



**HIZLANDIRILMIŞ SU VERİLMİŞ NUMUNELERDE  
KALINTI GERİLMENİN ÖLÇÜMÜ**

**Furkan Ayhan TEZER**

**2024  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**HIZLANDIRILMIŞ SU VERILMIŐ NUMUNELERDE KALINTI  
GERILMENİN ÖLÇÜMÜ**

**Furkan Ayhan TEZER**

**T.C.**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**KARABÜK**

**Ocak 2024**

Furkan Ayhan TEZER tarafından hazırlanan “HIZLANDIRILMIŞ SU VERİLMİŞ PROFİLLERDE KALINTI GERİLMENİN ÖLÇÜMÜ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI .....  
Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER ( SÜ) .....

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ) .....

Üye : Dr.Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA (KBÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN .....  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Furkan Ayhan TEZER

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **HIZLANDIRILMIŞ SU VERİLMİŞ PROFİLLERDE KALINTI GERİLMENİN ÖLÇÜMÜ**

**Furkan Ayhan TEZER**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**Ocak 2024, 49 sayfa**

İnşaat ve çelik konstrüksiyon alanında kullanılan ve Türkiye’de üretilmeyen yüksek mukavemetli profillerin hızlandırılmış ısıtma yöntemleri ile üretilmesinin araştırılması amacıyla laboratuvar şartlarında S355 JR ve S355J0 kalitesinde HEA 120 ve/veya HEB 120 ebadında profillerin değişik hava/su karışımı oranında soğutma şartları ile toklukta ödün vermeyerek ve hatta tokluğu artırarak mukavemetinin artırılması amaçlanmıştır. Türkiye’de HE 280-300 ebatlarında ağır profil üreten tek tesis olduğu ve bu tesiste de profil mukavemet artırma çalışmaları yapılmadığından hareketle bu çalışma ilk olması ve diğer tesislere de örnek olacağından dolayı önemlidir. Ray sertleştirme ile başlayan bu süreçte HE 280-300 ebatlarının sertleşmesi sonucu mukavemet artışı ile şu anda ithalatı yapılan bu ebatların Türkiye şartlarında üretilerek cari açığın azaltılmasına katkıda bulunması planlanmaktadır. Bu çalışmada HEA120 ve HEB120 profillere (S355) 8 bar ve 12 bar basınç altında 10 ve 20 sn sürelerde hızlandırılmış numunelere uygulanmasıyla en yüksek soğuma hızı 60°C/sn en düşük 6 °C/Sn soğuma hızları elde edilmiştir. HEA120/12b/10s kodlu numuneye

uygulanan ısıtıl işlem ile web kısmında 326 Mpa çekme kalıntı gerilmesi elde edilirken HEA120/8b/10s uygulanan ısıtıl işlem ile web kısmında 292 Mpa basma kalıntı gerilmesi elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Çelik, Isıl işlem, Hızlandırılmış soğutma, Kalıntı Gerilme, Sertlik, Çekme-Basma.

**Bilim Kodu** : 91516

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **MEASUREMENT OF RESIDENTIAL STRESS IN ACCELERATED WATERED PROFILES**

**Furkan Ayhan TEZER**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgical and Materials Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**January 2024, 49 pages**

In order to investigate the production of high-strength profiles, which are used in the field of construction and steel construction and are not produced in Turkey, with accelerated heat treatment methods, S355 JR and S355J0 quality HEA 120 and/or HEB 120 size profiles were tested under laboratory conditions by cooling conditions at different air/water mixture ratios without compromising toughness. It is aimed to increase the strength by increasing the toughness. Considering that it is the only facility in Turkey that produces heavy profiles in sizes HE 280-300 and that no profile strength increase studies have been carried out in this facility, this study is important as it is the first and will set an example for other facilities. In this process, which starts with rail hardening, it is planned to contribute to reducing the current account deficit by producing these sizes, which are currently imported, in Turkey's conditions, with the increase in strength as a result of the hardening of HE 280-300 sizes. In this study, by applying samples to HEA120 and HEB120 profiles (S355) accelerated for 10 and 20 seconds under 8 bar and 12 bar pressure, the highest cooling rate of 60 °C/sec and the

lowest cooling rate of 6 °C/sec were obtained. With the heat treatment applied to the sample coded HEA120/12b/10s, a tensile residual stress of 326 Mpa was obtained in the web part, while with the heat treatment applied to HEA120/8b/10s, a compressive residual stress of 292 Mpa was obtained in the web part.

**Key Word** : Steel, Heat treatment, Accelerated cooling, Residual Stress, Hardness, Tensile-Compression.

**Science Code** : 91516



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren saygı değer hocam Sayın Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Yazar, TÜBİTAK1005 222M441 kodlu proje ile sistemin tasarımı/üretimini desteklediği için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na ve Karabük Üniversitesi KBÜBAP-22-YL-107 kodlu BAP projesi ile de test edilen numunelerin karakterizasyonunu desteklediği için teşekkür eder.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	2
HADDELEME.....	3
2.1. HADDEHANE ÜRETİM AKIŞI.....	4
BÖLÜM 3 .....	6
ÇELİK LEVHALARIN HIZLI SOĞUTULMASI .....	6
3.1. HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTMANIN METALURJİK YÖNLERİ.....	8
3.2. PLAKALARIN HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTULMASI ESNASINDA ISI TRANSFERİ .....	8
3.3. TTT DİYAGRAMLARI (TIME TEMPERATURE TRANSFORMATION)10	
3.4. CCT DİYAGRAMLARI.....	11
BÖLÜM 4 .....	13
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	14
4.1. HAVA ATOMİZE SİSTEMİ.....	14
4.2. HS-KT ISIL İŞLEMİ ÖNCESİ PROFİLLERİN HAZIRLANMASI .....	19
4.3. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI .....	20

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.4. KALINTI GERİLME .....	21
BÖLÜM 5 .....	22
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	22
5.1. SOĞUMA EĞRİLERİ .....	22
5.2. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI.....	28
5.3. KALINTI GERİLME SONUÇLARI .....	40
BÖLÜM 6 .....	47
SONUÇLAR .....	47
KAYNAKLAR .....	48
ÖZGEÇMİŞ .....	49

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Haddeme ile plastik şekil verme. ....	3
Şekil 2.2. H profil kalibre düzeni. ....	4
Şekil 2.3.Haddeme iş akış planı. ....	5
Şekil 3.1. Hadde tezgahlarındaki kırılganlığa uygulanan QST işlemi. ....	6
Şekil 3.2. Hedeflenen kalitede ürün üretmek için QST işlem sistemi. ....	7
Şekil 3.3Tempcore süreci ve CCT diyagramı ile ilişkisi ....	9
Şekil 3.4. TTT Diyagramı [9] ....	10
Şekil 3.5. Östenitin Farklı Soğuma Hızları Sonucu Oluşan Mikro Yapıları [9].....	11
Şekil 3.6. Üzerinde Farklı Soğuma Eğrileri Sonucu Oluşan Yapıların Gösterildiği CCT Diyagramı ....	12
Şekil 3.7. TTT ve CCT Diyagramlarının Şematik Olarak Karşılaştırılması.....	12
Şekil 4.1. Çember tipi soğutma sistemi.....	14
Şekil 4.2. Hava su atomize sistem revizyon 1.....	15
Şekil 4.3. Hava su atomize sistem revizyon 2 a) tasarımı tamamlanan sistem (b) hava atomize nozul sistemi bağlantı aparatı.....	15
Şekil 4.4. 1200°C kapasiteli ısıtma işlem fırını ile soğutucu plakaların dizilimini gösteren kontruksiyon sistem tasarımı. (a) perspektif ve (b) önden şematik olarak görünümü.....	17
Şekil 4.5. Yiğitsan marka kompresör.....	18
Şekil 4.6. Hava+su karışımının sağlandığı sistemin (a) şematik ve (b) gerçek görünümü.....	19
Şekil 4.7 Nozul püskürtme etki alanının (a) yandan ve (b) önden görünümü .....	19
Şekil 4.8. Bir profilin bileşenlerinin (web/flanş bölgelerinin) ve sıcaklık ölçüm noktalarının gösterimi.....	20
Şekil 4.9. Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem model ZEISS SEM görüntüleme cihazı.....	21
Şekil 5.1. S355HEA120 İşlemsiz profilin (a) flanş ve (b) web kısmının gerinim- zaman grafikleri.....	40
Şekil 5.2. S355HEA120 1K/8b/10Sn İşlemsiz profilin (a) flanş ve (b) web kısmının gerinim-zaman grafikleri.....	41
Şekil 5.3. S355HEA120 2K/8b/10Sn İşlemsiz profilin (a) flanş ve (b) web kısmının gerinim-zaman grafikleri.....	42

**Sayfa**

Şekil 5.4. S355HEA120 1K/8b/20Sn İşlemsiz profilin (a) flanş ve (b) web kısmının gerinim-zaman grafikleri. ....	43
Şekil 5.5. S355HEA120 2K/8b/10Sn İşlemsiz profilin (a) flanş ve (b) web kısmının gerinim-zaman grafikleri. ....	44
Şekil 5.6. S355HEA120 2K/12b/10Sn İşlemsiz profilin (a) flanş ve (b) web kısmının gerinim-zaman grafikleri. ....	45
Şekil 5.7. Soğuma Hızı Kalıntı Gerilme değişimi .....	46

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 4.1. Kullanılacak çelik profillerin ölçü ve ısıl işlem öncesi mekanik değerler .....	16
Çizelge 4.2. Soğutma parametreleri .....	18
Çizelge 4.3. İncelenecek 355JR kalite HEA/HEB 120 tipi profillerin kimyasal bileşimleri. ....	20
Çizelge 5.1. İncelenen HEA120 kalite profilin 8 bar basınçlı hava+su altında sıcaklık-zaman grafiği .....	23
Çizelge 5.2. İncelenen HEA120 kalite profilin 12 bar basınçlı hava+su altında sıcaklık-zaman grafiği. ....	24
Çizelge 5.3. İncelenen HEB120 kalite profilin 8 bar basınçlı hava+su altında sıcaklık-zaman grafiği .....	25
Çizelge 5.4. İncelenen HEB120 kalite profilin 12 bar basınçlı hava+su altında sıcaklık-zaman grafiği .....	26
Çizelge 5.5. İncelenen profillerin soğuma hızları. ....	27
Çizelge 5.6. HEA120 çelik profillerin orijinal web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görüntüsü. ....	29
Çizelge 5.7. 8 bar basıncın 10 sn zamanla 1 kat mesafede uygulandığı HEA120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görüntüsü.....	30
Çizelge 5.8. 8 bar basıncın 10 sn zamanla 2 kat mesafede uygulandığı HEA120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm. ....	31
Çizelge 5.9. 8 bar basıncın 20 sn zamanla 1 kat mesafede uygulandığı HEA120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm. ....	32
Çizelge 5.10. 12 bar basıncın 10 sn zamanla 1 kat mesafede uygulandığı HEA120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm. ....	33
Çizelge 5.11. 12 bar basıncın 10 sn zamanla 2 kat mesafede uygulandığı HEA120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm. ....	34
Çizelge 5.12. 8 bar basıncın 10 sn zamanla 1 kat mesafede uygulandığı HEB120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm. ....	36
Çizelge 5.13. 8 bar basıncın 10 sn zamanla 2 kat mesafede uygulandığı HEB120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm. ....	37

**Sayfa**

Çizelge 5.14. 12 bar basıncın 20 sn zamanla 1 kat mesafede uygulandığı HEB120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm. ....	38
Çizelge 5.15. 12 bar basıncın 10 sn zamanla 2 kat mesafede uygulandığı HEB120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm. ....	39
Çizelge 5.16. İncelenen Profillerin Soğuma Hızı Kalıntı Gerilme verileri.....	45

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Mg : Magnezyum

Al : Alüminyum

Mn : Mangan

Zn : Çinko

Si : Silisyum

Fe : Demir

C : Karbon

Cu : Bakır

Ni : Nikel

Zr : Zirkonyum

Th : Toryum

Ag : Gümüş

Ce : Seryum

Re : Renyum

HS-KT: Hızlandırılmış Soğutma ve Kendi Kendini Temperleme

QST : Quenching and Self-Tempering (Su Verme ve Kendi Kendini Temperleme)



## **KISALTMALAR**

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

TS : Türk Standardı

CO : Karbon Monoksit

CO<sub>2</sub> : Karbon Dioksit

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Hızlandırılmış soğutma prosesleri son 30-35 yılda çelik üretiminde önemli ölçüde değişmiş ve önemli prosesler haline gelmiştir. Bu işlem ilk olarak 1960'larda sıcak haddelenmiş şeridin çıkış tablasını kısaltmak için kullanıldı, ancak beklenmedik faydalar keşfedildi. Bu faydaların belirlenmesinin ardından bu alanda bu süreci farklı açılardan inceleyen yoğun araştırma çalışmaları başlatıldı. Bir sonraki adım, farklı alaşım bileşimlerinin ve malzeme için farklı soğutma senaryolarının neden olduğu değişiklikleri inceleyerek alaşım tasarımı ve süreç varyasyonlarına odaklandı. Dupleks çelikler, ferritik beynitik çelikler ve ince perlitik çelikler gibi birçok çelik türü bu prosesin gelişmesi sonucu ortaya çıkan ürünlerdir [1].

Ülkemizde özellikle 17 Ağustos 1999 deprem felaketinden sonra betonarme yapılarda kullanılan inşaat demirlerinin dayanıklılığı konusunda tartışma çıkmış ve bu malzemelere yönelik çeşitli zorunluluklar getirilmiştir. Birincisi, S420 kalite çelik çubukların çekme mukavemetinin akma mukavemetine oranının 1,15'i geçmemesidir. Bunu sağlamak için malzemenin akma dayanımının 420 MPa'nın altında kalmaması, çekme değerinin ise belirtilen değerleri aşmaması gerekmektedir. Bunu başarmak için Tempcore adı verilen hızlandırılmış bir soğutma sistemi geliştirildi. Yuvarlandıktan sonra kanaldan geçen ostenit çubuğun dış yüzeyi hızla soğutulur. Soğutma ızgarası, ısıyı malzeme çekirdeğinden dış kabuğa doğru hızla aktararak gövde boyunca esnek bir yapı sağlar. Sonuç olarak, çelik çubuklar hem gerekli akma dayanımını hem de tokluğu elde eder [2, 3].

Günümüz demiryolu malzemelerinde kullanılan perlit rayların aşınma ve yorulma direncini arttırmak için hızlandırılmış soğutma işlemi kullanılmaktadır. R260 kalite olarak bilinen kaba ötektoid perlit rayların aşınma direnci, eğrilik yarıçapı 2000 metreden az olan kurplar için yetersizdir. Bu bağlamda perlit lameller arasındaki mesafeyi azaltarak malzemenin mukavemetini arttırmak için özel bir soğutma rejimi oluşturulmuştur. Bu sayede Brinell sertliği 260-300 olan ray üzerindeki RS alanı 350-390 Brinell sertliğine ulaşmış ve akma dayanımı 880 MPa'dan 1175 MPa'ya çıkmıştır [4,5].

Yüksek kaliteli S355J2 tipi HE profil, yüksek mukavemetli yapı çeliği olarak, tercihen çelik yapılar ile karayolu ve raylı araç yapılarında kullanılmaktadır. Bu çelikler aynı zamanda genel yapı çelikleri olarak da sınıflandırılır. Yazın yüksek sıcaklıktaki ortamlardan, kışın zorlu ortamlara kadar çok çeşitli alanlarda kullanılan bu malzemelere, özellikle Japonya'daki enerji nakil hatları gibi kilit noktalarda ihtiyaç duyuluyor. S355J2 yüksek kaliteli çelik için -20 °C'de 27 J darbe dayanımı beklenmektedir. Açık dökümden farklı olarak kapalı döküm kullanılarak üretilen külçeler, döküm sırasında havaya maruz kalmadıkları için kalıntı içermezler. Bu köşebent malzemenin hammaddesi olan 100 x 100 x 10 mm kesitli ham parça, açık döküm yöntemi kullanılarak üretilmektedir.

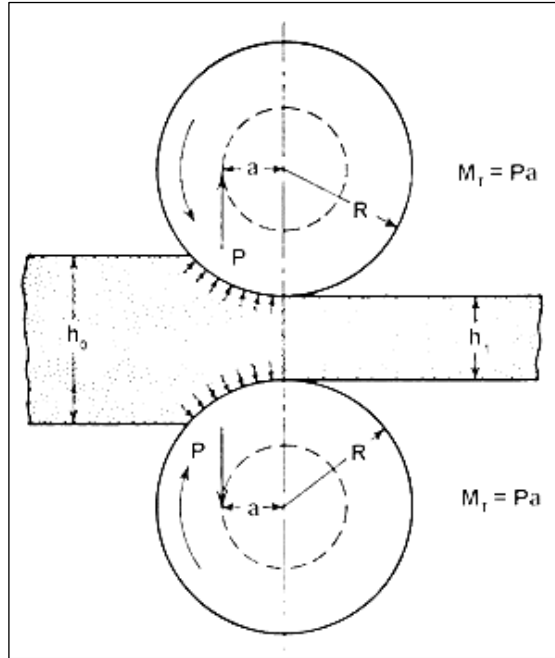
27J darbe dayanımı sınırına ulaşamayan bu malzemelerin darbe dayanımını artırmak için bir söndürme sistemi oluşturduk ve en uygun parametreleri belirledik.

## BÖLÜM 2

### HADDELEME

Eksenleri birbirine paralel ve zıt yönlerde dönen silindirler arasında metal malzemenin aktarılarak plastik şekiller oluşturulması işlemine haddeleme denir [6]. Laminasyon, yüksek üretim hızı, yüksek adetli üretim kabiliyeti, süreklilik, proses kolaylığı ve ürün kontrolü, bu plastik şekillendirme yöntemini en çok kullanılan üretim yöntemlerinden biri haline getirmektedir [7].

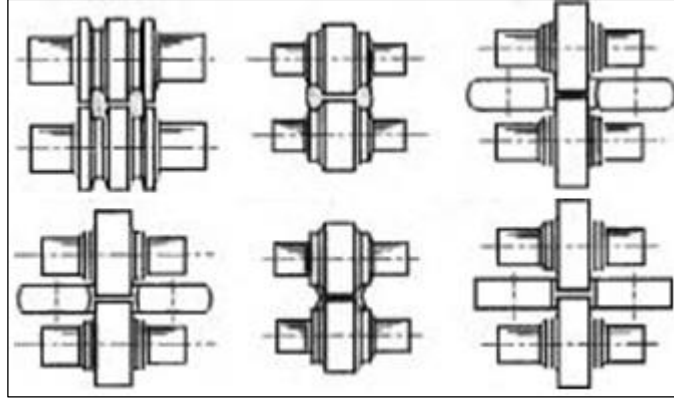
Malzemenin deformasyonu, merdanenin malzemeye uyguladığı basınçtan dolayı oluşan basınç gerilmesi ve malzeme ile merdane arasındaki sürtünmeden kaynaklanan yüzey kayma gerilmesi ile sağlanır (Şekil 2.1.)



Şekil 2.1. Haddeleme ile plastik şekil verme.

Haddeleme işlemi sırasında silindirlerin aynı hızda ancak zıt yönlerde dönmesi gerekir. Hammadde olarak kullanılan kütük veya kütük, silindirler arasındaki kalibrasyon boşluğundan geçerek istenilen şekle getirilir.

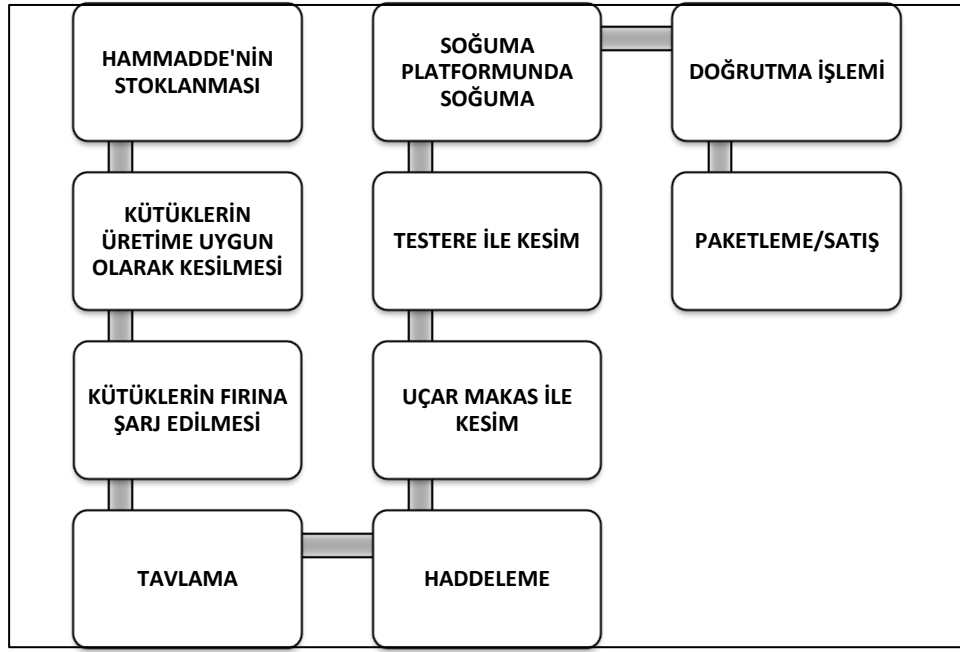
Bu şekil değişikliğine bağlı olarak uzunluk önemli ölçüde artar ancak malzemenin genişliği de artar ve haddelenen malzemenin başlangıç yüksekliği ( $h_0$ ), rulolar arasındaki hava aralığından büyük olduğundan malzemenin çıkış yüksekliği ( $h_1$ ) azalmaz. . Malzemenin silindirler arasındaki her geçişine geçiş adı verilir. HEA120 ve HEB120 bölümlerinin test edilen kalibre versiyonları aşağıdadır.



Şekil 2.2. H profil kalibre düzeni.

## 2.1. HADDEHANE ÜRETİM AKIŞI

Haddehaneye gelen kütükler depolama alanında depolanır. Daha sonra üretime göre gramaj hesaplanır, ürün uygun boyda kesilerek tav fırınına konular. Kütükler tav fırınında yaklaşık  $1200^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta 2 ila 2,5 saat süreyle tavlınır ve üretilecek ürünün boyutuna göre hadde tezgahında haddelenir. Bitirme tezgahından çıkan ortalama sıcaklık  $950^{\circ}\text{C}$ 'dir. Daha sonra file üzerinde testere ile istenilen uzunlukta kesilerek sıcak ürün bölgesine taşınır. Düzleştirmek için sıcaklık  $80^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşene kadar soğutulur. Pürüzsüzleştirme  $80^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki ürünler için geçerlidir.



Şekil 2.3.Haddeleme iş akış planı.

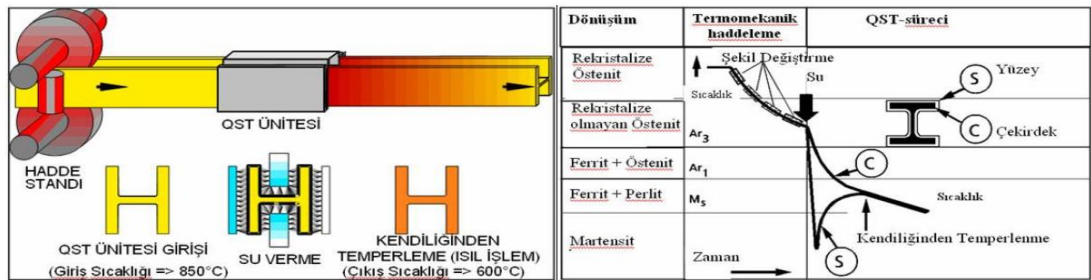
Malzemenin kalıntı içermesi ve ezilme oranının düşük olması nedeniyle malzemenin darbe dayanımını arttırmak için ek işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Darbe dayanımını arttırmak için kontrollü bir soğutma işlemi sağlanmıştır. Malzeme yüzeyinin nispeten yüksek sertliği ve genel tokluk davranışı, kontrollü bir soğutma işlemi yoluyla elde edilir [10].

## BÖLÜM 3

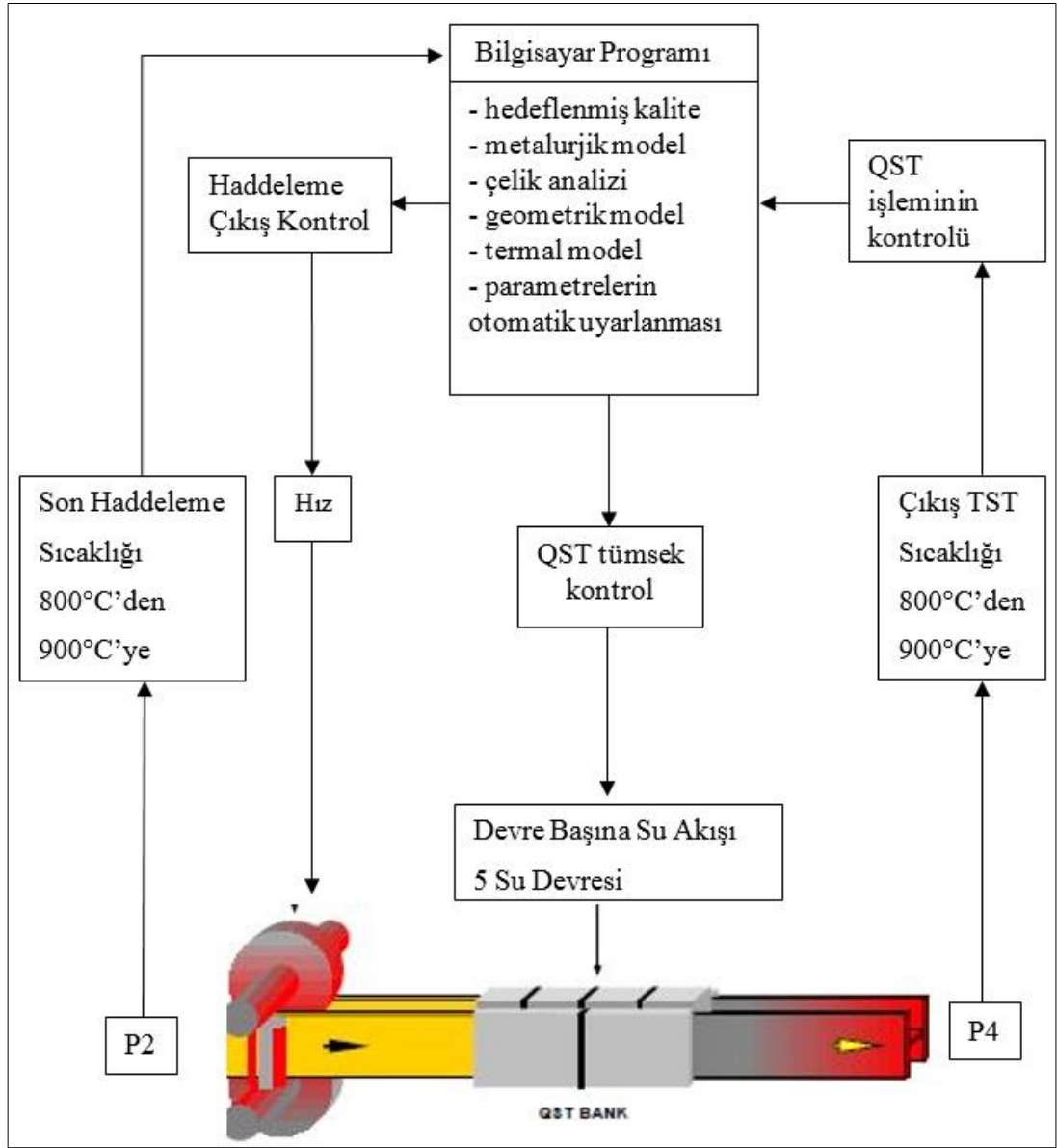
### ÇELİK LEVHALARIN HIZLI SOĞUTULMASI

Çelik profillerin hızlı soğutulması, ürün ve kullanıcı rekabet gücünü artıran standart bir prosedür olmuştur. Konfigürasyon boyunca daha düzgün mekanik özellikler ve minimum sıcaklık değerleri sağlamak için endüstriyel koşullar altında elde edilebilecek maksimum soğutma hızı 80°C/s (10 mm) ile 1°C/s (80 mm) arasında değişir. Farklı sıcaklıklarda bu prosesin uygulama alanları ana değişkenleri: 500°C'den 800°C'ye kademeli soğutma, 200°C'den 900°C'ye doğrudan soğutma. İlk olarak mikro yapının tane incelmesi aranır, ikinci olarak martenzitik mikro yapı amaçlanır.

Termomekanik haddeleme sınırlamalarının üstesinden gelmek için haddelemeden sonra kırışlerin hızlandırılmış soğutma işlemi geliştirilmiştir. Profil uygulanan QST'de kırışin tüm yüzeyine son haddeleme geçişinden hemen sonra yoğun bir su soğutması uygulanır. Çekirdek, söndürmeden etkilenmeden önce soğutma kesintiye uğrar ve dış katmanlar, çekirdekten yüzeye ısı akışı ile temperlenir. Şekil 3.1. bu işlem şematik olarak göstermektedir. Son işlem standının çıkışında doğrudan soğutma tümseğinin girişinde, sıcaklıklar tipik olarak 850 ° C'dir. Profilin tüm yüzeyi üzerinde soğutulduktan sonra, 600 ° C'ye eşit veya daha yüksek bir öztemperleme sıcaklığı hedeflenir. QST sisteminin kontrolü Şekil 3.2.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Hadde tezgahlarındaki kırışlere uygulanan QST işlemi.



Şekil 3.2. Hedeflenen kalitede ürün üretmek için QST işlem sistemi.

Düzenli bir QST işlemi için bir ön koşul, soğutma tümseğine girmeden önce çubuk profilinin homojen bir sıcaklık profilidir. Koşul, kırışın en sıcak kısmına, yani flangeweb kesişimine haddeme sırasında seçici bir soğutma uygulanarak yerine getirilir. Şekil 8, bu işlemin bir görünümünü vermektedir. Bu seçici soğutmayı, flanş ağı birleşimi bölgesine uygulayarak, mevcut sıcaklık farkı, flanş genişliği üzerindeki tipik sıcaklık profilleri arasındaki karşılaştırma gösterdiği gibi ortadan kaldırılabilir.



### **3.1. HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTMANIN METALURJİK YÖNLERİ**

Profillerin hızlandırılmış soğutma işlemi birkaç Şekilde yapılabilmektedir:

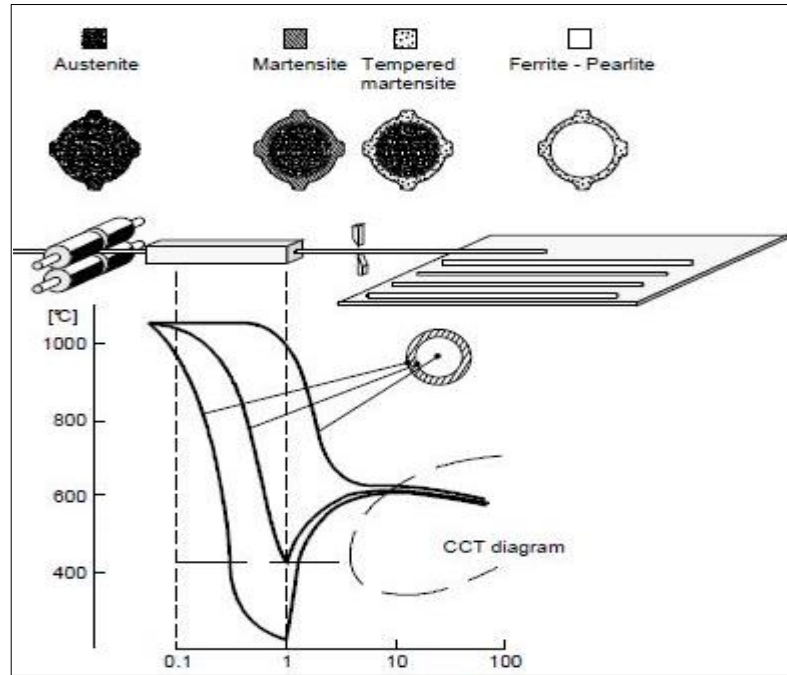
- Kademeli Hızlı Soğutma: Bu işlem sıcak haddeleme bitiminden hemen sonra baőlar ve bir ara sıcaklıkta sona erer. Hava ile soğutma iőlemiyle devam eder. Soğutulan profiller 500-800°C arasındaki sıcaklıklarda 5 saniyede 80°C soğutulur ve bu çok yaygın bir durumdur.
- Direk Su verme: Bu iőlemede plaka içinde soğutma daha yoğun dūőük sıcaklıklarda biten ve genel olarak tam bir martenzit mikroyapısının oluőumunu destekler. Sođutma genellikle saniyede 5-60°C oranlarında 900°C'de baőlar ve 200°C'de biter.
- Direk Su verme + Oto-Temperleme: Bu direk su verme yōntemi plakaların yeniden ısıtılıp su verilmesinde kullanılır.

### **3.2. PLAKALARIN HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTULMASI ESNASINDA ISI TRANSFERİ**

Saniyede 100°C'yi aőan soğutma hızlarına modern soğutma ekipmanlarıyla kolaylıkla ulaőılabilir. İnce kesitli panellerde soğutma daha kolay olurken kalınlık arttıka ısı transferi zorlaőır. Sođutma iőlemini etkileyen faktōrler, plakanın tōm kalınlığı boyunca ortaya çıkan mikro yapı ve artık gerilimlerdir. İnce levhalarda önemli olan yōzeeye ısı transferidir. 450°C'nin üzerinde plaka yōzeyinde yōksek soğuma hızına sahip stabil bir buhar tabakası oluőur. Bu sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda bu buhar tabakası parçalanır ve ısı transfer hızı artar. 150°C'nin altında kaynama kaybolur ve ısı transfer hızı tekrar dūőer. 800 ila 500°C arasında kademeli soğutma uygulandı. Dođrudan soğutma 200 ila 900°C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleőtirilir. Bu durumda plakaların soğumasının tam bir martensitik yapı elde edecek kadar hızlı olması gerekir. Bu koőullar sağlandığında soğutma hızının kontrolünde herhangi bir sorun yaőanmayacaktır.

Günümüzde çelik levhaların %20'si bu üretim yöntemi kullanılarak haddelenmektedir. Hızlı soğutma artık kalınlığı 100 mm'ye kadar olan çelik levhaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle çekme mukavemeti 490 MPa'nın üzerinde olan yüksek mukavemetli çelik levhalar elde edilebilir. Bu plakaların gemi yapımında, açık deniz sondaj kulelerinde, API boru hatlarında, inşaat işlerinde, köprülerde, basınçlı kaplarda, düşük sıcaklık tanklarında, kriyojenik tanklarda, ağır makinelerde kullanılmasının nedeni budur.

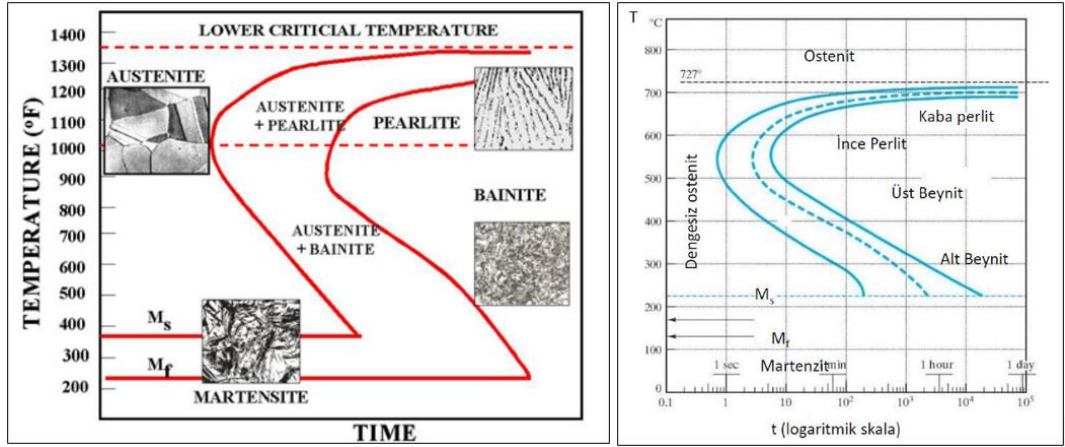
Bu ürünler ve teknik standartlar dünya pazarındaki birçok çelik fabrikasında kabul görmektedir. Bugün, yani yaklaşık 30 yıl sonra, endüstriyel faaliyetlerin aksamasıyla soğutma ve soğutma süreci hızlandı. Günümüzde alaşım içeriği ve mekanik özelliklerin yeni kombinasyonları, bu tür süreçlerin optimize edilmesini ve yüksek kaliteli çelik levhaların üretilmesini mümkün kılmaktadır.



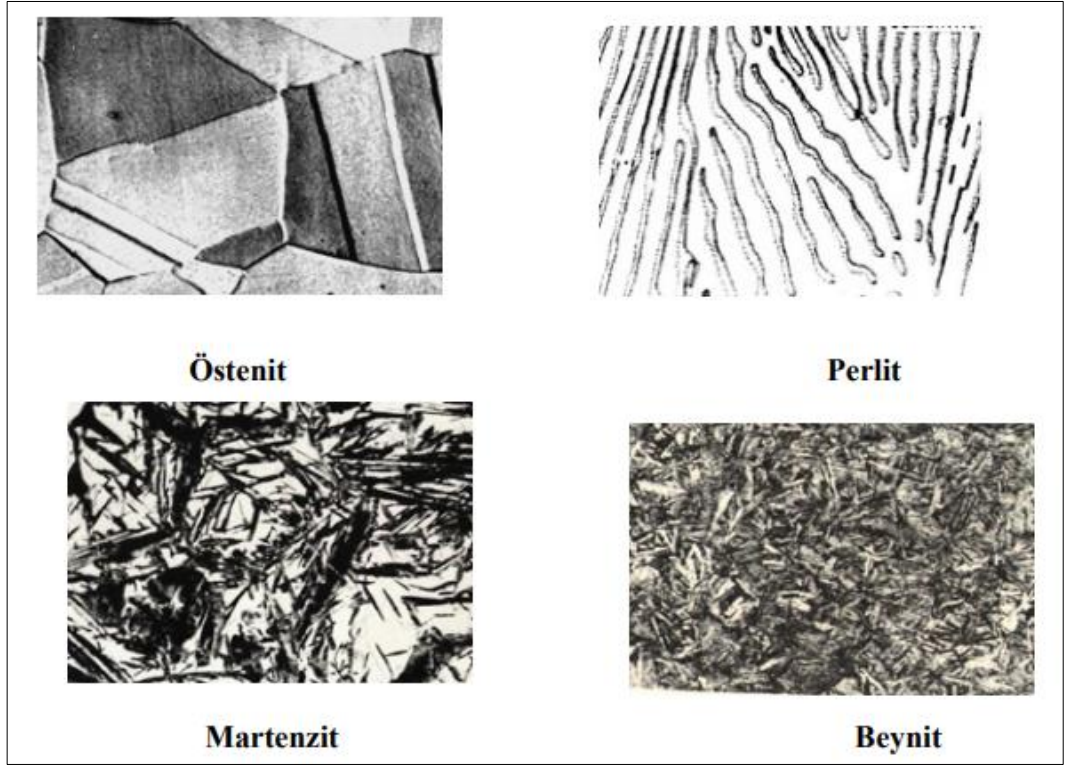
Şekil 3.3Tempcore süreci ve CCT diyagramı ile ilişkisi

### 3.3. TTT DIYAGRAMLARI (TIME TEMPERATURE TRANSFORMATION)

TTT diyagramı; Bunlar çeliğe su verme işleminde kullanılan diyagramlardır. Çelik üreticileri, ürettikleri her çelik kalitesi için bu diyagramları ürün kataloglarında sunarlar. Sertleştirilmiş çeliğin istenilen iç yapısını elde etmek için soğuma süresi çok önemlidir. Bu nedenle kütleme işlemi için Fe-C denge diyagramı tek başına yeterli olmadığından TTT diyagramına ihtiyaç duyulmaktadır. TTT şeması, ostenitin dönüşümü sırasında ve öncelikle dönüşüm ürünlerinin (örneğin perlit, sorbit, trostit, beynit, martensit) özelliklerini belirlerken gözlemlenen olayları inceler. Bu analizde dengedeki olaylar dikkate alınır. Kısacası, TTT grafikleri değişken olayları zamanın ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gösterir. Olaylar bazen uzun sürdüğü için zaman ekseninde logaritmiktir [8].



Şekil 3.4. TTT Diyagramı [9]

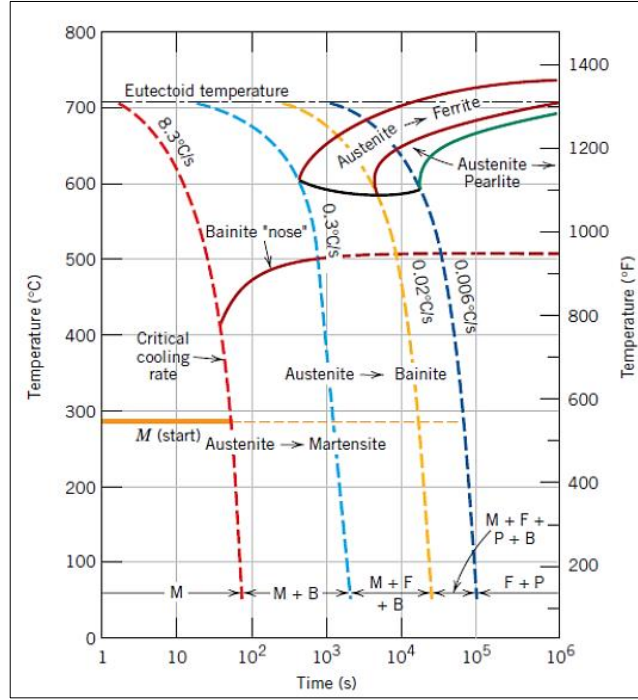


Şekil 3.5. Östenitin Farklı Soğuma Hızları Sonucu Oluşan Mikro Yapıları [9]

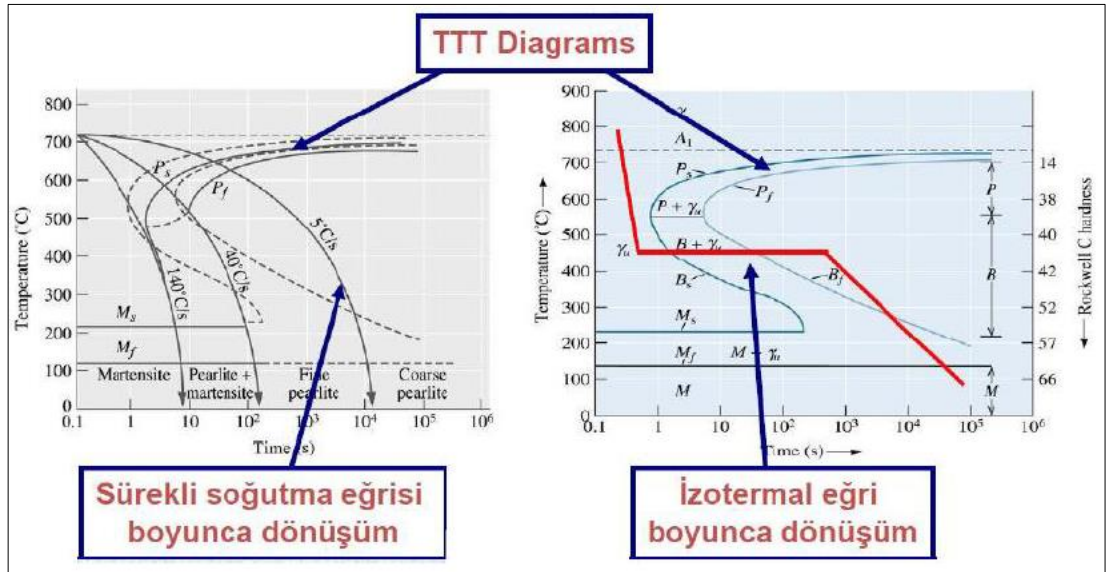
### 3.4. CCT DIYAGRAMLARI

Isıl işlem genellikle makine parçalarının sürekli olarak yüksek sıcaklıktan oda sıcaklığına soğutulması ile gerçekleştirilir.

İzotermal değişim diyagramları, sabit sıcaklık koşullarındaki değişimlerin incelendiği diyagramlar olduğundan, sabit soğutma koşullarında yapılan değişikliklere ilişkin bilgileri içerecek şekilde düzeltilmesi gerekir. Bunu yapmak için sorun, TTT diyagramındaki dönüşüm eğrilerini yeniden düzenleyerek bir CCT diyagramı oluşturmaktır.



Şekil 3.6. Üzerinde Farklı Soğuma Eğrileri Sonucu Oluşan Yapıların Gösterildiği CCT Diyagramı



Şekil 3.7. TTT ve CCT Diyagramlarının Şematik Olarak Karşılaştırılması

Sürekli soğutma sırasında reaksiyonun başlaması ve bitmesi için gereken süre gecikir, yani uzar. Bu nedenle CCT diyagramı, TTT diyagramının eğrilerinin hafifçe sağa ve aşağı hareket ettirilmesiyle reaksiyonun daha düşük sıcaklıkta başlaması, daha sonra daha geç başlaması ve daha kısa sürede tamamlanması sağlanarak oluşturulur.

## BÖLÜM 4

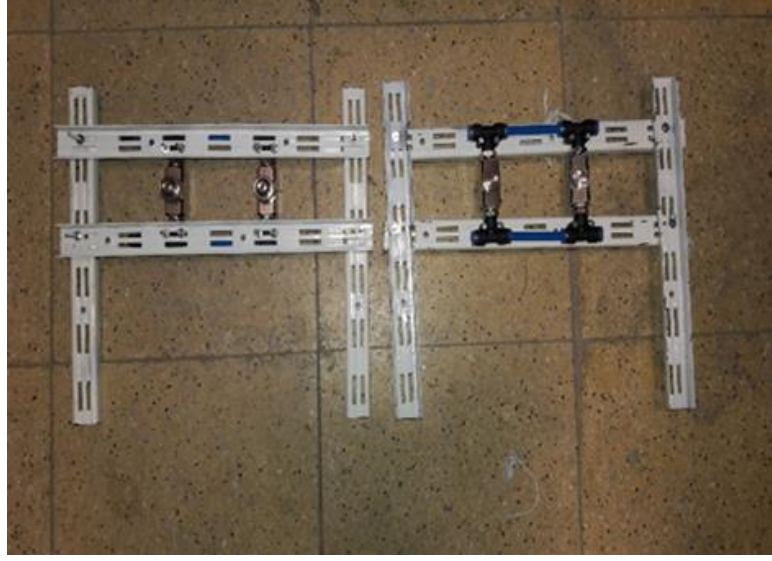
### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1. HAVA ATOMİZE SİSTEMİ

Bu çalışma kapsamında 2017 yılından günümüze tasarımı geliştirilerek çember ve plaka tipi olmak üzere iki ayrı hızlandırılmış soğutma sistemi tasarlanmış ve laboratuvar ölçekli prototipleri yapılmıştır. İlk deneyler çember tipi soğutma sistemi (Şekil 4.1.) üzerinde gerçekleştirilmiş olup daha sonra sistemin revize edilmesiyle plaka tipi soğutma sisteminde deneylere devam edilmiştir (Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.).



Şekil 4.1. Çember tipi soğutma sistemi



Şekil 4.2. Hava su atomize sistem revizyon 1



(a)

(b)

Şekil 4.3. Hava su atomize sistem revizyon 2 a) tasarımı tamamlanan sistem (b) hava atomize nozul sistemi bağlantı aparatı



Çember tipi soğutma sistemi proje kapsamında ilk kez denenmek üzere tasarlanmış olmasından dolayı deneysel çalışma yönü ağır basmaktadır. Bu sistemde nozulların bir yarım daire etrafında konumlandırılmasının yanı sıra ayrı kanallardan verilen su ve hava nozul dışında karışmakta ve homojen bir karışım tam anlamıyla sağlanamamaktaydı. Dolayısıyla su+hava'nın nozul içerisinde karıştırılması amacıyla sistem revize edilerek plaka tipi soğutma sistemi yapılmıştır. Plaka tipi hızlandırılmış soğutma sisteminde su+hava karışımını atomize bir şekilde püskürtebilme yetisine sahip yeni teknoloji nozullar kullanılmıştır. Çember tipi ve plaka tipi soğutma sistemlerinde yapılan deneyler ve sistem farklılıklarının elde edilen veriler üzerine etkileri aşağıda ayrı ayrı başlıklar halinde anlatılmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan HEA120 ve HEB120 S355J2 kalite çelik profillerin hızlandırılmış soğutma ısıtma işlemi sonrası mekanik özelliklerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır.

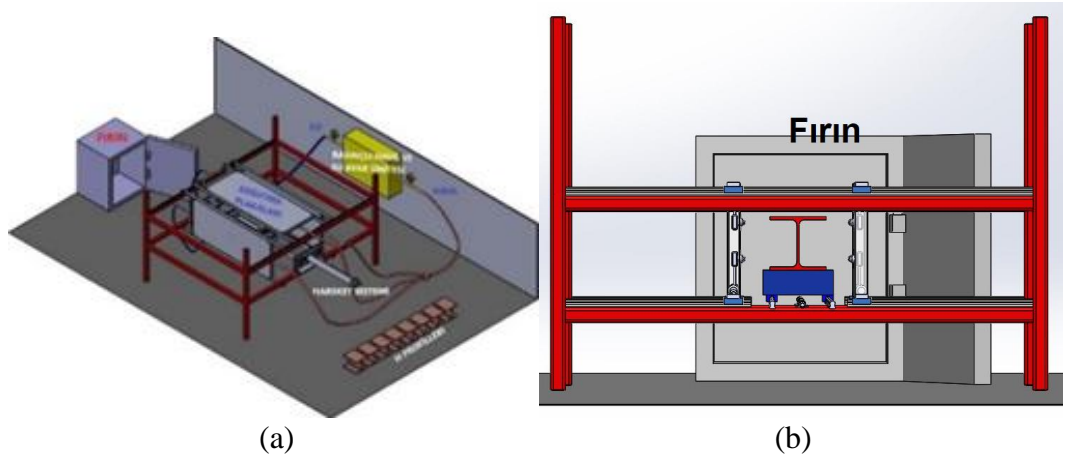
Bu çalışmada, temin edilmiş halde mekanik ve şekil özellikleri verilen 250 mm uzunluğunda S355JR kalitelerinde HEA/HEB 120 profil tipleri seçilerek (Tablo 4.1.) hızlandırılmış su verme ve kendini temperleme ısıtma işlemlerine tabi tutulmasına yardımcı olacak HS-KT (Hızlandırılmış Soğutma ve Kendini Temperleme) sisteminin tasarımı ve imalatı yapılmış ve bu çelik profillere uygulanmıştır.

Çizelge 4.1. Kullanılacak çelik profillerin ölçü ve ısıtma işlem öncesi mekanik değerler

Sıra No	Kalitesi	ŞEKİL(h/b, mm)	Web/Flansh Kalınlığı [s(mm)/t(mm)]	Isıtma İşlem Öncesi Minimum Mekanik Özellikleri		
				Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama
1	S355JR	HEA120 (114/120)	05.Ağu	355	470-630	22
2	S355J2	HEB120 (120/120)	6,5/11			

\*10025-2 Standardı Değerleri

Soğutma plakaları çelik konstrüksiyondan oluşturulan yapı (Şekil 4.4.) üzerinde bulunan lineer kızak üzerine monte edilmiştir. Lineer kızığın üzerine yerleştirilen plakalar birbirlerine doğru hem yaklaştırılabilecek hem de uzaklaştırılabilecektir. Bu işlem, hidrolik bir motor tarafından plakaların milimetrik hareket kontrolü ile sağlanmaktadır. Soğutucu plakalar arasına test edilecek çelik profilin hareket ettirilebilmesi için de lineer bir kızak arabası monte edilmiştir. Lineer kızak arabası, fırın kapağının önünden soğutucu plakalar arasını birleştirecek olup fırın içinde östenitleme ısıl işlemi uygulanmış profili finiş hadde çıkış hızında HS-KT ortamındaki soğutucu plakalar arasına ulaştıracak bir motor ile birlikte çalışacaktır. Burada verilen hız değerleri 6 ile 8 m/s arasında olup profillerin son haddeden çıkış hızına denk gelmektedir. Şekil 4.4'te HEA/HEB profillerine tokluktan kayıp vermeden yüksek mukavemet özelliklerini kazandıran beynitik iç yapıyı elde etmemizi sağlayacak olan “Hızlandırılmış Soğutma” sistem tasarımının üstten ve önden görünümü verilmiştir.



Şekil 4.4. 1200°C kapasiteli ısıl işlem fırını ile soğutucu plakaların dizilimini gösteren kontruksiyon sistem tasarımı. (a) perspektif ve (b) önden şematik olarak görünümü.

Tez kapsamında 2 farklı profil tipindeki tek kaliteye 8 adet soğutma parametresi (Hava Basıncı, Soğutma Plakası-Profil Arası Mesafe ve Soğutma Süresi) uygulanması öngörülmektedir. Parametreler özet olarak Tablo 4.2.de verilmiştir. Çalışmada, 10 s ve 20 s gibi farklı soğutma sürelerinde HS-KT işlemi uygulanması planlanmaktadır. Böylece 2 farklı soğutma süresinin her biri için hem 2 farklı hava basıncı hem de 2 farklı soğutma blokları arası mesafenin hızlandırılmış su verme ve kendini temperleme (HS-KT) işlemine birleşik etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.2. Soğutma parametreleri

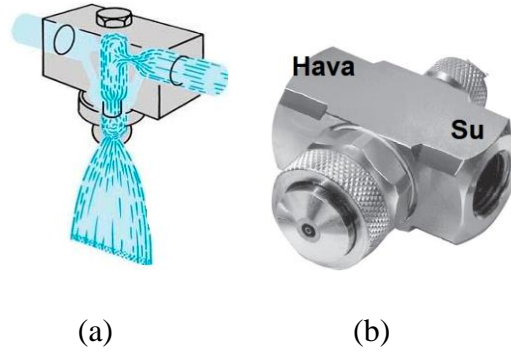
Şekli (h/b, mm)	Fırın Sıcaklığı (°C)	Hava Basıncı (Bar)	Su Basıncı ve Debisi	Soğutma Plakası-Profil Arası Mesafe (mm)	Soğutma Süresi (s)
HEA120 (114/120)	930	8	6 atm	1 Kat 60 mm	10
HEB120 (120/120)		12		2 Kat 120 mm	20

Tezde, 15 bar kapasiteli Yiğitsan marka kompresör yardımı ile maksimum 12 bar basınca kadar 8 ve 12 bar hava basıncı artırılarak optimum özellikler veren hava basıncı tespit edilmiştir. Belirli uzaklıktaki soğutma plakasından çıkan hava basıncının artması ile uzun soğutma sürelerinde sıcaklıkta düşüş daha hızlı olup, kendini temperlemesi için gereken sıcaklık artışı daha düşük olmuştur.

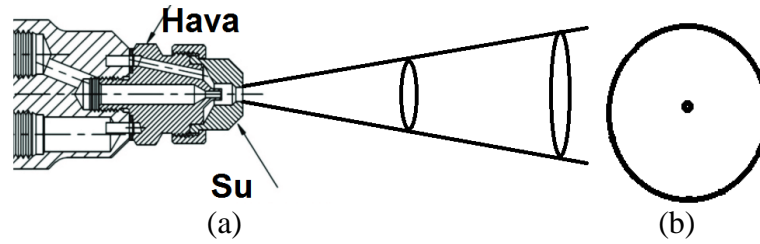


Şekil 4.5. Yiğitsan marka kompresör

Proje kapsamında kullanılması planlanan nozul, incelenen profilden uzaklaştıkça etki alanı büyüyor görünmesine rağmen ellipsoid şeklinde soğutma etki alanı azalmaktadır. Nozulun optimum etki alanının ve soğutma etkisinin sağlandığı değerler bu proje kapsamında belirlenmiştir. Hızlandırılmış su verme nozulunun dairesel etki alanından dolayı profillerin hem web hemde web-flaş bağlantı kısımları homojen olarak soğutulmuştur.



Şekil 4.6. Hava+su karışımının sağlandığı sistemin (a) şematik ve (b) gerçek görünümü



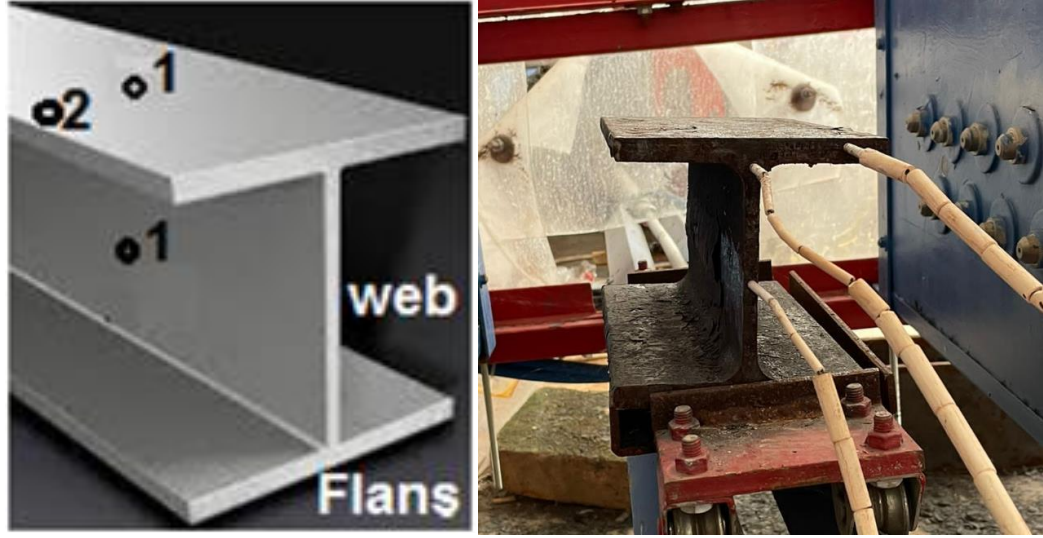
Şekil 4.7 Nozul püskürtme etki alanının (a) yandan ve (b) önden görünümü

#### 4.2. HS-KT ISIL İŞLEMİ ÖNCESİ PROFİLLERİN HAZIRLANMASI

Çalışmada, kimyasal bileşimleri Çizelge 4.3.'te verilen HEA/HEB 120 profillerin hızlandırılmış su verme sırasında sıcaklık dağılımlarının kontrolü için;

- Web kısmında 1 (Web ortası) bölgeye ve
- Flaş kısmına 1 (Flaş ortası) ve 2 (Flaş Kenarı) no'lu bölgeye

olmak üzere üç adet termokupl kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümlerinde 1500°C sıcaklığı ölçebilen K tipi termokupl teller belirtilen noktalara direnç kaynağı ve/veya polimer esaslı yapıştırıcılarla tutturularak (Şekil 4.8.) 16 kanallı ADAM yazılımı kullanılarak her bir saniye için sıcaklık kaydı alınmıştır.



Şekil 4.8. Bir profilin bileşenlerinin (web/flanş bölgelerinin) ve sıcaklık ölçüm noktalarının gösterimi.

Çizelge 4.3. İncelenecek 355JR kalite HEA/HEB 120 tipi profillerin kimyasal bileşimleri.

Malzeme Ebat ve Kaliteleri	%C	%Mn	%Si	%S	%P	%N	%Cr	%Ni	%Cu	%Mo	%V	%Ti	%As	%Sn	%Sb	%Al	%Nb	%CEV
HEA 120 (S355JR)	0.216	1.184	0.260	0.011	0.0154	59	0.076	0.124	0.365	0.0275	0.0014	0.001	0.014	0.015	0.0034	0.0022	0.0003	0.46
HEB 120 (S355J2)	0.078	1.345	0.175	0.008	0.0160	63	0.129	0.129	0.465	0.0244	0.0022	0.018	0.009	0.020	0.0037	0.0027	0.0247	0.37

Bu çalışmada ele alınan 250 mm uzunluğundaki, boyutları ve mekanik özellikleri Tablo 3'te verilen profiller, daha önce 290x290x450 mm<sup>3</sup> hacimli kül fırınında Telmika tipi termostat ile sıcaklık dağılımının minimum olduğu östenitlenmiştir. Östenitleme fırınındaki sıcaklık dağılımının, östenitlenmiş ve HS-KT ısıl işlem görmüş profillerin kesiti boyunca profillerin optimum mekanik özelliklerini elde etmek için minimum düzeyde olması önemlidir. Ayrıca fırın ortamı da önemli bir faktör olduğundan östenitleme işlemi N-5H2 ortamında gerçekleştirilecektir. Test edilen profillerin östenitleştirme sıcaklığı olarak 950°C seçildi ve östenitleştirme süresi, kalınlık başına bir saat genel tavlama ısıl işlemi kuralına göre belirlendi. Kesit kalınlığı 2,54 cm'ye ulaşmasa bile östenitleme için yine de bir saat beklenme tavsiye edilir.

### **.4.3. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI**

Mikroyapı incelemesi (SEM – Optik): Burada belirli ölçülerde kesilecek olan numunelerin Karabük Üniversitesi MARGEM Enstitüsünde bulunan Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem model ZEISS marka SEM görüntüleme cihazı ile dökümün yalnızla yapay yaşlandırılmış ve termomekanik yapay yaşlandırılmış malzemelerin mikro yapıları incelenecektir.



Şekil 4.9. Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem model ZEISS SEM görüntüleme cihazı.

### **4.4. KALINTI GERİLME**

Bu tez çalışmasında farklı parametrelerde gerçekleştirilen HS-KT ısıl işleminin fazla olmasından dolayı en yüksek soğutma hızı ile en düşük soğutma hızına sahip numuneler seçilerek kalıntı gerilim ölçümü yapılmıştır. Profillerin web ve flanş bölgelerindeki şekil değiştirme sırasıyla basma ve çekme belirlenmiştir.

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 5.1. SOĞUMA EĞRİLERİ

Çizelge 5.1-5.4 aralığında incelenen profillerin sıcaklık-zaman grafikleri verilmiştir. HS-KT uygulanmış profillerin sıcaklık-zaman grafiklerinden web bölgelerinin hızlı soğuduğunu, web+flansh ve flansh bölgelerinin daha yavaş soğuma gerçekleşmiş olduğu gözlenmiştir. HEA120 kalite profillerde minimum soğuma sıcaklığı ve kendi kendini temperleme işlemi nozul plakası arasındaki mesafenin, uygulama süresinin ve basıncın artması ile meydana gelmiştir. HEB120 kalite profillerde ise minimum soğuma sıcaklığı daha yüksek olup, çoğunlukla basıncın ve sürenin artmasıyla kendi kendini temperleme meydana gelmiştir.

Çizelge 5.1. İncelenen HEA120 kalite profilin 8 bar basınçlı hava+su altında sıcaklık-zaman grafiği

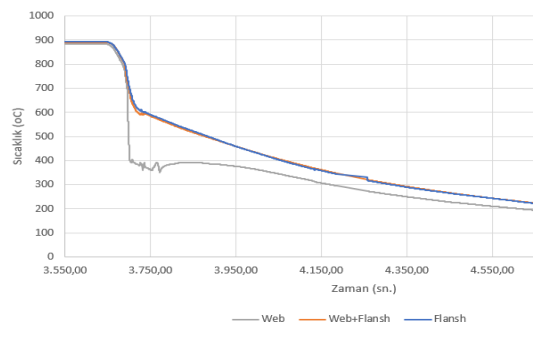
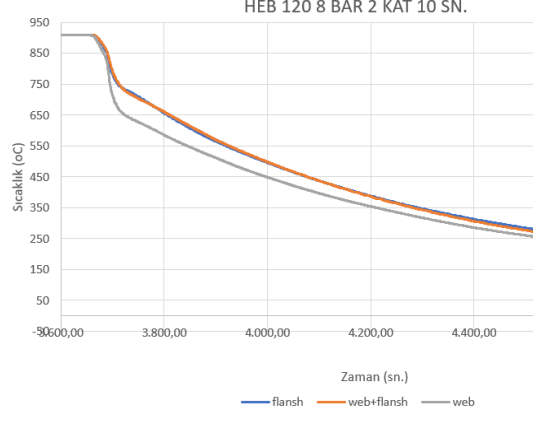
KALİTE	BASINÇ	ZAMAN	MESAFE	SICAKLIK-ZAMAN GRAFİĞİ
HEA120	8 BAR	10 SN.	1 KAT	
		10 SN.	2 KAT	
		20 SN.	1 KAT	



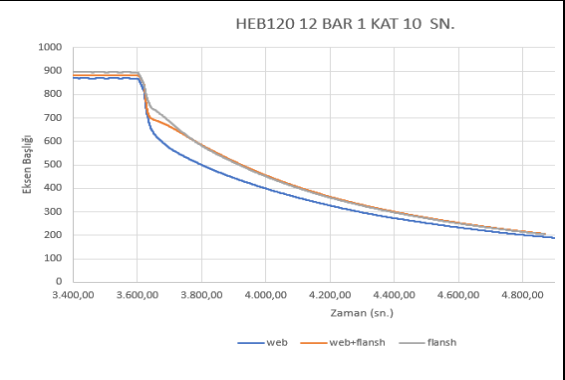
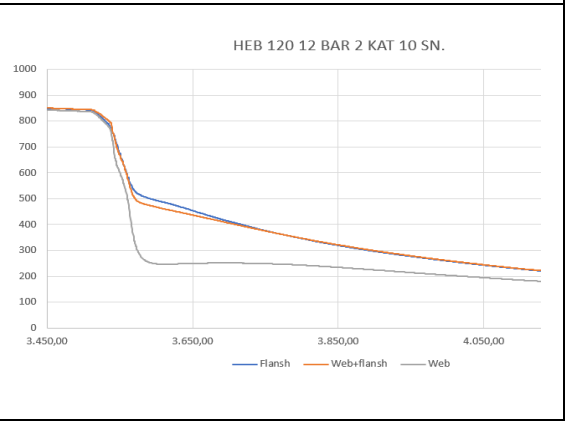
Çizelge 5.2. İncelenen HEA120 kalite profilin 12 bar basınçlı hava+su altında sıcaklık-zaman grafiği.

HEA120	12 BAR	10 SN.	1 KAT	<p>HEA120 12 BAR 1 KAT 10SN.</p>
			2 KAT	<p>HEA120 12 BAR 2 KAT 10 SN.</p>
		20 SN.	1 KAT	<p>HEA120 12 BAR 1 KAT 20SN.</p>

Çizelge 5.3. İncelenen HEB120 kalite profilin 8 bar basınçlı hava+su altında sıcaklık-zaman grafiği

HEB120	8 BAR	10 SN.	1 KAT	
			2 KAT	

Çizelge 5.4. İncelenen HEB120 kalite profilin 12 bar basınçlı hava+su altında sıcaklık-zaman grafiği

HEB120	12 BAR	10 SN.	1 KAT.	
		10 SN.	2 KAT	

Çizelge 5.1-Çizelge 5.4'ten yararlanarak incelenen profillerin web, web+flansh, flansh bölgelerinin soğuma hızları çıkarılarak Çizelge 5.5'te listelenmiştir. Soğutma plakalarını doğrudan gördüğünden dolayı soğuma web bölgesinin soğuma hızları daha yüksektir. HEA120 kalite profillerin soğuma hızları HEB120 kalite profillerin soğuma hızından daha büyüktür. Bu durum HEB120 profillerin et kalınlığının daha büyük olmasına dayandırılabilir. Belirli basınçta ve sabit sürede hava+su pükürtülen profillerde plakalar arasındaki mesafe arttıkça soğuma hızı artmıştır. Belirli bir basınçta ve mesafede, süre arttıkça da soğuma hızının arttığı gözlenmiştir.

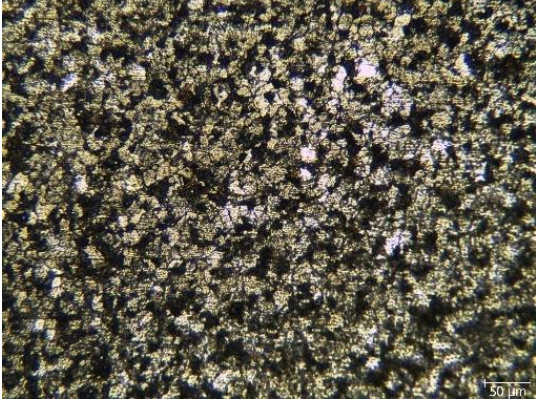
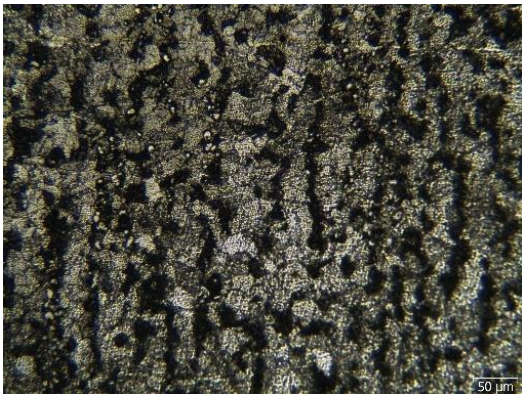
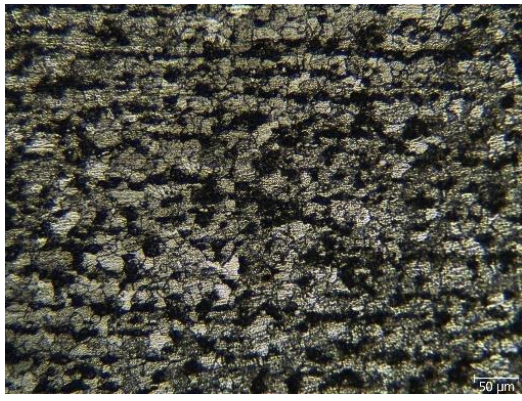
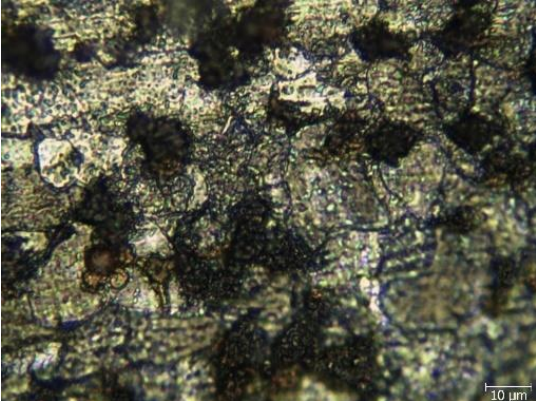
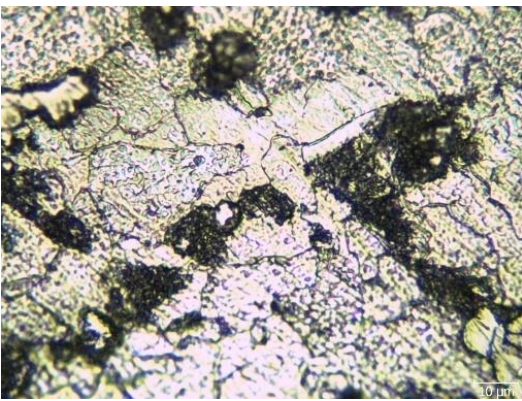
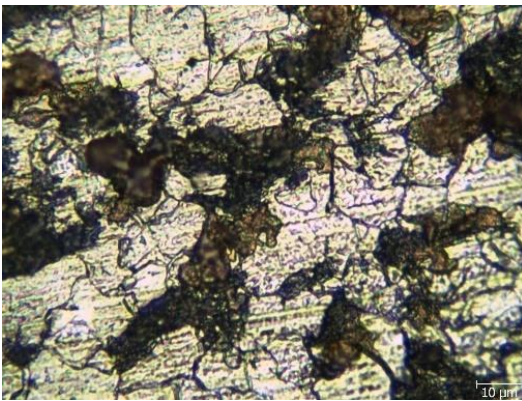
Çizelge 5.5. İncelenen profillerin soğuma hızları.

			Toplam Yüzey izdüşüm Alanı (x1000) (mm <sup>2</sup> )	Nozul Sayısı	Basınç (Bar)	Plakalar ın webe uzaklığı (mm)	Süre (s)	BSS (oC)	Soğuma Hızı (oC/s)
	S355HEA120	W							
	S355HEA120	W+f							
HEA120/1K/8B/10S	S355HEA120	W	58.5	16	60	8	10		31
HEA120/1K/8B/10S	S355HEA120	W+f	58.5	16	60	8	10		12
HEA120/1K/12B/10S	S355HEA120	W	58.5	16	60	12	10		7
HEA120/1K/12B/10S	S355HEA120	W+f	58.5	16	60	12	10		6
HEA120/2K/8B/10S	S355HEA120	W	58.5	16	120	8	10		37
HEA120/2K/8B/10S	S355HEA120	W+f	58.5	16	120	8	10		31
HEA120/2K/12B/10S	S355HEA120	W	58.5	16	120	12	10		12
HEA120/2K/12B/10S	S355HEA120	W+f	58.5	16	120	12	10		8
HEA120/1K/8B/20S	S355HEA120	W	58.5	16	60	8	20		59
HEA120/1K/8B/20S	S355HEA120	W+f	58.5	16	60	8	20		14
HEA120/1K/12B/10S	S355HEA120	W	58.5	16	60	12	10		11
HEA120/1K/12B/10S	S355HEA120	W+f	58.5	16	60	12	10		10
HEB120/1K/8B/10S	S355HEB120	W	60	16	60	8	10		9
HEB120/1K/8B/10S	S355HEB120	W+f	60	16	60	8	10		7
HEB120/1K/12B/20S	S355HEB120	W	60	16	60	12	20		35
HEB120/1K/12B/20S	S355HEB120	W+f	60	16	60	12	20		14
HEB120/2K/8B/10S	S355HEB120	W	60	16	120	8	10		9
HEB120/2K/8B/10S	S355HEB120	W+f	60	16	120	8	10		5
HEB120/2K/12B/10S	S355HEB120	W	60	16	120	12	10		12
HEB120/2K/12B/10S	S355HEB120	W+f	60	16	120	12	10		8

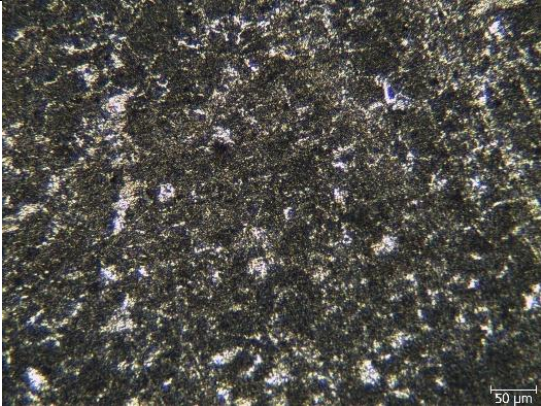
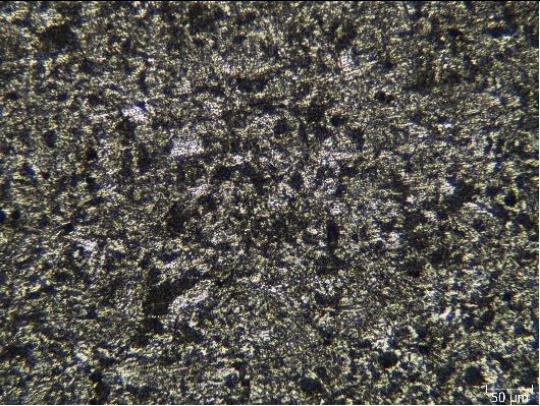

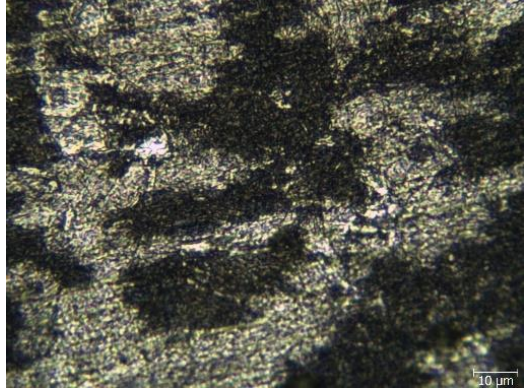
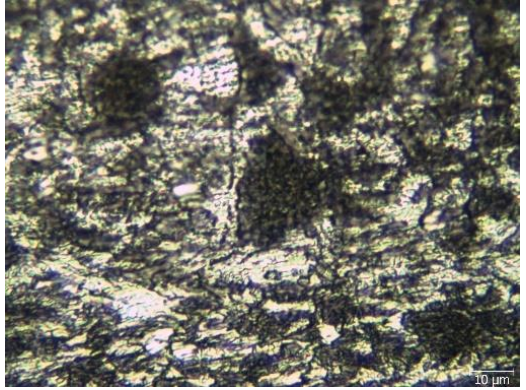
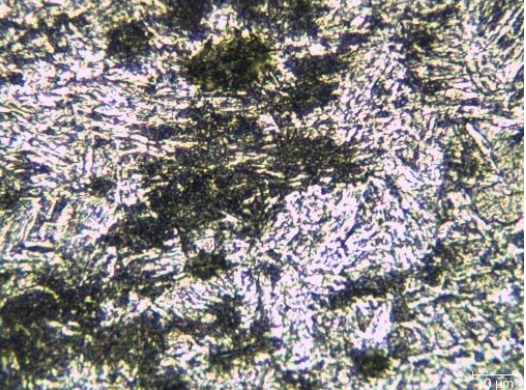
## 5.2. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

HEA120 kalite profillerin orijinal halleri çizelge 5.6'da verilmiştir. HEA120 kalite çelik malzemenin web, flans, web + flans bölgelerinin HS-KT uygulanmış hallerinin mikroyapıları çizelge 5.7-Çizelge 5.14'de verilmiştir. Çizelge 5.6 'da verilen orijinal çelik profilin yapısı, ferrit + perlit görünümünde olup hadde yönünde yönlenmeler meydana gelmiştir. HS-KT uygulanmış HEA120 kalite profillerde, sürenin ve basıncın artması ile iğnemsî ferrit ve beynit oluşumu meydana gelmiştir.

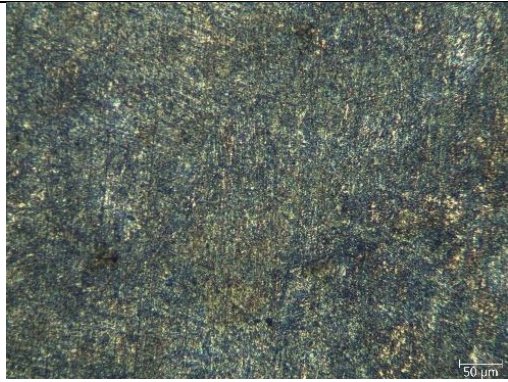
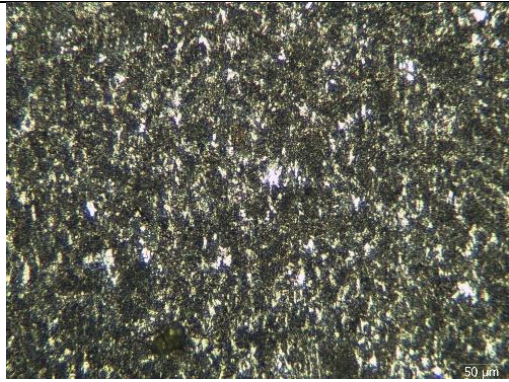
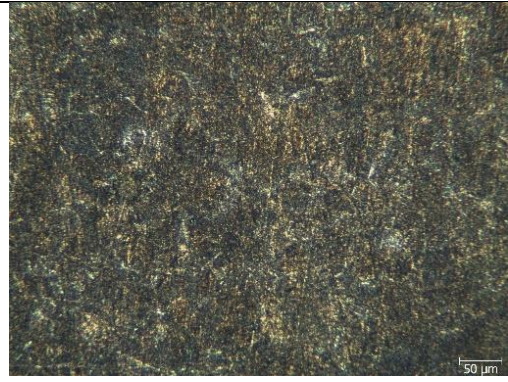
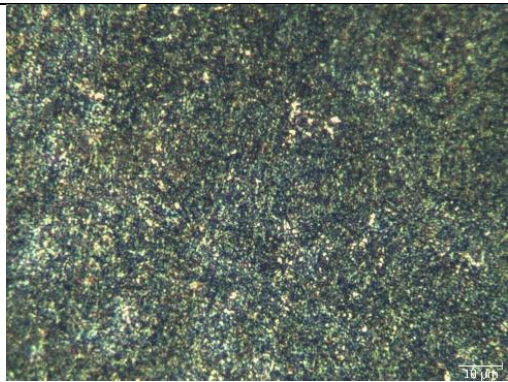
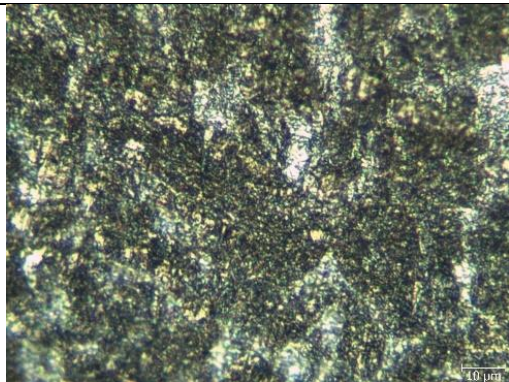
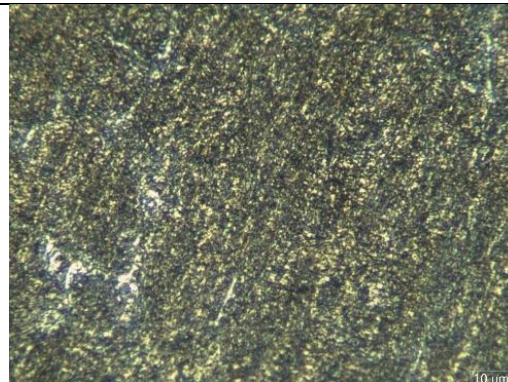
Çizelge 5.6. HEA120 çelik profillerin orijinal web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görüntüsü.

HEA120 ORJINAL			
	WEB	WEB+FLANSH	FLANSH
20x			
100x			

Çizelge 5.7. 8 bar basıncın 10 sn zamanla 1 kat mesafede uygulandığı HEA120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görüntüsü.

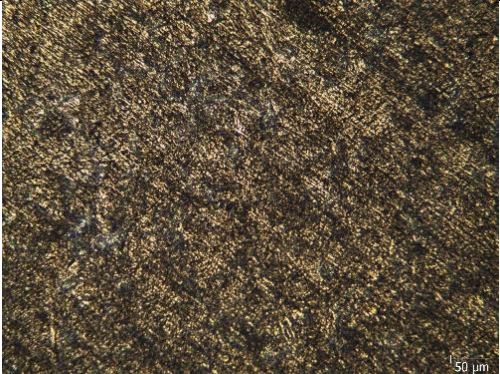
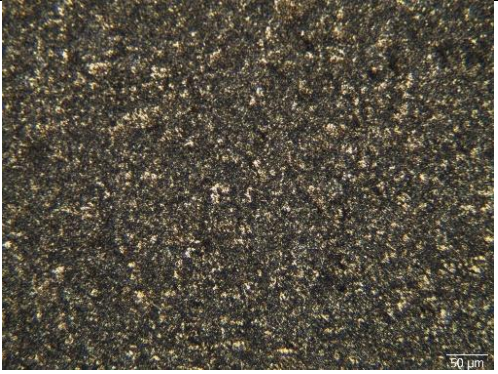
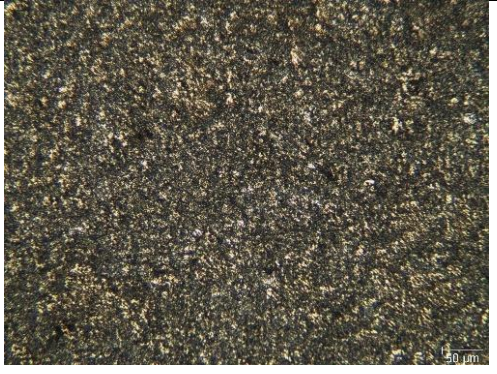
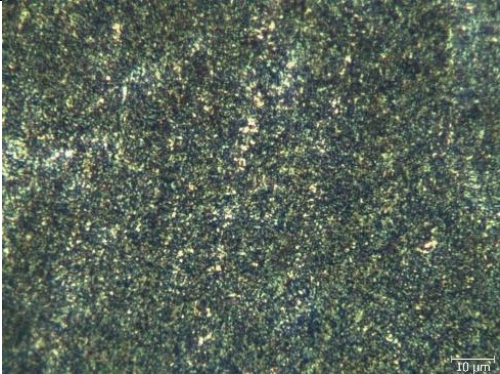
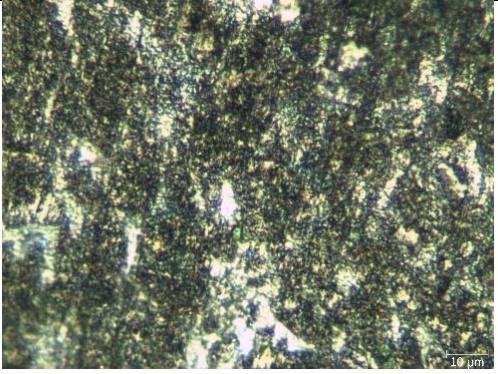
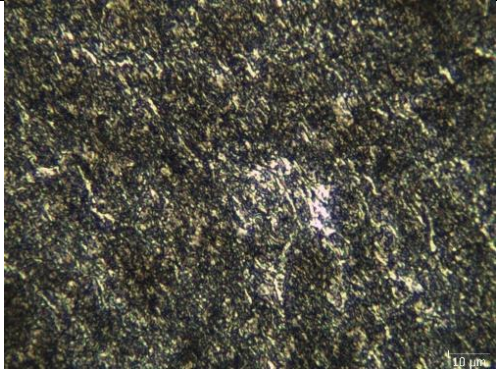
HEA120 8 BAR 10 SN. 1 KAT			
	WEB	WEB+FLANSH	FLANSH
20x			
100x			

Çizelge 5.8. 8 bar basıncın 10 sn zamanla 2 kat mesafede uygulandığı HEA120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm.

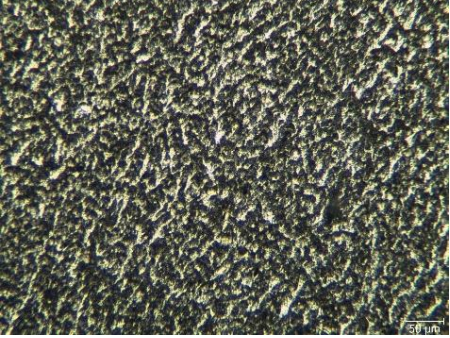
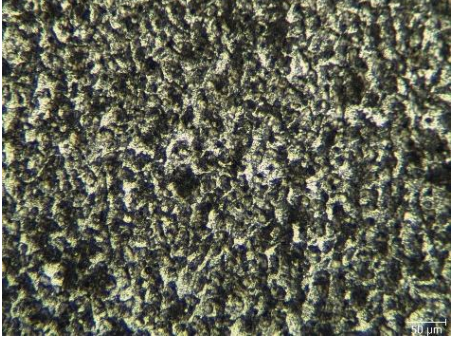
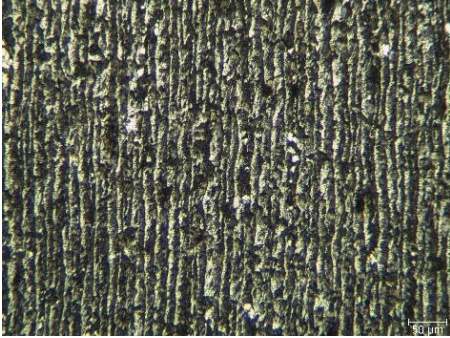
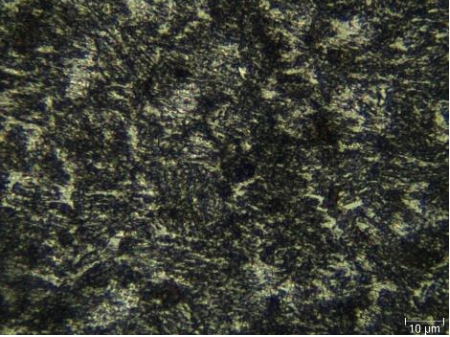
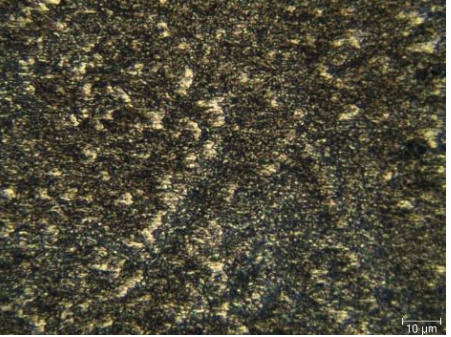
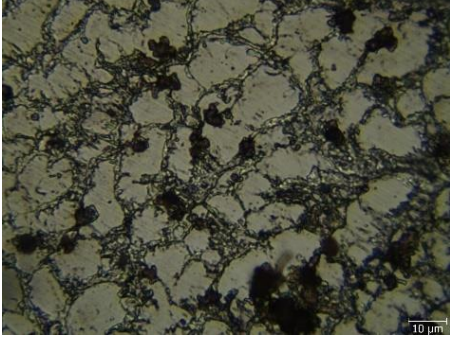
HEA120 8 BAR 10 SN. 2 KAT			
	WEB	WEB + FLANSH	FLANSH
20x			
100x			



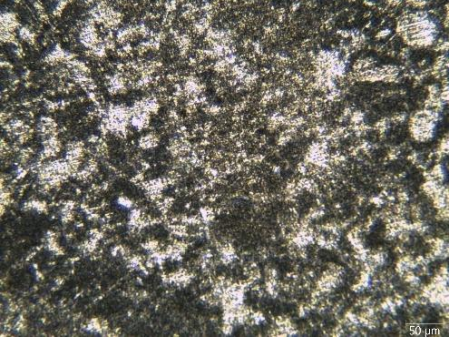
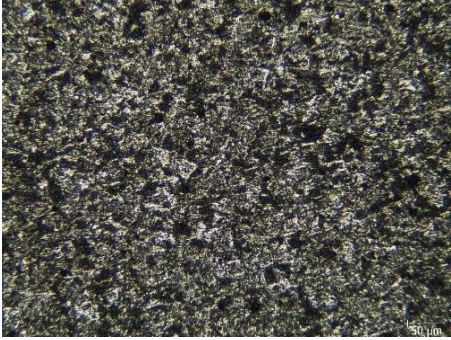
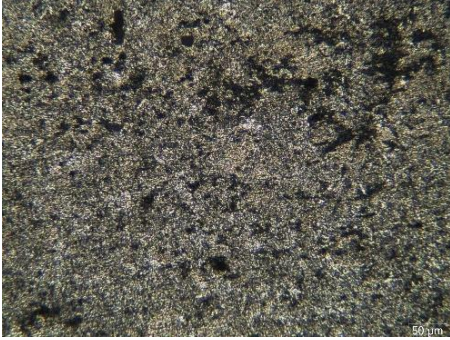
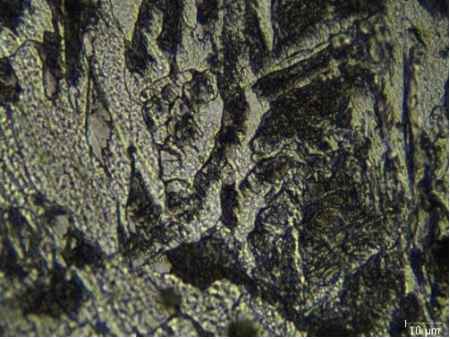

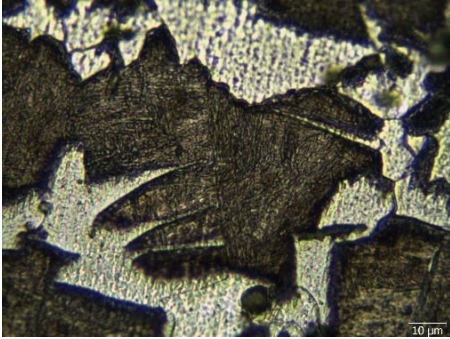
Çizelge 5.9. 8 bar basıncın 20 sn zamanla 1 kat mesafede uygulandığı HEA120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm.

HEA120 8 BAR 20 SN. 1 KAT			
	WEB	WEB + FLANSH	FLANSH
20x			
100x			

Çizelge 5.10. 12 bar basıncın 10 sn zamanla 1 kat mesafede uygulandığı HEA120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm.

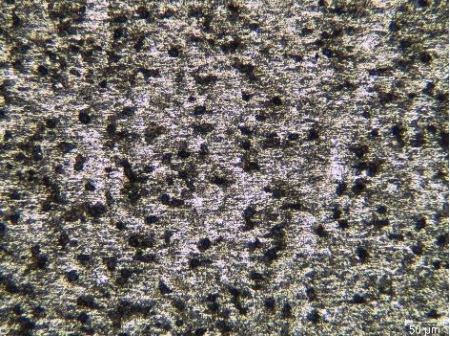

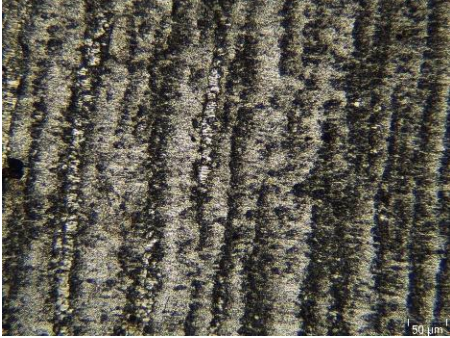
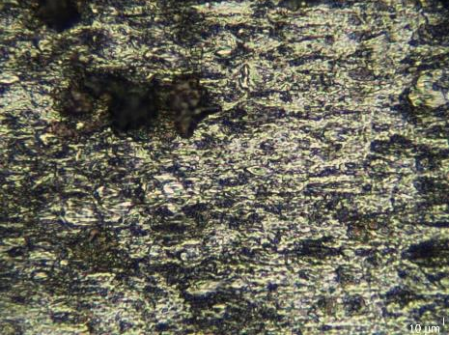
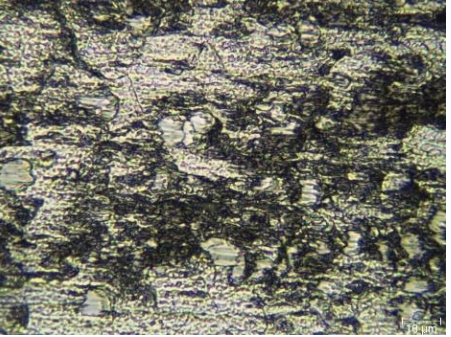
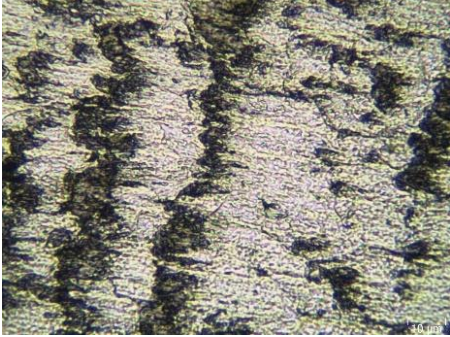
HEA120 12 BAR 10 SN. 1 KAT			
	WEB	WEB + FLANSH	FLANSH
20x			
100x			

Çizelge 5.11. 12 bar basıncın 10 sn zamanla 2 kat mesafede uygulandığı HEA120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm.

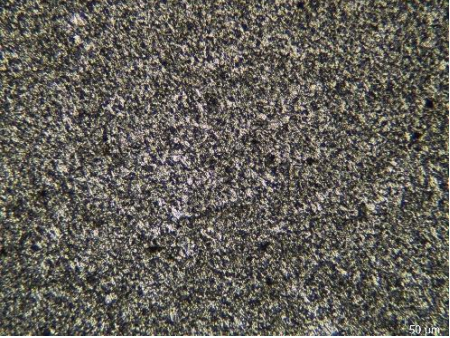
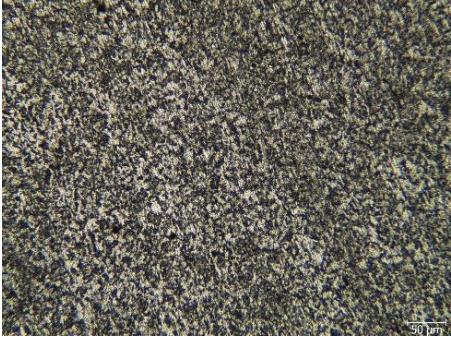
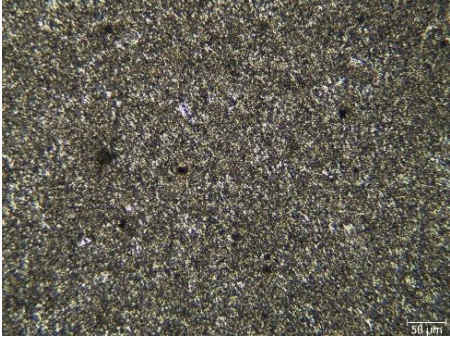
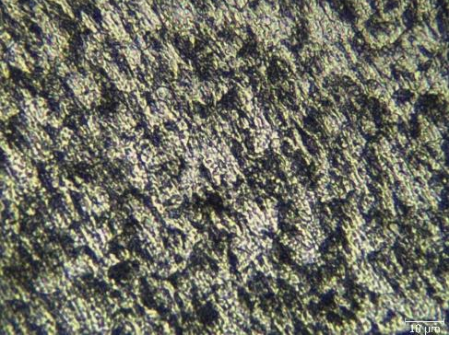
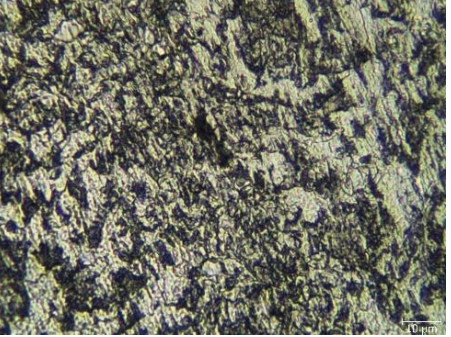
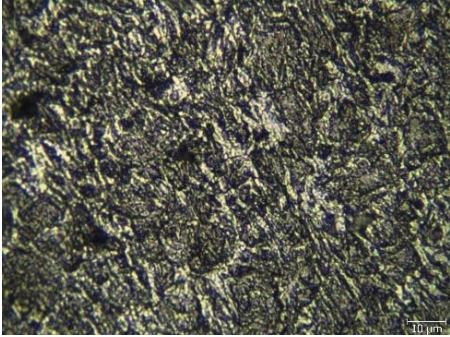
HEA120 12 BAR 10 SN. 2 KAT			
	WEB	WEB + FLANSH	FLANSH
20x			
100x			

HEB120 kalite elik profilin orijinal mikroyapısı, HEA120 kalite çeliğin orijinal mikroyapısına kıyasla daha kaba taneli ferrit + perlit mikroyapısı oluşmuştur. HEA120 kalite elik profillerin mikroyapısı artan sũrede ve basınç altında HS-KT uygulaması ile iğnemsiz ferrit, beynit ve çok az da martenzit içerdiği dũřũnũlmektedir.

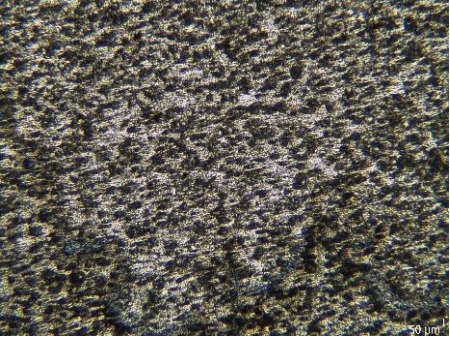
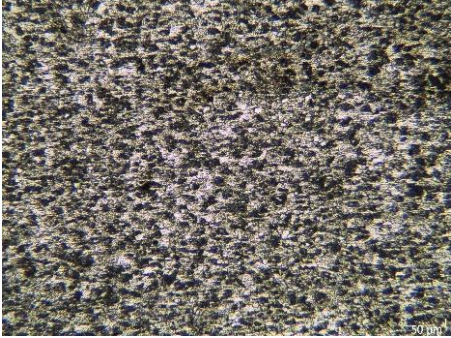
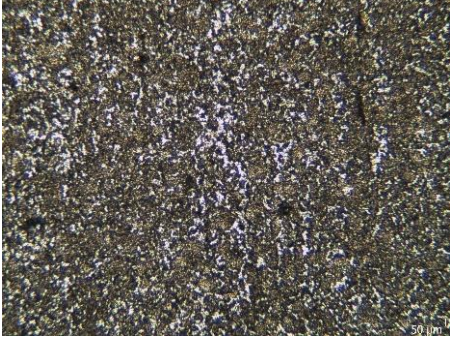
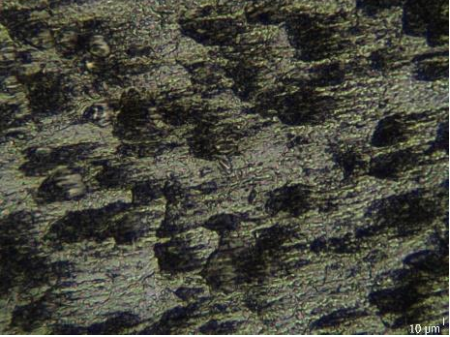
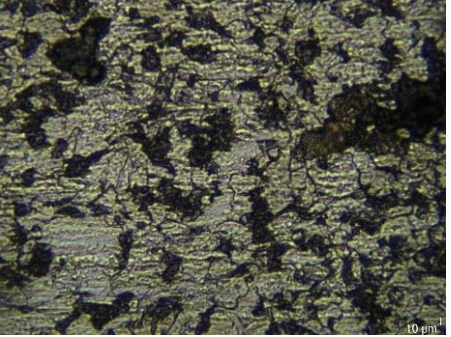
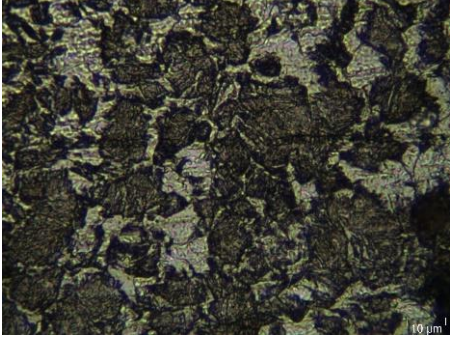
Çizelge 5.12. 8 bar basincin 10 sn zamanla 1 kat mesafede uygulandığı heb120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünümleri.

HEB120 8 BAR 10 SN. 1 KAT			
	WEB	WEB + FLANSH	FLANSH
20x			
100x			

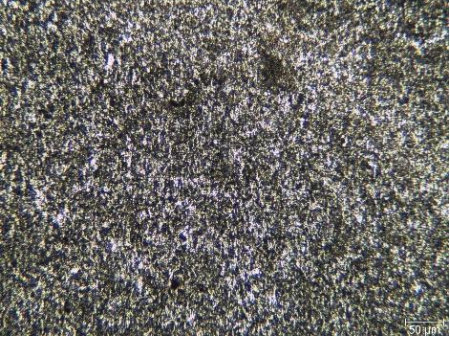
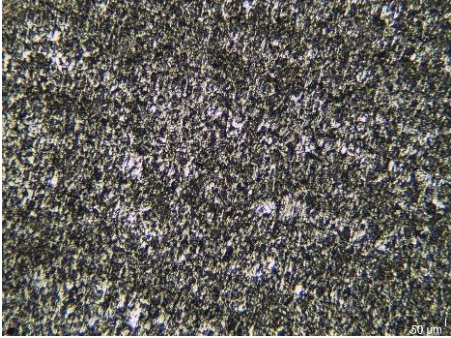
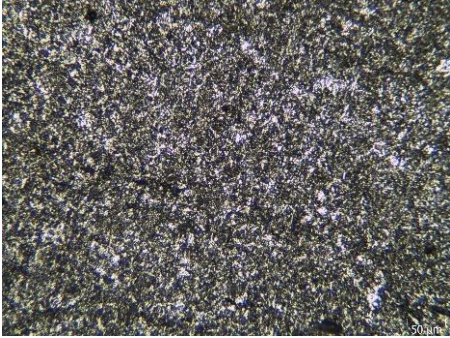
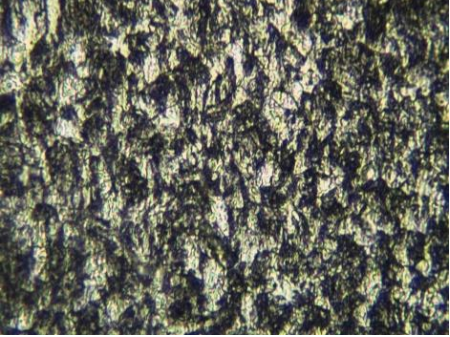
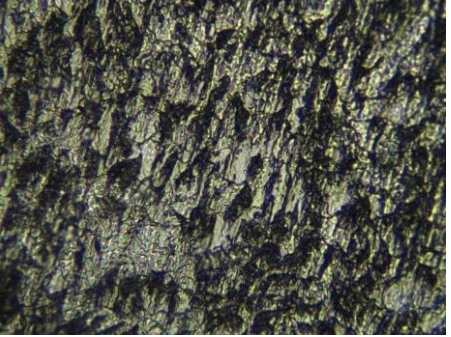
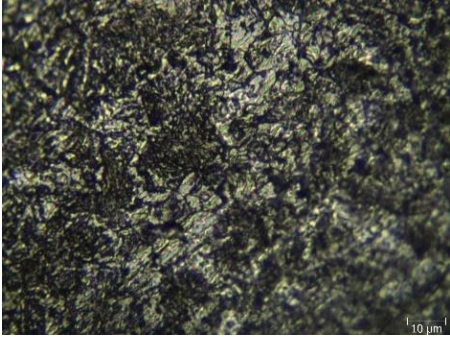
Çizelge 5.13. 8 bar basıncın 10 sn zamanla 2 kat mesafede uygulandığı HEB120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm.

HEB120 8 BAR 10 SN. 2 KAT			
	WEB	WEB + FLANSH	FLANSH
20x			
100x			

Çizelge 5.14. 12 bar basıncın 20 sn zamanla 1 kat mesafede uygulandığı HEB120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm.

HEB120 12 BAR 20 SN. 1 KAT			
	WEB	WEB + FLANSH	FLANSH
20x			
100x			

Çizelge 5.15. 12 bar basıncın 10 sn zamanla 2 kat mesafede uygulandığı HEB120 kalite profilin web, web + flansh, flansh bölgelerinin 20x - 100x yakınlıklarda mikro görünüm.

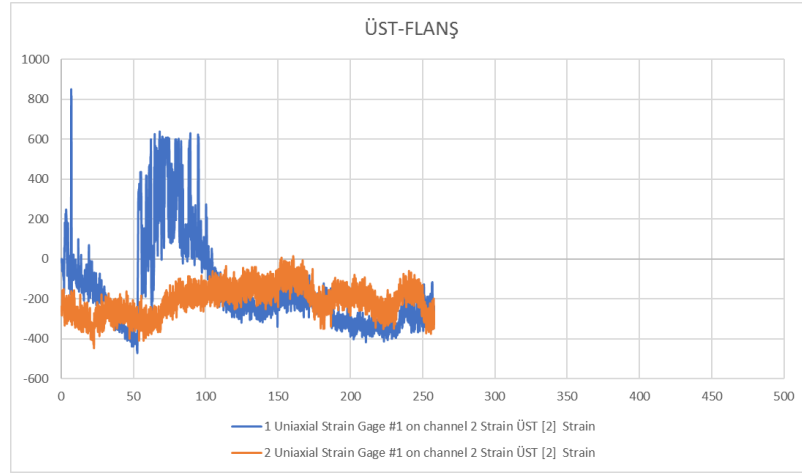
HEB120 12 BAR 10 SN. 2 KAT			
	WEB	WEB + FLANSH	FLANSH
20x			
100x			



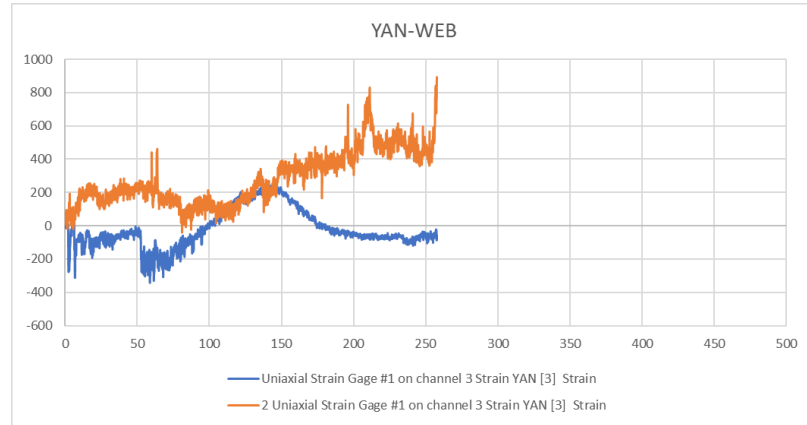
### 5.3. KALINTI GERILME DENEY SONUÇLARI

Kalıntı gerilme değerleri, Şekil 5.1. ile 5.6. arasındaki gerinim-zaman grafiklerinden ortalama gerinin değerleri elde edilmiş ve Hooke yasası yardımıyla kalıntı gerilmeler hesaplanmıştır. Kalıntı gerilme değerleri çizelge 5.16.'da verilmiştir.

Çizelge 5.16.'dan yararlanarak gerilme-soğuma hızı grafiği Şekil 5.7.'de gösterilmiştir.

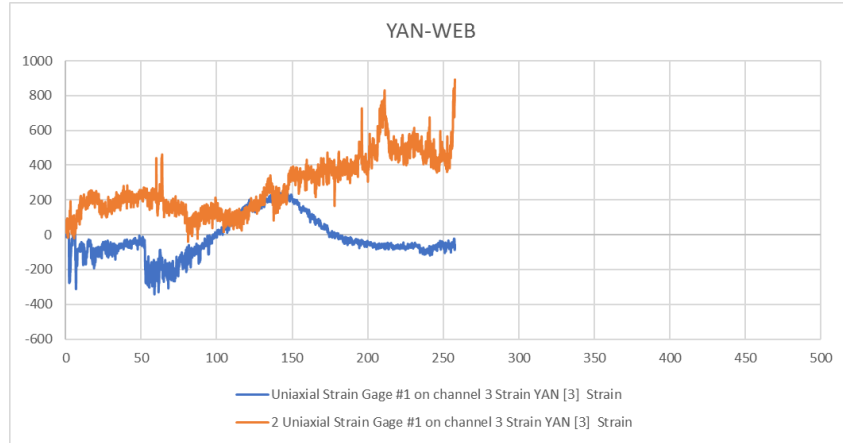


(a)

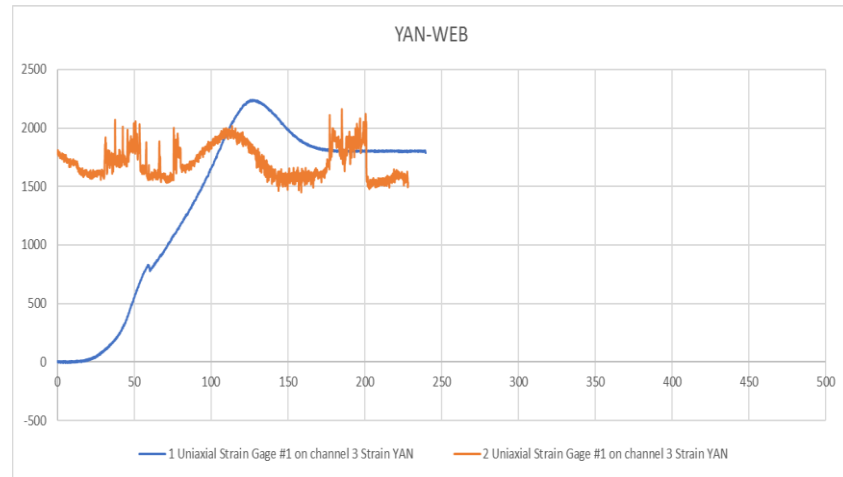


(b)

Şekil 5.1. S355HEA120 işlemsiz profilin (a)flanş ve (b) web kısmının gerinim-zaman grafikleri

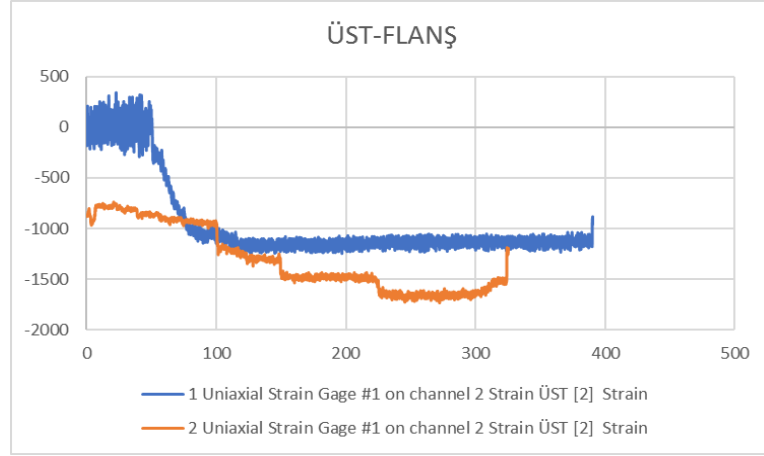


(a)

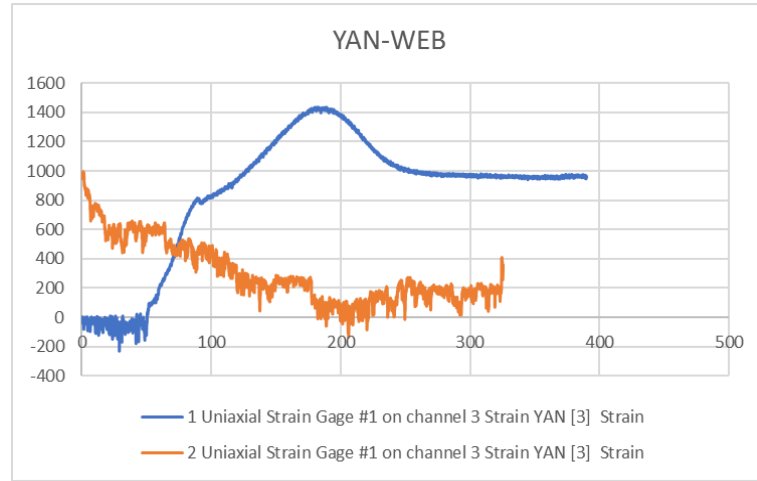


(b)

Şekil 5.2. S355HEA120 1K/8b/10Sn işlemsiz profilin (a)flaş ve (b) web kısmının gerinim-zaman grafikleri

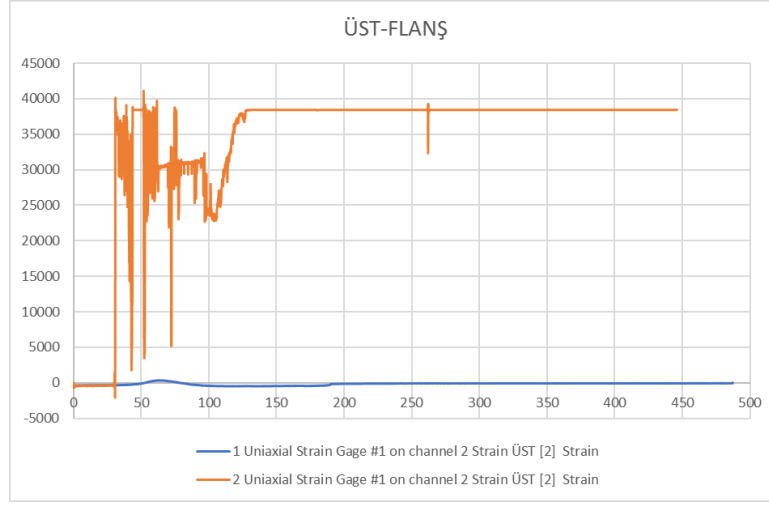


(a)

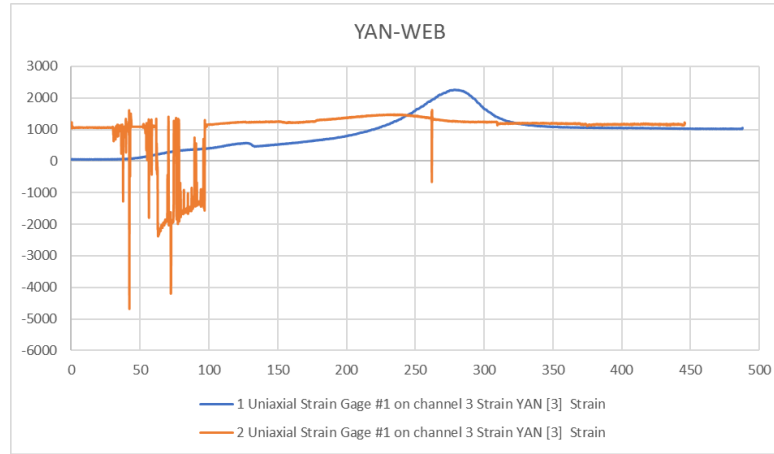


(b)

Şekil.5.3. S355HEA120 2K/8b/10Sn işlemsiz profilin (a)flanş ve (b) web kısmının gerinim-zaman grafikleri

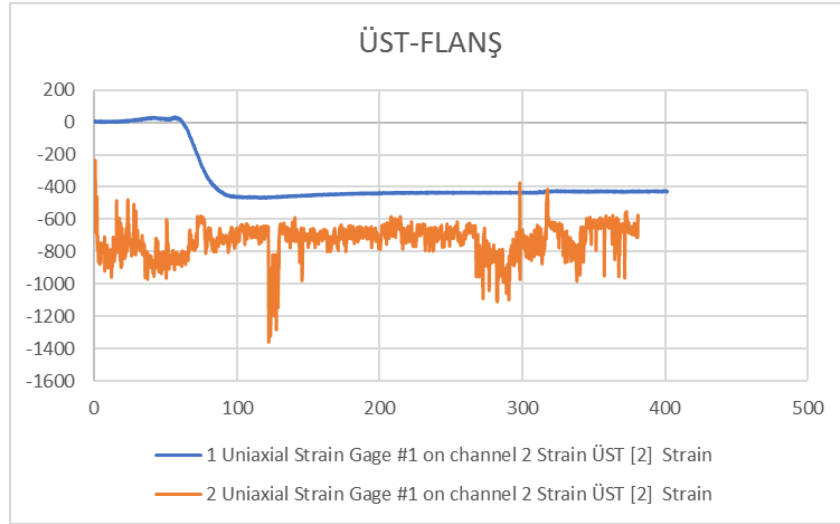


(a)

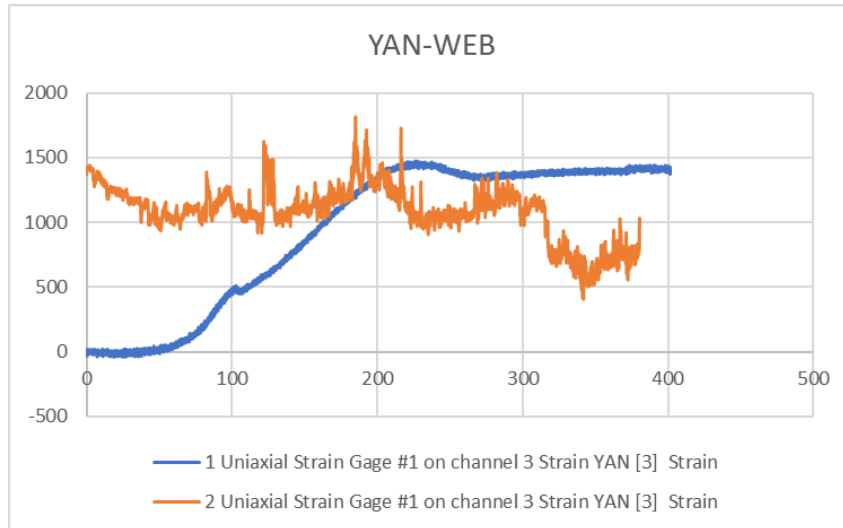


(b)

Şekil 5.4. S355HEA120 1K/8b/20Sn işlemsiz profilin (a)flaş ve (b) web kısmının gerinim-zaman grafikleri

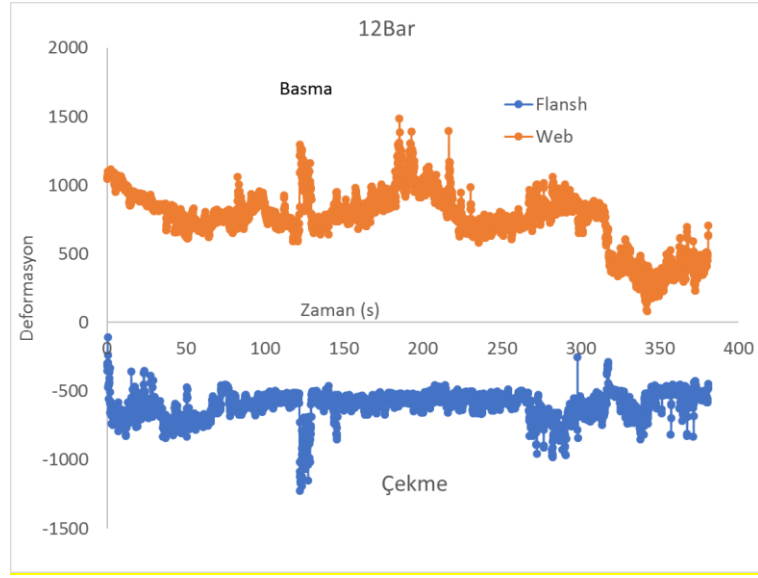


(a)



(b)

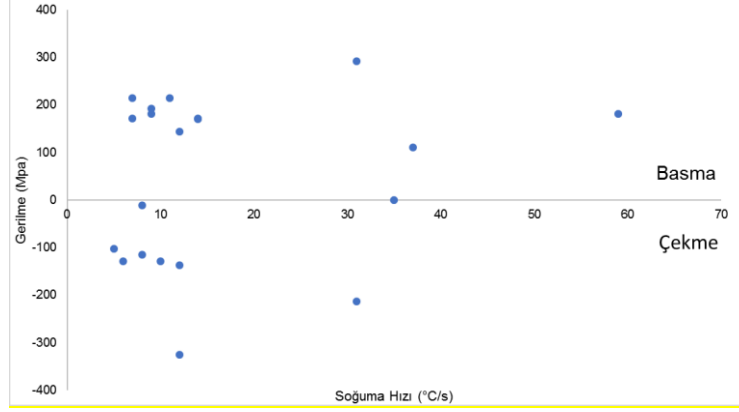
Şekil 5.5. S355HEB120 2K/8b/10Sn işlemsiz profilin (a)flanş ve (b) web kısmının gerinim-zaman grafikleri



Şekil 5.6. S355HEB120 2K/12b/10Sn işlemsiz profilin (a)flanş ve (b)web kısmının gerinim-zaman grafikleri

Çizelge 5.16. İncelenen Profillerin Soğuma Hızı Kalıntı Gerilme verileri

			Soğuma Hızı (oC/s)	Kalıntı Gerilme (Mpa)	Gerilme Tipi
	S355HEA120	W		-33,76	Çekme
	S355HEA120	W+f		23,09	Basma
HEA120/1K/8B/10S	S355HEA120	W	31	291,759	Basma
HEA120/1K/8B/10S	S355HEA120	W+f	12	-137,01	Çekme
HEA120/1K/12B/10S	S355HEA120	W	7	214,066	Basma
HEA120/1K/12B/10S	S355HEA120	W+f	6	-129,05	Çekme
HEA120/2K/8B/10S	S355HEA120	W	37	109,986	Basma
HEA120/2K/8B/10S	S355HEA120	W+f	31	-213,82	Çekme
HEA120/2K/12B/10S	S355HEA120	W	12	-325,66	Çekme
HEA120/2K/12B/10S	S355HEA120	W+f	8	-10,778	Çekme
HEA120/1K/8B/20S	S355HEA120	W	59	181,518	Basma
HEA120/1K/8B/20S	S355HEA120	W+f	14	171,117	Basma
HEA120/1K/12B/10S	S355HEA120	W	11	214,066	Basma
HEA120/1K/12B/10S	S355HEA120	W+f	10	-129,05	Çekme
HEB120/1K/8B/10S	S355HEB120	W	9	181,518	Basma
HEB120/1K/8B/10S	S355HEB120	W+f	7	171,117	Basma
HEB120/1K/12B/20S	S355HEB120	W	35	-	
HEB120/1K/12B/20S	S355HEB120	W+f	14	169,916	Basma
HEB120/2K/8B/10S	S355HEB120	W	9	191,811	Basma
HEB120/2K/8B/10S	S355HEB120	W+f	5	-103,19	Çekme
HEB120/2K/12B/10S	S355HEB120	W	12	143,815	Basma
HEB120/2K/12B/10S	S355HEB120	W+f	8	-114,458	Çekme



Şekil 5.7. Soğuma Hızı Kalıntı Gerilme değişimi

Isıl işlemsiz HEA 120 profilin web bölgesinde kalıntı gerilme en yüksek -33,76 MPa (çekme) olarak ölçülürken, ve web+flanş bölgesinde ise çekme gerilimi (basma) 23,09 MPa'dır. HEA 120 profilin web bölgesinde en yüksek soğutma hızında (59°C/sn.) 181,518 MPa'lık basma kalıntı gerilme değeri elde edilmiştir. HEA 120 profilin web bölgesinde en yüksek ikincil soğutma hızında (31°C/sn.) 291,759 MPa'lık basma kalıntı gerilme değeri elde edilmiştir. Bu sonuç HEA ve HEB 120 ebatlı profillerin sahip olduğu maksimum kalıntı çekme gerilmesi değeri yaklaşık 300 MPa'ın altında olduğu görülmüştür.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

- İncelenen profillerde web bölgesi, web+flansh ve flansh bölgesinde kıyasla soğutma plaklarını doğrudan gördüğünden dolayı daha yüksek soğuma hızı sergilemiştir.
- Profilin cidar kalınlığı daha fazla olmasından dolayı HEB120 profilin soğuma hızı daha düşüktür.
- İncelenen profillerin soğuma hızları süre ve basınç arttıkça soğuma hızları artış gözlemlenmiştir.
- HEA120 kalite 8 bar 1 kat 10 sn numunesi iğnemsiz ferrit ve az miktarda beyrit mikroyapısı sergilediğini gözlemlenmiştir.
- HEB120 kalite 12 bar 2kat 20 sn. profilin iğnemsiz ferrit, beyrit ve az miktarda martenzit yapısının oluştuğu gözlemlenmiştir.
- HEA 120 profilin web bölgesinde kalıntı gerilme en yüksek -33,76 MPa (çekme) olarak ölçülmüştür, web+flansh bölgesinde ise çekme gerilimi (basma) 23,09 MPa'dır.
- HEA 120 profilin web bölgesinde en yüksek soğutma hızında (59°C/sn.) 181,518 MPa'lık basma kalıntı gerilme ölçülmüştür.
- HEA 120 profilin web bölgesinde en yüksek ikincil soğutma hızında (31°C/sn.) 291,759 MPa'lık basma kalıntı gerilme değeri elde edilmiştir.
- Bu sonuç HEA ve HEB 120 ebatlı profillerin sahip olduğu maksimum kalıntı çekme gerilmesi değeri yaklaşık 300 MPa'ın altında olduğu görülmüştür.



## KAYNAKLAR

1. DeArdo, A. J., “Accelerated cooling: A Physical Metallurgy Perspective”, *Proceeding of the International Symposium*, Canada (1987).
2. Çelik, O., “Nervürlü inşaat çeliklerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2015).
3. Devrim, E., “*İzmir Demir Çelik Sanayi A.Ş. Eğitim Yayınları*”, İzmir (2000).
4. Özcelik, S., “Mantarı sertleştirilmiş raylarda yorulma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *YTÜ*, İstanbul (2013).
5. Başkonuş, M., ve Tekin, E., “Hızlı tren olgusu, mantarı sertleştirilmiş ve beynitli ray çelikleri”, *International Iron and Steel Symposium*, Karabük (2012).
6. İnternet: Ereğli Demir Ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., “Ürün Katoloğu”, [http://www.erdemironline.com/Extranet/static/tr/static/Erdemir\\_Urun\\_Katolog.pdf](http://www.erdemironline.com/Extranet/static/tr/static/Erdemir_Urun_Katolog.pdf) (2017).
7. İnternet: Lucefin, “Lucefin”, [http://www.lucefin.com/wpcontent/files\\_mf/06s355j2ing45.pdf](http://www.lucefin.com/wpcontent/files_mf/06s355j2ing45.pdf) (2017).
8. Elieyioğlu, S., “Çeliklerin ısıtılma altında gösterdiği yapısal değişikliklerin taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve Mössbauer spektroskopisi ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 6-7 (2005).
9. Ekinci, C., “Düşük karbonlu mikro alaşımlı çeliklerin sertlik ve mikro yapıları üzerine soğuma hızının etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 11-12 (2011).
10. Bramfitt, B. L., and Lawrence, S. J., “Field Metallography Techniques”, *Metallography and Microstructures*, Vol 9, ASM Handbook, ASM International, 478-492 (2004).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Furkan Ayhan TEZER ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazandı. 2021 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.