HARDINGE VMC 800II model CNC tezgahı kullanılmıştır. Tezgah görüntüsü Resim 3.7’de verilmiştir.

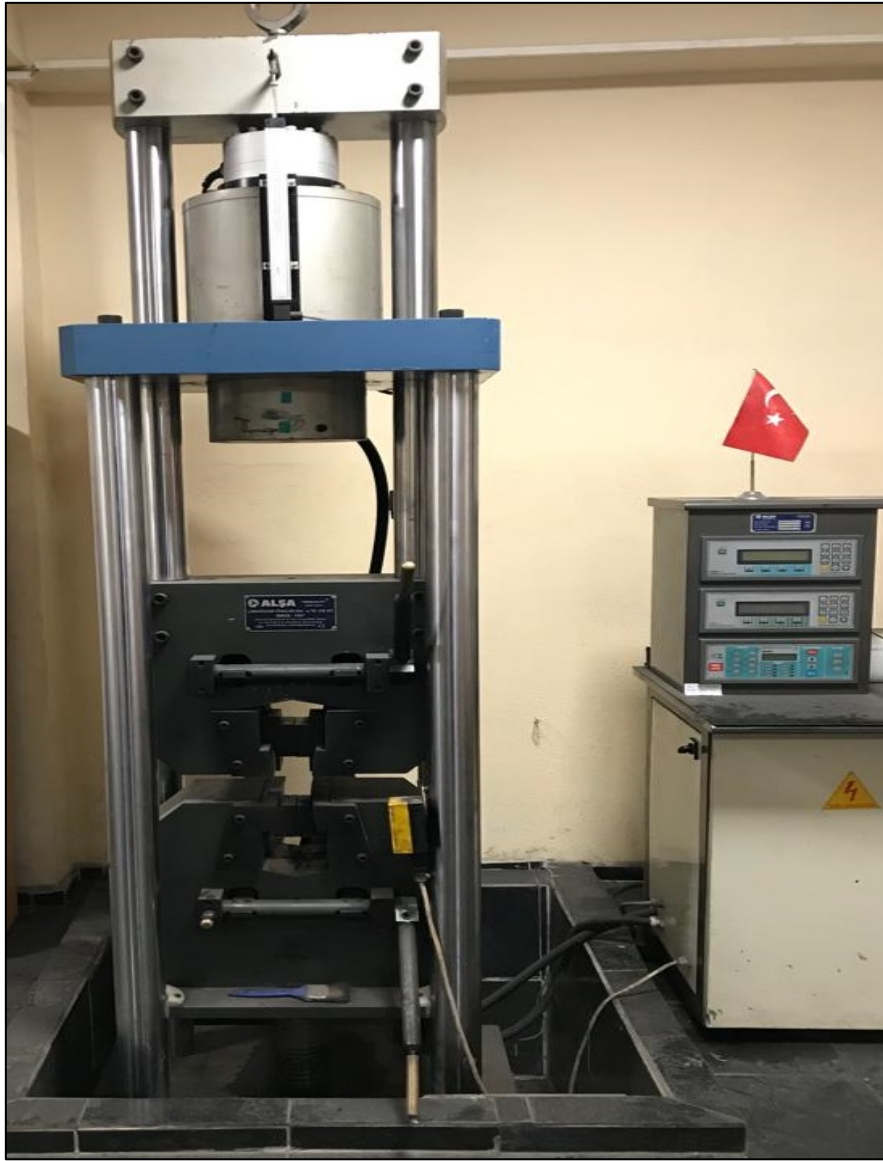


Resim 3.7 HARDINGE VMC 800II model CNC dik tezgahı görünümü.

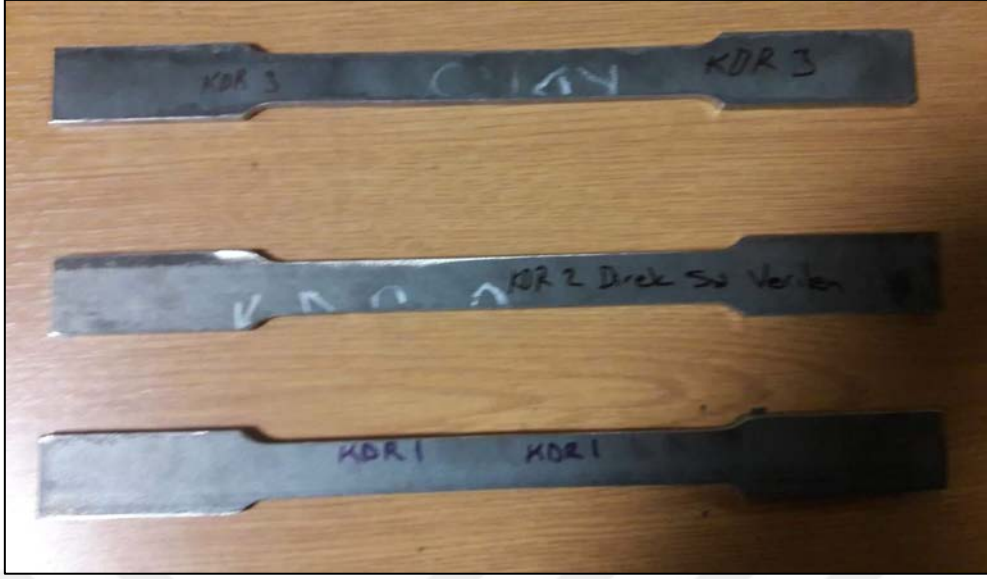
Bütün test numuneleri malzemenin haddeleme yönü dikkate alınarak, köşebent ayak genişliğinin yarısı kadar mesafeden işlenmiştir. Deney numunelerinin her biri kendi standardına uygun bir şekilde hazırlanmıştır. Numune çıkarma işlemi için malzemenin ısınmamasına özen gösterilmesi gerekmektedir. Isınan numune mekanik özelliklerde sağlıklı sonuç alınamamasına yol açmaktadır.

3.4.3 Çekme testi ve Numunelerinin Hazırlanması

Numuneler akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerlerinin tespiti amacı ile çekme testine tabii tutulmuştur. Testler sırasında 0 – 400 kN'luk çalışma aralığına sahip ALŞA UTM 100 marka cihaz kullanılmış olup Resim 3.8'te gösterilmektedir. Çekme testine yönelik numunenin hazırlanması ve testin yapılması işlemleri TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Çekme test numunesi görünümü Resim 3.9'da gösterilmektedir.



Resim 3.8 ALŞA UTM 100 test cihazı.



Resim 3.9 Çekme testi numune resmi.

Standarda uygun olarak hazırlanmış olan numune ölçüleri Çizelge 3.3'te belirtilmektedir.

Çizelge 3.3 Çekme numunesi ölçüleri.

Kalınlık [mm] (a)	Genişlik [mm] (b)	Marka Boyu [mm] (L ₀)	Paralel Uzunluk [mm] (L _c)	Oyuk Yarıçapı [mm] (R)	Kavrama Genişliği [mm] (B)	Kavrama Uzunluğu [mm] (h)	Toplam Uzunluk [mm] (L _t)
5	25±1	80±1	≥150	≥12	32≤B≤35	≥90	≥330

3.4.4 Darbe testi ve Numunelerinin Hazırlanması

Darbe deneyi, metallerin oda sıcaklığından ziyade daha düşük sıcaklarda da malzemenin tokluğu hakkında sağlam bir fikir elde etmek amacıyla uygulanır. Darbe enerjisini ölçmek için Charpy ve İzod testleri kullanılır. Deneyin yapılma nedenlerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

- Malzemelerin kullanıma hazır hale getirildiğinde gevrek olup olmadığını anlamak,
- Malzemenin çentik etkisinden dolayı gevrek kırılıp kırılmadığını anlamak.

Uygulanan kuvvet etkisi ile normal gerilmeye ek olarak cisme, yaklaşık olarak 45°'lik farklı bir kayma gerilimi etki etmeye başlar. Meydana gelen kayma gerilimi, kayma dayanımını aştığı an, elastik (esnek) özellik sona erer ve plastik şekil değiştirmeler başlamaktadır. Charpy darbe testi için Resim 3.10'da gösterilen JBS 300 B model cihaz kullanılmıştır.



Resim 3.10 JBS 300 B Charpy darbe test cihazı.

Charpy darbe testi Kardemir Haddecilik San. Tic. A.Ş 'de ISO 148 standardına göre hazırlanmış olup, numuneler Resim 3.11'de gösterilmiştir.



Resim 3.11 Charpy darbe testi numune görünümü.

3.4.5 Tuz testi ve Numunelerinin Hazırlanması

Tuz testi numuneleri ASTM B117 stadardına uygun olarak hazırlanmıştır. Bu amaçla, numunenin saf su sıcaklığının $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki olduğu içinde çözünmüş olarak bulunan %5'li NaCL tuz çözeltisinin, kabin içine yerleştirilen çıplak metal ve boyalı/kaplamalı malzemelerin yüzeylerine sürekli püskürtülerek, metallerin korozyona uğraması ve boya/kaplama malzemelerinin yaşlanması sağlamaktır. Tuz testi için WELTECH SP 110 model cihaz Resim 3.12 'te kullanılmıştır. Tuz püskürtme testi deniz atmosferi benzeri bir çalışma ortamını benzeştirmek amacıyla tasarlanır. Bu deney ilgili standartta belirtilen ve numunelerin üzerine eş dağılım ve boyuttaki sıvı damlacıklarının $15-30^{\circ}$ açı ile püskürtülmesi vasıtasıyla gerçekleşir. Tuzlu su çözeltisinin pH değeri 6,5-7,2 arasında olmalıdır. Bu deneyin test süresi test numunesine bağlı olarak 8 ile 300 saat arasında olabilir. Hazırlanmış olan numunelerin korozyon davranışları 24 saat süre baz alınarak kıyaslanmıştır. Tuz testi sonucunda bazı durumlarda numunenin ağırlık kaybı da takip edilmektedir.



Resim 3.12 WELTECH SP 110 marka tuz testi cihazı görünümü.

Tuz testi için cihaz iç boyutlarına uygun olarak kesilen 3 farklı boyutta numune kullanılmıştır. Numuneler $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki saf suyun içinde çözünmüş olarak bulunan %5'lik NaCl tuz çözeltisinin olduğu kabin içine yerleştirilip sürekli püskürtme tuz püskürtme işlemine tabi olmuştur. Test düzeneğindeki numunelerin görünümü Resim 3.13'te gösterilmiştir.



Resim 3.13 Tuz testi numunelerinin yerleşim görünümü.

3.4.6 Metalografi Numunelerinin Hazırlanması

Deneysel çalışmalar için incelenecek üç numunenin pratiğe göre isimleri verilmiş olup fırında ısıtılıp oda sıcaklığına kadar kendi halinde soğuması sağlanan pratik numunesi KDR1 olarak belirtilmiştir. Taraklı platforma düşen numunenin direk oda sıcaklığına indirilmesi için su verme işlemine tabi tutulan malzeme KDR2 olarak belirtilmiştir. Taraklı platforma düşen ve uygun soğutma parametreleri daha önce belirtilen numuneye uygulanan soğutma pratiğine ait numune KDR3 olarak belirtilmiştir. KDR3 numunesinin sonuçları en uygun şekilde gösterebilmesi adına deney şasesi soğutma platformuna getirilmiş olup önceden tayin edilen bölgeye kadar hava ortamında bekletilerek, soğutma suyu sıcaklığı, basıncı, debisi, hadde hızı gibi parametreler

dikkate alınarak taraklı platformda sergileyeceği davranışın aynısı şasede uygulanmıştır. Pratik uygulamaları tamamlanınca sırasıyla mekanik, metalografik, kimyasal, mikroskobik testler için numuneler alınmıştır.

Metalografik numune alma için ilk adım olan kesme, incelenecek mikroyapı elemanlarına göre, malzemenin haddelenmiş numune için haddeleme yönüne doğru alınan büyük numunenin herhangi yapısal değişime neden olmayacak şekilde bor yağı verilen disk yardımıyla uygun ölçüye indirilmesidir. Kesme işlemi için HARDWAY HCM 60 model cihaz kullanılmış olup Resim 3.14'te gösterilmiştir.



Resim 3.14 HARDWAY HCM 60 modele sahip kesme cihazı görünümü.

Bakalite alma işlemi numune hazırlama işleminin kolayca yapılmasını sağlamak ve bir sonraki aşama olan zımparalama için numunenin el ile tutulabilmesi için kesilen numunelerin sıcak ya da soğuk olarak şekillendirilme işlemidir. Bu çalışmada sıcak bakalite alma işlemi yapılmış olup malzeme 30 mm kalıp içinde 150 °C'de toplam 15 dk. işlem görmüştür. Malzeme ile birlikte kalıp içine dökülen termoplastik toz 1200 kgs basınca kadar preslenmektedir. Bu aşamadan sonra malzeme cihaz içinde soğutma aşamasına geçirilmektedir. Sıcak bakalite almada genel olarak termoplastik toz malzemeler soğuk bakalite alma işleminde reçine gibi ekipmanlar kullanılmaktadır.

Metalografik numune hazırlama işlemi için HARDWAY ZXQ-2 modele sahip sıcak bakalite alma cihazı kullanılmış olup Resim 3.15’de gösterilmiştir.



Resim 3.15 HARDWAY ZXQ -2 model bakalite alma cihazı görünümü.

Kalıplama işlemi sonrasında mikroyapısal incelemeye uygun hale getirilmesi amacıyla zımparalama ve parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işlemi kaba zımparalamadan inceye doğru yapılmıştır. Zımparalama 240, 320, 600, 800 ve 1200 numaraların sahip olduğu kağıtlar kullanılmış olup her kademe geçişinde numune 90 derece döndürülerek işlem yapılmıştır. Parlatma işleminin temel amacı ise yüzey pürüzlülüğünü azaltmak suretiyle, ışığı iyi yansıtan bir yüzey elde etmektir. Zira metal mikroskopları numune yüzeyinden yansıyan ışınları incelemektedir. Bu durumdan dolayı parlatma işleminde elmas solüsyon kullanılıp numune parlatma tezgahı dış yüzeyinden merkeze doğru oval hareket yapılarak parlatılmıştır. Zımparalama ve parlatma işlemi için HARDWAY MT S2 modele sahip cihaz kullanılmakta olup Resim 3.16’da gösterilmektedir.



Resim 3.16 HARDWAY MT S2 model zımpara ve parlatma cihazı görünümü.

Parlatılmış yüzeyler ışığı eşit miktarda yansıttığı için malzeme yapısı detayları hakkında bir görüş bildirilemez, bunu sağlamak için mikroyapıda kontrast oluşturmak gerekmektedir. Metalurjik incelemelerin çoğu parlatılmış yüzeylerin uygun bir kimyasal çözelti ile muamele edilmesinden (dağlama) sonra yapılır. Dağlama çözeltisi olarak düşük karbonlu yapı çelikleri için %3 lük Nital çözeltisi kullanılmıştır. Tane boyutu, empürite, segregasyon, mikroyapı gibi birçok parametrenin incelenmesi için dağlama işlemi gereklidir.

3.4.7 Sertlik Ölçümü ve Numunelerinin Hazırlanması

Genel anlamda malzeme yüzeyine en çok uygulanan deneylerden biri sertliğinin ölçülmesidir. Bunun ana sebebi, deneyin basit oluşu ve diğerlerine oranla numuneyi daha az tahrip etmesidir. Diğer avantajı ise, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunmasıdır. Örneğin yapı çeliklerinde, çekme mukavemeti sertlik ile doğru orantılıdır. Bundan dolayı, yapılan basit sertlik ölçmesi neticesinde malzemenin mukavemeti hakkında bir fikir edinmek mümkündür.

Sertlik izafi bir ölçü olup malzemelerin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği direnç ile ilgilidir. Laboratuvarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik

ölçmelerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu dirençtir. Bu çalışmada gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde HARDWAY HRS 150 D model cihaz kullanılmıştır (Resim 3.17)



.Resim 3.17 HARDWAY HRS 150 D model sertlik cihazı görünümü

Rockwell sertlik deneyi, yapılmasının çok kolay olması ve özel bir ustalık gerektirmemesinden dolayı metallerin sertlik ölçümünde en yaygın kullanılan metottur. Rockwell sertliği, batma derinliğine karşı gelen birimsiz bir sayıdır. Batıcı uç, konik uçlu veya bilye şeklindedir. Rockwell sertlik deneyi yapılan numuneler metalografik numune hazırlama yöntemiyle hazırlanıp testleri uygulanmıştır. Deney parçasının görünümü Resim 3.18’da belirtilmiştir.



Resim 3.18 Rockwell sertlik ölçüm numunesi görünümü.

Sertlik ölçümünde kullanılan batıcı ucun tipi ile uygulanan yükün değeri bir sembolle gösterilir. Bu nedenle, farklı ölçeklere göre yani değişik deney koşullarında ölçülen farklı düzeydeki sertlik değerleri RSD-A, RSD-B, RSD-C, RSD-D gibi simgelerle birlikte verilir. Çok sert malzemelerin Rockwell sertliği koni biçimindeki elmas uç kullanarak 150 kg'lık yük altında ölçülür ve sonuçlar RSD-C simgesi ile belirtilir. Yumuşak malzemelerin sertliğinin ölçümünde ise batıcı uç olarak çelik bilye kullanılır ve 100 kg'lık yük altında elde edilen ölçüm sonuçları RSD-B simgesi ile gösterilir. Bir malzemenin Rockwell cinsinden ölçülen sertlik değeri 100 rakamını aşarsa batıcı uç olarak bilye kullanılması tavsiye edilmez. Çünkü çok sert malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde batıcı uç olarak bilye kullanılması, hem bilyenin deforme olmasına hem de ölçüm hassasiyetinin azalmasına neden olur. Diğer taraftan herhangi bir skalaya göre Rockwell sertliği 20 sayısından daha düşük olan malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde koni biçimindeki elmas uç kullanılması tavsiye edilmez. Bu çalışmada, 1.588mm çapa sahip sabit alaşım çelik indenter uç kullanılmış olup ön yük olarak 98 N yük uygulanmıştır. Test yükü olarak 980 N yük uygulanmıştır. Ortalama sertlik ölçüm tayini yapmak için her numunenin farklı yerinden 4 adet ölçüm alınmıştır. Dönüşüm olarak vickers cinsinden sertlik değeri değerleri alınmıştır. Alınan ölçümlerin ortalama sertlik değerleri mekanik test sonuçlarında kullanılmıştır.

3.5 Kristal Yapı (Faz) Analizi (X-Işını Kırınımı, XRD)

Kristal yapı, üç boyutlu uzayda düzgün tekrarlanan bir deseni temel alan bir atomik yapıya sahiptir. Bu nedenle, katıların kristal yapısı, yapıda bulunan atom gruplarının ya da moleküllerin katıya özgü olacak şekilde geometrik düzende bir araya gelmesi ile oluşur. İlk kez Max van Laue tarafından kristal yapı ve yapı içerisindeki atomların dizilişleri X-ışını kırınım desenleri kullanılarak incelenmiştir. Katıların kristal yapılarını incelemek için en çok kullanılan kırınım tekniği X ışını kırınımıdır. Soğutma pratiği yapılan numunede oluşan fazların incelenmesi amacıyla XRD analizi yapılmıştır. Analizler bakır (Cu) X-ışını tüpü ile 30 mA akım ve 40 kV voltajda gerçekleştirilmiştir. Tarama 10-100° aralığında Bruker D8 Advance marka x-ışınları kırınım cihazı ile yapılmıştır (Resim 3.19).



Resim 3.19 Bruker D8 Advance marka X-ışınları kırınım cihazı (AKÜ TUAM).

3.6 Mikro Yapı Analizi (Taramalı Elektron Mikroskobu, SEM)

Taramalı elektron mikroskobunun optik kolonunda; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, demeti toplamakta ve yönlendirmekte kullanılan kondenser ve objektif mercekleri, demet çapını sınırlamakta kullanılan açıklıklar, numune yüzeyini taraması için demeti uygun şekilde saptıran tarama bobinleri vardır. Optik kolon alttan numune ocağına açılır. Burada üç boyutta hareket edebilen numune kazağı, demet-numune etkileşimi sonucu oluşan değişik sinyallere duyarlı algılayıcılar bulunur. Mikroskobun elektronik donanımı ise filament akımı, mercek akımı ve uyarma gerilimini kararlı tutarken, algıcılardan gelen sinyalleri işleyerek numunenin değişik özelliklerini yansıtan görüntüler oluşturur (Kaytaz 1990). Numunelerin mikro yapısını incelemek için LEO 1430VP markalı taramalı elektron mikroskobu ile malzeme yüzeyinden veya ihtiyaç duyulduğunda SEM görüntüleri alınarak morfoloji, şekil, boyut ve faz dağılımı hakkında analiz yorum yapılabilir.



Resim 3.20 LEO 1430VP markalı taramalı elektron mikroskobu (AKÜ TUAM).

4. BULGULAR

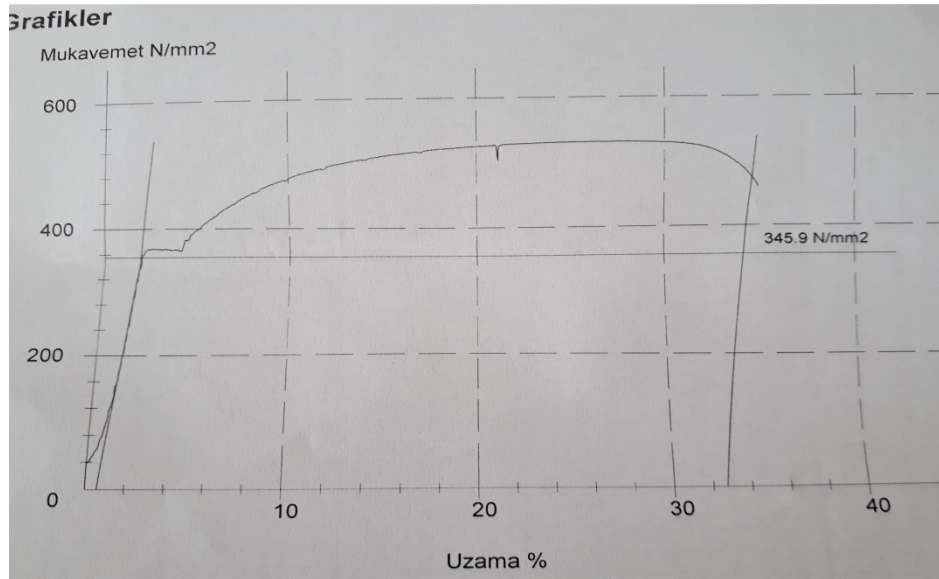
4.1 Mekanik Özellik Test Sonuçları

S275 JR+AR kaliteye sahip 50x50x5 mm köşebent için yapılan KDR 1, KDR 2 ve KDR 3 pratikleri için yapılan karşılaştırmalı mekanik test sonuçları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Karşılaştırmalı mekanik test sonuçları.

	KDR 1	KDR 2	KDR3	Standart hata değeri
Ortalama Sertlik (HRB)	65,50 (4)	102,8 (4)	77,07 (4)	% 0,10
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	524,84	566,04	529,79	% 0,21
Akma Dayanımı (N/mm ²)	345,9	366,89	349,27	% 0,19
Uzama (%)	32,0	23,21	31,3	% 0,16
Kesit Alanı (mm ²)	100,96	101,75	101	%0,19
Darbe Dayanımı (joule)	84,23	23,90	66,35	%0,16

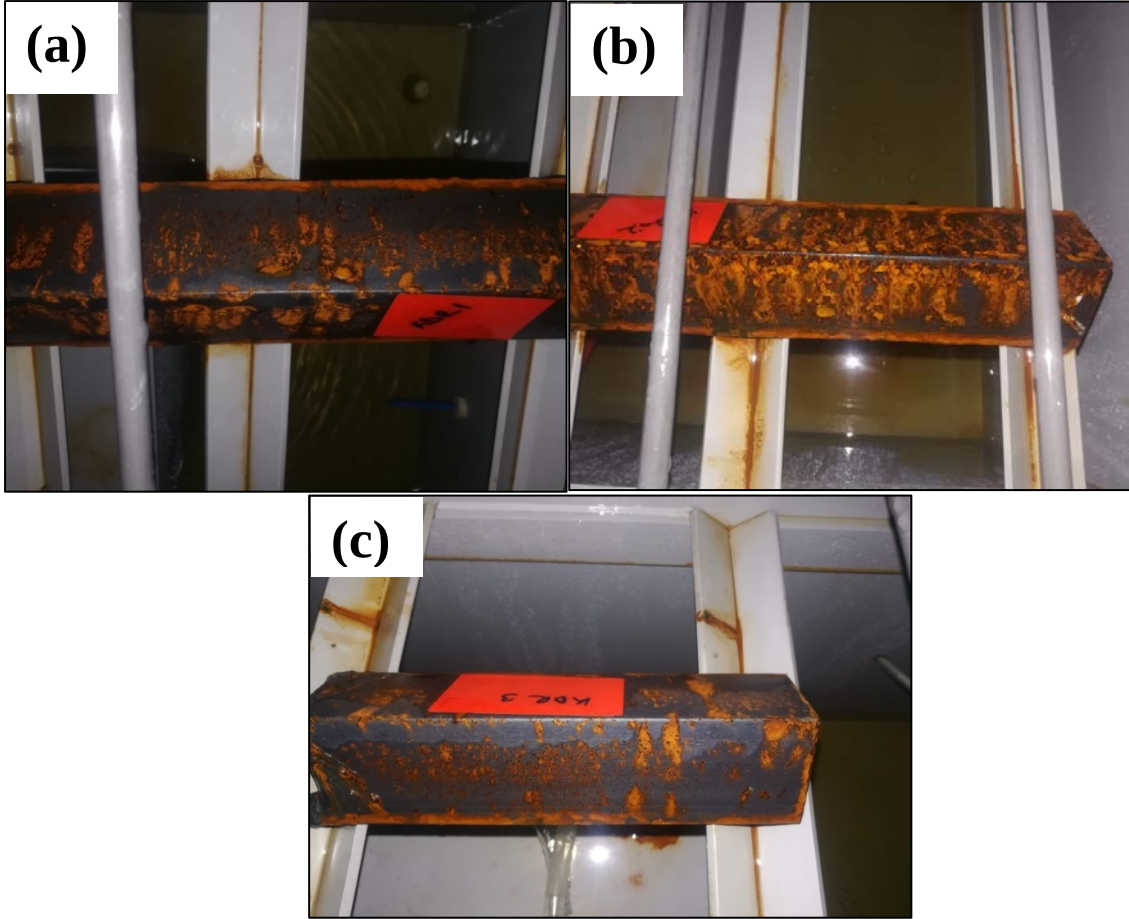
Numunelerin tümüne yapılan çekme analizinin temsili görüntüsü için, KDR 1 numunesine ait çekme testi grafiği Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 KDR 1 numunesi çekme test grafiği görünümü.

4.2 Tuz Testi Sonuçları

Yapı profilleri kullanım durumundan dolayı birçok farklı alanda hayatımızda karşımıza çıkmaktadır. Çelik malzemeye en çok zarar veren özelliklerden biri olan korozyon davranışını incelemek için bu test yapılmıştır. Testin yapılmasındaki temel amaçlardan birisi de soğutma pratiği ile malzemenin korozyon davranışında optimum bir ilişki söz konusu olabilme ihtimali incelenmiştir. KDR1, KDR2 ve KDR3 numuneleri ASTM B117 standardına göre 24 saat boyunca tuz testine maruz bırakılmış olup numunelerin son hali Resim 4.1’de kıyaslanmıştır.

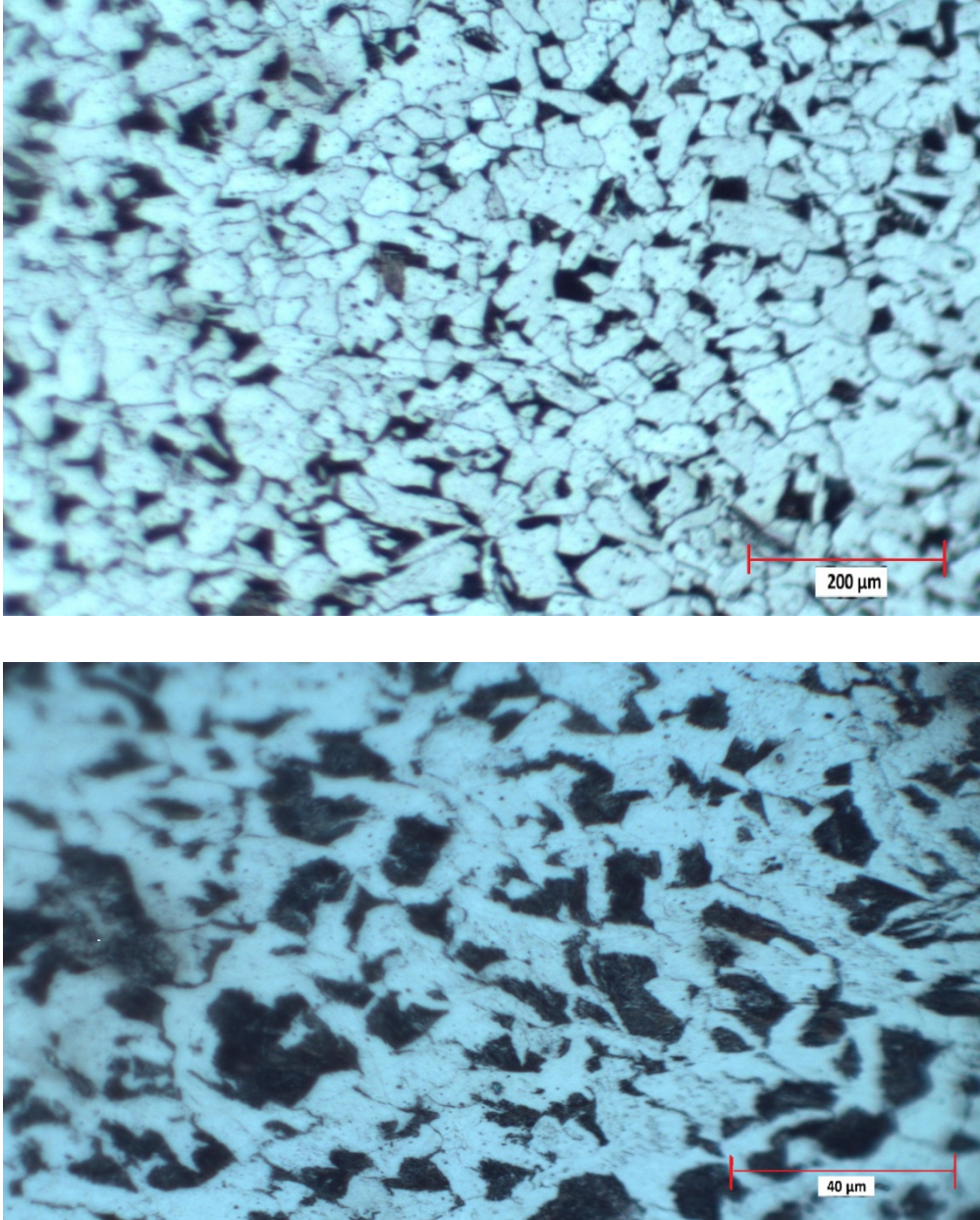


Resim 4.1 (a) KDR 1, (b) KDR 2 ve (c) KDR 3 tuz testi sonuç görünümü.

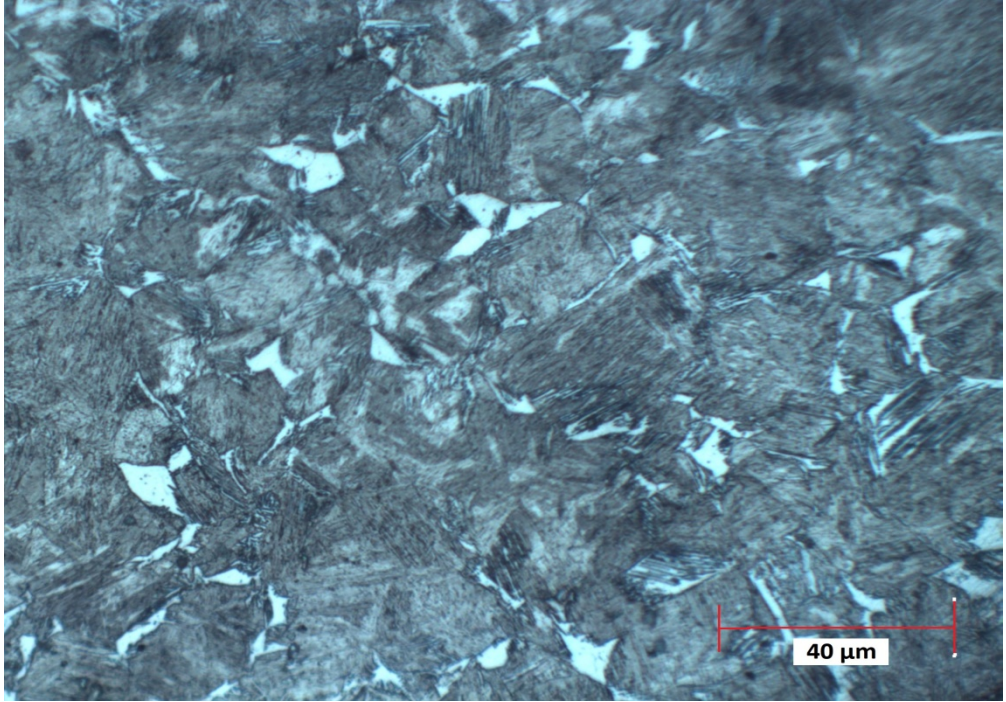
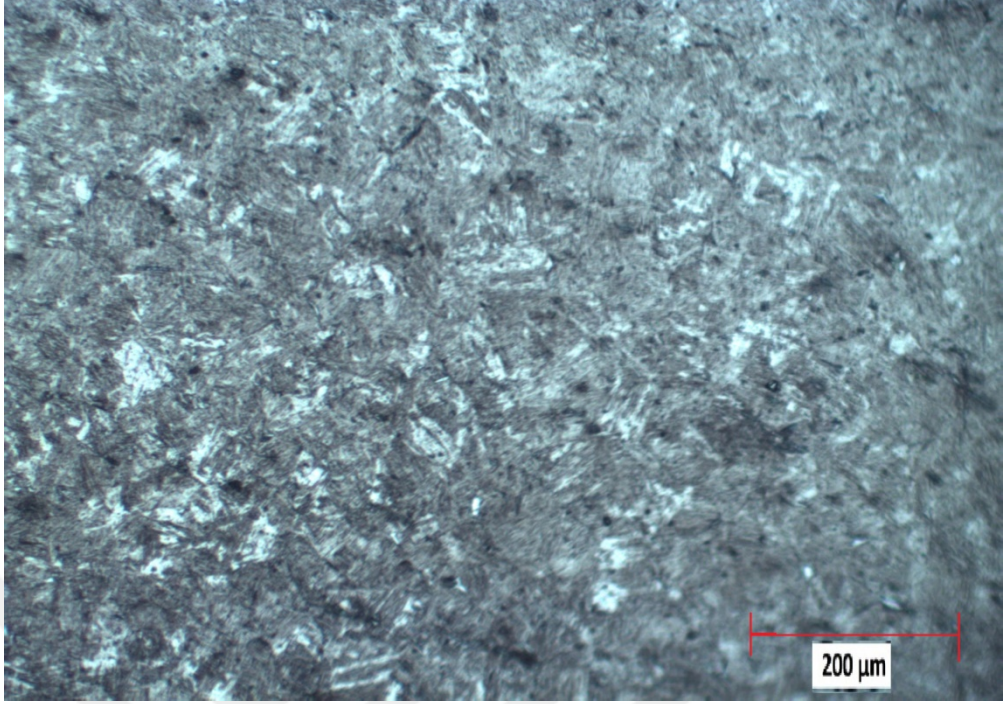
Tuz testi sonucuna göre en yoğun korozyon direk su verilen KDR2 numunesinde görülmüştür. KDR3 numunesinin korozyon davranışının diğer hiç su verilmeyen KDR1 numunesiyle benzer davranış sergilediği görülmektedir.

4.3 Optik Mikroskop Mikro Yapı Analiz Bulguları

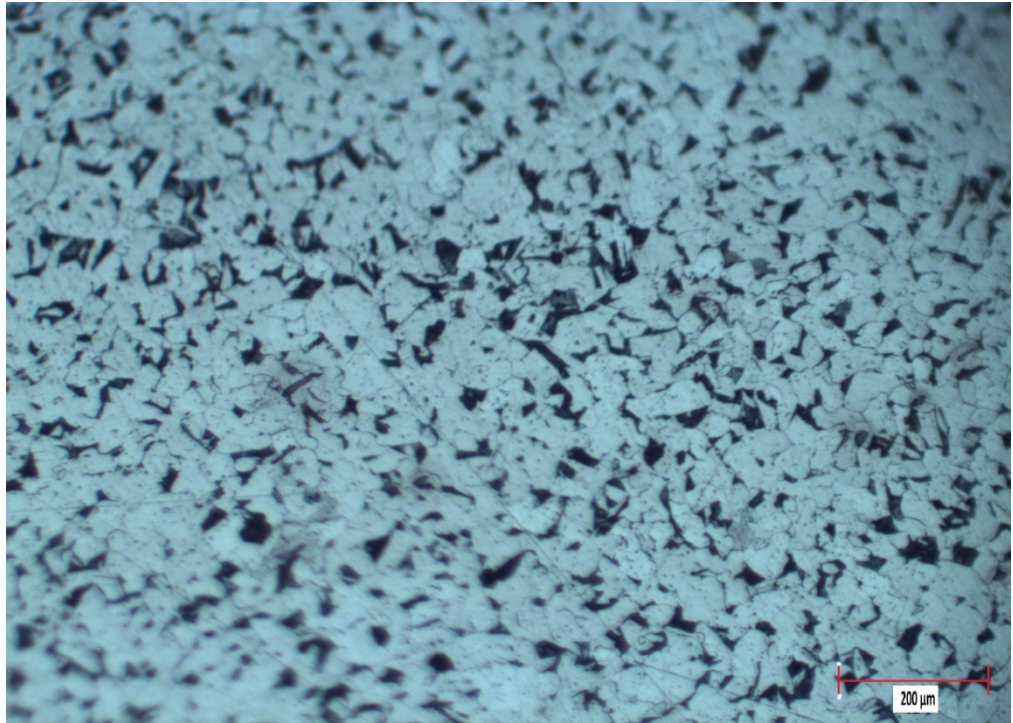
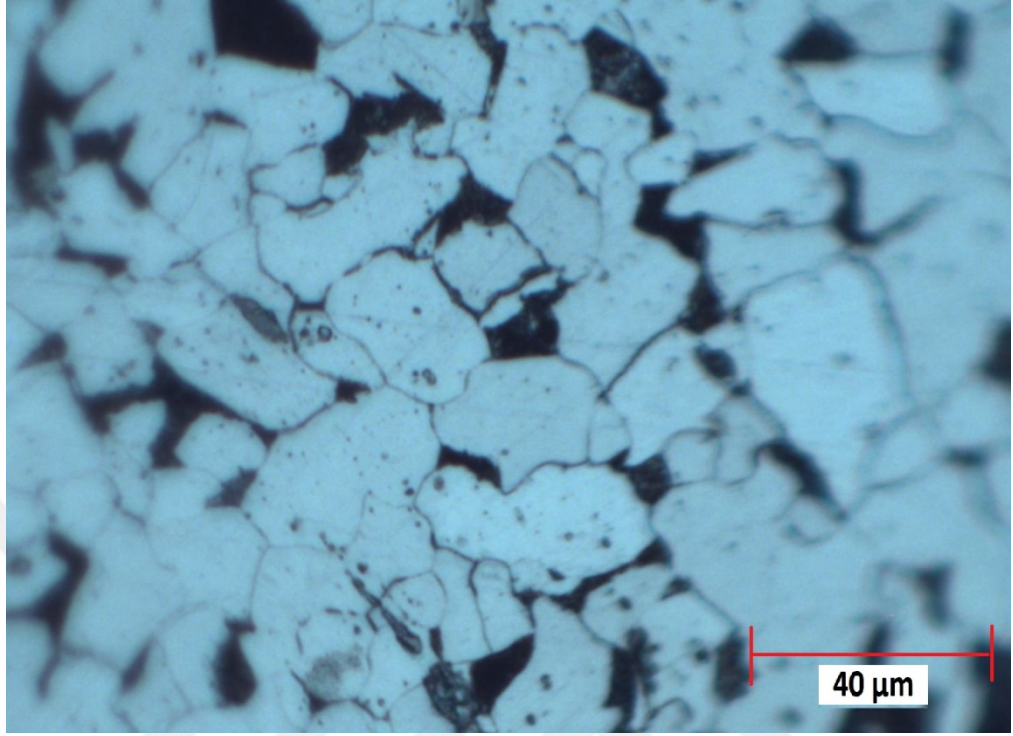
S275JR kaliteye sahip 50x50x5 mm köşebent numunelerine uygulanan soğutma pratiği değişikliğine ait KDR1 nolu numunenin farklı büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.2’de, KDR2 nolu numunenin görüntüleri Şekil 4.3’te, KDR3 nolu numunenin görüntüleri Şekil 4.4’de görülmektedir. Mikroyapı bulgularında KDR1 ve KDR3 numunelerinde ferrit ve perlit KDR2’de martenzit mikroyapısı görülmüştür.



Şekil 4.2 KDR 1 numunesi optik mikroskop 100x (üst) ve 500x (alt) büyütme görüntüleri.



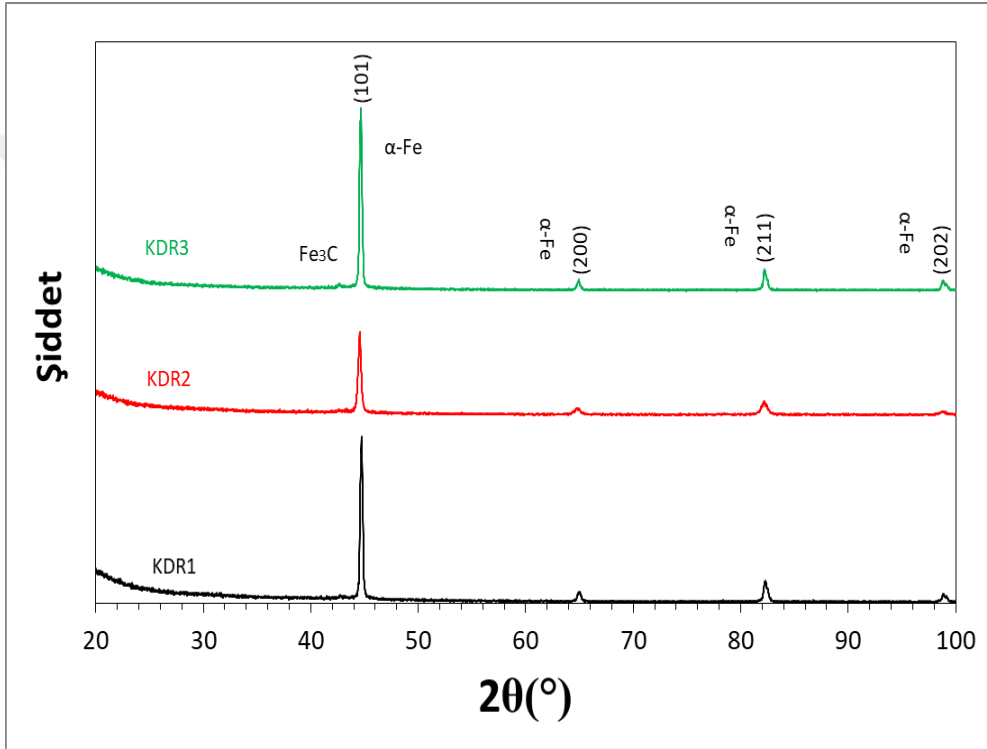
Şekil 4.3 KDR 2 numunesi optik mikroskop 100x (üst) ve 500x (alt) büyütme görüntüleri.



Şekil 4.4 KDR 3 numunesi optik mikroskop 100x (alt) ve 500x (üst) büyütme görüntüsü.

4.4 Kristal Yapı (Faz) Analizi (X-Işını Kırınımı, XRD) Bulguları

Modern X-ışını cihazlarında, kırınıma uğrayan ışının kırınım açısını ve şiddetini ölçecek ışıyım sayıcılar bulunur. Böylece kırınım açısının (2θ), kırınıma uğrayan ışının şiddetine göre değişimini veren kırınım deseni elde edilir. Desen üzerindeki pik genişliklerine ve zemin şiddetine bakılarak malzemenin kristalleşmesi hakkında bilgi edinilebilir. Soğutma pratiği yapılan metal numunelerin $2\theta=20-100^\circ$ aralığında taranan XRD analiz değerleri Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

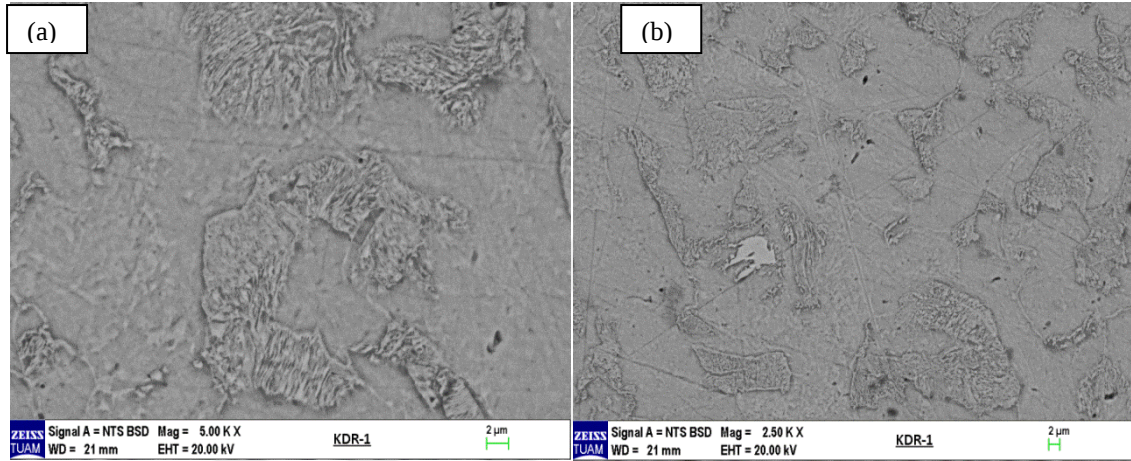


Şekil 4.5 KDR1, KDR2, KDR3 numunelerinin karşılaştırmalı XRD analiz sonucu.

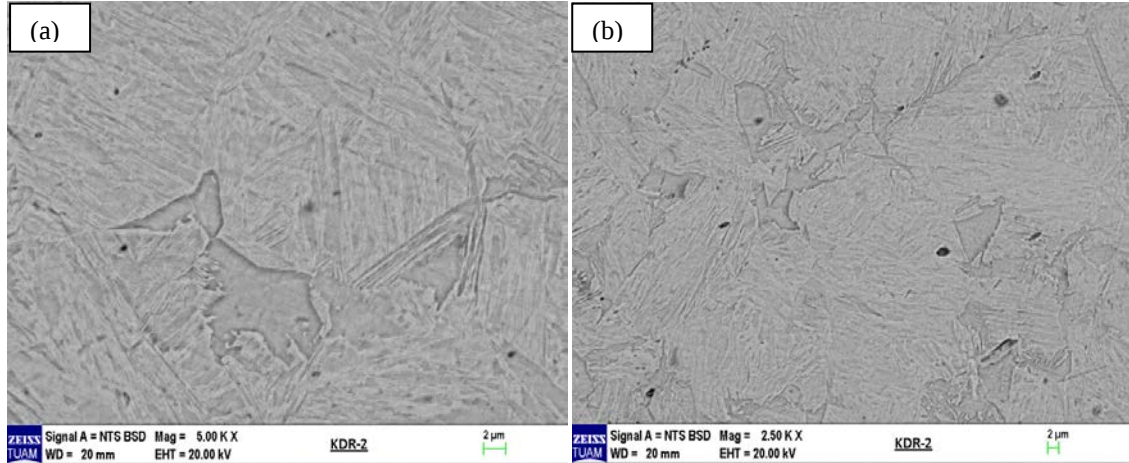
Analiz sonucuna göre KDR1 ve KDR3 numunelerinin $45^\circ, 65^\circ, 82^\circ$ ve 99° piklerinin tamamında α -Fe fazı görülmüştür. Pik şiddetleri birbirine çok yakındır. Bu iki numunede de 43° civarında şiddeti az bir pik görülmüştür. Bu pik normalde γ -Fe piki olarak düşünülebilirdi fakat 55° ’de bir destek piki görülmendiği için bu pik Fe₃C karbür pikidir. KDR2 de aynı derecelerdeki pik şiddetleri diğer iki numuneye göre çok daha azdır.

4.5 Mikro Yapı Analizi (Taramalı Elektron Mikroskobu, SEM) Bulguları

Numunelerin mikro yapısını incelemek için LEO 1430VP markalı taramalı elektron mikroskobu ile malzeme yüzeyinden inceleme yapılmıştır. KDR1 numunesi için iki farklı büyütmede yapılan SEM mikroyapı analiz görünümü Şekil 4.6’da belirtilmiştir. KDR2 numunesi için iki farklı büyütmede yapılan SEM analizi mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.7’de belirtilmiştir.

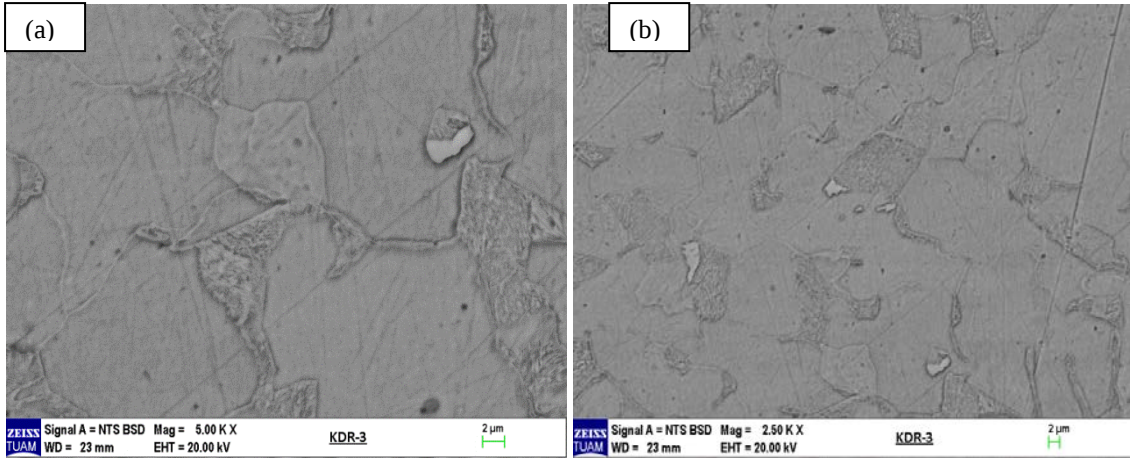


Şekil 4.6 KDR1 numunesine ait (a)5000x ve (b)2500x’te incelenen SEM mikroyapı fotoğrafları.



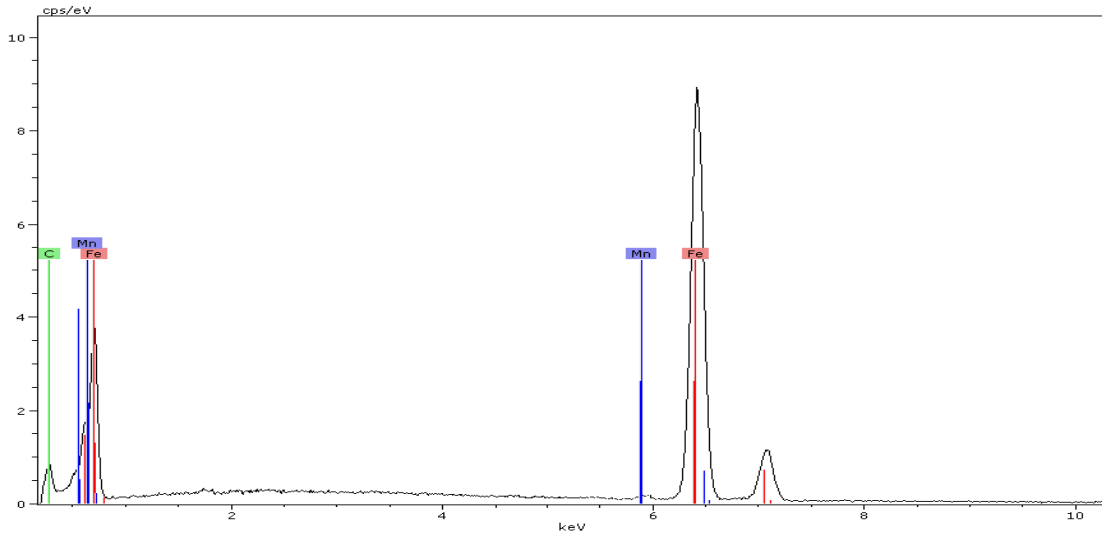
Şekil 4.7 KDR2 numunesine ait (a)5000x ve (b)2500x’te incelenen SEM mikroyapı fotoğrafları.

KDR3 numunesi için iki farklı büyütmede yapılan SEM analizi mikroyapı görüntüleri Şekil 4.8’de belirtilmiştir.



Şekil 4.8 KDR3 numunesine ait (a)5000x ve (b)2500x’te incelenen SEM mikroyapı fotoğrafları.

KDR1 ve KDR3 numuneleri SEM analizi sonucuna göre benzer mikroyapılar göstermiştir. Burada açık renkli parçaların olduğu bölgelerde karbürler mevcuttur. Perlit fazı ihtiva etmektedir.KDR2 numunesinde ise martenzit, tane sınır ferriti görülmektedir. Üç numune için de geçerli olup değişim görülmeyen EDS analiz sonucu grafiği Şekil 4.9’da belirtilmiştir.



Şekil 4.9 KDR1-2-3 numunesi için EDS analiz görünümü.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, Kar-Demir Haddecilik San. Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi'nde, yapı profillerinin sıcak haddelenmesinde uygulanan soğutma pratiklerinden farklı yeni bir soğutma pratiği geliştirilerek, mevcut soğutma düzenindeki; ince profillerde oksidasyon, su vermenin bölgesel uygulanmasından dolayı homojen olmayan soğuma koşulları, distorsiyon (çarpılma) gibi istenmeyen durumların giderilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda “Taraklı Soğutma Sistemi” olarak adlandırılan yeni bir soğutma sistemi tasarlanmış ve aynı boyuta ve kaliteye sahip köşebent profile prototip olarak üretilen deney düzeneğinde yeni üç farklı soğutma pratiği uygulanmıştır.

Seri üretim yapan haddehaneler de üretim hızı oldukça önemli bir kriter olduğu için işletmedeki mevcut soğutma düzeneği numunesi olan KDR 1 ile belirli bir pratikle soğutulan numune olan KDR 3 karşılaştırıldığında soğutma pratiği etkisiyle çekme, akma ve uzama gibi mekanik değerlerinde çok belirgin bir değişim olmadan, tokluğundan ve sertliğinde biraz artış görülmüş mamül elde edilmiştir. Soğutmanın malzemenin korozif davranışına etkisi incelenmiş olup malzeme üzerinde normalde oluşabilecek korozif ortam süresinde herhangi bir gecikme görülmemiştir.

Müşteri talepleri doğrultusunda, mikroyapıda su verme hızları ve sürelerine göre beynit-martenzit dönüşümü sağlamak üzere çalışmaların gerçekleştirilmesiyle katma değerli ürün geliştirmede farklı değerlendirmeler yapılabileceği öngörülmüştür. Bu sistem üzerindeki en büyük avantaj soğutmanın kontrollü olarak yapılıp üretim esnasındaki gidişata göre yeni pratik stratejilerinin türetilabiliyor olmasıdır. Üretim hızı yavaşladığında su süre ve basıncında azaltma yada üretim hızı arttığında bu parametreleri arttırarak sonraki proses adımlarında oluşabilecek hurda ya da bozuk parça durumunun önüne geçilebilmektedir. Sistem üzerindeki dezavantaj ise köşebent harici karmaşık şekilli profillere uygulanabilirliğinin zor oluşudur.

Bu çalışmada daha farklı sıcaklık, basınç ve nozul değerlerinde daha iyi soğutma pratikleri oluşturulabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akbaşı, A., Bağıcı, M., Yeşilmen, N., Ahmet, S. (1998). Metallerin İşlenmesi Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, Milli Eğitim Bakanlığı Basımevi, İstanbul.
- Boyoğlu, E. (2014). Şerit hadde sonrası soğutma pratiğinin çelik mikro yapısı ve mekanik özelliklere etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Czichos, H. (1994). Werkstofftechnik als Basis industrieller Produkte. *Stahl und Eisen*, **114**: 63-70.
- Davis, J. R. (1995). Guide to Material Section. In: Engineer Materials Handbook Desk Edition. *ASM Section*, **35**: 149-150.
- Degner, M. (2007). Steel Manual. Verlag Stahleisen, Dusseldorf, Germany.
- Dieter, G.E. (1988). Mechanical Metallurgy. MC Graw-Hill, London, UK.
- Erdoğan, M. (2000). Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Güleç, Ş., Aran, A. (1987). Malzeme Bilgisi. TÜBİTAK Yayını, MBEAE Matbaası, 2. Cilt, Gebze.
- İkiz, B. (2009). Sıcak Haddelme Tempcore Prosesi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.
- Kavanagh, L., Carson C., Dasgupta B., Han J., Wang F. (1998). Steel industry technology roadmap. AIME, Science Press, Beijing.
- Kayalı, E., S., Ensari, C., (2000). Metallerde Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları. İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi. Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Kaytaş, Y. (1990). Cevher hazırlama kitabı. İ.T.Ü Yayınları, İstanbul.
- Kesti, E. (2009). Ç - 4140 Çeliğinin Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Llewellyn, D.T. and Hudd, R.D. (1998). Steels: Metalurgy and Applications. Butterworth-Heinemann, USA.

- Ögel, B. (2018). Termomekanik haddeleme ve yeni nesil çelikler ders notları, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
- Pickering, F.B. (1961). Physical Metallurgy and the Design of Steels. Applied Science Publishers, USA.
- Pickering, F.B. and Gladman, B. (1961). T. ISI Special Report. 81 USA.
- Schulz, E. (1993). Die Zukunft des Stahls im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie. *Stahl und Eisen*, **113**: 25-33.
- Sellers, C.M. (1985). HSLA Steels: Metallurgy and Applications. Beijing, PRC.
- Tamura, I., Ouchi, C., Tanaka, T. and Sekine, H. (1988). Thermomechanical Processing of High Strength Low Alloy Steels, Butterworths-Heinmann, USA.
- Xu, K. (2002). The 20th century-ferrous metallurgy advanced towards engineering science from skill. *Shanghai Metals*, **24**: 1-10.
- Yin, R.Y., Cai J.J. (1999) Steel production process vs emission atmosphere. *Iron and Steel*, **34**: 61-65.
- Yin, R.Y. (1993). The evolution of metallurgical process functions and the optimization of steel plant structure. *Acta Metallurgica Sinica*, **29**: 289-315.
- Yin, R.Y. (1994). Engineering evaluation on structural optimization of steel industry and steel plants. *Iron and Steel*, **29**: 1-22.
- Yin, R.Y. (2001). Understanding of several issues in the development of steelmaking technologies at the beginning of 21st Century, *Steelmaking*, **17**: 1-6.
- Yin, R.Y. (2004). Rise and Technological Progress of the Chinese Steel Industry. Metallurgical Industry Press, Beijing, China.
- Yin, R.Y. (2008). Achievement on the thin slab casting process in China. *Iron and Steel*, **43**: 1-9.
- Yin, R.Y. (2011). Metallurgical Process Engineering. Springer, Berlin, Germany.

İnternet Kaynakları

1) <http://www.kromancelik.com.tr>, 01.01.2014



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : AYTAÇ BULUT
Doğum Yeri ve Tarihi : KONAK, 06.06.1992
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
İletişim (Telefon/e-posta) : 0554 770 73 46 / aytacbulutt@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Vali Erol Çakır Anadolu Lisesi, (2006-2010)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, (2010-2014)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, (2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kardemir Haddecilik ve Elektrik SAN.TİC.A.Ş (2015- Devam ediyor.)

Yayınları (SCI ve diğer) : Bulut A., İpekkan A., Öncü S.,Kozak C.,Tan E.,(2017) 6.EFRS Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu “Sıcak Haddeleme Sonrası Yapı Profillerinde Soğutma Parametrelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi “ Poster Sunumu