T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUK ŞEKİLLENDİRMEYE UYGUN YÜKSEK AKMA DAYANIMLI SICAK HADDELENMİŞ ÇELİKLERDE MİKROYAPI DAYANIM İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

AYCAN ATICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME ANABİLİM DALI
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. SİBEL DAĞLILAR

İSTANBUL, 2015

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUK ŞEKİLLENDİRMEYE UYGUN YÜKSEK AKMA DAYANIMLI SICAK HADDELENMİŞ ÇELİKLERDE MİKROYAPI DAYANIM İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Aycan ATICI tarafından hazırlanan tez çalışması 10.07.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Sibel DAĞLILAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Faik Nüzhet OKTAR

Marmara Üniversitesi _____

Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Sibel DAĞLILAR

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca benden emeğini, ilgisini ve sabrını esirgemeyen tez hocam Sayın Prof. Dr. Sibel DAĞLILAR'a, teorik ve pratik yardımlarını esirgemeyen, her türlü olanağı ve deneysel çalışmalarımı gerçekleştirmemi sağlayan değerli çalışma arkadaşlarım Sayın Ahmet Ersoy ÇELİKEL, Sayın Ebru KULAGUZ ve Sayın Ali KOCA'ya, tez çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Mehmet Can YAVUZKURT, Elif Yıldız ARLI ve Burcu SOYSAL'a, emeğini, sevgisini, sabrını ve anlayışını hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda ve destek olan sevgili annem ve babam başta olmak üzere aileme sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Temmuz, 2015

Aycan ATICI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1. Literatür Özeti 1
1.2. Tezin Amacı 2
1.3. Hipotez 2

BÖLÜM 2

YÜKSEK AKMA MUKAVEMETLİ ÇELİK ÜRETİMİ 3

2.1. Çeliklerin Gelişimi 3
2.1.1. Çelik Üretiminde Kullanılan Temel Alaşım Elementleri 4
2.1.2. Çelik Üretiminde Kullanılan İkincil Alaşım Elementleri 5
2.1.3. Kalıntı Elementler 6
2.2. Çelik Üretim Prosesi 6
2.3. Slab Hazırlama Prosesi ve Slab Isıtma Fırını 8
2.4. Sıcak Haddehane 10
2.4.1. Geleneksel Sıcak Haddeleme Yöntemi 13
2.4.2. Kontrollü Sıcak Haddeleme Yöntemi 13
2.5. Termomekanik Haddeleme Faaliyetleri 17
2.5.1. Tavlama 18
2.5.2. Kaba Haddeleme 18
2.5.3. Bekleme Aşaması 19

2.5.3.1. Bekletme Kalınlığı 19
2.5.3.2. Bekletme Bitiş Sıcaklığı 19
2.5.4. Nihai Haddeleme 20
2.6. Termomekanik Haddeleme Özellikleri Etkileyen Parametreler 21
2.7. Termomekanik Haddelemede Mikroyapısal Dönüşümler 21

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR 24

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler 24
3.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar 25
3.3. Deneyin Yapılışı 29
3.4. Deneme Üretimlerinin Sarılma ve İkmal Sıcaklık Değerleri 31
3.5. Deney Numunelerinin Alınması ve Hazırlanması 33

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI 35

4.1. Çekme Deneyi Sonuçları 35
4.2. Ezme Oranlarına Bağlı Akma Mukavemeti Değişiminin İncelenmesi 36
4.3. Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri 36
4.4. Minitab Programında Yapılan Çalışmalar 42
4.4.1. Korelasyon ve Regresyon Çalışmaları 43
4.4.2. İstatistiksel Proses Kontrol (İpk) Analizi Çalışmaları 45

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 48

KAYNAKLAR 50

EK-A

DENEY NUMUNELERİNİN İKMAL VE SICAKLIK GRAFİKLERİ 54

EK-B

DENEY NUMUNELERİNİN ÇEKME TEST GRAFİKLERİ 71

ÖZGEÇMİŞ 80

SİMGE LİSTESİ

S	Yapı çelikleri
M	Termomekanik haddeleme
C	Soğuk şekillendirilebilirlik
°C	Santigrat derece
Ar_3	Östenitin Ferrite Dönüşüm Sıcaklığı
Ar_1	Östenitin Perlite Dönüşüm Sıcaklığı
α	Ferrit
γ	Östenit

KISALTMA LİSTESİ

Ar	Argon
ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Standartları Kurumu
C	Karbon
Cu	Bakır
DIN	Alman Standartları Enstitüsü
EN	Avrupa Standartları Enstitüsü
Fe	Demir
Mn	Mangan
N	Azot
Nb	Niyobyum
P	Fosfor
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
V	Vanadyum

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Fe-Fe3C denge diyagramı 4
Şekil 2. 2 Çelik üretimi, proses akış şeması 7
Şekil 2. 3 Slab yüzey kusurlarının şematik gösterimi 9
Şekil 2. 4 Dijital slab ısıtma fırınının şematik gösterimi 9
Şekil 2. 5 Çeliklerin geleneksel haddelenmesinde sıcaklığa bağlı haddeleme işleminin şematik gösterimi 10
Şekil 2. 6 Sıcak haddeleme işlemindeki temel aşamaların şematik gösterimi 10
Şekil 2. 7 Kırpma makasında yapılan kesme işleminin şematik gösterimi 11
Şekil 2. 8 Haddeleme merdanelerinin haddelenen malzeme yüzeyine etkisinin şematik gösterimi 12
Şekil 2. 9 Normalize ısıl işlemi 14
Şekil 2. 10 Normalize haddeleme prosesinin şematik gösterimi 14
Şekil 2. 11 ASTM tane boyutu sınıflandırmasının şematik gösterimi 16
Şekil 2. 12 Termomekanik haddelemenin aşamalarının şematik gösterimi 17
Şekil 2. 13 Normalizeye eşdeğer ve termomekanik haddelenmiş mikroyapılar 21
Şekil 3. 1 Pnömatik numune transfer hatları 26
Şekil 3. 2 Thermoarl 4460 optik emisyon spektrometresi 26
Şekil 3. 3 İSDEMİR A.Ş. sıcak haddehanesindeki kaba hadde (giriş) 27
Şekil 3. 4 İSDEMİR A.Ş. sıcak haddehanesindeki şerit hadde 27
Şekil 3. 5 Kaba hadde girişinde yer alan pirometreler 27
Şekil 3. 6 Numune hazırlamada kullanılan giyotin makas 28
Şekil 3. 7 Numune hazırlamada kullanılan CNC tezgahı 28
Şekil 3. 8 Zwick marka çekme cihazı 29
Şekil 3. 9 İSDEMİR A.Ş. Metalografi Laboratuvarı'nda mikro yapı incelemelerinde kullanılan Nikon Epiphot 200 marka mikroskop 29
Şekil 3. 10 Deneme üretimlerinden numune alım şeması 33
Şekil 3. 11 Çekme test numunesi 34
Şekil 3. 12 Çekme test numunesine ait teknik resim 34
Şekil 4. 1 S550MC deneme üretimlerinde deformasyon oranına bağlı olarak akma mukavemetindeki değişim 36
Şekil 4. 2 %70 oranında deformasyon uygulanan malzemeye ait 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü 37
Şekil 4. 3 %75 oranında deformasyon uygulanan malzemeye ait 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü 38

Şekil 4. 4 %85 oranında deformasyon uygulanan malzemeye ait 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü 38
Şekil 4. 5 %90 oranında deformasyon uygulanan malzemeye ait 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü 39
Şekil 4. 6 %92,5 oranında deformasyon uygulanan malzemeye ait 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü 39
Şekil 4. 7 %90 oranında deformasyon yapılan numunenin 500 büyütmedeki mikroyapısında görülen fazlar 40
Şekil 4. 8 Deformasyon oranı – tane boyutu arasındaki ilişki 42
Şekil 4. 9 Akma mukavemeti ve deformasyon oranları arasındaki ilişkiyi gösteren grafik 45
Şekil 4. 10 Normal eğrisi ve altında kalan standart sapma aralıkları 46
Şekil 4. 11 Akma mukavemeti için proses yeterlilik grafiği 47

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Soğuk haddelemeye uygun yüksek akma dayanımlı sıcak haddelenmiş çeliklere ait kimyasal analizler 25
Çizelge 3.2 S550MC numunelerine ait dökümlerin kimyasal analizleri 25
Çizelge 3.3 S550MC numunelerinin alındığı malzemelerin haddeleme prosesindeki sıcaklık değerleri 30
Çizelge 3.4 225 mm kalınlıktan 10 mm kalınlığa haddelenen numune için kaba hadde ve şerit haddede uygulanan deformasyon oranları 30
Çizelge 4.1 S550MC deneme üretimlerine ait mekanik test değerleri 35
Çizelge 4.2 Deney numunelerine ait tane boyutu değerleri 41

ÖZET

SOĞUK ŞEKİLLENDİRMEYE UYGUN YÜKSEK AKMA DAYANIMLI SICAK HADDELENMİŞ ÇELİKLERDE MİKROYAPI DAYANIM İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Aycan ATICI

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sibel DAĞLILAR

Bu çalışmada, soğuk şekillendirmeye uygun yüksek akma mukavemetli sıcak haddelenmiş çeliklerin (EN 10149-2, S550MC) , deformasyon oranları ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri incelenmiştir. Deneylerde kullanılan slab ebatları 225 mm*1255 mm*12000 mm'dir. Haddeleme şartlarında slab fırın çıkış sıcaklığı 1240°C, şerit giriş sıcaklığı 920°C, ikmal sıcaklığı 820°C, sarım sıcaklığı 540°C olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan çelik analizi verilen standartlara göre hazırlanmış olup, toplam Nb, Ti ve V miktarı %0,22 geçmeyecek şekilde kullanılmıştır. İncelemeler farklı deformasyon oranları için yapılmıştır. Hedeflenen akma mukavemeti en az 550 MPa, çekme mukavemeti 600-760 MPa ve uzama miktarı %14'tür. Standart, 8 mm'den kalın malzemeler için akma mukavemetinin 20 MPa daha düşük olmasına izin vermektedir. Yapılan çalışmalarda deformasyon oranı farkının malzemelerin mikroyapısını etkilediği, mikroyapının da malzeme mukavemetindeki farklılıklara neden olduğu görülmüştür. Malzemelerin deformasyon oranları ve mukavemeti arasındaki ilişki, kıyaslama, istatistiksel veri analizi gibi yöntemlerle incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal analiz, sıcak haddeleme, deformasyon oranı, yüksek akma mukavemeti, mekanik özellikler, termomekanik haddeleme, sarılma sıcaklığı.

ABSTRACT

THE RELATIONSHIP BETWEEN MICROSTRUCTURE AND STRENGTH OF HOT ROLLED COIL PRODUCTS MADE OF HIGH YIELD STRENGTH STEELS FOR COLD FORMING

Aycan ATICI

Department of Metallurgical and Material Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Sibel DAĞLILAR

The relationship between rolling ratio and mechanical properties of hot rolled coil products made of high yield strength steels for cold forming (EN 10149-2, S550MC), was investigated. On experiments, slab dimensions were 225 mm*1255 mm* 12000 mm. As rolling conditions, furnace exit temperature of slab was 1240FM (Finishing Mill) entrance temperature was 920°C, FM exit temperature was 820°C, and coiling temperature was 540°C. The chemical compositions of the steel samples were prepared as standard and the sum of Nb, V and Ti allowed to be lower than 0,22%. For the experiments, different rolling ratios were used. The mechanical properties that we tried to reach were, yield strength minimum 550 MPa, tensile strength 600-760 MPa and elongation min 14%. According to EN standard for thicknesses higher than 8 mm the minimum yield strength can be 20 MPa lower. The change of mechanical properties related to rolling ratio differences and microstructures were searched. The study supports the inverse ratio between rolling and the strength both by comparison and statistical analysis.

Key words: chemical composition, hot rolling, rolling ratio, high yield strength, mechanical properties, thermomechanical rolling, coiling temperature.

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Literatür Özeti

Dünyadaki metal üretiminin %90'ını çelikler ve bu miktarın yaklaşık olarak %77'sini düşük karbonlu çelikler oluşturmaktadır [1].

Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri DIN EN 10025 standardına uygun olarak yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerden üretilmektedir. Bu çelikler için istenen özelliklerin ve mukavemet değerlerinin sağlanabilmesi amacıyla çok düşük oranda alaşım elementi ilavesi yapılır ve sıcak haddeleme sırasında termomekanik haddeleme yöntemi kullanılır [2].

Çelik endüstrisinde yüksek dayanımlı düşük alaşımlı (HSLA) yapı çeliklerinin üretiminin düşük maliyetli ve özelliklerinin geliştirilerek üretimi için yeni yöntemler geliştirilmektedir. Normalize tav ve temperleme gibi ısıl işlemler, su verme, termomekanik haddeleme teknikleri ve sürekli tavlama prosesleri, nihai üründe iyi ferrit tane boyutunu elde etmek için geliştirilen yöntemlerdir. 30 yıl önce endüstriyel uygulamalarda tane boyutlarında ancak alt limitlere ulaşılabilirken, bu uygulamalar ile ferrit tane boyutunun iyileştirilmesi sağlanarak (12 ASTM G'ye göre); mukavemet, kırılma tokluğu ve kaynaklanabilirlik özellikleri ile belirgin bir gelişim sağlanmıştır [4].

Termomekanik proses, örneğin kontrollü haddeleme ve su verme gibi işlemler, sıcak haddeleme sonrası bir ısıl işlem gereksinimini azalttığı, hatta tamamen ortadan kaldırdığı için çelik sektöründe büyük bir enerji tasarrufu sağlar. Ayrıca yüksek kaliteli çeliklerin üretilebilirliğini de olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir. Mukavemet, tokluk ve kaynaklanabilirlik özellikleri genellikle çelik alaşımı ve sıklıkla sıcak

deformasyon prosesi ile belirlenir. Sıcak deformasyon prosesi doğru uygulandığında, tek başına çelik analizinde kullanılan toplam alaşım miktarının azaltılmasını ve istenilen mukavemet, tokluk, kaynaklanabilirlik değerlerinin elde edilebilmesini sağlar [5].

Bir deneme üretimi için minimum 120 ton malzeme ergitilerek ara ürün elde edilmesi ve bu malzemenin daha sonra proses gereği gerekli aşamalardan geçirilmesi gerekmektedir. Proses maliyeti çok yüksek olan çeliğin standart bir üretim haline gelebilmesi, mevcut teknolojik altyapı ile üretilebilirliğinin en düşük maliyetle sağlanması ve sorunsuz bir şekilde üretilebilmesi için kimyasal analizlerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca belirlenen kimyasal analizdeki malzemenin sıcak haddeleme sırasındaki davranışlarının belirlenmesi ve mikroyapı özelliklerinin (tane boyutu, mevcut fazlar ve dağılımları gibi) çıkarılması gerekmektedir [3].

1.2. Tezin Amacı

Yapılan çalışmanın amacı aynı kimyasal analize sahip, termomekanik haddeleme yöntemi ile üretilmiş yüksek akma mukavemetli çeliklerde mikroyapıya bağlı mukavemet değişimlerini incelemektir.

1.3. Hipotez

Çeliklerdeki mukavemet değerini arttırmak için kullanılan yöntemlerden biri olan termomekanik haddeleme işleminde yeniden kristelleşme sıcaklığının altına inmek için beklenen süre sıcak rulo üretimi yapılan tesislerde üretimi yavaşlatmaktadır. Çeliğin kimyasal analizinde değişiklik yapılarak, istenilen mukavemet değerlerine ulaşılabilir.

BÖLÜM 2

YÜKSEK AKMA MUKAVEMETLİ ÇELİK ÜRETİMİ

Günümüzde kullanımı en yüksek olan metallerin başında gelen çeliğin tercih edilmesindeki en büyük etmen, mukavemet ve dayanıklılıktır. Termomekanik haddeleme, yüksek mukavemet değerlerinin elde edilmesi için tercih edilen bir yöntemdir.

2.1. Çeliklerin Gelişimi

Biyoteknoloji, yapay zekalar ve gelişen teknolojiler 21. yy'ın en önemli endüstrileri olarak ileri düzey yeni malzemelerin geliştirilmesine neden olsa da, fiyat avantajları ve özelliklerinin geliştirilebilir olması sebebiyle çelikler endüstriyel uygulamalarda lider olarak yerini koruyabilmektedir [6-7].

Özellikle, 20. yy'ın ikinci yarısında Fe-C alaşımları ve diğer metalik malzemeler arasındaki rekabete, yapı malzemelerinin kullanımı da katılmıştır. Bu durum çeliklerin geliştirilmesine ve daha geniş uygulama alanlarında ihtiyaçları karşılamalarına neden olmaktadır. Demir alaşımlarına olan ilgi, katı hal geçişlerindeki değişimler, yeniden kristalleşme, tavlama ve yapısal özellikleri gibi diğer özellikler ile de artmaktadır [4].

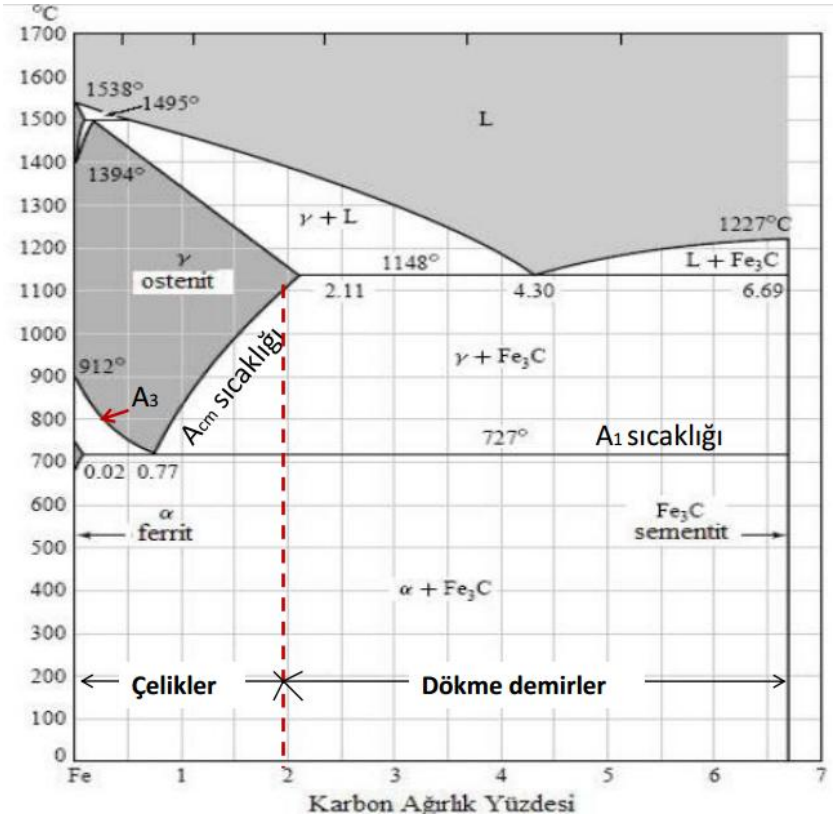
İstenilen tane boyutunun elde edilmesindeki en yaygın yöntemlerden biri malzemenin haddelendikten sonra tavlanmasıdır. Ancak tavlama işlemi ile çelik alaşımında bulunan C, Mn, P, Si ve N elementlerinin oluşturduğu çökeltiler çözünmekte ve dislokasyon yoğunluğu azalmaktadır. Sıcak haddelenmiş çeliklerde dislokasyon yoğunluğunun azalması akma mukavemetinin %70 oranında azalmasına neden olmaktadır [8].

Çelikler akma/çekme mukavemeti oranları aynı olsa da farklı süneklik, uzama ve kırılma tokluğu gibi değerlere sahip olabilmektedirler. Yapı malzemesi olarak kullanılacak olan

malzemelerin akma/çekme mukavemeti oranına bir limit getirilerek plastik deformasyon ve kırılma gibi değerlerin de ihtiyaçları karşılayacak düzeyde kalması sağlanmıştır [8]. Köprü ve yapı konstrüksiyonlarında, akma/çekme mukavemet değeri 0,95'ten yüksek olan çelikler tercih edilmektedirler [10].

2.1.1. Çelik Üretiminde Kullanılan Temel Alaşım Elementleri

Demir - karbon alaşımında %1,7 veya %2'ye kadar karbon, %1 mangan % 0,5 silisyum, % 0,05'ten az olmak üzere kükürt ve fosfor içeren malzemeye çelik denir. Soğuma şartları, silisyum ve mangan miktarı yapı üzerinde çok etkilidir. Buna bağlı olarak yapı farklılıkları meydana gelmektedir [2]. Demir-karbon denge diyagramında çeliklerin ve dökme demirlerin faz aralıkları Şekil 2.1'de yer almaktadır.



Şekil 2. 1 Fe-Fe_3C denge diyagramı [2]

Çelik analizi "saf demir"den (demir dışındaki tüm elementlerin toplamı %0,3'den az) %50'ye kadar alaşım elementi içeren yüksek alaşımlı paslanmaz çeliklere kadar değişiklik göstermektedir [11].

Çeliklere belirli özellikleri kazandırmak amacıyla, alaşım elementleri ilavesi yapılmaktadır. Çelik üretim prosesinde temel elementler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır [3].

C (Karbon)

Çeliğin sertlik özelliğini sağlayan temel alaşım elementi olan karbon, demir ile reaksiyona girerek demir karbür (Fe_3C) oluşturmaktadır. Karbon, çeliğin çekme mukavemetini arttırırken şekillendirilebilirliğini olumsuz etkilemektedir [11].

Mn (Mangan)

Kükürtten kaynaklanan sıcak kırılganlığı önleyen mangan, demirle karbür oluşturmaktadır. Çeliğin sertleşme miktarını, tokluk ve çekme mukavemetini arttırmada kullanılmakla birlikte şekillendirilebilirlik ve kaynaklanabilirlik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir [11].

Si (Silisyum)

Tane küçültücü özelliğe sahip olmayan silisyum, çelikte çekme mukavemetini arttırken, silikat inklüzyonları oluşumundan dolayı çeliğin işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Silisyum ayrıca çelikte elektriksel direnci arttırıcı, geçirgenlik ve manyetik özelliklerini iyileştirici rol oynamaktadır [11].

2.1.2. Çelik Üretiminde Kullanılan İkincil Alaşım Elementleri

Çelik özelliklerini ve performansını geliştirmek amacıyla temel alaşım elementleri ile birlikte kullanılan Cu, Ni, Cr, Mo, Al, V, Nb, Ti, B, Co ve W elementleri bu grupta yer almaktadır [3].

Cu (Bakır)

Çelik içerisinde tamamen çözünen bakır, çelikte herhangi bir oksit, sülfit ya da karbür fazı oluşturmamaktadır. Oksitlerin yüzeye yapışmasını arttırdığı için çeliğin atmosferik korozyon direncini arttıran bakır, ferrit fazını sertleştirmekte ve dolayısıyla şekillendirilebilirliği azaltmaktadır [9,12].

Ni (Nikel)

Özellikle düşük sıcaklıklarda tokluk özelliğini arttıran nikel, kaynaklanabilirlik, plastik deformasyon, yorulma, sertleşme ve korozyon direncine olumlu etki etmektedir [9,12].

Mo (Molibden)

Perlit gibi çeşitli mikro yapıların oluşmasını önleyerek ısıl işlem kontrolünü iyileştiren katı çözelti içerisindeki molibden, ferrit fazını sertleştirmekte ve şekillendirilebilirliği azaltmaktadır. Yüksek sıcaklıkta; korozyon, tokluk ve yorulma direncini geliştirmekte, sertleşme özelliğini iyileştirmektedir [9,12].

V (Vanadyum)

Etkili bir tane küçültücü olan vanadyum, östenit tane büyümesini sınırlamakta, karbür ve nitrür oluşturmaktadır. Akma mukavemetini, tokluğu ve yüksek sıcaklıkta malzemenin sertliğini iyileştirmektedir [9,12].

Nb (Niyobyum)

Etkili bir tane küçültücü olan niyobyum, östenit tane büyümesini sınırlamakta ve karbür oluşturucu rol oynamaktadır. Akma, çekme mukavemetini ve yüksek sıcaklıkta malzemenin sertliğini iyileştirmektedir [9, 12].

2.1.3. Kalıntı Elementler

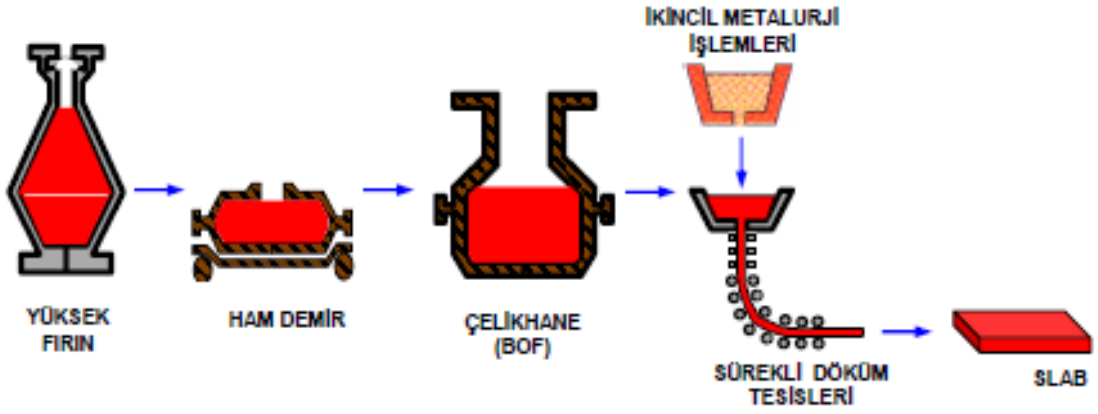
Elementler, çelik üretim şartlarında tamamen sıvı çelik banyosunda kalmaktadırlar. Herhangi bir kalite için çelikte olması gereken minimum değerler söz konusu olmamakla birlikte, çelik analizine göre maksimum değer sınırlaması olabilmektedir [11].

2.2. Çelik Üretim Prosesi

Entegre üretim yapan tesislerde çelik üretim işlemi bazik oksijen fırınında (BOF) gerçekleştirilmektedir. Yüksek fırında üretilen ham demir, BOF'a şarj edilerek içerisine saf oksijen üflenmekte ve sonrasında rafinasyon işlemine tabi tutularak çeliğe dönüştürülmektedir. Ham demir, BOF işleminden önce desülfürizasyon işlemine tabi tutularak içerisindeki kükürt miktarı %0,080-0,050'den %0,03-0,008'e düşürülmektedir. Bu işlemde demir içerisinde yüksek oranda bulunan C, Si, Mn, P ve S gibi temel

elementlerin miktarı oksidasyon işlemi ile düşürülerek istenilen seviyelere çekilmektedir. Oksijen üfleme sonrası, oksijen afinitesi çok yüksek olan çeliğin Al ya da Si ilavesi ile deoksidasyonu sağlanmaktadır [13].

Az miktarda V, Ti, Nb ve Mo elementlerini de içeren mikro alaşımlı çelikler, çelik kalitesine bağlı olarak %0,60-%1,60 Mn da içerebilmektedir. Demir alaşımı formunda olan mikro alaşım elementleri, döküm yapılırken potaya ilave edilmektedirler.



Şekil 2. 2 Çelik üretimi, proses akış şeması [14]

Sıvı çeliğin özelliklerinin geliştirilmesi için pota fırınlarında yapılan iyileştirme faaliyetleri, ikincil metalurji işlemleri olarak adlandırılmaktadır. Pota fırınının öncelikli işlevi, sıvı çeliğin sıcaklığını hassas olarak ayarlamaktır. Sıvı metal yüzeyinde yoğunlaşan ısı, pota tabanından yapılan Ar gazı ile karıştırma sayesinde tüm banyo içerisine transfer edilmektedir. Çelik üretimi, proses akış şeması Şekil 2.2'de verilmiştir.

Pota fırınında uygulanan işlemler dört kademeden oluşmaktadır.

Birinci Kademe: Sıcaklık ve kimyasal analizin homojenizasyonunu sağlamak amacıyla Ar gazı ile sıvı çeliğin karıştırılması ve bu esnada cüruf yapıcıların hazırlanması işlemleri birinci kademeyi oluşturmaktadır.

İkinci Kademe: Üretilecek çelik cinsine ve özelliklerine uygun cüruf yapıcıların ilavesini ve oluşturulan bu cüruf ile sıvı çeliğin rafinasyonu işlemleri ikinci kademeyi oluşturmaktadır.

Üçüncü Kademe: Sıvı çeliğin istenen sıcaklık değerleri ve kimyasal analize tam olarak hassas şekilde ayarlanmasını içeren ısıtma ve analiz ayarlama kademesi üçüncü

kademe olarak adlandırılmaktadır. Gerekli alaşım elementlerinin ilavesi bu kademede yapılmaktadır.

Dördüncü Kademe: Çelik kalitesine bağlı olarak Ca tel besleme işlemi yapıldıktan sonra Ar gazı ile düşük debide karıştırma yapılarak inklüzyonların sıvı çelik yüzeyinde yüzdürülmesi işlemi dördüncü kademede yapılmaktadır.

Pota fırınına heterojen olarak gelen sıvı çelik, cüruf yapıcılarla ve argon gazı ile karıştırılmakta ve burada uygun alaşım elementleri ilave edilmektedir. Elektrotlarla ark işlemi yapılarak kimyasal ve sıcaklık homojenizasyonu sağlanan sıvı çelik, öncelikle cüruf yapıcılarla reaksiyona girmektedir. Analiz olarak hazır hale gelen sıvı çelik, kalsiyum ilavesiyle ve yumuşak karıştırma ile inklüzyonlarından ayrıştırılarak, uygun analiz ve sıcaklıkta sürekli döküm makinelerine gönderilmektedir [15].

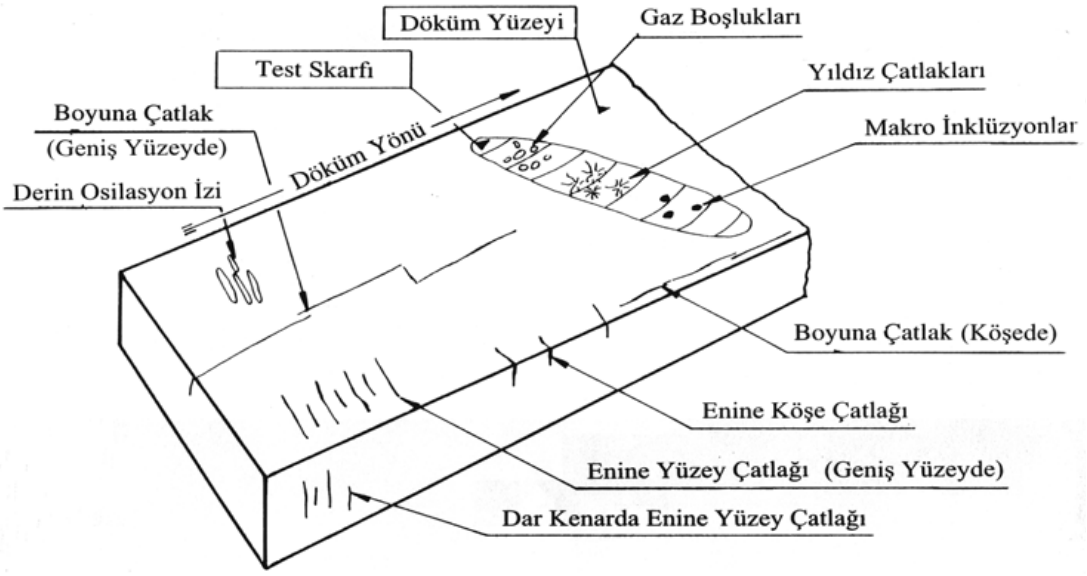
Sürekli döküm tesisinde, ikincil metalürji istasyonlarında sıcaklığı ve kimyasal analizi ayarlanan sıvı çelik, hareketli bir kalıp boşluğundan geçirilip dinamik olarak karıştırıldıktan sonra slab haline dönüştürülmektedir. Potadaki sıvı çelik, slabın fiziksel olarak oluşmasını sağlayan kalıp boşluğuna dökülmeden önce kalıntıların yüzdürüldüğü tandiş denilen ikinci bir refrakter kalıba dökülmektedir. Daha sonra sıvı çelik bir nozul vasıtasıyla tandişten kalıp boşluğuna akıtılmakta ve slab olarak katılaşması sağlanmaktadır [16].

2.3. Slab Hazırlama Prosesi ve Slab Isıtma Fırını

Slab hazırlama prosesi, slabların kesilmesini ve skarf işlemlerini kapsamaktadır. Sürekli dökümlerden gelen slab genişliği nihai haddeleme genişliğine uygun olmadığı durumlarda ya da ebat değişim slablarında üretilen konik slabların nihai ürün olarak değerlendirilebilmesi için, slablara kenar kesme işlemleri uygulanmaktadır.

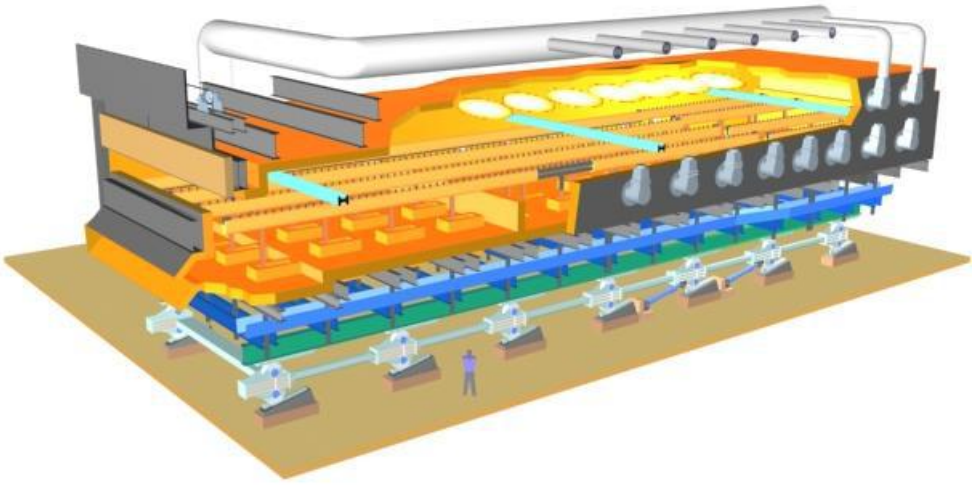
Slab yüzeyinden yaklaşık olarak 2-3 mm kalınlığındaki ince bir tabakanın oksijen ile ergitilerek atılması işlemi, skarf işlemi olarak adlandırılmaktadır. Slab yüzeyinde doğrudan görülemeyen kusurları açığa çıkarmak ve slab yüzeyinde oluşan kusurları gidermek için slablara skarf işlemi uygulanmaktadır [3].

Slablarda karşılaşılan yüzey kusurları Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2. 3 Slab yüzey kusurlarının şematik gösterimi [18]

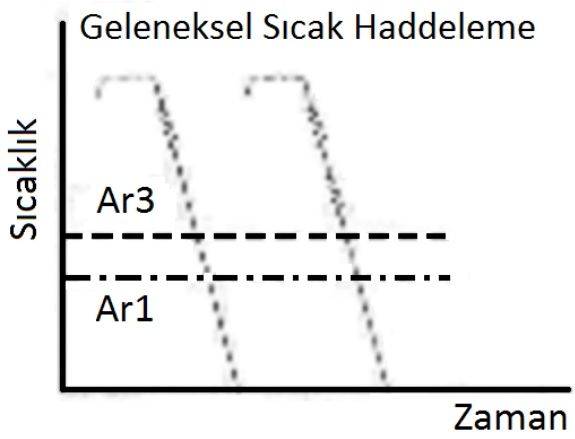
İtmeli tip fırınlarda slabların zarar görme ihtimallerinin daha yüksek olmasından dolayı haddelenecek slabları ısıtmak için genellikle yürüyen tabanlı fırınlar tercih edilmektedir. İşletme kapasitesine göre fırın kapasiteleri de değişim göstermektedir. Slab fırınında yaklaşık 1200-1250°C aralığına kadar tavlanan slablar haddelenmek üzere transfer masasına gönderilmektedirler [18]. Slab ısıtma fırını şematik gösterimi Şekil 2.4'te yer almaktadır.



Şekil 2. 4 Dijital slab ısıtma fırınının şematik gösterimi [19]

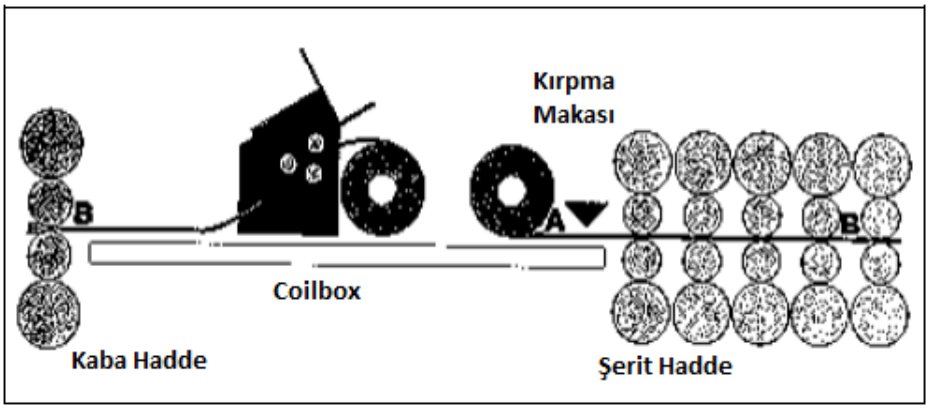
2.4. Sıcak Haddehane

Haddeleme sıcaklığına kadar ısıtılan slabların haddelenmek suretiyle sıcak şekillendirilmesi işlemine "sıcak haddeleme" denmektedir. Geleneksel haddeleme yöntemlerinde, östenitin ferrite dönüştüğü Ar_3 sıcaklığının üzerinde kaba haddeleme, daha düşük sıcaklıkta da şerit haddeleme yöntemi ile optimum mukavemet ve % uzama değerleri elde edilmektedir [20]. İstenilen özellikleri elde edebilmek için çeliklere uygulanan geleneksel sıcak haddeleme profili Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2. 5 Çeliklerin geleneksel haddelenmesinde sıcaklığa bağlı haddeleme işleminin şematik gösterimi [21]

Haddeleme işleminin Ar_3 sıcaklığının üzerinde yapıldığı geleneksel haddeleme yönteminde, deformasyon işlemi yalnızca östenit fazında başlamakta ve tamamlanmaktadır. Haddelemede tane boyutu, haddeleme sıcaklığına, paso sayısına ve her pasodaki deformasyon oranı gibi işlem parametrelerinden etkilenmektedir [22]. Sıcak haddeleme işleminde yer alan temel aşamalarının şematik gösterimi Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2. 6 Sıcak haddeleme işlemindeki temel aşamaların şematik gösterimi [23]

Kaba Hadde

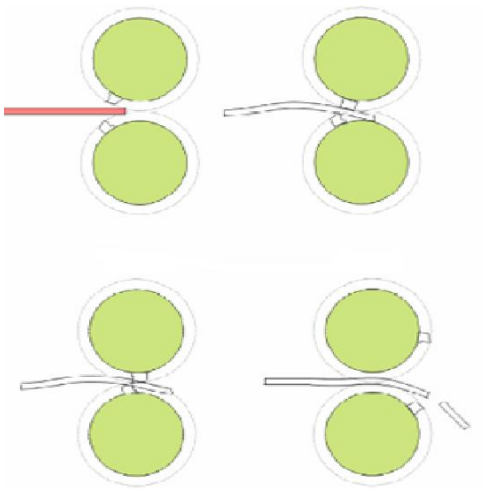
Slabın tersinir olarak haddelendiği yer kaba hadde olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamada nalzemenin nihai genişlik ayarını kontrol etmek amacıyla slabın kenarlarına dik yönde de haddeleme işlemi uygulanmaktadır. Genellikle 5 veya 7 paso deformasyon işlemi uygulanan malzemelerin kaba hadde çıkış kalınlıkları 35 mm ve 60 mm arasında değişmektedir.

Coilbox

Kaba haddeden çıkan malzemenin, şerit haddeye girmeden önce rulo olarak sarıldığı kısma coilbox adı verilmektedir. Özellikle uzun ebatlardaki ve nihai kalınlığının genellikle 10 mm'in altına indirileceği malzemeler coilboxa sarılmaktadır. Böylelikle malzeme ısısının sargılar arasında kalması sağlanarak, kaba haddeden çıkan malzemenin, şerit haddeye girmeden önce ısısının homojen dağılması sağlanmaktadır. Homojen ısı haddeleme sırasında kolaylık sağladığı gibi, malzemenin şekil ve ebatlarının toleranslar dahilinde gerçekleşme olasılığını arttırmaktadır.

Kırpma Makası

Kaba haddeden çıkan malzemenin baş ve son kısımlarında oluşan düzensiz kısımların kesiminin yapıldığı yere kırpma makası denilmektedir. Kaba haddeleme işlemi sonrasında yapılan kesme işlemi şematik olarak Şekil 2.7'de verilmiştir.



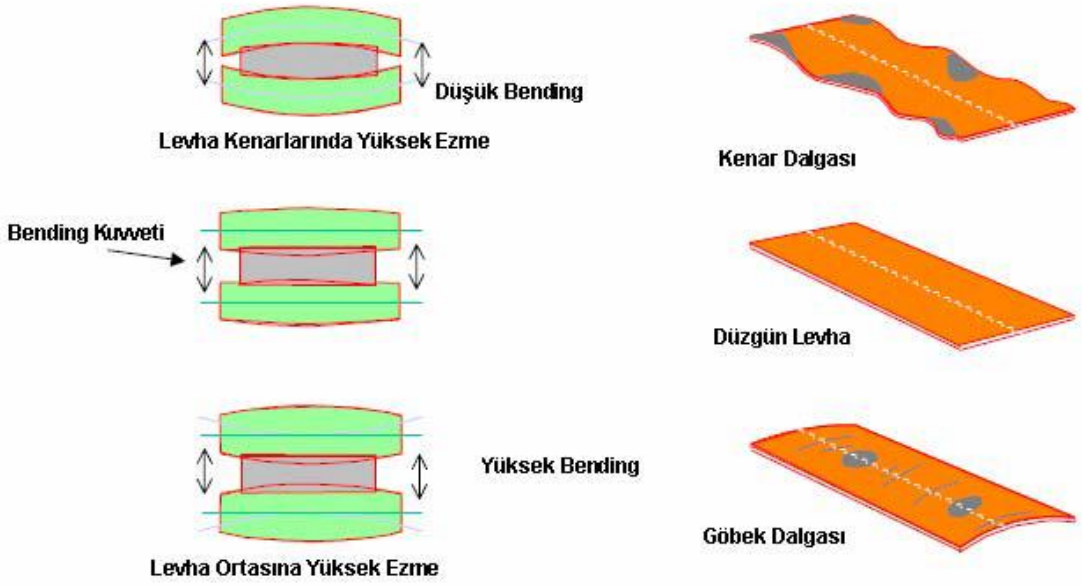
Şekil 2. 7 Kırpma makasında yapılan kesme işleminin şematik gösterimi [24]

Şerit Hadde

Otomatik kalınlık kontrol sistemleri, merdane bükme sistemi, merdane çaprazlama sistemi ve merdane kaydırma sistemlerinin bulunduğu, nihai haddelemenin yapıldığı yer şerit hadde olarak adlandırılmaktadır. Otomatik düzgünlük kontrolleri ve merdanelerin bombe kontrolleri yapılarak malzemenin homojen ebat dağılımına sahip olması sağlanmaktadır [24].

Haddeleme işlemleri sırasında malzeme yüzeyinde oluşan tufal tabakasının, nihai malzemedeki yüzey temizliğini sağlamak amacı ile mutlaka uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu temizleme işlemi haddeleme sırasında basınçlı su ile yapılmaktadır.

Haddeleme merdanelerinin haddelenen malzeme yüzeyine etkisi şematik olarak Şekil 2.8'de yer almaktadır.



Şekil 2. 8 Haddeleme merdanelerinin haddelenen malzeme yüzeyine etkisinin şematik gösterimi [3]

Haddeleme prosesi, geleneksel sıcak haddeleme ve kontrollü haddeleme olarak iki gruba ayrılmaktadır. Geleneksel sıcak haddelemede, üretilecek malzemenin son şekli minimum pasoda verilirken, kontrollü haddelemede deformasyon ve sıcaklık kontrolü ile malzemenin mukavemeti ve tokluğu arttırılmaktadır[25].

2.4.1. Geleneksel Sıcak Haddeleme Yöntemi

Haddeleme işleminin yüksek sıcaklıklarda, yani Ar_3 kritik sıcaklığının üzerinde, belirli bir sıcaklık hedeflenmeden ve müsaade edilen yüksek deformasyon oranlarında sürekli olarak yapılan haddeleme yöntemi geleneksel sıcak haddeleme yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Deformasyon işlemi yalnızca östenit fazında başlamakta ve tamamlanmaktadır. Yüksek sıcaklık nedeni ile hızlı yeniden kristalleşme ve tane büyümesi meydana gelmekte, bunun sonucunda da düzenli bir tane yapısı oluşmamaktadır. Bu metot gevrek kırılmaya karşı kaba haddeleme ve alaşım elementi içermeyen C-Mn çelikleri için uygun bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Yüksek mukavemet ve sertlik değeri aranmayan yerlerde de geleneksel sıcak haddeleme yöntemini kullanılmaktadır [25].

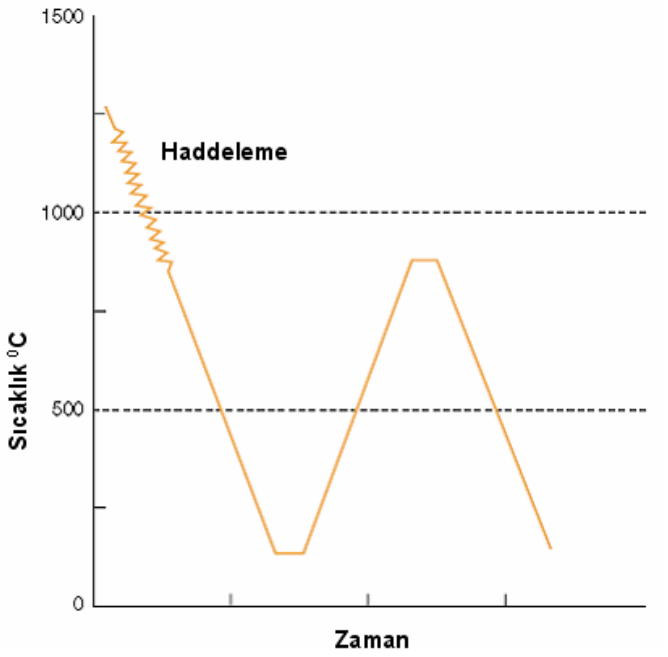
2.4.2. Kontrollü Sıcak Haddeleme Yöntemi

Kontrollü sıcak haddeleme yöntemi, haddeleme parametrelerinden sıcaklık ve deformasyonun kontrolü ile iyi kaynak özelliği, korozyona karşı direnç gibi geleneksel haddeleme yöntemleri ile karşılanamayan özelliklerin sağlanması amacı ile geliştirilmiştir [26].

Kontrollü sıcak haddeleme yöntemi aşağıdaki işlemleri kapsamaktadır:

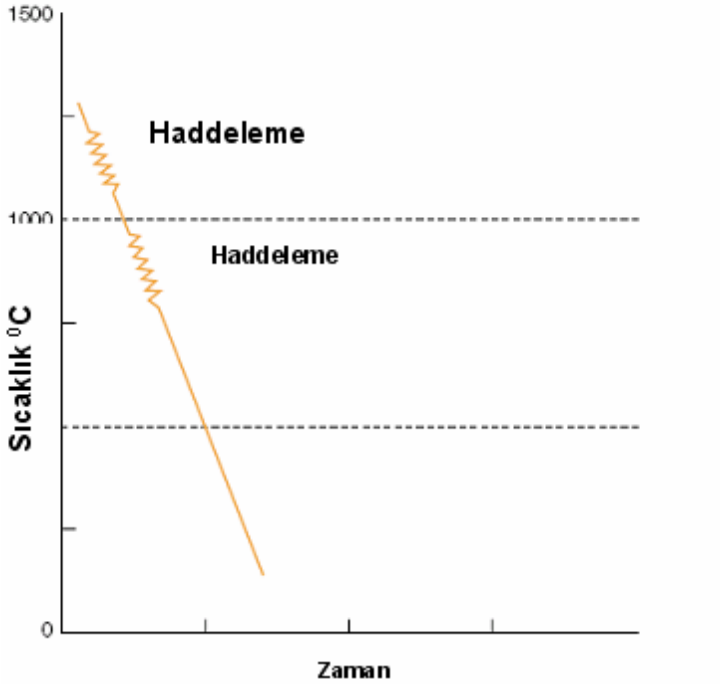
- Normalize ısıl işlemi
- Termomekanik kontrollü haddeleme
- Hızlı soğutma
- Su verme ve menevişleme

Termomekanik haddeleme yöntemi olan kontrollü sıcak haddeleme işlemi, haddeleme son pasosunun normalize sıcaklık aralığında, yani yaklaşık olarak 920°C civarında verilmesi olarak tanımlanmaktadır. Haddeleme sırasında östenit faz tamamen yeniden kristalleşmekte fakat düşük sıcaklıklarda tane büyümesi olmamaktadır. Malzemeye uygulanan son deformasyon pasosundan sonra normalize ısıl işlemi sonrası havada soğuma gerçekleştirilmektedir. Normalize ısıl işlemi Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2. 9 Normalize ısıl işlemi [3]

Isıl işleminin amacı haddeleme sonrası plastik şekil verme işlemlerinin oluşturduğu tane şekil bozulması sonucu ortaya çıkan iri taneli yapıların yerine düzgün dağılmış ve ince taneli bir mikro yapı elde etmektir.



Şekil 2. 10 Normalize haddeleme prosesinin şematik gösterimi [3]

Termomekanik kontrollü haddeleme (Thermomechanical Controlled Rolling – TMCR) son deformasyonun östenitin yeniden kristalleşme olmadığı sıcaklık aralığında

geçekleştiği termomekanik işlem olarak tanımlanmaktadır. Soğuma sonrası deformasyon, östenit yapısının ince taneli ferrit perlit yapısında olmasına neden olmaktadır. Son paso işlemi östenitin ferrite dönüşmeye başladığı sıcaklığın biraz üzerinde uygulanmaktadır. Normalize haddeleme prosesi şematik olarak Şekil 2.10'da yer almaktadır.

Termomekanik kontrollü haddeleme ile, malzemeye ısıl işlem yapılarak elde edilebilecek özellikler kazandırılmaktadır. Düşük haddeleme sıcaklıkları ile çok iyi tokluğun sağlanması, çeliğin tane yapısının küçüldüğünü göstermektedir. Geleneksel sıcak haddeleme yönteminden en temel farkı, şekillendirme prosesinin yanı sıra istenen özellik kombinasyonunun da sağlanabilmiş olmasıdır [25].

Termomekanik haddelemenin sağladığı esas fayda, mikro alaşım elementleri ile elde edilmektedir. Mikro alaşım elementelerinden biri olan Nb, yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltmekte ve uygulanan soğutma işlemi ile ince taneli mikro yapının oluşumunu sağlamaktadır. Nb ayrıca çökelme sertleşmesi ile mukavemetin artmasını da sağlamaktadır [27].

Termomekanik haddeleme, zaman ve sıcaklık kontrolü ile son paso sıcaklığının, Ar_3 faz dönüşüm sıcaklığının üzerinde bitirildiği haddeleme şekli olarak da tanımlanmaktadır. Düşük sıcaklıkta deformasyonun bitirilmesi ile istenilen akma mukavemetine ulaşılmaktadır. Eğer haddeleme sonrasında soğutma hava ile yapılıyorsa işlem normalize haddeleme olarak tanımlanmaktadır.

Haddeleme sonrası soğutma işlemi su ile yapılırsa (Accelerating Cooling- ACC), çeliğin tane yapısının küçültülmesi ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi sağlanmaktadır. Bu proses, tokluk özelliğini geliştirdiği gibi alaşım içeriğinin düşürülmesini de sağlamaktadır. Su soğutmalı malzeme yapısı, ince taneli ferrit/perlit ve ferrit/beynit şeklinde olduğu için istenilen mekanik özelliklere ulaşılabilmektedir [25].

Yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yeterli seviyede östenit tanelerinin oluşumu, ferrit tane boyutunun iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır [28].

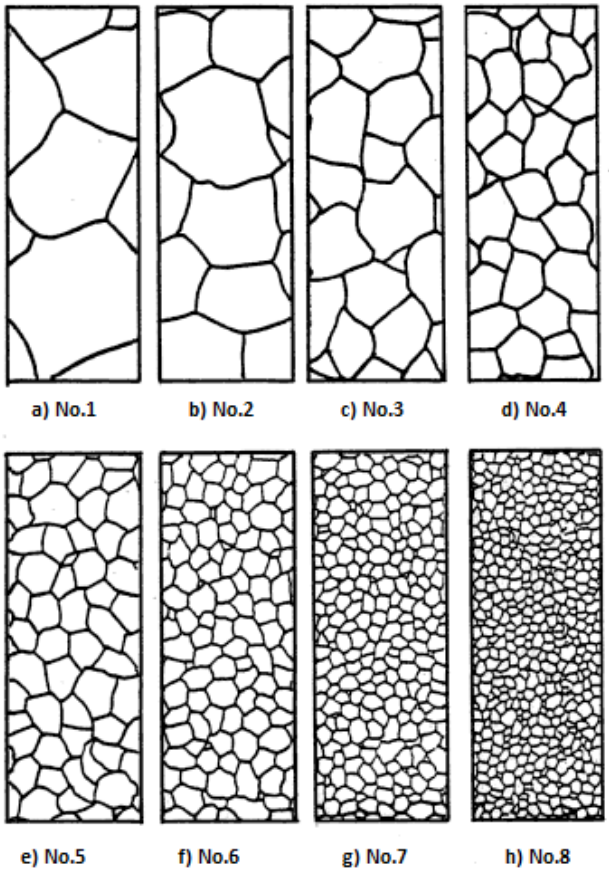
Tane boyutunun belirlendiği ASTM E112-12 standardına göre tane boyutu numarası 100 büyütmede çekilen metal fotoğrafından belirlenmektedir. Buna göre her metre karedeki tane sayısı N olmak üzere $N=2^{n+3}$ formülünden n, yani tane boyutu numarası

hesaplanmaktadır. Hesaplamalar inç karedeki tane sayısından hesaplanacaksa formül $N=2^{n-1}$ olarak alınmalıdır. Buna göre yapılan hesaplamalara ait tane boyutu numaraları Çizelge 2.1'de yer almaktadır [29].

Çizelge 2.1 ASTM E112-12 standardına göre 100 büyütmede 1 inç karedeki tane adetine göre tane boyutu numarası [30]

No	Adet Tane
1	-1,5
2	1,5-3
3	3-6
4	6-12
5	12-24
6	24-48
7	48-96
8	96-

ASTM E112-12 ortalama tane boyutu belirleme standartlarına göre, tane boyutu sınıflandırılması şematik olarak Şekil 2.11'da yer almaktadır.



Şekil 2. 11 ASTM tane boyutu sınıflandırmasının şematik gösterimi [33]

2.5. Termomekanik Haddeleme Faaliyetleri

Çeliklerde istenilen yüksek tokluk ve süneklik özellikleri ancak tane boyutunun küçültülmesiyle elde edilebilmektedir. Termomekanik haddeleme malzemenin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla haddeleme ile ısıl işlemin bir arada kontrollü bir şekilde uygulandığı işlemler olarak adlandırılmaktadır. Termomekanik haddelemenin aşamaları şematik olarak Şekil 2.12'de yer almaktadır.

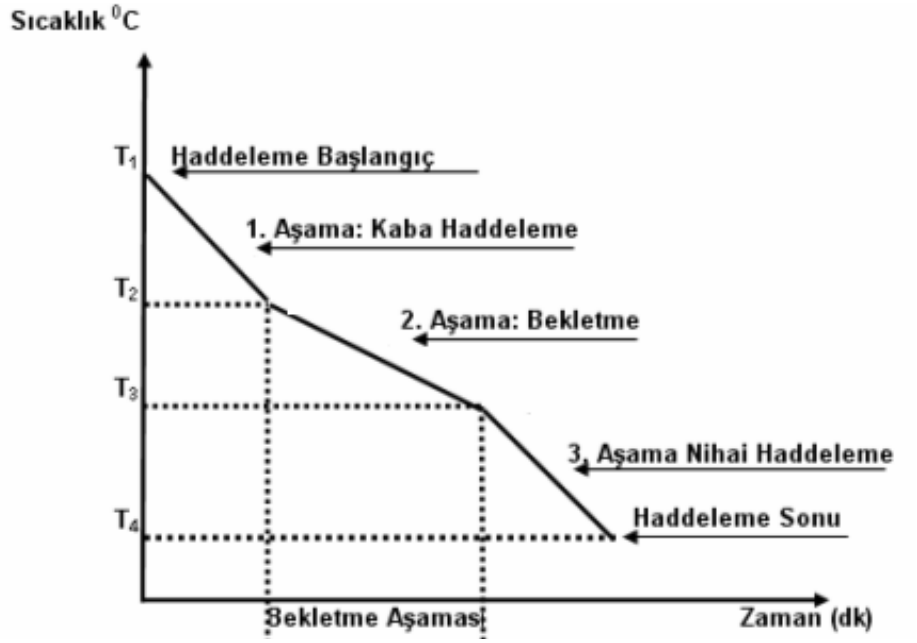
Geleneksel ısıl işlem ve haddeleme işlemlerin ayrı ayrı uygulanması ile elde edilen malzemelerden daha üstün bir mikro yapı ve mekanik özellikler elde edilmektedir [32].

Termomekanik haddelemede işlem 3 aşamalı olarak gerçekleşmektedir.

1. Aşama: Hızlı yeniden kristalleşmenin yapıldığı 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uygulanan kaba haddeleme işlemi 1. aşamayı oluşturmaktadır. Bu aşamada oluşan östenit taneleri büyüktür ve göreceli olarak büyük perlit ve beynit tanelerine dönüştürmektedirler.

2. Aşama: Malzeme sıcaklığının yeniden kristalleşmenin gerçekleşmeyeceği sıcaklığa kadar düşürüldüğü aşama 2. aşama olarak adlandırılmaktadır.

3. Aşama: Yeniden kristalleşmenin olmadığı bölgede yapılan haddeleme işlemi 3. Aşamayı oluşturmaktadır. Bu bölgede yapılan nihai haddeleme, malzemenin sıcak işlenmesine yol açmakta ve böylelikle küçük taneli perlit yapısı elde edilmektedir [33].



Şekil 2. 12 Termomekanik haddelemenin aşamalarının şematik gösterimi [33]

2.5.1. Tavlama

Sürekli döküm işlemiyle üretilen slabların kolay haddelenebilmesi için slablar, slab ısıtma fırınında östenit sıcaklıklarına çıkarılmaktadır. Bu sıcaklık, östenit tane boyutu üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır. Çok yüksek sıcaklıklara çıkılması durumunda östenit taneleri büyümekte ve Niyobyum karbür (NbC), Titanyum karbür (TiC), Vanadyum karbür (VC), Niyobyum karbonitrür (NbCN) gibi çökeltiler östenit içerisinde çözünmektedir. Aynı şekilde çok düşük sıcaklıklarda ise, çökelme tane sınırlarında olduğu için çökeltiler bünyeye alınamamaktadır [32,34].

Hadddelemeden önce fırında tavlanan slab sıcaklıklarının, karbürlerin ve karbonitrürlerin tamamının çözüneceği kadar yüksek olmaması gerekmektedir. Sıcaklıkların yüksek olması durumunda tane sınırlarının ilerlemesini engelleyen çökeltilerin hepsi çözüneceği için östenit taneleri irileşmektedir [35]. Bu nedenle, slab ısıtma sıcaklığının ve süresinin, östenit tane boyutunun kontrol edilerek mikro alaşım elementlerinin belli bir oranda çözünebileceği değerlerde seçilmesi gerekmektedir. Bunun için, en düşük slab ısıtma sıcaklığı, slab analizindeki C ve N miktarına göre belirlenmektedir [36].

2.5.2. Kaba Haddeleme

Yüksek sıcaklık aralığında, östenitin yeniden kristalleştiği sıcaklıklarda yapılan deformasyon işlemi, termomekanik haddelemenin birinci aşaması olan kaba haddeleme olarak tanımlanmaktadır. Östenit tane boyutu, maruz kaldığı deformasyon ve yeniden kristalleşme ile küçültülmektedir [37].

Östenitleştirme sıcaklığına bağlı olarak, mikro alaşım elementleri ya tane küçültücü ya da çökelme sertleştiricisi olarak etki etmektedir. Östenitleme sıcaklığının artması, mikro alaşım elementlerinin tane içerisindeki çözünme oranlarını arttırmkta, bu durum da tane büyümesine neden olabilmektedir. Düşük sıcaklıklarda ise, östenitte çözünmeyen mikro alaşım çökeltileri daha fazla olmakta ve bu çökeltiler tane sınırı hareketlerine engel oldukları için tane boyutunun daha küçük kalmasını sağlamaktadırlar. Deformasyon etkisiyle oluşan çökeltiler, çözünmemiş çökeltiler gibi etki göstererek yeniden kristalleşmemiş östenitin tane boyutunun büyümesini engellemektedir.

Kaba haddelemede, tanelerin boyutunu ve yönünü etkileyen en önemli faktörleri haddelemedeki deformasyon oranı, deformasyon süresi ve sıcaklık değerleri oluşturmaktadır [38].

2.5.3. Bekleme Aşaması

Termomekanik haddelemenin ikinci aşaması bekletme aşaması olarak adlandırılmaktadır. Bekletme kalınlığı ve bekletme bitiş sıcaklığı buradaki en önemli iki değeri oluşturmaktadır.

2.5.3.1. Bekletme Kalınlığı

Termomekanik haddelemede, kaba haddeleme sonrası bekletme aşamasındaki bekleme kalınlığı önemli etkenlerden birini oluşturmaktadır. Bekletme kalınlığı arttığında deformasyon oranı kaba haddelemede düşmekte, şerit haddelemede ise artmaktadır. Haddeleme sonrasındaki mekanik özellikler ve tokluk değerleri, bekletme aşamasındaki kalınlığa bağlı olarak değişim göstermektedir [39].

2.5.3.2. Bekletme Bitiş Sıcaklığı

Kaba haddeleme işlemi sonrasında yapılan bekletme ile malzemenin, östenitin yeniden kristalleşmenin olmadığı bölgeye gelmesi sağlanmaktadır. Kaba haddeleme boyunca çelik, dislokasyon ilerlemesinin engellenmesi ve yeni dislokasyon oluşumundan dolayı pekleşmektedir. Mikro alaşımsız çeliklerde bekletme süresinde toparlanma görülmektedir. Kritik deformasyonun aşılmasından sonra çelik dinamik olarak yeniden kristalleşmeye başlamaktadır.

Bekletme sırasında malzeme Ar_3 sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklara veya ikinci faz bölgesine kadar soğutulmakta, bu aşamada mikro alaşım elementlerinin çökelme işlemleri gerçekleşmektedir [40].

Malzeme yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde tamamen yeniden kristalleşmekte, aşağısında ise yeniden kristalleşme olmamakta veya kısmen olmaktadır. Nihai malzeme yapısı, gerçekleşen soğutmadan sonra önemli oranda, östenitin o anki faz dönüşümünden önce yeniden kristalleşip kristalleşmediğine bağlı olduğundan, buradaki sıcaklık değeri önem taşımaktadır [41].

2.5.4. Nihai Haddeleme

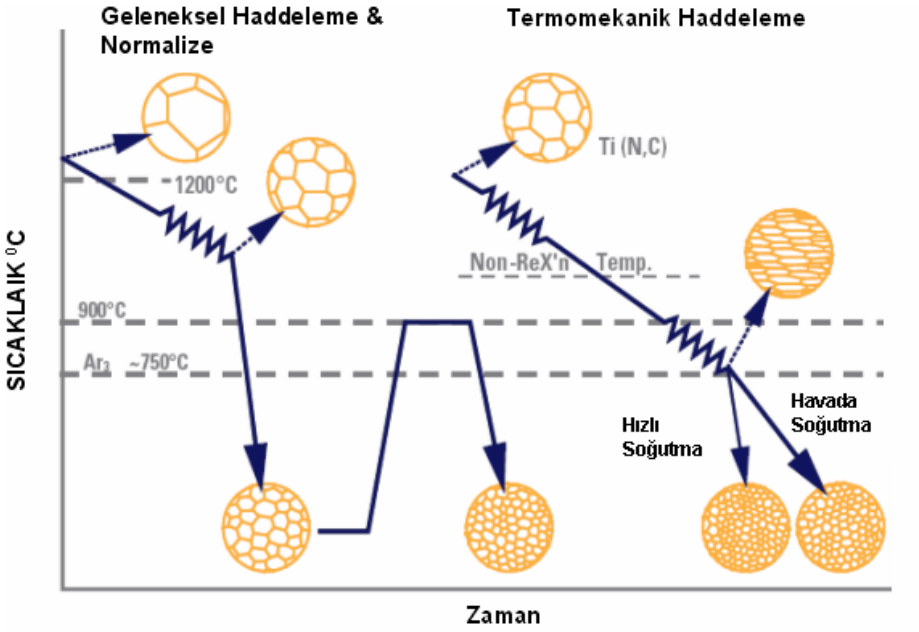
Bekletme sonrası yeniden kristalleşmenin olmadığı bölgede yapılan haddeleme işlemi nihai haddeleme olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgede yapılan haddeleme malzemenin sıcak işlenmesine yol açmakta ve böylelikle küçük taneli ferrit (α) yapısı elde edilmektedir. Östenitin (γ) yeniden kristalleşemediği veya iki faz (α + γ) bölgesinde nihai haddeleme işlemi yapılmaktadır. Amaç ise γ → α dönüşümü neticesinde, ince ve düzgün dağılımlı ferrit tanelerinin oluşumunu sağlayacak östenit yapısı elde etmektir [42].

Başlangıç östenit tane boyutunun küçük olması, deformasyonun düşük sıcaklıklarda yapılmasını ve malzemenin uygulanan yük altında yüksek dislokasyon yoğunluğuna sahip olmasını böylelikle de yeniden kristalleşen tane boyutunun incelmesini sağlamaktadır [43].

Nihai (şerit) haddelemede, yeniden kristalleşmenin engellenmesiyle östenit taneleri hadde yönünde uzamakta ve tane sınırı yoğunluğu artmaktadır. Östenit taneleri içerisinde dislokasyon ve deformasyon bantları gibi yüksek çekirdeklenme yerleri oluşmakta ve bu çekirdeklenme bölgelerindeki artış, haddeleme neticesinde ferrit tanelerinin oldukça ince yapılı olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle şerit haddelemedeki deformasyon miktarı oldukça yüksek olmalıdır. Böylelikle östenit taneleri incelerek uzamakta, buna paralel olarak da artan mikro yapısal hata miktarıyla dağılım düzgün hale gelmektedir [40,42].

Nihai kontrollü haddelemenin normalize tav sıcaklıklarında yapılmasıyla normalize edilmiş duruma benzer bir ferritik perlitik mikro yapı elde edilmektedir. Ancak mikro yapı alaşım elementlerinin yeniden kristalleşmenin durduğu sıcaklığı yükseltmeleriyle, işlem yeniden kristalleşme olmadan gerçekleşmekte, böylece incelen östenit, ince taneli ferrit ve perlit mikro yapısının oluşmasına neden olmaktadır.

Normalizeli ve termomekanik haddelenmiş mikroyapılar şematik olarak Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2. 13 Normalizeye eşdeğer ve termomekanik haddelenmiş mikroyapılar [3]

2.6. Termomekanik Haddeleme Özellikleri Etkileyen Parametreler

Termomekanik haddeleme işleminde, malzeme özelliklerini etkileyen parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Haddeleme çıkış sıcaklığı,
- Haddeleme deformasyon oranları,
- Son üründeki tane büyüklüğü
- Termomekanik haddeleme prosesi
- Kaba haddeleme (sıcak haddeleme)
- Haddeleme sonrası malzemenin soğutma oranı
- Malzemenin mikroyapısı ve tane büyüklüğü.

2.7. Termomekanik Haddelemede Mikroyapısal Dönüşümler

Termomekanik haddeleme üç aşamadan oluşmaktadır:

1. Östenitin yeniden kristalleştiği bölgede deformasyon,
2. Östenitin yeniden kristalleşmediği bölgede deformasyon,
3. Ferrit ve östenitin aynı anda bulunduğu çift fazlı bölgede deformasyon.

Termomekanik haddeleme sırasında yapıda, üç ayrı bölgede uygulanan deformasyon nedeni ile gerçekleşen dönüşümler aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir [44].

T>1000°C: Yeniden kristalleşmenin olduğu bu bölgede, kaba östenit tanesi, deformasyon ile küçültülmekte ve yeniden kristalleşmiş östenit tanesine, dönüşmektedir. Bu yapı soğutma işleminden sonra nispeten büyük ferrrit tanelerine, dönüşmektedir [41,45].

900-1000°C: Uzamış ve yeniden kristalleşmiş östenit tanesi, içerisinde deformasyon bantları oluşmuştur. Ferrit taneleri soğutma esnasında, deformasyon bantlarında ve östenit tane sınırlarında çekirdeklenerek ince ferrit tanelerine, dönüşmektedir [41,45].

Ar_3-Ar_1: Bu bölgede deformasyon bantlarının oluşumu devam etmektedir. Deformasyona uğramış ferrit tanelerinde alt yapılar oluşmaktadır. Soğutma esnasında, yeniden kristalleşmemiş östenit tanesi, eş eksenli ferrit tanelerine dönüşürken, deformasyona uğramamış ferrit tanelerinde alt taneleroluşmaktadır [41,45].

Termomekanik haddelemenin ilk aşamasında amaç, tekrarlı deformasyonler ve yeniden kristalleşme ile mümkün olan en küçük ve homojen ferrit taneleri elde etmektir. Bu amaca ulaşmak için başlangıç östenit tane boyutu küçük ve homojen olması gerekmektedir. Bu koşul pratikte tane kabalaşmasının olmayacağı bir slab ısıtma sıcaklığı seçilerek gerçekleştirilebilmektedir [46].

Genel olarak deformasyon bantlarının oluşumu termomekanik haddelemenin başlıca ayırt edici özelliklerinden birini oluşturmaktadır. Deformasyon bantlarının östenitin hem tane sınırlarında hem de tane içinde oluşması gerekmektedir. Bu deformasyon bantları, ferrit taneleri oluşumu için tane sınırı işlevi görmektedir.

Tekrarlı yeniden kristalleşme işlemi ile tane inceltilmesi sonsuza kadar devam edemeyeceğinden, bu yöntem ile elde edilecek tane boyutu, sınırlanmaktadır. Bu yüzden ferrit taneleri nispeten daha iri olmaktadır. Bu sınırı aşmak için yapılması gereken östenit tanelerini bölmektir. Sıcak haddeleme sırasında yeniden kristalleşen östenit taneleri, kalıcı deformasyon bantları ile bölünürse haddeleme sonucunda çok daha ince ferrit tane yapısı elde edilmektedir. İki fazlı bölgedeki deformasyon sadece daha fazla tane incelmesini sağlamakla kalmamakta aynı zamanda eş eksenli tanelerin ve alt tanelerin oluşturduğu karışık bir yapının elde edilmesine neden olmaktadır [45].

Sonuç olarak termomekanik haddeleme işlemi ile;

- Mümkün olduğunca küçük ve homojen dağılmış, yeniden kristalleşmiş östenit taneleri üretilmektedir.

- Termomekanik haddelemenin temelinde yüksek deformasyon oranları yer almaktadır. Her bir adımdaki yüksek deformasyon oranlarının deformasyon bantları, ikizlenme sınırları ve dislokasyon hücrelerinin oluşturulmasında daha etkin olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bekletme süresi kontrol altında tutulmalıdır. Çok uzun süre bekletme yapılırsa karışık ferrit tane yapısı oluşturacak şekilde yeniden kristalleşmiş östenit taneleri bölgesel olarak kabalaşmaya başlamaktadır.

- Kritik sıcaklıklar arsında yapılan haddelemenin amacı östenitin alt yapı veya alt tane oluşumuyla sertliğinin arttırılmasıdır. Kritik sıcaklıklar arası haddeleme ile deforme olmuş östenit ve deforme olmuş ferrit tanelerinden oluşan karışık bir tane yapısı ortaya çıkmaktadır.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar İSDEMİR A.Ş laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan malzemeler, soğuk şekillendirmeye uygun yüksek akma mukavemetli sıcak haddelenmiş çelik standardı DIN EN 10149-2'ye göre üretilmiştir.

Bu amaçla incelenecek olan malzemelerin dökümleri DIN EN 10149-2:1995 standardında yer alan kimyasal analizlere göre yapılmıştır. Çelik analizleri İSDEMİR A.Ş. Spektral Analiz Laboratuvarı'ndaki optik emisyon spektrometresinde yapılarak doğrulanmıştır. Sürekli döküm tesislerinde 225-1500-10000 mm ebatlarında slab haline getirilen bütün malzemeler Sıcak Haddehane'de termomekanik haddeleme yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen ruloların mekanik testleri de İSDEMİR A.Ş. Mekanik Fizik Test Laboratuvarı'nda boyuna alınan test numunelerine uygulanmıştır.

ASTM E112-12 ortalama tane boyutu belirleme standardına göre, üretilen ruloların mikroyapı ve tane boyutu incelemeleri yapılmıştır. Bu incelemeler Nikon Epiphot 200 marka mikroskopta Clemex PE 4 + CIR görüntü analiz yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre üretilen rulolar değerlendirilmiş, mikroyapı ve akma mukavemeti arasındaki ilişkiyi daha net görebilmek ve bu ilişkinin doğruluğunu desteklemek amacı ile Minitab programında korelasyon, regresyon ve süreç yeterlilik analizleri yapılmıştır.

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde incelenmek üzere seçilen çelik kalitesi S550MC'dir. Soğuk haddelemeye uygun yüksek akma dayanımlı sıcak haddelenmiş çeliklere ait kimyasal analizler Çizelge

3.1'de yer almaktadır. Bütün kimyasal analizler, haddeleme uygulamaları, sıcaklıklar, mekanik testler ve mikroyapı incelemeleri standartlara göre yapılmıştır.

Çizelge 3.1 Soğuk haddelemeye uygun yüksek akma dayanımlı sıcak haddelenmiş çeliklere ait kimyasal analizler [47]

KİMYASAL ANALİZ											
	C % maks	Mn % maks	Si % maks	P % maks	S % maks	Al % min	Nb % maks	V % maks	Ti % maks	Mo % maks	B % maks
S315MC	0,12	1,30	0,50	0,25	0,020	0,015	0,09	0,20	0,15	-	-
S355MC	0,12	1,50	0,50	0,25	0,020	0,015	0,09	0,20	0,15	-	-
S420MC	0,12	1,60	0,50	0,25	0,015	0,015	0,09	0,20	0,15	-	-
S460MC	0,12	1,60	0,50	0,25	0,015	0,015	0,09	0,20	0,15	-	-
S500MC	0,12	1,70	0,50	0,25	0,015	0,015	0,09	0,20	0,15	-	-
S550MC	**0,12**	**1,80**	**0,50**	**0,25**	**0,015**	**0,015**	**0,09**	**0,20**	**0,15**	**-**	**-**
S600MC	0,12	1,90	0,50	0,25	0,015	0,015	0,09	0,20	0,22	0,5	0,005
S650MC	0,12	2,00	0,60	0,25	0,015	0,015	0,09	0,20	0,22	0,5	0,005
S700MC	0,12	2,10	0,60	0,25	0,015	0,015	0,09	0,20	0,22	0,5	0,005

S550MC kalite çelik referans alınarak çelikhanede 4 adet döküm yapılmıştır. Döküm sonuçlarında eser miktarda Mo ve B elementlerine rastlanmıştır. Bu değerler, çelik üretiminde kullanılan hurdadan kaynaklanmaktadır. İncelenen numunelerin üretildiği dökümlere ait kimyasal analiz değerleri Çizelge 3.2'de yer almaktadır.

Çizelge 3.2 S550MC numunelerine ait dökümlerin kimyasal analizleri

KİMYASAL ANALİZ											
	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Al %	Nb %	V %	Ti %	Mo %	B %
D1	0,078	1,779	0,071	0,013	0,001	0,032	0,074	0,060	0,060	-	-
D2	0,071	1,776	0,041	0,014	0,002	0,051	0,067	0,051	0,063	-	-
D3	0,111	1,801	0,056	0,013	0,003	0,029	0,075	0,048	0,053	-	-
D4	0,120	1,786	0,066	0,011	0,000	0,029	0,055	0,004	0,071	-	-

3.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar

Slab üretimine kadar geçen her aşamada; yüksek fırınlarda, konvertörde, pota fırınlarında ve sürekli dökümler tesislerinde, çelik analizi kontrolü için numuneler alınarak pnömatik transfer hatları ile spektral analiz laboratuvarına gönderilerek

sonuçlarına bakılmıştır ve üretim sırasında analizin hedeften sapması engellenmiştir. Sıvı çeliğin son analiz değeri sürekli dökümlerde tandişten alınan numuneler ile belirlenmiştir. Buradan alınan numuneler yapılacak olan analizler için taşlama, parlatma, presleme, punch ve tornalama işlemleri ile hazırlanmıştır.

Hazırlanan numunelerin analizleri, pik, karbon çelikleri, düşük alaşımlı karbon çelikleri ve alaşımlı çeliklerinin analizlerinin yapıldığı Thermoarl 4460 optik emisyon spektrometresinde yapılmıştır. Cihazda analizi yapılan elementler; N, P, S, Sn, C, As, Si, W, Cu, Co, V, Ti, Zn, Ca, B (toplam, çözülmüş, çözülmemiş), Mg, Sb, Al (toplam, çözülmüş, çözülmemiş) Cr, Nb, O, Pb, Fe, Mn, Mo, Zr, Ni'dir. Ayrıca cihazda bunlara ek olarak çelikte kirliliğin miktarını gösteren SparkDat programı bulunmaktadır. Numune transfer hatları Şekil 3.1'de ve optik emisyon spektrometresi Şekil 3.2'de yer almaktadır.



Şekil 3. 1 Pnömatik numune transfer hatları

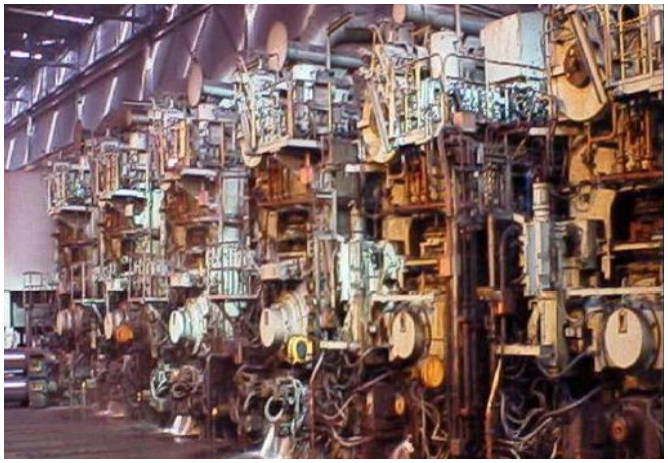


Şekil 3. 2 Thermoarl 4460 optik emisyon spektrometresi

İSDEMİR A.Ş. Sıcak Haddehane'sinde haddeleme işlemi, aynı hat üzerine yer alan kaba haddede ve şerit haddede olmak üzere iki aşamada yapılmaktadır. Kaba haddede belirli oranda deformasyon uyguladktan sonra malzeme şerit haddeye giderek nihai kalınlığına burada ulaşmaktadır. Kaba haddehane girişi Şekil 3.3'te ve şerit hadde Şekil 3.4'te yer almaktadır.



Şekil 3. 3 İSDEMİR A.Ş. sıcak haddehanesindeki kaba hadde (giriş)



Şekil 3. 4 İSDEMİR A.Ş. sıcak haddehanesindeki şerit hadde



Şekil 3. 5 Kaba hadde girişinde yer alan pirometreler

Haddeleme işlemleri sırasında malzeme sıcaklığı hat üzerinde kaba hadde giriş ve çıkışında, şerit hadde çıkışında ve bobin sarıcıdan önce yer alan pirometreler ile yapılmıştır. Kaba hadde girişindeki pirometre Şekil 3.5'te verilmiştir.

Haddeleme işlemi sonrasında rulo haline getirilen malzemeler soğuduktan sonra numune alınmıştır. Laboratuvara gelen numuneler giyotin makas ile kesilmiş ve CNC tezgahında TS EN ISO 6892-1 metalik malzemelerin çekme test standardına göre istenilen ebatlarda kesilerek çekme numunesi hazırlanmıştır. Test yapılacak numuneler, standarda göre haddeleme yönüne paralel olacak şekilde (boyuna test numuneleri) hazırlanmıştır. Numune hazırlama işlemlerinde kullanılan giyotin makas Şekil 3.5'te ve CNC tezgahı Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3. 6 Numune hazırlamada kullanılan giyotin makas



Şekil 3. 7 Numune hazırlamada kullanılan CNC tezgahı

Hazırlanan numuneler laboratuvardaki Zwick marka 60 ton kapasiteli çekme cihazı ile test edilmiştir. Deneylerde kullanılan çekme cihazı resmi Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3. 8 Zwick marka çekme cihazı

Deneme üretimlerinden laboratuvara gönderilen numunelerin mikro yapı incelemeleri, Nikon Epiphot 200 marka mikroskopta, Clemex PE 4 + CIR görüntü analiz yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan mikroskop Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3. 9 İSDEMİR A.Ş. Metalografi Laboratuvarı'nda mikro yapı incelemelerinde kullanılan Nikon Epiphot 200 marka mikroskop

3.3. Deneyin Yapılışı

DIN EN 10149-2 standardında belirtilen analize göre yapılan dökümlerin her birinden 4 adet slab sıcak haddehanede termomekanik olarak haddelenerek sıcak rulo haline getirilmiştir. Haddeleme prosesi için planlanan sıcaklık değerleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 S550MC numunelerinin alındığı malzemelerin haddeleme prosesindeki sıcaklık değerleri

	Minimum (˚C)	Hedef (°C)	Maksimum (°C)
Slab Fırın Sıcaklığı	1230	1240	1250
Slab Fırını Çıkış Sıcaklığı	1190	1210	1230
Şerit Çıkış Sıcaklığı	800	820	840
Sarılma Sıcaklığı	520	540	560

Bütün slablar fırına şarj edilmeden önce skarf işlemine tabi tutularak şerit üzerinde olası yüzey kusuru ile karşılaşılması engellenmiştir. Slablar fırından deşarj edildikten sonra kaba haddeye girmeden önce descale box'a girerek yüzeydeki tufali giderilmiştir.

Kaba haddeye 225 mm kalınlıkta giren slablara, 5 pasoda deformasyon uygulanarak ortalama 40 mm kalınlığa indirildikten sonra şerit haddeye girmiştir. Nihai olarak 10 mm kalınlığa haddelenen numuneye ait kaba hadde ve şerit hadde deformasyon oranları Çizelge 3.4'te verilmiştir. R1, R2, R3, R4, R5 kaba haddede uygulanan deformasyon pasolarını; F1, F2, F3, F4, F5, F6 ise şerit haddede uygulanan deformasyon pasolarını ifade etmektedir.

Çizelge 3.4 225 mm kalınlıktan 10 mm kalınlığa haddelenen numune için kaba hadde ve şerit haddede uygulanan deformasyon oranları

Haddeleme Pasosu	Deformasyon Oranları (%)
R1	21%
R2	27%
R3	31%
R4	32%
R5	34%
F1	25%
F2	22%
F3	20%
F4	15%
F5	13%
F6	10%

Slabların şerit haddeye giriş sıcaklıkları 920°C olarak hesaplanmıştır. Böylelikle ikinci haddeleme (şerit hadde) işleminin yeniden kristalleşmenin olmadığı sıcaklıkta gerçekleşmesi hedeflenmiştir.

Slabın, ikmal ve sarılma sıcaklıkları hat üzerinde bulunan sabit pirometreler ile ölçülürken, şerit hadde giriş sıcaklıkları el pirometresi ile manuel olarak takip edilmiştir.

Haddeleme prosesinin ilk aşamalarında, özellikle kaba haddede uygulanan ilk 3 deformasyon pasosunda, malzeme daha yüksek sıcaklıklarda olduğu için yüzeyinde tufal kusurunun oluşma ihtimali çok yüksektir. Bu nedenle kaba haddede, ilk pasolarda malzeme yüzeyinde oluşan tufalin giderilmesi için descalerlar açılmıştır.

Şerit haddede ezildikten sonra duşlu masaya gidecek olan malzeme yüzeyinde bu aşamada oluşabilecek daha yüzeysel olan tufal kusurunun giderilmesi için, şerit hadde çıkışında da descalerlar açılmıştır.

Haddelenen malzemeler, nihai ürün olarak kullanılabilecek özelliklerde üretilmiş olup herhangi bir yüzey kusuruna rastlanmamıştır.

3.4. Deneme Üretimlerinin Sarılma ve İkmal Sıcaklık Değerleri

Haddelenen rulolar, döküm ve rulo sırasına göre isimlendirilmiştir. Slabların haddeleme prosesi sırasında fırın deşarj sıcaklıkları, kaba hadde ortalama çıkış sıcaklığı, şerit hadde ortalama çıkış sıcaklığı, şerit hadde deformasyon oranları ve ortalama sarılma sıcaklığı değerleri takip edilmiştir. Haddelenen malzemenin bobin sarıcıya sarılabilmesi ve rulo halindeki malzemenin açılmaması için şerit baş kısmından 3 m, son kısmından ise 2 m'lik kısımları sıcak sarılmıştır.

Deneyler için yapılan dökümlerin slabları haddelenirken ikmal ve sarılma sıcaklıkları takip edilmiştir. İkmal ve sarılma sıcaklıkları hat üzerindeki sabit pirometreler ile ölçülerek bobin boyunca sıcaklık grafikleri çıkartılmıştır.

Dört döküme ait slablara %70, %75, %85, %90 ve %92,5 oranlarında deformasyon uygulanmıştır. Üretilen her bobine ait sarılma ve ikmal sıcaklık grafikleri Ek-A'da yer almaktadır.

Çalışmada kullanılan numunelere ait numaralandırma ve açıklamalar Çizelge 3.5'te, kullanılan malzemelere ait üretim şartları Çizelge 3.6'da yer almaktadır.

Çizelge 3.5 Numune numaraları ve açıklamaları

Numune No	**Açıklama**
D1B1	1. dökümün 1. bobini
D1B2	1. dökümün 2. bobini
D1B3	1. dökümün 3. bobini
D1B4	1. dökümün 4. bobini
D2B1	2. dökümün 1. bobini
D2B2	2. dökümün 2. bobini
D2B3	2. dökümün 3. bobini
D2B4	2. dökümün 4. bobini
D3B1	3. dökümün 1. bobini
D3B2	3. dökümün 2. bobini
D3B3	3. dökümün 3. bobini
D3B4	3. dökümün 4. bobini
D4B1	4. dökümün 1. bobini
D4B2	4. dökümün 2. bobini
D4B3	4. dökümün 3. bobini
D4B4	4. dökümün 4. bobini

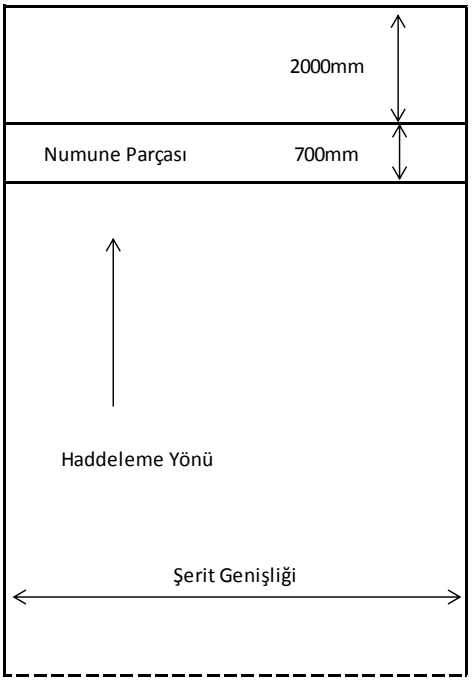
Çizelge 3.6 S550MC numunelerine ait haddeleme şartları

Numune No	Fırın Deşarj Sıcaklığı (°C)	Kaba Hadde Ortalama Çıkış Sıcaklığı (°C)	Şerit Hadde Ortalama Çıkış Sıcaklığı (°C)	Şerit Hadde Deformasyon Oranları (%)	Ortalama Sarılma Sıcaklığı (°C)
D1B1	1207	1052	819	70	527
D1B2	1197	1042	820	75	547
D1B3	1197	1078	825	90	550
D1B4	1200	1081	821	92,5	543
D2B1	1198	1042	831	70	532
D2B2	1190	1041	823	75	529
D2B3	1174	1072	829	90	552
D2B4	1177	1048	818	92,5	555
D3B1	1209	1031	822	70	540
D3B2	1207	1037	827	75	542
D3B3	1209	1036	827	85	538
D3B4	1207	1030	836	90	556
D4B1	1191	1037	821	70	524
D4B2	1197	1036	821	75	522
D4B3	1191	1021	827	85	556
D4B4	1191	1029	827	90	545

3.5. Deney Numunelerinin Alınması ve Hazırlanması

Yapılacak testler için, üretim sırasında malzemenin sarılabilmesi için yüksek sıcaklıkta geçen kısımlara dikkat edilmiş ve bu bölgeler ayıklanarak bobini temsil eden sıcaklıklarda numuneler alınmıştır. Numunelerin alınabilmesi için ruloların soğuması beklenmiştir. Bobinlerin numune alınabilecek sıcaklıklara gelmesi ortalama olarak 3 gün sürmektedir.

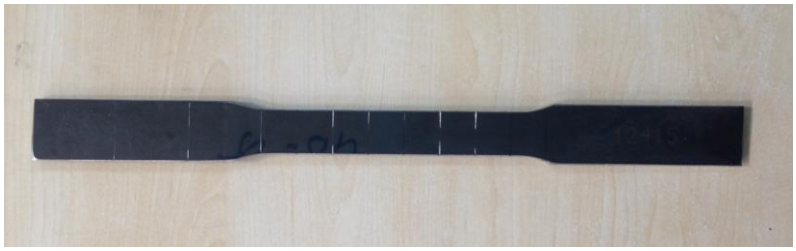
Rulolar soğuduktan sonra uygun bölgeden alınan numunelere İSDEMİR A.Ş. Mekanik Fizik Test Laboratuvarı'nda çekme testi yapılmış ve numunelerin akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. 10 Deneme üretimlerinden numune alım şeması

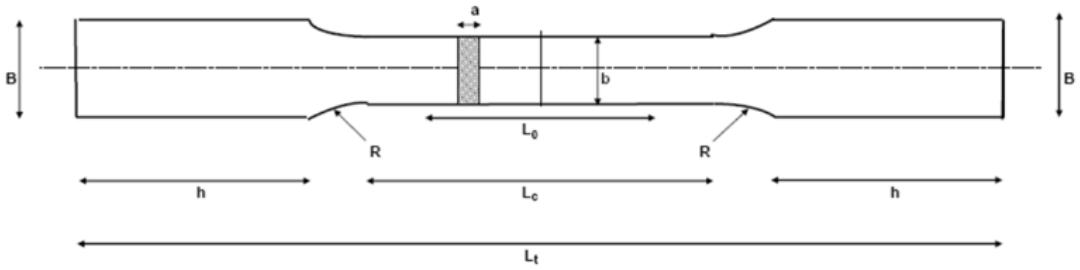
Metalik malzemelerin çekme testi TS EN ISO 6892-1 standardına göre yapılmış ve numuneler, uzunluğu 100 mm, genişliği 25 mm olacak şekilde hazırlanmıştır.

Şekil 3.10'da numune alım şeması ve Şekil 3.11'de hazırlanmış çekme test numunesinin resmi yer almaktadır.



Şekil 3. 11 Çekme test numunesi

DIN EN 10149 standardına göre üretilen malzemelerin çekme test numuneleri Şekil 3.12'deki teknik resme göre hazırlanmıştır. Bu resimde yer alan değerler Çizelge 3.7'de yer almaktadır.



Şekil 3. 12 Çekme test numunesine ait teknik resim [48]

Çizelge 3.7 Çekme test numunesine ait uzunluk değerleri [48]

Malzeme Standardı	Kalınlık (mm) a	Genişlik (mm) b	Marka Boyu (mm) L_0	Paralel Uzunluk (mm) L_c	Oyuğun Yarıçapı (mm) R	Kavrama Genişliği (mm) B	Kavrma Uzunluğu (mm) h	Toplam Uzunluk (mm) L_t
DIN EN 10149	>=3	25 ± 1	100 ± 1	>=150	>=12	>=32<=35	>=90	>=330

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde her dökümden haddelenen 4 adet bobinden alınan numunelerin mukavemet değerleri ve mikroyapıları incelenmiştir.

4.1. Çekme Deneyi Sonuçları

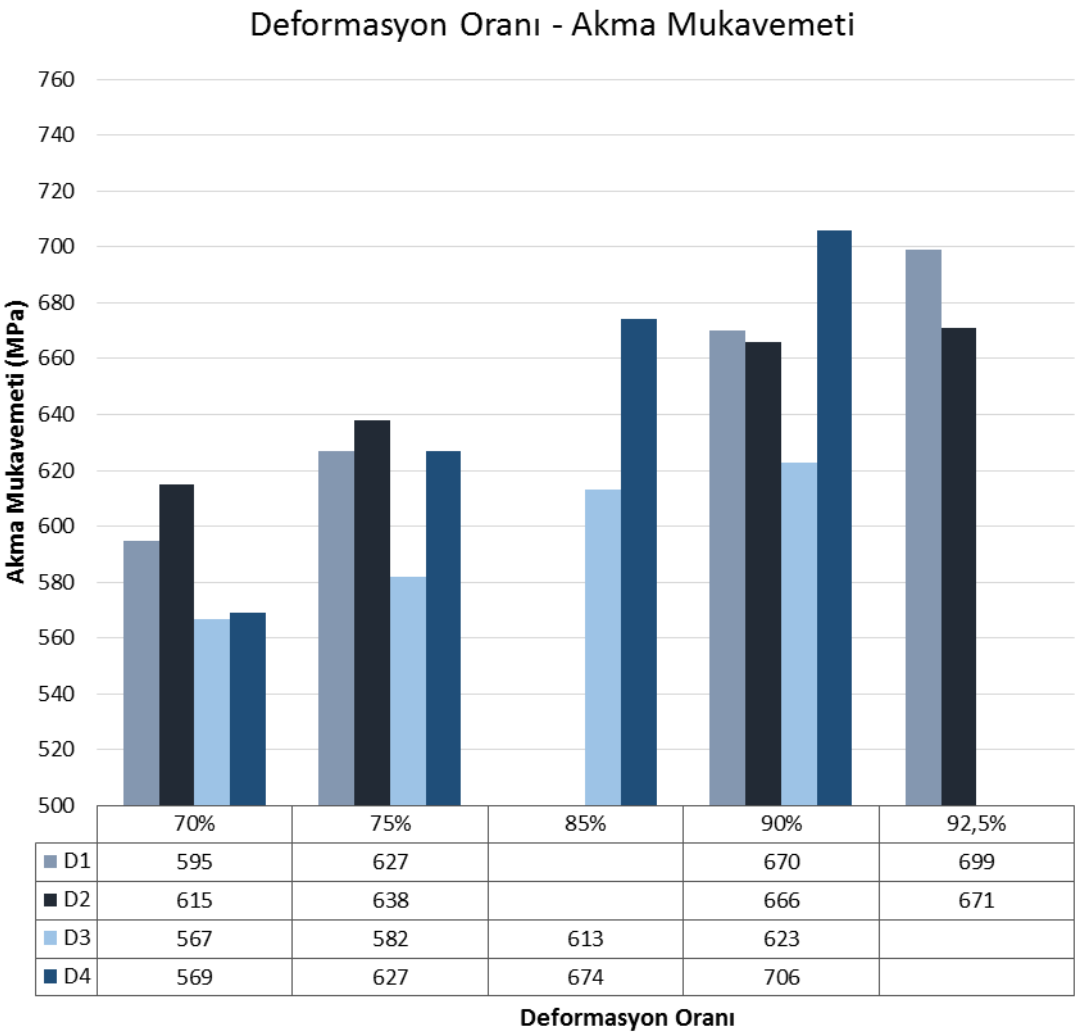
Test sonucu elde edilen mukavemet ve uzama değerleri Çizelge 4.1'te verilmiştir. Elde edilen mekanik test değerleri incelendiğinde, üretilen malzemelerin standartlarda belirtilen S550MC değerlerini karşıladığı görülmüştür.

Çizelge 4.1 S550MC deneme üretimlerine ait mekanik test değerleri

Bobin No	Deformasyon Oranları (%)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama Değeri
D1B1	70	595	698	22,0
D1B2	75	627	697	20,0
D1B3	90	670	708	18,0
D1B4	92,5	699	738	17,0
D2B1	70	615	753	18,0
D2B2	75	638	756	17,0
D2B3	90	666	767	15,0
D2B4	92,5	671	775	14,0
D3B1	70	567	654	26,0
D3B2	75	582	666	25,0
D3B3	85	613	701	22,0
D3B4	90	623	672	21,0
D4B1	70	669	676	20,0
D4B2	75	627	699	19,0
D4B3	85	674	737	18,0
D4B4	90	706	744	18,0

4.2. Deformasyon Oranlarına Bağlı Akma Mukavemeti Değişiminin İncelenmesi

Test sonuçları incelendiğinde mukavemet değeri ile deformasyon oranları arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu ilişki Şekil 4.1'de görülmektedir.



	70%	75%	85%	90%	92,5%
D1	595	627		670	699
D2	615	638		666	671
D3	567	582	613	623	
D4	569	627	674	706	

Şekil 4. 1 S550MC deneme üretimlerinde deformasyon oranına bağlı olarak akma mukavemetindeki değişim

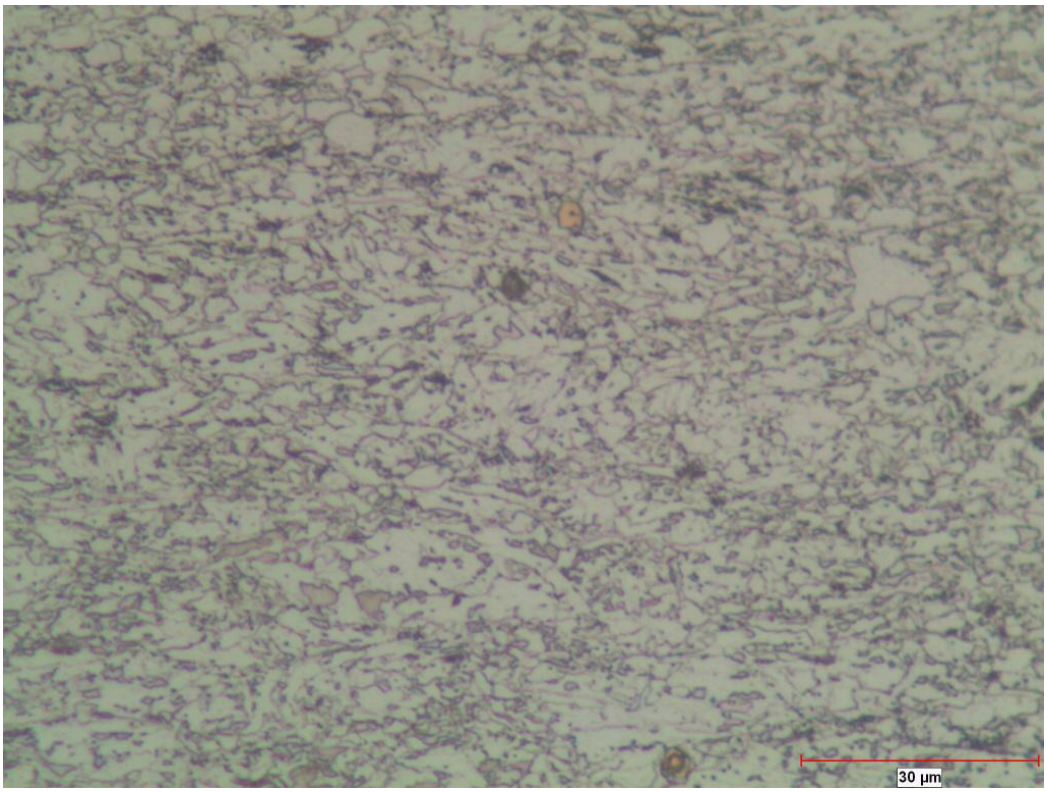
4.3. Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

Üretilen malzemelerden alınan numuneler, İSDEMİR A.Ş. Metalografi Laboratuvarı'nda, SiC abrasif kesme cihazında soğuk olarak kesilmiştir. Sıcak kalıplama işlemi 180°C sıcaklıkta fenolik bakalit ile yapılmıştır.

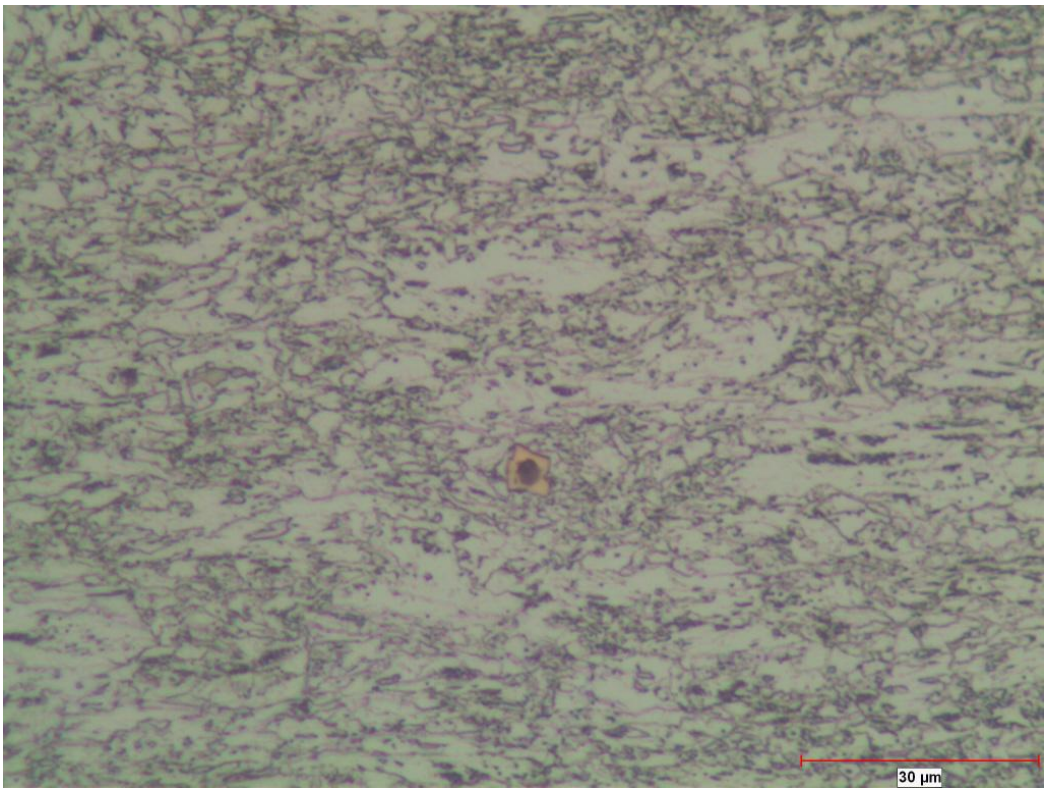
Zımparalama işlemi sırasıyla 180, 320, 600, 1200, 2000 ve 2500 meshlik zımparalar ile yapılmıştır. 2500'lük zımpara kullanımı ile bir sonraki aşamada gerçekleşecek olan parlatma işleminin süresinin kısaltılması sağlanmıştır.

Parlatma işlemi iki kademede gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada 3 mikronluk çuha ile polikristalin elmas süspansiyon kullanılarak, ikinci kademe ise 1 mikronluk çuha kullanılarak polikristalin elmas süspansiyon ile yapılmıştır. En son aşamada dağlama işlemi %3'lük nital ile yaklaşık 15 saniye beklenerek yapılmıştır.

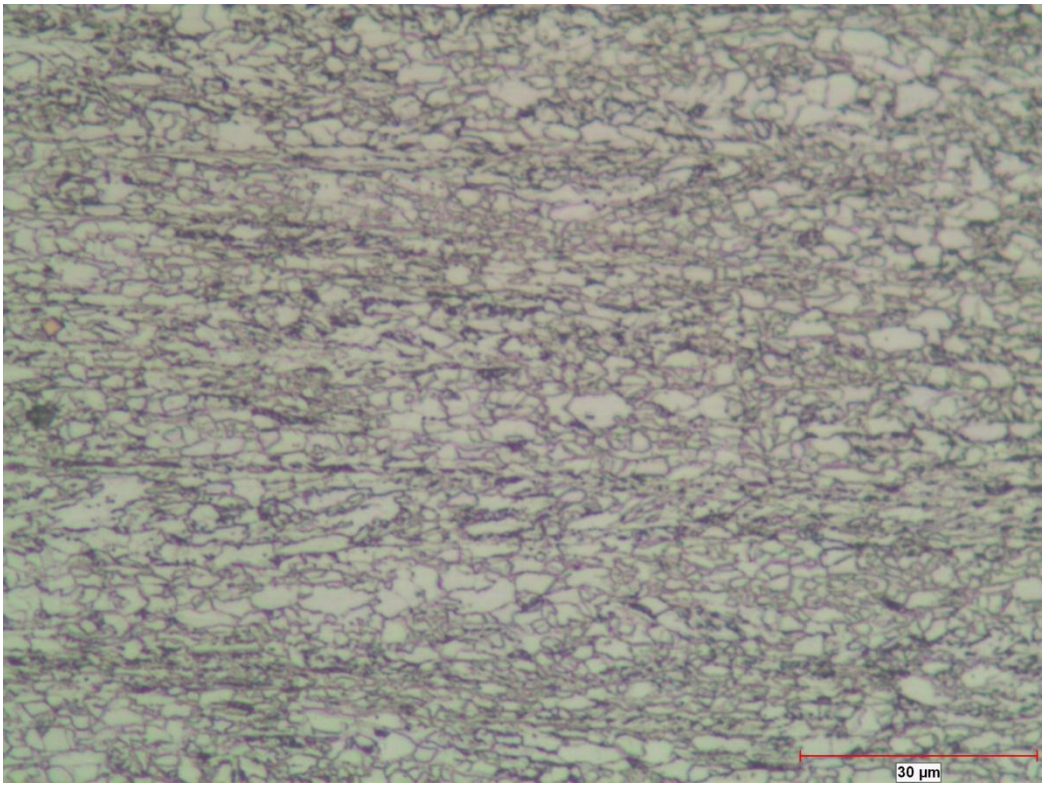
Hazırlanan numuneler, optik mikroskopta 500 büyütmelerde incelenmiştir.



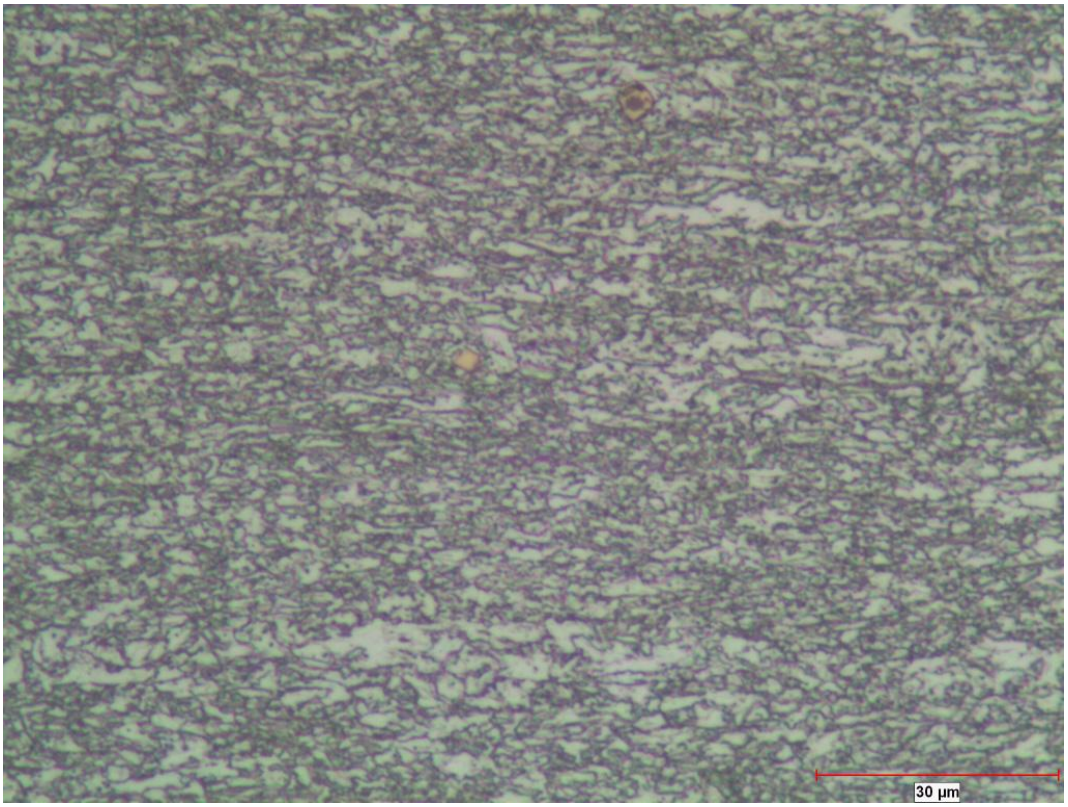
Şekil 4. 2 %70 oranında deformasyon uygulanan malzemeye ait 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü



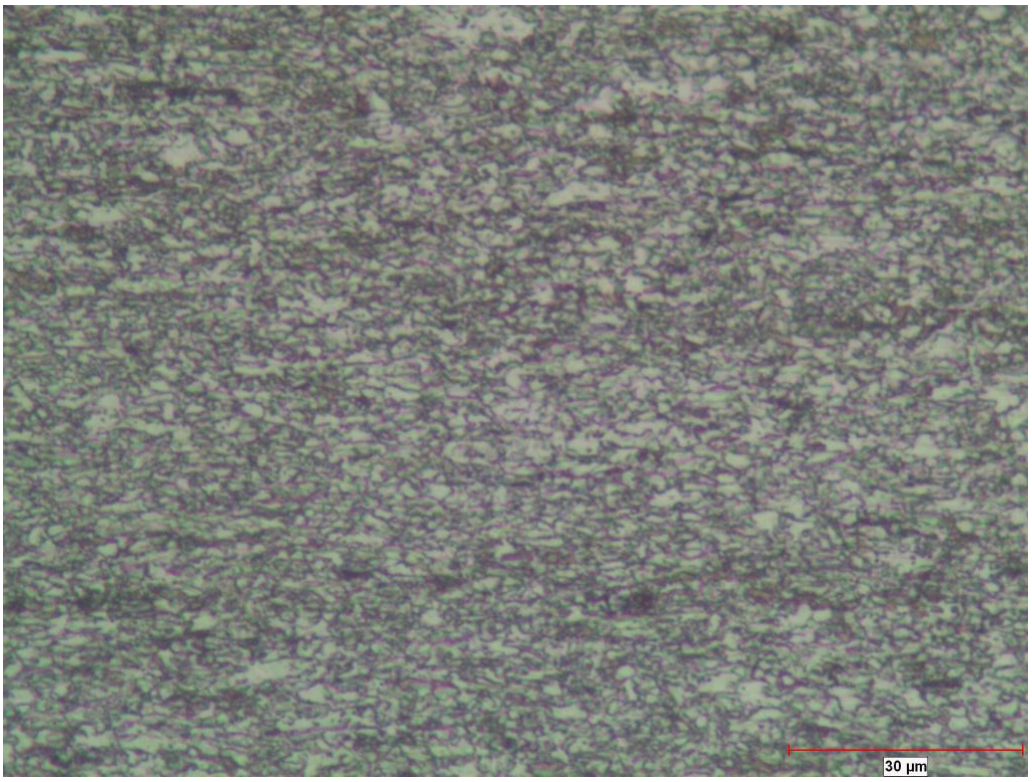
Şekil 4. 3 %75 oranında deformasyon uygulanan malzemeye ait 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü



Şekil 4. 4 %85 oranında deformasyon uygulanan malzemeye ait 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü



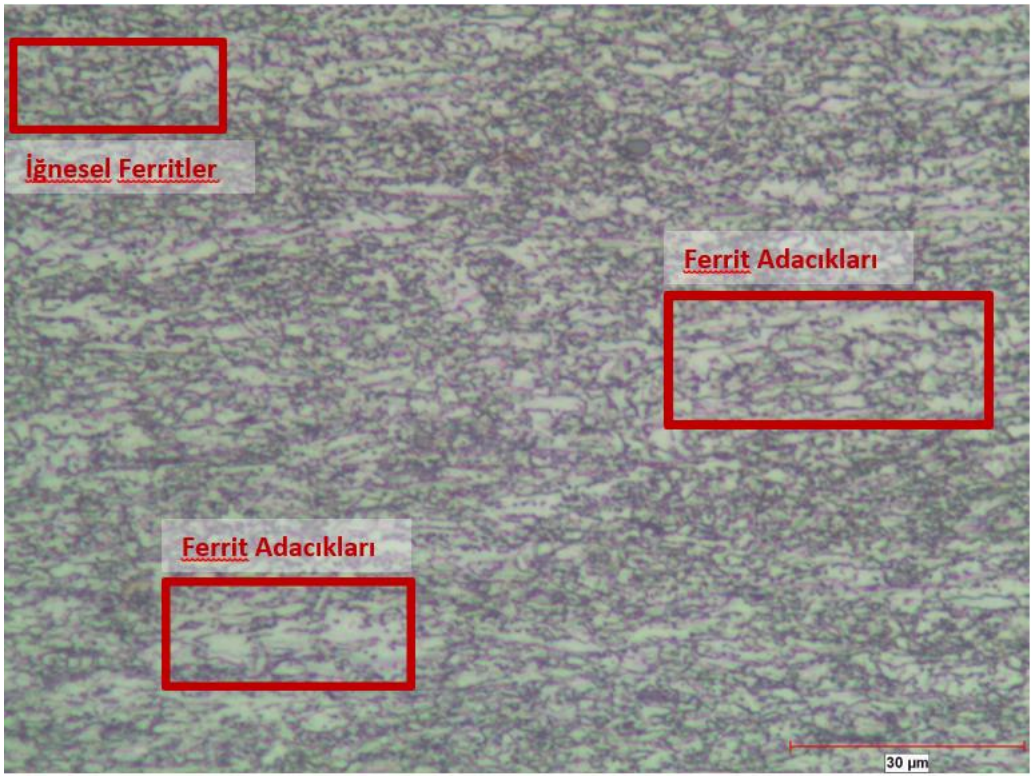
Şekil 4. 5 %90 oranında deformasyon uygulanan malzemeye ait 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü



Şekil 4. 6 %92,5 oranında deformasyon uygulanan malzemeye ait 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü

Soğuk şekillendirilebilir yüksek akma mukavemetli sıcak haddelenmiş çeliklerin mikroyapı özelliklerinde aranan tane boyutlarının homojen ve küçük olmasıdır [26]. Tane boyutunun malzeme mukavemeti üzerindeki etkisinin nedeni, tane sınırlarının oluşturduğu dislokasyonlardır. Tane boyutları küçük olduğu zaman tane içerisindeki dislokasyon yoğunluğu daha düşük olduğu için malzemenin şekillendirilebilirlik özelliği artmaktadır.

Elde edilen mikroyapı resimlerinde iğnesel ferrit ve ferrit taneciklerine rastlanmaktadır. %90 oranında deformasyon uygulanan malzemeden alınan numunenin 500 büyütmedeki mikroyapı görüntüsünde yer alan fazlar Şekil 4.7'de belirtilmiştir.



Şekil 4. 7 %90 oranında deformasyon yapılan numunenin 500 büyütmedeki mikroyapısında görülen fazlar

Mikroyapılarda görülen iğnesel ferrit malzeme yapısında mukavemet yükseltici özelliğinden dolayı istenmektedir. Bu nedenle yapıda karşılaşılan iğnesel yapıdaki ferrit, üretilen malzemede istenilen mukavemet değerlerinin elde edilmesinde önemli rol oynamaktadır [41].

Ferrit adacıkları, yeniden kristalleşme sıcaklığının, yani TNR sıcaklığının altındaki haddeleme sıcaklıklarında karşılaşılan bir yapıdır. Bu nedenle yapıda görülen ferrit

adacıkları malzemenin üretim sırasında hedeflendiği gibi TNR sıcaklığı altında haddelendiğini göstermektedir.

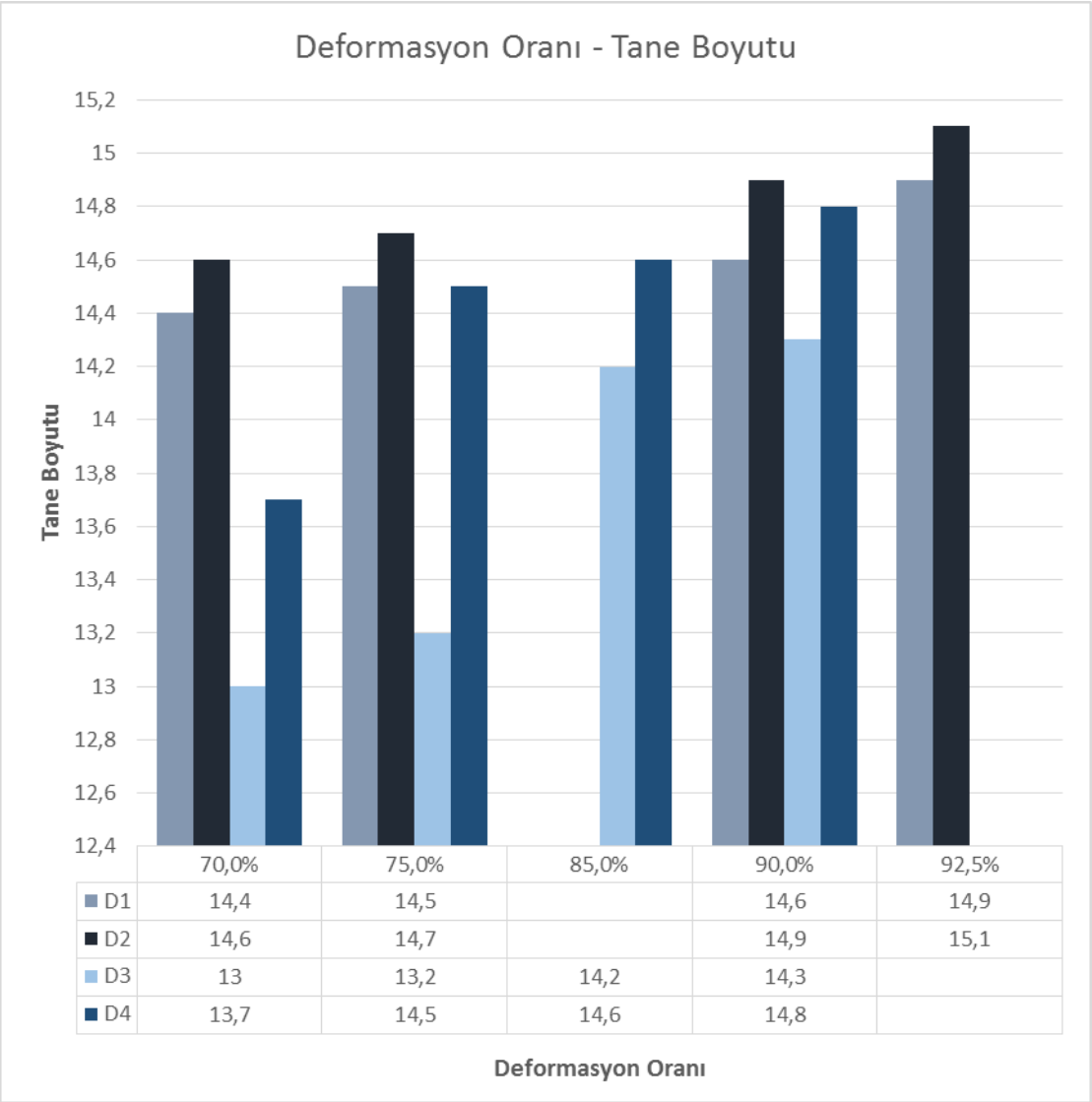
Malzeme yapısında özellikle merkez bölgede yoğunlaşan segregasyon çizgileri görülmektedir. İncelemeler sırasında karşımıza çıkan segregasyon ve çökeltilerin merkez bölgede yoğunlaşmasının, malzemenin merkezinin son katılaşan bölge olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İncelenen mikroyapılarda aynı zamanda optik mikroskopta Clemex yazılımı kullanılarak tane boyutu ölçümleri de yapılmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 4.2'de yer almaktadır.

Çizelge 4.2 Deney numunelerine ait tane boyutu değerleri

Bobin No	Deformasyon Oranı (%)	Tane boyutu (µm)
D1B1	70	14,4
D1B2	75	14,5
D1B3	90	14,6
D1B4	92,5	14,9
D2B1	70	14,6
D2B2	75	14,7
D2B3	90	14,9
D2B4	92,5	15,1
D3B1	70	13,0
D3B2	75	13,2
D3B3	85	14,2
D3B4	90	14,3
D4B1	70	13,7
D4B2	75	14,5
D4B3	85	14,6
D4B4	90	14,8

Buna göre elde edilen sonuçlar doğrultusunda deformasyon oranlarının artması ile tane boyutu değerinin arttığı, yani taneciklerin küçüldüğü görülmektedir. Deformasyon oranı ve akma mukavemeti arasındaki ilişki Şekil 4.9'da yer almaktadır.



	70,0%	75,0%	85,0%	90,0%	92,5%
D1	14,4	14,5		14,6	14,9
D2	14,6	14,7		14,9	15,1
D3	13	13,2	14,2	14,3	
D4	13,7	14,5	14,6	14,8	

Şekil 4. 8 Deformasyon oranı – tane boyutu arasındaki ilişki

4.4. Minitab Programında Yapılan Çalışmalar

Minitab programı; kalite iyileştirme çalışmalarında kullanılan istatistiksel araçların hızlı ve etkin kullanılmasını sağlayan bir yazılımdır. İşletme verilerinin analizinde dolayısıyla işletmenin sunduğu ürün ve hizmet kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılan en önemli yazılım haline gelmiştir. İyileştirme çalışmalarında kullanılabilecek istatistiksel metotların tümü aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

- Kapsamlı temel istatistikler: istatistikler, normalite testleri, hipotez testleri, güç ve numune sayısı gibi istatistiksel araçları içermektedir.

- İstatistiksel proses kontrol (İpk): pareto şemaları, nitel, nicel ve çoklu kontrol grafikleri ve karmaşık verileri analiz etmede ve süreçle alakalı sorunların tanımlanmasına yardımcı olmaktadır.
- Ölçüm sistemleri analizi (Msa): ölçüm sisteminin doğruluğunu göstermektedir.
- Deney tasarımı (Doe): süreç girdilerinin etkisini sayısallaştırıp matematik model oluşturmayı sağlamaktadır.
- Güvenilirlik analizleri: üretim verilerini kullanarak ürünlerin ve süreçlerin güvenilirliğinin sayısallaştırılmasını sağlamaktadır.
- Yeterlilik analizleri (Cp, Cpk, Cm, Cmk): süreçlerin ve makinaların, üründen istenen özelliklerin karşılanmasında ne kadar yeterli olduğunu göstermektedir [48].

Deneyde hazırlanan numunelerin sonuçları ile korelasyon ve regresyon çalışmaları yapılarak ürün güvenirlikleri, ipk analizi yapılarak üretimdeki proses yeterliliği incelenmiştir.

4.4.1. Korelasyon ve Regresyon Çalışmaları

Korelasyon herhangi iki değişken arasında ne kadar bir doğrusal ilişki olduğunu ifade etmektedir. Regresyon ise bu ilişkiyi daha doğru bir biçimde değişkenliğin açıklanabilmesi şeklinde ortaya koymaktadır. Diğer bir deyişle regresyon, verdiği denklem ile bir veya birden fazla değişkenin çıktıyı ne kadar açıkladığını söylemektedir [49].

Regresyonun kullanım yerleri aşağıdaki gibi sıralanmakdır:

- Analiz (değişken kaynaklarının belirlenmesi) ve iyileştirme (girdi değişkenleri için optimum noktanın bulunması) istendiğinde,
- İki değişkenin ilişkilendirilmesinin istendiği durumlarda,
- Çıktı ve girdi değerleri sürekli verilerse,
- Girdinin bütün değerleri için çıktının ortalama değerinin aynı olduğu durumlarda kullanılabilmektedir [49].

İncelemeler yapılırken ve çıkan değerler yorumlanırken belli kurallara dikkat edilmesi gerekmektedir. Buna göre p değeri, 0,05'ten küçük ise istenilen ilişkinin incelenebileceğini göstermektedir.

Akma mukavemeti ve deformasyon oranları arasındaki ilişki incelendiğinde;

Pearson korelasyon değeri = 0,874

p – değeri = 0,000

Olarak çıkmıştır.

Bu durum yapılacak olan incelemenin bir sonuç çıkartacağını, yani incelenecek olan durumun birbiri ile ilgili bir ilişkisinin olduğunu göstermektedir. Korelasyon değerinin pozitif çıkmış olması ise değerler arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Buna göre akma mukavemeti ve deformasyon oranları arasındaki polinominal regresyon analizine göre regresyon eşitliği;

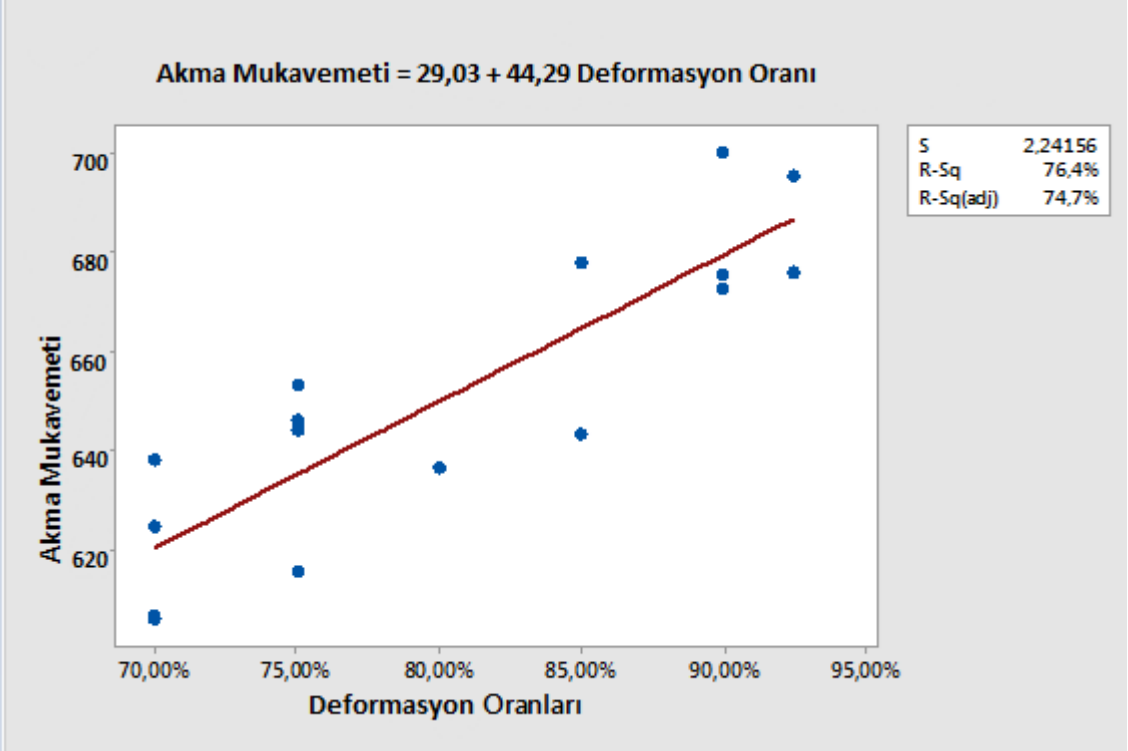
Akma Mukavemeti = 29,03 + 44,29 Deformasyon Oranı

S = 2,24156 R-Sq = 76,4% R-Sq(adj) = 74,7%

Olarak bulunmuştur.

Burada; S, standart sapma değerini göstermektedir. İnceleme sırasında bulunan değerleri belli kurallara göre yorumlama yapılması gerekmektedir. Buna göre; R-Sq değerinin 80'den büyük olması incelenen değerler arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu, R-Sq(adj) değerinin 80'den büyük olması ise ilişkinin stabil olduğunu, yani her koşulda geçerli olduğunu göstermektedir. Ancak incelemenin doğruluğunu gösteren en önemli koşullardan biri R-Sq ve R-Sq(adj) değerlerinin birbirine yakın olmasıdır. Analiz sonucuna göre elde edilen R-Sq ve R-Sq(adj) değerleri 80'in hemen altında ancak birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır.

Akma mukavemeti ile deformasyon oranları arasında ilişkiyi gösteren denklem Şekil 4.10'da yer almaktadır. İki değer arasındaki ilişki için birinci, ikinci ve üçüncü dereceden denklem hesaplamaları yapılabilir ancak yapılan çalışmalar göstermiştir ki, bu iki değer arasında birinci dereceden hesaplanan denklem gerçeğe en yakın olan denklemi vermektedir.



Şekil 4. 9 Akma mukavemeti ve deformasyon oranları arasındaki ilişkiyi gösteren grafik

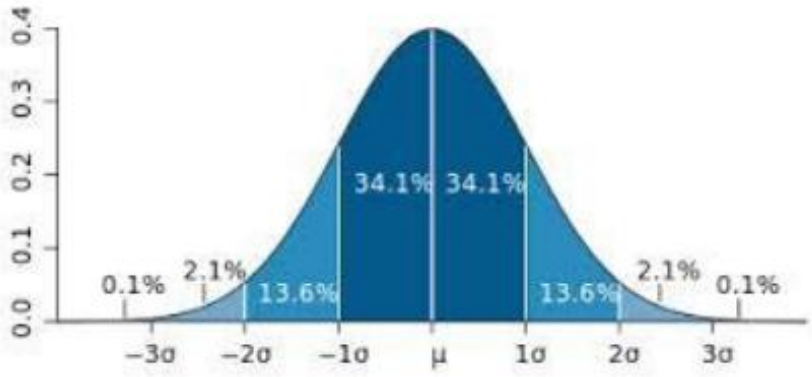
Korelasyon ve regresyon çalışması ile birlikte;

- Sonucu etkileyecek olan parametrenin ne kadar etkili olduğunun belirlemesi,
- p-değeri ve R-Sq değeri ile sebep sonuç ilişkinin bağlantısının incelenmesi,
- İncelenen girdinin sonucu ne kadar etkilediğinin ya da ne kadar girdi ile ilişkili olduğunun incelemesi için yapılabilmektedir.

Ancak yapılan korelasyon ve regresyon çalışmalarında üretim sırasında elde edilen veriler kullanılarak, verilerin birbirlerine etki edip etmedikleri gösterilmektedir, elde edilen sonuçların nedenlerini göstermemektedir [49].

4.4.2. İstatistiksel Proses Kontrol (İpk) Analizi Çalışmaları

İpk çalışmalarının temelinde normal dağılım yer almaktadır. Gauss dağılımı ya da Gauss eğrisi olarak bilinen normal dağılım eğrisi sürekli ve olasılıklı bir fonksiyon eğrisidir. Standart sapma aralıklarına göre eğrinin altında kalan alanlar hesaplanmaktadır.



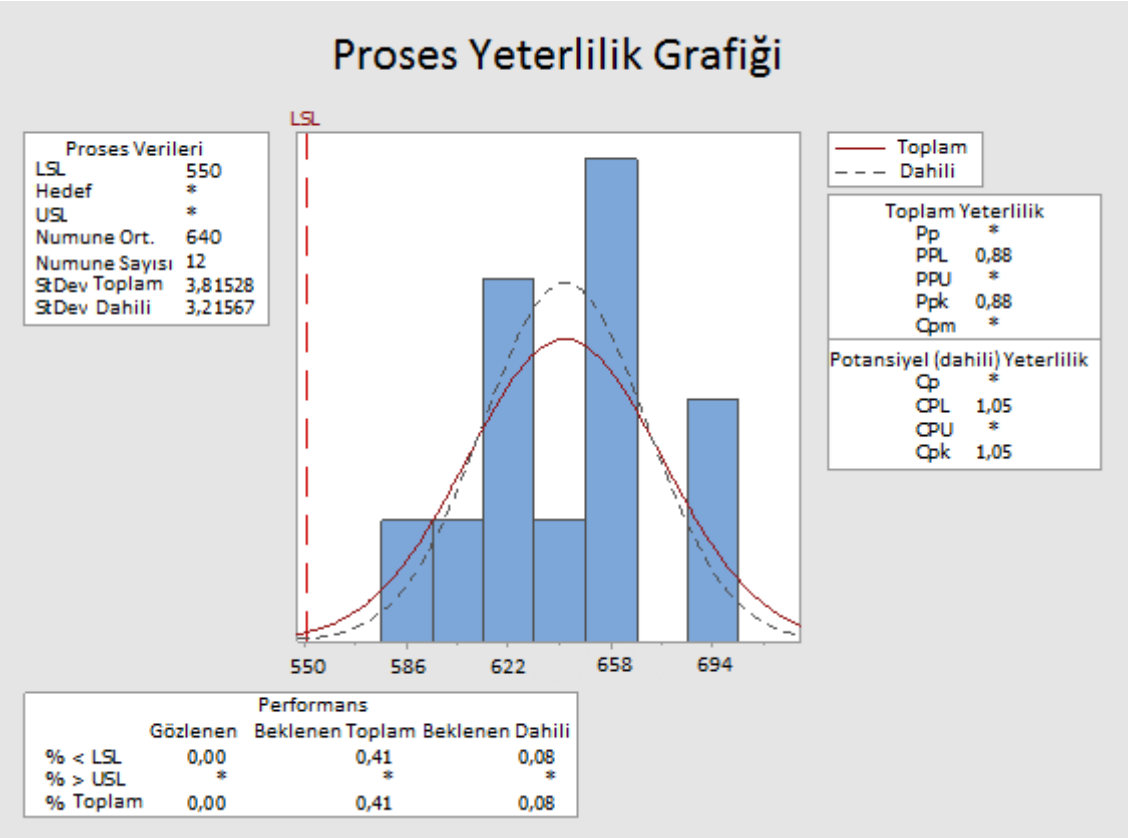
Şekil 4. 10 Normal eğrisi ve altında kalan standart sapma aralıkları [50]

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi ortalamanın 1 standart sapma sağında ve solunda kalan alanlar eğri altındaki toplam alanın %34,1'ini, -1 ve +1 standart sapma arasında kalan alan toplam alanın %68,2'sini oluşturmaktadır. Ortalamanın 2 standart sapma sağı ile 2 standart sapma solu arasında kalan eğri (-2 ile +2 standart sapma arasındaki alan) eğri altında kalan toplam alanın yaklaşıl %95,4'ünü oluşturmaktadır. -3 ve +3 standart sapma aralığı ise eğri altındaki toplam alanın yaklaşık %99,7'sini oluşturmaktadır [50].

İpk grafiklerinde, limit dışı bir değer ile karşılaşıldığında yukarıda bahsedilen açıklamalara dayandırılarak göz ardı edilmemelidir. İpk, prosesin değişip değişmediği hakkında sürekli test imkanı vermektedir. Gözlenen değer limit dışı ya da diğer değerlerden farklı ise prosesin kontrol dışında olduğu düşünülmelidir. Böyle bir durum oluştuğunda öncelikle prosesin kontrol altında olmadığı varsayılarak hatanın nedeni araştırılmalıdır.

İpk analizi yapılırken, üretim prosesinin stabilizasyonu, üretim ve test ekipmanlarının doğruluğu, ürün kalitesi ve uygunsuzlukların sebep ve türleri arasındaki korelasyonlar göz önüne alınmalıdır [49].

İpk grafikleri temelde ölçülebilir ve sayılabilir kontrol grafikleri olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Yapılan deneysel çalışmada elde edilen veriler gereği incelemeler ölçülebilir kontrol grafikleri başlığı altında yapılmıştır.



Şekil 4. 11 Akma mukavemeti için proses yeterlilik grafiği

Deney limitleri için akma mukavemetinin alt limit değeri 550 N/mm^2 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucu elde edilen ortalama akma mukavemeti değeri ise 640 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

Bu grafikte elde yer alan değerlerden dikkat edilmesi gereken veriler Cpk ve Ppk değerleridir. Ppk değeri deney yapılan grupların içindeki tüm verilere göre, Cpk değeri ise deney grupları arasında hesaplama yapmaktadır.

Cpk değeri talep edilen değer aralıklarının yapılan üretim limitlerine oranını göstermektedir. Bu değer 1 ise talep edilen ve elde edilen değerlerin aynı limit değerleri içerisinde olduğunu göstermektedir. Bu değer 2 ise elde edilen değerlerin kabul edilebilir limitlerin yarısı kadar bir sapma ile çalışıldığını belirtmektedir. Seri üretim ve ticari şartlarda bu değerin sağlanması oldukça zordur. Otomotiv sektöründe talep edilen değer ise 1,67 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.12'de yer alan çalışmada ortaya çıkan Cpk değeri 1,05 olduğu için talep edilen limitler içerisinde bir üretimin gerçekleştiği görülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada termomekanik haddeleme yöntemi ile soğuk şekillendirmeye uygun, yüksek akma mukavemetli sıcak haddelenmiş çelik üretimi yapılmıştır. Deneme üretimleri farklı kalınlıklarda olup bu malzemelerin deformasyon oranları ile mukavemet değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan çalışmada deney koşulları ve üretim parametreleri sabit tutularak kalınlık farkı nedeni ile hem mikroyapıdaki tane boyutu farklılıkları hem de bunun sonucundaki mukavemet değerlerindeki farklılıkları incelenmiştir.

Yapılan incelemeler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Mekanik test sonuçlarında, farklı deformasyon oranları ile üretilen malzemelerin akma mukavemeti değerlerindeki farklılıklar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, malzemedeki deformasyon oranları arttıkça akma mukavemetinin arttığı belirlenmiştir.

- Elde edilen mikro yapı görüntüleri üzerinden yapılan tane boyutu sayımı ile üretilen malzemenin gereği olan ASTM tane boyutu değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Elde edilen farklı deformasyon oranları uygulanan malzemelerin tane boyutu değerleri 13,0 ile 15,1 arasında değiştiği görülmüştür.

- Yapılan istatistiksel çalışmalar sonucunda malzemeye uygulanan deformasyon oranı değeri ile mukavemet değeri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre deformasyon oranları ve mukavemet değeri arasında doğrusal bir ilişki vardır.

- Farklı deformasyon oranlarında haddelenen malzemelerin mikro yapı incelemeleri sonucunda elde edilen fazlar ve tane boyutu değerleri istenilen özellikte haddeleme yapıldığını göstermektedir. Termomekanik haddeleme yapılan malzemelerin mikro

yapılarında görülen ferrit adacıkları, yapılan üretimin TNR sıcaklığı altında gerçekleştiğini doğrulamaktadır.

- Termomekanik haddelemenin gereği olan TNR sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan haddeleme nedeni ile üretim sırasında yapılan beklemeler seri yapılan üretimleri olumsuz etkilemektedir. Seri ve ticari üretim yapan kuruluşlarda bu üretim zaman ve maddi kayıp olarak değerlendirildiği için seri üretime uygunluk göstermemektedir.

- Yapılan istatistiksel ve proses yeterlilik çalışmaları sonucunda DIN EN 10149 standardında belirlenen değerlerin elde edildiği görülmüştür.

Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki önerilerin değerlendirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir:

- İstenilen mukavemet değerlerinin elde edilebilmesi için kullanılan mevcut olan iki durumdan biri olan termomekanik haddeleme yöntemi ile TNR sıcaklığı altında haddeleme yapılabilmesi için bekleme sürelerinin azaltılmasında etkili olan yöntem ekstra alaşım elementi ilave etmektir. Bu da üretimlerde maliyet artışına neden olur. Ancak bekleme süresi ve maliyet nedenleri ile meydana gelen kayıplar için gerekli fizibilite çalışmalarının yapılmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

- Yapılan prosess yeterlilik analizlerinde elde edilen Cpk değerinin daha kararlı hale getirilebilmesi ve müşteri memnuniyetlerini karşılaması adına 1,05 değerinden daha yüksek değerlere çekilebilmesi için iyileştirme çalışmaları yapılmasının gerekliliği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Yeşil, H., (2003). "Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerde Haddeleme Yön ve Miktarının İşlenebilirlik Üzerine Etkileri", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[2] http://haddemetal.com/tr/Download/Fe-C%20Denge%20Diyagrami.ppt, 24.12.2014

[3] Kundakçı.O, K., (2010). "Termomekanik Haddeleme Yöntemi ile Levha Üretimi ve Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

[4] Perosanz, J. A., (2000). "Steels: Physical Metallurgy, Selection and Design", MI. Madrid: CIE- Dossat.

[5] Gonzalez, R., (2010). Journal Of Iron And Steel Research, Internatıonal, 17(10): 50-56.

[6] Eager, T. W., (1998). "The Quiet Revolution in Materials Manufacturing and Production", Journal of Metals, 50(4): 19.

[7] Ironmaking and Steelmaking Magazine, (2004). "Advances in the Hot Rolling of Steels", 31(1): 8.

[8] Jiang, M., Yang, X., Pan, S., Krakauer, B. W. ve Zhu, M., (2012). "Correlation Between Microstructures and Yield Strength of a High Strength Enameling Steel", Journal of Material Science Technology; 28(8): 737-744.

[9] Otani, K., (1992). "Recent Trend of Technology for Steel Plates Used in Building Construction" Nippon Steel Technical Report No.54, Tokyo, Japan.

[10] Brockenbrough, R.L., (1995). "Effect of Yield – Tensile Ratio on structural Behaviour – High Performance Steels for Bridge Construction" Draft Final Report, ONR – AISI No. N00014-94-2-0002, Naval Surface.

[11] Yüksel, M., (2002). Avrupa Çelikleri, 1. Demir Çelik Sempozyumu ve Sergisi, 3-5.

[12] Kerti, Ç.I., Karagöz, Ş., (1995). "Mikroalaşımlı Çelikler ve Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması", Metal Dünyası, 21: 38-45.

[13] Özdabak, A., (2004). "Demir Çelik ve Enerji", Erdemir Bilim / Teknoloji Serisi; 72-87.

[14] Erdemir, (2014). Ürün Kataloğu.

[15] Deveciler, Y., (2001). “İsdemir Çelikhanesinde Pota Metalurji Uygulamaları”, İSDEMİR İşletme Dokümanları.

[16] Koç, M., (2002). “Çelik Üretim Prosesi”, ERDEMİR

[17] İsdemir, (2007). “Sürekli Slab Döküm Makinesi Çıkışı ve Skarf Sahası Slab Yüzey Kontrolü Talimatı”.

[18] Pamuk, U., Kundakçı, K. ve Özkan, A., (2008). “Plate Mill Presentation for Plate Steel Laiwu China” Karadeniz Ereğli.

[19] Stein Heurtey, (2008). Walking Beam Type Slab Reheating Furnace Technical Specifications, Chapter II.

[20] Acarer, M., Demir, B. ve Çıtak, R., (2010). “Hadde Sıcaklığının Tane Boyutuna Etkisi”, İSDEMİR İşletme Dokümanları.

[21] Kayalı, S., (1995). “Kontrollü Haddeleme ve Termomekanik İşlemler”, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 695-704.

[22] İnceoğlu, T., (1989). “Haddeleme Tekniğinin Esasları – I ” Türkite Demir ve Çelik İşletmeleri Eğitim Yayınları, 21-27.

[23] Demir Haddeleme Prosesinde Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı, Avrupa Birliği Demir Çelik Üreticileri Derneği, (2007). http://www.csb.gov.tr/db/ippc/icerikbelge/icerikbelge1119.pdf, 25.03.2014

[24] Aydın, Ş., (2010). İsdemir Sıcak Haddehanesi Tanıtımı.

[25] Barsom, j. M., (1995). “High Performance Steels and Their Use in Structures”, Proceeding of the International Symposium on High Performance Steels for Structural Applications, 30 October – 1 November 1995, Cleveland, Ohio. USX Corporation, U.S. Steel Group, Pittsburgh, Pennsylvania.

[26] Steel’s Supply Condition, Isue 12, Xler Plate Steelintouch, http://www.bluescopesteel.com.au/files/dmfile/QLDSteelinTouchAutumn2008Ed12.pdf, 30.05.2014.

[27] Sezer, A., (2008). “Levha Haddehanesinde API Kalite Levhaların Üretim Deneme Sonuçları Raporu”, Kalite Metalurji ve Ar- Ge Müdürlüğü, Erdemir.

[28) Patel, J., Klinkenberg, C. ve Hulka, K., “Hot Rolled HSLA Strip Steels For Automotive and Construction Applications”. http://wenku.baidu.com/view/ba9b1423192e45361066f5bb, 12.01.2014

[29] http://www.abdullahdemir.net/wp-content/uploads/2013/03/Kristal-Yap%C%B%201-Hatalar%C4%B1.pdf , 07.03.2013

[30] ASTM E112-12, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, 2012.

[31] Ballas, R. ve Ginzburg, V. R., (2000). Flat Rolling Fundamentals, 7-9.

[32] Hulka, K., (1994). “Fundamentals of the Controlled Rolling Process.” Niobium Products Company GmbH, Niobium Information No – 7/94, Düsseldorf, Germany.

[33] Gorni, A. A., Paula Silva, C. N., Viana de Freitas, F., Dolabela de Silveria, J. H., Pereira, M. M. ve Pardo Alves, R., (2006). Product and Hot Rolling Process Development of NV40 Steel Plates, Companhia Siderurgica Paulista – Cosipa, Brasil.

[34] Thillou, V., (1998). "Precipitation of NbC and Effect of Mn on the Strength Properties of Hot Strip HSLA Low Carbon Steel." Microalloying in Steels, Trans Tech Publications.

[35] Gary, J. M. ve DeArdo, A. J., (1985). "Austenite Conditioning Alternatives for Microalloyed Steel Products." Proceedings of an International Conference on HSLA Steels'85, November 1985, Beijing, China, 83-96.

[36] Adamczyk, J., (2005). "Development of the Microalloyed Constructional Steel." Journal of the Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 14(1-2): 13-19.

[37] Patel, J. K., Evans, P. J. ve Wilshire, B., (2000). "Optimisation of Hot Strip Mill Processing Conditions for Niobium HSLA Steels." Conference Preprints of thermomechanical processing of steels, the Institute of Materials, London, UK.

[38] Mahmutoğlu, M. Z., (2003). "Niyobyum ve Vanadyumlu Bir Boru Hattı Çeliğinde Mikroyapı Mekanik Özellik Karekterizasyonu", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[39] Gorni, A. A., Reis, J. S. S. ve Dolabela da Silveira, j. H., (1998). "Recent Developments on Controlled Rolling Technology" Companhia Siderurgica Paulista – Cosipa, Advanced Steel, 178-180, Brasil.

[40] Taş, Z., (2006). "Çeliklerde Termomekanik İşlem Uygulamaları" Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1-2): 171-178.

[41] Elkoca, O., (2007). "Kontrollü Haddeleme, Normalize Eşdeğeri Haddeleme, Termomekanik Haddeleme" Kalite Metalurji ve Ar-Ge Müdürlüğü Erdemir, TMMOB Makine Mühendisleri Odası IV. Demir Çelik kongresi.

[42] Bakkaloğlu, A., (2002). " Effect Of Processing Parameters on the Microstructure and Properties of an Nb Microalloyed Steel" Yıldız Technical University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Istanbul, Turkey. Materials Letters 56, 200-209.

[43] Shunfa, Y., Gouping, C. ve Meifang, C., (1986). "HSLA Steel Metallurgy and Aplications" International Confrence on H.S.L.A. Steels, ASM, Metals Park, 213-218.

[44] Panigrahi, B. K., (2001). "Processing of Low Carbon Steel Plate and Hot Strip" Indian Academy of Science, Bulletin of Materials Science, 24(4): 361-371.

[45] Ganoshenka, I. V., Volodarskii, V. V. ve Matrosov, Y. I., (2003). "Production of Rolled Plate for Large Diameter Pipes of Strength Class X70" Metallurgist, 47(7-8): 318.

[46] Yi, N., Cheng-jia, S., Xin, S., Yang, Y., Chuang, L. ve Xin-Iai, H., (2010). "Properties and Homogenity of 550 Mpa Grade TMCP Steel for Ship Hull" International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 17(2): 179.

[47] EN 10149-2, “Hot-Rolled Flat Products Made of High Yield Strength Steels for Cold-Forming – Part 2: Delivery Conditions for Thermomechanically Rolled Steels.”, September 1995.

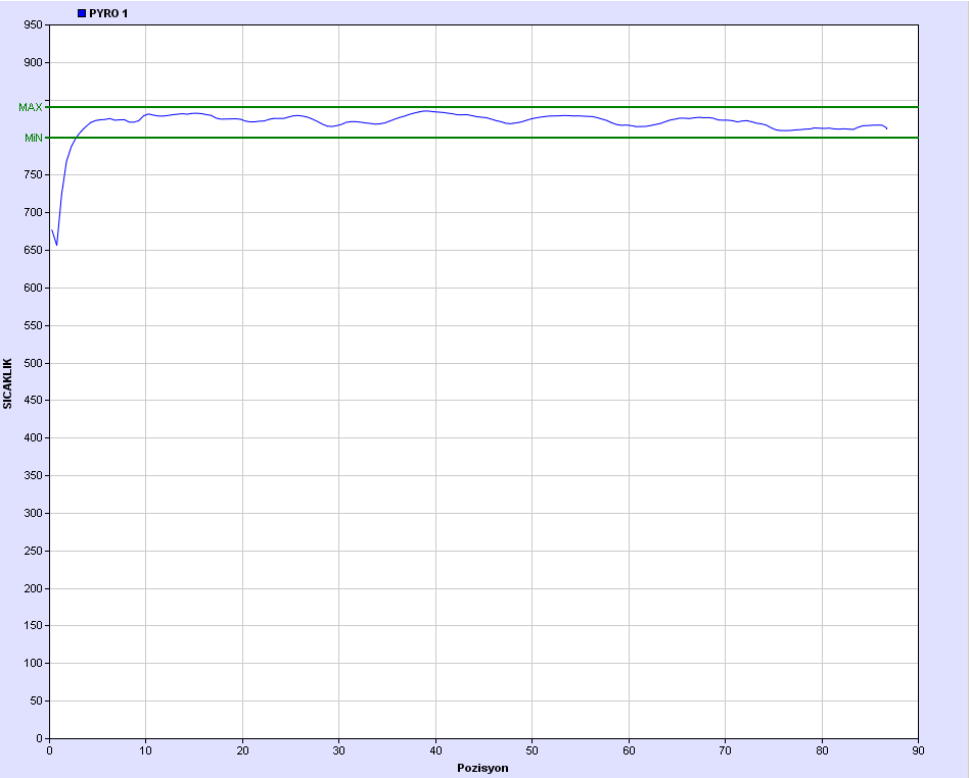
[48] http://www.sigmacenter.com.tr/brosurler/26-Minitab.pdf, 12.01.2014.

[49] Oğuz, B., Anova ve Regresyon Eğitimi notları, Sigma Center, 16.12.2013.

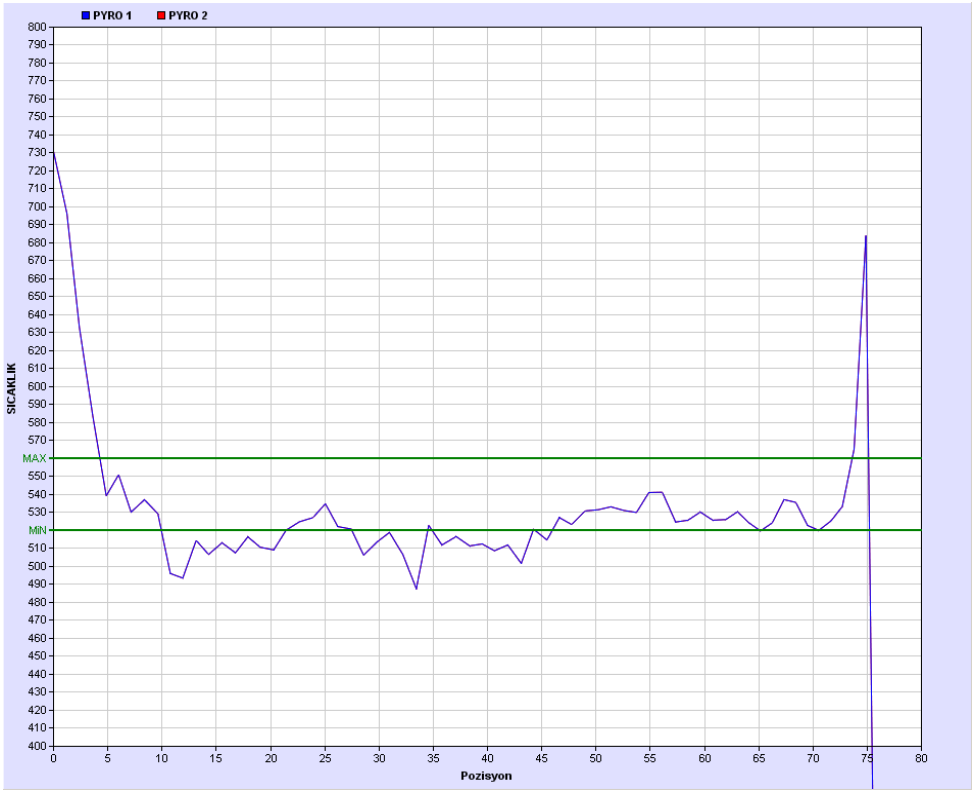
[50] http://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/1382/mod_resource/content/2/B9_Normal%20Da%C4%9F%C4%B1l%C4%B1m.pdf, 19.02.2015.

EK-A

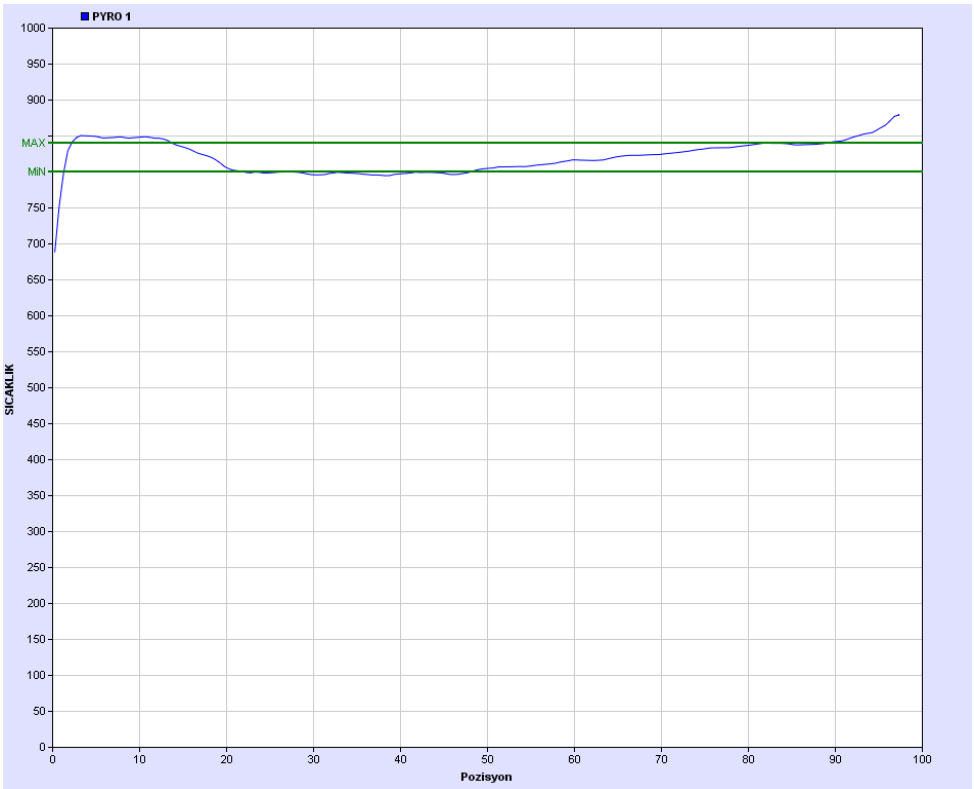
DENEY NUMUNELERİNİN İKMAL VE SICAKLIK GRAFİKLERİ



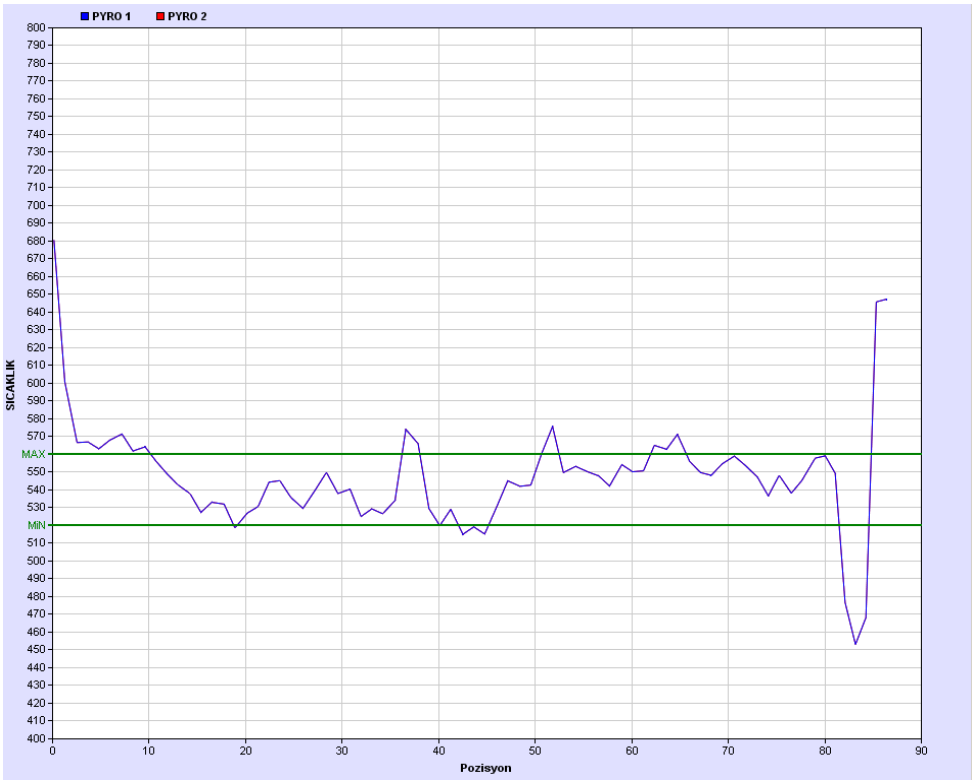
Şekil A. 1 D1B1'in ikmal sıcalık grafiği



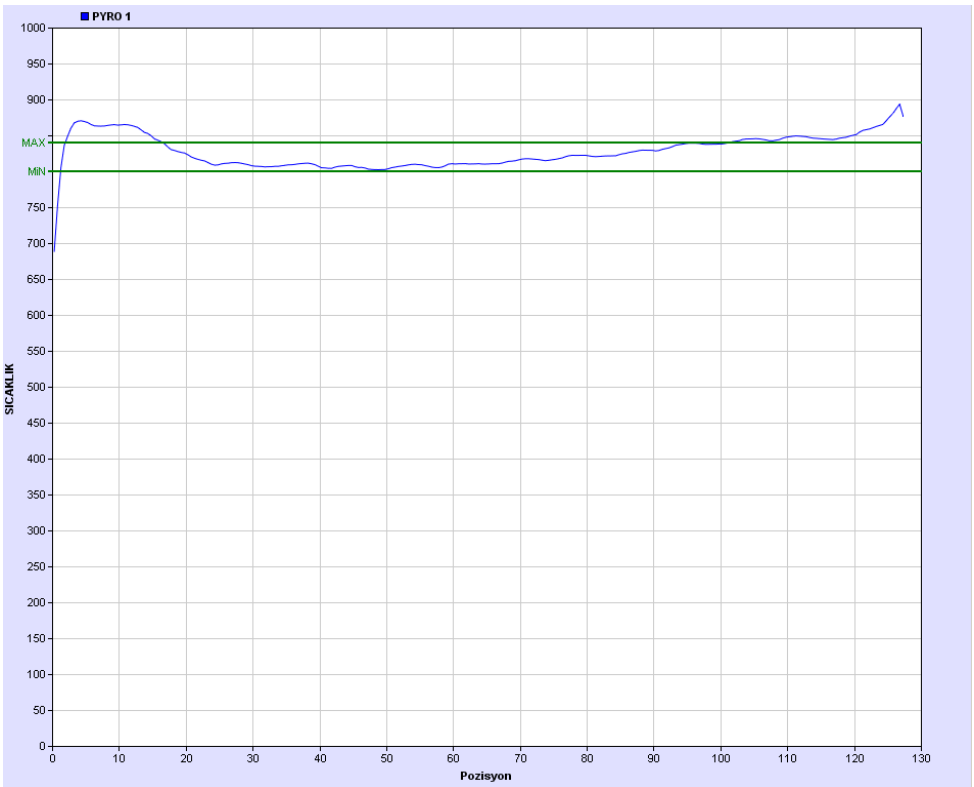
Şekil A. 2 D1B1'in sarılma sıcaklık grafiği



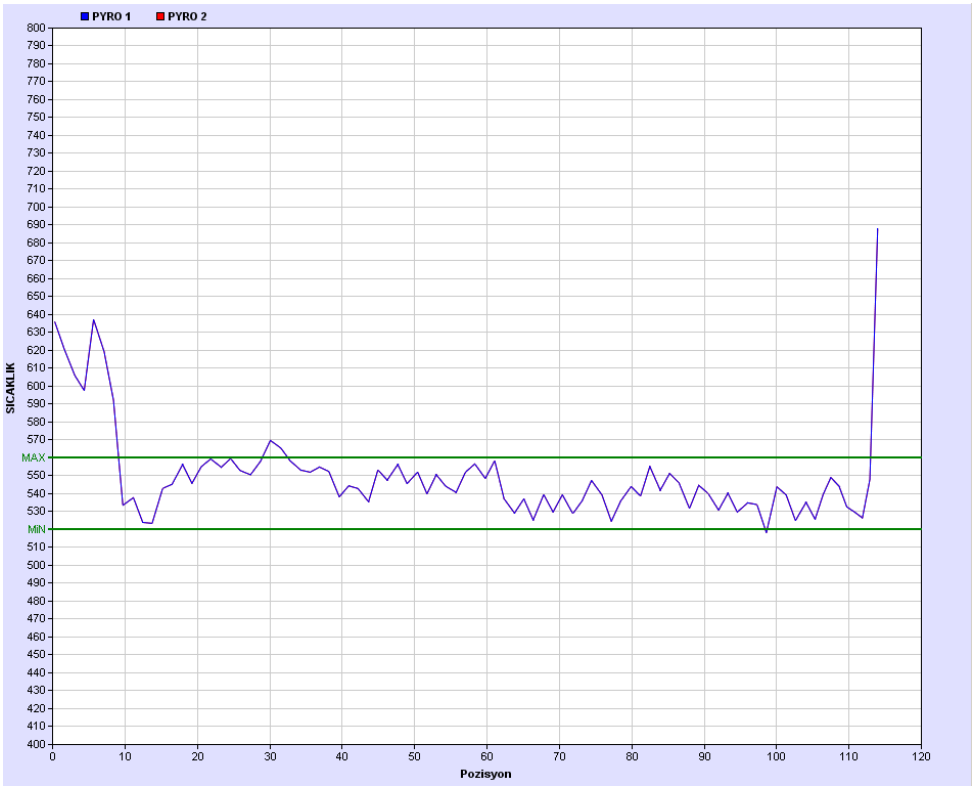
Şekil A. 3 D1B2'nin ikmal sıcalık grafiği



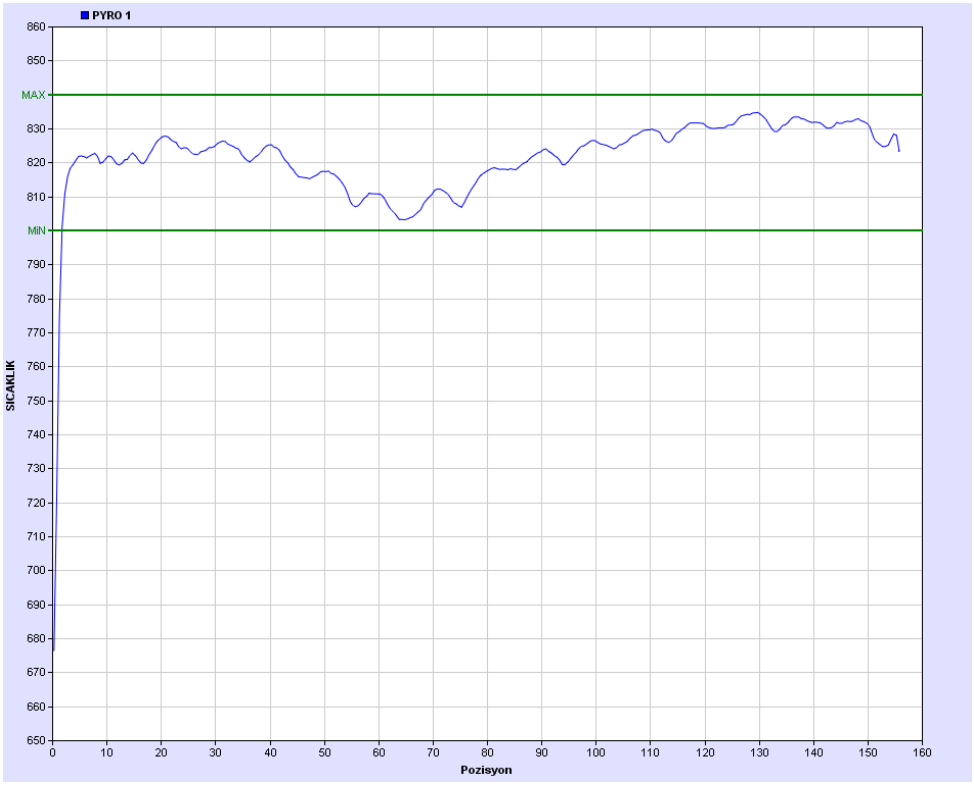
Şekil A. 4 D1B2'nin sarılma sıcaklık grafiği



Şekil A. 5 D1B3'ün ikmal sıcalık grafiği



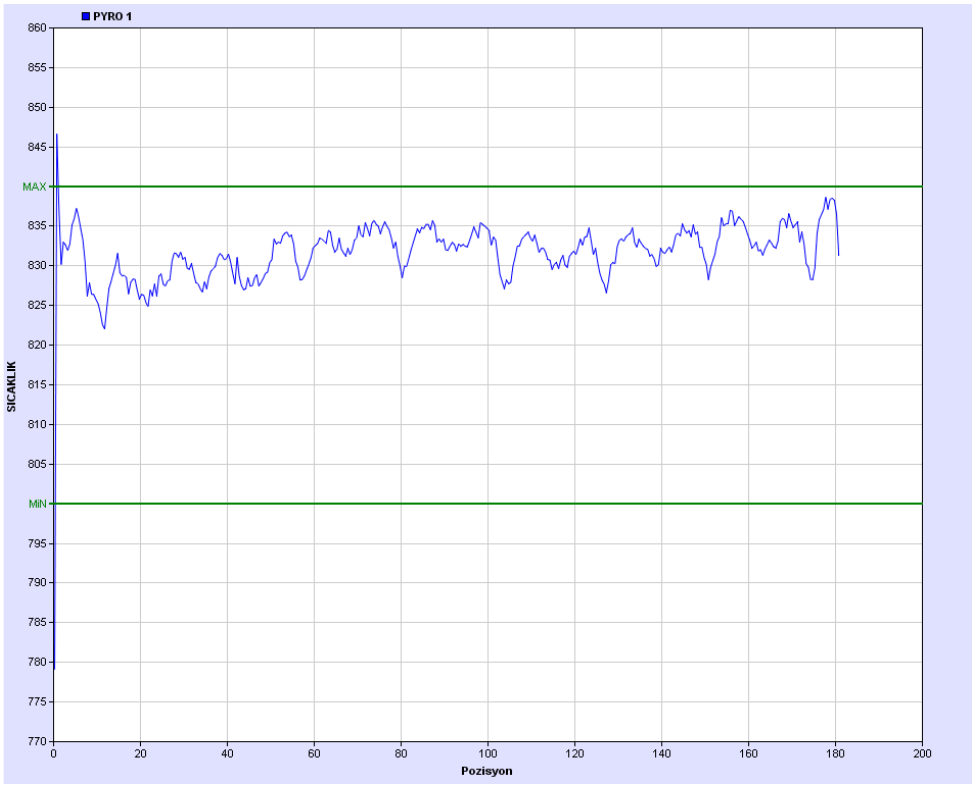
Şekil A. 6 D1B3'ün sarılma sıcaklık grafiği



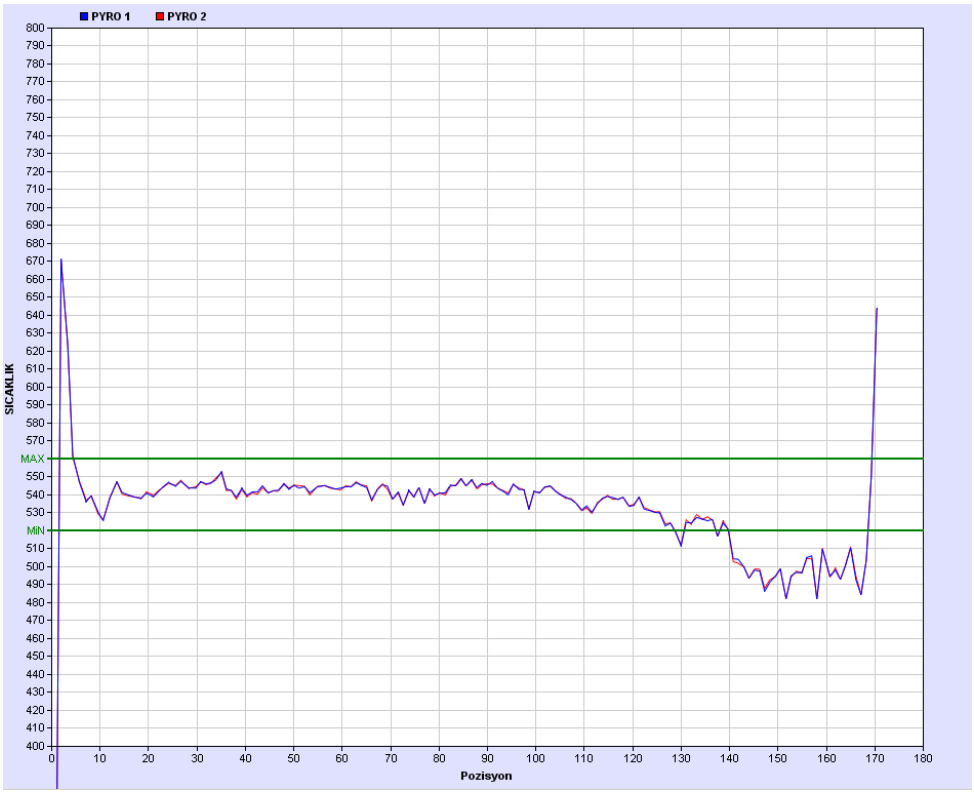
Şekil A. 7 D1B4'ün ikmal sıcalık grafiği



Şekil A. 8 D1B4'ün sarılma sıcaklık grafiği



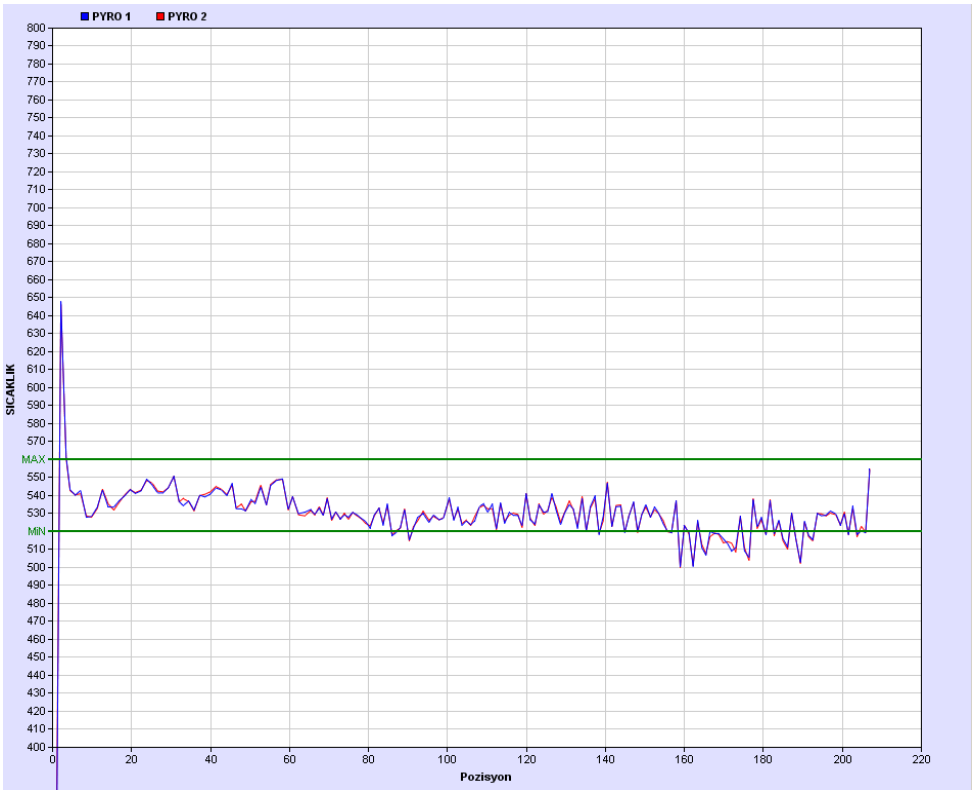
Şekil A. 9 D2B1'in ikmal sıcalık grafiği



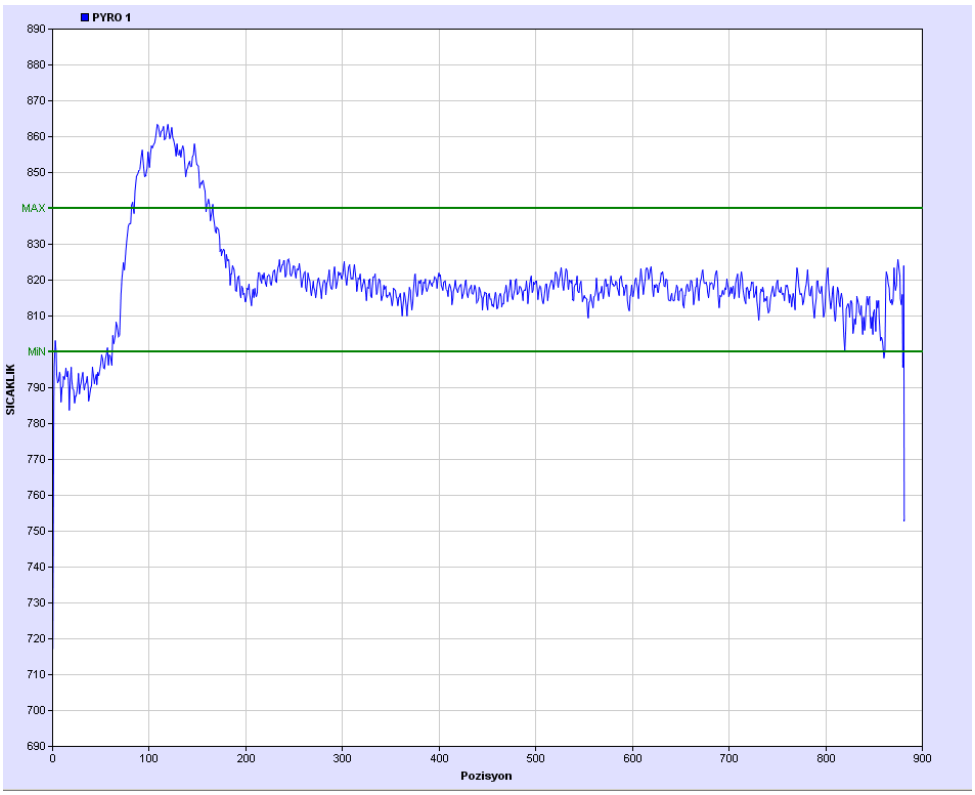
Şekil A. 10 D2B1'in sarılma sıcaklık grafiği



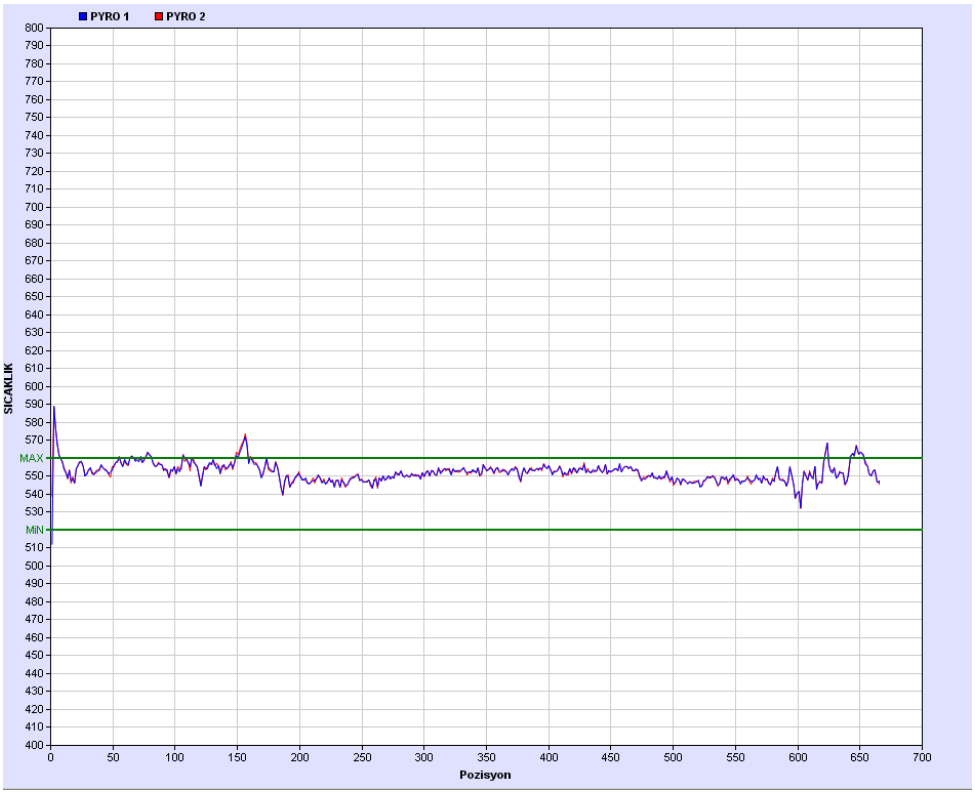
Şekil A. 11 D2B2'nin ikmal sıcalık grafiği



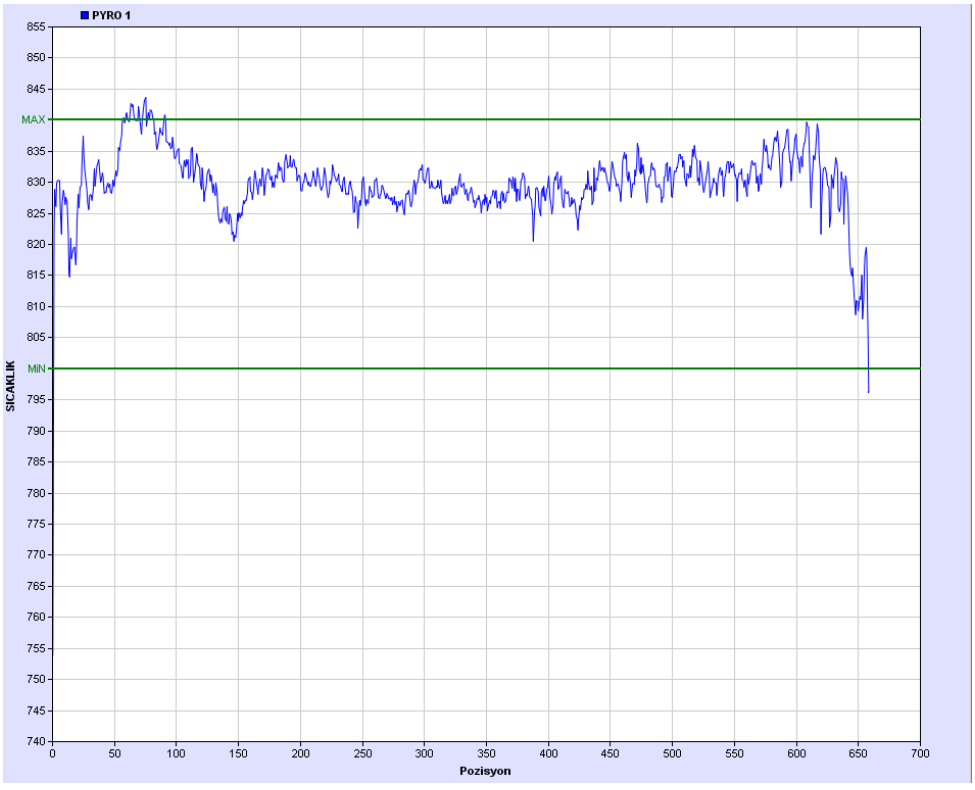
Şekil A. 12 D2B2'nin sarılma sıcaklık grafiği



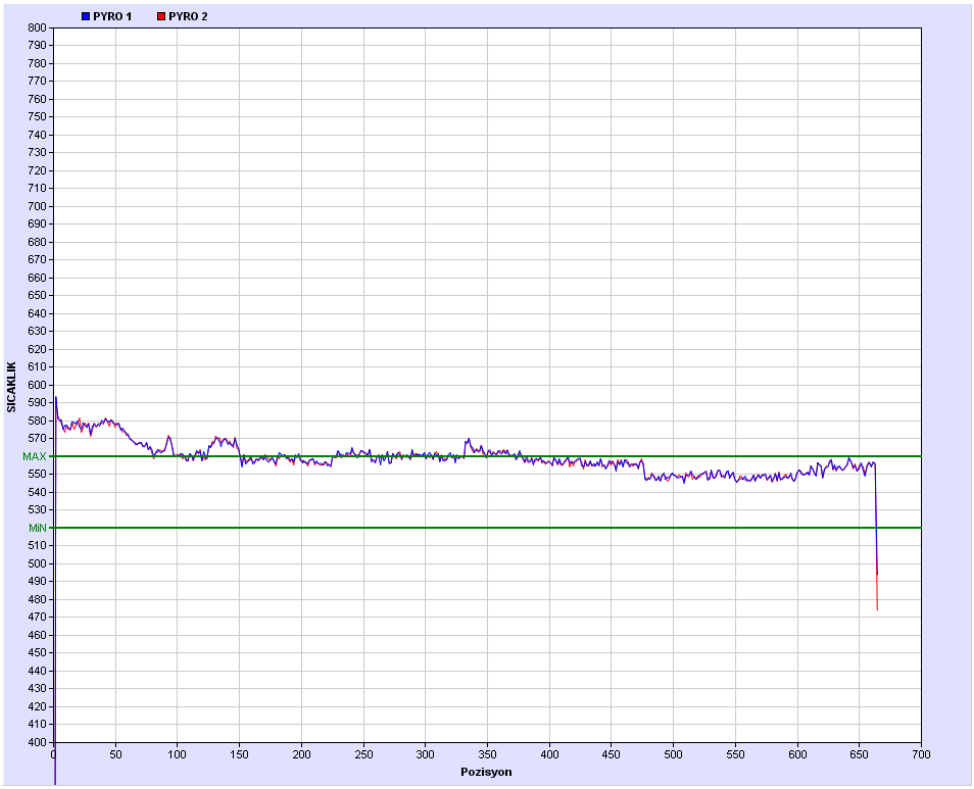
Şekil A. 13 D2B3'ün ikmal sıcalık grafiği



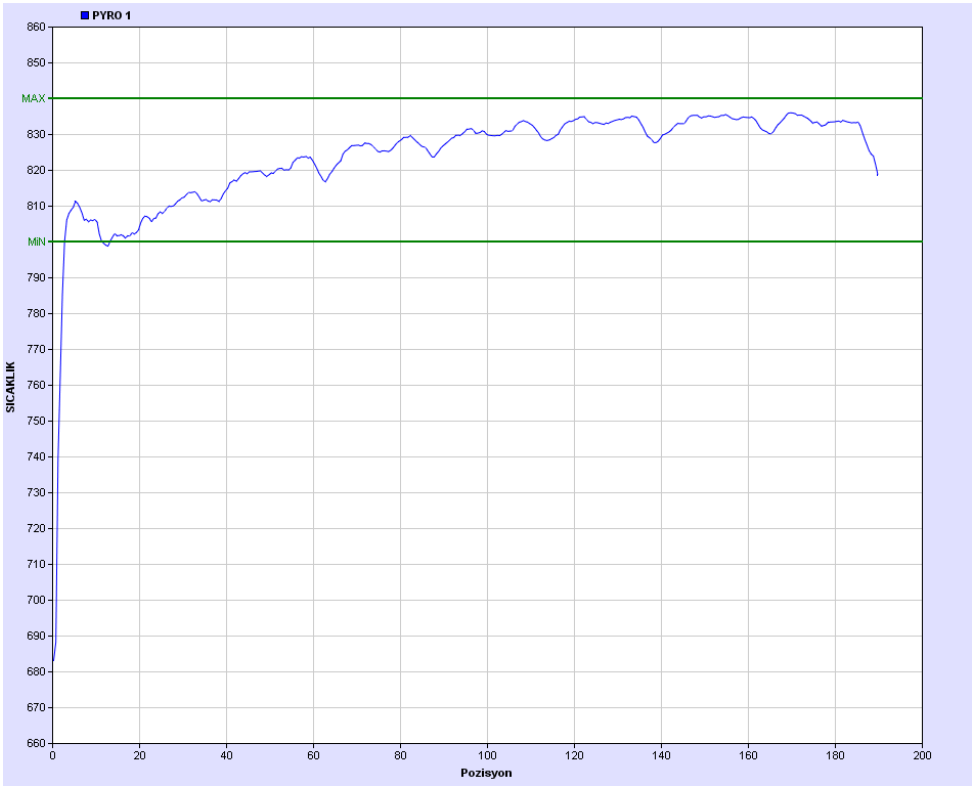
Şekil A. 14 D2B3'ün sarılma sıcaklık grafiği



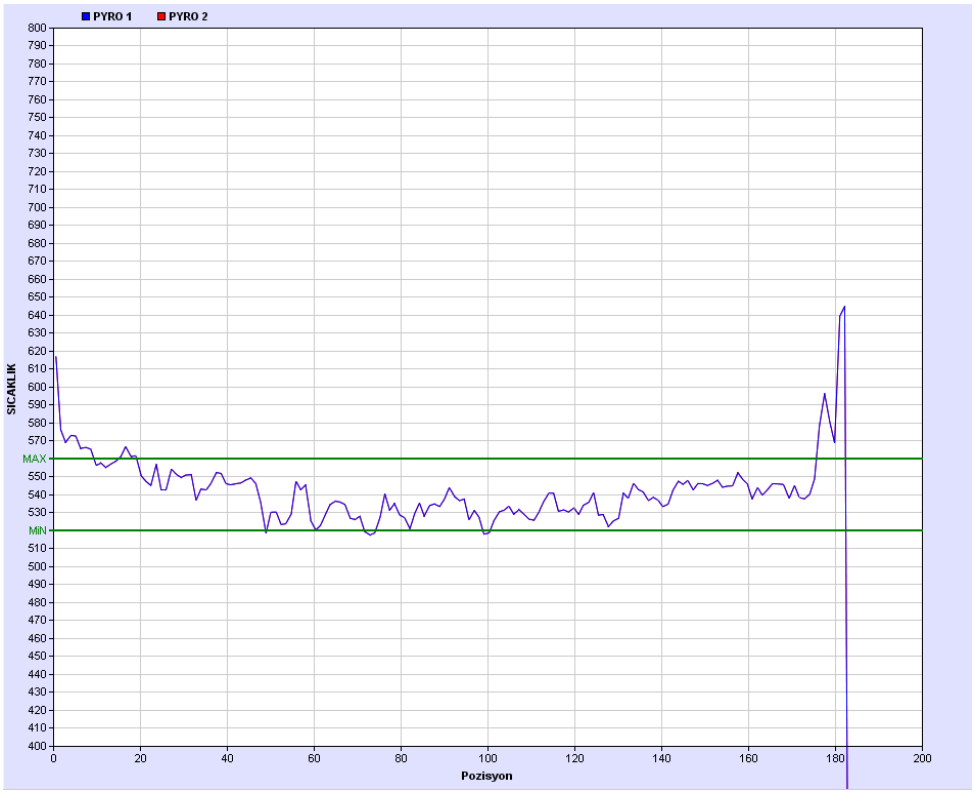
Şekil A. 15 D2B4'ün ikmal sıcalık grafiği



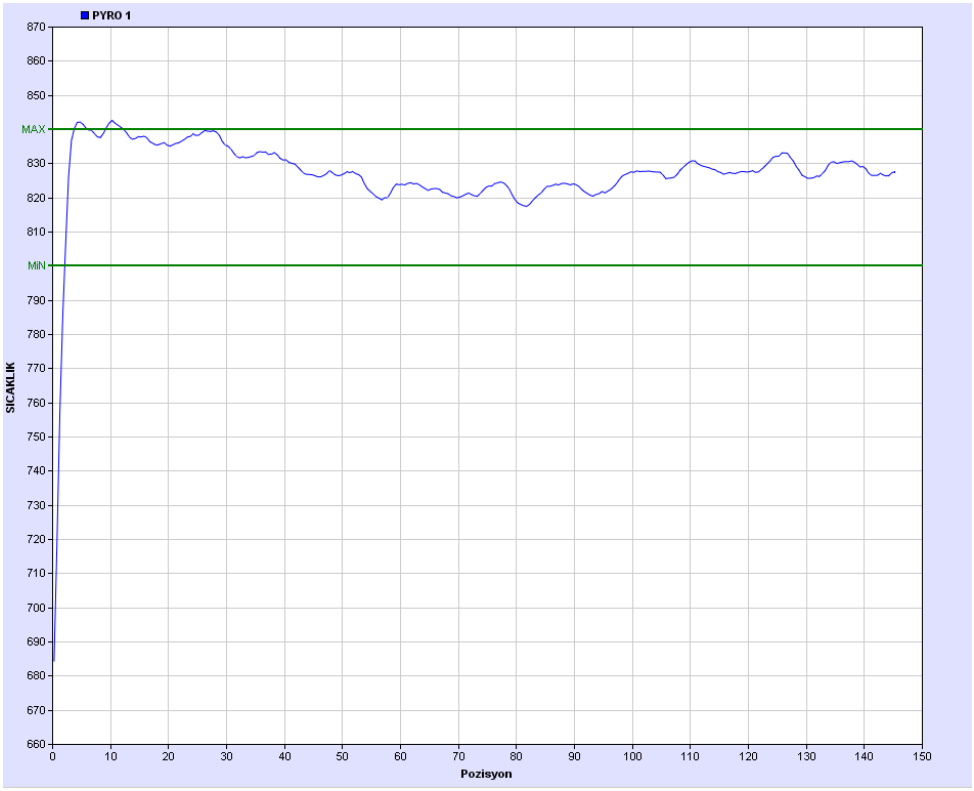
Şekil A. 16 D2B4'ün sarılma sıcaklık grafiği



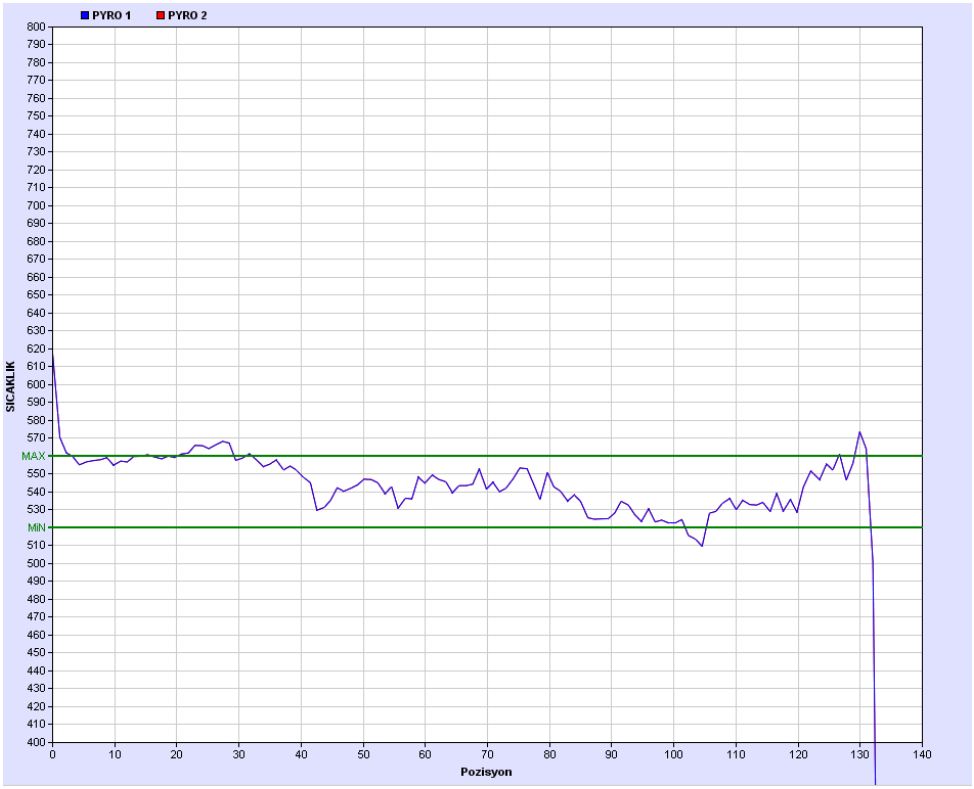
Şekil A. 17 D3B1'in ikmal sıcalık grafiği



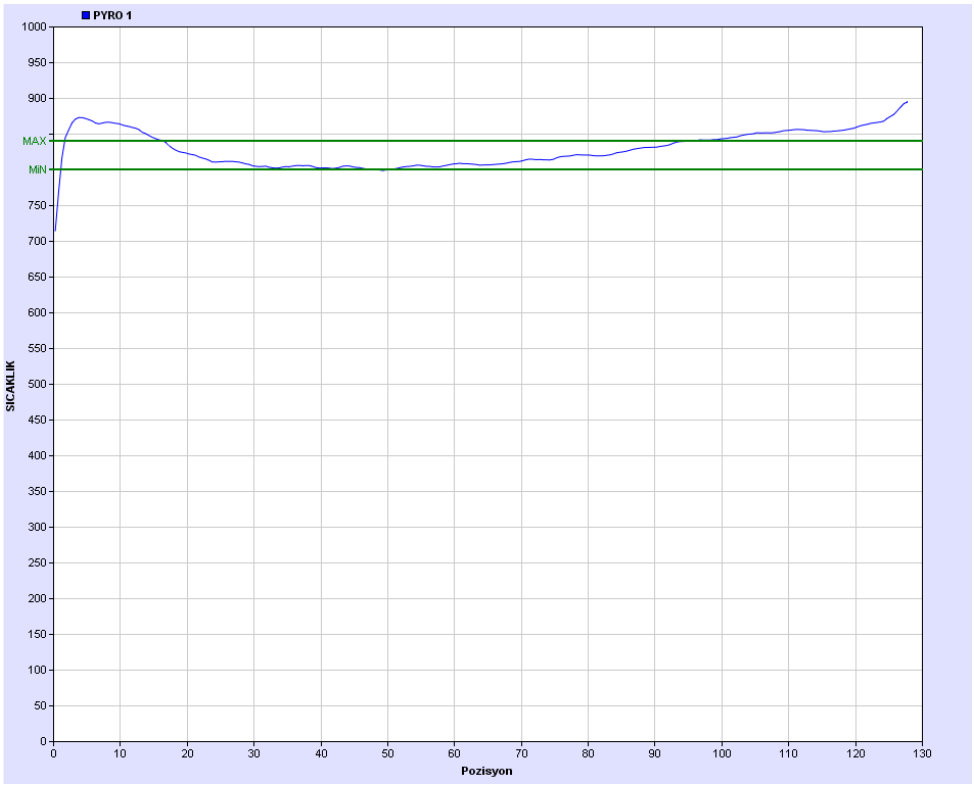
Şekil A. 18 D3B1'in sarılma sıcaklık grafiği



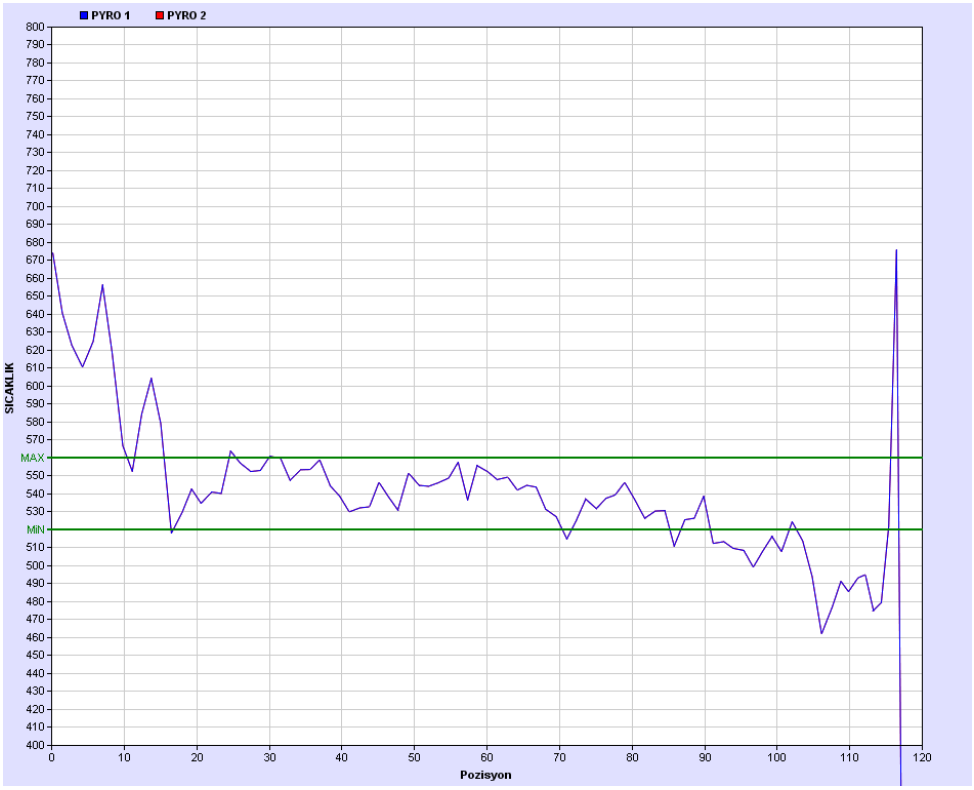
Şekil A. 19 D3B2'nin ikmal sıcalık grafiği



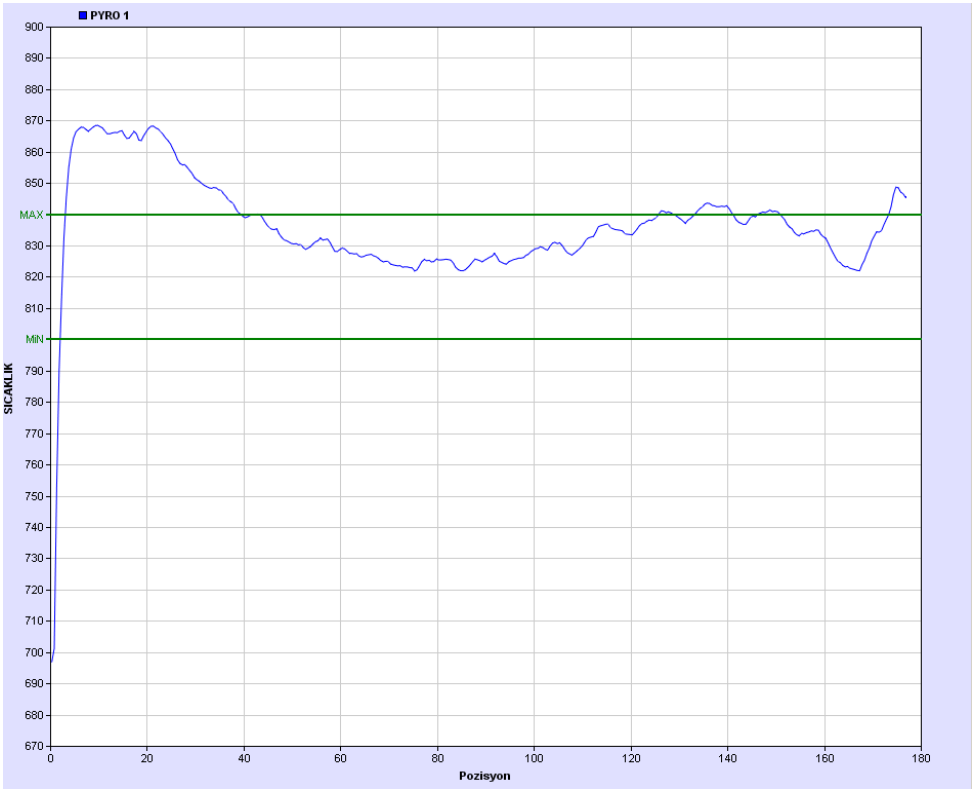
Şekil A. 20 D3B2'nin sarılma sıcaklık grafiği



Şekil A. 21 D3B3'ün ikmal sıcalık grafiği



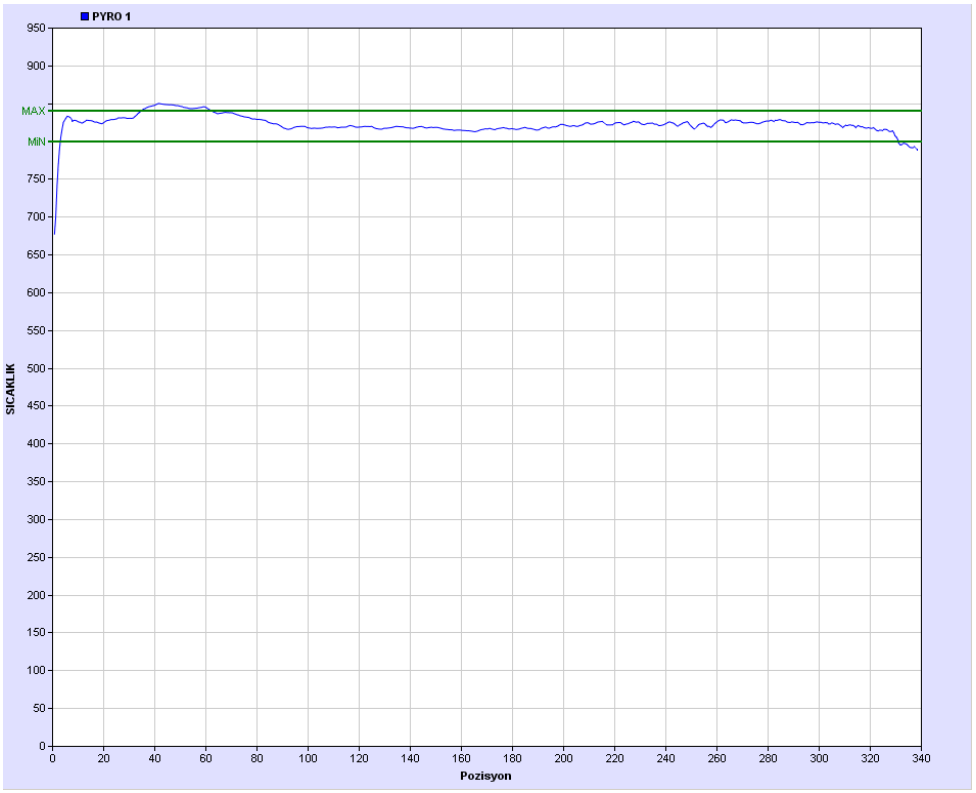
Şekil A. 22 D3B3'ün sarılma sıcaklık grafiği



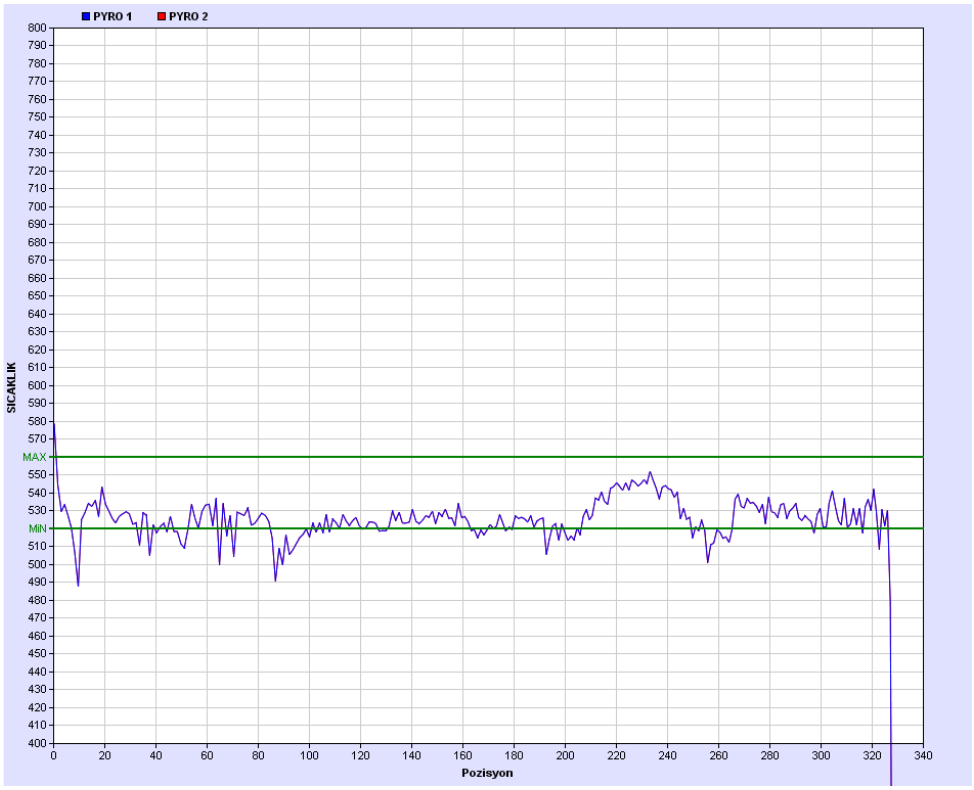
Şekil A. 23 D3B4'ün ikmal sıcalık grafiği



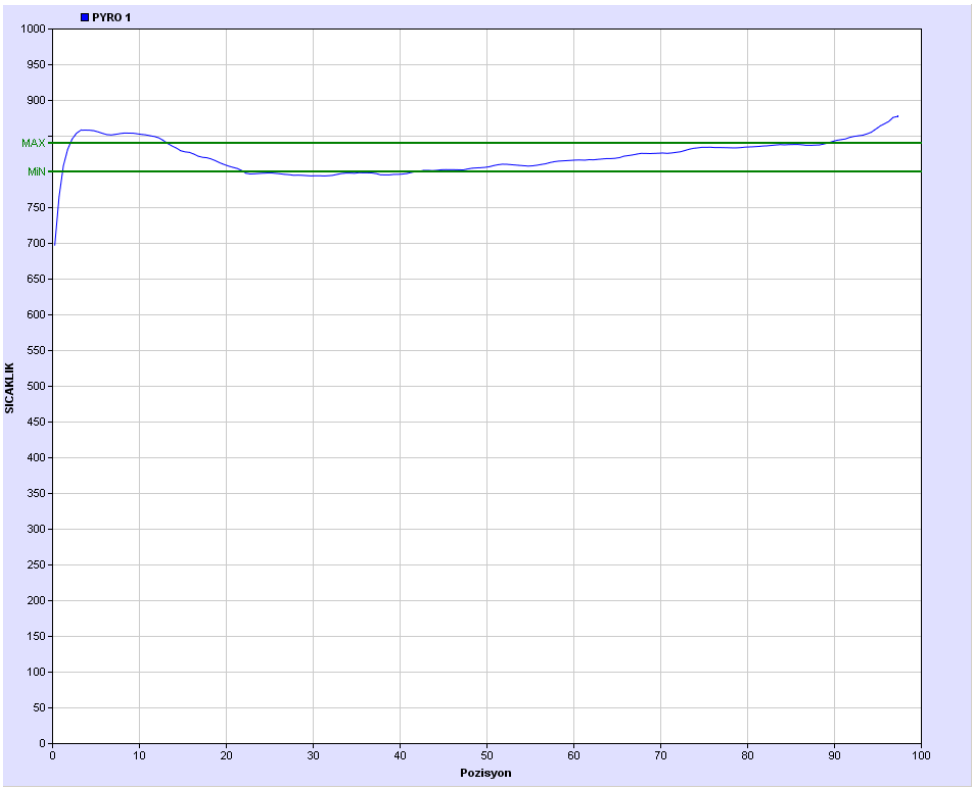
Şekil A. 24 D3B4'ün sarılma sıcaklık grafiği



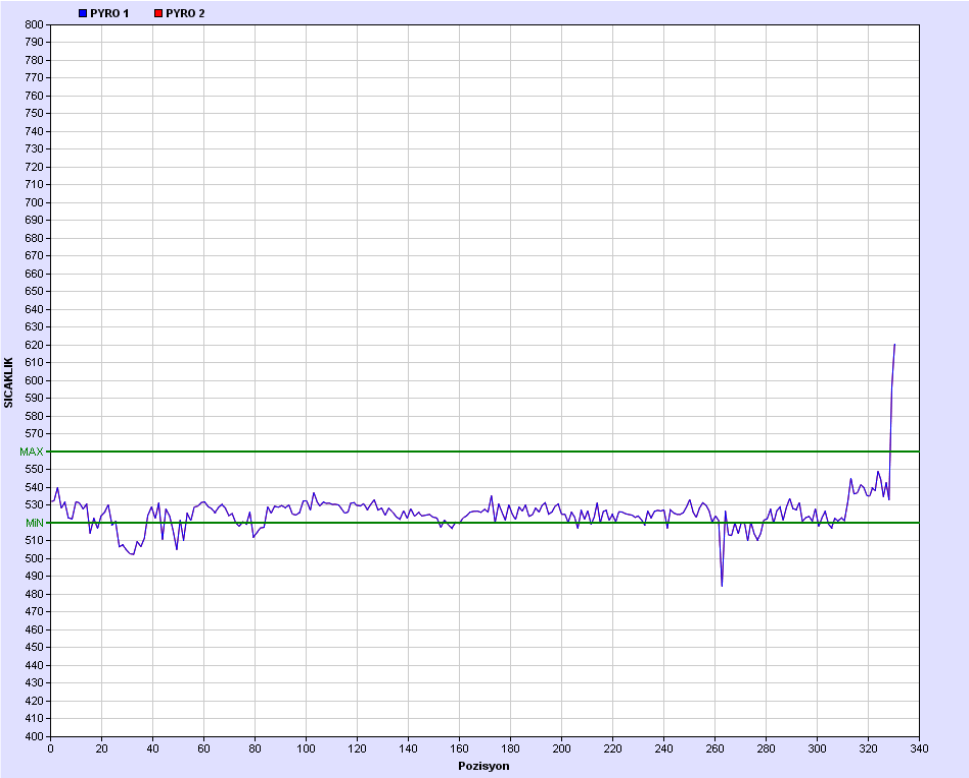
Şekil A. 25 D4B1'in ikmal sıcalık grafiği



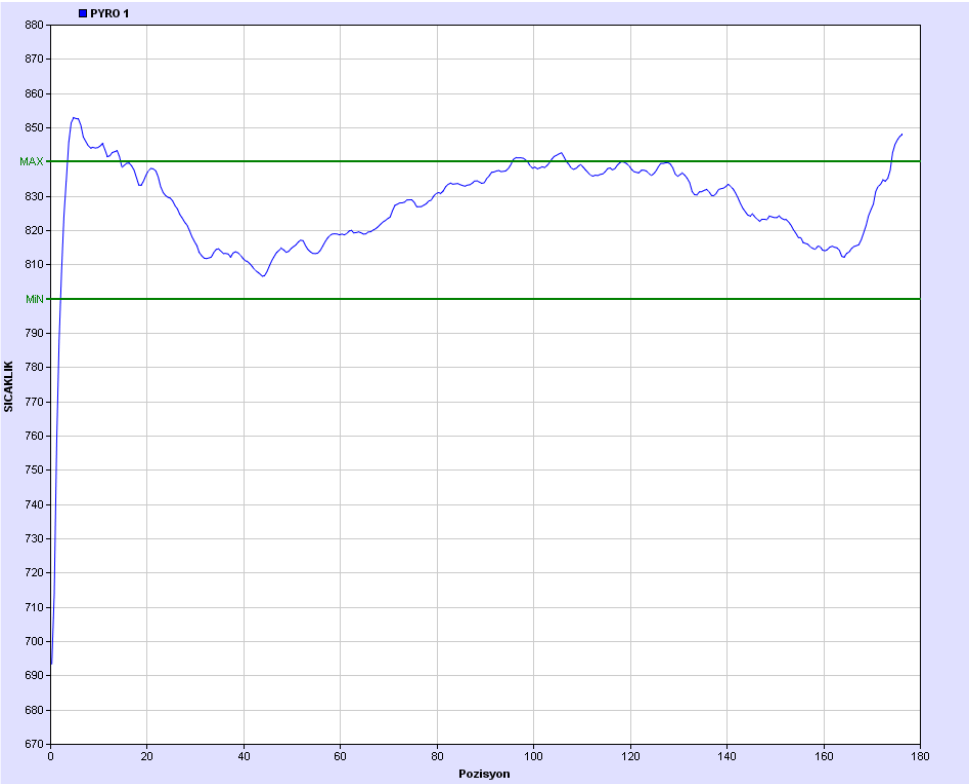
Şekil A. 26 D4B1'in sarılma sıcaklık grafiği



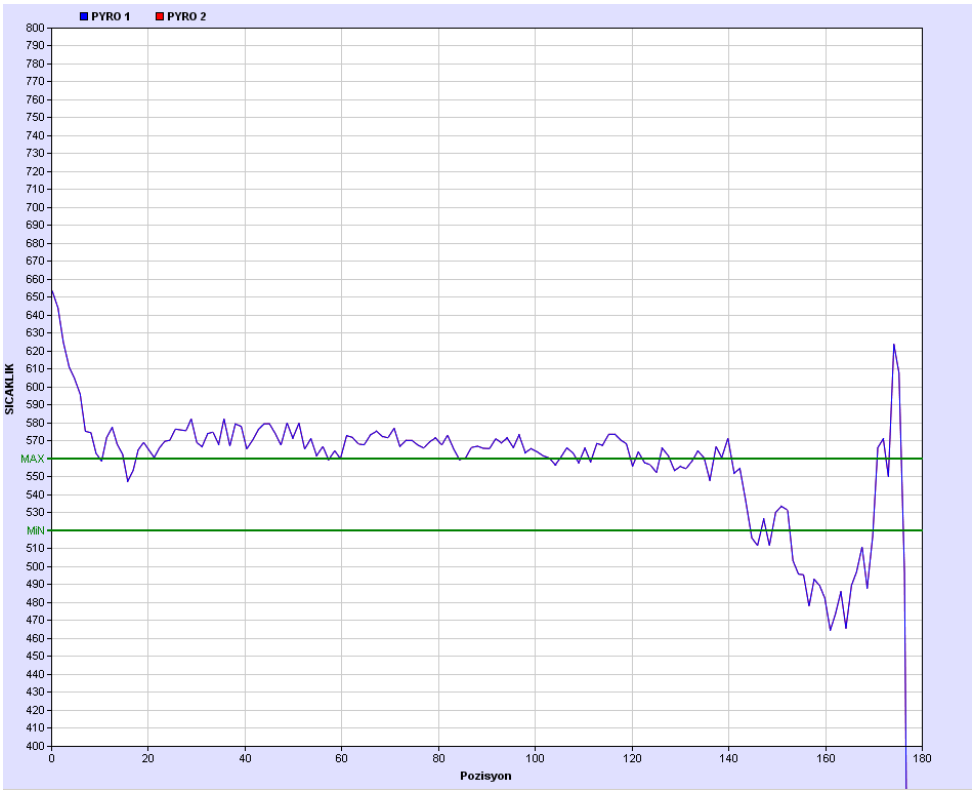
Şekil A. 27 D4B2'nin ikmal sıcalık grafiği



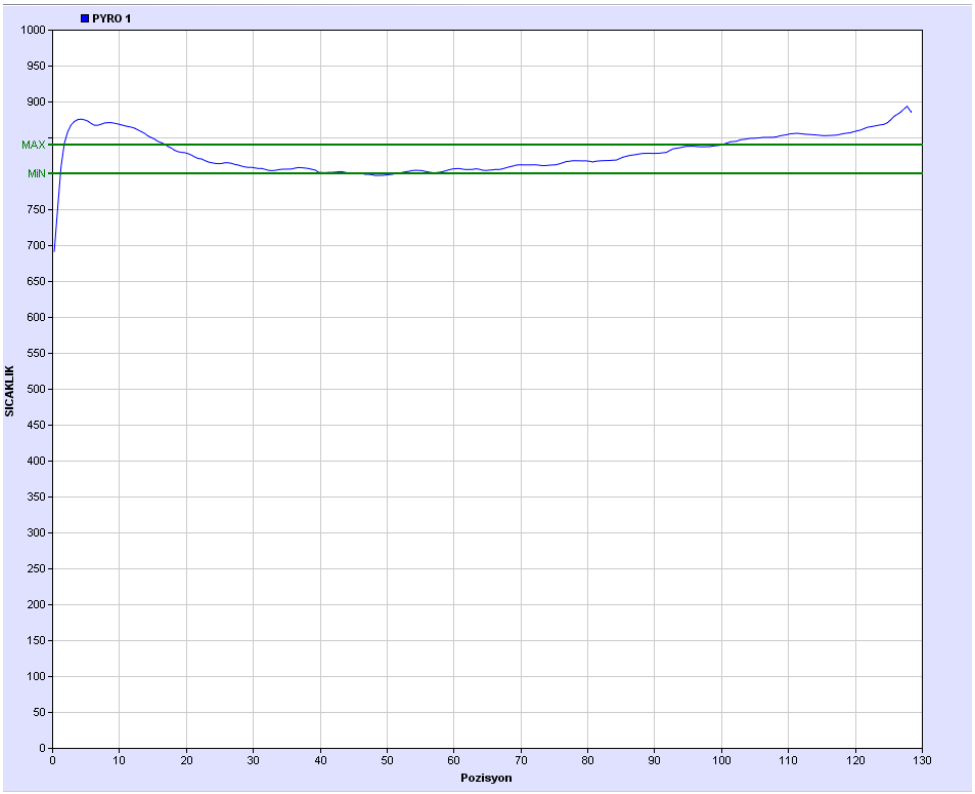
Şekil A. 28 D4B2'nin sarılma sıcaklık grafiği



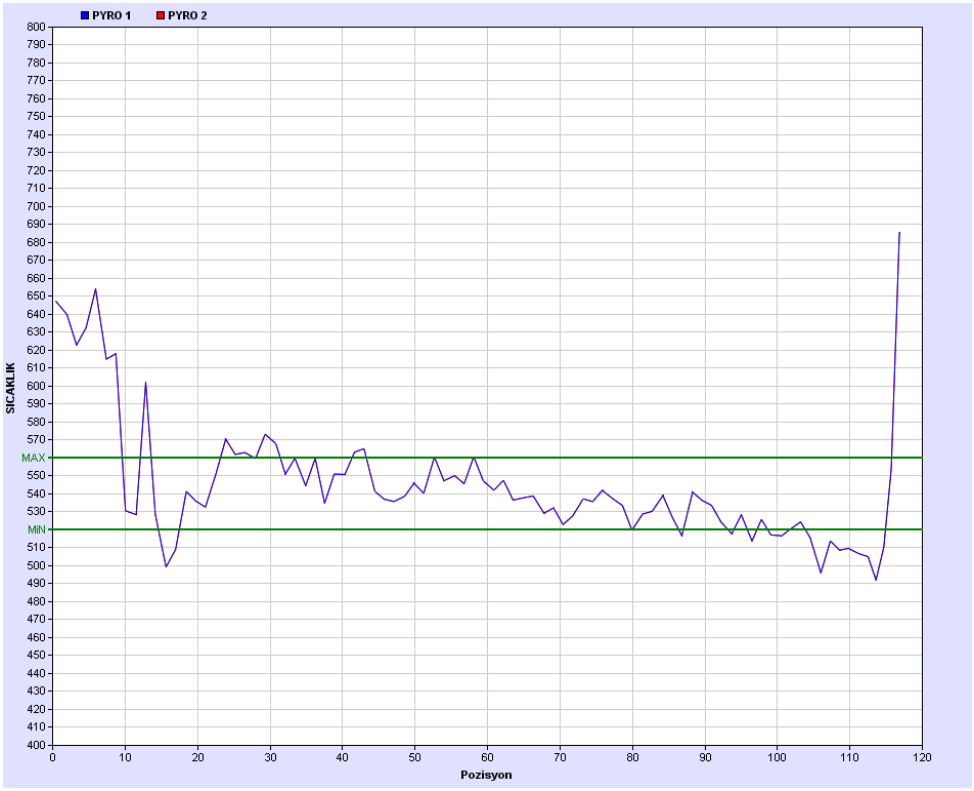
Şekil A. 29 D4B3'ün ikmal sıcalık grafiği



Şekil A. 30 D4B3'ün sarılma sıcaklık grafiği



Şekil A. 31 D4B4'ün ikmal sıcalık grafiği



Şekil A. 32 D4B4'ün sarılma sıcaklık grafiği

EK-B

DENEY NUMUNELERİNİN ÇEKME TEST GRAFİKLERİ

Bütün numunelere aynı ön yük, test hızı uygulanmıştır.

Ön yük: 0,4 kg/mm^2

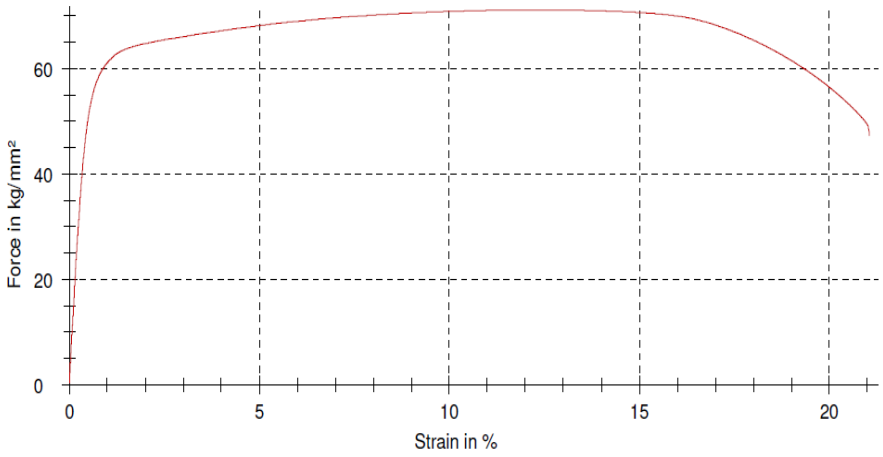
Test hızı: 50 mm/dk

Hız, E modülü: 1,4 mm/dk

Hız, akma noktası: 4mm/dk

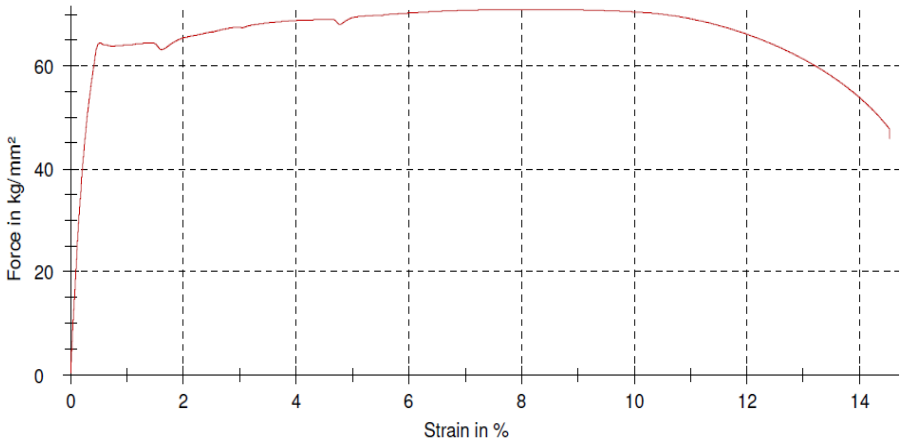
D1B1 için çekme test raporu:

D1B1	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	60,7	71,2	22	100	11,9	25,04



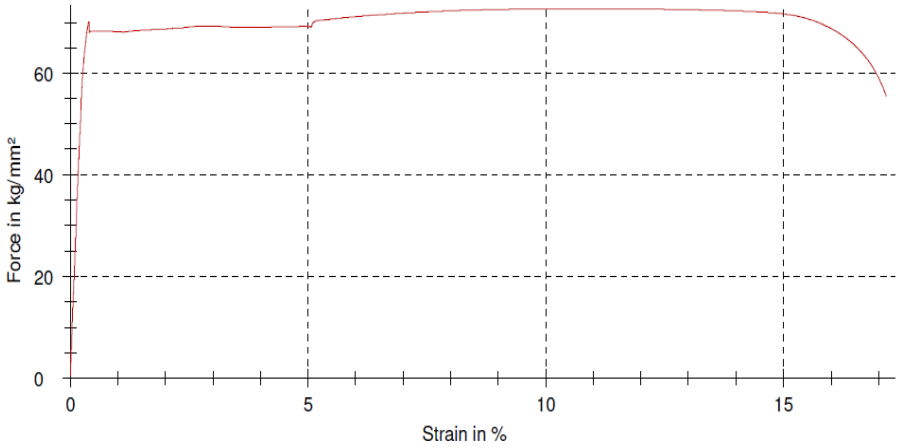
D1B2 için çekme test raporu:

D1B2	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	63,9	70,1	20	100	10	25,18



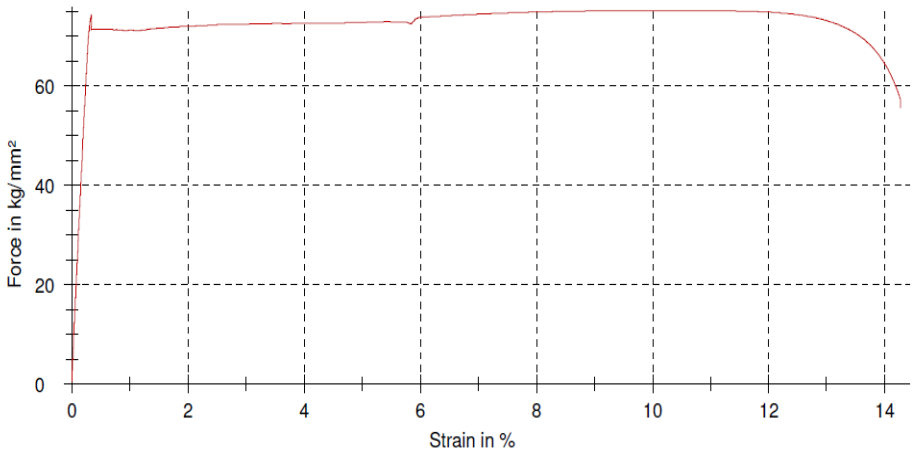
D1B3 için çekme test raporu:

D1B3	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	68,3	72,7	18	100	3,99	25,1



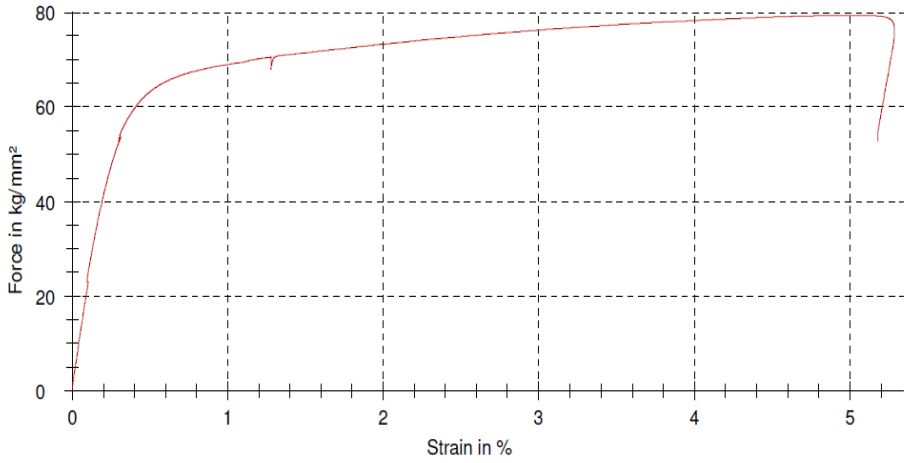
D1B4 için çekme test raporu:

D1B4	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	71,5	75,2	17	100	3,01	25,05



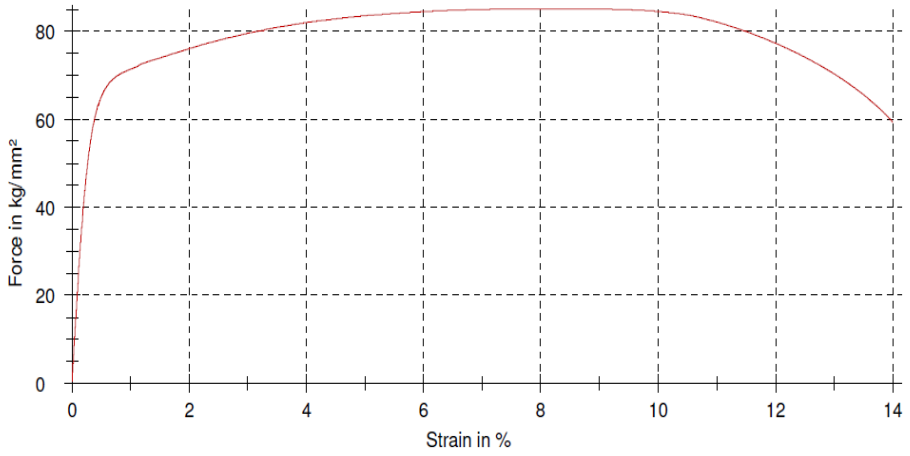
D2B1 için çekme test raporu:

D2B1	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	62,7	79,3	18	100	12,02	25,08



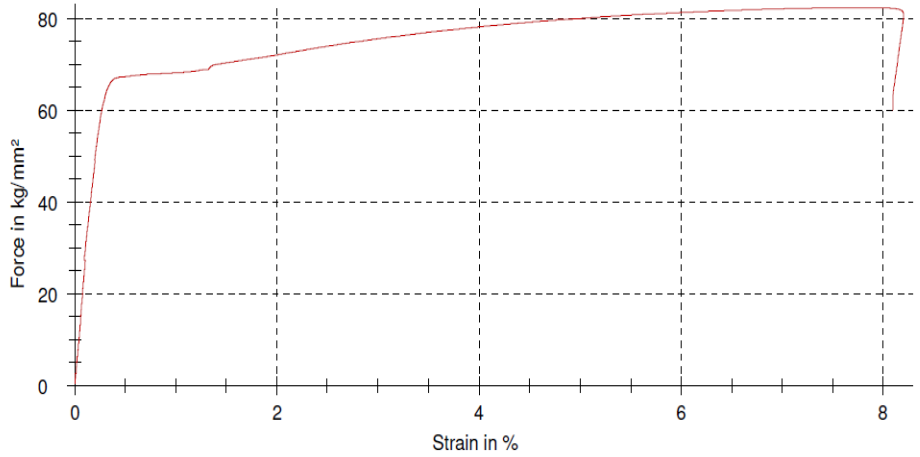
D2B2 için çekme test raporu:

D2B2	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	65	85,1	17	100	9,95	25,04



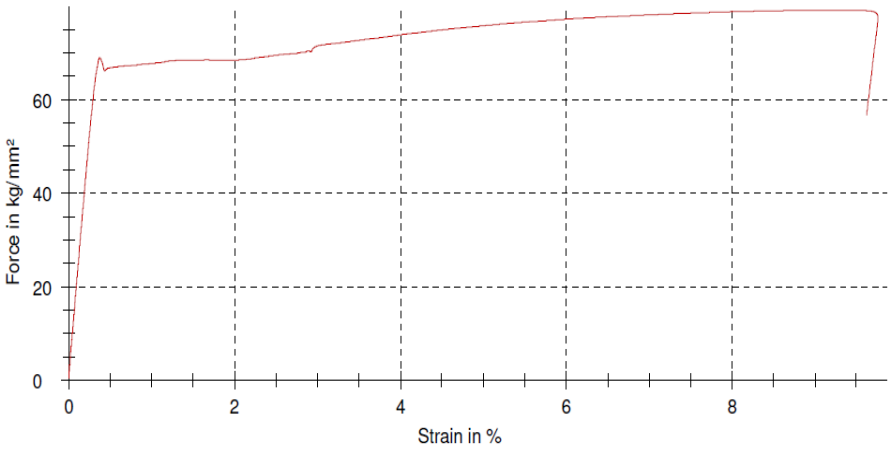
D2B3 için çekme test raporu:

D2B3	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	67,9	82,4	15	100	4	25,01



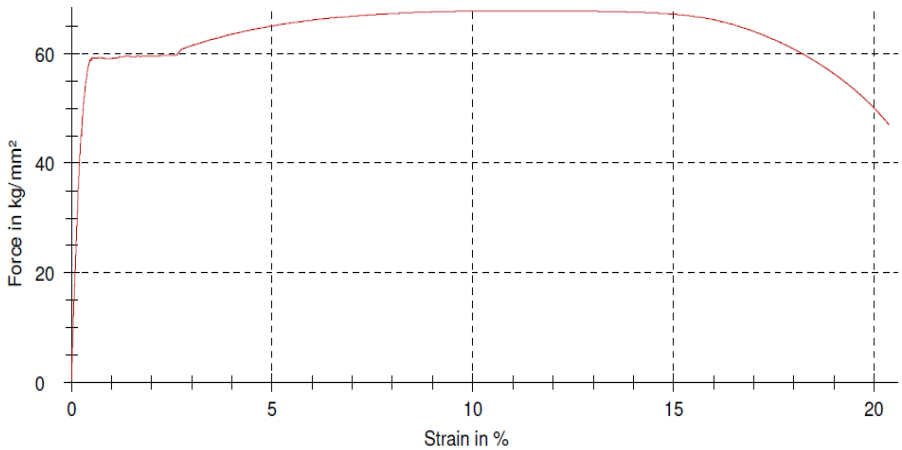
D2B4 için çekme test raporu:

D2B4	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	68,4	79,2	14	100	3,01	25,08



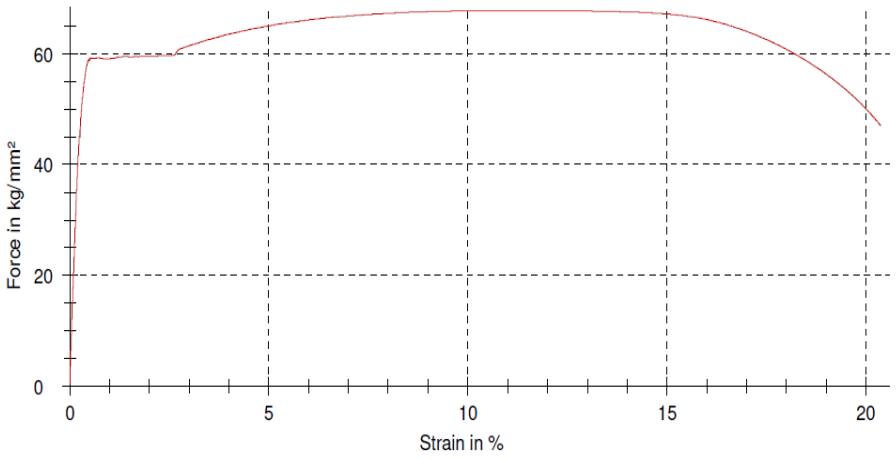
D3B1 için çekme test raporu:

D3B1	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	57,9	66,7	26	100	11,99	25,06



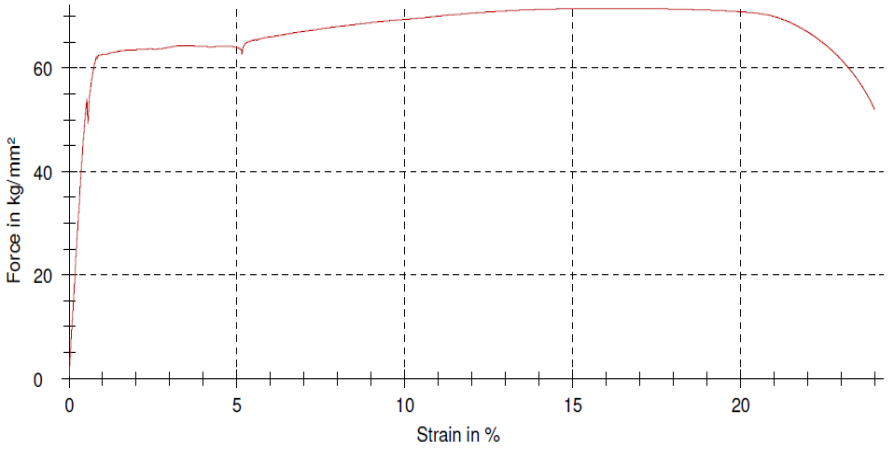
D3B2 için çekme test raporu:

	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
D3B2	59,3	67,9	25	100	10,02	25,05



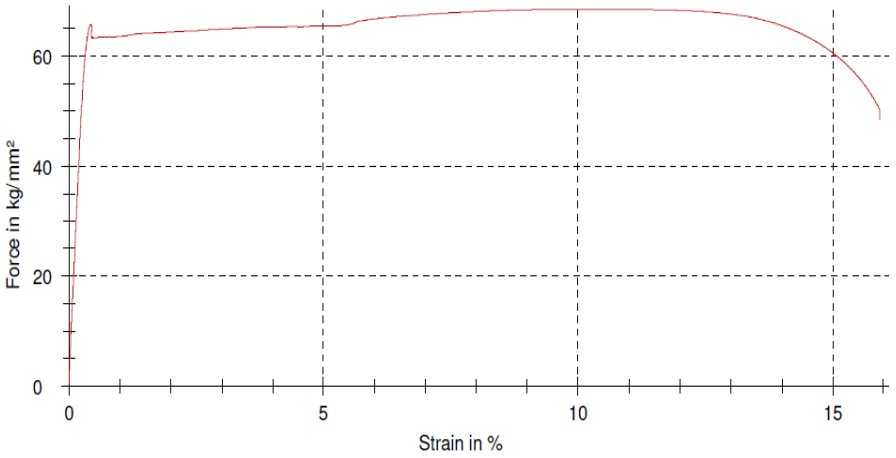
D3B3 için çekme test raporu:

	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
D3B3	62,5	71,5	22	100	8,01	25,01



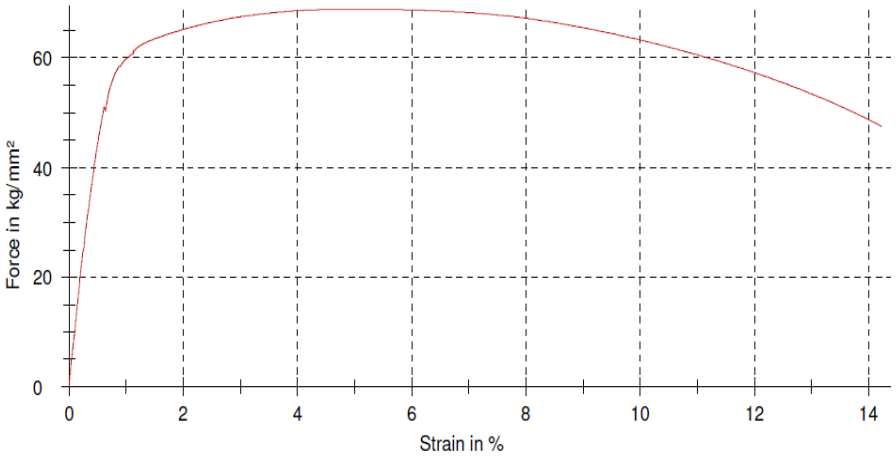
D3B4 için çekme test raporu:

D3B4	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	63,5	68,5	21	100	6,05	25



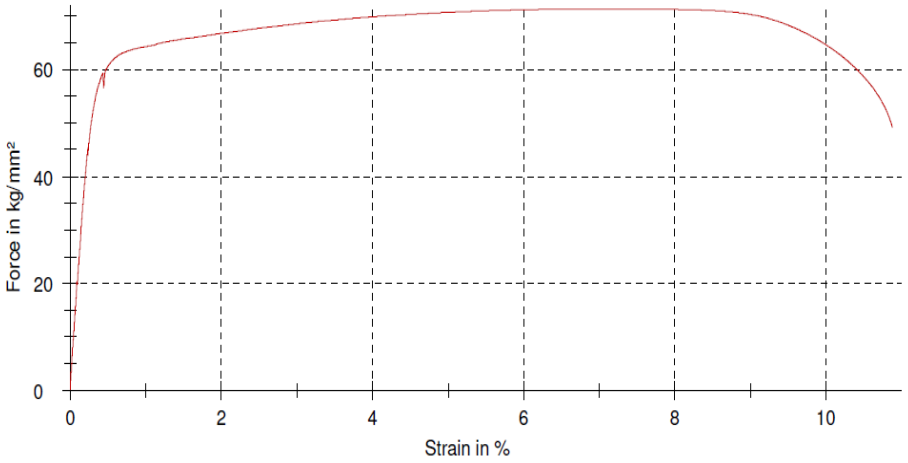
D4B1 için çekme test raporu:

D4B1	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	58	68,9	19	100	11,99	25,1



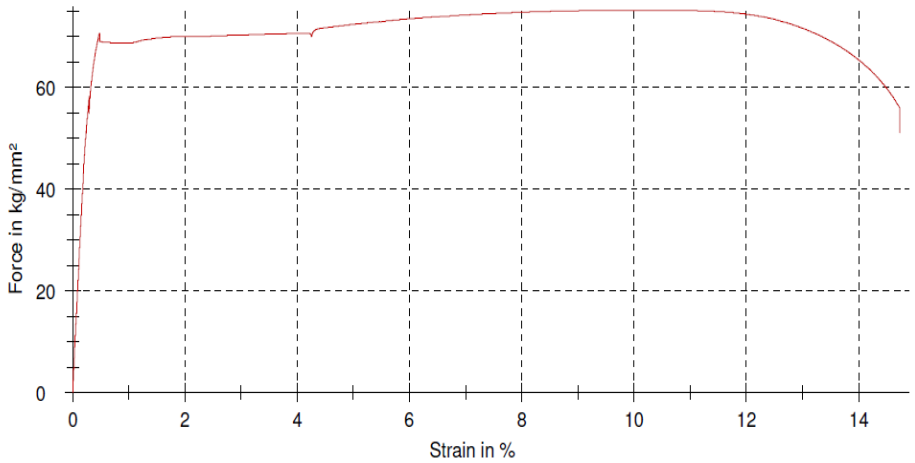
D4B2 için çekme test raporu:

D4B2	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	63,6	71,3	20	100	9,96	24,99



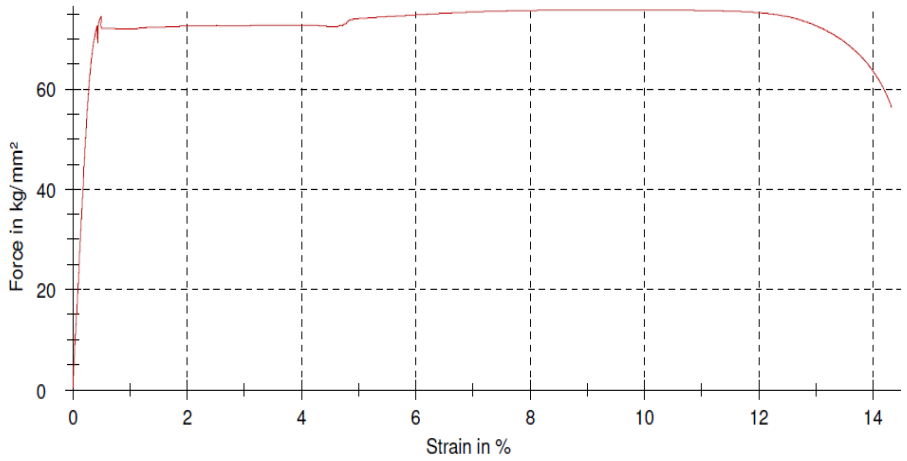
D4B3 için çekme test raporu:

D4B3	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	68,7	75,1	18	100	6	25,1



D4B4 için çekme test raporu:

D4B4	%0,2 plastik deformasyondaki F kg/mm²	F_{max} kg/mm²	Kopma uzaması %	L_0 mm	a_0 mm	b_0 mm
	72	75,8	18	100	4	24,98



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	: Aycan ATICI
Doğum Tarihi ve Yeri	: 10/08/1988 Ankara
Yabancı Dili	: İngilizce
E-posta	: aycanatici@hotmail.com aatici@isdemir.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	Devam ediyor
Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	İSTEK Özel Kemal Atatürk Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012 –	İskenderun Demir ve Çelik A.Ş	Haddehaneler Kalite Kontrol Mühendisi