

**17-4 Ph MALZEMENİN TEL EROZYONDA  
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**2019  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Oğuz PISIK**

**17-4 PH PAZLANMAZ MALEMENİN TEL EROZYONDA  
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Oğuz PISIK**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Mayıs 2019**

Oğuz PISIK tarafından hazırlanan “17-4 Ph MALZEMENİN TEL EROZYONDA İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/05/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Murat SARIKAYA (SNÜ)



Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ali KALYON (KBÜ)



...../...../2019

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

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





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

Oğuz PISIK

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **17-4 Ph MALZEMENİN TEL EROZYONDA İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Oğuz PISIK**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Halil DEMİR**

**Mayıs 2019, 74 sayfa**

Bu çalışmanın amacı paslanmaz çelik malzemelerden en çok kullanılan 17-4 Ph paslanmaz çelik malzemenin tel erozyon tezgahında çoklu kesim yöntemleri ile farklı ilerlemeler kullanılarak en uygun kesme yöntemi ve parametrelerinin belirlenmesidir. Bu amaçla ölçüsel değerleri belirlenen bir modelin farklı ilerleme değerlerinde kesme yöntemleri değiştirilerek 0.25 mm kalınlığında pirinç bir tel vasıtası ile tel erozyon tezgahında her bir yöntem için 10 tane modelin kesimleri gerçekleştirilmiştir. Deneyimizde kullanılan tel yüksek mukavemete sahip, kesim esnasında yüksek performans, kısa devre içermeyen ve pürüzsüz bir yüzey kalitesi elde edilmek üzere mükemmel hammadde ve gelişmiş tavlama teknikleri uygulanarak üretilmiştir. Kesimi gerçekleştirilen modellerin geometrik hataları ve ölçüsel uygunsuzluklarını görebilmek adına her bir model hassas koordinat ölçüm cihazı ile ölçülerek doğrulukları değerlendirilmiştir. Her bir modelin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek yüzey kalitesindeki değişimler incelenmiştir. Sertlik

ölçümleri ile modeller üzerindeki sertlik değişimleri değerlendirilmiştir. Bu deney ve incelemeler neticesinde 17-4 Ph paslanmaz elik malzemelerin tel erozyon tezgahı ile kesimi neticesinde ölçüsel uygunluk, yüzey kaliteleri ve sertlik değerleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu değerlerin hangi ilerleme ve kesme yöntemler kullanılarak elde edildiği açıklanarak en uygun ilerleme ve kesme yöntemi hakkında açıklamalar yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** 17-4 Ph Paslanmaz, tel erozyon, yüzey sertliği, yüzey kalitesi.

**Bilim Kodu** : 914.3.028



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF PROCESSABILITY OF 17-4 Ph MATERIAL IN WIRE EROSION**

**Oğuz PISIK**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof Dr. Halil DEMİR**

**May 2019, 74 pages**

The purpose of this study is to determine the most suitable cutting methods and parameters by using different cutting methods in the wire cut erosion machine of 17-4 Ph stainless steel material which is used mostly in stainless steel materials. For this purpose, cutting methods of different model values of a model with different values have been changed and cuts of 10 models have been performed for each method of wire erosion machine with a 0.25 mm thick brass wire. The wire used in our experiment has been produced with high strength, high performance during cutting, short circuit-free and perfect raw material and improved annealing techniques to obtain a smooth surface quality. In order to see the geometry errors and the measurement imperfections of the models performed, each model is measured with precision coordinate measuring device and their accuracy is evaluated. Surface roughness values of each model were measured and changes in surface quality were investigated. Hardness measurements were used to evaluate the hardness changes on

the models. As a result of these experiments and investigations, it has been given information about the dimensions, hardness and surface quality of the material as a result of the cutting of the wire with the wire erosion machine. The most appropriate progress and cutting method are explained by explaining which progress and cutting methods are obtained.

**Key Words** : 17-4 Ph Stainless, wire erosion, surface hardness, surface quality

**Scientific Code** : 914.3.028





## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın planlanıp, araştırılması aşamasında beni ynlemdiren, yrtlmesi ve olgunlaőma sürecinde değerli bilgi ve tecrübelerini esirgemeyerek çalıőmamı bilimsel temeller çerçevesinde oluşmasını sağlayan sayın hocam Prof. Dr. Halil DEMİR'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli çalışma arkadaőlarım Nuri BIÇAKÇI' ya teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca ihtiyaım olduğu süre boyunca maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen değerli abim Okan PISIK'a, mühendislik bilgi birikimi ve manevi desteğiyle her an yanımda olan Kimya Mühendisi Ebrar EROğLU'na teőekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	2
PASLANMAZ ÇELİKLER.....	2
2.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ÜSTÜNLÜKLERİ.....	3
2.1.1. Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar .....	3
2.1.2. İmalat Kolaylığı.....	3
2.1.3. Korozyon Dayanımı .....	3
2.1.4. Mekanik Dayanım .....	5
2.1.5. Uzun Ömürlü Olması.....	5
2.1.6. Hijyenik Yapısı.....	6
2.1.7. Görünüm.....	7
2.2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	7
2.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler .....	8
2.2.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	10
2.2.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	12
2.2.4. Çift Bazlı Ferritik- Östenitik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler.....	14
2.2.5. Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler .....	16

	<u>Sayfa</u>
2.3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KULLANIM ALANLARI .....	18
2.3.1. Otomotiv Sektörü .....	18
2.3.2. Havacılık Sektörü .....	20
2.3.3. Denizcilik Sektörü .....	21
2.3.4. İnşaat, Yapı ve Mimarlık Sektörü.....	24
2.3.5. Kimya, Petrol ve Gaz Endüstrisi .....	29
2.3.5. Tıbbi Uygulamalar.....	30
2.3.6. Gıda Sektörü .....	32
BÖLÜM 3 .....	34
TEL EROZYON .....	34
3.1. TEL EROZYON VE ÇALIŞMA PRENSİBİ .....	34
3.2. TEL EROZYONUN AVANTAJLARI .....	36
3.2.1. Karmaşık Şekillerin Kesilebilirliği .....	36
3.2.2. Sert Malzemelerin Kesimi .....	36
3.2.3. Yüksek Tolerans Değerleri .....	37
3.2.4. Hızlı İşleme.....	37
3.2.5. Maliyet.....	37
BÖLÜM 4 .....	38
MATERYAL VE METOD .....	38
4.1. DENEYDE KULLANILACAK MODELİN SEÇİLMESİ .....	39
4.1.1. Deneyde kullanılacak Modelin İsimlendirilmesi.....	40
4.2. DENEYDE KULLANILAN MALZEME .....	41
4.3. DENEYDE KULLANILAN TEL EROZYON TEZGAHI .....	43
4.4. DENEYDE KULLANILAN TEL.....	46
4.5. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI .....	47
4.5.1. Koordinat Ölçüm Cihazı (CMM) .....	47
4.5.2. Yüzey Pürüzlülüğü Cihazı.....	48
4.5.3. Sertlik Ölçüm Cihazı .....	49

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	52
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	52
5.1. Boyutsal Ölçüm Uygunluğu.....	52
5.2. Yüzey Pürüzlülük Değeri .....	57
5.3. Sertlik Değerleri .....	61
BÖLÜM 6 .....	67
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	67
6.1. SONUÇLAR .....	67
6.2. ÖNERİLER .....	69
KAYNAKLAR .....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	74

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Oksit filmin yüzeyi yeniden inşası işlemi .....	4
Şekil 2.2. Krom içeriğinin korozyona etkisi.....	5
Şekil 2.3. Farklı paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları.....	8
Şekil 2.4. Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı .....	9
Şekil 2.5. Östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı .....	11
Şekil 2.6. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısının dönüşümü.....	13
Şekil 2.7. Çift bazlı ferritik- östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı.....	15
Şekil 2.8. Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliğin mikro yapısı.....	16
Şekil 2.9. Paslanmaz çelikten üretilmiş parçalar .....	20
Şekil 2.10. Paslanmaz çelikten üretilen bazı uçak parçaları.....	21
Şekil 2.11. Yat imalatında paslanmaz çelik içeren parçalar .....	23
Şekil 2.12. Tankerin paslanmaz duvarlara sahip depolama tankı .....	24
Şekil 2.13. Paslanmaz çelikten üretilen baraj kapakları .....	25
Şekil 2.14. Paslanmaz malzemeden üretilen içme suyu taşıma köprüsü.....	26
Şekil 2.15. Paslanmaz çelik ızgaradan yapılmış yaya köprüsü .....	27
Şekil 2.16. Buz hokeyi stadyumu dış cepe giydirmesi 1.2 mm paslanmaz çelik paneller .....	28
Şekil 2.17. Folie Sanat Merkezinin dış cephesini saran paslanmaz spiral örgü .....	29
Şekil 2.18. İnsan vücudunda kullanılan bazı medikal parçalar .....	31
Şekil 2.19. Paslanmaz çelikten imal edilmiş mutfaklar dabilunan alet ve tezgahlar .....	33
Şekil 2.20. Paslanmaz çelikten imal edilmiş süt tankları .....	33
Şekil 3.1. Tel erozyon çalışma prensibi .....	36
Şekil 4.1. Modele ait görsel.....	39
Şekil 4.2. Modellerin isimlendirilmesi .....	40
Şekil 4.3. Modellerin X-Y boyutları .....	40
Şekil 4.4. 17-4 PH kalite paslanmaz çelik çekme-gerinim grafiği .....	43
Şekil 4.5. Robofil 440 SLP tel erozyon tezgahı .....	44
Şekil 4.6. Robofil 440 SLP tel erozyon tezgahının iç yapısı.....	45

## Sayfa

Şekil 4.7. DEA GLOBAL STATUS marka üç boyutlu koordinat ölçüm cihazı ....	48
Şekil 4.8. MİTUTOYO SJ 310 cihazı .....	49
Şekil 4.9. Struers Duramin 500 sertlik ölçme cihazı .....	50
Şekil 5.1. Tekli kesim ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi .....	53
Şekil 5.2. Çiftli kesim ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi .....	54
Şekil 5.3. Çiftli kesim ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi .....	54
Şekil 5.4. Tekli kesim yüzey pürüzlülüğü değerlerinin grafiksel gösterimi.....	59
Şekil 5.5. Çiftli kesim yüzey pürüzlülüğü değerlerinin grafiksel gösterimi.....	59
Şekil 5.6. Üçlü kesim yüzey pürüzlülüğü değerlerinin grafiksel gösterimi .....	60
Şekil 5.7. Tekli kesim sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi .....	63
Şekil 5.8. Çiftli kesim sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi .....	63
Şekil 5.9. Çiftli kesim sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi .....	64

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Ferritik paslanmaz çelikler kimyasal bileşenleri .....	9
Çizelge 2.2. Ferritik paslanmaz çelikler mekanik özellikleri.....	10
Çizelge 2.3. Karbon içeriğindeki farklılıklar .....	11
Çizelge 2.4. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri .....	12
Çizelge 2.5. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri .....	14
Çizelge 2.6. Çift bazlı ferritik- östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri .....	15
Çizelge 2.7. Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri.....	17
Çizelge 4.1. 17-4 PH kalite paslanmaz çelik kimyasal özellikleri.....	41
Çizelge 4.2. 17-4 PH kalite paslanmaz çelik mekanik özellikleri .....	42
Çizelge 4.3. Robofil 440 SLP tel erozyon tezgahına ait teknik özellikleri.....	45
Çizelge 4.4. Robofil 440 SLP tel erozyon tezgahının unsurlarına ait teknik özellikler .....	46
Çizelge 4.5. Ø 0,25mm tele ait teknik özellikler .....	47
Çizelge 4.6. DEA GLOBAL STATUS üç boyutlu koordinat ölçüm cihazı teknik özellikleri .....	48
Çizelge 4.7. MİTUTOYO SJ 310 cihazı teknik özellikleri.....	49
Çizelge 4.8. Struers Duramin 500 sertlik ölçme cihazı teknik özellikleri .....	51
Çizelge 4.9. Struers Duramin 500 sertlik ölçme cihazı genel özellikleri.....	51
Çizelge 5.1. Boyutsal ölçüm sonuçları.....	53
Çizelge 5.2. Yüzey pürüzlülük değerleri .....	58
Çizelge 5.3. Sertlik ölçüm değerleri.....	62

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

3D	: 3 Dimension
3B	: 3 Boyut
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
ASTM	: Amerikan Malzeme ve Test Cemiyeti
SLA	: Stereolitografi Cihazı
IOM	: Tabakalı Yapıştırırmalı Parça İmalatı
MJM	: Çok Jetli Modelleme
SDM	: Şekil Birleştirme İmalatı
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
EBM	: Elektron Işınlı Ergitme
CNC	: Bilgisayar Sayımlı Yönetim
FDM	: Ergiyik Birikimli Modelleme
SGC	: Katı Tabaka Kırleme
AR-GE	: Araştırma Geliştirme Enstitüsü
ÜR-GE	: Üretim Geliştirme Enstitüsü
PVA	: Polivinil Alkol
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
N	: Newton (Kuvvet Birimi)
Mm	: Milimetre (Uzunluk Birimi)
MPa	: Mega Pascal (Basınç Birimi)
GPa	: Giga Pascal (Basınç Birimi)



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Paslanmaz çelik malzemeler korozyon dayanımları yanı sıra yüksek mukavemet, yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygunluk, kolay şekillendirilebilirlik ve estetik görünümleri gibi üstün özellikleri mevcut bir malzeme türüdür. Havacılık, otomotiv, savunma, deniz sanayi, endüstriyel alanlar, kimya işleme petrol ve gaz endüstrisi, enerji, mimarlık ve yapı, tıbbi uygulamalar ve gıda sektörü gibi birçok alanda kullanımı hızla artmaktadır. Paslanmaz çelik malzemelerin ömür oranları dikkate alındığında birçok ürünün tasarımında paslanmaz malzeme seçimi, üstün özelliklerinin yanı sıra ekonomik yapısını da ön plana çıkarmaktadır. Paslanmaz çelik malzemeler içerisinde iyi süneklik ve tokluğun yanı sıra iyi derece korozyon dayanımı gösteren 17-4 Ph paslanmaz çelik malzemeler dikkat çekmektedir. Bu malzemeler, martenzitik çeliklerle kıyaslandığında, korozyon ve mukavemet dayanımlarının iyi bir kombinasyonu elde edilir. 17-4 Ph paslanmaz çelik malzemelerde birçok alanda kullanıldığı gibi özellikle savunma sanayinde füze ve roket gövdelerinde, uçakların dış yüzey ve iniş takımlarında, deniz taşıtlarında, yakıt tanklarında ve daha birçok alanda yaygın bir kullanım alanı mevcuttur. Üstün özellikleri ve kullanım sahasının hızla artması sebebi ile 17-4 Ph malzemelerin işlenmesi, kesilmesi ve şekillendirilmesi açısından uygun parametre ve yöntemlerin bilinmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada 17-4 Ph malzemesinin geleneksel imalat yöntemlerinin aksine bir tel aracılığı ile tel erozyon tezgahında uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## BÖLÜM 2

### PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler, uzun ömürlü ve yüksek korozyon dayanımı gibi sergilediği üstün özellikler sayesinde endüstriyel sektörde geniş bir kullanım sahası sayesinde vazgeçilmez bir malzeme olarak yerini almaktadır. Mekanik özellikleri, süneklik ve yüksek deformasyon sertleşmesi paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinde en önemli kriterlerdir [1].

Bu çelikler, çevre dostu, hijyenik yapısı ve yüksek korozyon direnci gibi başlıca özelliklere sahiptirler. Piyasada, çok farklı çeşitte paslanmaz çelik malzeme bulunmaktadır. Fakat makine, imalat ve üretim sanayisinde en yaygın kullanılanları ise, ferritik ve östenitik paslanmaz çelikleridir [2].

Demirin oksijenle tepkimesi sonucu neticesinde pas olarak adlandırılan madde oluşur. Normal çeliğin içinde bulunan demir zaman içinde havada bulunan oksijen ile tepkimeye girerek pas oluşturur. Pas yüzeyde oluşur ve aktiftir. Bu sebeple yüzeyden başlayarak yayılmasına ve fazla pas oluşmasına sebep olur.

Paslanmaz çelik özellikle yıpranmaya, lekelenmeye ve her şeyden önemlisi paslanmaya karşı hayli dirençli bir çelik türüdür. Malzemeye bu niteliklerini yapısında ki en az % 10,5 oranda bulunması gereken krom kazandırır. Malzeme yapısında krom yeterli oranda bulunduğu malzeme yüzeyinde oksitlenme sonucu krom oksit tabakası oluşur. Bu tabaka gözle görülemeyecek kadar çok ince olup, alaşımın ışıltılı görünmesine neden olur. Havanın ve suyun malzemeye ulaşmasına engel olan tabaka, yıpranmanın malzemenin içene doğru yayılmasına engel olur. Ayrıca yüzeydeki krom oksit tabakası ezilmeler, yıpranmalar çizilmeler veya başka etkenler ile bozulması neticesinde kolaylıkla yeniden oluşabilmektedir. Paslanmaz çelikten yapılan malzemelerin uzun ömürlü olmaları bu durum ile açıklanmaktadır.

Paslanmaz çeliklerin bir diğere özelliği de tamamen geri dönüştürülebilir bir malzeme olmasıdır [3].

Kısaca yapısında en az %10,5 oranında krom içeren paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri, düşük ve yüksek sıcaklıklar da kullanabilmeleri, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması gibi özelliklere sahiptirler.

## **2.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ÜSTÜNLÜKLERİ**

### **2.1.1. Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar**

Birtakım paslanmazlar yüksek sıcaklıklarda mekanik dayanımı koruma özelliklerine sahiptirler. Sıcaklık karşısında mekanik dayanımlarının güçlü olması ve düşük sıcaklıklarda kuvvet karşısında şekil değiştirmeden yapısını koruyabilmesi en önemli özelliklerindedir [4].

### **2.1.2. İmalat Kolaylığı**

Paslanmaz çelikler şekil değiştirme işlemlerine tabi tutulabilirler özelliğindedirler. Takım tezgahların da işlenebilirler [5]. İşlenebilirliğin yanı sıra kaynak yapılabilme özelliklerine sahiptirler [6]. Paslanmaz çelikler kesme, sıcak ve soğuk şekillendirme, bükme ve sıvama yöntemleri ile şekillendirilebilirler [7].

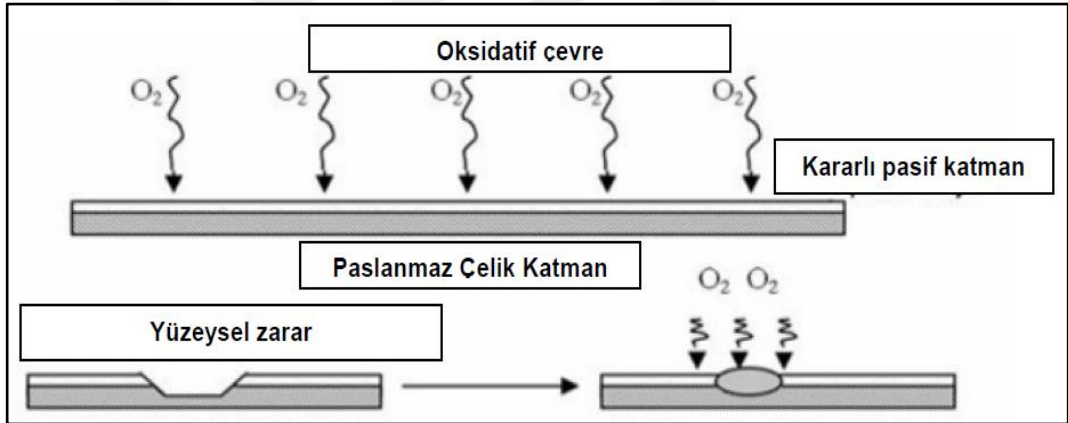
### **2.1.3. Korozyon Dayanımı**

Korozyon; bir malzemenin (genelde metal veya alaşımın) içinde bulunduğu ortamla tepkimeye girmesi sonucu malzemenin mekanik, kimyasal, fiziksel veya elektriksel özelliğinde değişim olması ve tasarımın esas amacına hizmet edemez hale gelmesine verilen isimdir [8].

Paslanmaz çelikler çevresel etmenlere karşı yüzeysel oksit katmanları tarafından çok çok ince bir tabaka ile korunmaktadır. Ne yazık ki bu katmanlar mükemmel olmadığı

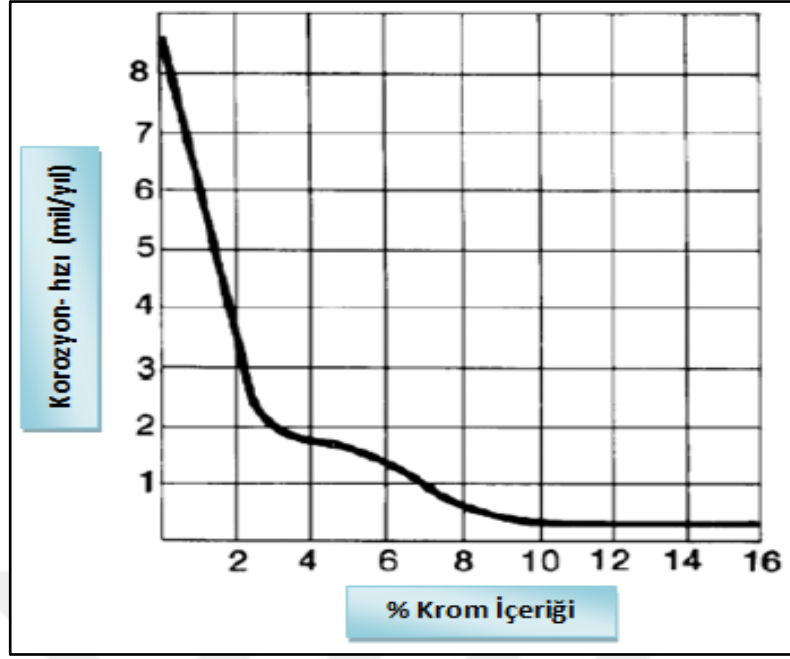
gibi bölgesel yıkıma karşı da zayıftırlar. Böyle bir durumun oluşması neticesinde malzeme çok hızlı bir şekilde korozyona uğrar.

Günümüzdeki paslanmaz çelikler ağırlıkça %10,5'ten fazla krom içeren demir ve karbon alaşımlarıdır. Bu paslanmaz alaşımlar; titanyum, molibden, nikel gibi farklı elementler de içerebilir. Niyobyum, molibden, nikel ve krom paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını arttırlar. Bu alaşımlar kirlenmemiş ortamlarda lekelenme ve paslanma yapmazlar. Sebebi ise malzeme yüzeyinde hızlı bir şekilde oluşan Krom-Oksit ( $Cr_2O_3$ ) tabakasıdır. Gözle görülemeyecek kadar ince olan bu tabaka paslanmaz çeliği atmosfer koşullarında korozyona karşı korumaktadır ve pasivasyon tabakası ya da pasif film tabaka adını alır. Şekil 2.1'de oksit filmin yüzeyi yeniden inşası işlemi gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Oksit filmin yüzeyi yeniden inşası işlemi [9].

Korozyon dayanımı bakımından bütün paslanmaz çelikler için krom içeriği belirleyici unsurdur. Normal atmosferik şartlarda %10,5 veya daha fazla krom içeriği koruyucu pasivasyon tabakası oluşumunu sağlar. Malzeme yapısındaki krom içeriğinin artırılması ile pasivasyon tabakası daha da güçlenmiş olup kendini iyileştirebilme özelliği artacaktır. Kısaca korozyon dayanımı da buna bağlı olarak artacaktır. Şekil 2.2'de Krom içeriğinin korozyona etkisi grafikte gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Krom içeriğinin korozyona etkisi [9].

Malzeme yapısında %17 krom içeriğine sahip bir paslanmaz çelik yüksek bir korozyon dayanım değerine sahipken bu oranın %28'e arttırılması ile korozyona karşı daha da dayanımlı bir paslanmaz çelik alaşımı elde edilir. Nikelin malzeme yüzeyinde pasivasyon tabakasının oluşum hızına güçlü bir pozitif katkısı vardır [9].

#### 2.1.4. Mekanik Dayanım

Paslanmaz çelikler, korozif ortamlarda çalışacak yapı ve makine elemanlarının en önemli malzemesi olmakla birlikte; üstün mekanik ve dayanım özellikleri sayesinde kimya, petro-kimya, uçak, gıda, ilaç endüstrisinde, takım, paslanmaz eşya endüstrisinde ve nükleer enerji santrallerinde geniş kullanım alanına sahiptirler [10]. Paslanmaz çeliklerin bazı sınıflarına ısıl işlem uygulaması ile sertlik ve mukavemet kazandırma işlemleri uygulanabilir.

#### 2.1.5. Uzun Ömürlü Olması

Paslanmaz çelik malzemeler tasarımsal görevlerini uzun ömürlü ve güvenilir şekilde yerine getirebilme özelliğine sahiptir. Bakımlarının kolay olması ve dayanıklı

malzeme yapısı sayesinde kullanım ömrü dikkate alındığında ekonomik özelliği dikkat çekmektedir.

### **2.1.6. Hijyenik Yapısı**

Gıda endüstrisinde korozyon, ekipmanların ömrünü doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen olumsuz bir faktördür. Bu olumsuz durumun üstesinden gelebilmek için paslanmaz çeliklerin üretimi gerçekleştirilmiştir [11].

Paslanmaz çelik ürünler kamu mutfaklarında, okullarda, restoranlarda, yerel sağlık merkezlerinde vs. hijyenin iyileştirilmesinde aktif rol oynamaktadır. Paslanmaz çeliğin hijyenik, kolay bakım ve estetik özellikleri için tüketici tercihinin arttığı hissedilmektedir.

Paslanmaz çeliğin temizlenebilirliği, cam ve çinkonunkine benzer ve plastik, alüminyum ve toprak malzemededen çok daha üstündür. Korozyon direnci, dayanıklılık, lezzet koruması, ekonomi ve estetik özellikleri sayısız gıda ile ilgili uygulamalara kabul edilmesini sağlamıştır. Kir veya bakteri barındırmak için hiçbir gözenek veya çatlak bulunmayan paslanmaz çelik, en zorlu temizlik işlerinde bile sabun ve su ile kolayca temizlenebilmektedir. Temizlik, süt, işlenmiş gıdalar ve alkollü içecekler gibi yenilebilir ürünlerin tadının bozulmaması, renginin değişmemesi ve kirlenmemesi açısından da önemlidir. Bir parça gıda maddesinden bir sonraki partiye tat veya koku durumunda aktarma olmaması paslanmaz çeliğin olağanüstü faydalarından biridir. Bu durum gıda işlemede özellikle hijyenik öneme sahiptir.

Yemek servisi ekipmanlarında, aşındırıcı akışkanlara, aşındırıcı maddelere ve darbeye neden olan kaplara dayanmak, istenmeyen bileşikler bırakmak ve çekici görünümünü korumak için paslanmaz çelik gerekir. Paslanmaz çeliğin bu katı talepleri yerine getirme kabiliyeti ve eşzamanlı olarak üstün temizlenebilirlik sağlaması ve kritik olarak hijyen, malzemenin gıda hizmeti endüstrisinde bir numaralı tercih olarak kabul edilmesine yol açmıştır [12].

### **2.1.7. Görünüm**

Parlak, kolayca tutulan paslanmaz çelik yüzeyi, geniş ve büyüyen uygulamalar için ideal, çekici ve çağdaş bir görünüm sağlar. İş estetik bir çekiciliğe ihtiyaç duyuyorsa, metalin görünüşü dikkate alınmalıdır. Özel görünümde paslanmaz çelikler, kozmetik bir görünüm arandığında genellikle tercih edilirler.

Paslanmaz çeliğin, özellikle mimarlar, tasarımcılar ve dekoratörler ile en çok tanınan niteliklerinden biri, kuşkusuz, mekanik özelliklerinin ötesinde, kendi ortamında bir tasarım öğesi oluşturma yeteneğidir. Gerçekten de paslanmaz çelik, çok yönlülüğü ve çok çeşitli kalınlıklar nedeniyle nadiren eşit olan bir mimari yaratma ve tasarım özgürlüğü sunar. İç mekanda veya dış mekanda, bir bina, mağaza, oda veya belirli bir nesne için paslanmaz çelik seçmek, dayanıklılığı tasarımıyla birleştiren bir metalin asaletine giden yol anlamına gelir.

Doğru cilalanmış ve gerekli yüzey işlemleri yapılmış paslanmaz çelik yüzey, deniz veya nükleer endüstriler gibi agresif ortamlarda kullanım için, kabaca veya kötü cilalanmış yüzeyden korozyona karşı daha iyi bir dirence sahiptir. Tüm paslanmaz çelik yüzeyler, bakıldığında ve doğru şekilde temizlendiğinde daha iyi performans gösterir.

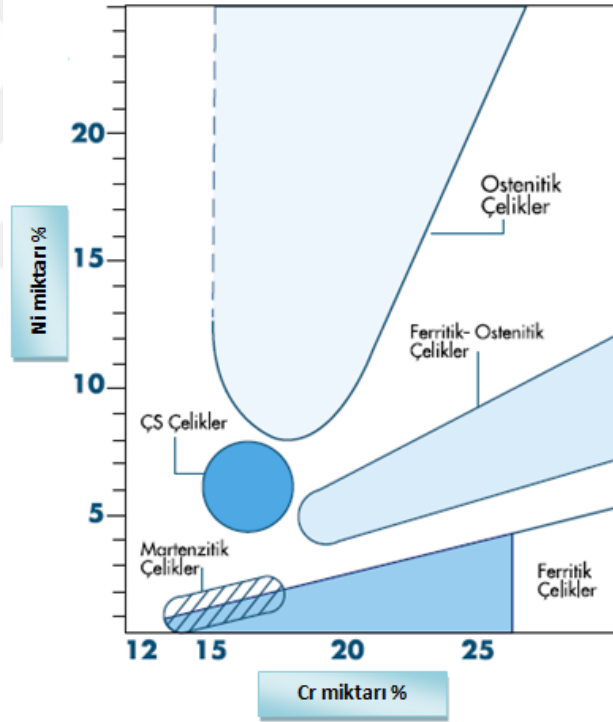
### **2.2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI**

Paslanmaz çeliklerin kimyasal yapılarındaki bileşim değiştirilerek farklı niteliklere sahip alaşımlar elde edilebilir. Korozyon dayanımlarının artırılması için, malzeme yapısındaki krom miktarının yükseltilmesi veya nikel ve molibden gibi alaşım elementlerinin eklenmesi sağlanır. Bunun yanı sıra, alüminyum, silisyum, titanyum, bakır, niyobyum, azot, selenyum ve kükürt gibi bazı elementler eklenerek pozitif etkiler sağlanabilir. Paslanmaz çeliklerin yapısını belirleyen en hassas öneme sahip alaşım elementleri, sırası ile krom, nikel, molibden ve mangandır.

İçerdikleri katkı elementlerine göre paslanmaz çeliğin tamamen ferritik ile tamamen östenitik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır [6]. Farklı paslanmazlar için grafik Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Bunlar;

- Ferritik paslanmaz çelikler
- Östenitik paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Çift bazlı Ferritik- Östenitik (dubleks) paslanmaz çelikler
- Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler



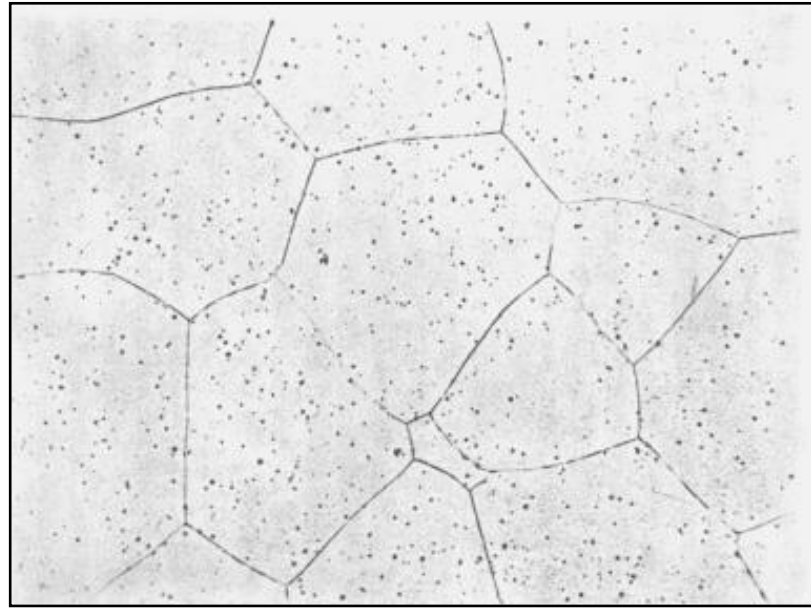
Şekil 2.3. Farklı paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları (Ç.S: çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar) [13].

### 2.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, yapılarında %17-26 krom ihtiva ederler. Tokluk ve şekillendirme özelliklerinin düşük olmasına mukabil, korozyon mukavemetleri yüksektir. Bu çeliklerde, karbon miktarı max. %0,2'dir [14].



Ferritik alaşımlar sertleşemezler. Manyetikler ve birçok ortamda korozyona karşı iyi direnç gösterirler. Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür ve östenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezler [15]. Dayanımları ısıtılabilir ve arttırılmaz ve kullanabilmek için tavlınmaları gerekmektedir [13]. 405, 409, 429, 430, 430F, 430F Se, 434, 436, 442 ve 446 serileri bu grupta yer alan ürünlerdir [6]. Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı Şekil 2.4'te, ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri Çizelge 2.1'de ve mekanik özellikleri ise Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [16].

Çizelge 2.1. Ferritik paslanmaz çelikler kimyasal bileşenleri [15].

Tip	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Diğerleri
405	0,08	1,00	0,040	0,030	1,00	11,50/14,50	0,60	0,60 0,75/1,25 0,75/1,25	0,10/0,30 Al 6xC/0,75 Ti 0,15 Se 5xC/0,70Cb+Ta 0,25N
409	0,08	1,00	0,045	0,045	1,00	10,50/11,75	0,50		
429	0,12	1,00	0,040	0,030	1,00	14,00/16,00	0,75		
430	0,12	1,00	0,040	0,030	1,00	16,00/18,00	0,75		
43F	0,12	1,25	0,060	0,15	1,00	16,00/18,00			
430FSe	0,12	1,25	0,060	0,060	1,00	16,00/18,00			
434	0,12	1,00	0,040	0,030	1,00	16,00/18,00			
436	0,12	1,00	0,040	0,030	1,00	16,00/18,00			
442	0,20	1,00	0,040	0,030	1,00	18,00/23,00	0,60		
446	0,20	1,50	0,040	0,030	1,00	23,00/27,00	0,75		

Çizelge 2.2. Ferritik paslanmaz çelikler mekanik özellikleri [15].

Tip	Tensile Strength		Yield Strength		Elongation %	Hardness Rochwell	Product Form
	ksi	MPa	ksi	MPa			
405	65	448	40	276	25	875	Plate
409	65	448	35	241	25	875	
429	70	483	40	276	30	880	
430	75	517	50	345	25	885	
43F	95	655	85	586	10	892	Wire
430FSe	95	655	85	586	10	892	
434	77	531	53	365	23	883	Bar
436	77	531	53	365	23	883	
442	80	552	45	310	20	890	
446	80	552	50	345	20	883	

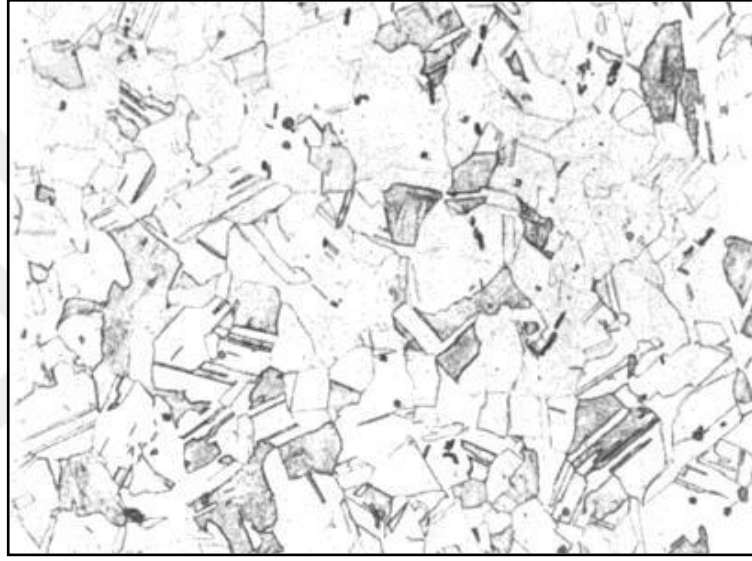
### 2.2.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliğin bileşiminde yeteri oranda nikel bulunması durumunda, içyapısı oda sıcaklığında dahi östenitik olur. Östenitik çeliklerin temel bileşimi %8 nikel ve %18 kromdur. Östenitik paslanmaz çelikler, mekanik özellikler, korozyon dayanımı ve biçimlendirilmeleri bakımından çok uygun bir kombinasyon sunarlar [13]. Özellikle korozyon direnci açısından önemli üstünlükleri bulunmaktadır. Temel alaşım elementleri nikel ve krom olan östenitik paslanmaz çelikler 200 ve 300 serilerini oluştururlar. Geniş bir sıcaklık aralığına sahip olan bu alaşımlar yüksek dayanım ve yüksek tokluk değerleri ile ön plana çıkarlar ve oksidasyona karşı 540 °C'ye kadar ki sıcaklıklarda dayanım gösterirler. Bu çeliklerin grubunda yer alan malzemelerin en önemlileri 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 sınıf paslanmaz çeliklerdir [10]. Yüksek sıcaklıklara dayanımları sayesinde ısıtıcı ve ısıya maruz kalan ürün gruplarında 35 yıldan beri kullanılmakta olup mükemmel performans sağlamışlardır. Yüksek sıcaklıklı kazan uygulamaları için, en yaygın kullanılanlar 304, 321 ve 347 olan üç genel kalitedir. Bu sınıflandırmaların içinde, L veya H harfleri ile gösterilen büyük harfle belirtilen diğer sınıflar vardır. Farklılıklar yalnızca karbon içeriğindedir [17]. Çizelge 2.4' de karbon içeriğindeki farklılıklar gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Karbon içeriğindeki farklılıklar [17].

Eleman	304 L	304	304 H
Karbon, %	0.035 Max	0.08 Max	0.04-0.10

Şekil 2.5'te östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı, Çizelge 2.4' te östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [16].

Çizelge 2.4. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri [15].

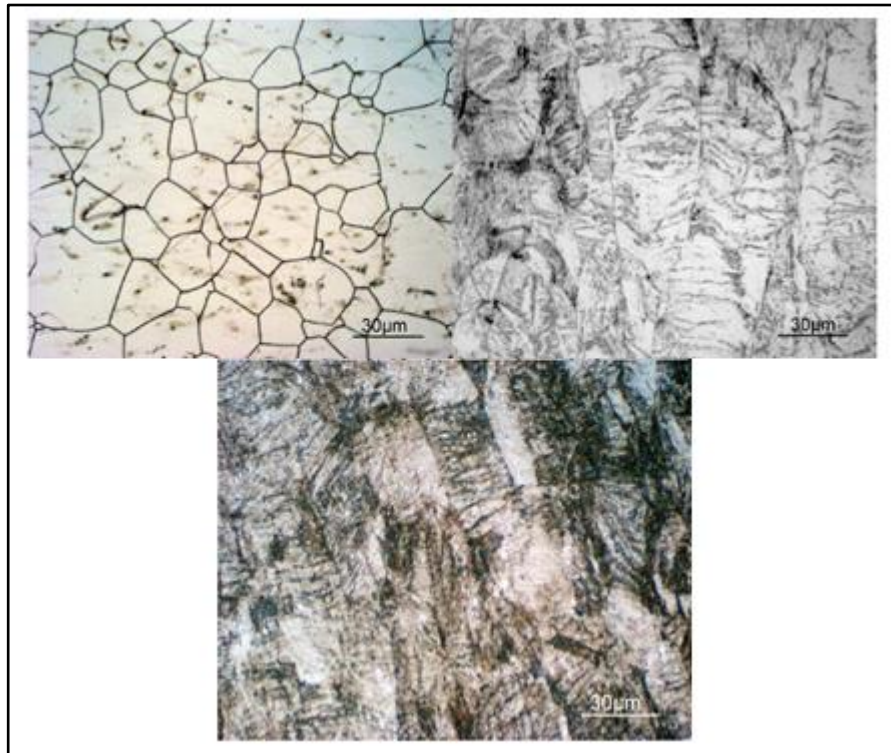
AUSTENITIC STAINLESS STEELS										Nominal Mechanical Properties (Annealed Sheet unless noted otherwise)						
Chemical Analysis % (Max. unless noted otherwise)										Tensile Strength ksi	MPa	Yield Strength (0.2% offset) ksi	MPa	Elongation in 2" (50.80mm) %	Hardness (Rockwell)	Product Form
Type	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Other							
201	0.15	5.50-7.50	0.030	0.030	1.00	16.00-18.00	3.50-5.50		0.25N	95	655	45	310	40	B90	
202	0.15	7.50-10.00	0.030	0.030	1.00	17.00-19.00	4.00-6.00		0.25N	90	612	45	310	40	B90	
205	0.12-0.25	14.00-15.50	0.030	0.030	0.50	16.50-18.00	1.00-1.75		0.32-0.40N	120.5	831	69	476	58	B98 (Plate)	
301	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00-18.00	6.00-8.00			110	758	40	276	60	B85	
302	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00			90	612	40	276	50	B85	
302B	0.15	2.00	0.045	0.030	2.00-3.00	17.00-19.00	8.00-10.00			85	655	40	276	55	B85	
303	0.15	2.00	0.20	0.15 <sub>(max)</sub>	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	0.60*		90	621	35	241	50	(Bar)	
303Se	0.15	2.00	0.20	0.060	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	0.15Se <sub>(max)</sub>		90	621	35	241	50	(Bar)	
304	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00-20.00	8.00-10.50			84	579	42	290	55	B80	
304L	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00-20.00	8.00-12.00			81	558	39	269	55	B79	
S30430	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	3.00-4.00Cu		73	503	31	214	70	B70 (Wire)	
304N	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00-20.00	8.00-10.50	0.10-0.16N		90	621	48	331	50	B85	
305	0.12	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	10.50-13.00			85	586	38	262	50	B80	
308	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	19.00-21.00	10.00-12.00			115	793	80	552	40	(Wire)	
309	0.20	2.00	0.045	0.030	1.00	22.00-24.00	12.00-15.00			90	621	45	310	45	B85	
309S	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	22.00-24.00	12.00-15.00			90	621	45	310	45	B85	
310	0.25	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00-26.00	19.00-22.00			95	655	45	310	45	B85	
310S	0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00-26.00	19.00-22.00			95	655	45	310	45	B85	
314	0.25	2.00	0.045	0.030	1.50-3.00	23.00-26.00	19.00-22.00			100	689	50	345	40	B85	
316	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00		84	579	42	290	50	B79	
316F	0.08	2.00	0.20	0.10 <sub>(max)</sub>	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	1.75-2.50		85	586	38	262	60	B85	
316L	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00		81	558	42	290	50	B79	
316N	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00	0.10-0.16N	90	621	48	331	48	B85	
317	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00-20.00	11.00-15.00	3.00-4.00		90	621	40	276	45	B85	
317L	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00-20.00	11.00-15.00	3.00-4.00		86	593	38	262	55	B85	
317LMN	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00-20.00	13.50-17.50	4.00-5.00	0.10-0.20N	96	662	54	373	49	B98	
321	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	9.00-12.00		5xC Ti <sub>(max)</sub>	90	621	35	241	45	B80	
330	0.08	2.00	0.040	0.030	0.75-1.50	17.00-20.00	34.00-37.00		0.10Ta 0.20Cb	80	552	38	262	40	B80	
347	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	9.00-13.00		10xC Cb <sub>(max)</sub>	95	655	40	276	45	B85	
348	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	9.00-13.00		Cb + Ta 10xC <sub>(max)</sub> Ta 0.10 <sub>max</sub> Co 0.20 <sub>max</sub>	95	655	40	276	45	B85	
384	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	15.00-17.00	17.00-19.00			75	517	35	241	55	B70 (Wire)	

### 2.2.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Yüksek sıcaklıklarda karbon miktarı %0,1 den fazla olan çelikler östenitik iç yapıya sahiptirler. Bu sıcaklık çeliğin türüne göre 950-1050°C arasındadır. 950-1050°C arasındaki sıcaklığa maruz kalan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Bu şekilde elde edilen mekanik dayanım ve yüksek sertlik, karbon yüzdesi ile birlikte artar [13]. Martenzitik paslanmaz çelik yapılarında (ağırlıkça%) 11.5-18 Cr, 0.15 ila

1.2 C içerir [16]. Dayanıklılık, tokluk, korozyon direnci ve işlenebilirlik kombinasyonunun iyileştirilmiş bir kombinasyonuna sahip olan martenzitik paslanmaz çelikler 30 ila 40 HRC aralığında bir sertliğe sahiptir [18] Bu grubun üyesi bazı paslanmaz çelikler AISI 403, AISI 410, AISI 414, AISI 416 vb. AISI 420 kalite çeliklerdir [9].

Diğer paslanmaz çeliklere kıyasla, fiyatları nispeten düşük olması ve en önemli niteliklerinden biri ısı işlem ile sertleştirilebilme özelliğine sahip olmalarının yanında birtakım dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar temperleme sırasında, bu tip çelikler, temper kırılmalığının gelişmesine yatkındır. Standart östenitik paslanmaz çeliklerden daha düşük korozyon direnci sergilerler. Ayrıca hidrojen nedeniyle kırılmalığa ve klorür ve sülfid ortamlarında korozyon çatlağına eğilimlidirler [16]. Şekil 2.6' da martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısının dönüşümüne ait görsel, Çizelge 2.5'te martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısının dönüşümü [19].

Çizelge 2.5. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri [15].

Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşimi									
Tip	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Diğerleri
403	0,15	1,00	0,040	0,030	0,50	11,50/13,00			
410	0,15	1,00	0,040	0,030	1,00	11,50/13,50			
414	0,15	1,00	0,040	0,030	1,00	11,50/13,50	1,25/2,50		
416	0,15	1,25	0,60	0,15	1,00	12,00/14,00		0,60	
416Se	0,15	1,25	0,60	0,060	1,00	12,00/14,00			0,15 Se
420	0,15	1,00	0,40	0,030	1,00	12,00/14,00			
420F	0,15	1,25	0,60	0,15	1,00	12,00/14,00		0,60	
422	0,20/0,25	1,00	0,25	0,025	1,75	11,00/13,00	0,50/1,00	0,75/1,25	0,15/0,30 V
431	0,20	1,00	0,040	0,030	1,00	15,00/17,00	1,25/2,50		0,75/1,25 W
440A	0,60/0,75	1,00	0,040	0,030	1,00	16,00/18,00		0,075	
440B	0,75/0,95	1,00	0,040	0,030	1,00	16,00/18,00		0,075	
440C	0,95/1,20	1,00	0,040	0,030	1,00	16,00/18,00		0,075	
Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri									
Tip	Kopma Dayanımı		Akma Dayanımı		% Uzama	Rockwell Sertliği	Üretim Şekli		
	ksi	MPa	ksi	MPa					
403	70	483	45	310	25	B80			
410	70	482	45	310	25	B80			
414	120	827	105	724	15	B98			
416	75	517	40	276	30	B82	Bar		
416Se	75	517	40	276	30	B82	Bar		
420	95	655	50	345	25	B92	Bar		
420F	95	655	55	379	22	220	Bar		
422	145	1000	125	862	18	320	Bar		
431	125	662	95	655	20	C24	Bar		
440A	105	724	60	414	20	B95	Bar		
440B	107	738	62	427	18	B96	Bar		
440C	110	758	65	448	14	B97	Bar		

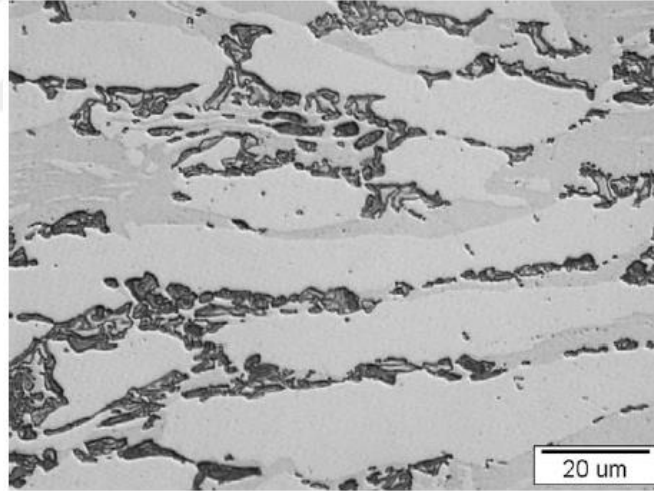
#### 2.2.4. Çift Bazlı Ferritik- Östenitik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler, yüksek oranda krom %18-28 ve orta miktarda nikel (%4,5-8) içermektedirler. Bütün içyapının östenitik olması için, nikel miktarının en çok %8 olması yetersiz bir durumdur. İçyapının östenit ve ferrit fazlarından oluşması nedeniyle bu çelikler dubleks olarak adlandırılır. Dubleks çeliklerin çoğunluğu %2,5-4 molibden içerir [13].

Dubleks paslanmaz çelikler, mekanik özelliklerinin de yüksek olmasının yanında korozyona karşı yüksek dayanımlarıyla da öne çıkmaktadırlar; yapıda östenit ve ferrit fazlarının bir arada bulunmasıyla hem korozyona karşı dayanım değeri hem de mekanik özellikler aynı anda gelişmektedir. Yapıdaki östenit süneklik ve genel

korozyon dayanımı, ferrit yapısı ise mekanik dayanım ve gerilmeli korozyon çatlağına karşı dayanım sağlar. Diğer paslanmaz çelik türlerine göre dubleks paslanmaz çeliklerin, sağladığı en önemli üstünlük; yüksek mekanik özellikleri sayesinde kullanım bölgesinde diğer paslanmaz çeliklere nazaran daha ince kesitli parça kullanımına olanak tanımlarındır.

Sınırlamaları ise, kaynak sonrası ısı etkisine maruz kalan bölgede yapılan ferritleştirme işlemi ile oyuklanma korozyon dayanımının düşmesi ve ısıl yaşlanma sonucunda meydana çıkan gevreklik sebebiyle kullanım sıcaklıklarının 260-300 °C ile sınırlanmasıdır. Sağladıkları üstün korozyon dayanımı ve mekanik özellikler sebebiyle gemicilik sektörü, petrokimya ve borulama hatlarında kullanılırlar [20]. Şekil 2.7’ de çift bazlı ferritik- östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısına ait görsel, Çizelge 2.6’de çift bazlı ferritik- östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Çift bazlı ferritik- östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [21].

Çizelge 2.6. Çift bazlı ferritik- östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri [20].

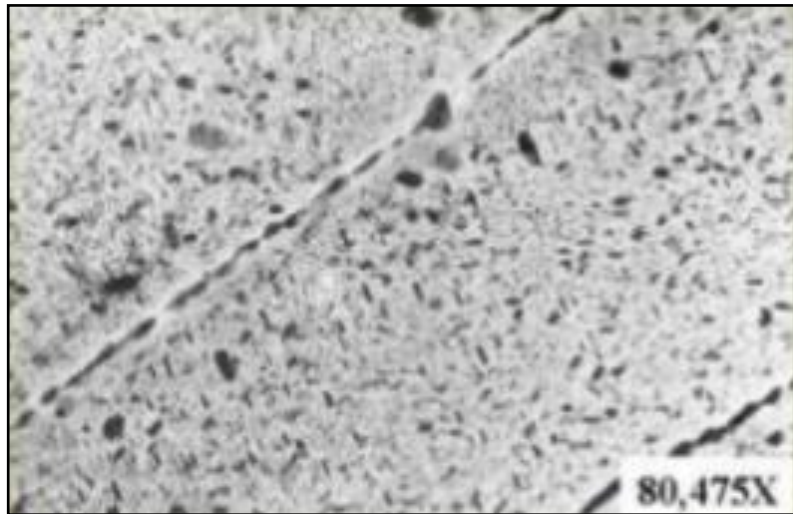
Alaşım	USN No	EN No	C	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
2304	S32304	1.4362	0,030	21,5/24,5	3,0/5,5	0,1/0,6	0,05/0,60	Cu: 0,01/0,6
2205	S31803	1.4462	0,030	21,0/23,0	4,5/6,5	2,5/3,5	0,08/0,20	
255	S32550	1.4507	0,04	24,0/27,0	4,5/6,5	2,9/3,9	0,10/0,25	Cu: 1,5/2,5
2507	S32750	1.4410	0,030	24,0/26,0	6,0/8,0	3,0/5,0	0,24/0,32	
Z100	S32760	1.4501	0,030	24,0/26,0	6,0/8,0	3,0/4,0	0,20/0,30	Cu:0,5/1,0 W:0,5/0,1

Çizelge 2.6. (Devam ediyor).

Alaşım	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Çentik darbe direnci (J)	PRE
2304	400	630-800	25	60	25
2205	460	640-840	25	60	32-34
255	490	890-960	25	60	
2507	530	730-930	20	60	>40
Z100	530	730-930	25	60	

### 2.2.5. Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin ana içyapıları yarı östenitik, östenitik veya martenzitik olabilir. Çökeltme olayını gerçekleştirebilmesi için bazen önce soğuk şekil vermek gerekebilir. Çökelti oluşumu için niyobyum, titanyum, bakır ve alüminyum elementleri ile alaşımlama yapılır. Bu işlem neticesinde mukavemetleri 1700 MP'a kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilir. Piyasada çözme tavı yapılmış halde satılır; Malzeme bu durumda yumuşak olup, imalat işlemlerine tabi tutulabilir ve sertlik kazandırılabilmesi için imalat işlemleri sonrasında tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırması ile sertleştirilebilir. Orta ila iyi derece korozyon dayanımlarına sahiptirler. Manyetik olup kaynak edilebilme kabiliyetleri yüksektir. En önemli üstünlükleri çok yüksek mekanik dayanım özelliklerine sahiptirler. Şekil 2.8' de çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliğin mikro yapısına ait görsel, Çizelge 2.7'de çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliğin mikro yapısı [15].



Çizelge 2.7. Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri [14].

AISI Ticari Sınıflama	Bileşim % Ağırlık	Isıl İşlem	Akma Gerilmesi MPa	Çekme Dayanımı MPa	% Uzama	% Kesit Daralması	Sertlik	
							BSD	Rockwell
<b>MARTENSİTİK</b>								
630 17-4 PH	0,04C, 0,25Mn, 0,2P, 0,01S, 0,60Si, 16,0Cr, 4,0Ni, (3,2Cu, 0,25Cb+Ta)	Çözeltiyeye alma tavlama	770	1050	12	45	365	-
		482°C'de 1 saat yaşlandırma	1295	1400	14	50	420	C <sup>14</sup>
		496°C'de 4 saat yaşlandırma	1225	1330	14	54	409	C <sup>42</sup>
		593°C'de 4 saat yaşlandırma	945	1050	17	58	332	C <sup>34</sup>
<b>YARI OSTENİTİK</b>								
17-7 PH (levha)	0,07C, 0,60Mn, 0,02P, 0,015S, 0,40Si, 17Cr, 7Ni, (1,15 Al)	Çözeltiyeye alma tavlama	280	910	35	-	-	B <sup>85</sup>
		565°C'de yaşlandırılmış	1330	1435	9	-	-	C <sup>43</sup>
		510°C'de yaşlandırma	1470	1575	6	-	-	C <sup>47</sup>
		482°C'de yaşlandırma sonra soğuk haddeleme	1880	1885	2	-	-	C <sup>49</sup>
632 PH 15-Mo (levha)	0,09C, 0,60Mn, 0,02P, 0,01S, 0,40Si, 15Cr, 7Ni, 2,20Mo (1,15 Al))	Çözeltiyeye alma tavlama	385	910	35	-	-	B <sup>88</sup>
		565°C'de yaşlandırma	1435	1505	7	-	-	C <sup>44</sup>
		510°C'de yaşlandırma	1505	1642	6	-	-	C <sup>48</sup>
		482°C'de yaşlandırma	1820	1855	2	-	-	C <sup>49</sup>
633 350 AM	0,10C, 0,80Mn, 0,02P, 0,010S, 0,25Si, 16,5Cr, 4,3Ni (2,75Mo, 0,10N))	Çözeltiyeye alma tavlama	420	1015	40	-	-	C20
		Çift yaşlandırma	1043	1302	12,5	-	-	C <sup>41,5</sup>
		0°C nin altında soğutma ve yaşlandırma	1384	1442	13,5	-	-	C <sup>45,19</sup>
		Soğuk haddeleme + Temperleme	1330	1470	10	-	-	-
634 355 AM	0,15C, 0,95Mn, 0,020P, 0,01S, 0,25Si, 1,55Cr, 4,3Ni (2,7Mo, 0,10N))	Çözeltiyeye alma tavlama	399	1120	26	-	-	-
		Çift yaşlandırma	1071	1316	16,5	51,5	-	-
		0°C nin altında soğutma ve yaşlandırma	1274	1512	19	38,5	-	-
		Soğuk haddeleme + Temperleme	1470	1610	12	12	-	-

Çizelge 2.7. (Devam ediyor).

AISI Ticari Sınıflama	Bileşim % Ağırlık	Isıl İşlem	Akma Gerilmesi MPa	Çekme Dayanımı MPa	% Uzama	% Kesit Daralması	Sertlik	
							BSD	Rockwell
OSTENİTİK								
17-10 P	0,12C, 0,55Mn, (0,25P), 0,03S, 0,60Si, 17Cr, 10Ni,	1231°C'de ½ saat çözeltiyeye alma  705°C'de 24 saat yaşlandırma	266	623	70	76	-	C <sup>10</sup>
		705°C'de 12 saat yaşlandırma ve 649°C'de 24 saat yaşlandırma	616	959	25	39	-	C <sup>30</sup>
17-14 CuMo	0,12C, 0,75Mn, 0,02P, 0,01S, 0,50Si, 16Cr, 14Ni (3Cu, 2,5Mo, 0,5Cb, 0,25Ti)	1232°C'de ½ saat çözeltiyeye alma ve 732°C'de 5 saat yaşlandırma	686	1008	20	32	-	C <sup>32</sup>

### 2.3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KULLANIM ALANLARI

Paslanmaz çelikler geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Paslanmaz çelikler araba parçalarında, havacılık ve uzay sanayine, mutfak araç gereçlerinden, endüstriyel makina parçalarına, santral üretiminden, tekne imalatına, bina iç ve dış cephesinde, inşaat sektöründe, makina parçalarında ve günlük hayatımızda karşımıza çıkabilen birçok alanda kullanılmaktadır.

#### 2.3.1. Otomotiv Sektörü

Otomotiv sektörü, ülkelerin daha çevreci, daha güvenli ve daha az yakıt tüketen, araçlara olan gereksinimlerinden dolayı kendini devamlı geliştirmek durumunda kalmaktadır. Araç üretiminde kullanılan malzemelerin geliştirilmesi, bu işlerin en başında da gelmektedir. Bu da yüksek mukavemete sahip, dayanımlı çeliklerin geliştirilmesini ve akabinde üretilmesini mecburi bir hale sokmaktadır. Çevreye zararlı gaz salınımının azalmasının istenilmesi (emisyon oranları), yolcu güvenlik standartlarının artması, sektörü hem hafif hem de istenilen yolcu güvenlik standartlarını karşılayabilecek malzeme arayışına itmiştir. Otomobil üretiminde en çok kullanılan ve olmazsa olmaz beş malzeme; demir dışı metaller (alüminyum, magnezyum), kompozit, çelik, cam, plastik malzemeleridir [22].

Paslanmaz çelik, otomobil egzoz sistemlerinde, hortum kelepçeleri ve emniyet kemeri yayları gibi otomobil parçaları için yaygın olarak kullanılır. Yakın zamanda şasi, süspansiyon, gövde, yakıt deposu ve katalitik konvertör uygulamalarında yaygın olması beklenmektedir. Paslanmaz şimdi yapısal uygulamalar için bir adaydır. Ağırlık tasarrufu, gelişmiş “çarpışma kabiliyeti” ve korozyon direnci ile aynı zamanda geri dönüştürülebilir bir malzeme türüdür. Malzeme güçlü mekanik ve yangına dayanıklı özellikleri mükemmel üretilebilirlikle harmanlamaktadır. Darbe altında, yüksek mukavemetli paslanmaz, gerilme oranına göre mükemmel enerji emilimi sunar.

Ulaşım uygulamaları arasında, İsveç’in X2000 yüksek hızlı treni östenitik ile kaplanmıştır. Parlak yüzey galvaniz veya boya gerektirmez ve yıkanarak temizlenebilir. Bu maliyet ve çevresel faydalar getirir. Malzemenin gücü azaltılmış ölçümlere, daha düşük araç ağırlığına ve daha düşük yakıt maliyetlerine izin verir.

Son zamanlarda, Fransa yeni nesil TER bölgesel trenleri için östenitik seçti. Otobüs gövdelerinin üretimi de paslanmaz malzemedен gerçekleştirilmektedir. Bazı Avrupa şehirlerinde tramvay filolarında boyalı bir yüzeye sahip yeni paslanmaz çelik kullanılmaktadır. İdeal bir çözüm olarak paslanmaz, güvenli, hafif, dayanıklı, çarpmaya dayanıklı, ekonomik ve çevre dostu, olarak karşımıza çıkmaktadır

Ortalama bir binek otomobilde yaklaşık 15 ila 22 kilo paslanmaz çelik kullanır. Genel olarak egzoz sisteminde bulunan paslanmaz çelik muhtelif küçük parçalarda da ortaya çıkar. 1930'lardan bu yana uzun mesafe ve banliyö trenlerinde paslanmaz çelik kullanılmıştır. Bugün ABD yüksek hızlı trenleri veya İsveç’in X2000’i, demiryolu taşımacılığındaki paslanmaz uygulamaların etkileyici bir örneğidir. Otobüs gövdeleri de gittikçe artan bir şekilde paslanmaz çelikten imal edilmekte ve bazı tramvay filoları artık paslanmaz olarak kaplanmaktadır.

Bugünlerde otomobil üreticileri hafif araçlar inşa etmek zorundalar. Geçmişte, geleneksel malzemelere tek alternatif hafif metaller olarak adlandırılıyordu. Bununla birlikte, bunlar pahalıdır ve kaynak yapmaya kendilerini mecbur eder. Paslanmaz çelikler olağanüstü mekanik özelliklere sahiptir. Olağanüstü kaynak kabiliyeti ve şekillendirilebilirliği birleştirerek, tasarımcıların paslanmaz çelik parçaları “hafif metal” emsalleri kadar hafif yapmalarını sağlar. Parça sayısı genellikle azaltılabilir ve

montaj karmaşıklığı optimize edilebilir. Paslanmaz çelik bu nedenle rakip malzemelere göre ekonomik faydalar sağlayabilir.

Özel ilgi duyulan bir derece AISI 301L'dir (EN 1.4318). Bu paslanmaz çelik, özellikle dikkat çekici iş sertleştirme özelliklerine ve olağanüstü “çarpışma kabiliyetine” neden olan yüksek çekme dayanımına (malzemenin bir kazada dirençli davranışı) sahiptir. Ayrıca ince göstergelerde kullanılabileceği anlamına gelir. Diğer avantajlar, istisnai şekillendirilebilirliği ve korozyon direncini içerir. Bugün, demiryolu vagonlarında yapısal uygulama için tercih edilen kalite budur. Bu bağlamda kazanılan deneyim kolayca otomotiv sektörüne aktarılabilir [23]. Şekil 2.9'da paslanmaz çelikten üretilmiş bazı otomotiv parçalarının görselleri gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Paslanmaz çelikten üretilmiş parçalar [24].

### 2.3.2. Havacılık Sektörü

Paslanmaz çelikler, bir uçak için bir parçanın üretilmesinde demir alaşımları arasında en yaygın şekilde kullanılanlardır. Bunlar nispeten iyi korozyon direnci ve yüksek dayanımların gerekli olduğu yerlerde kullanılır. Birçok uygulamalarda, nikel bazlı alaşımlar paslanmaz çeliklere alternatif olarak kullanılabilir ancak paslanmaz çelik ile karşılaştırıldığında pahalıdır. Neredeyse tüm paslanmaz çelik kaliteleri büyük bir ticari nakliye uçağında bulunabilir. Paslanmaz çeliklere nikel ve molibden gibi başka

elementlerin eklenmesi, geliştirilmiş şekillendirilebilirlik ve artan korozyon direnci gibi diğer faydalı özellikleri verir. Farklı şekillerde şekillendirme kolaylığı, uçaklarda çok yaygın olan karmaşık geometriye ve profillere sahip parçaların imalatı için ideal bir aday alaşımdır [25].

Paslanmaz çelik, birçok türbinle çalışan uçakta ısıtılmış kanatların ön kenarlarında, kontrol kablolarında ve deniz uçlarındaki dış donanımlar gibi elemanların ısınmasına veya olumsuz koşullara maruz kalan bağlantı parçalarında kullanılır. Şekil 2.10'da paslanmaz çelikten üretilen bazı uçak parçaları gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Paslanmaz çelikten üretilen bazı uçak parçaları [25].

### 2.3.3. Denizcilik Sektörü

Tuzlu suya maruz kalması nedeniyle pas ve korozyon hem gemi üreticileri hem de denizciler için sürekli bir endişe kaynağıdır. Gemi üreticileri korozyona dayanıklı metallerin kullanımı da dahil olmak üzere korozyon riskini azaltmak için çeşitli yöntemler kullanırlar. Bunların en güvenilir ve maliyet açısından, diğer malzemelerle rekabetçi bir fiyatı ile güçlü korozyon direnci sunan paslanmaz çeliktir. Tehlikeli kimyasallar taşınırken, tuzlu suya ve nemli deniz havasına maruz kalan ve kimyasal tankerlerin çevrilmesi için zorunlu olan gemi bileşenleri için idealdir. Ve dubleks kaliteler, özellikle kimyasal tankerlerin iç gövdelerinde giderek daha fazla

kullanılmaktadır. Korozyon çeşitli şekillerde olabilir. Çukurlanma korozyonu, bir metal çok yüksek konsantrasyon da klorüre (tuz) maruz kaldığında ortaya çıkar; bu gibi durumlarda sıcaklık da bir rol oynar. Çatlak korozyonu, pervane şaftı rakorları ve yatakları gibi çatlakların olduğu herhangi bir gemi parçasına veya mangalların büyüdüğü yerlerde meydana gelebilir. Stres korozyonu, çatlaması durgun, havalandırılmış deniz suyunda meydana gelebilir ve bu da 304 ve 316' dan yüksek derecelerin kullanılmasını gerektirir. Ayrıca çoğu kez galvanik korozyon vardır, çünkü çoğu gemi yapımlarında çeşitli metaller kullanır. Bağlantı parçaları, güverte evleri, bağlantı elemanları, gövde kaplamaları, pervaneler, şaftlar, valfler, kondansatörler ve boruların tümü savunmasızdır.

Korozyon direncinin yanı sıra, bazı paslanmaz çelik formları, özellikle de dubleks kaliteler, daha yüksek yakıt verimine dönüşen daha ince ölçülere izin veren ve ayrıca ağırlıkça uygun oranlar sunar. Yatlar, deniz yapıları ve yerleşik donanımlar çoğunlukla alüminyum alaşımları veya paslanmaz çelik kullanır. Alüminyum, hafif olmasına rağmen, deniz suyunda korozyon direncini sınırlandırır, bu nedenle çok fazla bakım gerektirir. Paslanmaz, diğer taraftan, üstün korozyon direnci ve mukavemet sunar.

Su hattının üstündeki onboard armatürler için 304 ve 316 dereceleri genellikle yeterlidir. Bu kaliteler genellikle bağlantı elemanlarına, donanımlara, kasnak blokları, raylar, merdivenler, kapaklar, pencere çerçeveleri ve bağlantı parçaları gibi bağlantı elemanlarına uygulanır. Tip 304, tatl su ile sıkça yıkandığı sürece tamamen açıkta kalan bileşenlere uygulanabilir. Diğer tüm durumlarda, 316 tercih edilir. Deniz suyuyla kalıcı temas için (kalıcı daldırma), süper alaşımlar (%6 Mo), dubleks ve superduplex dereceleri önerilir. Bu kaliteler motor parçaları, ızgaralar, pompalar, pervane şaftları egzoz boruları, vinçler ve ısı eşanjörlerinde bulunabilir. Standart dubleks sınıf 2205, donanım ve belirli donanımlarda hafif östenitlere alternatif olarak da hizmet verebilir.

Kargo tanklarının yapımında, kimyasal tankerlerin gövdelerinin iç astarlarında etkin olarak dubleks seçimi için özel bir kullanım bulundu. Kimyasal tanker inşaatı ağırlıklı olarak Çin, Japonya ve Güney Kore'de yoğunlaşmıştır. Tehlikeli kimyasal maddeler ne zaman kullanılsa, tanklar paslanmaz çelikten imal edilmiştir.

Geçmişte, 316LN ve 317L gibi östenitikler kullanıldı, ancak kademeli olarak dubleks (esas olarak 2205 tipi) tanıtıldı ve daha ince olan göstergeler ağırlığı azalttığından ve dolayısıyla yakıt tasarrufu sağladığından net bir favori oldu. Outokumpu, uzun yıllardır kimyasal tankerlerde kullanılmak üzere çift taraflı plaka tedarik ediyor. 1980'lerin ortalarında İtalyan deniz mimar Leonardo Acciarri, kimyasal tankerlerin tankları için çift yönlü 2205'in potansiyelini tanıyan ilk tasarımcıydı. Outokumpu tasarladığı gemilerin birçoğu için dubleks sağladı.

Olumlu mukavemet ağırlık oranı, korozyon direnci ve bakım kolaylığı nedeniyle, paslanmaz çeliklerin, özellikle de dubleks kullanımının gemi ve teknelerde artması muhtemeldir. Kullanımının kapsamı yakıt maliyetlerine bağlı olabilir. Artıkça daha fazla gemi üreticisi daha fazla ağırlık üretmenin ve yakıt tasarrufu sağlamanın bir yolu olarak çift yönlü sınıflara çekilecektir [26]. Şekil 2.11'de yat imalatında paslanmaz çelik kullanımı, Şekil 2.12'de bir tankerin paslanmaz duvarlara sahip depolama tankı gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Yat imalatında paslanmaz çelik içeren parçalar [26].



Şekil 2.12. Tankerin paslanmaz duvarlara sahip depolama tankı [26].

#### **2.3.4. İnşaat, Yapı ve Mimarlık Sektörü**

Paslanmaz çelik, mimarlık, yapı ve inşaatın her alanında kullanılmaktadır. 1920'lerden bu yana bu sektörde kullanılmakta ve yeni bir malzeme olmamasına rağmen, paslanmaz çeliğin kullanımı ve uygulama alanları artmaktadır. Bazı uygulamalar oldukça belirgindir ve paslanmaz çelik perde duvarı ve çatı kaplama gibi hem estetik hem de işlevseldir. Diğerleri pratik, güvenlikle ilgili ve bazen duvarcılık ve taş çapalar, direkler ve güvenlik korkulukları gibi gizlidir.

Yapılarda kullanılan farklı paslanmaz çelik alaşımlarının sayısı artmıştır. Daha yüksek alaşımlı molibden içeren paslanmaz çelikler, önde gelen mimari ve peyzaj tasarımları ve korozyona dayanıklılıkları nedeniyle daha aşındırıcı yerler için yapısal mühendislik firmaları tarafından tercih edilir. Ayrıca kaynaklı yapılarda da korozyona dayanıklı çelik malzemeler olarak ta kullanılmaktadır.

İnşaat Mühendisliği alanında, kimyasal tesislerin, nakliye ekipmanları ve enerji ile ilgili cihazların ve yapıların dayanıklılığını artırmak ve bakım yükünü hafifletmek için paslanmaz çeliklerin kullanımı sıklaştırılmıştır. Başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [27];



### a) Nehir yapıları (barajlar, su kapıları vb.)

Nehir yapıları karmaşık olduğundan, sürekli olarak aşındırıcı bir ortama, suya maruz kalması, incelenmesi ve bakımı zor olduğu için, paslanmaz çelik malzemeler kullanılarak inşa edilmeleri uygundur. Su yapılarının inşasında olası korozyon durumlarına karşın yeniden kaplanmalarının imkansız ve boya ile korozyona karşı korunabilirliği çok zor olması ayrıca yüksek dayanım özellikleri ile bu yapılarda paslanmaz malzeme kullanımı artmaktadır [27]. Şekil 2.13’de paslanmaz çelikten üretilen baraj kapakları gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Paslanmaz çelikten üretilen baraj kapakları [28].

### b) Su Dağıtım Tesisleri

Paslanmaz çelik kullanan, su temini ve dağıtım tesislerinin bakımı kolay olduğu ve paslanmaz çeliğin su kalitesi üzerindeki etkisi az olması sebebi ile paslanmaz çeliklerin su kemerleri de dahil olmak üzere su temin tesislerine uygulanması artmaktadır. Son zamanlarda rezervuarlara, yüksek su depolarına ve acil su depolarına dağıtım için paslanmaz çelik malzemelerden yapılan ürünler kullanılmaktadır [27]. Şekil2.14’de Paslanmaz malzemedan üretilen içme suyu taşıma köprüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Paslanmaz malzemedan üretilen içme suyu taşıma köprüsü, Tokyo Japonya [29].

### c) Köprüler

Japonya'da hala az sayıda paslanmaz çelik köprü olmasına rağmen, özellikle Avrupa'da, paslanmaz çeliklerin köprülere uygulanması artmaktadır. Mevcut paslanmaz çelik köprülerin çoğu, bir dereceye kadar estetik çekiciliğe sahiptir. Bir rapora göre, paslanmaz çelik uygulaması aynı zamanda köprülerin yaşam döngüsü maliyetini azaltmada etkili bir yoldur. Bu nedenle, uzun ömürlü olması gereken büyük köprüler için paslanmaz çelik kullanılmıştır. Stonecutter Köprüsü için Hong Kong'da (dünyanın en büyük çelik ve betondan yapılmış kompozit kablolu köprü) yapım aşamasında, büyük miktarlarda paslanmaz, ana kulenin üst kısmının dış kaplaması için çelik ve alt yapı için takviye çubukları olarak kullanılır [27]. Şekil 2.15'te Paslanmaz çelik ızgaradan yapılmış yaya köprüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Paslanmaz çelik ızgaradan yapılmış yaya köprüsü, Contes Fransa [30].

#### **d) Liman Çelik Yapıları**

Paslanmaz çelik, gelgit veya deniz suyu damlacıkları yoluyla yüksek derecede aşındırıcı tuzlu deniz suyuna maruz kalan iskelelerdeki çelik yapı parçalarına uygulanır. Deniz suyuna dayanıklı paslanmaz çelikten yapılmış metal, astar kullanılarak korozyon önleme, boyama veya elektrik koruma gibi geleneksel korozyon önleme yöntemlerine kıyasla üstün dayanıklılık ve bakım kolaylığı sağlar. Önemli liman yapılarına uygulanmaktadır. Örneğin, Haneda'daki yeni pist inşaatı çalışmasında ceket tipi iskelede paslanmaz uygulamaları dikkat çekmektedir [27].

#### **e) Mimari Yapılar**

Mimari alanında, 1980'lerden bu yana binaların sütun ve kirişler için paslanmaz çeliklerin estetik çekiciliğinden ve ayrıca üstün özelliklerinden faydalanabilmesi için paslanmaz çelik kullanılmasına izin vermek amacıyla, yapısal tasarım standartları geliştirilmiştir. 2000 yılında, JIS'te mimari yapılar için paslanmaz çelikler tanımlanmış ve revize edilmiş Japonya Yapı Yasası'nın bildirisine yansıtılmıştır. Sonuç olarak, bu paslanmaz çeliklerin genel mimari yapılarda kullanılması mümkün olmuştur. Bu

paslanmaz çelikler ayrıca çekici görünmek için gereken atriyumlara, kanopilere, yüzme havuzu barakalarına, açık merdivenlere vb. yerlere uygulanmaktadır.

Yukarıda tarif edildiği gibi, yapıların dayanıklılığını arttırmak ve bakım yükünü azaltmak için paslanmaz çeliklerin uygulanması, özellikle inşaat mühendisliği alanında giderek artmaktadır. Her ne kadar paslanmaz çelik korozyon koruma işlemine maruz kalan yapısal çelikten daha fazla iş gerektirse de, istisnai korozyon direnci gerektiren parçalar için paslanmaz çelik kullanılması, tamamen konvansiyonel olarak değil, hizmetin ilk aşamalarında yaşam döngüsü maliyetinden faydalanılmasına izin vermek içindir.

Paslanmaz çelik gerçeği şimdi pazar tarafından tanınmaktadır. Geliştirilmesi ve sürdürülmesi, ihtiyacına yönelik farkındalığın artması, paslanmaz çeliğin akıllıca kullanılması yönüyle bu olgunun artarak ivme kazanması beklenmektedir [27]. Şekil 2.16'da buz hokeyi stadyumu dış cepe giydirmesi 1.2 mm paslanmaz çelik paneller, Şekil 2.17'de Lille Maison Folie Sanat Merkezinin dış cephesini saran paslanmaz spiral örgü gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Buz hokeyi stadyumu dış cepe giydirmesi 1.2 mm paslanmaz çelik paneller, Turin İtalya [30].



Şekil 2.17. Folie Sanat Merkezinin dış cephesini saran paslanmaz spiral örgü, Lille Maison [30].

### 2.3.5. Kimya, Petrol ve Gaz Endüstrisi

Petrol, gaz ve rafineri tesislerindeki metalik ekipman ve yapılar; ham yağlar, doğal gaz, petrol ürünleri ve yakıtlar, solventler, su, atmosfer ve toprak ile temas ederler. Petrol, gaz ve rafineri üniteleri, yanıcı, patlayıcı, insan sağlığına ve çevreye zararlı ortamları ile yüksek tehlike endüstrisini temsil eder. Çok sayıda faktörün birleşimi, petrol, gaz ve rafineri ekipmanlarını ciddi kazalara yol açabilecek çeşitli korozyon olaylarına karşı savunmasız hale getirir.

Bir yandan petrol, gaz ve rafineri endüstrisi büyük tecrübeler kazanırken, zorlu koşullarda yeni derin kuyuların geliştirilmesi ve üretilmesi, yeni teknolojilerin tanıtılması ve yeni malzemelerin kullanımı, gaz ve yakıtlar için yeni gereksinimler ve çevre kirliliğinin azaltılması, ekipman ve yapıların emniyetli işleyişinde yeni problemlerin oluşmasını ifade eder. Bu sektördeki insanlar korozyon olaylarının %65-85'inden sorumludur. Korozyonu uygun şekilde yöneterek azaltmak mümkündür.

Korozyon tehlikesini önlemenin veya kontrol etmenin birçok yolu vardır: korozyona dayanıklı veya uygun malzemelerin seçimi, doğru tasarım, aşındırıcı kimyasalların kullanımı, kaplamalar ve katodik koruma, teknolojik parametrelerin kontrolü ve incelenmesi ile doğru uygulamanın seçilerek her aşamada gözden geçirilmesi gerekmektedir. Birçok gaz tesisi ve rafinerisi benzer korozyon problemleri ile karşılaşır ve çözümleri için yine benzer operasyonlar uygulanır [31].

Paslanmaz çelik, sulu, gazlı ve yüksek sıcaklık ortamlarında korozyona karşı uzun yıllar direnç gösterebilmektedir. Tüm sıcaklıklarda mekanik özelliklerini korur ve uzun vadeli değer özelliği sayesinde maliyet bakımından uygundur. Bu gibi bulunmaz özellikleri sayesinde petrol, rafineri ve kimya endüstrisinde en çok tercih edilen malzemedir.

### **2.3.5. Tıbbi Uygulamalar**

Çağımızda malzeme bilimindeki hızlı gelişmeler sayesinde özellikle insanın yaşamsal unsurlarına bağlı yapısal çözümler giderek çoğalmaktadır. Bu yapısal çözümlerde de en çok dikkat çeken ve karşımıza çıkan malzeme grubu temeli, biyolojik kaynaklı olan malzemelerdir. Bunun temelinde de insan yapısı ile uyumluluk gösteren malzemelerin kullanılması yatmaktadır. Özellikle bu tip malzemeler doğal olabildiği gibi yapay yollarla elde edilebilen malzemelerdir. Her malzemede olduğu gibi bu tip malzemelerde de biyouyumluluk, toksik ve kanserojen olmaması, kimyasal inert ve kararlı olmaması, uygun yorulma ömrü, uygun ağırlık ve yoğunluk, mekanik dayanıklılık, tekrar kullanılabilirlik, ucuzluk, geniş ölçekli fabrikasyon ve işlemeye uygun olması aranan özellikler içinde yer almaktadır. Hal böyle iken geleceğin malzemeleri arasında yer alan biyomalzemelerin gerek kullanımı gerekse oluşumu konusunda bilgilenmenin oluşturulacak ve geliştirilecek tasarımlarda büyük katkısı düşünülebilir. Sektör ayırt etmeksizin mutlaka biyo kaynaklı malzemelere olabildiğince yer verilmesi daha doğal ve gerçekçi tasarımların oluşmasına neden olabilecektir [32].

Biyomalzemeler, insan vücudundaki işlevselliğini yitirmiş olan canlı dokuların işlevlerini yerine getirmek amacıyla kullanılan doğal ya da sentetik malzemelerdir. Biyomalzemeler, sürekli olarak veya belli bir süre için vücut içinde sıvılar ve akışkanlar ile temas halindedir. Bu malzemelere vücudun verdiği tepkiler son derece farklıdır. Biyouyumluluk; kullanım sürecinde malzemenin, vücut sistemine uygun cevap verebilme, kendini çevreleyen dokuların normal fonksiyonlarına engel olmama, vücutla uyuşabilir ve iltihaplanma oluşturmama yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Kullanılmakta olan biyouyumluluğu yüksek biyomalzemeler; biyoseramikler, polimer biyomalzemeler, biyokompozitler ve metalik biyomalzemelerdir. İnsan vücudu



protein ve oksijenli tuzlu çözeltiler içerdiğinden bu malzemelerden, deforme olmamaları, vücut sıvılarını bünyelerine alıp şişmemeleri ve korozyona uğramamaları beklenmektedir. Biyomalzeme seçiminde önemli olan diğer bir hususta korozyon konusudur. İnsan vücudundaki akışkanlar; protein, çözünmüş oksijen, su, klorür ve hidroksit gibi çeşitli iyonlar içermektedir. Bu nedenle; insan vücudu, kullanılacak olan biyomalzeme metaller için oldukça korozif bir ortamdır [33].

Ayrıca insan vücudunun değişik bölgelerinde kullanılan değişik biyomalzemeler farklı kuvvet ve etkilere maruz kalmaktadır. Örneğin günlük aktiviteler sırasında tendonlara ise 40–80 MPa, kemiklere 4 MPa değerinde gerilmeler etki etmektedir. Metalik implantların elastisite modülü ve dayanımı, kemiğin dayanımından daha yüksektir. Metalik biyomalzemelerin elastisite modülleri çok yüksek (316L paslanmaz çelikte 200 GPa, titanyumda 110 GPa) seviyelerde iken, insan kemiğinde bu değer 10-15 GPa'dır [32]. İnsan vücudundaki yapıya uyumu, yüke karşı dayanım, korozyon dayanımı ve kolay işlenebilirliği gibi üstün özellikleri tıbbi uygulamalarda paslanmaz çelik malzeme kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Şekil 2.18'de paslanmaz çelikten üretilmiş medikal parçalar gösterilmektedir.



Şekil 2.18. İnsan vücudunda kullanılan bazı medikal parçalar [34].

### 2.3.6. Gıda Sektörü

Paslanmaz çelik gıdaların hazırlanması, işlenmesi, depolanması ve muhafazasında standart bir malzeme olarak yerini almaktadır. Paslanmaz çeliğin korozyona karşı mukavemeti göz önünde tutulmalıdır. Bu durum aynı zamanda paslanmaz çeliğin pırıldayan hijyenik görünümünün temel niteliğidir. En önemli özelliklerinden biride nötr olması sayesinde gıda ile temas eden yerlerde kullanımında rakipsiz hale gelmesidir. Gıda maddeleri ile paslanmaz çelik arasında kimyasal bir reaksiyon olmaması, metal kirliliği ve korozyona neden olabilecek mikroorganizmaların üremesini engelleyen, kullanıldığı yerlerde makine parkurlarının en üst düzeyde temiz tutulmasını sağlayan ideal bir malzeme olduğunu kanıtlamaktadır. Gıda sektöründe kullanılan malzemeler insan sağlığını tehdit edici, gıdaların niteliklerini bozan tat ve kokularını değiştiren reaksiyonların olmamasını sağlamak mecburiyetindedirler. Gıda sektöründe kullanımına dair bir diğer önemli özelliği ise kesin hijyen sağlanması için paslanmaz çeliğin temizlenmesinde kullanılan deterjan gibi kimyasal ve agresif temiz malzemelere karşı dayanıklılıkları en üst düzeydedir. Paslanmaz çelikler gıdaların işlenmesi ve üretilmesinde kullanılan alet, makine ve diğer ünitelerinde hammaddesini oluşturmaktadır.

Paslanmaz çeliğin yüzeyi parlak ve düzgün formu ile yapışmayı ve kirliliklerin kalıcı olmasını önlediği gibi, yüzeyin sert olması nedeniyle düzgün ve parlaklığın kalıcı olmasını sağlar.

Paslanmaz çeliğin diğer bir özelliği ise gıdaların hazırlanması ve işlenmesi süresince pişirmeden, kaynatma ve derin dondurmaya kadar olagelen safhalarda yüksek ve düşük ısı şoklarına karşı dayanıklılığıdır. Gıda ile ilgili tüm branşlarda paslanmaz çeliğin oynadığı rol dikkat çekmektedir [35]. Şekil 2.19'da mutfaklarda bulunan paslanmaz çelikten imal edilmiş alet ve tezgahlar, Şekil 2.20'de paslanmaz çelikten imal edilmiş süt tankları gösterilmektedir.





Şekil 2.19. Paslanmaz çelikten imal edilmiş mutfaklarda bulunan alet ve tezgahlar [35].



Şekil 2.20. Paslanmaz çelikten imal edilmiş süt tankları [35].

## BÖLÜM 3

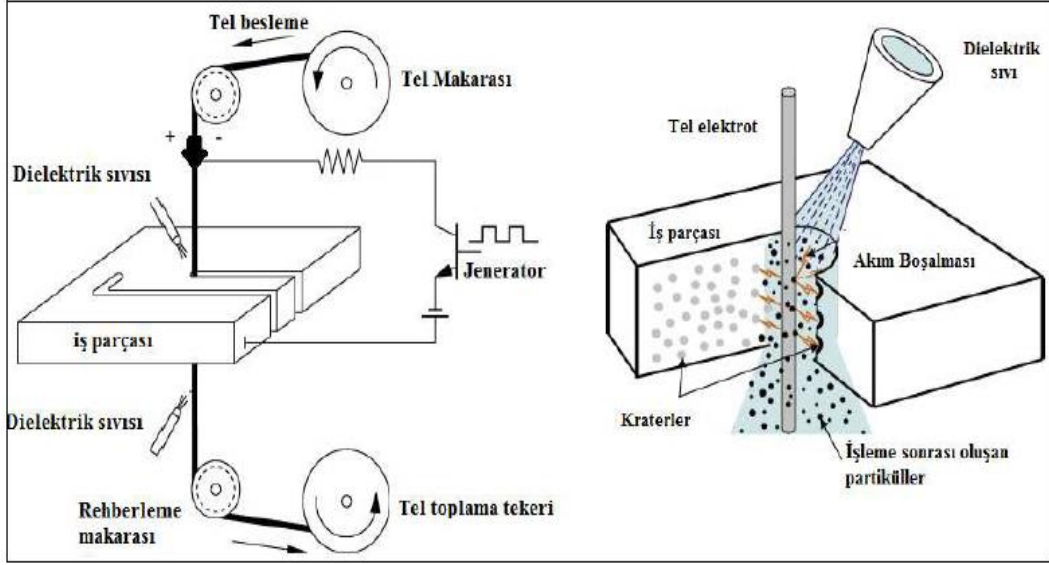
### TEL EROZYON

#### 3.1. TEL EROZYON VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Son yıllarda geliştirilen ve halen gelişim süreci tamamlanmamış imalat yöntemlerinden biri de normal talaş kaldırma ve işleme yöntemlerinde farklı olarak, üzerinden akım geçen bir tel yardımı ile talaş kaldıran tel erozyonla imalat yöntemidir. Bu yöntemde, dielektrik sıvı ortamında elektriksel kutuplara bağlanan tel elektrot ve iş parçası arasında oluşan, elektriksel boşalmalarla yüksek bir sıcaklık meydana gelmekte ve yerel olarak metali eriterek kesme işlemi yapılmaktadır. Yöntemin talaş kaldırma mekanizması ile ilgili olarak birçok araştırmacı tarafından çeşitli teoriler ortaya atılmış ancak, talaş kaldırma işleminin esas olarak termal bir süreç olduğu konusunda görüş birliğine varılmıştır.

Vurum süresinin başlangıcında tel elektrot ve iş parçası ve arasında bulunan dielektrik sıvı herhangi bir ark oluşumuna müsaade etmez ancak voltajın artmasına bağlı olarak elektrot ve iş parçası arasındaki en yakın noktada elektriksel alan maksimum düzeydedir. Voltaj artışına bağlı olarak, ara bölgedeki sıvının iyonizasyonu gerçekleşmekte ve voltajın maksimum düzeye ulaştığında, dar bir kanal boyunca akım geçişi başlamaktadır. Meydana gelen sıcaklığın tesiri ile ara bölgede bir buhar kanalı oluşmaktadır. Vurum süresinin son evresine doğru voltaj ve akım dengelenmekte, kanalın içerisinde basınç ve sıcaklık maksimum düzeye çıkmakta ve bir miktar metal kaldırılmaktadır. Vurum ara süresinin başlangıcında akım ve voltaj en alt seviyeye inerek sıfıra düşmekte buhar kanalı sönmekte ve iş parçasından erimiş metal dielektrik sıvı vasıtasıyla atılmaktadır. Çevrimin son evresinde yeterli bir vurum ara süresiyle kalıntıların ara bölgeden dışarı atılması ve soğuma işlemi gerçekleşmektedir. Vurum ve vurum ara süreleri ardışık bir düzende tekrarlanmak suretiyle talaş kaldırılmaktadır.

Bu tezgahlarda genellikle çapı 0,05-0,4 mm arasında değişen molibden, pirinç, bakır ve tungsten tel kullanılmaktadır. Dielektrik sıvının devir daim yapması ile eriyen metal parçacıkları parça üzerinden uzaklaştırılmakta ve sabit bir işlem sıcaklığı sağlanmaktadır. Yöntemin talaş kaldırma hızı, her kıvılcımın zaman aralığı ve her bir kıvılcımdaki enerji miktarına göre değişmektedir. Kesme işlemi esnasında ısınma ve soğumayı içeren karmaşık fiziksel bir süreç meydana gelmekte ve boşalım süresi, boşalım enerjisi, dielektrik sıvı basıncı tabla hızı, tel gerginliği, tel hızı ve malzeme özellikleri gibi işlem faktörleri iş parçasında oluşan kraterlerin büyüklüğünü, işlem etkinliğini ve dolayısıyla da yüzey kalitesini belirlemektedir. Tel erozyon ile işleme yönteminde, birçok faktörün aynı anda etkin olması ve bu faktörlerin izafi tesirleri, en uygun parametre seçimini zorlaştırmaktadır. Kesme işlemi genellikle kullanıcının tecrübelerine veya tezgaha ait kullanım kılavuzlarında verilen sınırlı bilgilere göre yapılmakta olup, bu durum çoğu zaman imalat sonrası iş parçasından beklenen kalite ve özellikleri sağlamamaktadır. Yöntemin elektro-termal bir süreç olmasından dolayı telin temas ettiği ilk yüzey ve yüzey altındaki bir bölgenin ısıdan etkilenmemesi kaçınılmazdır. Genellikle malzemenin ısı özelliklerine ve uygulanan işlem şartlarına bağlı olarak iş parçasının yüzeyinde sert bir tabaka ve kılcal çatlaklar meydana gelmektedir. Gerçekleştirilen hasar analizlerinde, özellikle dinamik yükler ve kuvvetler altında çalışan makine elemanlarında meydana gelen hasarların yüzeyden başladığı dikkate alındığında, uygun parametre seçiminin önemi ortaya çıkmaktadır. Dolayısı ile, işleminin verimliliği, maliyeti ve sonuçları büyük oranda uygun parametre kullanımına göre değişmektedir [36]. Şekil 3.1' de tel erozyon çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tel erozyon çalışma prensibi [37].

### 3.2. TEL EROZYONUN AVANTAJLARI

Bir tel ile elektriksel iletkenliği olan malzemelerin kesilmesi için kullanılan tel erozyon prosesinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

#### 3.2.1. Karmaşık Şekillerin Kesilebilirliği

Geleneksel kesici takımlarla üretilmesi zor olan basit veya karmaşık şekiller veya desenlerin kesilmesine imkan sağlar. Karmaşık parçaların üretimi için mükemmel kolaylıklar sağlamaktadır. Aynı karmaşık parçayı tekrar tekrar aynı hassasiyette üretmek mümkündür.

#### 3.2.2. Sert Malzemelerin Kesimi

Sert malzemelerin işlenmesinde, istenen şekli oluşturmak için alet ve takımların büyük bir kuvvet, darbe uygulanması ve yoğun işleme yöntemleri gerekir. Bunun bazı dezavantajları vardır, zira darbeler, aynı zamanda alet ve takımların hızlı bir şekilde aşınmasının yanı sıra malzemeyi keserken malzeme üzerinde deforme olan stresi yaratabilir. Geleneksel yöntem hassas parçalarda işlemeyi zorlaştırır. Tel erozyon, elektriksel olarak iletken oldukları sürece sert ve kırılman malzemelerin darbelere ve

gerilmelere maruz kalmadan kolay ve hassas bir şekilde işlenmesini sağlar. Kırılgan parçalar için nazik, kuvvetsiz, darbesiz kesim olanağı ile büyük avantaj sağlamaktadır.

### **3.2.3. Yüksek Tolerans Değerleri**

Tel ile işleme lazer, su jeti ve plazmadan daha hassastır. Parçanın üzerinde hiçbir kuvvet oluşturmaz, hassas ebatlar ve doğru uyum için çok yüksek toleranslar elde edebilen tel ile kesim işlemi yapar. Bu, parçaların işlenmesinden sonra ek işleme ve son işlem gereksinimini ortadan kaldırır. Mikron düzeyinde hassasiyetler elde edilir.

### **3.2.4. Hızlı İşleme**

Tel erozyon diğer geleneksel işlemlere kıyasla daha az işleme süresi kullanır. Daha kısa sürede istenilen doğruluk ve hassasiyette parçalar elde edilir.

### **3.2.5. Maliyet**

İletken herhangi bir malzeme, tel işleme kullanılarak verimli bir şekilde işlenebildiğinden, ne kadar sert veya kırılgan olursa olsun, işleme daha az zaman alır ve bir işlemde tamamlanabilir. Tel ile kesimde atık malzeme miktarı yok denecek kadar azdır. Sert malzemeleri kesebildiğinden bu procesten sonra ısıl işleme ve parçaların temizlenmesine ihtiyaç yoktur. Bu sebeple düşük maliyette üretimler gerçekleştirilir.

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOD

Tel erozyon kesme yöntemi ile 17-4 Ph paslanmaz çelik malzemenin farklı parametreler kullanılarak kesme işlemlerinin yapılması ve bu kesme işlemi neticesinde edilen parçaların boyutsal değişimleri, yüzey pürüzlülük değerleri ve yüzeyde oluşan sertlik değerlerinin değişimleri incelenmiştir.

Alışılmamış modern imalat yöntemlerinden tel erozyon tezgahında, geleneksel imalat yöntemlerinden farklı olarak talaş kaldırma, delme gibi hareket gerektirmeksizin, fiziksel ve mekanik temas uygulamadan çeşitli enerji türleri (elektro kimyasal, kimyasal, ısı enerjisi vb.) ile malzeme işleyen aşındıran veya şekillendiren yöntemlere tel erozyon ile kesme denir.

Tel erozyon tezgahında farklı kesim yöntemleri ile aynı ölçülerde 17-4 Ph paslanmaz çelik malzemeler 0,25 mm kalınlığındaki bakır tel ile tekli ve çoklu kesim işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen parçaların her biri belirlenen belli bir ölçüde kesilerek boyutsal olarak sapma oranları değerlendirilmiştir. Aynı parçalar üzerinden yüzey pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilerek yüzeyde oluşan pürüzlülük değerleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Parçaların kesim işlemleri sonucu yüzeylerinde oluşan sertlik değişimleri incelenerek birbirleri ile kıyaslamaları yapılmıştır.

Bu kapsamda doğru ve gerçekçi verilerin elde edilmesi için kesimi gerçekleştirilecek parçanın seçimi, ölçüm cihazları, tel erozyon tezgahları ve 0,25 mm kalınlığındaki bakır tel gibi materyal ve yöntemler kullanılmıştır.

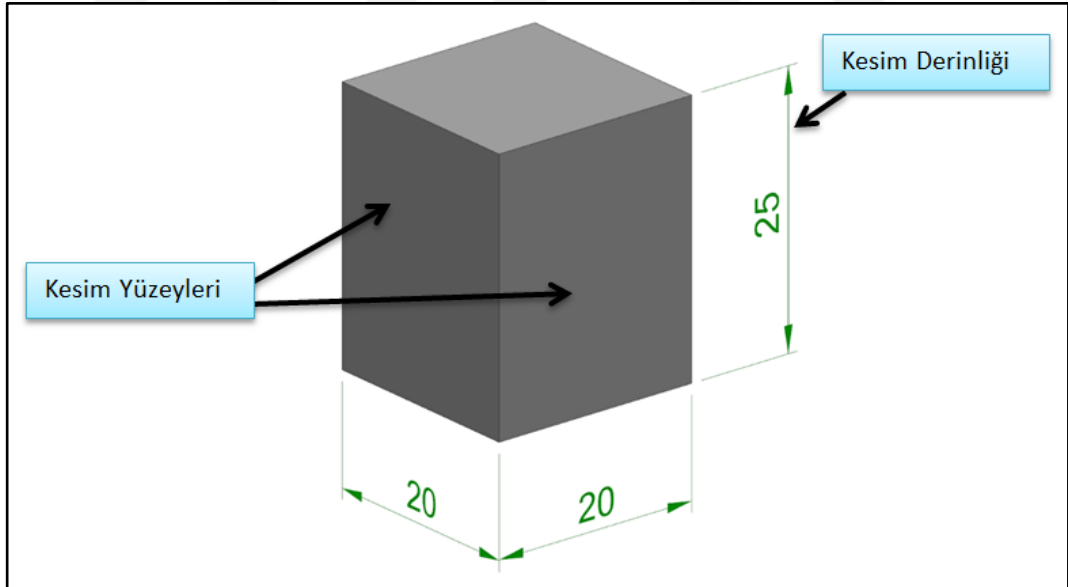
Seçilen materyal ve yöntemler ile elde edilen veriler ışığında, 17-4 Ph malzemelerin tel erozyon tezgahın da kesilmesi ve işlenmesi için uygun parametrelerin belirlenmesi hedeflenerek gerekli deney ve incelemeler yapılmıştır.

#### 4.1. DENEYDE KULLANILACAK MODELİN SEÇİLMESİ

Deneyde kullandığımız model, deneyin hedeflenen sonuçlara ulaşmasına yardımcı olacak nitelikte özelliklere sahip olarak seçilmiştir. Parçamız, tel erozyon da kesim ve işleme yöntemlerinin belirlenebilmesi için, telin parça etrafında dolanarak istenilen işlemin gerçekleştirilmesine olanak sağlayacak geometride seçilmiştir.

20x20x25 mm ebatlarında ki parçamız üzerinde 25 mm derinlik yüzeyi esas alınarak kesim işlemlerinin yapılması sağlanmıştır. Tel erozyon tezgahına bağlı olan tel 25 mm lik derinlikte çalışmıştır.

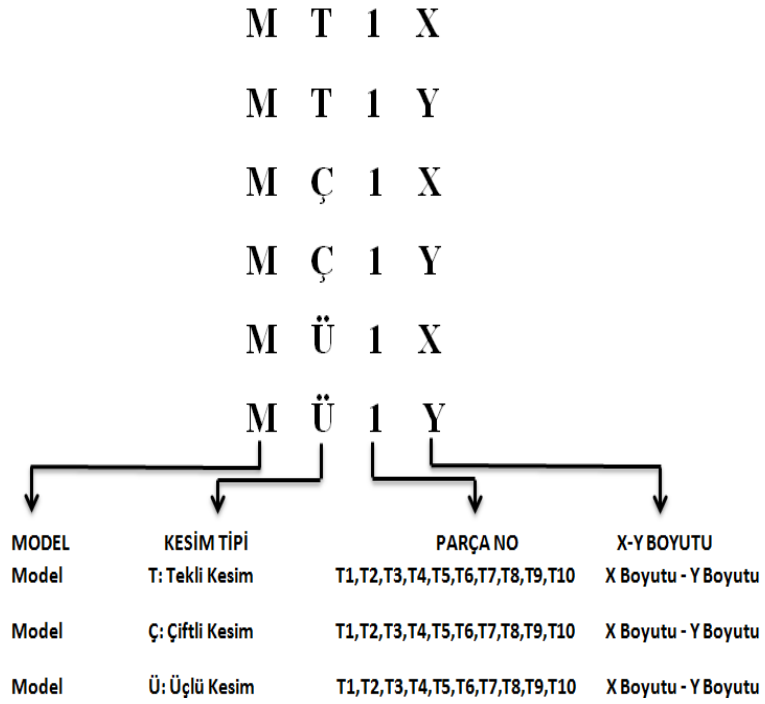
Parçamızın 25 mm lik derinlik yüzeyinde gerçekleştirilen kesim işlemleri, ölçüsel değişimleri analiz etmemize, yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülerek gerçekçi sonuçlar ile değerlendirmemize ve sertlik ölçümlerinin standartlara uygun şekilde yapılmasına olanak sağlamıştır. Şekil 4.1' de parçaya ait ölçüsel model görülmektedir.



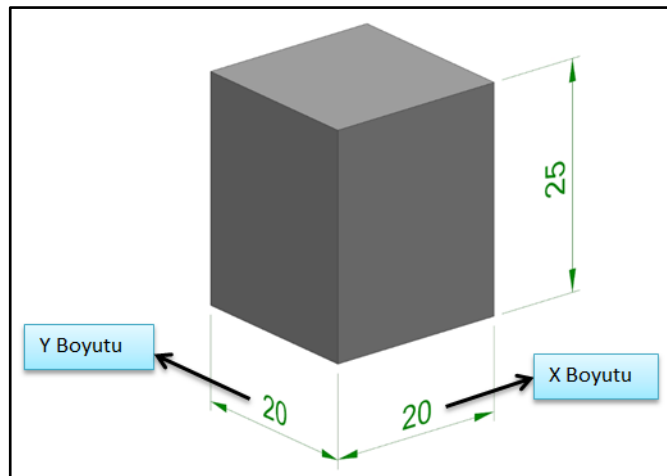
Şekil 4.1. Modele ait görsel.

#### 4.1.1. Deneyde kullanılacak Modelin İsimlendirilmesi

Deney kapsamında üretilen 30 adet parça isimlendirilerek, izlenebilirliğin sağlanması amaçlanmıştır. Bu yöntemle bütün parçalar kesim tiplerine göre isimlendirilmiş ve kesim boyutları belirtilmiştir. Şekil 4.2’ de modellerin isimlendirilmesi, Şekil 4.3’de modellerin X ve Y boyutları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Modellerin isimlendirilmesi.



Şekil 4.3. Modellerin X-Y boyutları.



## 4.2. DENEYDE KULLANILAN MALZEME

Deneyde 17-4 Ph paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelerin en önemli özelliklerini yüksek mukavemet, mükemmel korozyon direnci, kolay işlenebilirlik ve nispeten iyi süneklik şeklinde sıralamak mümkündür. Bu özelliklerinden dolayı çökeltmeyle sertleştirilebilen paslanmaz çelikler, havacılık sektöründe, petrol ve kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanımı tercih edilmektedirler. Bunun yanı sıra, korozyon direncinin dengeli kombinasyonu ve mekanik özellikleri nedeniyle elektrik ve kimyasal santrallerde yapı malzemesi olarak da tercih edilebilmektedirler [37].

Genel olarak günümüzde üretimi gerçekleştirilen 17-4 PH paslanmaz çelikler füze gövdelerinde, yüksek hızlı uçakların dış yüzeylerinde, uçakların iniş takımlarında, yakıt tanklarında, deniz taşıtlarında, pompalarda, cıvata, somun, millerde, kavramalar ve kesici aletlerde geniş bir kullanım alanına sahiptir [38].

Bu çelikler, mikro yapı içerisinde bulunan farklı fazların fonksiyonlarına ve kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırılmaktadırlar. 17-4 PH kalite paslanmaz çelik bu grupta en yaygın olarak bilinendir. Çökeltme ile sertleştirilebilen 17-4 PH paslanmaz çeliği (AISI 630) düşük karbonlu bir martensitik paslanmaz çeliktir ve bu çelikler martensit matrisinde bakır ile güçlendirilmektedir [37].

17-4 PH kalite paslanmaz çelik malzeme kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 17-4 PH kalite paslanmaz çelik kimyasal özellikleri [39].

<b>Kompozisyon</b>	<b>Miktar</b>
Krom	15-17.5%
Nikel	3-5%
Bakır	3-5%
Silikon	1% max.
Manganez	1% max.
Niyobyum	0.15-0.45%
Karbon	0.07% max

Çizelge 4.1. (Devam ediyor)

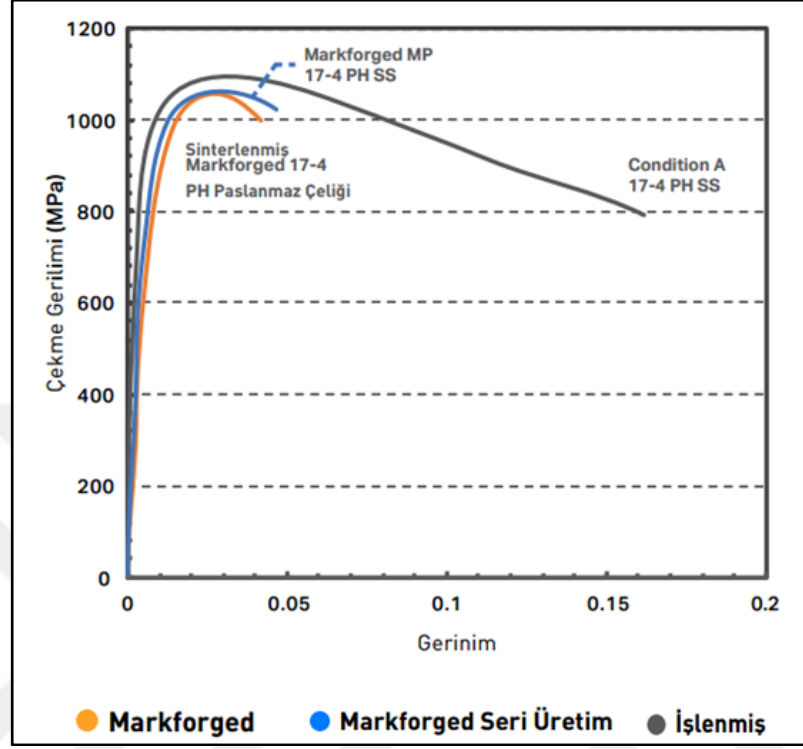
<b>Kompozisyon</b>	<b>Miktar</b>
Fosfor	0.04% max.
Sülfür	0.03% max.
Demir	bal

17-4 PH kalite paslanmaz çelik malzeme mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. 17-4 PH kalite paslanmaz çelik mekanik özellikleri [39].

<b>Mekanik Özellikler</b>	<b>Standart</b>	<b>Markforged</b>	<b>MF SÜ</b>	<b>İşlenmiş</b>
Çekme Mukavemeti	ASTM E8	1050 MPa	1050 MPa	1090 MPa
0.2% Akma Dayanımı	ASTM E8	750 MPa	800 MPa	900 MPa
Kopma Sınırında Uzaman	ASTM E8	4-6%	4-6%	16%
Elastisite Çekme Modülü	ASTM E8	125 GPa	135 GPa	175 GPa
Sertlik	ASTM E18	35 HRC	35 HRC	35 HRC
Korozyon	ASTM F1089	Geçti	Geçti	Geçti
Göreceli Yoğunluk	-	96%	98%	100%

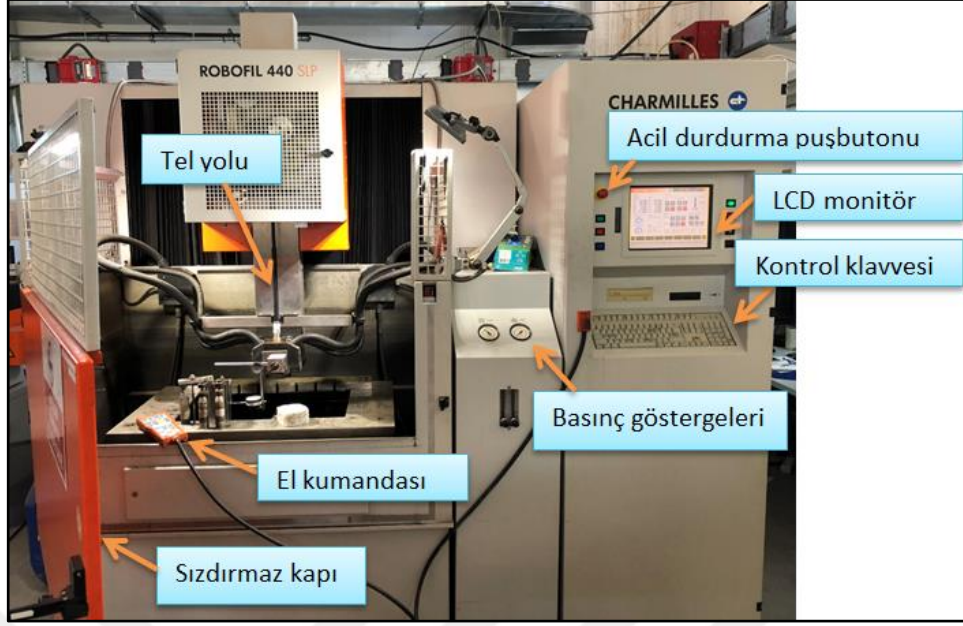
17-4 PH kalite paslanmaz çelik malzemelere ait çekme – gerinim grafiği Şekil 4.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. 17-4 PH kalite paslanmaz çelik çekme-gerinim grafiği [39].

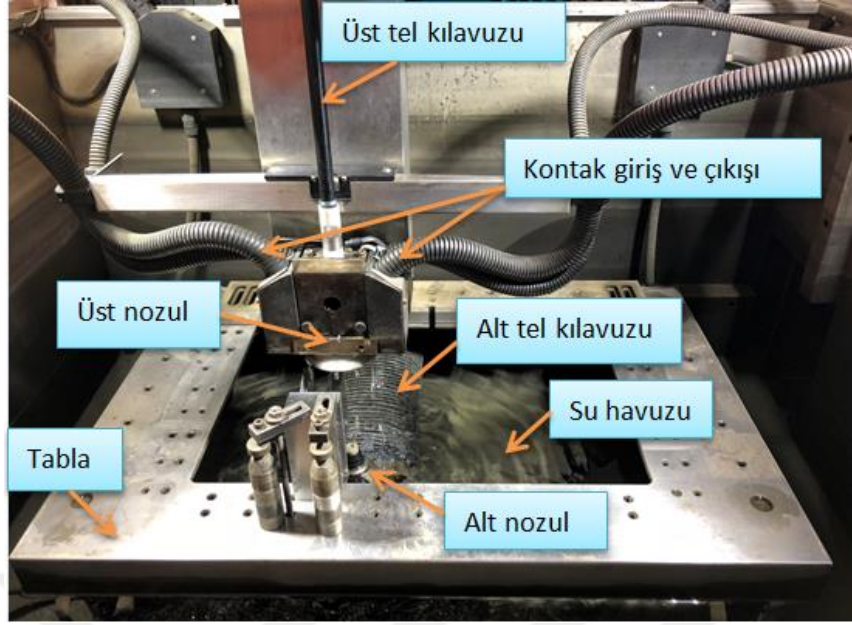
### 4.3. DENEYDE KULLANILAN TEL EROZYON TEZGAHI

Deneyimizde Charmilles Marka Robofil 440 SLP Model tel erozyon tezgahı kullanılmıştır. Hassas ve yüksek toleransa sahip parçaların kesme işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Robofil 440 SLP cihazı sağlam yapısı ile çeşitli malzeme yapılarında, karmaşık geometri ve kesitlere sahip parçaların tasarım ve ihtiyaca uygun özelliklerde kesilerek ürünün talaş kaldırma yöntemlerinden daha hızlı elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 4.5’de Robofil 440 SLP tel erozyon tezgahı gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Robofil 440 SLP tel erozyon tezgahı.

Tezgaha çok ağır parçalar rahatlıkla yüklenip işlenebilmektedir. Makinanın en hassas bileşenleri tel hareketlerinin sağlandığı kısımlardan oluşmaktadır. Bu bölümler kirden, darbelerden ve gerilmelerden etkilenmeden, dayanıklılığı sağlamak için ideal bir durumda kalıcı olarak çalışırlar. Tezgah programlama hataları veya olası hatalı manevralara karşı güvenlik sistemi sayesinde korunmaktadır. Robofil 440 SLP tezgahının iç yapısına ait görsel Şekil 4.6’da, Robofil 440 SLP tel erozyon tezgahına ait teknik özellikler Çizelge4.3’te, tezgahın diğer unsurlarına ait teknik özellikler Çizelge 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Robofil 440 SLP tel erozyon tezgahının iç yapısı.

Çizelge 4.3. Robofil 440 SLP tel erozyon tezgahına ait teknik özellikleri [37].

<b>Machine</b>		
Type of machining		Submerged wire cutting
Dimensions of complete equipment	in.	102.36 x 110.63 x 88.19 (81.88)
Total weight of equipment (without dielectric)	lbs.	7275
<b>Machining area</b>		
Max. workpiece dimensions	in.	47.24 x 27.56 x 15.75
Front door dimensions	in.	40.16
Max. workpiece weight	lbs.	3307
Dimensions of table	in.	35.43 x 23.62
Floor-to-table distance	in.	35.43
Total volume of dielectric	gal.	317
<b>X, Y, Z and U, V axes</b>		
X, Y, Z travel	in.	21.65 x 13.77 x 15.75
U, V travel	in.	21.65 x 13.77
Anti-collision protection		Standard on 5 axes
<b>Taper machining</b>		
Max. taper	°/in.	± 30/15.75

Çizelge 4.4. Robofil 440 SLP tel erozyon tezgahının unsurlarına ait teknik özellikler [37].

<b>Electricity supply</b>		
Three-phase input voltage	V	380/400
Total electricity consumption	kVA	10
<b>Wire circuit</b>		
Wire diameters available	in.	0.004 to 0.012
Type of wire guides		Closed diamond type without clearance
Permissible weights and types of reel (ISO standards)	lbs.	3.53 [K100] to 17.6 [K160]
Permissible weights and types of reel (JIS standards)	lbs.	6.6 [P3] to 11 [P5]
Programmable traction force	daN	0.3 to 3
Used wire processing		Built-in wire chopper
Automatic threading for wire	in.	0.004 to 0.012
<b>Dielectric</b>		
Paper filters		4 cartridges
Dielectric temperature	°F	± 0.9
Total volume of deionization resin	gal.	5.3
Max. injection pressure	bar	20 (programmable)
<b>Generator</b>		
Cutting speed	in./hour	28
Min. finishing	µm Ra	0.22
<b>Numerical control</b>		
Position measurement system		Glass linear scales
Measurement resolution	µm	0.00002
Servomotors		AC type
Architecture		PC multiprocessors
Operating system		Windows
Processors		Celeron
Screen		LCD 12" TFT
Data input		Touch screen
Keyboard		Standard alphanumeric PC style
Remote control		Standard
Hard disk capacity		10 GB
Port PCMCIA		Standard
Port Ethernet		Standard
Parallel, Serial ports		Possible

#### 4.4. DENEYDE KULLANILAN TEL

Deneyimizde tel erozyon kesimlerini gerçekleştirmek üzere Ø 0.25mm kalınlığında 900 N –P5 pirinç tel kullanılmıştır. Yüksek mukavemete sahip olup birçok teste tabi tutularak üretimleri gerçekleştirilmiştir. Kesim esnasında yüksek performans, kısa

devre içermeyen ve pürüzsüz bir yüzey kalitesi elde edilmek üzere mükemmel hammadde ve gelişmiş tavlama teknikleri uygulanarak üretilmiştir. Tel çaplarının hassas kesimler elde edebilmesi için geometrik hassasiyetleri lazer doğrulama ekipmanları ile gerçekleştirilmektedir. İhtiyaca uygun 0.30mm, 0.25mm, 0.20mm, 0.15mm, 0.10mm gibi çeşitli tel çaplarında temin edilebilmektedir. Deneyde kullanılan tele ait teknik bilgiler Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

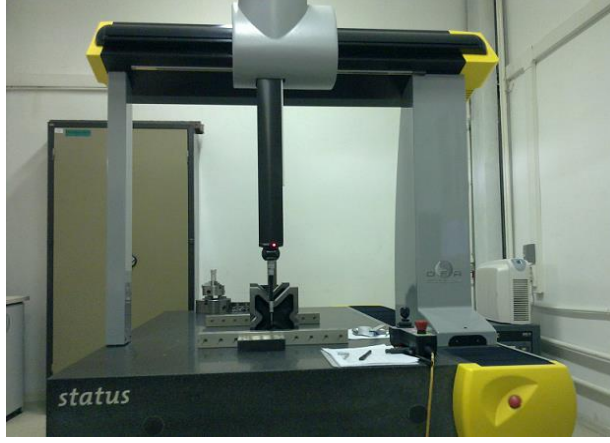
Çizelge 4.5. Ø 0,25mm tele ait teknik özellikler.

Tel tipi	Çap (mm)	Gerilme kuvveti (N/mm)	Birim ağırlık	Malzemeler	Makara türü	Uygulama
Zor	0,10	980-1180	3kg 5kg 6kg 8kg 10kg 15kg	CuZn37 CuZn38 CuZn40	P3, P5, P10, P15, DIN125, DIN160, D200	EDM Tel Kesim Makineleri: Sodick, Charmilles, Mitsubishi, Fanuc, Chmer, Japax, Hitachi, Manikno
	0,15					
	0,20					
	0,25					
	0,30	885-1080				
Yumuşak	0,10	450-520	3kg 5kg 6kg 8kg 10kg 15kg	CuZn37 CuZn38 CuZn40	P3, P5, P10, P15, DIN125, DIN160, D200	EDM Tel Kesim Makineleri: Sodick, Charmilles, Mitsubishi, Fanuc, Chmer, Japax, Hitachi, Manikno
	0,15					
	0,20					
	0,25					
	0,30					

#### 4.5. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

##### 4.5.1. Koordinat Ölçüm Cihazı (CMM)

Parçaların kesim işlemlerinden sonra ölçümleri yapılarak boyutsal kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm işlemleri DEA GLOBAL STATUS marka üç boyutlu koordinat ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir. Deney parçalarının ölçülmesinde koordinat ölçüm cihazının x ve y eksenlerinde mesafe ölçüm özelliği kullanılmıştır. Ölçümler ışığında sonuç raporları hazırlanarak değerlendirilmeleri yapılmıştır. Ölçüm cihazına ait görsel Şekil 4.7'de, ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.7' de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. DEA GLOBAL STATUS marka üç boyutlu koordinat ölçüm cihazı.

Çizelge 4.6. DEA GLOBAL STATUS üç boyutlu koordinat ölçüm cihazı teknik özellikleri.

<b>DEA GLOBAL STATUS CMM Cihazının Teknik Özellikleri</b>	
Cihaz Boyutları	1450x2965x2966 (mm)
Cihaz Ağırlığı	2250 Kg
Ortam Sıcaklığı	18-20 °C
Kapasitesi	900x2000x800 (mm)
Max Parça Ağırlığı	1800 Kg
Hassasiyet	0,08 µm

#### 4.5.2. Yüzey Pürüzlülüğü Cihazı

Deneyimizde tel erozyon tezgahında kesimleri yapılan parçaların yüzey kaliteleri ölçülerek değerlendirilmeleri yapılmıştır. Parçalarımızın yüzey kalitesi ölçümleri MİTUTOYO SJ -310 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülükleri ölçümlerinde 0.75 mN kuvvet, 0,5 mm/s hız ve 7 mm ölçüm mesafesinde kesim yönüne dik x ve y boyutlarında en sık kullanılan Ra (µm) aritmetik anlamda sapma parametresinde ölçümler yapılmıştır. MİTUTOYO SJ -310 cihazına ait görsel Şekil 4.8’de, cihazın teknik özellikleri Çizelge 4.8’ te gösterilmiştir.





Şekil 4.8. MİTUTOYO SJ -310 yüzey kalitesi ölçüm cihazı.

Çizelge 4.7. MİTUTOYO SJ 310 yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri [38].

Ölçüm ucu radyüsü	2 $\mu$ m
Ölçüm metodu	İndüksiyon yöntemi
Ölçüm ucu	Elmas
Kızak yarıçapı	40 mm
Ölçüm kuvveti	0,75 mN
Pürüzlülük standartları	EN ISO, VDA, ANSI, JIS
Ölçüm uzunluğu (L)	0,080 mm, 0,25 mm, 2,5 mm, 8 mm veya girilen değer
Kalibrasyon	Ram astarlı otomatik kalibrasyon
Örnekleme sayısı	x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10 veya serbest giriş
İstatistikler	Maks/Min, Ortalama değer, Standart sapma (s), Geçer oranı, Frekans dağılım tablosu

#### 4.5.3. Sertlik Ölçüm Cihazı

Deney numunelerimizin sertlik ölçümleri Rockwell Sertliği (HRC) parametresi kullanarak 120° açılı ve mil çapı Ø6.35mm elmas uç ile 10 kg (100 N) ön yük ve 150 kg ana yük altında yapılmıştır. Deneyimizde setlik ölçümlerini yaptığımız Struers Marka Duramin -500 model sertlik ölçme cihazında Maksimum kullanım kolaylığı

için tasarlanmış bir cihaz olup, büyük renkli dokunmatik ekran ve entegre yazılım sayesinde kullanımı kolaylığı sunmaktadır. Açılır menülerden parametrelerin kolayca seçilebileceği sezgisel kullanıcı ara yüzü ile donatılmıştır. Duramin-500 ile bütün bir test döngüsü otomatik olarak gerçekleştirilebilir, bu da hassasiyeti ve tekrarlanabilirliği büyük ölçüde geliştirir. Manuel veya otomatik sertlik değerlendirmesi için, döner lens sistemi veya otomatik 5 konumlu taret ve manuel veya motorlu örs yükseklik ayarı mümkündür. Raporları ve verileri dışa aktarmak için USB ve ethernet bağlantı noktası mevcuttur. Şekil 4.9’da Struers Duramin -500 sertlik ölçme cihazı, Çizelge 4.8’de cihaza ait teknik özellikler ve Çizelge 4.9’da cihaza ait genel özellikler gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Struers Duramin 500 sertlik ölçme cihazı.

Çizelge 4.8. Struers Duramin 500 sertlik ölçme cihazı teknik özellikleri [39].

Specific data for models with swiveling body						
	M25	A25	Z25	M75	A75	Z75
Test load range	9.8 N (1kgf) to 2452 N (250kgf)			29 N (3kgf) to 7355 N (750kgf)		
Preloads Rockwell	29 N (3kgf) and 98 N (10kgf)					
Objective lenses	40x 70x 320x 640x 1280x					
Anvil /stage height adjustment	Manual		Motorized	Manual		Motorized
Test height (mm)	0-260 mm		0-305 mm	0-260 mm		0-305 mm
Throat depth (mm)	200 mm		190 mm	200 mm		190 mm
Specific data for model with automatic turret						
	T25	M25ZT	T75	ZT75		
Test load range	29 N (3kgf) to 2452 N (250kgf)		29 N (3kgf) to 7355 N (750kgf)			
Preloads Rockwell	29 N (3kgf) and 98 N (10kgf)					
Objective lenses	50x 69x 130x 320x 640x 1280x					
Anvil /stage height adjustment	Manual		Motorized	Manual		Motorized
Test height (mm)	0-215 mm		0-260 mm	0-215 mm		0-260 mm
Throat depth (mm)	200 mm		190 mm	200 mm		190 mm

Çizelge 4.9. Struers Duramin 500 sertlik ölçme cihazı genel özellikleri [39].

Camera	½" 1280x1024 pixels
Light source	Adjustable LED
Display	8.4" TFT LCD, 170x130mm, 800x600 pixels
Test anvil support	25 mm dia. / 1" dia.
Max. specimen weight	50 kg / 110.2 Ibs
Connection ports	2 USB, Ethernet, RS 232
Power supply	1 x 110-230 V / 50-60 Hz
Power consumption	200 VA
Dimensions	(H) 1755 mm x (W) 750 mm x (D) 700 mm (H) 69.1" x (W) 29.5" x (D) 27.6" Including support table
Weight	Approx. 280 kg / 617.3 Ibs
Shipping weight	Approx. 250 kg / 992.1 Ibs
Conforms with standards	Vickers: DIN EN ISO 6507, ASTM E92, JIS 2251 Brinell: DIN EN ISO 6506, ASTM E10 Rockwell: DIN EN ISO 6508, ASTM E18

## BÖLÜM 5

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

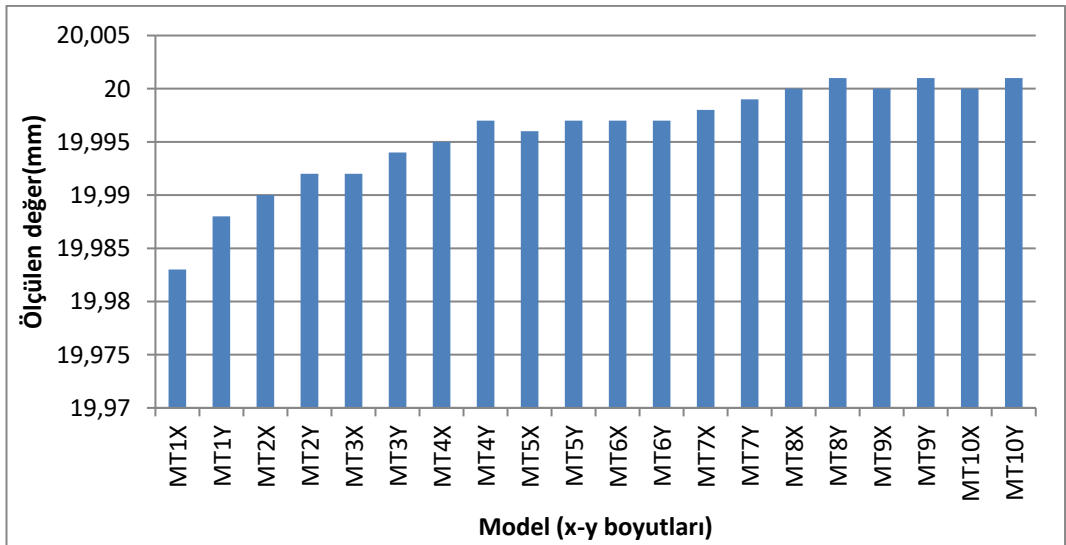
Bu bölümde tel erozyon tezgahında işlenen parçalarımızın ölçüsel uygunlukları, yüzey kalitesi ve sertlik değerleri yönünden incelenmiştir. İncelemeler neticesinde elde edilen veriler ışığında değerlendirmeler yapılacaktır.

#### 5.1. Boyutsal Ölçüm Uygunluğu

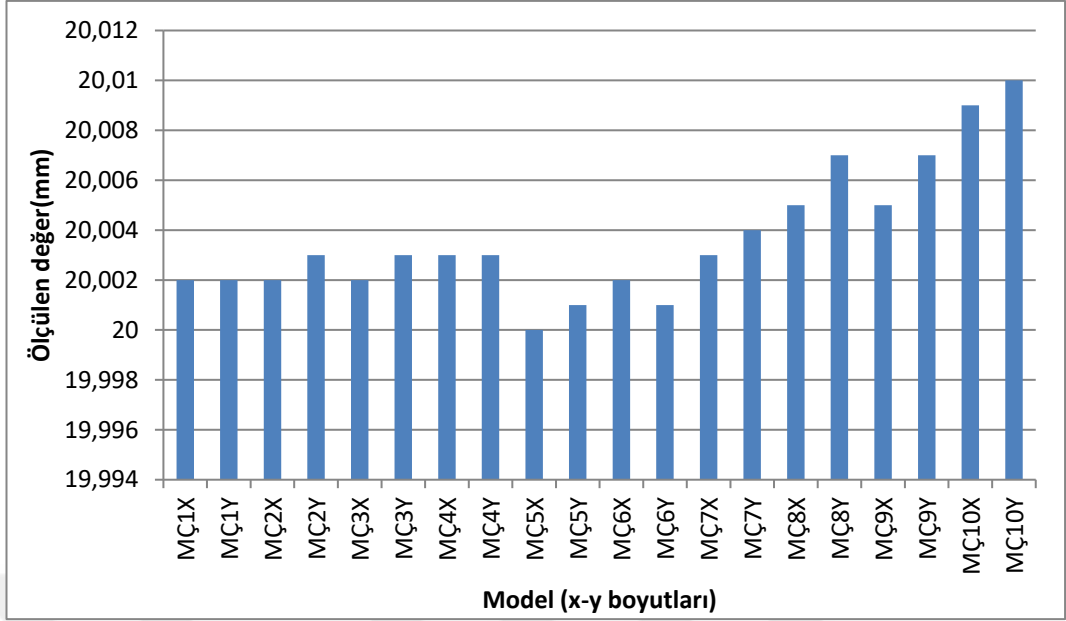
Deneysel kapsamında, tel erozyon tezgahında 90° açı ile çeşitli parametreler kullanılarak işlenen parçalarımızın, ölçüsel uygunlukları yüksek hassasiyetli üç boyutlu koordinat ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir. Geleneksel ölçüm cihaz ve aletlerine nazaran daha hassas, pratik ve kapsamlı ölçüsel uygunluk kontrolleri yapılmıştır. Ölçüm işlemleri aynı laboratuvar ortamında, farklı kesim parametreleri ile elde edilen 30 parça için her parça üzerindeki dört kesim yüzeylerini kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 5.1’ de, grafik olarak Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Boyutsal ölçüm (mm) sonuçları

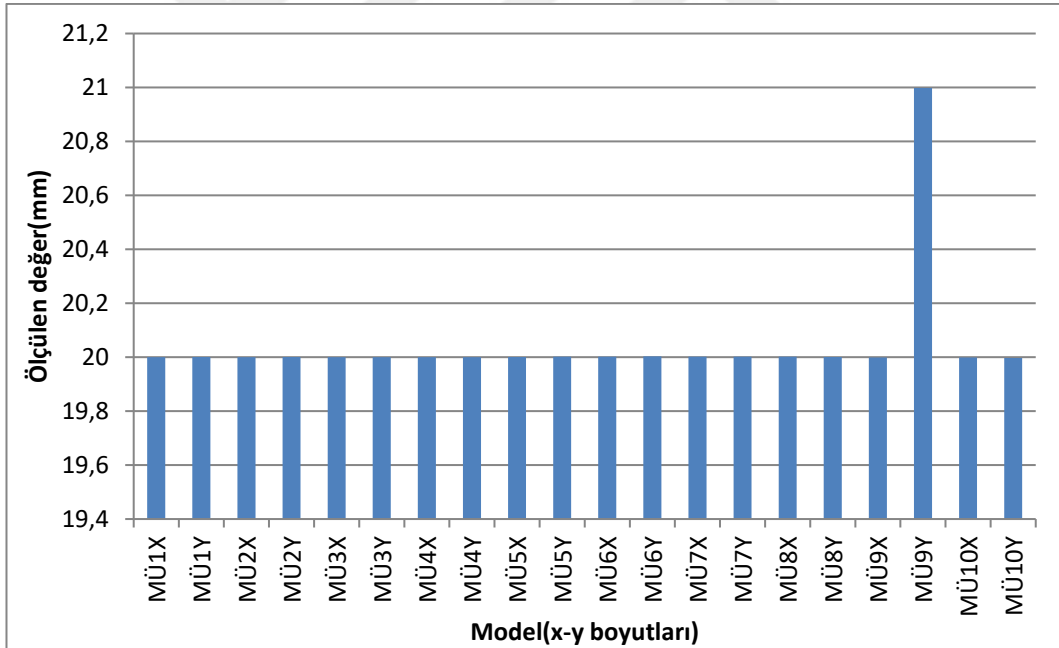
İlerleme (mm/min)	Model (Tekli Kesim)	Ölçülen Değer(mm)	Model (Çiftli Kesim)	Ölçülen Değer(mm)	Model (Üçlü Kesim)	Ölçülen Değer(mm)
% 10	MT1X	19,983	MÇ1X	20,002	MÜ1X	20,000
% 10	MT1Y	19,988	MÇ1Y	20,002	MÜ1Y	20,001
% 20	MT2X	19,990	MÇ2X	20,002	MÜ2X	20,000
% 20	MT2Y	19,992	MÇ2Y	20,003	MÜ2Y	20,001
% 30	MT3X	19,992	MÇ3X	20,002	MÜ3X	20,000
% 30	MT3Y	19,994	MÇ3Y	20,003	MÜ3Y	20,000
% 40	MT4X	19,995	MÇ4X	20,003	MÜ4X	20,000
% 40	MT4Y	19,997	MÇ4Y	20,003	MÜ4Y	20,000
% 50	MT5X	19,996	MÇ5X	20,000	MÜ5X	20,001
% 50	MT5Y	19,997	MÇ5Y	20,001	MÜ5Y	20,002
% 60	MT6X	19,997	MÇ6X	20,002	MÜ6X	20,002
% 60	MT6Y	19,997	MÇ6Y	20,001	MÜ6Y	20,003
% 70	MT7X	19,998	MÇ7X	20,003	MÜ7X	20,002
% 70	MT7Y	19,999	MÇ7Y	20,004	MÜ7Y	20,002
% 80	MT8X	20,000	MÇ8X	20,005	MÜ8X	20,002
% 80	MT8Y	20,001	MÇ8Y	20,007	MÜ8Y	20,001
% 90	MT9X	20,000	MÇ9X	20,005	MÜ9X	19,999
% 90	MT9Y	20,001	MÇ9Y	20,007	MÜ9Y	20,998
% 100	MT10X	20,000	MÇ10X	20,009	MÜ10X	19,999
% 100	MT10Y	20,001	MÇ10Y	20,010	MÜ10Y	19,997



Şekil 5.1. Tekli kesim ölçüm (mm) sonuçlarının grafiksel gösterimi.



Şekil 5.2. Çiftli kesim boyutsal ölçüm (mm) sonuçlarının grafiksel gösterimi.



Şekil 5.3. Çiftli kesim boyutsal ölçüm (mm) sonuçlarının grafiksel gösterimi.

Ürünlerin ölçümleri ile elde edilen veriler ve bu verilere göre oluşan grafikteki sonuçları değerlendirdiğimizde, tel erozyon tezgahında tekli, çiftli ve üçlü kesimler neticesinde parçaların ölçüm sonuçlarında farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Çoklu kesimlerin yanı sıra ilerleme oranlarının da modeller üzerinde ölçüsel farklar

oluşmasında etkili olduğu görülmektedir. Ölçüm sonuçları ve grafik incelendiğinde tekli, çiftli ve üçlü kesimler sonucu, parçalar üzerindeki ölçüsel sapmaların mikron düzeyinde olduğu görülmektedir.

Çoklu kesim metotların dan tekli kesim ile elde edilen modeller kendi içlerinde değerlendirildiğinde; MT8X- MT8Y (%80 ilerleme X 20,000mm-Y 20,001 mm), MT9X- MT9Y (%90 ilerleme X 20,000mm-Y 20,001mm) ve MT10X- MT10Y (%100 ilerleme X 20,000mm-Y 20,001mm) modellerinin X boyutlarında sapma olmadığı, ölçüsel olarak da en uygun modeller olduğu gözlenmiştir. Tekli kesim ile elde edilen bu üç model MT8X- MT8Y, MT9X- MT9Y ve MT10X- MT10Y birbiri aynı ölçüsel sonuçlara sahip olması ile ilk sırada yer almaktadır. Diğer 7 model ölçüsel olarak, en uygun modelden en çok sapma olan modele göre; 2. Sırada MT7X- MT7Y (%70 ilerleme X 19,998mm-Y 19,999mm), 3. Sırada MT6Y-MT6Y (%60 ilerleme X 19,997mm- Y 19,997mm), 4. Sırada MT5X-MT5Y (%50 ilerleme X 19,996 - Y 19,997), 5. Sırada MT4X-MT4Y (%40 ilerleme X 19,995mm-Y 19,997mm), 6. Sırada MT3X-MT3Y (%30 ilerleme X 19,992mm - Y 19,994mm) ve 7. sırada MT2X- MT2Y (%20 ilerleme X 19,990mm -Y 19,992mm) ve en çok sapma değeri ile 8. Sırada MT1X- MT1Y (%10 ilerleme X 19,983mm – Y 19,988mm) olacak şekilde sıralanmaktadır. Tekli kesimde X ve Y boyutlarının ölçümlerinde aynı sonucun elde edildiği tek model MT6X-MT6Y (%60 ilerleme X 19,997mm- Y 19,997mm) mevcuttur. X boyutunda 3 tane modelin tam ölçü çıktığı, Y boyutunda hiçbir modelin tam ölçüye sahip olmadığı gözlenmektedir. Tekli kesim ile elde edilen modellerin ölçüm değerleri %70 oranda eksi (-) yönde sapmaları, %15 oranda artı (+) yönde sapmaları, %15oranda da tam çıkan ölçüleri kapsamaktadır. İlerlemenin %80, %90 ve %100 olduğu durumlarda en uygun sonuçlar elde edilmektedir.

Çoklu kesim metotların dan çiftli kesim ile elde edilen modeller kendi içlerinde değerlendirildiğinde; MÇ5X- MÇ5Y (%50 ilerleme X 20,000mm –Y 20,001mm), modelinin X boyutunda sapma olmadığı, ölçüsel olarak da en uygun model olduğu gözlenmiştir. Diğer 9 model ölçüsel olarak, en uygun modelden en çok sapma olan modele göre; 2. Sırada MÇ6X- MÇ6X (%60 ilerleme X 20,002mm-Y 20,001mm), 3. Sırada MÇ1X-MÇ1Y (%10 ilerleme X 20,002mm- Y 20,002mm), 4. Sırada aynı sonuçlara sahip 2 model MÇ2X-MÇ2Y ( %20 ilerleme X 20,002mm –Y 20,003mm)

ve MÇ3X- MÇ3Y (%30 ilerleme X 20,002mm –Y 20,003mm), 5. Sırada MÇ4X- MÇ4Y ( %40 ilerleme X 20,003mm– Y 20,003mm), 6. Sırada MÇ7X-MÇ7Y (%70 ilerleme X 20,003mm- Y20,004mm), 7. Sırada aynı sonuçlara sahip 2 model MÇ8X- MÇ8Y( %80 ilerleme X 20,005mm - Y20,007mm), MÇ9X- MÇ9Y ( %90 ilerleme X 20,005mm - Y20,007mm) ve 8. Sırada MÇ10X- MÇ10Y ( %10 ilerleme X 20,009mm - Y 20,010mm) olacak şekilde sıralanmaktadır. Çiftli kesim ile X ve Y boyutlarının ölçümlerinde aynı sonucun elde edildiği 2 model MÇ1X-MÇ1Y (%10 ilerleme X 20,002mm- Y 20,002mm) ve MÇ4X-MÇ4Y (%40 ilerleme X 20,003mm– Y 20,003mm) mevcuttur. X boyutunda 1 tane modelin tam ölçü çıktığı, Y boyutunda hiçbir modelin tam ölçüye sahip olmadığı gözlenmektedir. Çiftli kesim ile elde edilen modellerin ölçüm değerleri %95 oranda artı (+) yönde sapmaları, %5 oranda da tam çıkan ölçüleri kapsamaktadır. Eksi (-) yönde sapma mevcut değildir. İlerlemenin %50 olduğu durumlarda en uygun sonuçlar elde edilmektedir.

Çoklu kesim metotların dan üçlü kesim ile elde edilen modeller kendi içlerinde değerlendirildiğinde; MÜ3X- MÜ3Y (%30 ilerleme X 20,000mm – Y 20,000mm), MÜ4X- MÜ4Y (%40 ilerleme X 20,000mm – Y 20,000mm) modellerinin X ve Y boyutlarında hiç sapma olmadığı, ölçüsel olarak da en uygun modeller olduğu gözlenmiştir. Diğer 7 model ölçüsel olarak, en uygun modelden en çok sapma olan modele göre; 2. Sırada aynı sonuçlara sahip 2 model, MÜ1X- MÜ1Y (%10 ilerleme X 20,000mm – Y 20,001mm) ve MÜ2X-MÜ2Y (%20 ilerleme X 20,000mm – Y 20,001mm), 3. Sırada aynı sonuçlara sahip 3 model, MÜ5X- MÜ5Y ( %50 ilerleme X 20,001mm - Y 20,002mm), MÜ8X- MÜ8Y (%80 ilerleme X 20,002mm - Y 20,001mm) ve MÜ9X- MÜ9Y (%90 ilerleme X 19,999mm - Y 19,998mm), 4. Sırada MÜ7X- MÜ7Y ( %40 ilerleme X 20,002mm – Y 20,002mm) ve 5. Sırada aynı sonuçlara sahip 2 model MÜ6X- MÜ6Y (%60 ilerleme X 20,002mm – Y 20,003mm) ve MÜ10X- MÜ10Y (%10 ilerleme X 19,999mm – Y 19,997mm) olacak şekilde sıralanmaktadır. Üçlü kesim ile X ve Y boyutlarının ölçümlerinde aynı sonucun elde edildiği 3 model, MÜ3X- MÜ3Y (%30 ilerleme X 20,000mm – Y 20,000mm), MÜ4X- MÜ4Y (%40 ilerleme X 20,000mm – Y 20,000mm) ve MÜ7X- MÜ7Y (%40 ilerleme X 20,002mm – Y 20,002mm) mevcuttur. X boyutunda 4 tane modelin, Y boyutunda da 2 tane modelin tam ölçüye sahip olduğu gözlenmektedir. Üçlü kesim ile elde edilen modellerin ölçüm değerleri %15 oranda eksi (-) yönde sapmaları, %55



oranda artı (+) yönde sapmaları, %30 oranda da tam çıkan ölçüleri kapsamaktadır. İlerlemenin %30 ve %40 olduğu durumlarda en uygun sonuçlar elde edilmektedir.

Ölçüm sonuçları ve grafik incelenerek tekli, çiftli ve üçlü kesimler sonucu elde edilen modeller birbirleri ile kıyaslandığında; en uygun ölçüsel sonuçlar üçlü kesim ile elde edilen modellerde, daha sonra ikili kesim ile elde edilen modeller son sıra da en çok ölçüsel sapmaya sahip tek kesim ile edilen modeller görülmektedir. Modellerin X ve Y boyutları arasındaki farkların en çok olduğu kesim tekli kesim, sonrasında çiftli kesim ve en az olduğu kesim üçlü kesimdir. Modellerin X ve Y boyutları tam ölçüm değerlerine sahip MÜ3X- MÜ3Y ve MÜ4X- MÜ4Y bu iki model sadece üçlü kesimlerle elde edilmiştir. Tekli ve çiftli kesim de her iki boyutta (X ve Y boyutları) aynı modelde tam ölçüm değerlerine (X 20mm Y 20mm) sahip model yoktur.

Üçlü kesimlerin en hassas ölçülere sahip olmasının nedeni, birinci kesim ile kaba boşaltma ikinci kesim ile geometrinin oluşturulması ve mikron düzeyinde son ölçülere yaklaşma, üçüncü kesim ile esas son geometrinin oluşturulması ve gerçek ölçünün ortaya çıkarılmasıdır.

Tekli kesim de en kötü sonuçlar elde edilmesinin sebebi, bir boşaltma olmaksızın finish payı bırakmadan, direk olarak gerçek ölçü ve geometriye göre kesim yapılmasıdır. İlerleme değerlerine göre üç kesim yöntemi karşılaştırıldığında %10, %20, %30, %40 ilerlemeler de en iyi sonuçlar üçlü kesim ile sonrasında çiftli kesim ve en kötü sonuçlar tekli kesim ile elde edilmektedir. %50, %60 ilerleme değerlerine göre en iyi sonuçlar çiftli kesim ile sonrasında üçlü kesim ve en kötü sonuçlar tekli kesim ile elde edilmektedir. %70, %80, %90, %100 ilerleme değerlerine göre en iyi sonuçlar tekli kesim ile sonrasında üçlü kesim ve en kötü sonuçlar çiftli kesim ile elde edilmektedir.

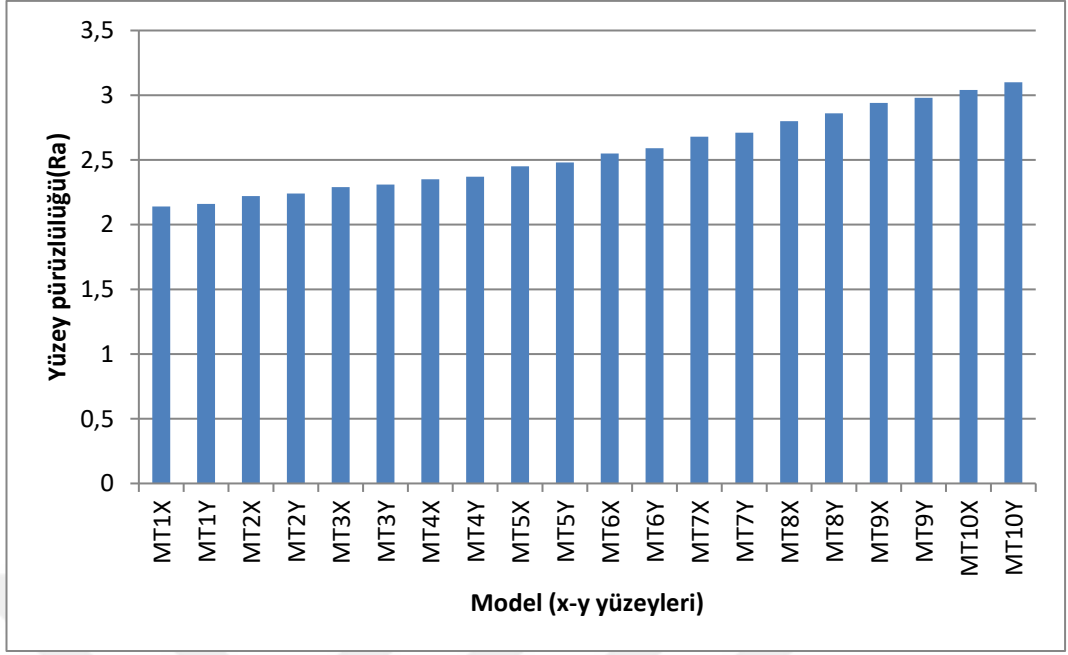
## **5.2. Yüzey Pürüzlülük Değeri**

Modellerimiz üzerinde her bir parça için X ve Y boyutlarında referans yüzeyi seçilerek bu yüzeylerde 8 mm'lik ölçüm uzunluğunda yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür.

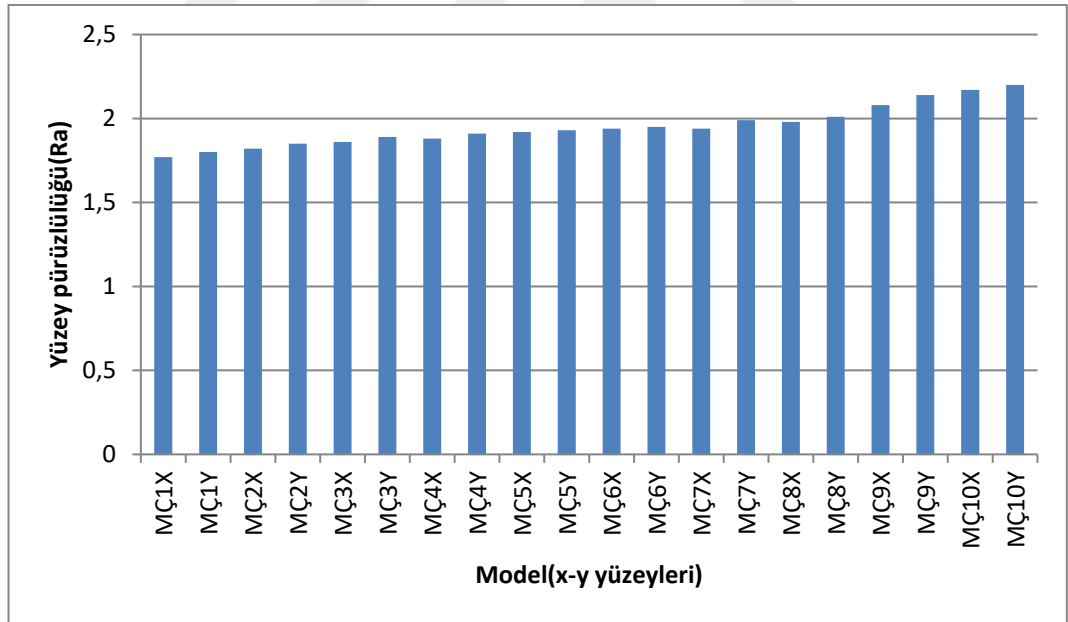
Ölçümler neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2’ de, grafik olarak Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri.

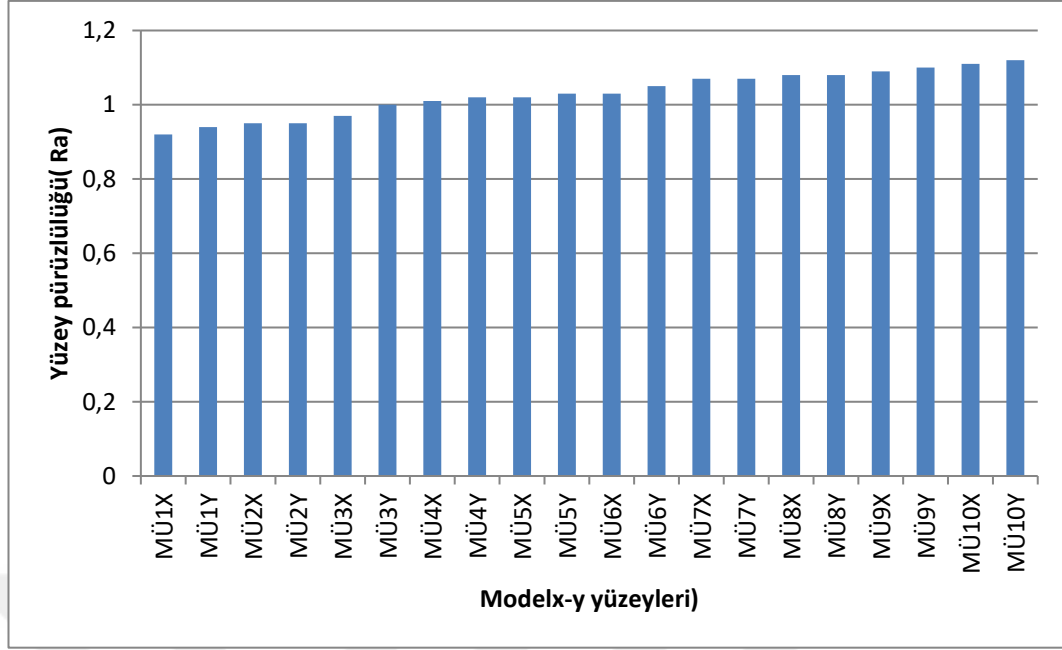
İlerleme (mm/min)	Model (Tekli Kesim)	Yüzey pürüzlülük değeri (µm)	Model (Çiftli Kesim)	Yüzey pürüzlülük değeri (µm)	Model (Üçlü Kesim)	Yüzey pürüzlülük değeri (µm)
%10	MT1X	2,14	MÇ1X	1,77	MÜ1X	0,92
%10	MT1Y	2,16	MÇ1Y	1,80	MÜ1Y	0,94
%20	MT2X	2,22	MÇ2X	1,82	MÜ2X	0,95
%20	MT2Y	2,24	MÇ2Y	1,85	MÜ2Y	0,95
%30	MT3X	2,29	MÇ3X	1,86	MÜ3X	0,97
%30	MT3Y	2,31	MÇ3Y	1,89	MÜ3Y	1,00
%40	MT4X	2,35	MÇ4X	1,88	MÜ4X	1,01
%40	MT4Y	2,37	MÇ4Y	1,91	MÜ4Y	1,02
%50	MT5X	2,45	MÇ5X	1,92	MÜ5X	1,02
%50	MT5Y	2,48	MÇ5Y	1,93	MÜ5Y	1,03
%60	MT6X	2,55	MÇ6X	1,94	MÜ6X	1,03
%60	MT6Y	2,59	MÇ6Y	1,95	MÜ6Y	1,05
%70	MT7X	2,68	MÇ7X	1,94	MÜ7X	1,07
%70	MT7Y	2,71	MÇ7Y	1,99	MÜ7Y	1,07
%80	MT8X	2,80	MÇ8X	1,98	MÜ8X	1,08
%80	MT8Y	2,86	MÇ8Y	2,01	MÜ8Y	1,08
%90	MT9X	2,94	MÇ9X	2,08	MÜ9X	1,09
%90	MT9Y	2,98	MÇ9Y	2,14	MÜ9Y	1,10
%100	MT10X	3,04	MÇ10X	2,17	MÜ10X	1,11
%100	MT10Y	3,10	MÇ10Y	2,20	MÜ10Y	1,12



Şekil 5.4. Tekli kesim yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin grafiksel gösterimi.



Şekil 5.5. Çiftli kesim yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin grafiksel gösterimi.



Şekil 5.6. Üçlü kesim yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin grafiksel gösterimi.

Çizelge 5.2'deki yüzey pürüzlülük değerleri ve Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'daki yüzey pürüzlülük grafikleri incelendiğinde tel erozyon tezgahında tekli, çiftli ve üçlü kesimler neticesinde parçaların yüzey pürüzlülük değerlerinde farklar olduğu gözlenmiştir. Kesme yöntemlerinin yanı sıra, ilerleme hızlarının da parçaların yüzey pürüzlülük değerlerine direk olarak etki ettiği görülmektedir.

Çoklu kesim metotların dan tekli kesim ile elde edilen modellerin yüzey pürüzlülük değerlerini kendi içlerinde değerlendirdiğimizde; en iyi yüzey pürüzlülük sonuçları en düşük ilerleme değerlerinde MT1X-MT1Y (%10 ilerleme X 2,14 $\mu$ m–Y 2,16 $\mu$ m), en kötü yüzey pürüzlülük sonuçları en yüksek ilerleme değerlerinde MT10X- MT10Y (%100 ilerleme X 3,04 $\mu$ m- Y 3,10 $\mu$ m) oluşmaktadır. İlerleme değerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde kötü sonuçlar elde edilmiştir.

Çoklu kesim metotların dan çiftli kesim ile elde edilen modellerin yüzey pürüzlülük değerlerini kendi içlerinde değerlendirdiğimizde; en iyi yüzey pürüzlülük sonuçları en düşük ilerleme değerlerinde MT1X-MT1Y (%10 ilerleme X 1,77 $\mu$ m–Y 1,80 $\mu$ m), en kötü yüzey pürüzlülük sonuçları en yüksek ilerleme değerlerinde MT10X-MT10Y

(%100 ilerleme X 2,17 $\mu$ m- Y 2,20  $\mu$ m) oluşmaktadır. İlerleme değerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde kötü sonuçlar elde edilmiştir.

Çoklu kesim metotların dan üçlü kesim ile elde edilen modellerin yüzey pürüzlülük değerlerini kendi içlerinde değerlendirdiğimizde; en iyi yüzey pürüzlülük sonuçları en düşük ilerleme değerlerinde MT1X-MT1Y (%10 ilerleme X 0,92 $\mu$ m–Y 0,94 $\mu$ m), en kötü yüzey pürüzlülük sonuçları en yüksek ilerleme değerlerinde MT10X-MT10Y (%100 ilerleme X 1,11 $\mu$ m- Y 1,12 $\mu$ m) oluşmaktadır. Üçlü kesim yöntemlerinde 3 model için MÜ2X-MÜ2Y (%20 ilerleme X 0,95 $\mu$ m–Y 0,95 $\mu$ m), MÜ7X-MÜ7Y (%70 ilerleme X 1,07 $\mu$ m -Y 1,07 $\mu$ m) ve MÜ8X-MÜ8Y (%80 ilerleme X 1,08 $\mu$ m -Y 1,08 $\mu$ m) birbiri ile farklı yalnız X ve Y boyutlarının aynı yüzey pürüzlülüğü değerlerine sahip olduğu gözlenmektedir. İlerleme değerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde kötü sonuçlar elde edilmiştir.

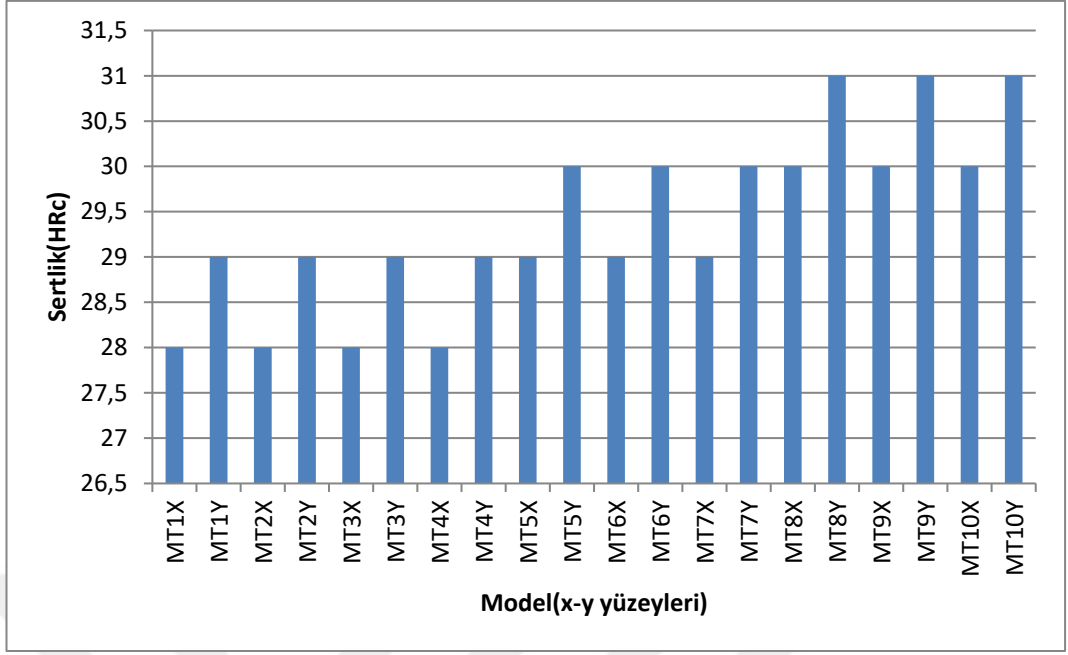
Yüzey pürüzlülük değerleri ve yüzey pürüzlülük grafiği incelenerek tekli, çiftli ve üçlü kesimler sonucu elde edilen modeller birbirleri ile kıyaslandığında; en iyi yüzey pürüzlülük değerleri üçlü kesimler ile sonrasında çiftli kesimler ve en kötü sonuçlar da tekli kesimlerde elde edilmiştir. Üçlü kesimlerdeki en kötü değer tekli ve çiftli kesimlerdeki en iyi değerlere göre daha iyidir. Üçlü kesimlerin en uygun çıkmasının sebebi parça üzerinde gerçekleştirilen üç kesim ile tel ve kesim yüzeyine çok kuvvet uygulanmadan kesimlerin daha rahat gerçekleştirilmesidir. Tekli ve çiftli kesimlerde model ve tele daha fazla kuvvet uygulanmaktadır.

### **5.3. Sertlik Değerleri**

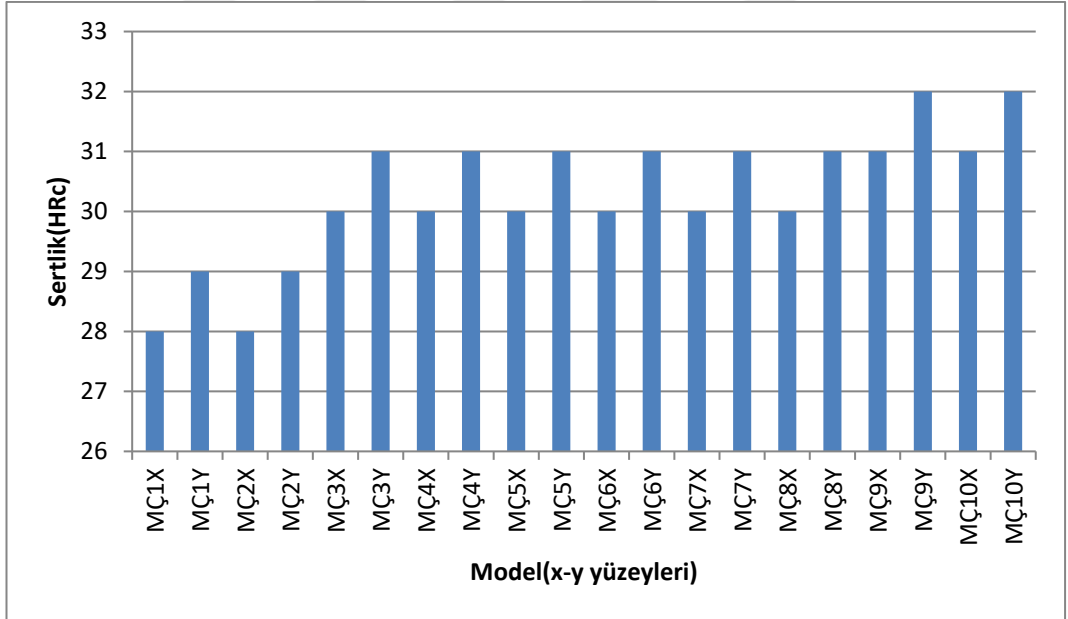
Modellerimiz üzerinde her bir parça için X ve Y boyutlarında referans yüzeyi seçilerek bu yüzeylerde sertlik değerleri ölçülmüştür. Ölçümler neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3'te ve grafik olarak Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Sertlik ölçüm (HRc) değerleri.

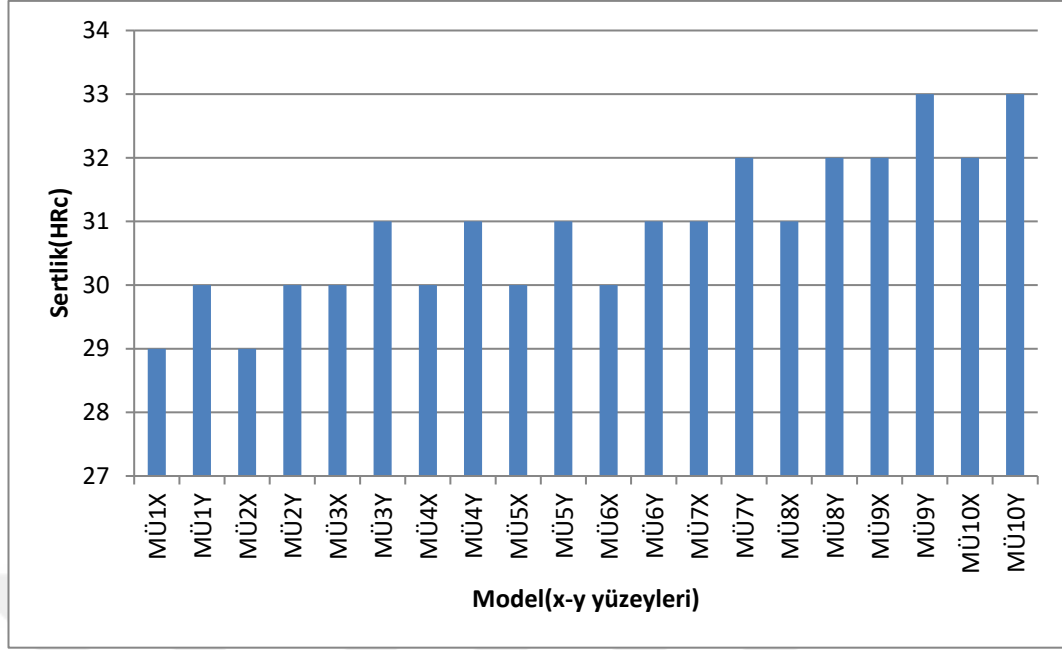
İlerleme (mm/min)	Model (Tekli Kesim)	Sertlik Ölçüm Değerleri (HRc)	Model (Çiftli Kesim)	Sertlik Ölçüm Değerleri (HRc)	Model (Üçlü Kesim)	Sertlik Ölçüm Değerleri (HRc)
%10	MT1X	28	MÇ1X	28	MÜ1X	29
%10	MT1Y	29	MÇ1Y	29	MÜ1Y	30
%20	MT2X	28	MÇ2X	28	MÜ2X	29
%20	MT2Y	29	MÇ2Y	29	MÜ2Y	30
%30	MT3X	28	MÇ3X	30	MÜ3X	30
%30	MT3Y	29	MÇ3Y	31	MÜ3Y	31
%40	MT4X	28	MÇ4X	30	MÜ4X	30
%40	MT4Y	29	MÇ4Y	31	MÜ4Y	31
%50	MT5X	29	MÇ5X	30	MÜ5X	30
%50	MT5Y	30	MÇ5Y	31	MÜ5Y	31
%60	MT6X	29	MÇ6X	30	MÜ6X	30
%60	MT6Y	30	MÇ6Y	31	MÜ6Y	31
%70	MT7X	29	MÇ7X	30	MÜ7X	31
%70	MT7Y	30	MÇ7Y	31	MÜ7Y	32
%80	MT8X	30	MÇ8X	30	MÜ8X	31
%80	MT8Y	31	MÇ8Y	31	MÜ8Y	32
%90	MT9X	30	MÇ9X	31	MÜ9X	32
%90	MT9Y	31	MÇ9Y	32	MÜ9Y	33
%100	MT10X	30	MÇ10X	31	MÜ10X	32
%100	MT10Y	31	MÇ10Y	32	MÜ10Y	33



Şekil 5.7. Tekli kesim sertlik (HRC) değerlerinin grafiksel gösterimi.



Şekil 5.8. Çiftli kesim sertlik (HRC) değerlerinin grafiksel gösterimi.



Şekil 5.9. Üçlü kesim sertlik (HRc) değerlerinin grafiksel gösterimi.

Çizelge 5.3’de ki sertlik değerleri ve Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da ki sertlik değerlerine ait grafikler incelendiğinde tel erozyon tezgahında tekli, çiftli ve üçlü kesimler neticesinde parçaların sertlik değerlerinde birtakım benzerlikler olduğu gibi farklılıklar olduğu da gözlenmiştir. Kesme yöntemlerinin yanı sıra, ilerleme hızlarının da parçaların sertlik değerlerine etki ettiği görülmektedir.

Çoklu kesim metotların dan tekli kesim ile elde edilen modellerin sertlik değerlerini kendi içlerinde değerlendirdiğimizde; 3 farklı sertlik sonucunun elde edildiği gözlenmektedir. Bunlardan birincisi %10, %20, %30, %40 ilerlemeler ile elde edilen modeller aynı sonuçlara MT1X-MT1Y (% 10 ilerleme X 28HRc -Y 29HRc), MT2X-MT2Y (%20 ilerleme X 28HRc -Y 29HRc), MT3X-MT3Y (%30 ilerleme X 28HRc -Y 29HRc), MT4X-MT4Y (%40 ilerleme X 28HRc -Y 29HRc) sahiptir. İkincisi %50, %60 ve %70 ilerlemeler ile elde edilen modeller aynı sonuçlara MT5X- MT5Y (%50 ilerleme X 29HRc -Y 30HRc), MT6X- MT6Y (%60 ilerleme X 29HRc -Y 30HRc), MT7X- MT7Y (%70 ilerleme X 29HRc -Y 30HRc) sahiptir. Üçüncüsü ise %80, %90 ve %100 ilerlemeler ile elde edilen modeller aynı sonuçlara MT8X- MT8Y(%80 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc), MT9X-MT9Y(%90 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc), MT10X- MT10Y (%100 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc) sahiptir. İlerlemenin %80,



%90 ve %100 olduđu modeller (X 30HRc -Y 31HRc) en sert, ilerlemenin %50, %60 ve %70 olduđu modeller (X 29HRc -Y 30HRc) ikinci sertlik deęerlerinde ve ilerlemenin %10, %20 %30 ve %40 olduđu modeller en dűşük sertlikteki (X 28HRc -Y 29HRc) modellerdir.

Çoklu kesim metotların dan çiftli kesim ile elde edilen modellerin sertlik değerlerini kendi içlerinde değerlendirdiğimizde; 3 farklı sertlik sonucunun elde edildiği gözlenmektedir. Bunlardan birincisi %10 ve %20 ilerlemeler ile elde edilen modeller aynı sonuçlara MT1X-MT1Y (%10 ilerleme X 28HRc -Y 29HRc), MT2X-MT2Y (%20 ilerleme X 28HRc -Y 29HRc) sahiptir. İkincisi %30, %40, %50, %60, %70 ve %80 ilerlemeler ile elde edilen modeller aynı sonuçlara MT3X-MT3Y (%30 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc), MT4X-MT4Y (%40 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc), MT5X-MT5Y (%50 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc), MT6X- MT6Y (%60 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc), MT7X- MT7Y (%70 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc), MT8X-MT8Y(%80 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc) sahiptir. Üçüncüsü %90 ve %100 ilerlemeler ile elde edilen modeller aynı sonuçlara MT9X-MT9Y(%90 ilerleme X 31HRc -Y 32HRc), MT10X- MT10Y (%100 ilerleme X 31HRc -Y 32HRc) sahiptir.

İlerlemenin %90 ve %100 olduđu modeller (X 31HRc -Y 32HRc) en sert, İlerlemenin %30, %40, %50, %60, %70 ve %80 olduđu modeller (X 30HRc -Y 31HRc) ikinci sertlik deęerlerinde ve ilerlemenin %10 ve %20 olduđu modeller en dűşük sertlikteki (X 28HRc -Y 29HRc) modellerdir.

Çoklu kesim metotların dan üçlü kesim ile elde edilen modellerin sertlik değerlerini kendi içlerinde değerlendirdiğimizde; 4 farklı sertlik sonucunun elde edildiği gözlenmektedir. Bunlardan birincisi %10 ve %20 ilerlemeler ile elde edilen modeller aynı sonuçlara MT1X-MT1Y (%10 ilerleme X 29HRc -Y 30HRc), MT2X-MT2Y (%20 ilerleme X 29HRc -Y 30HRc) sahiptir. İkincisi %30, %40, %50 ve %60 ilerlemeler ile elde edilen modeller aynı sonuçlara MT3X-MT3Y (%30 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc), MT4X-MT4Y (%40 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc), MT5X-MT5Y (%50 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc), MT6X- MT6Y (%60 ilerleme X 30HRc -Y 31HRc) sahiptir. Üçüncüsü %70 ve %80 ilerlemeler ile elde edilen modeller aynı sonuçlara MT7X- MT7Y (%70 ilerleme X 31HRc -Y 32HRc), MT8X-MT8Y(%80

ilerleme X 31HRc -Y 32HRc) sahiptir. Dördüncüsü ise %90 ve %100 ilerlemeler ile elde edilen modeller aynı sonuçlara MT9X-MT9Y(%90 ilerleme X 32HRc -Y 33HRc), MT10X- MT10Y (%100 ilerleme X 32HRc -Y 33HRc) sahiptir.

İlerlemenin %90 ve %100 olduğu modeller (X 32HRc -Y 33HRc) en sert, ilerlemenin %70 ve %80 olduğu modeller (X 31HRc -Y 32HRc) ikinci sertlik değerlerinde, ilerlemenin %30, %40, %50 ve %60 olduğu modeller (X 30HRc -Y 31HRc) üçüncü sertlik değerlerinde ve ilerlemenin %10 ve %20 olduğu modeller en düşük sertlikteki (X 29HRc -Y 30HRc) modellerdir.

Sertlik değerleri ve grafiği incelenerek tekli, çiftli ve üçlü kesimler sonucu elde edilen modeller birbirleri ile kıyaslandığında; genel olarak üçlü kesim ile elde edilen modellerin en sert, ikinci sertlik değerine sahip modeller çiftli kesim ile ve en düşük sertlikteki modellerde tekli kesim ile elde edilmişlerdir. Tekli kesim MT1X- MT1Y, MT2X- MT2Y ve çiftli kesim MÇ1X- MÇ1Y, MT2X- MT2Y %10 ilerleme değerinde aynı sertlik (X 28HRc -Y 29HRc) sonuçlarına, tekli kesim MT8X- MT8Y ve çiftli kesim MÇ8X- MÇ8Y %80 ilerleme değerinde aynı sertlik (X 30HRc -Y 31HRc) sonuçlarına, çiftli kesim MÇ3X- MÇ3Y ve üçlü kesim MÜ3X- MÜ3Y %30 ilerleme değerinde aynı sertlik (X 30HRc -Y 31HRc) sonuçlarına, çiftli kesim MÇ4X- MÇ4Y ve üçlü kesim MÜ4X- MÜ4Y %40 ilerleme değerinde aynı sertlik (X 30HRc -Y 31HRc) sonuçlarına, çiftli kesim MÇ5X- MÇ5Y ve üçlü kesim MÜ5X- MÜ5Y %50 ilerleme değerinde aynı sertlik (X 30HRc -Y 31HRc) sonuçlarına, çiftli kesim MÇ6X- MÇ6Y ve üçlü kesim MÜ6X- MÜ6Y %60 ilerleme değerinde aynı sertlik (X 30HRc -Y 31HRc) sonuçlarına sahiptir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 6.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada ölçülendirilen bir modelin tel erozyon tezgahında çeşitli parametrelerde kesimleri gerçekleştirilmiştir. Kesimleri gerçekleştirilen bütün modeller için ölçüsel uygunluk ve sapmalar kontrol edilmiştir. Her bir modelin yüzey pürüzlülük değerleri hassas ölçüm cihazları ile kontrol edilerek değişen parametrelerin yüzey pürüzlülüklerine etkileri incelenmiştir. Bunların yanı sıra kesme işlemleri sonrasında malzemede oluşan sertlik oluşumları hassas cihazlar ile ölçülerek değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen deney ve gözlemler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tel erozyon tezgahında 17-4 Ph paslanmaz çelik malzemelerin kesimleri gerçekleştirilerek ölçüsel sonuçlar değerlendirildiğinde çoklu kesim yöntemlerinden en iyi sonuçların üçlü kesimler, daha sonra çiftli kesimler ve en kötü sonuçlarında tekli kesimler ile elde edildiği gözlenmiştir. Elde edilen modellerin ölçüm sonuçları incelendiğinde de en düşük sapma oranlarının üçlü kesimlerde daha sonra çiftli kesimlerde ve en çok sapma oranları da tekli kesimlerde görülmektedir. Tek kesim ile elde edilen modellerde sapmaların büyük olmasının nedeni, tel ve parçaya yüksek oranda kuvvetin etki etmesidir. İstenilen ölçünün elde edilmesinde çiftli ve üçlü kesim metotları ile parça ve tele binen kuvvet oranını düşürmek gerekmektedir.

Tekli kesim metotları ile elde edilen modellerin ölçüm sonuçları incelendiğinde %10 dan %70 ilerleme değerine kadar, ilerlemedeki artış ölçüsel sapmanın azalmasına sebep olmaktadır. %80 ile %100 ilerleme aralığında ölçüm değerleri aynı çıkmaktadır. En uygun sonuçlar %80, %90 ve %100 ilerleme değerlerinde elde edilmiştir.

Çiftli kesim metotları ile elde edilen modellerin ölçüm sonuçları incelendiğinde tekli kesim yöntemine göre daha iyi sonuçların elde edildiği gözlenmiştir. Çiftli kesimler içerisinde en iyi sonuçlar %50 ilerleme ile elde edilmiştir. %50 ilerleme üstündeki ilerleme değerlerinde ölçüsel sapmaların arttığı, altındaki ilerleme değerlerinde ölçüsel sapmaların azaldığı gözlenmektedir.

Üçlü kesim metotları ile elde edilen modellerin ölçüm sonuçları incelendiğinde diğer iki kesim yöntemlerine göre en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Üçlü kesimlerde elde edilen en büyük sapma değeri diğer kesimlerde ki en küçük sapma değerlerinden daha küçük ve daha uygundur. Üçlü kesimlerde tam ölçüsel sonuç %30 ve %40 ilerleme değerlerin de elde edilmiştir.

Tekli kesim metotları ile elde edilen modellerin yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde de %10 dan %100'e ilerleme değerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde kötüleşme görülmektedir. Tekli kesim ile en iyi yüzey pürüzlülük sonuçları en küçük ilerleme değerinde görülmektedir.

Çiftli kesim metotları ile elde edilen modellerin yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde de de %10 dan %100'e ilerleme değerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde kötüleşme görülmektedir. Çiftli kesim ile en iyi yüzey pürüzlülük sonuçları en küçük ilerleme değerinde görülmektedir.

Üçlü kesim metotları ile elde edilen modellerin yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde diğer iki kesim yöntemlerine göre en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Üçlü kesim ile en iyi yüzey pürüzlülük sonuçları en küçük ilerleme değerinde görülmektedir. Üçlü kesimlerde elde edilen en büyük yüzey pürüzlülük değeri değeri diğer kesimlerde ki en küçük yüzey pürüzlülük değerlerinden daha küçük ve daha uygundur. Bu nedenle en iyi yüzey pürüzlülük değerleri üçlü kesimler ile elde edilmiştir.

Tekli çiftli ve üçlü kesim metotları ile elde edilen modellerin sertlik değerleri incelendiğinde en sert değerler üçlü daha sonrasında çiftli ve en düşük sertlik değerleri tekli kesim metodu ile elde edilmiştir.

Tel erozyon kesimi sonrası parçaların kenarlarında keskin köşeler olduğu gözlenmektedir.

## 6.2. ÖNERİLER

- Tel erozyon tezgahında hassas ölçüler için üçlü kesim yöntemi ve bu yöntemde %30 ve %40 ilerleme ile kesimler gerçekleştirilebilir.
- Tekli kesim yönteminde en uygun ölçüsel değerler için %80, %90 ve %100 ilerleme değerlerinden bir tanesi kullanılabilir.
- Çiftli kesim yönteminde en uygun ölçüsel değerler için %50 ilerleme değeri kullanılabilir.
- Tekli kesimlerde yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlarda en düşük ilerleme ile kesimler gerçekleştirilebilir.
- Çiftli kesimlerde yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlarda en düşük ilerleme ile kesimler gerçekleştirilebilir.
- Üçlü kesimlerde yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlarda en düşük ilerleme ile kesimler gerçekleştirilebilir.
- Çoklu kesim yöntemleri ile yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlarda üçlü kesim yöntemleri ile en düşük ilerlemede kesimler gerçekleştirilebilir.
- Yüksek sertlik istenilen parçalarda üçlü kesim yöntemleri kullanılmalıdır.
- Üretilmesi zor, karmaşık şekilli parçaların imalatında hassas ölçüm değerleri için tel erozyon ile kesim yöntemleri kullanılabilir.

Bu çalışmada ele alınamayan fakat üzerinde çalışılabilecek konular:

- Tel erozyon tezgahında fonksiyonel olarak çalışan parçaların üretimleri gerçekleştirilerek parçaların çalışabilirliği araştırılabilir.
- 5 eksen tel erozyon ile açılı yüzeylerin kesimleri araştırılabilir.
- Paslanmaz malzemenin ısı işlemsiz ve ısı işlem görmüş halinin tel erozyonda kesilebilirliği araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Korkmaz, M. E., Meral, T. ve Günay, M., “AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin delinebilirliğinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi”, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(3): 223-229 (2018).
2. Kayır, Y., Aslan, S., Aytürk, A., “AISI 316Tİ paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç etkisinin taguchi yöntemi ile analizi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2): 363-372 (2013).
3. İnternet: Tübitak, “Paslanmaz Çelikler”, <http://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/paslanmaz-celik-neden-paslanmaz> (2019).
4. Gardner, L., Insausti, A., Ng, K. T. and Ashraf, M., “Elevated temperature material properties of stainless-steel alloys”, *Journal of Constructional Steel Research*, 66:634–647 (2010).
5. Sivaiah, P., Chakradhar, D., “Modeling and optimization of sustainable manufacturing process in machining of 17-4 PH stainless steel”, *Measurement*, 134:142-152 (2019).
6. Yaman, K., Özcan, M., Tekiner, Z., “AISI 304L paslanmaz çeliğin sıvama parametrelerinin sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33:1 299-311 (2018).
7. Çakır, A. F., “Korozyon: insanlık için stratejik öneme sahip tabii bir olay”, *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası, Metalurji Sayı*,179-181 (2016).
8. Nayır, H., “Paslanmaz çeliklerde bölgesel korozyon”, *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir (2017).
9. Özbek N. A., Çiçek, A., Gülesin, M., Özbek, O., “AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, *Journal of Polytechnic*, 20 (1): 43-49 (2017).
10. Dewangan, A. K, Patel A. D., Bhadania, A. G, “Stainless steel for dairy and food industry: A review”, *Journal of Material Sciences & Engineering*, 4:5 (2015).
11. Mohan, V., “Hygienic importance of stainless steel in developing countries”, *International Stainless Steel Forum*, 1-4 (2018).
12. Aran, A., Temel, M. A., “Paslanmaz çelik yassı mamuller üretimi ve kullanımı kitapçığı”, *Acar Matbaacılık*, İstanbul, 10-30 (2004).

13. Temelli, Y., Yazıcıoğlu, Ö., Cakmak, M., Ücışık, H., Bindal, C., Göksan, A., Tözün, R., “Kısım I: Paslanmaz çeliklerin cinsleri ve ısıl işlemi”, *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 103-117 (1998).
14. Curtis, W., Kovach, Nicole Paulus-Kinsman, “Materials Workshop for Nuclear Power Plants Stainless Steel and Nickel-Base Alloys”, *Guide to The Selection and Use of High Performance Stainless Steels Metallurgy*, 1-212 (2002).
15. Coaters, G. and Cutler P., “Advanced materials and processes”, 209(4): 29 (2009).
16. Jang, Y, Kim, S. and Lee, J., “Effect of different mo kontent on tensile and corrosion behaviour of CD4MCU cast duplex stainless steels”, *Met. Trans. A*, 36: 1229 (2005).
17. Al Dawood M., El Mahallawı I. S., Abd El Azim M. E., El Koussy, M. R., *Mat. Sci Tech.*, 20: 363 (2004).
18. Hedström, P., “Deformation and Martensitic Phase Transformation in Stainless Steels”, Doctoral Thesis, *Luleå University of Technology*, Sweden, 80-120 (2007).
19. Kaluç, E. ve Taban, E., “Paslanmaz çelikler, geliştirilen yeni türleri ve kaynak edilebilirlikleri”, *TMMOB*, İstanbul (2007).
20. Franc, T., Boris, A., Bostjan, A., Danijela, S., Bostjan, P., Borut, Z., “Microstructure evolution in Saf 2507 super duplex stainless steel”, *Original Scientific Article/Izvirni Znanstveni Clanek*, 45(4):339 (2011).
21. Sezgin, C. T., “Otomotiv endüstrisinde yeni nesil çelik kullanımının önemi”, *Academia Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(1):205-210 (2017).
22. Jimenez, J. A., Carsi, M., Ruano, O. A. and Penalba, F., “Characterization of a  $\delta/\gamma$  Duplex Stainless Steel”, *Journal of Materials Science*, 35: 907-915 (2000).
23. İnternet: Otomotiv, “otomotiv sektöründe kullanılan paslanmaz çelikler”, <http://www.kvastainless.com/automotive.html> (2019).
24. Danyang, D., Yang L., Yuling, Y., Jinfeng, L., Min, M. and Tao, J., “Microstructure and dynamic tensile behavior of DP600 dual phase steel joint by laser welding”, *Materials Science & Engineering A*, 594, 17-25 (2014).
25. İnternet: Paslanmaz Çelikler, “Gemilerde paslanmaz çeliğin kullanımı”, <http://www.stainless-steel-world.net/webarticles/2019/03/11/safer-seas-with-stainless-steel.html> (2019).
26. “Guidelines on Design and Construction of Concrete Structures Using Stainless Steel Reinforcing Bars (Draft)”, *Japan Society of Civil Engineers*, 9-4 (2008).

27. Çakır, A., “İnsan vücudunda kullanılan metalik implantların dünü ve bugünü”, *8th International Metallurgy And Materials Congrees*, 210-180 (1995).
28. Hetzel, M., “Derinlik, desen ve doku–paslanmaz çelik yüzeylerdeki üçüncü boyut”, *Euro Inox*, (14): 3-8 (2008).
29. Groysman, A., “Corrosion problems and solutions in oil, gas, refining and petrochemical industry”, *Koroze a Ochrana Materiálu*, 61(3): 100-117 (2017).
30. Baron, J., “Co-normative Research on Test Methods for Materials in Contact with Drinking water”, *European Commission*, 20-180 (2000).
31. Güven, Ş. Y., “Biyouyumluluk ve biyomalzemelerin seçimi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(3): 303-311 (2014).
32. Günyüz, M., Uğurlu, F., Çavuş, O., Baydoğan, M., Şener, C., Çimenoglu, H., “Mikro ark oksidasyon işlemi uygulanmış Ti6Al4V alaşımlarının İn-Vivo biyoyumluluk özelliklerinin incelenmesi”, *Mühendis ve Makine*, 600(51): 10-15 (2010).
33. Partington, E., “Paslanmaz Çeliklerin Gıda ve İçecek Endüstrisinde Kullanımı”, *Euro Inox*, Fairford, 2-20 (2007).
34. Hasçalık, A. ve Çaydaş, U., “Tel erozyon ile işlemede kesme parametrelerinin mikroyapı ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 3 (2003).
35. Çelik, E. ve Kıvak, T., “17-4 Ph paslanmaz çeliğin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri”, *7th International Symposium On Machining*, İstanbul, 214-221 (2016).
36. Özkul, İ., Şeker, U., Buldum, B. B. ve Akkurt, A., “Sıcak iş takım çeliklerinden dievar takım çeliğinin tel erozyon ile işlenebilirliğinin araştırılması”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(9): 31-44 (2012).
37. Torun, O., Çelikyürek, İ. ve Baksan, B., “17-4 PH paslanmaz çelik ve Al 7075 alaşımının sürtünme kaynağı”, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(2): 201-208 (2017).
38. İnternet: Armada Yazılım, “17-4Ph Paslanmaz Çelik”, [https://www.armadayazilim.com/kaynak/yuklemeler/satissonrasi/teknik-dokumanlar/markforged-paslanmaz-celik-ozellikleri-armada-yazilim\\_789.pdf](https://www.armadayazilim.com/kaynak/yuklemeler/satissonrasi/teknik-dokumanlar/markforged-paslanmaz-celik-ozellikleri-armada-yazilim_789.pdf) (2019).
39. Zdzislaw, K., Elmekçi, E., Balazinski, M. ve Fortin, C., “Cutting tool reliability analysis for variable feed milling of 17-4 PH stainless steel”, *Wear* **195**, 206-213 (1996).



40. Özkul, İ., “Takım çeliği malzemelerinin geleneksel ve modern işleme yöntemleri ile işlenebilirliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 40-60 (2012).



## ÖZGEÇMİŞ

Oğuz PISIK, 1983 yılında Karabük'te doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamladı. 2007 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 2009 yılında askerlik vazifesini tamamladı. Savunma sanayi alanında başlamış olduğu iş hayatı 2011 yılında da ROKETSAN A.Ş' ye Komponent muayene biriminde çalışmaya başlayarak devam etti. 2014 yılında TÜBİTAK SAGE'de mekanik üretim ve bütünleme biriminde başlamış olduğu görevine halen devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK  
Tel : (505) 457 7257  
E-posta : oguzpisik@gmail.com