

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AISI 304 TİPİ ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERDE SOĞUK  
ŞEKİLLENDİRME MİKTARININ KOROZYON ÜZERİNE ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Murat ŞEN**

**Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği**

**Programı: Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği**

**ARALIK, 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AISI 304 TİPİ ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERDE SOĞUK  
ŞEKİLLENDİRME MİKTARININ KOROZYON ÜZERİNE ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Murat ŞEN**

**(506061214)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Ekim 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Aralık 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Kelami ŞEŞEN (İTÜ)**  
**Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. M. Nezihi SARIDERE (YTU)**  
**Yrd. Doç. Dr. C. Fahir ARISOY (İTÜ)**

**ARALIK, 2010**



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin yönetimini üstlenen, çalışmalarım sırasında değerli fikir ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, yapıcı ve öğretici desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve her türlü laboratuvar olanaklarını kullandıran, saygıdeğer hocam Prof. Dr. M. Kelami ŞEŞEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerimin yapılışı sırasında bana yardımcı olan Y. Müh. Erçin ERSUNDU'ya ve tüm diğer arkadaşlarıma bana vermiş oldukları desteklerden ötürü teşekkür ederim.

Bugüne kadar her türlü maddi ve manevi fedakârlıktan kaçınmayarak bana destek olan sevgili aileme, bana hep doğru yolu gösterdikleri ve beni bugünlere kadar getirdikleri için teşekkür ederim.

Aralık 2010

Murat ŞEN

(Metalurji ve Malzeme Müh.)



# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
KISALTMALAR .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY .....	xv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PASLANMAZ ÇELİKLER .....</b>	<b>3</b>
2.1 Alaşım Elementlerinin Paslanmaz Çeliklere Etkileri .....	3
2.2 Paslanmaz Çelik Türleri .....	5
2.2.1 Ferritik paslanmaz çelikler .....	7
2.2.2 Östenitik paslanmaz çelikler .....	9
2.2.3 Martenzitik paslanmaz çelikler .....	11
2.2.4 Dupleks paslanmaz çelikler .....	12
2.2.5 Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler .....	13
2.3 Paslanmaz Çeliklerin Pasifleşmesi .....	16
2.4 Paslanmaz Çeliklerde Korozyon Türleri .....	16
2.4.1 Tanelerarası korozyon .....	16
2.4.2 Oyuklanma korozyonu .....	17
2.4.3 Gerilmeli korozyon çatlamaşı .....	18
2.4.4 Aralık korozyonu .....	19
2.4.5 Galvanik korozyon .....	19
<b>3. 304 VE 304L TİPİ OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER .....</b>	<b>21</b>
3.1 Genel Özellikleri .....	21
3.2 Sertleştirme ve Martenzit Oluşumu.....	22
3.3 Farklı Sertliklerde Korozyon Davranışları .....	23
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....</b>	<b>25</b>
4.1 Giriş ve Amaç.....	25
4.1.1 Deneylerde kullanılan malzeme ve cihazlar .....	25
4.1.1.1 Deneylerde kullanılan malzemeler .....	25
4.1.1.2 Deneylerde kullanılan cihazlar .....	25
4.2 Deneylerin Yapılışı.....	26
4.3 Sertlik Test Sonuçları .....	27
4.4 Sertlik Test Sonuçlarının İrdelenmesi .....	27
4.5 Metalografik İncelemelerin Sonuçları.....	27
4.6 Metalografik İnceleme Sonuçlarının İrdelenmesi .....	34
4.7 Korozyon Test Sonuçları.....	34
4.8 Korozyon Test Sonuçlarının İrdelenmesi.....	40
<b>5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>43</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>45</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>47</b>





## **KISALTMALAR**

<b>AISI</b>	: American Iron and Steel Institute
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing and Materials
<b>EN</b>	: European Standarts
<b>GPa</b>	: Gigapascal
<b>HMK</b>	: Hacim Merkezli Kübik
<b>HV</b>	: Vickers sertliği
<b>K</b>	: Kelvin
<b>MPa</b>	: Megapascal
<b>YMK</b>	: Yüzey Merkezli Kübik
<b>µm</b>	: Mikrometre



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Ferritik paslanmaz çelik türleri.....	8
Çizelge 2.2 : Östenitik paslanmaz çelik türleri.....	10
Çizelge 2.3 : Martenzitik paslanmaz çelik türleri.....	12
Çizelge 2.4 : Dupleks paslanmaz çelik türleri.....	13
Çizelge 2.5 : Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelik türleri.....	14
Çizelge 3.1 : AISI 304 ve 304L paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi.....	21
Çizelge 3.2 : AISI 304 ve 304L paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri.....	21
Çizelge 3.3 : AISI 304 ve 304L paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri.....	22
Çizelge 4.1 : Deneyleerde kullanılan paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi.....	25
Çizelge 4.2 : Deneyleerde kullanılan paslanmaz çeliklerin sertlik test sonuçları.....	27
Çizelge 4.3 : Deneyleerde kullanılan paslanmaz çeliklerin korozyon seviyeleri.....	41
Çizelge A.1 : Östenitik paslanmaz çeliklerin çekme dayanımları.....	49
Çizelge A.2 : Östenitik paslanmaz çeliklerin akma dayanımları.....	49
Çizelge A.3 : Östenitik paslanmaz çeliklerin % uzama miktarları.....	49
Çizelge A.4 : Östenitik paslanmaz çeliklerin sertlik değerleri.....	49



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Schaeffler diyagramı. ....	5
Şekil 2.2 : Paslanmaz çelik türleri arasındaki kimyasal ilişki. ....	6
Şekil 2.3 : Farklı paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları. ....	7
Şekil 2.4 : Ferritik paslanmaz çelikler. ....	9
Şekil 2.5 : Östenitik paslanmaz çelikler. ....	11
Şekil 2.6 : Martenzitik paslanmaz çelikler. ....	12
Şekil 2.7 : Dupleks paslanmaz çelikler. ....	13
Şekil 2.8 : Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler. ....	14
Şekil 2.9 : Paslanmaz çelik türlerinin içyapıları. ....	15
Şekil 2.10 : Tanelerarası korozyonun şematik görünüşü. ....	17
Şekil 2.11 : Oyuklanma korozyonunun şematik görünüşü. ....	18
Şekil 2.12 : Işık mikroskopuyla çekilmiş gerilmeli korozyon çatlama fotoğrafı. ....	19
Şekil 4.1 : Havada soğutulmuş PÇ 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri. ....	28
Şekil 4.2 : Suda soğutulmuş PÇ 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri. ....	29
Şekil 4.3 : Azotta soğutulmuş PÇ 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri. ....	30
Şekil 4.4 : Havada soğutulmuş PÇ 2'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri. ....	31
Şekil 4.5 : Suda soğutulmuş PÇ 2'nin a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri. ....	32
Şekil 4.6 : Azotta soğutulmuş PÇ 2'nin a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri. ....	33
Şekil 4.7 : Havada soğutulmuş PÇ 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri. ....	35
Şekil 4.8 : Suda soğutulmuş PÇ 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri. ....	36
Şekil 4.9 : Azotta soğutulmuş PÇ 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri. ....	37
Şekil 4.10 : Havada soğutulmuş PÇ 2'nin a) % 0 b) % 25 c) % 50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri. ....	38
Şekil 4.11 : Suda soğutulmuş PÇ 2'nin a) % 0 b) % 25 c) % 50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri. ....	39

**Şekil 4.12 :** Azotta soğutulmuş PÇ 2'nin a) % 0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri.....40

# **AISI 304 TİPİ ÖZTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERDE SOĞUK ŞEKİLLENDİRME MİKTARININ KOROZYON ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

## **ÖZET**

Tüm dünyada yaygın olarak kullanılmakta olan paslanmaz çelikler sağladıkları korozyon direnciyle, endüstrinin neredeyse her alanında kendine yer bulmaktadırlar. Ancak üretimde ve birçok fabrikasyon uygulamalarında bu çelikler deformasyona maruz kalırlar. Martenzitik ve çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin haricinde, ısı ile sertleştirilemeyen paslanmaz çelikler soğuk şekillendirme ile dayanım kazanırlar. Paslanmaz çelikler arasında en yaygın kullanıma sahip çelik türü östenitik paslanmaz çeliklerdir. Üretimleri esnasında çeşitli soğuk şekillendirme proseslerinden geçen östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımlarının bu proseslerin miktarlarına bağlı olarak değişkenlik göstermeleri mümkündür.

Bu çalışmada iki farklı bileşime sahip AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerden hazırlanan numunelere önce havada, suda ve azotta olmak üzere 3 farklı koşulda su verilmiştir. Daha sonra soğuk deformasyon için deformasyonsuz, %25, %50 ve %75 oranlarda haddelenen numuneler % 10 oksalik asitle dağlanmış ve dağlanma karakteristiklerine göre yüzeyleri incelenmiştir. Dağlamanın devamında 30 gün süre ile % 2 NaCl çözeltisinde yapılan daldırma tuz korozyon testi ile malzemelerin korozyon davranışları incelenmiştir.

Sonuç olarak hem su verme yöntemlerinin hem de soğuk şekillendirme oranlarının korozyonu artırıcı etkisi olduğu görülmüştür. Su verme sonucunda daha yavaş soğuyan numuneler daha fazla korozyona maruz kalmaktadırlar. Soğuk haddeleme miktarı da korozyon oluşumunu artırmakta ancak bu artış hızı deformasyon miktarına bağımlı olmamaktadır.





## **THE EFFECTS OF COLD WORK ON CORROSION PROPERTIES OF AISI 304 AUSTENITIC STAINLESS STEELS**

### **SUMMARY**

Stainless steels are widely used in various applications related to corrosion resistance in all over the world. However the combination of good corrosion resistance with high strength is also required. Compared to others, austenitic stainless steels are commonly used in industry. Unlike martensitic and precipitation hardening stainless steels, austenitic stainless steels cannot be hardened by heat treatments. On the other hand, cold working can make such stainless steels harden.

In this study, the effects of cold deformation and heat treatment on the corrosion of AISI 304 austenitic stainless steels has been investigated. Two groups of test specimens which have different compositions were prepared. Specimens were quenched in air, water and nitrogen. Then, they were cold rolled by application of 25%, 50% and 75% deformation. Specimens were exposed to the 10 % oxalic acid solution for etching and 2 % NaCl for corrosion test.

As a result, both the way of quenching and the amount of cold rolling have effects on corrosion. The specimens which were quenched slower than the other ones have mostly exposed to corrosion. Moreover, the amount of cold rolling has also increased the corrosion rate but this increasing rate does not linearly relative with the amount of deformation.



## 1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler bileşimlerinde en az %11 krom içeren bir çelik türüdür. Korozyona karşı üstün dirençli olduklarından bir çok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bazı paslanmaz çeliklerde krom miktarı %30'a varan oranlardadır.

Bu çeliklerin yüksek korozyon dayanımını sağlayan; yüzeye kuvvetle tutunan, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakasıdır. Çok ince olan bu amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelikler kimyasal reaksiyonlarda pasif davranırlar ve indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı direnç kazanırlar. Oksit tabakası, oksijen bulunan ortamlarda oluşur ve dış etkilerle bozulduğunda kendini onarır.

Karbon ve krom dışında çeliğin özelliklerini geliştirmek amacıyla birçok alaşım elementi ilavesi yapılır. Nikel, molibden, bakır, mangan, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, vanadyum, kükürt ve selenyum bu alaşım elementlerinden bazılarıdır.

Paslanmaz çelikler, metalurjik yapılarına göre 5 ana grupta sınıflandırılmaktadırlar:

- Ferritik,
- Martenzitik,
- Östenitik,
- Dupleks,
- Çökelme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar.

Östenitik paslanmaz çelikler kromun yanında yapıyı östenitik halde tutacak oranlarda nikel içerirler. En yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik türüdürler ve korozyona karşı dayanımları diğer paslanmaz çelik türlerinden daha yüksektir. Östenitik paslanmaz çelikler arasında 304 serisi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Paslanmaz çeliklerin maruz kaldıkları korozyon türleri; tanelerarası korozyon, oyuklanma korozyonu, gerilmeli yorulmalı korozyon, aralık korozyonu ve galvanik korozyondur.

Östenitik paslanmaz çelikler ısı ilemlerle sertleştirilemezler. Sertleştirme için soğuk veya sıcak işlem uygulanmalı, malzemeye plastik şekil verilmelidir [1].

Bu çalışmada, farklı yöntemlerle soğutulmuş 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerde, soğuma hızının ve soğuk işlem yöntemlerinden biri olan soğuk haddeleme miktarının korozyon üzerine etkisi incelenecektir.

## 2. PASLANMAZ ÇELİKLER

### 2.1 Alaşım Elementlerinin Paslanmaz Çeliklere Etkileri

- **Krom**

Ferrit sahasını genişletir.

Korozyon direncini ve sertliği artırır.

- **Nikel**

Östenit sahasını genişletir.

Korozyon direncini, tokluğu ve şekillendirebilirliği artırır.

Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çeliklerde mukavemeti artırır.

- **Molibden**

Korozyon direncini ve mukavemeti artırır.

Ferrit sahasını genişletir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerde yüksek tavlama sıcaklıklarında mukavemeti artırır.

- **Bakır**

Östenit sahasını genişletir.

Çeşitli asit ortamlarında korozyon direnci sağlar.

Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çeliklerde mukavemeti artırır.

- **Manganez**

Sünekliği artırır.

Düşük sıcaklıklarda östenit inhibitörü, yüksek sıcaklıklarda ise ferrit inhibitörü gibi davranır.

Azot çözünürlüğünü artırır.

- **Silisyum**

Ferrit sahasını genişletir.

Korozyon direncini artırır.

- **Azot**

Östenit sahasını genişletir.

Mukavemeti artırır.

Oyuklanma korozyonunu önler.

Ferritik paslanmaz çeliklerde tokluğu artırır.

Martenzitik çeliklerde tokluğu azaltarak sertliği artırır.

#### • **Titanyum**

Ferrit sahasını genişletir.

Karbonu bağlayarak östenitik çeliklerde tanelerarası korozyonu önler ve yüksek sıcaklıklarda mukavemeti artırır.

Ferritik paslanmaz çeliklerde tokluğu artırır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerde sertliği düşürür.

Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çeliklerde mukavemeti artırır.

#### • **Niyobyum**

Hem ferrit hem de östenit sahasını genişletir.

Karbonu bağlayarak östenitik çeliklerde tanelerarası korozyonu önler ve yüksek sıcaklıklarda mukavemeti artırır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerde sertliği düşürür.

#### • **Alüminyum**

Korozyon direncini artırır.

Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çeliklerde mukavemeti artırır.

#### • **Vanadyum**

Ferrit sahasını genişletir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin sertliğini artırır.

#### • **Kükürt**

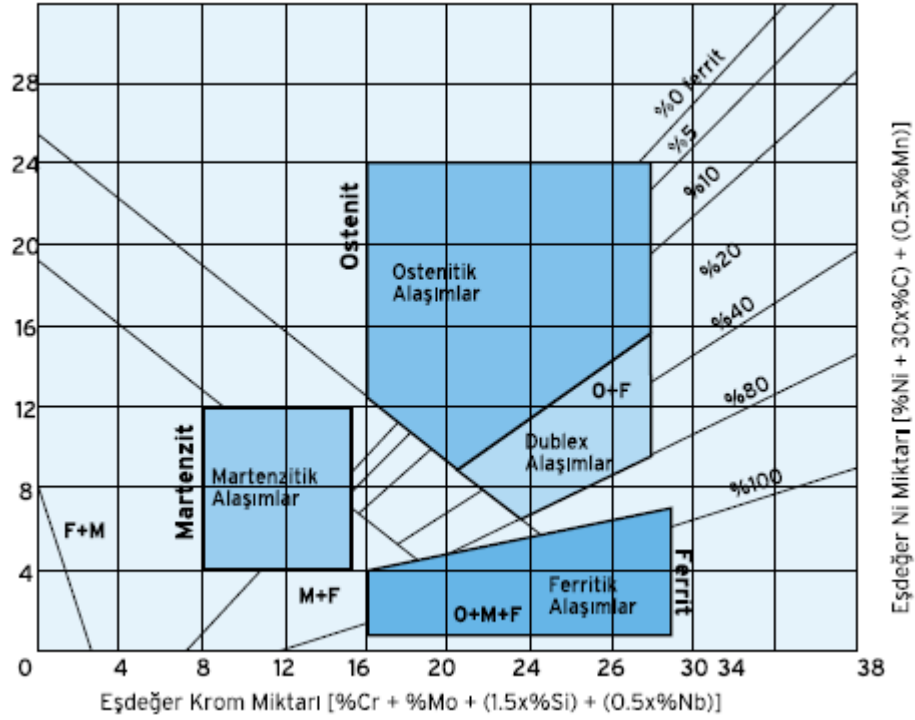
Talaşlı işlenebilme özelliğini artırır.

#### • **Selenyum**

Yüksek sıcaklıklarda korozyon direncini artırır [2,3].

Paslanmaz çelikler genellikle düşük karbonludurlar. % karbon miktarı %0,03 ile %1 arasındadır. Yüksek karbon oranları martenzitik çeliklerde söz konusudur. Bileşimlerine göre paslanmaz çelikler Şekil 2.1'de Schaeffler diyagramında gösterilmiştir. Paslanmaz çeliklerde karbon miktarı arttığında, krom karbür oluşumu da artar ve bu durumda da tane sınırlarında krom karbür olarak çökeler. Çökeltme sonucunda kafes içinde çözülmüş krom miktarı %11'lik sınırın altına düşebilir ve

malzemenin korozyona dayanıklılığı azalır. Dolayısıyla çelik bileşimindeki karbon yüzdesi yükseldikçe, krom miktarı artırılmalı veya karbür yapma eğilimi kromdan daha fazla olan elementler katılarak krom karbürün meydana gelmesi ve kafeste çözülmüş kromun azalması engellenmelidir [1, 4].



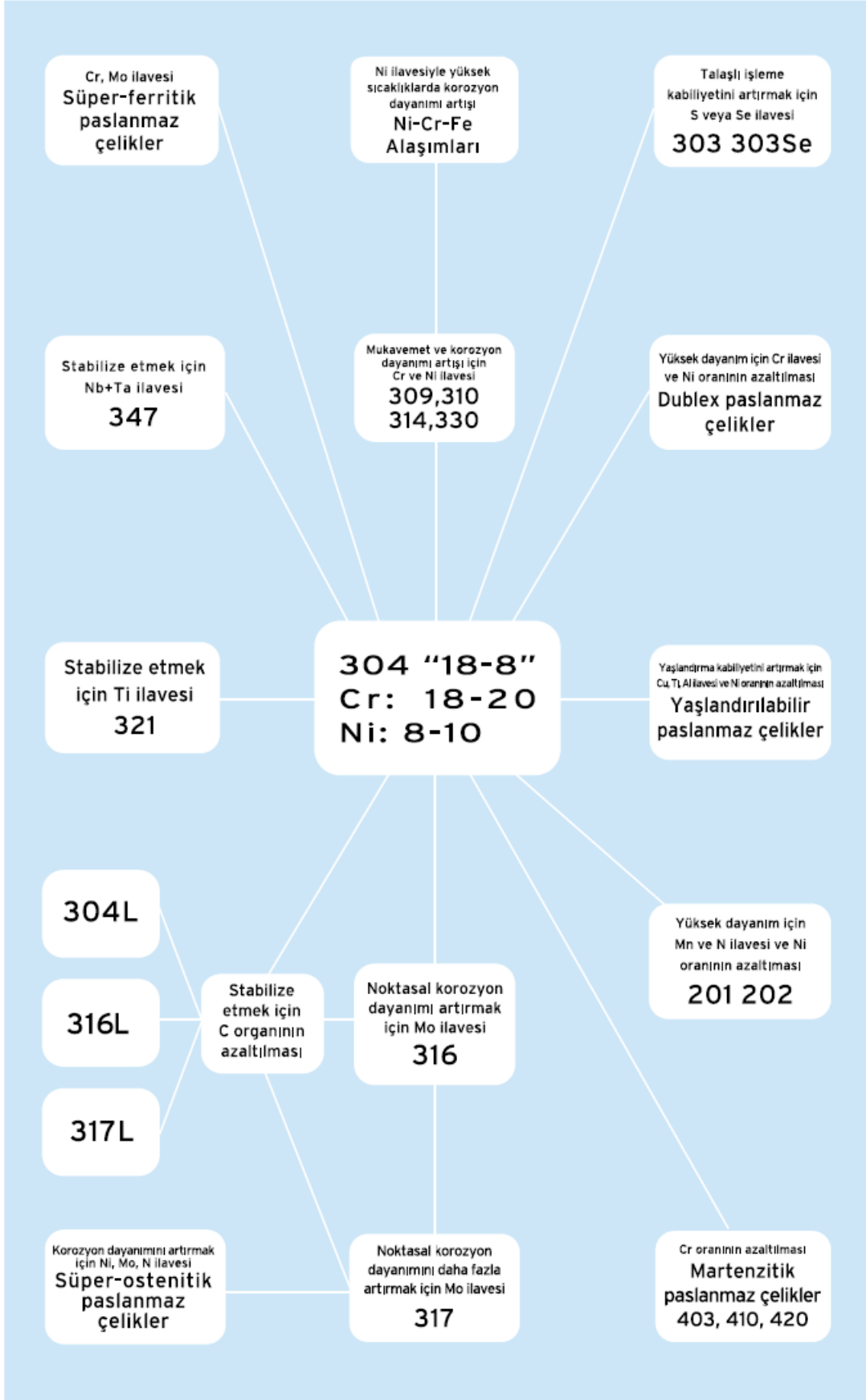
Şekil 2.1: Schaeffler diyagramı [4].

## 2.2 Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çelikler, metalurjik yapılarına göre 5 ana grupta sınıflandırılmaktadırlar:

- Ferritik,
- Martenzitik,
- Östenitik,
- Dupleks,
- Çökelme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar.

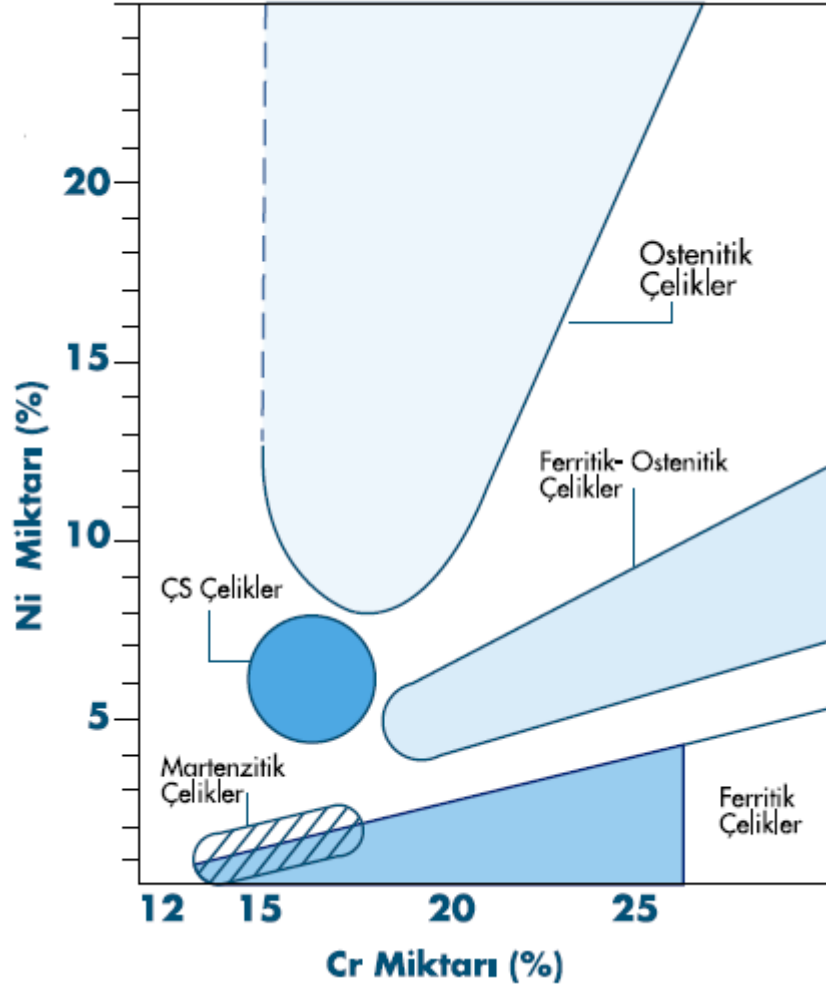
Farklı paslanmaz çelik türleri arasında Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bir ilişki söz konusudur.



Şekil 2.2: Paslanmaz çelik türleri arasındaki kimyasal ilişki [4]



En yaygın olarak kullanılanlar östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler olup kullanım oranı tüm paslanmaz çelikler içinde % 95'e ulaşmaktadır. Paslanmaz çeliklerde iç yapıyı belirleyici rol oynayan krom ve nikel miktarlarına göre paslanmaz çelik türleri Şekil 2.1 ve Şekil 2.3'de gösterilmiştir [1].



Şekil 2.3: Farklı paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları [4]

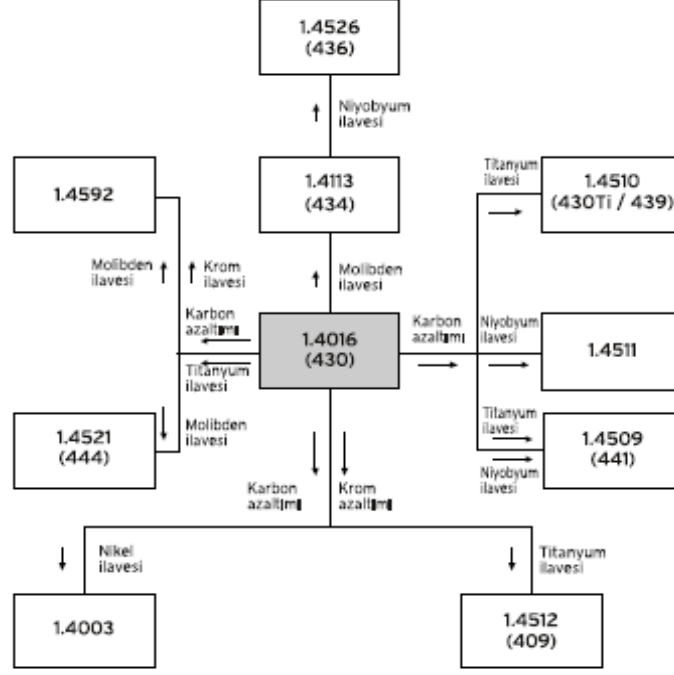
### 2.2.1 Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklıklarda HMK kristal yapıdadırlar. Östenitik dönüşüm göstermediklerinden içyapıları ve mekanik özellikleri ısı işlemlerden etkilenmez. Östenitik paslanmaz çeliklere göre daha ekonomik olmakla birlikte, korozyona karşı dirençleri, tokluk ve şekillendirilebilirlikleri görece düşüktür. Akma gerilmeleri (tavlanmış halde) 275 ile 350 MPa arasındadır ve manyetikler.

Ferritik paslanmaz çelikler, Çizelge 2.1 ve Şekil 2.4'te görüldüğü gibi kimyasal bileşimlerine göre farklı standartlarda tanımlanırlar. Mekanik özellikleri değiştirilemediğinden, iyi bir dayanıma sahip olmaları için ince taneli içyapıda olmalıdırlar. %11 ile % 30 arasında krom ve düşük miktarda karbon (~ % 0.08) içerirler. Kuvvetli östenit yapıcı olan karbon belirli bir miktara ulaşınca kromun ferrit yapıcı etkisi ortadan kalkar, dolayısıyla perlitik veya martenzitik paslanmaz çelikler ortaya çıkar. Ferritik içyapı isteniyorsa, karbon yüzdesi artırıldığı zaman krom yüzdesinin de artırılması gerekir. Ferritik paslanmaz çeliklerin kullanım yerleri tamamen krom miktarına bağlıdır [1,2].

**Çizelge 2.1:** Ferritik paslanmaz çelik türleri [1]

ASTM	EN	Kimyasal Bileşim (% ağırlık, en fazla)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
409	14.512	0.08	1.0	1.0	0.045	0.03	11.0 11.8	-	-	-	(6xC)Ti
430	14.016	0.12	1.0	1.0	0.040	0.03	16.0 18.0	-	-	-	-
430Ti	14.500	0.10	1.0	1.0	0.040	0.03	16.0 19.5	0.75	-	-	(5xC)Ti
439	14.510	0.07	1.0	1.0	0.040	0.03	17.0 19.0	0.50	-	-	0.2+ 4(C+N)Ti



Şekil 2.4: Ferritik paslanmaz çelikler [4]

## 2.2.2 Östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler en yaygın kullanıma sahip paslanmaz çelik türüdür. Oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklıklarda YMK kristal yapıdadırlar. Çizelge 2.2 ve Şekil 2.5'te görüldüğü gibi kimyasal bileşimlerine göre farklı standartlarda tanımlanırlar. Genellikle %16 ile %26 krom, %35'e kadar nikel ve %2'ye kadar mangan içerirler. Nikel ve mangan temel östenit oluşturmalarıdır. Hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda östenitik içyapılarını koruduklarından normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemleri gerçekleştirilemez. Tavlanmış durumda süneklikleri, toklukları ve şekillendirilebilme kabiliyetleri, düşük sıcaklıklarda dahi oldukça yüksektir. Manyetik değildir.

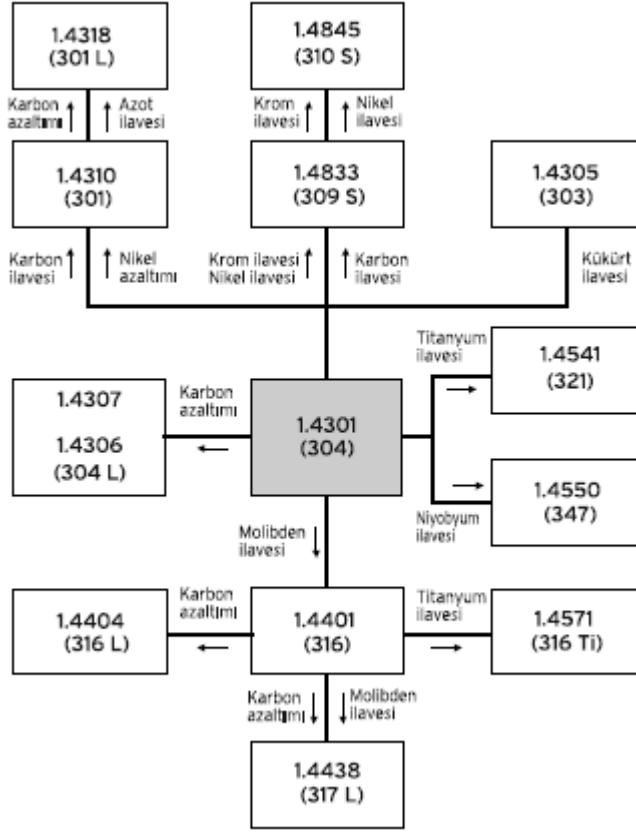
Östenitik paslanmaz çeliklerde mukavemet ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Bu çeliklerde pekleşme, ferritiklerden daha fazladır. Bu esnada şekil değiştirme martenziti de oluşabilir ve malzeme manyetiklik kazanabilir.

Östenitik paslanmaz çelikler ısıya ve asitlere dayanıklı, yüksek sıcaklık özellikleri iyi olan malzemelerdir. Kükürtsüz olan korozif ortamlarda östenitik paslanmaz çelikler, ferritiklerden daha iyi sonuç verirler. Molibden katılması ile organik minerallere ve çeşitli asitlere karşı dayanımları artırılabilir.

Östenitik çelikler ısı etkisiyle sertleşmediklerinden kaynak bağlantıları için uygundur, ancak ısınan ve soğuyan bölgede karbür çökmesi oluşmaması için stabilize edilmiş türleri seçilmelidir [1,2].

**Çizelge 2.2:** Östenitik paslanmaz çelik türleri [1]

ASTM	EN	Kimyasal Bileşim (% ağırlık, en fazla)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
201	14.372	0.15	5.5 7.5	1.00	0.06	0.03	16.0 18.0	3.5 5.5	-	0.25	-
301	14.310	0.15	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	6.0 8.0	-	-	-
304	14.301	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0 20.0	8.0 10.5	-	-	-
304L	14.306	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0 20.0	8.0 12.0	-	-	-
304LN	14.311	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0 20.0	8.0 12.0	-	0.10 0.16	-
309	14.828	0.20	2.0	1.00	0.045	0.03	22.0 24.0	12.0 15.0	-	-	-
309S	14.833	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	22.0 24.0	12.0 15.0	-	-	-
310	14.841	0.25	2.0	1.00	0.045	0.03	24.0 26.0	19.0 22.0	-	-	-
310S	14.845	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	24.0 26.0	19.0 22.0	-	-	-
316	14.401	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	-	-
316L	14.404	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	-	-
316LN	14.406	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	0.10 0.16	-
316Ti	14.571	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	-	5x(C+N)Ti
321	14.541	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	17.0 19.0	9.0 12.0	-	-	(5xC)Ti
347	14.550	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	17.0 19.0	9.0 13.0	-	-	(10xC)Nb



Şekil 2.5: Östenitik paslanmaz çelikler [4]

### 2.2.3 Martenzitik paslanmaz çelikler

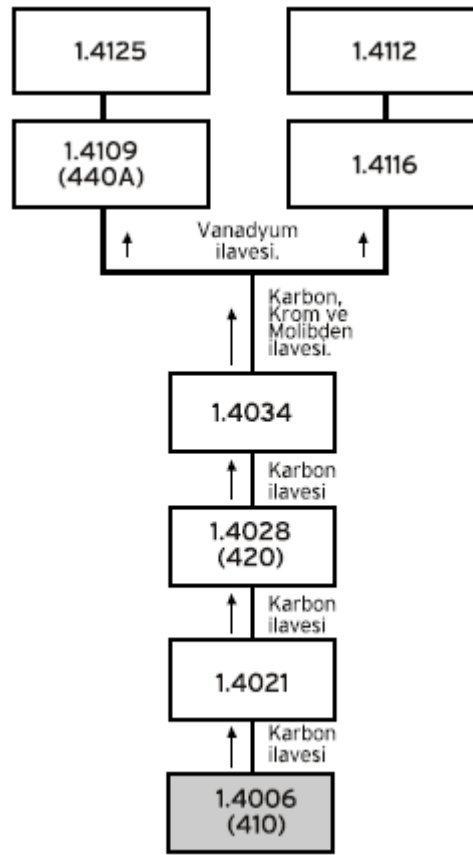
Martenzitik paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklıklarda YMK kafes yapıda olan östenitin hızlı soğutulması sonucu hacim merkezli tetragonal kafes yapıda martenzite dönüşümü ile elde edilir. Bu çeliklerin içyapısında tavllanmış halde yumuşak ferritik faz da bulunur. % 12-18 oranlarında krom ve % 0,15-1.2 oranlarında karbon içermektedirler. Nikelsizdirler. Kimyasal bileşimlerine göre standartları Çizelge 2.3 ve Şekil 2.6’da gösterilmiştir.

İstenen içyapı ve özellikleri elde etmek için martenzitik paslanmaz çeliklerin ısı işleme (östenitleme, su verme ve temperleme) tabi tutulmaları gerekir. Su verme ve temperleme sonrası mekanik özellikleri temelde karbon miktarına bağlıdır.

Martenzitik paslanmaz çelikler manyetikler ve kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür. Yüksek çekme, sürünme ve yorulma dayanımı gerektiren, orta derecede korozif ve en çok 650°C’a kadar sıcaklıktaki uygulamalarda tercih edilirler [1,2].

**Çizelge 2.3:** Martenzitik paslanmaz çelik türleri [1]

ASTM	EN	Kimyasal Bileşim (% ağırlık, en fazla)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
410	14.006	0.15	1.0	1.0	0.04	0.03	11.5 13.0	-	-	-	-
420	14.021	0.15	1.0	1.0	0.04	0.03	12.0 14.0	-	-	-	-
440A	-	0.60 0.75	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0 19.5	-	0.75	-	-
440C	14.125	0.95 1.20	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0 18.0	-	0.75	-	-



**Şekil 2.6:** Martenzitik paslanmaz çelikler [4]

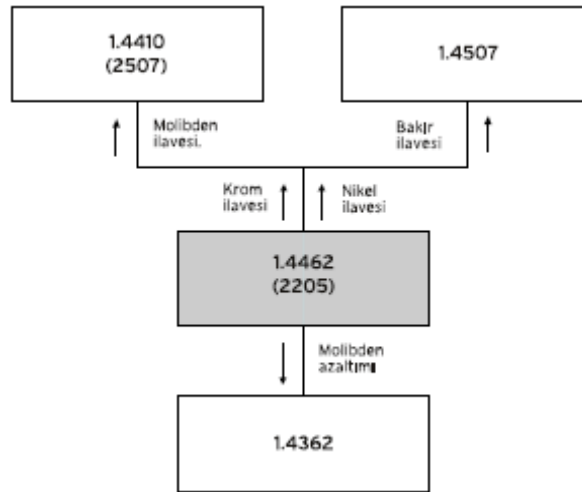
### 2.2.4 Dupleks paslanmaz çelikler

Östenit ve ferritin bir arada bulunduğu paslanmaz çelik türüdür. Ferrit ve östenit fazlarından oluşan içyapı nedeniyle çelikler dupleks olarak adlandırılır. % 18-28 oranlarında krom % 4,5-8 oranlarında nikel içermektedirler. Dupleks çeliklerin çoğunluğu %2,5-4 molibden içerir. Kimyasal bileşimleri ve buna göre standartları Çizelge 2.4 ve Şekil 2.7’de gösterilen dupleks paslanmaz çeliklerde dupleks yapı,

östenitik çeliklere oranla daha yüksek gerilme korozyonu dayanımı ve ferritik çeliklere oranla daha yüksek tokluk ve süneklik sağlar. Ayrıca, dubleks paslanmaz çelikler tavllanmış durumda 550 ile 690 MPa akma dayanımı gösterirler ve bu değer, fazların tek başına bulunduğu türdeki paslanmaz çeliklerin akma dayanımının yaklaşık iki katıdır [1,2].

**Çizelge 2.4:** Dubleks paslanmaz çelik türleri [1]

ASTM	EN	Kimyasal Bileşim (% ağırlık, en fazla)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
2205	14.462	0.03	2.0	1.0	0.03	0.02	21.0	4.5	2.5	0.08	-
							23.0	6.5	3.5	0.2	
329	14.460	0.20	1.0	0.75	0.04	0.03	23.0 28.0	2.5 5.0	1.0 2.0	-	-



**Şekil 2.7:** Dubleks paslanmaz çelikler [4]

### 2.2.5 Çökeltme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilen paslanmaz çelikler

Bu çeliklere çökeltme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilir. Ana içyapıları östenitik, yarı-östenitik veya martenzitik olabilir. Karbon miktarı çok düşük olduğundan martenzitik türlerinde bile temel sertleşme ancak çökelmeye bağlı olarak gerçekleşir.

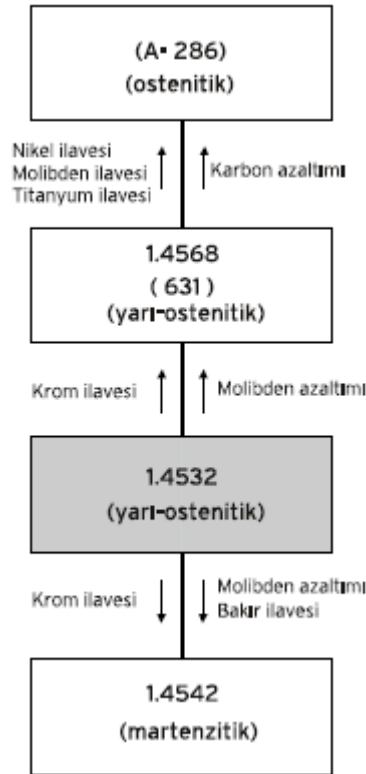
Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen çelikler yüksek süneklik ve tokluğa, orta ila iyi derece arasında korozyon dayanımına sahiptirler. Martenzitik paslanmaz çeliklerle kıyaslandığında, mukavemet ve korozyon dayanımları daha yüksektir. Bu durum yüksek miktardaki alaşım elementleri ve en çok %0,04 karbon bulunmasından dolayıdır. Ancak bunun sonucunda aşınma dayanımında düşüş gözlenir. Kimyasal

bileşimleri ve buna göre standartları Çizelge 2.5 ve Şekil 2.8’de gösterilen çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler 1700 MPa değerine kadar çıkan akma dayanımlarına sahiptirler. Soğuk şekillendirme ve onu izleyen yaşlandırma ile bu değer daha da yükseltilebilir [1,2].

Paslanmaz çelik türlerinin mikro yapıları ise Şekil 2.9’da görüldüğü gibidir.

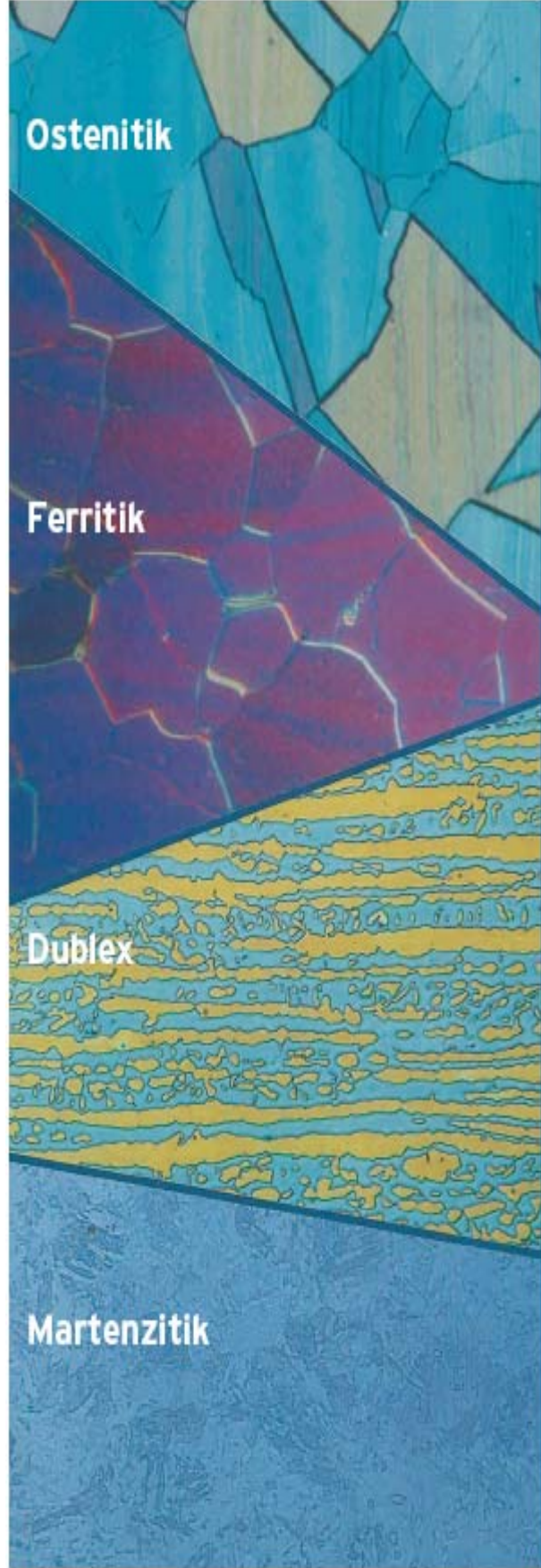
**Çizelge 2.5:** Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelik türleri [1]

ASTM	EN	Kimyasal Bileşim (% ağırlık, en fazla)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
631	14.568	0.09	1.0	1.0	0.04	0.04	16.0 18.0	6.5 7.5	-	-	0.75 - 1.5Al
632	14.532	0.09	1.0	1.0	0.04	0.03	14.0 16.0	6.5 7.5	2.0 3.0	-	0.75 - 1.5Al



**Şekil 2.8:** Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler [4]





**Şekil 2.9:** Paslanmaz çelik türlerinin içyapıları [4]

### **2.3 Paslanmaz Çeliklerin Pasifleşmesi**

Pasifleşme, bir reaksiyon sonucu termodinamik olarak çözünmeye uğrayan metal veya alaşım için anodik reaksiyonun önlenmesi ve sonucunda korozyon direncinin büyük oranda artmasıdır [5].

Paslanmaz çelikler normal olarak pasiftirler, ancak oksitleyici özelliği düşük korozif çözeltilerde, aktifleşirler. Bu nedenle pasifliğin korunması için oksijen veren ortamların sürekliliği gereklidir [2].

Korozif çözelti hızının artması, çözelti içinde çözünmüş oksijenin paslanmaz çelikle temasa geçme hızını artırır. Bu durumda elektrokimyasal korozyon eğilimi azalacaktır, ancak artan hızla erozyon ve kavitasyon gibi mekanik etkiler de artacağından pasif film tabakası zarar görebilir ve yeni bir film oluşması engellenebilir. Bu nedenle korozyona uğrama eğilimi belirli bir noktaya kadar azalır ve sonra tekrar artar. Bu değer, çeliğin bileşimi, sıcaklık, çözeltilerin miktar ve bileşimi ile diğer ortam faktörlerine bağlıdır [4].

### **2.4 Paslanmaz Çeliklerde Korozyon Türleri**

Korozyon, metallerin ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonu sonucu malzeme özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesidir.

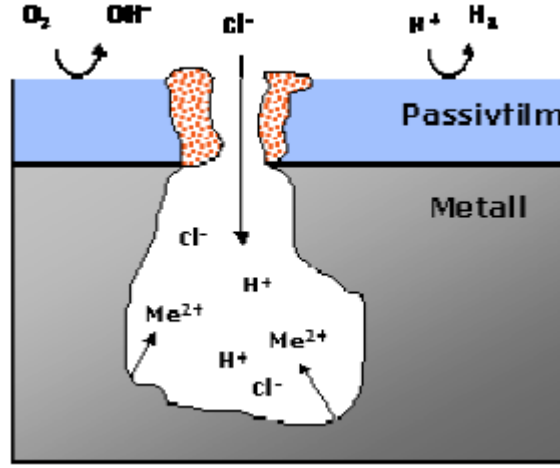
Paslanmaz çeliklerde görülen korozyon türleri; tanelerarası korozyon, oyuklanma korozyonu, gerilmeli yorulmalı korozyon, aralık korozyonu ve galvanik korozyondur.

#### **2.4.1 Tanelerarası korozyon**

Tanelerarası korozyon, karbür yapıcılar ile bağlanmamış karbon miktarı (serbest karbon) yüksek olan çeliklerde görülmektedir. Bu durumda krom karbür, belirli bir sıcaklık aralığında (500 – 800° C) tane sınırlarına çökecektir. Çökelti oluşumu karbür etrafında krom değerinin kritik değer olan %11'in altına düşmesine ve bu bölgelerde kromun azalmasından dolayı tanelerarası korozyona neden olur.

Şematik olarak Şekil 2.10'da görülen tanelerarası korozyonu önleyebilmek için krom karbür oluşumunun önüne geçilmeli ya da en azından azaltılmalıdır. Çeliğe yapılacak molibden ilavesi ile ısıl işlem süreci uzatılabilir. Ayrıca oluşmuş olan karbürler yüksek sıcaklıklara çıkıp çözüldürülebilir ve hızlı soğutma ile tekrar oluşmaları



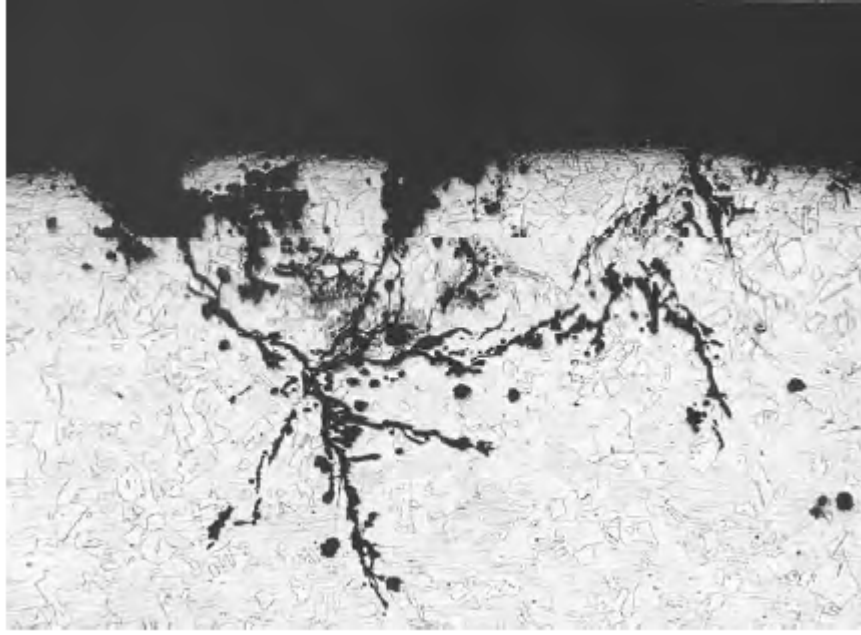


Şekil 2.11: Oyuklanma korozyonunun şematik görünüşü [7]

### 2.4.3 Gerilmeli korozyon çatlaması

Gerilmeli korozyon çatlaması, çekme gerilmesi ve korozyonun birlikte neden olduğu çatlama olayıdır. Çeşitli işlemlerde kullanılan paslanmaz çelikler, bu işlemler sırasında iç ve dış gerilmelere maruz kalırlar. Bu gerilmelerle birlikte korozyon, Şekil 2.12’de de görüldüğü gibi paslanmaz çeliklerde çatlak başlangıcına ve ilerlemesine neden olmaktadır. Gerilmeli korozyon çatlaması, korozyon olduğu takdirde çekme mukavemetinin altındaki gerilme değerlerinde dahi medyana gelebilmektedir [9].

Gerilmeli korozyon çatlamasına, klorür iyonları gibi halojenlerin bulunduğu ortamlarda (özellikle de östenitik paslanmaz çeliklerde) daha sık rastlanmaktadır. Gerilmeli korozyon çatlamasını artıran diğer faktör ise yüksek sıcaklıktır. Çatlamlar genellikle 60° C üzerinde görülmekte, daha düşük sıcaklık seviyelerinde ise pek fazla rastlanmamaktadır [2].



**Şekil 2.12:** Işık mikroskopuyla çekilmiş gerilmeli korozyon çatlama fotoğrafı [7]

#### **2.4.4 Aralık korozyonu**

Aralık Korozyonu; aynı ya da farklı türde iki metalin bağlanmasında ve birleştirilmesinde, bağlantı bölgelerinde veya aralıklarda oluşan korozyon türüdür. Korozyon hızı oyuklanma korozyonunda olduğu gibi değişkendir. Bu bölgelerde hava ile temasın kesilmesi ya da yeterli temas sağlanamaması durumunda oksijen yetersizliğinden yüzeyde oluşan pasif film onarılamaz ve malzeme korozyona uğrar [2].

#### **2.4.5 Galvanik korozyon**

Galvanik korozyon; farklı iki metalin birbiri ile teması sonucunda gerçekleşen korozyon türüdür. Burada metallere biri galvanik seride daha aktif iken diğeri daha pasiftir. Daha aktif olan metal ile diğeri arasında bir potansiyel fark oluşur ve korozyon hızı da bu potansiyel farka bağlıdır. Paslanmaz çeliklerde temas bölgelerinde, yüzeyde pasifliğin bozulmasına neden olur [2].

Paslanmaz çeliklerin korozyon direnci aynı zamanda içerdikleri karbon miktarına da bağlıdır. Kromun yakınlarında karbür çökmesi tanelerarası ve oyuklanma korozyonunu artırır [8].



### 3. 304 VE 304L TİPİ ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

#### 3.1 Genel Özellikleri

304 serisi östenitik paslanmaz çelikler 18/8 (bileşimdeki en az Cr/Ni oranı) olarak da bilinen ve kullanımı en yaygın olan paslanmaz çeliklerdir. Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi 304L serisinde karbon miktarı daha düşüktür.

**Çizelge 3.1:** AISI 304 ve 304L paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi [10]

ASTM	%	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	N
304	En az	-	18	8	-	-	-	-	-
	En çok	0.08	20	11	2	0.75	0.045	0.030	0.10
304L	En az	-	18	8	-	-	-	-	-
	En çok	0.03	20	12	2	0.75	0.045	0.030	0.10

304L tipi östenitik paslanmaz çelikler 304’ün özelliklerine ek olarak tanelerarası korozyona ve gerilmeli korozyon çatlağına karşı daha dayanıklıdır. Karbon miktarı düşük olduğundan karbür çökmesi daha düşük seviyededir.

Diğer östenitik çelikler gibi AISI 304 ve 304L de manyetik değildir, soğuk haddeleme sonrası manyetik özellik kazanabilirler. Fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi birbirine benzerlik göstermektedir.

**Çizelge 3.2:** AISI 304 ve 304L paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri [10]

	304	304L
Elastiklik Modülü (GPa)	200	200
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	7,9	7,9
Isıl Genleşme Katsayısı (1/K)	16	16
Elektrik Direnci ( $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m)	0.73	0.73
Özgül Isı (J/kg.K)	500	500
Isı İletkenliği (W/m.K)	15	15

AISI 304 ve 304L tipi östenitik paslanmaz çelikler diğer östenitik çeliklerde olduğu gibi yalnızca soğuk haddeleme ile sertleştirilebilirler. Mekanik özellikleri, çizelge 3.3'te görüldüğü gibi spesifik olarak farklılıklar göstermektedir.

**Çizelge 3.3:** AISI 304 ve 304L paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri [10]

304					
Sıcaklık (°C)	100	200	300	400	500
Elastiklik Modülü (GPa)	194	186	180	172	165
% 0.2 Akma Dayanımı (MPa)	157	127	110	98	92
% 1 Akma Dayanımı (MPa)	191	157	135	125	120
Isıl Genleşme Katsayısı 1/K	16	16	17	18	18
304L					
Sıcaklık (°C)	100	200	300	400	500
Elastiklik Modülü (GPa)	194	186	180	172	165
% 0.2 Akma Dayanımı (MPa)	147	118	100	89	81
% 1 Akma Dayanımı (MPa)	181	147	127	116	109
Isıl Genleşme Katsayısı 1/K	16	17	17	18	18

Ayrıca mükemmel şekillendirilebilme ve kaynaklanabilirlik özelliklerine sahiptirler. 304L tipi östenitik paslanmaz çelikler, 304'ün aksine kaynak sonrası tavlama işlemi gerektirmezler. İşlenebilirlikleri ise oldukça düşüktür.

### 3.2 Sertleştirme ve Martenzit Oluşumu

Östenitik paslanmaz çelikler ısı işlemlerle sertleştirilemezler. Sertleştirme için soğuk şekillendirme yöntemleri uygulanmalı, malzemeye plastik şekil verilmelidir. Plastik şekil değiştirme miktarı arttıkça dislokasyon yoğunluğu da artar. Dislokasyonlar birbirlerinin hareketini engelledikleri için dislokasyon hareketi zorlaşır. Bu olaya pekleşme veya şekil değiştirme (deformasyon) sertleşmesi denir. Soğuk şekillendirme sonucunda mukavemet artışının nedeni deformasyon sertleşmesidir. [11]

Östenitik paslanmaz çeliklerde iki tip martenzit oluşumu gözlemlenir. Bunlar hacim merkezli kübik ve hegzagonal sıkı paket yapıdadırlar. Termodinamik olarak hacim merkezli kübik yapı hegzagonal sıkı paket yapıya göre daha karardır. Östenitik paslanmaz çeliklerin soğuk şekillendirmelerinde hacim merkezli kübik yapıdan önce



hegzagonal sıkı paket yapı oluşur. Şekillendirmenin devamında ise hegzagonal sıkı paket yapı miktarı azalarak yerini hacim merkezli kübik yapıya bırakır [12-14].

Soğuk şekillendirme yöntemlerinden biri olan soğuk haddeleme, 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerde akma ve çekme mukavemetlerini aynı oranlarda artırır. % 75 ve üzeri işlem uygulandığında ise akma ve çekme mukavemetlerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmez. Süneklik % 30 işleme kadar büyük bir hızda düşerken bu seviyeden sonra düşme hızı azalır. % 45'e kadar işlem uygulanmış halde, tavlınmış duruma göre sünekliği en az 7 kat azalır. %25'e kadar işlem uygulandığında sertlik değeri (HV) yaklaşık iki katına çıkmaktadır [15].

Soğuk şekillendirme sonucu oluşan bu durumun nedeni, uygulamayla birlikte çelik içerisinde oluşturulan martenzitik yapıdır. Martenzit miktarı soğuk şekillendirme ile birlikte artar [16].

304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerde martenzit miktarı %90 oranında soğuk haddeleme yapıldığı durumda % 56'ya kadar ulaşır [17,18].

Soğuk şekillendirme miktarına bağlı mekanik özellikler EK-A.1'de verilmiştir.

### **3.3 Farklı Sertliklerde Korozyon Davranışları**

Östenitik paslanmaz çeliklerde, sertlik ile korozyon arasında bir ilişki söz konusudur. Ancak aralarındaki ilişkinin nedeni konusunda literatürde farklı görüşler ve sonuçlar bulunmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda sertlik miktarı arttıkça korozyon miktarının da artacağı, bu durumun çelik yapısında bulunan martenzit miktarıyla doğru orantılı olduğu belirtilmiştir. Buna göre martenzit fazı pasif filmin bütünlüğünü ve yoğunluğunu bozmaktadır. Bu nedenden ötürü 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerde oyuklanma miktarı, artan martenzit miktarı ile birlikte hızlanmaktadır. Aynı zamanda martenzit dönüşümü 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerin elektrokimyasal aktivitesini artırır. Klorür iyonları tercihli olarak martenzit bölgelerinde absorblanırlar [19].

Başka çalışmalarda ise martenzit artışıyla korozyon oluşumunun doğru orantılı olmadığı gösterilmiştir. Yapılan çalışmalarda, % soğuk haddeleme miktarına bağlı olarak korozyon miktarının aynı oranlarda artmadığı gösterilmiş ve bu nedenle de korozyon miktarının oluşan martenzit miktarından bağımsız olduğu ileri sürülmüştür. Bu çalışmalara göre soğuk şekillendirme ile paslanmaz çelik üzerindeki pasif film

zayıflatılabilir ya da güçlendirilebilir. Soğuk şekillendirme pasif filme Cr geçisine etki eder [20-23].

Yine de martenzit ile korozyon arasında bir ilişki bulunmadığından söz edilemez. Bilindiği üzere çeliklerin tamamen inklüzyonlardan arındırılması mümkün değildir. Çelik yapısında heterojen bir dağılım gösteren bu inklüzyonlar aynı zamanda korozyon direncine de etki ederler. Martenzit oluşumuyla birlikte artan dislokasyonlar, paslanmaz çeliklerde yüzeydeki pasif filme yakın bölgelerde bulunan inklüzyonlarla, kendilerini çevreleyen matriks arasında bir potansiyel fark oluşmasına neden olurlar. Farkın olduğu bölgelerde oyuklanma korozyonu oluşabilir [24].

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ

### 4.1 Giriş ve Amaç

Bu çalışmada bileşimlerinde farklılıklar bulunan AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapısına ve korozyon davranışlarına farklı ortamlarda soğutma işlemlerinin ve soğuk deformasyon oranlarının etkileri incelenmiştir.

#### 4.1.1 Deneylerde kullanılan malzeme ve cihazlar

##### 4.1.1.1 Deneylerde kullanılan malzemeler

Deneylerde iki farklı bileşimde AISI 304 tipi paslanmaz çelik (Paslanmaz Çelik 1- PÇ 1 ve Paslanmaz Çelik 2-PÇ 2) kullanılmıştır. Çeliklerin optik spektrometrik analizlerle belirlenen bileşimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Deneyler için, 2 mm kalınlıklardaki paslanmaz çelik plakalardan 20X60X2 mm boyutlarında numuneler çıkarılmıştır.

**Çizelge 4.1:** Deneylerde kullanılan paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi

Element	% Ağırlık	
	PÇ 1	PÇ 2
C	0.031	0.046
Si	0.509	0.456
P	0.023	0.025
Mn	1.748	1.613
Ni	7.918	8.022
Cr	17.904	18.043
Mo	0.344	0.256
V	0.073	0.059
Cu	0.465	0.442
W	0.098	0.000
Ti	0.005	0.000
Sn	0.010	0.000
Co	0.147	0.102
Al	0.009	0.000

##### 4.1.1.2 Deneylerde kullanılan cihazlar

###### Endüstriyel Fırın

Deneylerde paslanmaz çelik plakalardan çıkarılan 20X60X2 mm boyutlarındaki numuneler, Protherm marka laboratuvar tipi fırında ısıtılmıştır.

## **Işık Mikroskobu**

Deneylerde metalografik olarak hazırlanan numuneler Olympus marka ışık mikroskobu ile incelenmiştir.

## **4.2 Deneylerin Yapılışı**

İki farklı bileşimlerde AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemedan 20X60X2 mm boyutlarında toplam 24 numune hazırlanmıştır. Her bir bileşimden 12'şer adet hazırlanan numuneler, 1070° C sıcaklıkta 1 saat süre bekletilmiş ve ardından her bileşimdeki numunelerin 4'er tanesi havada, 4'er tanesi suda ve 4'er tanesi azotta soğutulmuştur. Bu numuneler daha sonra 4'erli gruplar halinde %25, %50 ve %75 oranlarında kalınlıkları azalacak şekilde soğuk olarak haddelenmişlerdir.

Soğuk haddeme sonrasında numunelerden kesilen parçalar metalografik inceleme için dikdörtgen kesitleri görünecek şekilde bakalite alınmışlardır. Bakalite alınan numuneler 2500 gride kadar zımparalama ve 1 µm'lik elmas pasta ile parlatma işlemleri ile metalografik inceleme için hazırlanmışlardır.

Parlatma işlemi sonrasında metalografik olarak hazırlanmış yüzeyler %10 oksalik asit çözeltisinde 1.5 Volt altında her bir numune 10 sn bekletilerek elektrolitik olarak dağlanmış ve Olympus marka ışık mikroskobu kullanılarak 200 büyütme altında incelenmişlerdir.

Metalografik olarak yüzeyleri incelenen numuneler tekrar zımparalama ve parlatma işlemlerinden geçirilerek korozyon testine tabi tutulmuşlardır. 25° C 'de (oda sıcaklığında) %2 NaCl çözeltisinde 30 gün süreli olarak yapılan daldırmalı tuz korozyon testi sonrasında numuneler Olympus marka ışık mikroskobu kullanılarak 500 büyütme altında incelenmişlerdir.

### 4.3 Sertlik Test Sonuçları

**Çizelge 4.2:** Deneyleerde kullanılan paslanmaz çeliklerin sertlik test sonuçları

NUMUNE		DEFORMASYON MİKTARI (%)	SERTLİK (HV)	ARTIŞ MİKTARI (%)		
PÇ1	Havada Soğutulmuş	Deformasyonsuz	182	87	26	9
	Havada Soğutulmuş	25	341			
	Havada Soğutulmuş	50	429			
	Havada Soğutulmuş	75	467			
	Suda Soğutulmuş	Deformasyonsuz	179	87	26	12
	Suda Soğutulmuş	25	334			
	Suda Soğutulmuş	50	421			
	Suda Soğutulmuş	75	471			
	Azotta Soğutulmuş	Deformasyonsuz	185	83	26	9
	Azotta Soğutulmuş	25	339			
	Azotta Soğutulmuş	50	427			
	Azotta Soğutulmuş	75	467			
PÇ2	Havada Soğutulmuş	Deformasyonsuz	189	83	26	12
	Havada Soğutulmuş	25	345			
	Havada Soğutulmuş	50	436			
	Havada Soğutulmuş	75	489			
	Suda Soğutulmuş	Deformasyonsuz	192	83	26	11
	Suda Soğutulmuş	25	352			
	Suda Soğutulmuş	50	445			
	Suda Soğutulmuş	75	493			
	Azotta Soğutulmuş	Deformasyonsuz	198	81	26	9
	Azotta Soğutulmuş	25	359			
	Azotta Soğutulmuş	50	454			
	Azotta Soğutulmuş	75	496			

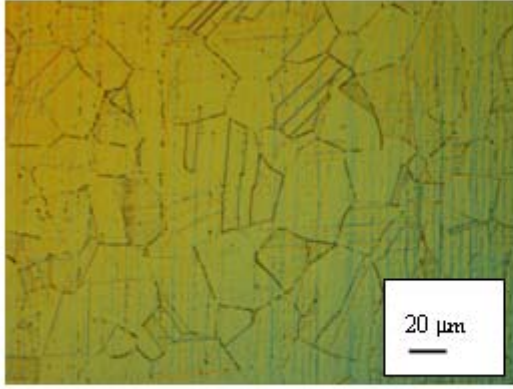
### 4.4 Sertlik Test Sonuçlarının İncelenmesi

Sertlik test sonuçları, numunelerin sertliklerinin deformasyon miktarından etkilendiği göstermektedir. Hem PÇ 1, hem de PÇ 2'nin sertlik değerleri soğutma ortamından bağımsızdır. % 25 deformasyon miktarındaki tüm gruplarda sertlikte % 80'in üzerinde artış sağlanırken, % 25'den % 50'ye kadar olan deformasyon miktarında sertlikte artış % 26'dır. % 50'den % 75'e kadar deformasyon oranlarında ise sertlik değerinde yaklaşık % 10 civarında bir artış gerçekleşmiştir.

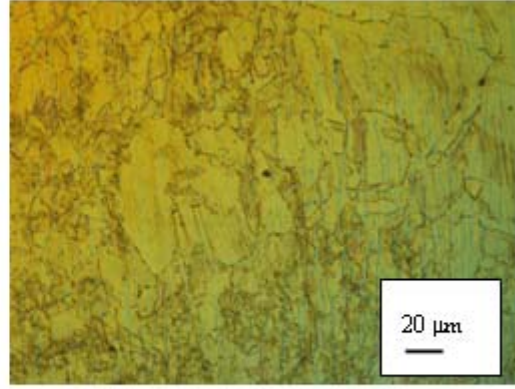
Buna göre, deformasyon miktarı arttıkça sertlik azalarak artmaktadır.

### 4.5 Metalografik İncelemelerin Sonuçları

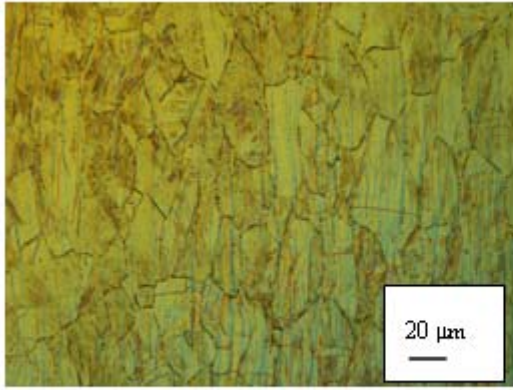
Çeşitli ortamlarda soğutulduktan sonra farklı oranlarda soğuk deformasyona uğratılmış numunelerin ışık mikroskopunda yapılan metalografik incelemelerinden elde edilen mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.1-4.6'da verilmiştir.



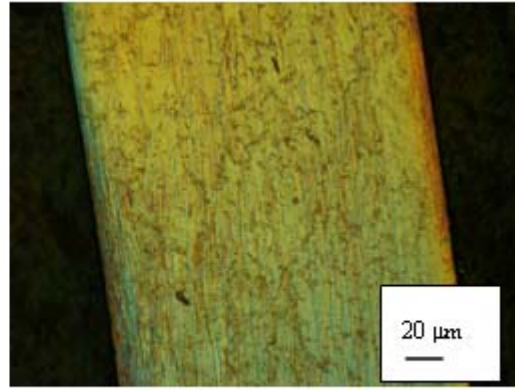
(a)



(b)



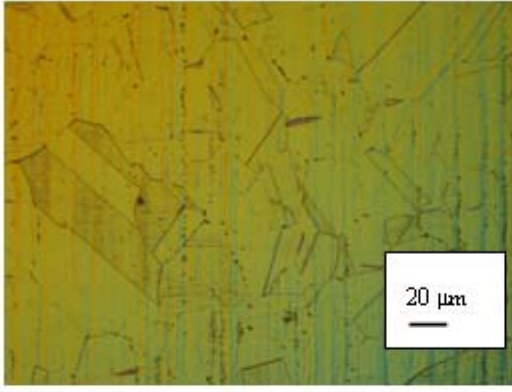
(c)



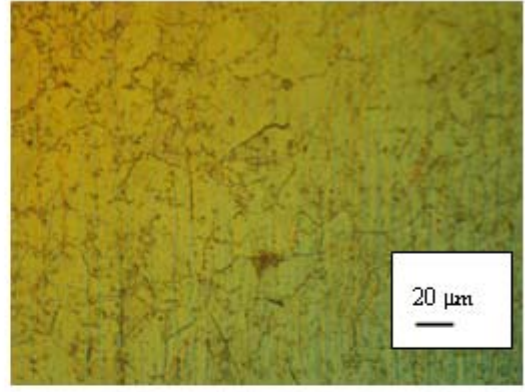
(d)

**Şekil 4.1** : Havada soğutulmuş PÇ 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) %75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri

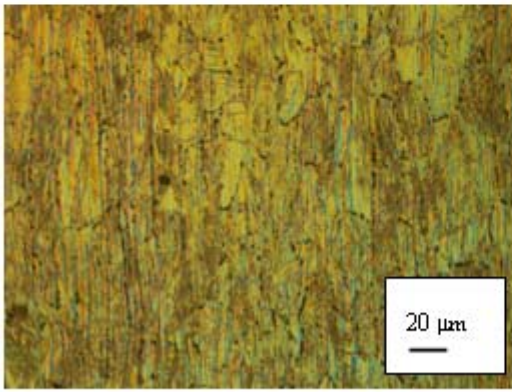
Şekil 4.1'de görüldüğü üzere havada soğutulmuş numunelerde soğuk işleme yapılan deformasyon oranındaki artışla tane boyutu küçülmüştür, taneler haddeleme yönünde uzamışlardır. Numunelerin soğuk deformasyon oranlarına paralel olarak dağlanmaya karşı dirençleri azalmıştır, oksalik asitle reaksiyon eğilimi artmıştır. Dağlanmaya karşı direncin azalması, soğuk deformasyon oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki reaksiyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir.



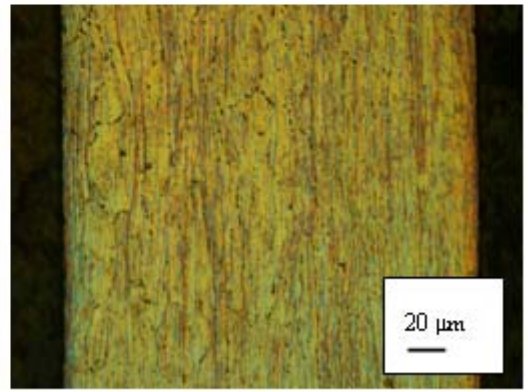
(a)



(b)



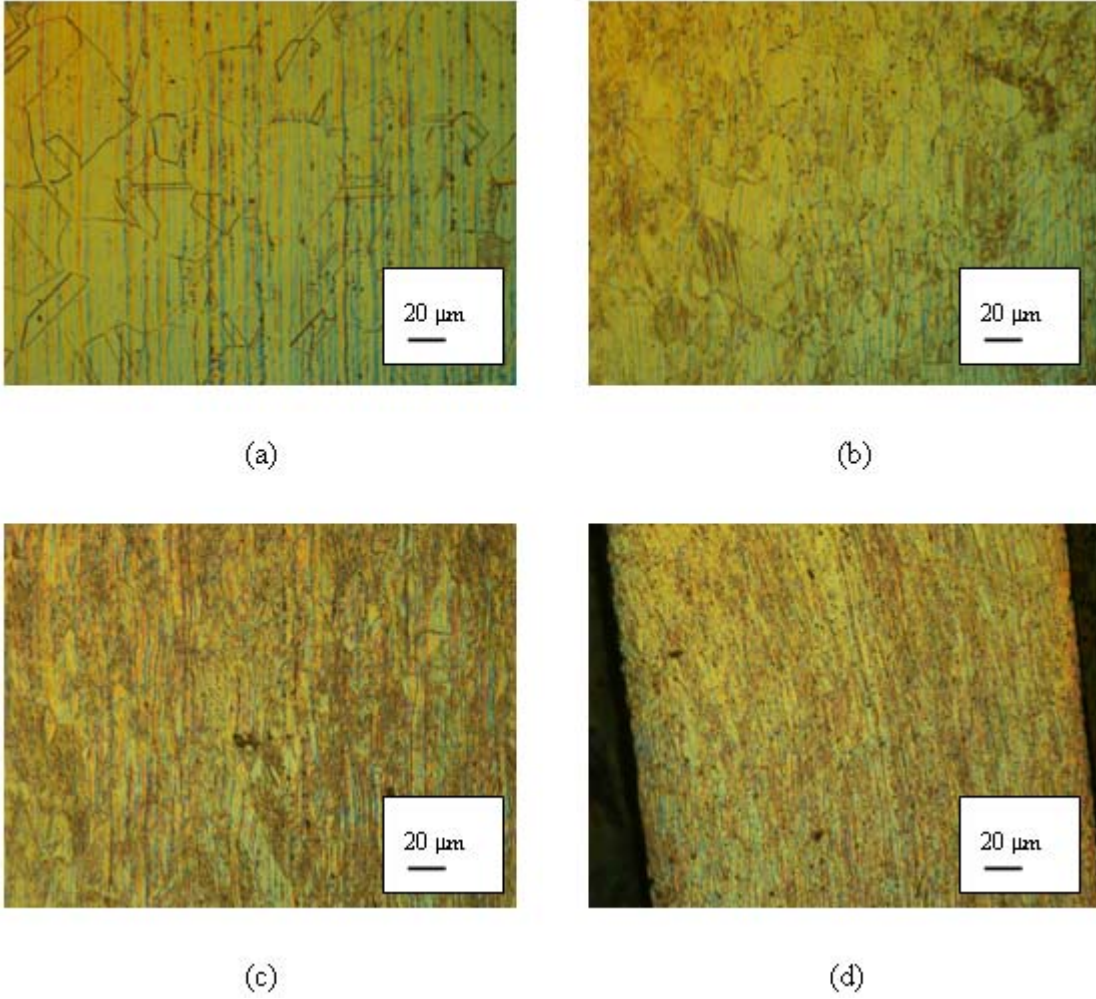
(c)



(d)

**Şekil 4.2:** Suda soğutulmuş PC 1'in a) %0, b) %25, c) %50 ve d) %75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri

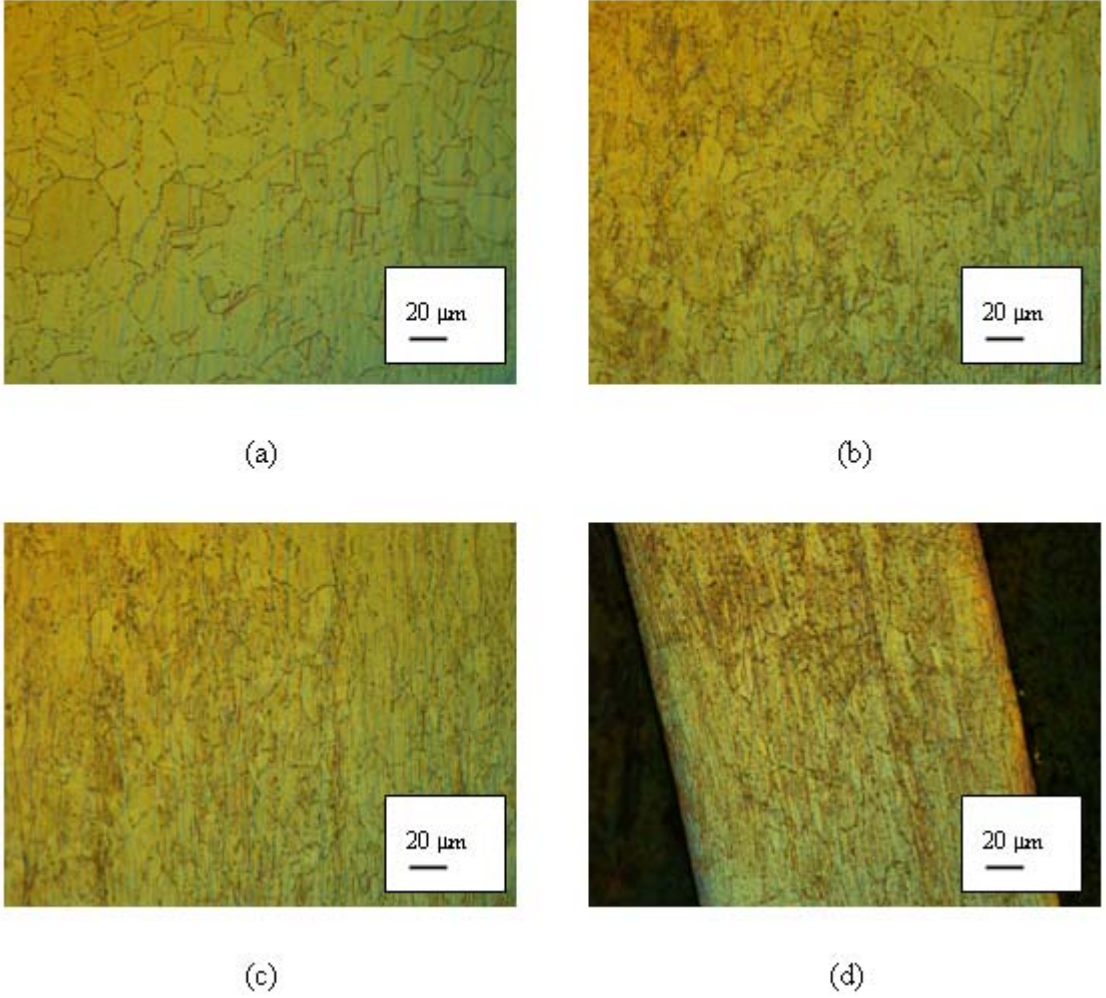
Şekil 4.2'de görüldüğü üzere suda soğutulmuş numunelerde soğuk işleme yapılan deformasyon oranındaki artışla tane boyutu küçülmüştür, taneler haddeleme yönünde uzamışlardır. Numunelerin soğuk deformasyon oranlarına paralel olarak dağlanmaya karşı dirençleri azalmıştır, oksalik asitle reaksiyonu artmıştır. Dağlanmaya karşı direncin azalması, soğuk deformasyon oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki reaksiyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir. Tane yapıları havada soğutulmuş numunelere göre daha az belirgindir. Taneler haddeleme yönünde uzamışlardır.



**Şekil 4.3 :** Azotta soğutulmuş PC 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri

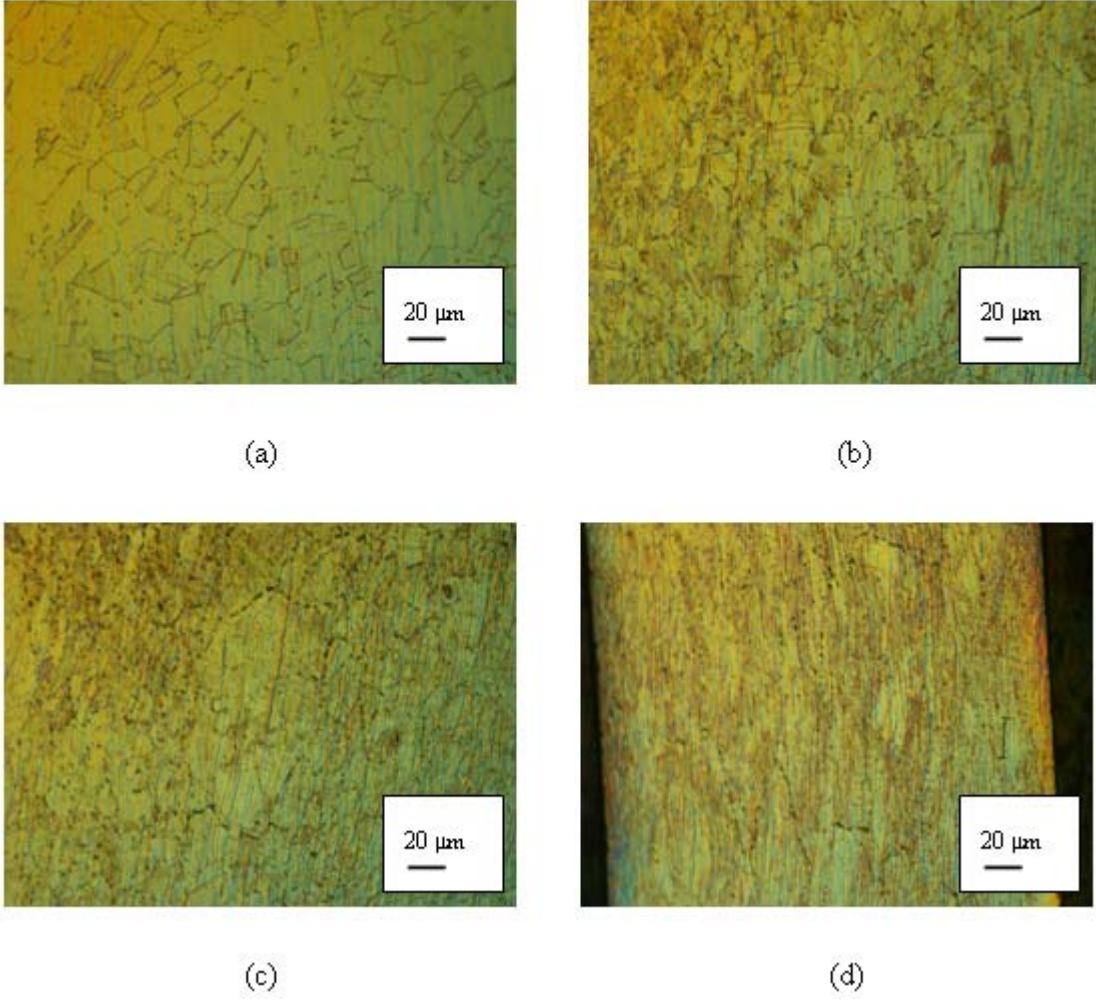
Şekil 4.3'te görüldüğü üzere azotta soğutulmuş numunelerde soğuk işleme yapılan deformasyon oranındaki artışla tane boyutu küçülmüştür, taneler haddeleme yönünde uzamışlardır. Numunelerin soğuk deformasyon oranlarına paralel olarak dağlanmaya karşı dirençleri azalmıştır, oksalik asitle reaksiyonu artmıştır. Dağlanmaya karşı direncin azalması, soğuk deformasyon oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki reaksiyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir. Tane yapıları havada ve suda soğutulmuş numunelere göre daha az belirgindir. Taneler haddeleme yönünde uzamışlardır.





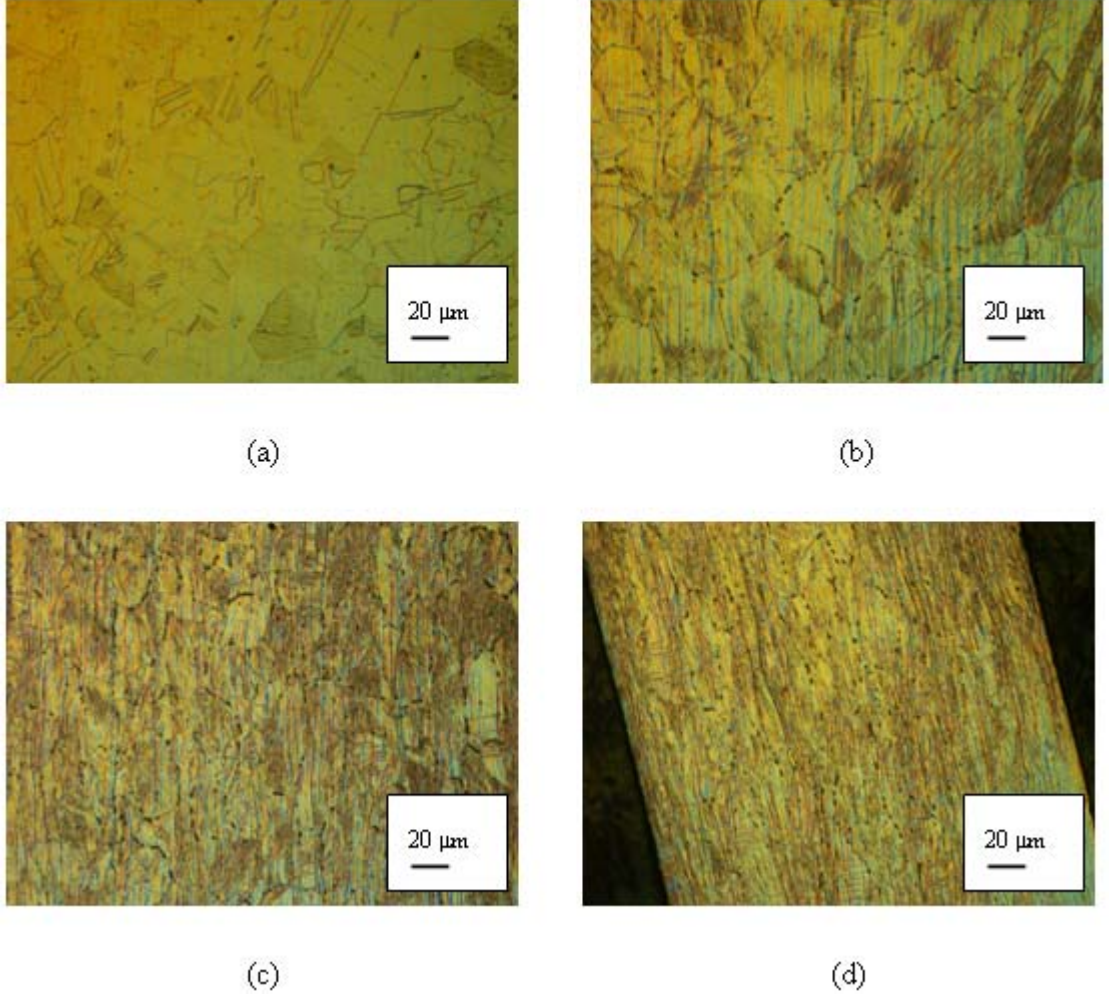
**Şekil 4.4 :** Havada soğutulmuş PÇ 2'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere havada soğutulmuş numunelerde soğuk işleme yapılan deformasyon oranındaki artışla tane boyutu küçülmüştür, taneler haddeleme yönünde uzamışlardır. Numunelerin soğuk deformasyon oranlarına paralel olarak dağlanmaya karşı dirençleri azalmıştır, oksalik asitle reaksiyonu artmıştır. Dağlanmaya karşı direncin azalması, soğuk deformasyon oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki reaksiyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir. Havada soğutulmuş PÇ 1'e göre PÇ 2 'nin taneleri daha küçüktür.



**Şekil 4.5 :** Suda soğutulmuş PÇ 2'nin a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri

Şekil 4.5'te görüldüğü üzere suda soğutulmuş numunelerde soğuk işlemle yapılan deformasyon oranındaki artışla tane boyutu küçülmüştür, taneler haddeleme yönünde uzamışlardır. Numunelerin soğuk deformasyon oranlarına paralel olarak dağlanmaya karşı dirençleri azalmıştır, oksalik asitle reaksiyonu artmıştır. Dağlanmaya karşı direncin azalması, soğuk deformasyon oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki reaksiyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir. Taneler havada soğutulmuş numunelere göre daha az belirgin olmakla birlikte, PÇ 1 'in suda soğutulmuş numunelerine göre daha küçüktür.



**Şekil 4.6 :** Azotta soğutulmuş PÇ 2'nin a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin mikroyapı görüntüleri

Şekil 4.6'da görüldüğü üzere azotta soğutulmuş numunelerde soğuk işleme yapılan deformasyon oranındaki artışla tane boyutu küçülmüştür, taneler haddeleme yönünde uzamışlardır. Numunelerin soğuk deformasyon oranlarına paralel olarak dağlanmaya karşı dirençleri azalmıştır, oksalik asitle reaksiyonu artmıştır. Dağlanmaya karşı direncin azalması, soğuk deformasyon oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki reaksiyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir. Tane yapıları havada ve suda soğutulmuş numunelere göre daha az belirgin olmakla birlikte, azotta soğutulmuş PÇ 1 'e göre daha küçüktür.

#### **4.6 Metalografik İnceleme Sonuçlarının İrdelenmesi**

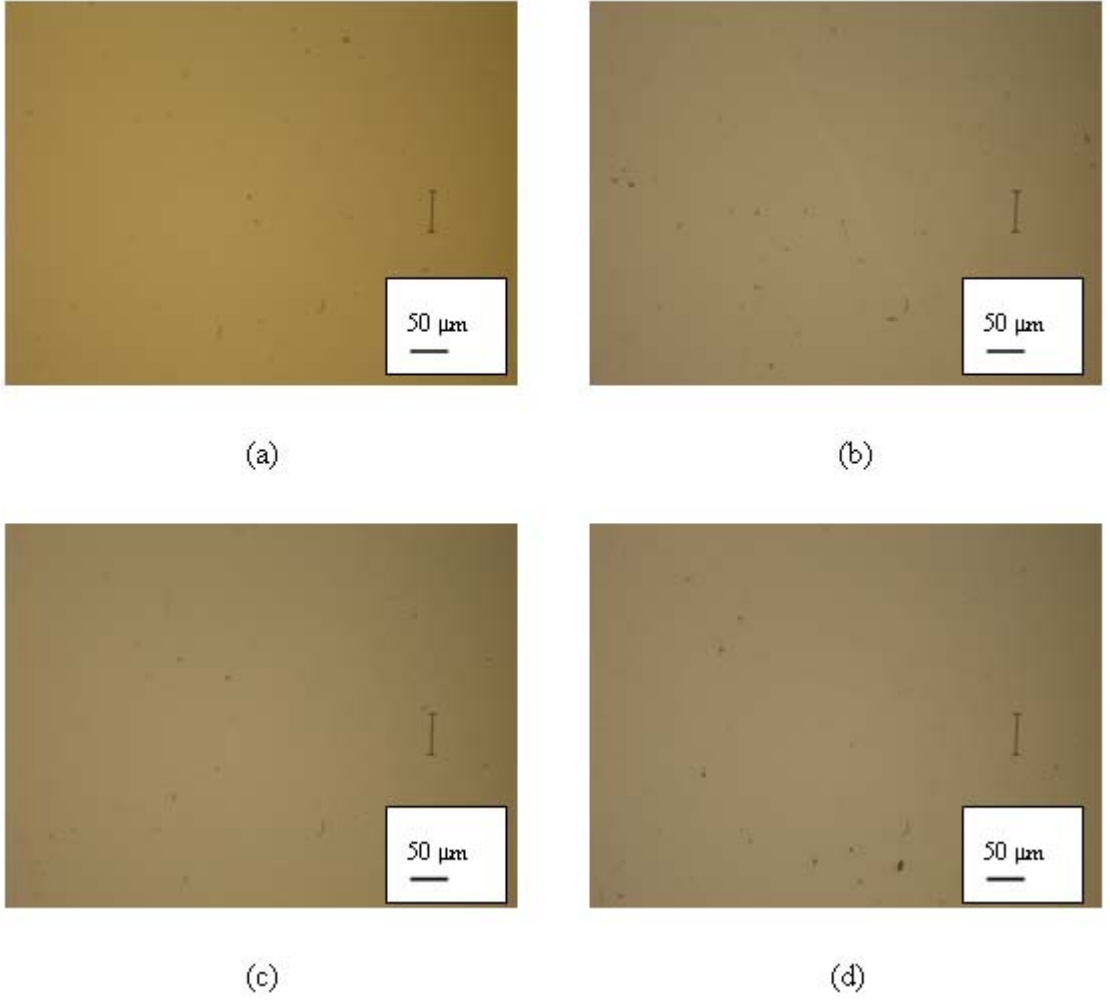
Metalografik incelemenin sonuçları, numunelerin tane yapılarının soğuma ortamlarından etkilendiğini göstermektedir. Yavaş soğuma ile tane yapıları ve tane sınırları görece belirgin hale gelmektedir. Buna göre havada soğutulmuş numunelerde taneler, suda ve azotta soğutulmuş numunelere göre çok daha belirgindir. Suda soğutulmuş numunelerde de taneler azotta soğutulmuş numunelere göre daha belirgindir. Soğuma hızlarının yakın olması nedeniyle, suda ve azotta soğutulmuş numuneler arasındaki farklar, havada soğutulmuş numunelerde olduğu kadar belirgin değildir.

PÇ 1 ve PÇ 2 numunelerini karşılaştırdığımızda, PÇ 2 numunelerinde PÇ 1'e göre tane sınırlarının daha belirgin oldukları ve tanelerin daha küçük yapıda oldukları görülmektedir. Bu, PÇ 2 numunelerinin yapılarında daha yüksek miktarda karbon bulunması ile açıklanabilir. Karbonun yapıda bulunan kromla krom karbür oluşturarak tane sınırlarında çökmesi ile tane sınırlarını daha belirgin hale getirebilir. Tanelerin daha küçük olması da, tane sınırlarında çökelen krom karbürlerin tanelerin hareketlerini zorlaştırmasından kaynaklanabilir.

Numunelerin oksalik asitle dağlama reaksiyonlarının sonuçlarına bakıldığında, soğuk işleme yapılan deformasyon oranına paralel olarak, deformasyon oranlarının artması ile, dağlanmaya karşı dirençlerinin azaldığı, oksalik asitle reaksiyonların arttığı görülmektedir. Oksalik asitle dağlama reaksiyonundaki artış soğuk deformasyon oranına göre farklılık göstermektedir. Her numune grubu için, deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki reaksiyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir.

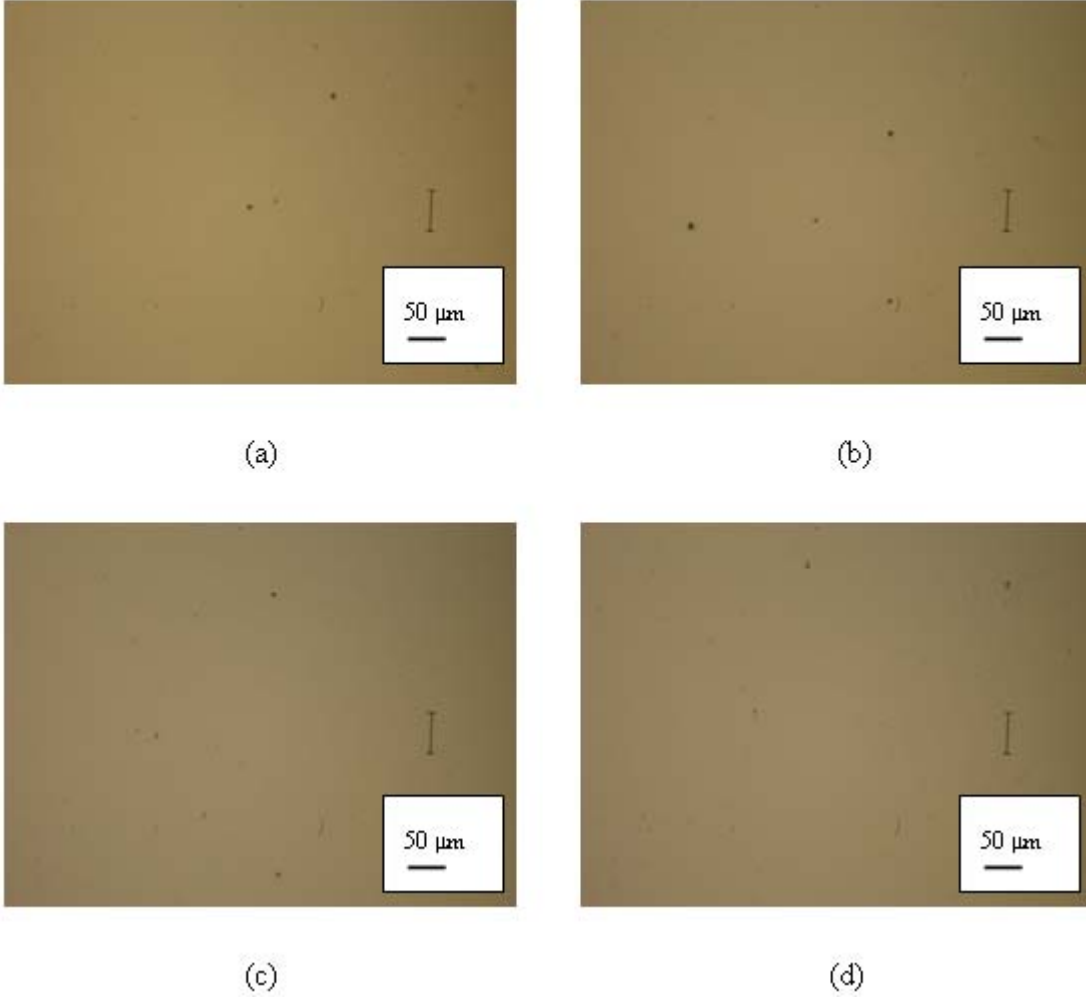
#### **4.7 Korozyon Test Sonuçları**

Çeşitli ortamlarda soğutulduktan sonra farklı oranlarda soğuk deformasyona uğratılmış numunelerin daldırılmalı tuz korozyon testinin ardından ışık mikroskopunda yapılan incelemelerinden elde edilen fotoğraflar Şekil 4.7-4.12'de verilmiştir.



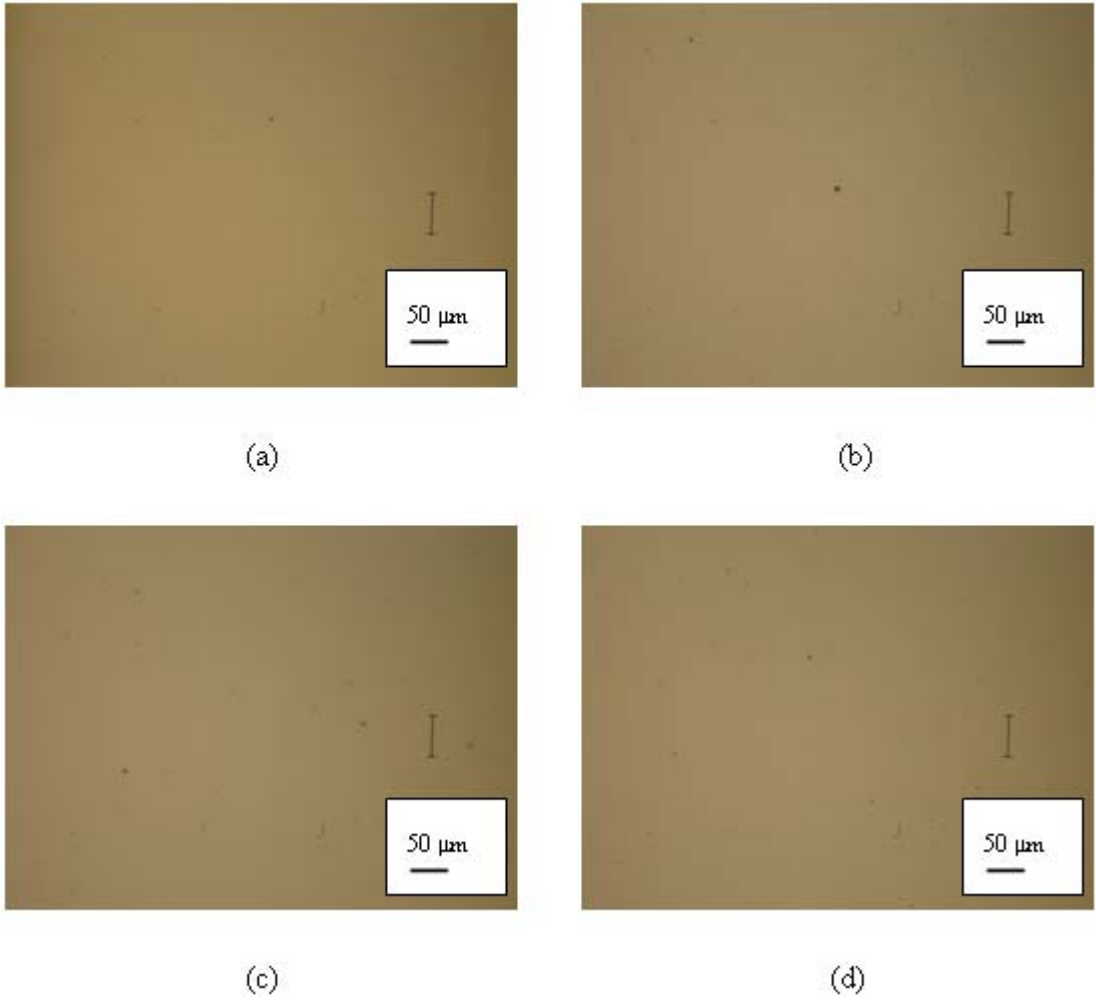
**Şekil 4.7 :** Havada soğutulmuş PÇ 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri

Şekil 4.7'de görüldüğü üzere havada soğutulmuş numunelerde soğuk işleme yapılan deformasyon oranındaki artışla korozyon miktarı da artmıştır. Ancak artış, soğuk işlem oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki korozyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir.



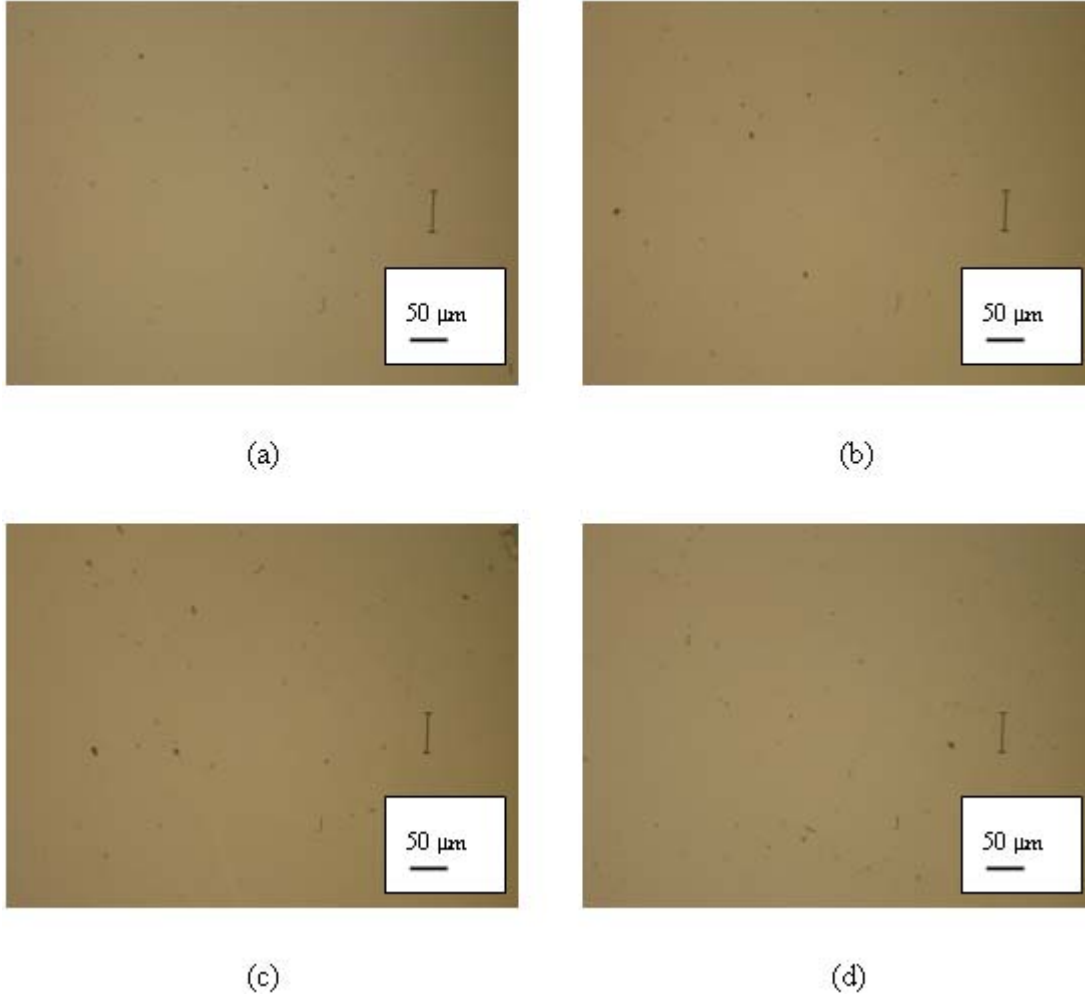
**Şekil 4.8 :** Suda soğutulmuş PÇ 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri

Şekil 4.8'de görüldüğü üzere suda soğutulmuş numunelerde soğuk işlemle yapılan deformasyon oranındaki artışla korozyon miktarı da artmıştır. Ancak artış, soğuk işlem oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki korozyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir. Havada soğutulmuş numunelere göre daha az korozyona uğramışlardır.



**Şekil 4.9 :** Azotta soğutulmuş PÇ 1'in a) %0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri

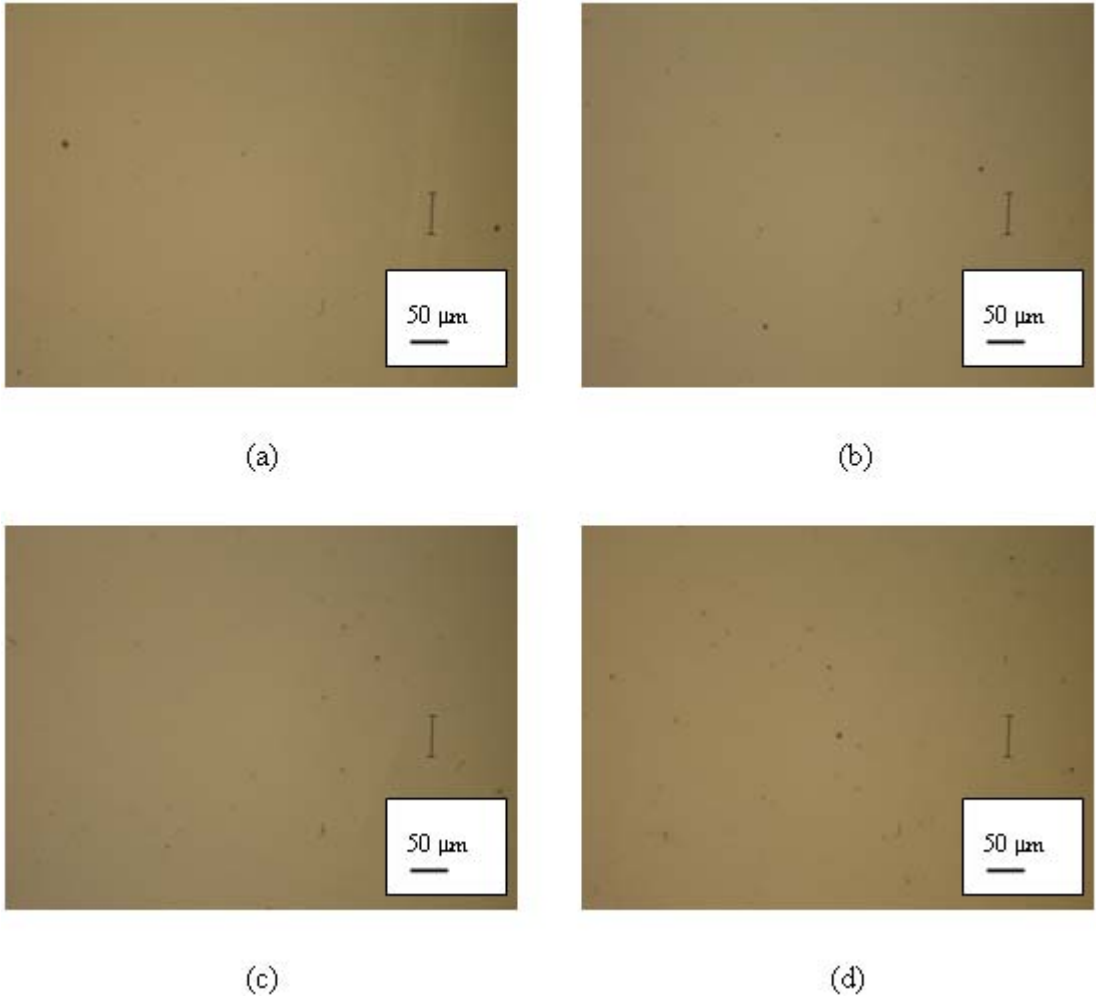
Şekil 4.9'da görüldüğü üzere azotta soğutulmuş numunelerde soğuk işleme yapılan deformasyon oranındaki artışla korozyon miktarı da artmıştır. Ancak artış, soğuk işlem oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki korozyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir. Havada ve suda soğutulmuş numunelere göre daha az korozyona uğramışlardır.



**Şekil 4.10 :** Havada soğutulmuş PÇ 2'nin a) % 0 b) % 25 c) % 50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri

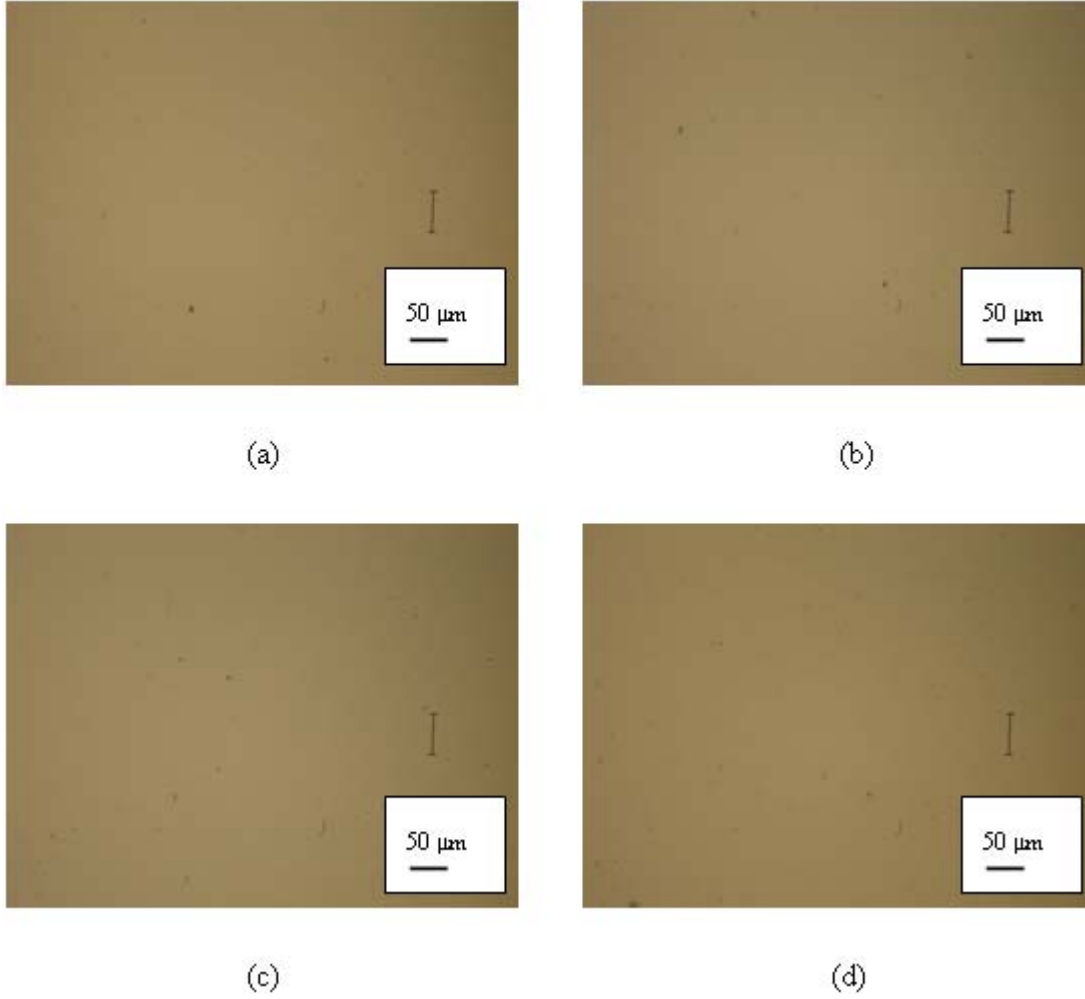
Şekil 4.10'da görüldüğü üzere havada soğutulmuş numunelerde soğuk işleme yapılan deformasyon oranındaki artışla korozyon miktarı da artmıştır. Ancak artış, soğuk işlem oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki korozyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir. PÇ 1 havada soğutulmuş numunelere göre ise daha fazla korozyona uğramışlardır.





**Şekil 4.11 :** Suda soğutulmuş PÇ 2'nin a) % 0 b) % 25 c) % 50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri

Şekil 4.11'de görüldüğü üzere soğutulmuş numunelerde soğuk işleme yapılan deformasyon oranındaki artışla korozyon miktarı da artmıştır. Ancak artış, soğuk işlem oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki korozyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir. PÇ 1 suda soğutulmuş numunelere göre ise daha fazla korozyona uğramışlardır.



**Şekil 4.12 :** Azotta soğutulmuş PÇ 2'nin a) % 0 b) %25 c) %50 ve d) % 75 oranlarında soğuk deformasyona uğratılmış halinin korozyon deneyi sonrasındaki yüzey görüntüleri

Şekil 4.12'de görüldüğü üzere azotta soğutulmuş numunelerde soğuk işlemle yapılan deformasyon oranındaki artışla korozyon miktarı da artmıştır. Ancak artış, soğuk işlem oranı ile paralellik göstermemektedir. Deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki korozyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir. Havada ve suda soğutulmuş numunelere göre daha az korozyona uğramışlardır. PÇ1 azotta soğutulmuş numunelere göre ise daha fazla korozyona uğramışlardır.

#### 4.8 Korozyon Test Sonuçlarının İrdelenmesi

Korozyona uğramış numunelerin yüzeyleri incelendiğinde, en fazla korozyona maruz kalmış numunenin, havada soğumuş ve % 75 oranında deforme edilmiş PÇ2 olduğu görülmektedir. Buna göre, numune resimleri üzerindeki toplam korozyonlu bölge

sayısı baz alınarak bir puanlama yapılırsa, suda soğutulmuş deformasyonsuz numunedeki korozyon seviyesi 1 ve en fazla korozyona uğrayan numunenin korozyon seviyesi 5 olarak alındığında çizelge 4.8’deki sonuca ulaşılır.

**Çizelge 4.3:** Deneylerde kullanılan paslanmaz çeliklerin korozyon seviyeleri

NUMUNE	DEFORMASYON MİKTARI (%)	SERTLİK (HV)	KOROZYON SEVİYESİ	
PÇ1	Havada Soğutulmuş	Deformasyonsuz	182	1,5
	Havada Soğutulmuş	25	341	3
	Havada Soğutulmuş	50	429	4
	Havada Soğutulmuş	75	467	4,3
	Suda Soğutulmuş	Deformasyonsuz	179	1
	Suda Soğutulmuş	25	334	2,1
	Suda Soğutulmuş	50	421	2,7
	Suda Soğutulmuş	75	471	2,9
	Azotta Soğutulmuş	Deformasyonsuz	185	0,9
	Azotta Soğutulmuş	25	339	1,8
	Azotta Soğutulmuş	50	427	2,4
	Azotta Soğutulmuş	75	467	2,6
PÇ2	Havada Soğutulmuş	Deformasyonsuz	189	1,7
	Havada Soğutulmuş	25	345	3,5
	Havada Soğutulmuş	50	436	4,6
	Havada Soğutulmuş	75	489	5
	Suda Soğutulmuş	Deformasyonsuz	192	1,2
	Suda Soğutulmuş	25	352	2,4
	Suda Soğutulmuş	50	445	3,2
	Suda Soğutulmuş	75	493	3,5
	Azotta Soğutulmuş	Deformasyonsuz	198	1,1
	Azotta Soğutulmuş	25	359	2,3
	Azotta Soğutulmuş	50	454	3
	Azotta Soğutulmuş	75	496	3,3

Daldırmalı tuz korozyonu sonuçları, numunelerin korozyon dirençlerinin soğuma ortamlarından etkilendiğini göstermektedir. Buna göre hem PÇ 1, hem de PÇ 2’nin havada soğutulmuş numuneleri suda ve azotta soğutulmuş numunelere göre daha fazla korozyona uğramışlardır. Soğuma hızlarının yakın olması nedeniyle, suda ve azotta soğutulmuş numuneler arasındaki farklar, havada soğutulmuş numunelerde olduğu kadar belirgin değildir.

Metalografik inceleme sonuçlarında da görüldüğü üzere tane yapıları soğuma hızlarından etkilenmektedir. Yavaş soğuma ile tane yapıları ve tane sınırları görece belirgin hale gelmekte, bu durumda tane sınırları belirginleşen yapılarda yüksek enerjili tane sınırları daha fazla korozyona uğramaktadır.

PÇ 1 ve PÇ 2 numunelerini karşılaştırdığımızda, PÇ 2 numunelerinin PÇ 1’e göre daha fazla korozyona uğradığı görülmektedir. Bu durum PÇ 2 numunelerinin

yapılarında daha yüksek miktarda karbon bulunması ile açıklanabilir. Metalografik inceleme sonuçlarında PÇ 2 numunelerinde PÇ 1'e göre tane sınırlarının daha belirgin oldukları ve tanelerin daha küçük yapıda oldukları görülmektedir. Buna göre karbonun yapıda bulunan kromla krom karbür oluşturarak tane sınırlarında çökmesi ile azalan krom miktarına bağlı olarak korozyon direnci de azalacaktır.

Numunelerin daldırılmalı tuz korozyon testi sonuçlarına bakıldığında, soğuk işleme yapılan deformasyon oranına paralel olarak, deformasyon oranlarının artması ile, tuz korozyonuna karşı dirençlerinin azaldığı görülmektedir. Tuz korozyonuna karşı direnç soğuk deformasyon oranına göre farklılık göstermektedir. Her numune grubu için, deformasyonsuz, %25 ve %50 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki korozyon farkı belirgin iken %50 ve %75 soğuk deformasyonlu numuneler arasındaki fark belirgin değildir.

Buna göre soğuk deformasyon ile yapı içerisinde gerilim oluşumu artmakta ve bu durum da, korozyon miktarını artırmaktadır. Ancak korozyon oranındaki artışla soğuk deformasyon oranındaki artış arasında bir lineerlik bulunmamaktadır. Bu durumun nedeninin, deformasyonun oluşturduğu gerilmenin sonucunda çelik içerisindeki inklüzyonları harekete geçirmesiyle, inklüzyonlar ve yüzeyde oluşan pasif film arasındaki potansiyel farktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Aralarında oluşabilecek potansiyel fark sonucu pasif film krom kaybedebilir.

## 5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerde, soğuk şekillendirme miktarının korozyon üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, farklı soğutma ile yapılan ısıtma işlemlerin ve soğuk deformasyon oranlarının iki farklı bileşimdeki AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliğin tane yapısına ve korozyon davranışlarına etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki sıralanmıştır.

1) AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon davranışı, soğuk deformasyon oranlarından etkilenmektedir. Soğuk deformasyon oranındaki artışla korozyon direnci azalmaktadır.

2) %50 orana kadarki soğuk deformasyon, korozyon direncindeki azalmada etkilidir. Daha yüksek oranlardaki soğuk deformasyonun korozyon direncindeki azalmada etkisi daha azdır.

3) Isıtma işlemdeki soğutma ortamları, dolayısıyla soğutma hızları, korozyon davranışında etkilidir. Ancak karbon oranı düşük olan, deneylerde kullanılan, AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerde, soğutma ortamının etkisi soğuk deformasyon oranının etkisinden azdır. Havada soğutulan numunelerin korozyon direnci diğerlerine göre azdır.

4) Korozyon direnci soğuk deformasyon oranındaki artışla azalmaktadır, ancak bir lineerlik yoktur. Lineerliğin olmaması, soğuk deformasyonun yarattığı gerilmenin, çelik içerisindeki inklüzyonları harekete geçirerek potansiyel farkı oluşturması ve oluşan bu potansiyel farkının pasif filme etki etmesi ile açıklanmaktadır.

5) Bu çalışmanın devamı olarak daha ileri karakterizasyon çalışmalarının yapılması düşünülebilir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Davis, J.R.**, 1994, *Satinless Steels*, ASM International, Ohio
- [2] **Leffler B.**, 1998, *Stainless Steels and Their Properties*, AVESTA Sheffield AB Research Foundation, Finlandiya
- [3] **Cunat P.J.**, 2004, *Alloying Elements in Stainless Steel and Other Chromium-Containing Alloys*, Euro Inox, Paris
- [4] **Aran A. ve Temel M.A.**, 2004, *Paslanmaz Çelik*, Sarıtaş Teknik Yayın, İstanbul
- [5] **Baysal C.**, 1987, *AISI 304 ve 316 Kalite Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Doymuş Klörlü Nötral Çözeltilerde Oyuklanma Davranışı*, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [6] **Aydoğdu G.H. ve Aydınol M.K.**, 2005, *AISI 316L Tipi Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Tanelerarası Korozyona Duyarlılığının Elektrokimyasal Polarizasyon Yöntemiyle Belirlenmesi*, *12. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul
- [7] **Nilsson K.**, 2006, *Corrosion Tests of Stainless Steels in Automotive Applications*, *Doktora Tezi*, Lulea University of Technology, İsveç
- [8] **Torkar M., Mandrino M., Lamut M.**, 2008, *An AES Investigation of Brushed AISI Stainless Steel After Corrosion Testing*, *Materials and Technology*, **42**, 39-44
- [9] **Önal G., Ünüvar A., Şimşek T.**, 2005, *5083 Al-Mg Alaşımında Mekanik Özellikler Üzerine Korozyon Etkisinin Araştırılması*, *Gazi Üniversitesi Müh-Mim Fak. Dergisi*, **20**, 191-196
- [10] **ASTM A666**, 2003, *Standard Specification for Annealed or Cold-Worked Austenitic Stainless Steel Sheet, Strip, Plate, and Flat Bar*, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia
- [11] **Kayalı E. S., Ensari C.**, 2000, *Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları*, İTÜ Yayınları, İstanbul
- [12] **Tavres, S.M., Gunderov, D., Stolyarov, V., Neto, J.M.**, 2003, *Phase Transformation Induced by Severe Plastic Deformation in the AISI 304L Stainless Steel*, *Materials Science and Engineering*, **358**, 32-36
- [13] **Krauss G.**, 1990, *Steels: Heat Treatment and Processing Principles*, ASM International, Ohio
- [14] **Barbucci A., Cerisola G., Cabot P.L.**, 2002, *Effect of Cold-Working in the Passive Behavior of 304 Stainless Steel in Sulfate Media*, *Journal of the Electrochemical Society*, **149**, 534-542
- [15] **Milad M., Zreiba N., Elhalouani F., Baradai C.**, 2008, *The Effect of Cold Work on Structure and Properties of AISI 304 Stainless Steel*, *Journal of Materials Processing Technology*, **203**, 80-85

- [16] **Kumar B.R., Singh A.K., Samar D., Bhattacharya D.K.**, 2004, Cold Rolling Texture in AISI 304 Stainless Steel, *Materials Science and Engineering*, **364**, 132-139
- [17] **Kumar B.R., Singh A.K., Mahato B., Bandyopadhyay N.R., Bhattacharya D.K.**, 2005, Effect of Texture on Corrosion Behavior of AISI 304L Stainless Steel, *Materials Characterization*, **54**, 141-147
- [18] **Kirk D., Payne N.J.**, 1999, Transformations Induced in Austenitic Stainless Steels by Shot Peening, 7. *International Conference on Shot Peening*, Polonya
- [19] **Chunchun X., Gang H.**, 2004, Effect of deformation-induced martensite on the pit propagation behavior of 304 stainless steel, *Anti Corrosion Methods and Materials*, **51**, 381-388
- [20] **Domankova M., Peter M., Roman M.**, 2007, The Effect of Cold Work on the Sensitisation of Austenitic Stainless Steels, *Materials and Technology*, **41**, 131-134
- [21] **Phadnis S.V., Satpati A.K., Muthe K.P, Vyas J.C., Sundaresan R.I.**, 2003, Comparison of Rolled and Heat Treated SS304 in Chloride Solution Using Electrochemical and XPS Techniques, *Corrosion Science*, **45**, 2467-2483
- [22] **Mudali U.K., Shankar P., Ningshen S., Dayal R.K., Khatak H.S., Raj B.**, 2002, On the Pitting Corrosion Resistance of Nitrogen Alloyed Cold Worked Austenitic Stainless Steels, *Corrosion Science*, **44**, 2183-2198
- [23] **Garcia C., Martin F., Tiedra P.D., Heredero J.A., Aparicio M.L.**, 2001, Effects of Prior Cold Work and Sensitization Heat Treatment on Chloride Stress Corrosion Cracking in Type 304 Stainless Steels, *Corrosion Science*, **43**, 1519-1539
- [24] **Peguet L., Malki B., Baroux B.**, 2007, Influence of Cold Working on the Pitting Corrosion Resistance of Stainless Steels, *Corrosion Science*, **49**, 1933-1948



## **EKLER**

**EK A.1** : Soğuk şekillendirme miktarına bağlı mekanik özellikler



EK A.1

**Çizelge A. 1:** Östenitik paslanmaz çeliklerin çekme dayanımları [10]

Çekme Dayanımı (MPa) (En az)

İşlem Durumu	ASTM					
	301	302	304	304L	316	316L
Tavlanmış	515	515	515	485	515	485
¼ Sert	860	860	860	860	860	860
½ Sert	1035	1035	1035	1035	1035	1035
¾ Sert	1205	1205	1205	1205	1205	1205
Tam Sert	1275	1275	1275	1275	1275	1275

**Çizelge A. 2:** Östenitik paslanmaz çeliklerin akma dayanımları [10]

Akma Dayanımı (MPa) (En az)

İşlem Durumu	ASTM					
	301	302	304	304L	316	316L
Tavlanmış	205	205	205	170	205	170
¼ Sert	515	515	515	515	515	515
½ Sert	760	760	760	760	760	760
¾ Sert	930	930	930	930	930	930
Tam Sert	965	965	965	965	965	965

**Çizelge A. 3:** Östenitik paslanmaz çeliklerin % uzama miktarları [10]

% Uzama (En az)

İşlem Durumu	ASTM					
	301	302	304	304L	316	316L
Tavlanmış	40	40	40	40	40	40
¼ Sert	25	10	10	8	10	8
½ Sert	15	9	6	5	6	5
¾ Sert	10	5	3	2	3	2
Tam Sert	8	3	1	1	1	1

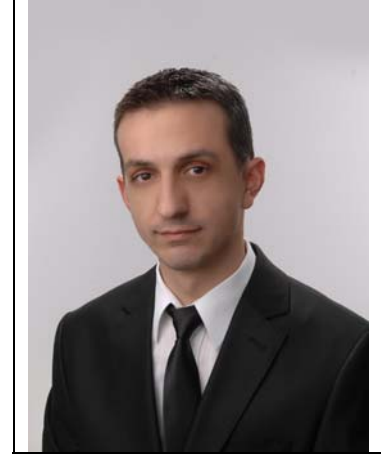
**Çizelge A. 4:** Östenitik paslanmaz çeliklerin sertlik değerleri [10]

Sertlik (Vickers) (En az)

İşlem Durumu	ASTM					
	301	302	304	304L	316	316L
Tavlanmış	160	160	160	150	160	150
¼ Sert	270	270	270	270	270	270
½ Sert	320	320	320	320	320	320
¾ Sert	370	370	370	375	370	370
Tam Sert	390	390	390	390	390	390



## **ÖZGEÇMİŞ**



**Ad Soyad:** Murat ŞEN  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** Hengelo, Hollanda, 29.08.1983  
**Adres:** Hamidiye Mah. Katip Çelebi Sok. No: 64 Düzce  
**Lisans Üniversitesi:** İ.T.Ü Metalurji ve Malzeme Müh.