



**T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAYER PROSESİNDE KULLANILAN MALZEMELERİN KOSTİK  
KIRILGANLIĞININ İNCELENMESİ**

**Ömür AVCI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2018**

**KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ömür AVCI tarafından hazırlanan “Bayer Prosesinde Kullanılan Malzemelerin Kostik Kırılabilirliğinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 01/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

#### Danışman

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYRICI

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet AVCI  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ömür AVCI

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

# BAYER PROSESİNDE KULLANILAN MALZEMELERİN KOSTİK KIRILGANLIĞININ İNCELENMESİ

Ömür AVCI

Necmettin ERBAKAN Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

2018, 64 Sayfa

Jüri

Türkiye Alüminyum ihtiyacının yaklaşık %15'ini Seydişehir E.T.İ Alüminyum tesislerin den karşılayarak, tesislerinde kullanacağı boksit mineralini kendi açık ocaklarından sağlamaktadır. Alüminyum üretiminde kullanılan boksit minerali yaklaşık % 30 - 60 değerleri arasında alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) içermektedir. Bu açık ocakların boksit cevherinin içerikleri ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  vs.) oldukça farklı özelliklerdedir. Alüminyum, tüm dünyada aynı yöntemle elde edilmektedir. Alüminyum eldesi, iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada, Bayer metodu ile boksit cevherinden alümina elde edilir. İkinci aşamada ise, elektroliz ile Alümina' dan alüminyum elde edilir.

Alümina tesisleri, genellikle boksit cevherlerinin yanına kurulur. Madenden çıkarılan boksit cevheri, Sud kostik (Kostik soda, NaOH) eriyiği ile muamele edilerek alüminyum hidroksit eldesi gerçekleşir. Bu işlem sonucunda oluşan erimeyen kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile "alümina" (alüminyum oksit) elde edilir. Alüminyum Oksit (Alümina) üretiminde kullanılan Kostik (Sodyum Hidroksit) NaOH'ın ve/veya Sodyum Alüminat ( $NaAlO_2$ ) Çözeltilerinin farklı konsantrasyonlar da ve farklı sıcaklıklarda proseste depolanması, üretimi ve transferi sırasında, malzemelerde meydana gelen Kostik (Korozyonunun) Kırılmasının nedenleri araştırıldı. Alümina üretiminde kullanılacak; Uygun çelik malzemeler (Karbon çeliği, paslanmaz çelik vb.) belirlenmiştir.

Proseste kullanılan hammadde girdilerinden biri olan kostik, yüksek maliyetinden dolayı ilgili proses adımlarındaki yaşanan kaynak kaçaklarından dolayı meydana gelen kostik kayıplarının minimize edilmesi sağlanacaktır. Kostik kaçaklarının minimize edileceği bölgelerde hali hazırda çalışmakta olan ekipmanların çalışma ortamları ve şartları doğru orantılı olarak iyileştirileceğinden dolayı ekipmanların daha uzun süreli çalışma periyotlarına ulaşması sağlanarak, tamir ve bakım giderlerinde tasarrufun sağlanması gerçekleşmiş olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Bayer prosesi, Boksit, Kostik, Korozyon, Çelik, Kaynak yöntemleri

## ABSTRACT

## MY THESIS

# INVESTIGATION OF CAUSTIC EMBRITTLEMENT OF MATERIALS USED IN BAYER PROCESS

Ömür AVCI

NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE AND  
TECHNOLOGY

Advisor: Asst. Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

2018, 64 Pages

August

Seydişehir ETİ Alüminyum Plant (SEAP) is the only producer of primary aluminium from its own raw bauxite ore in Turkey. The share of its in Turkey aluminium market is approximately 15 %. SEAP own bauxite ores typically contain between 30 and 60 wt-% aluminum oxides. These bauxite ores which originated from separate mines have more heterogeneous properties with different chemical compositions, crystalline structure and other characteristics, i.e. each bauxite ore has its own individual specifications.

Aluminum is obtained all over the world in the same way. Aluminium obtained occurs in two stages. First stage, alumina is obtained from bauxite ore with the Bayer method. Second stage, Aluminium is obtained from alumina by electrolysis. Alumina facilities are usually installed near to the bauxite ore. Bauxite ore extracted from mine is treated with caustic (Caustic soda, NaOH) to give aluminium hydroxide. This process results in the separation of non-soluble residues (Red mud) and alumina is obtained by calcination of aluminium hydroxide. During the storage and transport of caustic or sodium aluminate solutions used in the production of aluminum oxide at different concentrations, the reasons for the caustic embrittlement of the have been investigated. Appropriate steel materials have been identified ( Carbon steel, stainless steels etc.)

One of the raw material inputs of the process is caustic, it will be possible to minimize the caustic losses due to the live source leaks in the process steps due to their high cost. Check whether there is a place where the caustic leaks are reduced the most, by ensuring that the equipment is able to reach longer working periods because the working conditions and conditions will be improved in a direct proportion, repair and maintenance costs will be realized.

**Keywords:** Bayer Process, Bauxite, Caustic, Corrosion, Steel, Welding methods.

## ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım süresince ilgili projelerde bulunmamı sağlayarak disiplinli bir araştırma ortamında tecrübe kazanmamı sağlayan ve bu süreç boyunca desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisansa başlamamda bana büyük desteği olan ve çalışmanı olmaktan büyük onur duyduğum ETİ ALÜMİNYUM A.Ş. Yönetim Kurulu Üyesi Sayın Şaban CENGİZ'e Genel Müdürümüz Sayın Mehmet ARKAN'a, Genel Müdür Yardımcısı Sayın Osman Zeki ÖZYILDIRIM'a ve Alümina Müdürü Sayın Gökhan Kürşat DEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarına başladığım dönemlerde katkılardan ve arkadaşlığından dolayı iş yerinde beraber çalıştığım Sedat ARSLAN, Seyit AVCU, Kemal DİNÇ, Mustafa SERVER ve tüm mesai arkadaşlarıma da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu süreç içerisinde beni sonsuz sabır ve anlayış ile destekleyen, yüksek lisans eğitimimin boyunca karşılaştığım zorlukları aşmamı sağlayan, aldığım her kararda arkamda duran sevgili eşim Nihan YILMAZ AVCI' ya ve biricik kızım Asya AVCI' ya çok teşekkür ederim.

Ömür AVCI  
KONYA-2018

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

|   |           |
|---|-----------|
| ÖZET .....  | vi        |
| ABSTRACT.....   | vii       |
| ÖNSÖZ .....   | viii      |
| İÇİNDEKİLER .....   | ix        |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....   | xi        |
| GİRİŞ .....   | 1         |
| <b>1. Genel Bakış .....</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1. Eti Alüminyum A.Ş Fabrikasının Genel Tanıtımı .....                          | 3         |
| 1.2. Kostik Ve Bayer Prosesinde Kullanımı .....                                   | 4         |
| 1.2.1. Boksit .....   | 4         |
| 1.2.2. Başlıca boksit çeşitleri ve özellikleri .....                              | 5         |
| 1.2.3. Boksitten alümina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) üretim metotları ..... | 7         |
| 1.2.4. Bayer prosesinin tanıtılması.....  | 7         |
| 1.2.5. Sodyum hidroksit ( Kostik – NaOH ) .....                                   | 8         |
| 1.2.6. Kostığın genel özellikleri ve kullanım alanları .....                      | 9         |
| <b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>   | <b>15</b> |
| 3.1 Giriş .....   | 15        |
| 3.2 Malzeme ve Alaşımları .....   | 16        |
| 3.2.1 Bayer prosesinde kullanılan metal malzemeler .....                          | 16        |
| 3.2.2. Alaşımsız çelikler: .....  | 17        |
| 3.2.3 Yüksek alaşımlı çelikler (Paslanmaz Çelikler).....                          | 18        |
| 3.2.4 St 37-2 (S235JR) karbon çeliği.....   | 23        |
| 3.2.5 AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çelik.....                         | 23        |
| 3.2.6 Saf nikel alaşımlar (Nikel 200/201).....                                    | 25        |
| 3.2.7 Nikel alaşımları Monel 400 (Alloy 400): .....                               | 27        |
| 3.2.8. Hastelloy C276 ve C22 .....  | 29        |
| 3.2.9 Kaynak yöntemleri.....  | 29        |
| 3.2.10 Örtülü elektrod ark kaynağı .....  | 30        |
| 3.2.11 Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı.....                                      | 32        |
| 3.2.12 İmalatta kullanılan elektrod tipleri.....                                  | 33        |
| 3.2.13 Kullanılan ekipman ve makineler .....                                      | 35        |
| 3.3 Yöntem.....   | 36        |
| <b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>                                   | <b>37</b> |
| 4.1 Düzenlenmiş Dönüş Çözelti Tankı .....   | 37        |
| 4.2. Buharlaştırma Bölümü Kuvvetli Çözelti Üretimi .....                          | 44        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.3. Buharlaştırma Bataryasındaki Malzeme Deneme alışmaları ..... | 46        |
| 4.4. Metal Kayıp Oranı Test alışması.....                         | 56        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                               | <b>60</b> |
| 5.1. Sonuçlar .....  | 60        |
| 5.2. neriler .....  | 64        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>   | <b>65</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>  | <b>68</b> |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### **Simgeler**

**Ni** :Nikel

**Cr** : Krom

**Mo** : Molibden

**C** : Karbon

**Fe** : Demir

**Mn** : Mangan

**P** : Fosfor

**S** : Kükürt

**Si** : Silisyum

**W** : Wolfram

**N** : Azot

**Al** : Alüminyum

**Cu** : Bakır

**Ti** : Titanyum

**Nb** : Niyobyum

**Ta** : Tantal

**H** : Hidrojen

**O** : Oksijen

**Na** : Sodyum

**Cl** : Klor

**V** : Volt

**kV** : Kilo volt

**W** : Watt

**MW** : Mega Watt

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Alüminyum oksit

**Atm** : Atmosfer basıncı

**Bar** : Basıncı birimi

**°C** : Santigrat derece

**°F** : Fahrenheit

**cm** : Santimetre

**y** : Yıl

**g** : Gram

**h** : Saat

**K** : Kelvin  
**kg** : Kilogram  
**l** : Litre  
**m** : Metre  
**ml** : Mililitre  
**mm** : Milimetre  
**Mohs** : Sertlik birimi  
**Na<sub>2</sub>O** : Sodyum oksit  
**NaOH** : Sodyum hidroksit  
**H<sub>2</sub>** : Hidrojen  
**s** : Saniye  
**t** : Zaman  
**%** : Yüzde

#### **Kısaltmalar**

**A.Ş** : Anonim Şirketi  
**HES**: Hidroelektrik Santrali  
**Cnc**: Computer Numerical Control  
**TEAŞ** : Türkiye Elektrik İşletmeleri Anonim Şirketi  
**SCC** : Stress Corrosion Cracking  
**SEM** : Taramalı elektron Mikroskobu  
**St** : Stel  
**DIN** : Alman Standartlar Enstitüsü  
**EN** : Avrupa Standartı  
**SAE** : Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği  
**AISI** : Amerikan Demir Ve Çelik Endüstrisi  
**TIG** : Tungsten İner Gaz  
**MIG** : Metal İner Gaz  
**MAG** : Metal Aktif Gaz  
**AC** : Alternatif Akım  
**DC** : Doğru Akım

## GİRİŞ

Fransa'daki Les Baux bölgesinde bulunan ve alüminyum içeren ve tipik yapısından dolayı bu kayalara boksit cevheri denilmiştir. Günümüzde alüminyum üretimi için cevher olarak boksit kullanılmaktadır.

Alüminyum hidroksit, alüminyum eldesinin temel hammaddesinden birisidir. Alümina üretiminin büyük kısmı boksit madeni ve çeşitlerinden elde edilmektedir. Alüminyumun, boksit cevherinden başka killerden de üretilebilir. Killer, alüminyum üretimi için çok fazla yeterli olmadığından dolayı günümüzde en çok kullanılan maden boksit ve türevleri olan cevherlerden üretilmektedir (Aksu, 2001; Uzun 2006).

Alüminyumun ana hammaddesi olan boksit cevherinin elde edilmesi ülkemizde genel olarak açık maden işletmeciliği ile gerçekleştirilmektedir. Boksit madeni %30–65 alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) ihtiva eder. İlk olarak 1887 yılında K. J. Bayer alüminat çözeltilisinin dekompozisyonu için ve daha sonra 1892'de ise boksit cevherinin işlenmesi sırasında sodyum hidroksit çözeltisi eklemesi ile yüksek basınç ve sıcaklık altında çözüdürerek ilk patentini almıştır. Patentini almış olduğu bu metotlar bugün çok az değişimle uygulanan Bayer prosesinin temelini oluşturur. Bayer Prosesine ile elde edilmiş alüminanın, yüksek enerji ile elektrolizi sonucu sıvı alüminyum elde edilmektedir. (Bull. Hist. Chem, 1995). Ortalama 3,8 ton boksit cevherinde yaklaşık 2 ton alümina elde edilerek, elde edilen bu 2 ton alüminadan da 1 ton sıvı metal alüminyum üretilmektedir (Etibank,1992).

Entegre tesis yapısında olan Eti Alüminyum A.Ş. Fabrikası; Alümina, Anot Pasta, Rodlama, Elektrolizhane, Dökümhane, Haddehane gibi ana üretim yapan fabrikaları ile bunlara destek hizmeti veren Kazan Dairesi, Su Soğutma ünitesi, Laboratuvarlar, Makine ve Teçhizat atölyeleri, Enerji birimi gibi yardımcı ünitelerden meydana gelmektedir (Etibank, 1992).

Alüminyum üretim bölümünde Hall-Heroult Prosesi'ne göre yeni yatırımla dönüştürülen 2 adet elektrolizhane binası olmak üzere toplam 94 hücre faaliyet göstermektedir. Yeni modernize edilen dökümhane fabrikasında ise, elektrolizhaneler de üretilmiş olan sıvı alüminyum, alaşımsız saf külçe, alaşımlı külçe olarak T veya yuvarlak ingot haline getirilir. Dökümhane ünitesi yılda 80.000 ton miktarındaki sıvı alüminyumu ve yaklaşık 30.000 ton ikincil yani hurda alüminyumu işleyecek kapasitededir (Etibank, 1992).

Bu çalışmalarda, Eti Alüminyum A.Ş. Fabrikası yaklaşık 500.000 ton/yıl boksit cevheri işleyerek, 220.000 ton alümina ve yaklaşık 80.000 ton sıvı alüminyum metali üretimi kapasitesine sahiptir. Üretilen alüminyum hidroksitin 120.000 tonu sıvı metal alüminyum üretiminde kullanılmakta olup, geri kalan miktarın 80.000 ton kadar küçük bir miktarı yurtiçinde faaliyet gösteren seramik fabrikalarına ve ihraç için satış yapılmıştır. (Etibank, 1992).



## **1. Genel Bakış**

### **1.1. Eti Alüminyum A.Ş Fabrikasının Genel Tanıtımı**

Eti Alüminyum A.Ş. Fabrikası özelleştirme kapsamında Cengiz Holding tarafından 2005 yılında satın alınmıştır. Cengiz Holding bünyesine katıldıktan sonra hızlı bir şekilde modernizasyon çalışmalarına başlanılmış ve çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Eti Alüminyum A.Ş. Fabrikası, Maden İşletmeleri, Alümina ve Alüminyum Fabrikası (Elektrolizhaneler), Dökümhane, Anot-Pasta, Rodlama, Haddehane, Oymapınar Hidroelektrik Enerji Santrali ve Antalya İthalat ve İhracat Müdürlüğü'nden oluşmaktadır. Türkiye'nin ilk ve tek sıvı Alüminyum üreticisi olan Eti Alüminyum Fabrikası (Şekil 1.1), aynı zamanda boksit cevherinden, nihai ürünlere kadar üretim yapan sayılı tesislerinden biridir.

Türkiye alüminyum ihtiyacının yaklaşık %15' ini karşılayan tesiste, sıvı alüminyum külçe, T ve yuvarlak ingot, yassı ingot, saf külçe, alaşımlı külçe, sıcak rulo, levha, şerit vb. ürünlerin satışı gerçekleşmektedir. Temel amacı boksit, alümina, alüminyum döküm ürünleri ile birlikte hadde ürünleri de üretmek ve pazarlamaktır.

Seydişehir İlçesi'nin kuzey tarafına kurulmuş olan Alüminyum Fabrikası, her biri başlı başına birer işletme özelliğinde olan, maden açık işletmesi, alümina ve alüminyum fabrikaları, dökümhane ve haddehane üniteleri ile farklı ana üretim birimlerine sahip olmak üzere, toplam 24 biriminden oluşmaktadır. Fabrika, yılda 500.000 ton boksit cevheri işlemek suretiyle, 380.000 ton hidrat, 240.000 ton kalsine edilmiş alümina ve yaklaşık 80.000 ton birincil alüminyum üretim yapan kapasiteye sahiptir. Üretilen alüminyumun bir miktarı, dökümhane ve haddehane' de işlenerek, çeşitli özellik ve ebatta külçe, T ve yuvarlak ingot, profil, sac levha, rulo ve folyo şeklinde piyasaya sunulmaktadır.



**Şekil 1.1.** Seydişehir Eti Alüminyum Tesisleri

Eti Alüminyum A.Ş. Genel Müdürlüğü altında üretim çalışmalarını yürüten tesisler ve bölümler kısaca aşağıda verilmektedir:

## **1.2. Kostik Ve Bayer Prosesinde Kullanımı**

### **1.2.1. Boksit**

Boksit cevheri ilk defa Fransa'nın Baux kasabasında keşfedilmiştir (P.Berthier, 1821) ve adını bu kasabadan almaktadır. Boksitin o zamanlarda ne olduğu tam bilinmediği için doğal mineral olarak kabul edilmiş ve bu isimle yaygın olarak kullanılmıştır. Boksitin sertliği 1–4 mosh, yoğunluğu 2,0–3,5 g/cm<sup>3</sup> değerleri arasında değişen alüminyum oksit ve hidroksitlerin bir bileşimidir. Dünyadaki alüminyum üretiminin neredeyse tamamı bu cevherden temin edilmektedir. Bu bakımdan dolayı boksit cevheri dünya ticaretinde önemli bir yeri vardır. Sahadan alınan numunelerden Etibank alüminyum tesisleri laboratuvarlarında yapılan deneylerden cevher yoğunluğunun 2,95-3,05 g/cm<sup>3</sup> arasında olduğu tespit edilmiştir (Pelen, 1977; Çağatay, 1982; Arman, 1982).

Boksit adını Fransa daki Les Baux'a ait olan maden yataklarından almıştır. Boksit cevherlerinin temel bileşeni olan alüminyum hidratlar ise genel olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2H<sub>2</sub>O veya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.nH<sub>2</sub>O şeklinde gösterilir. Boksitlerin kimyasal bileşimi, genellikle ana bileşenlerin oluşturduğu ağırlık yüzde aralığı olarak karakterize edilirler (Aksu, 2001).

Boksit madeni karışık veya saf olarak üç çeşit mineral içerirler. Bunlar ise; Gibsit (hidrarjilit)  $Al(OH)_3$ , Böhmit  $AlO(OH)$  ve Diyaspor ( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ) dur. Gibsit ve Böhmit cevheri içindeki alümina, alüminyum üretimi için normal metotlarla elde edilebildiği halde, Diyaspondan bu amaç ile alümina üretimi bu zamana kadar bilinen metotlarla ekonomik olarak yapılamamıştır. Eti alüminyum tesisleri genel laboratuvarlarında yapılan kantitatif analizler sonucu, ana mineral böhmitten başka az miktarda diyaspor ile alümojen, kaolonit, hematit, götit, lepidokrosit ve limonit, martitleşmiş manyetitler, titan minerali olarak anataz ve rutil, az miktarda tridimit ile genellikle pirit ve markasit, nadiren kalsit, siderit, piroluzit ve psilomelan gibi minerallerin olduğu gözlenmiştir. Böhmit minerali cevherin %60-65'ini,  $SiO_2$  mineralleri ise, ikinci önemli mineral olarak cevherin %15-20'ini oluşturmaktadır (DPT, 2001; Karadağ, 1987).

### 1.2.2. Başlıca boksit çeşitleri ve özellikleri

#### Gibsit

Hidrarjilit olarak da isimlendirilen Gibsit, yer kabuğunda tabii olarak teşekkül eden alüminyum trihidrattan oluşmuştur. Diğer alüminyum hidrat tiplerinden ayırmak için gama-alüminyum trihidrat olarak sınıflandırılır ve saf mineral olan gibsit %65,35 alümina ihtiva eder.

Minerallerin kristalleri tam bir bazal kırılma yüzeyine ve cam inci parlaklığına sahiptir (Etibank, 1992).

*Kimyasal formülü:*  $Al(OH)_3$

*Renk:* Şeffaf veya yarı şeffaf olarak açık griden kırmızımsı sarıya kadar değişebilir.

*Sertlik:* 2,4–3,5 mohs

*Özgül ağırlık:* 2,3–2,5  $g/cm^3$

*Çözünmesi:* Sıcak sud kostik çözeltilisinde böhmit ve diyaspondan çok daha kolay çözünebilir ve soğutma ile tekrar kristallendirilebilirler.

#### Böhmit

Akdeniz çevrelerinde en fazla bulunan boksit cinsidir. Gibsitin dehidratasyonu sırasında bir ara ürünü olarak meydana gelmektedir. Boksitlerin böhmit ihtiva edip

etmediği X-ışınları ile yapılan deneylerle veya diferansiyel termal analizlerle anlaşılabilir. Böhmit, termal analiz sırasında 450 – 600 °C civarında endotermik bir reaksiyon vermesi ile tespit edilebilir (Etibank, 1992).

*Kimyasal formülü:* AlO(OH) veya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O

*Renk:* Kahverengimsi kırmızıdan grimsi kahverengiye kadar

*Sertlik:* 3,4 – 6,5 mohs sertliği

*Özgül ağırlık:* 3,01 – 3,06 g/cm<sup>3</sup> arasında

### Diyaspor

Diyaspor yatakları, paleozik çağlarda yüksek basınç ve sıcaklıkta teşekkül ettiği düşünülmektedir. Laboratuvarlar da yapılan deneyler sonucu, diyaspor teşekkülünün 140 atm basınçta ve 275 °C ‘den daha yüksek sıcaklıklarda olabileceği fikrini kuvvetlendirmektedir. X-ışınları veya diferansiyel termal analizlerle teşhis edilebilir (Etibank, 1992).

*Kimyasal formülü:* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O veya AlO(OH)

*Renk:* Beyazdan gri veya kahverengiye kadar

*Sertlik:* 6,4 – 7 mohs sertliği

*Özgül ağırlık:* 3,3 – 3,5 g/cm<sup>3</sup> arasında

Boksit türleri ve fiziksel özelliklerine ait bilgiler Çizelge 1.1.’de verilmektedir.

**Çizelge 1.1.** Boksit çeşitleri ve fiziksel özellikleri

|                   | Kimyasal Formülü                                  | Kristal Yapısı | Özgül Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> ) | Sertliği (mohs) |
|-------------------|---|----------------|-------------------------------------|-----------------|
| <b>Gibsit</b>     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O | Mono klinik    | 2,2 – 2,4                           | 2,4–3,5         |
| <b>Böhmit</b>     | AlO(OH) <sub>3</sub>                              | Ortorombik     | 3,01 – 3,05                         | 3,4–6,5         |
| <b>Diyasporit</b> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O  | Ortorombik     | 3,2 – 3,4                           | 6,4–7           |

### 1.2.3. Boksitten alümina ( $Al_2O_3$ ) üretim metotları

Dünya da boksitten alümina üretimi 3 farklı yolla yapılmaktadır. Bu prosesler;

➤ **Bayer Prosesi**

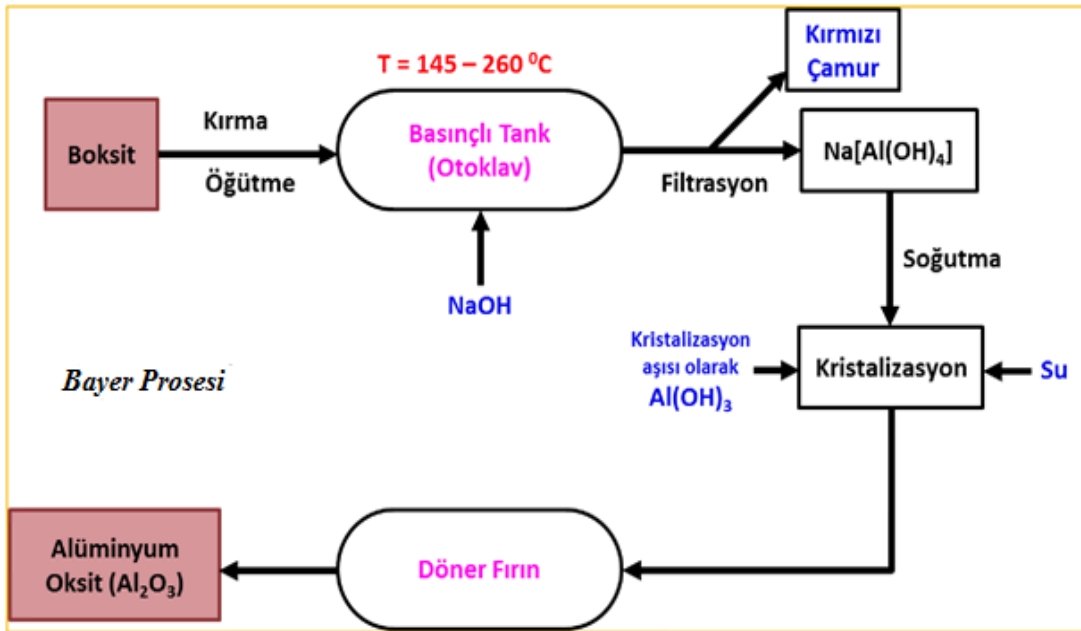


➤ **Birleşik Proses** Bayer prosesi + Kırmızı çamurun CaO ve  $Na_2CO_3$  ile birlikte sinterlenmesi şeklindedir ve bu yöntemler arasında en çok tercih edilen yöntem ise Bayer Prosesidir.

### 1.2.4. Bayer prosesinin tanıtılması

Dünyada büyük oranla tercih edilerek uygulanan Bayer Prosesi'dir. Boksit proste, yüksek sıcaklık ve basınçta NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi ile reaksiyona girer ve cevher içerisinde bulunan alüminanın ( $Al_2O_3$ ) sıvı faza ekstraksiyonu gerçekleştirir. Reaksiyon sonucu elde edilen süper doymuş sodyum alüminat çözeltisi dekompozisyonu neticesi, nemli ve beyaz renkte alüminyum hidroksit (hidrat,  $Al(OH)_3$ ) kristalleri halinde çöktürülür. Elde edilmiş olan alüminyum hidroksit ürünü yüksek sıcaklıkta kalsine edilmesi ile alümina elde edilir ve Bayer Döngüsü tamamlanmış olur.

Bayer prosesine ait akım şemasını inceleyecek olursak. (Şekil 1,2 ve 1,3)



Şekil 1.2. Bayer Prosesi akım şeması



Fiziksel özellikleri;

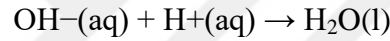
Saf sodyum hidroksit çözeltisi halinde sıvı olarak temin edildiği gibi granül ve pellet olarak katı biçiminde satılan, beyazımsı saf hali katı olan bir kimyasal maddedir. Suda oldukça iyi çözünürken, etanol ve metanol içinde daha düşük bir çözünürlüğe sahiptir. Bununla birlikte eter ve diğer polar olmayan çözücüler içinde çözünemez. Sülfürik asit hidrasyonuna benzer şekilde, suda katı sodyum hidroksit çözünmesi sırasında büyük miktarda ısı açığa çıkan ekzotermik bir reaksiyondur. Elde edilen çözelti ise genellikle, renksiz ve kokusuzdur, deri ile temas ettiğinde diğer alkalın çözeltiler gibi kayganlık hissi verir.

### 1.2.6. Kostığın genel özellikleri ve kullanım alanları

Sodyum hidroksitin protik asit reaksiyonu sonucu su ve tuz, hidroklorik asit ile reaksiyonu sonucu ise sodyum klorür oluşur (1.4).

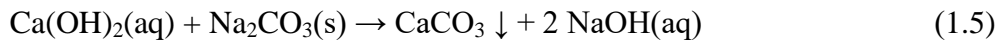


Genel olarak nötrleştirme reaksiyonları ile basit bir net iyonik denklemlerle temsil edilir:



Güçlü bir asit ile reaksiyona sokulması sonucunda ısı açığa çıkaran ekzotermik bir reaksiyondur.

Tarihsel olarak sodyum hidroksit, metatez reaksiyonu ile sodyum karbonatın kalsiyum hidroksit ile muamele edilmesiyle üretilir. Buna kostikleştirici denir (1.5).



Sodyum hidroksit ayrıca saf sodyum metalinin su ile birleşmesi ile elde edilir.

Kullanım Alanları;

Sodyum hidroksit, endüstride kullanılan bilindik kuvvetli bir bazdır. Üretilen sodyum hidroksitin yaklaşık % 60'ı endüstri tarafından kullanılırken, % 25' i kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır. Sodyum hidroksit, sodyum tuzları ve deterjanlar, pH düzenlenmesi ve organik sentez üretiminde ve alüminyum üretiminin Bayer sürecinde de kullanılmaktadır. Çoğunlukla sulu bir çözelti olarak ele alınır, çünkü çözeltileri daha ucuzdur ve kullanımı daha kolaydır.

Sodyum hidroksit, bir karışımın kalitesini arttırmak ve asitleri nötralize etmek için arzu edilen birçok durumda kullanılır.

Emniyet koşulları;

Diğer korozif asitler ve alkaliler gibi, sodyum hidroksit solüsyonu damlaları, kimyasal yanıklara neden olan ve gözlerle temas ettiğinde kalıcı körlüğü indükleyebilen amid hidrolizi ve ester hidrolizi yoluyla canlı dokulardaki proteinleri ve lipitleri kolayca parçalayabilir. Katı alkali, su buharı gibi su varsa, aşındırıcı özelliğini de ifade edebilir. Bu nedenle, bu kimyasal veya çözeltileri kullanırken lastik eldiven, güvenlik kıyafeti ve göz koruması gibi koruyucu ekipmanlar daima kullanılmalıdır. Derideki alkali döküntüleri için standart ilk yardım tedbirleri, diğer korozif maddeler için olduğu gibi, büyük miktarlarda su ile yıkamaktır. Yıkama, en az on ila on beş dakika boyunca sürdürülür.

Dahası, sodyum hidroksitin çözülmesi son derece ekzotermiktir ve ortaya çıkan ısı, ısı yanıkları oluşturabilir veya yanıcı maddeleri tutuşturabilir. Asitlerle reaksiyona girdiğinde de ısı üretir. Sodyum hidroksit, temas halinde yanıcı hidrojen gazı üretmek için alkali ile reaksiyona giren alüminyum gibi çeşitli metalleri aşındırırlar.

Sodyum hidroksit, cama zarar verebilir veya zemin camı bağlarının bağlanmasına neden olabilecek camlar için hafifçe aşındırıcı olması sebebiyle dikkatli bir şekilde depolamak gerekir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Singbeil D. ve Tromans D. (1982), Soğuk işlenmiş yumuşak çeliğin sıcak, sulu, 33 % NaOH çözeltilerindeki stres korozyon çatlakları (SCC) davranışı incelenmiştir. Çatlak içindeki sıvının pH değeri belirlenmiş ve taramalı elektron mikroskobu ile fraktografi çalışılmışlar. Çatlak oranları sıcaklık, potansiyel ve stres yoğunluğuyla arasındaki ilişki incelenmiştir.

% 33' lük soğuk NaOH çözeltisindeki, soğuk işlenmiş yumuşak çeliğin SCC davranışı çalışmaları yapılarak; SCC oranları sıcaklık, potansiyel ve stres yoğunluğundan etkilendiği, elde edilen SCC, hidrojen gevrekleşmesini ve/veya metal çözünmesini içeren bulgularına yaptıkları deneysel çalışmalarla ulaşmaya çalışmışlardır.

Raman S. (2005), Bu makalede, kostik çatlama ve stres korozyon çatlamaına karşı hassasiyeti belirlemek için yaygın bir test tekniği olan yavaş gerilme oranı testinin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Sonuçlar, diğer test ve süreç değişkenlerinin rolünü araştırırken, geniş bir gerilme oranlarını araştırmak için ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Endüstride kullanılan yumuşak çelik kaplar, çözelti tankları, otoklav ve boru hatları da agresif kostik çözeltilerle karşılaşır. Kostik çatlama, genellikle kostik ortamında çalışan bir bileşimde büyük bir arıza meydana geldiğinde ilk şüphelidir.

Çeşitli gerilme hızlarında yumuşak bir çeliğin yavaş gerilme oranı testinin sonuçları, 100 °C ve 150 °C' de farklı kostik çözeltilerde (aşındırıcı) ve parafin yağında (inert) ve yavaş gerilme hızı testinden sonra fraktografik incelemeler yapmıştır. Alümina işleme endüstrisi tarafından güvenle kullanılacak kostik çatlama duyarlılık verilerinin sağlanması için yavaş gerilme oranı testinin yapılması için, diğer testlerin rolünü araştırırken, geniş bir gerilme oranlarının araştırılmasına ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

Jenkins C. F. (1999), Yeni bir atık buharlaştırıcı için başlatma işleminde, benzer kimyasalların radyoaktif olmayan çözümleri bir çelik tank ve evaporatör arasındaki karbon çelik borularla dolaştırılacaktır. Buharlaştırıcı korozyona dayanıklı bir nikel bazlı alaşımdan imal edilmiştir. sürekli olarak sıcak aşındırıcı kostik çözeltilere maruz bırakılarak, yüksek sıcaklıklarda saf kostikte çelik için yayınlanan aşınma oranları > 1.3 mm/yıl kayıpları incelenmiştir. Yeni ekipmanın başlangıç testinde kullanılan spesifik atık çözeltileri için beklenecek korozyonun belirlenmesi amacıyla bir laboratuvar çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan test çözeltileri ise ağırlıkça % 40

NaOH +% 16 NaNO<sub>3</sub>, evaporatörde üretilen konsantrenin temsili idi; % 40 NaOH, bir kontrol çözeltisi; ve % 5 NaOH +% 27 NaNO<sub>3</sub>, çözeltileri temsil eder.

Özetle, test sonuçları yeni buharlaştırıcı için kısa süreli simülasyon testleri için çelik için korozyon oranlarının kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Deneysel sonuçlardan ve tartışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Kostik çözeltilerde çelikte meydana gelen korozyonu ve maruz kalma sıcaklığı zamanla artmıştır.

Parr S. W. (1917), kazan plakalarında tuhaf çatlamlar ve yırtılmaların meydana geldiğini bunlarında;

- Su hattının altında, dikişlerde ve perçin deliklerinde sızıntı ile bağlantılı olarak,
- Güçlü alkalın karakterli bir dış kabuklanma ile birlikte,
- Kullanılan suyun kostik sodada çok önemli olduğu yerler

Koşullardaki bu genel anlaşmanın bir sonucu olarak bu deneyler, kostik sodanın çeliğe ya da bu etkiden kaynaklanan hidrojenin dolaylı etkisinin belirlenmesine yönelik yapılmıştır. Yeterli güce sahip kostik soda, hidrojenin üretimi ile korozyona neden olur. Yenilenme halindeki hidrojen, ister alkali asit tarafından üretilse de, fiziksel özelliklerinin bir yolunu değiştirecek şekilde çeliğin yapısına girdiği gözlenmiştir. Sodyum karbonat demir üzerinde etkisizdir. Sodyum karbonatın hidrolizi, muhafaza edilen sıcaklığa, CO<sub>2</sub> buharının geri çekilmesine ve karbonatlı suyun besleme suyuna girmeye doğrudan bağlıdır. Bu nedenle, kimyasal aktivitenin, hidrolizasyon oranına veya sodyum hidroksidin konsantrasyon derecesine göre değişeceği açıktır kanısı vurgulanmıştır.

Rihan O. Ve Nesic S. (2005), Sıcak kostikte yumuşak çeliğin erozyon-korozyonu üzerindeki etkisini incelenmiştir. Pek çok boksit rafinerisi, güçlü bir kostik solüsyonu içeren bir işlem olan alüminyum oksit (alümina) üretiminde "Bayer işlemi" olarak bilinen şeyi kullanır. İşlemdeki belirli bir aşamada, kostik çözelti ısıyı iyileştirmek için bir dizi ısı eşanjöründen geçirilir. Yumuşak çelikten imal edilen bu ısı değiştiricilerin başlıkları düzenli olarak korozyon hasarı açısından incelenmiştir. Erozyon-korozyon, ağırlıklı olarak hafif çelik üzerinde gözlenen, yüzey filmlerinin oluşumuna bağlı olarak kostik çözeltilerde aktif-pasif davranış göstermiş. Potansiyodinamik tarama, polarizasyon direnci yöntemi ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi gibi korozyon oranlarını ölçmek için yerinde elektrokimyasal yöntemler kullanılmış.

Ayrıca metal kayıp oranını izlemek için kupon kullanarak deneyler yapmışlar. Kilo kaybı yöntemi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmış.

Bu araştırma projesinin amacı, boksit rafinerilerindeki yumuşak çelik ısı eşanjörlerinde bulunan metal kaybı problemine bağlı olarak, kostik çözeltilerdeki yumuşak çeliğin erozyon-korozyonunu araştırmaktır.

Roach, G. ve arkadaşları (2002), Kostik kırılabilirliği, çeşitli korumalara rağmen Bayer prosesinde meydana gelmeye devam etmektedir. QAL, Alcan-Gove ve Alcoa World Alumina yaşanan problemlerle ilgili bilgileri paylaşmak için işbirliği yapmışlardır. Monash Üniversitesi ve tesis içi test çalışmaları ile çalışma yürüttüler. Araştırmanın odağında, kostikten kaynaklı meydana gelen sıkıntıları daha iyi tanımak, kostik kırılabilirlik potansiyelini en aza indirmek için kaynaklama ve stres azaltma prosedürlerini standardize etmek, yayınlamak ve özellikle kostikten kaynaklı gevrekleşmeye duyarlı olan malzemeleri tanımlamaya çalışmışlar. Makalelerinde; Bayer prosesi açısından kostik kırılabilirliği, kostik kırılabilirliğinin meydana gelme olasılığının en yüksek olduğu alanlarda farklı tip malzemeler kullanılarak kırılmanın önüne geçilebileceğini anlatmaktadır.

Rebak R.B. (2005), Kostikli ortamlar nükleer güç üretiminden, alkali ve alümina üretimine kadar çeşitli endüstrilerde mevcuttur. Yapının en yaygın malzemesi karbon çeliğidir ancak uygulaması maksimum 80 °C' lik bir sıcaklıklar sınırlıdır. Nikel (Ni) alaşımlarının kullanılması korozyon çatlakları perspektiflerinden kostik uygulamaları için en dirençli malzemedir. Nikel açısından zengin alaşımlarda iyi performans sunar. En önemli alaşım elementleri Ni ve Kromdur. Molibden yararlı bir alaşım elementi değildir ve tercihen kostik ortamlarının varlığında alaşımdan çözünür. 304 ve 316 gibi östenitik paslanmaz çelikler, kostik koşullarında düz karbon çeliğinden bile daha az dayanıklıdır. Deneysel kanıtlar, SCC için en olası mekanizmanın anodik çözünme olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada şu neticeye varmıştır;

- Alkali ve alümina üretiminde karbon çeliği en yaygın alaşımdır. Bazı pompalar ve valfler nikel alaşımlarından yapılabilir.
- 316 gibi östenitik paslanmaz çelikler, düz karbon çeliğinden daha zayıf bir direnç sergiliyor gibi görünmektedir. Koruma için % 30'dan daha yüksek bir Ni içeriği gerekebilir.
- Ticari olarak saf olan Ni, hem genel korozyona hem de çevreye duyarlı çatlama veya stres korozyon çatlama (SCC) en dirençli malzemedir.

Hafif oksitleyici koşullar altında hem Ni hem de Cr önemli alaşım elementleridir. Mo zararlı bir alaşım elementidir. Önemli miktarda Mo (C-276 gibi) ihtiva eden alaşımlar, özellikle hafif oksitleyici koşullar altında, ayrışmaya maruz kalacaktır. SCC'nin ortaya çıkması, potansiyellerin aktif bölgesinde bir anodik tepe varlığına bağlı gibi görünmektedir. Anodik çözünme, kostik çatlama için yönetim mekanizması gibi görünmektedir.

Raman S. ve Pal S. (2010), Kostik çatlama testleri, farklı kimyasalların Bayer prosesinde kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Farklı sıcaklıklar daki Alumina endüstrisinde, boksit cevherlerinden elde edilen Alümina ekstraksiyonu için kullanılmaktadır. Düz kostik çözeltilere maruz kalan çelikler için yaygın olarak kullanılan kostik çatlama duyarlılık diyagramının geçerliliği, çentikli ve ön-kırılmış numuneler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada, geleneksel Bayer kostik şemasına göre bu tür diyagramların uygulanabilirliği üzerine geliştirme yaparak, gerçek Bayer çözümleri için bir model duyarlılık diyagramının geliştirilmesine yönelik ilk sonuçları sunmuşlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Giriş

Yapılan bu çalışmalarda Bayer prosesinde kostik ihtiva eden çözeltilerin depolanmasında kullanılan tankların kaynak bölgelerinde meydana gelen kostik korozyon çatlaklarının buna bağlı olarak kostik kırılabilirliğinin incelenmesi ve kaynak bölgelerinde oluşan bu problemlerin önlenmesi için tank imalatında kullanılacak en uygun metal alaşımlarının seçilmesi amaçlanmıştır.

Bu bağlamda mevcut prosesde kostik ihtiva eden çözeltilerle doğrudan temas halinde çalışmakta olan depolama tank ve ekipmanların kaynak bölgelerinde yaşanan sıkıntılar incelenmiştir.

Mevcut Bayer prosesinde yüksek kostik konsantrasyonu ve sıcaklığa sahip çözelti ortamında çalışan tank ve ekipmanlara ait detaylar şu şekildedir:

- Yaş öğütme ünitesinde yer alan düzenlenmiş dönüş çözeltisi depolama tankı (6 Nolu çözelti tankı). Bu tankta depolanan çözelti özellikleri aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Düzenlenmiş dönüş çözeltisi sıvı faz analiz değerleri %

| <b>Düzenlenmiş Dönüş Çözeltisi Sıvı Faz Analiz Değerleri</b> |  |  |  |   |               |
|--|--|--|--|---|---------------|
| <b>d</b><br><b>g/cm<sup>3</sup></b>                          | <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b><br><b>g/l</b> | <b>Na<sub>2</sub>O<sub>b</sub></b><br><b>g/l</b> | <b>Na<sub>2</sub>O<sub>k</sub></b><br><b>g/l</b> | <b>Na<sub>2</sub>O</b><br><b>Karbonat</b><br><b>g/l</b> | <b>% NaOH</b> |
| 1,416  | 145,5  | 284,9  | 250,5  | 34,4  | 23            |

- Buharlaştırma ünitesindeki; 1. Buharlaştırma aparatı, kuvvetli çözelti flaş tankı (812), kuvvetli çözelti depolama tankı ve kollektörü (814).

**Çizelge 3.2.** Kuvvetli çözelti sıvı faz analiz değerleri %

| <b>Kuvvetli Çözelti Sıvı Faz Analiz Değerleri</b> |  |  |  |   |               |
|---|--|--|--|---|---------------|
| <b>d</b><br><b>g/cm<sup>3</sup></b>               | <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b><br><b>g/l</b> | <b>Na<sub>2</sub>O<sub>b</sub></b><br><b>g/l</b> | <b>Na<sub>2</sub>O<sub>k</sub></b><br><b>g/l</b> | <b>Na<sub>2</sub>O</b><br><b>Karbonat</b><br><b>g/l</b> | <b>% NaOH</b> |
| 1,408   | 144,6  | 281  | 245,9  | 35,1  | 22,5          |

- 1. Aparat (809) U tipi alt yarı dirsekleri

Çizelge 3.3. Kuvvetli çözelti sıvı faz analiz değerleri %

| <b>1.Aparat Çözelti Sıvı Faz Değerleri</b> |  |  |  |   |               |
|--|--|--|--|---|---------------|
| <b>d</b><br><b>g/cm<sup>3</sup></b>        | <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b><br><b>g/l</b> | <b>Na<sub>2</sub>O<sub>b</sub></b><br><b>g/l</b> | <b>Na<sub>2</sub>O<sub>k</sub></b><br><b>g/l</b> | <b>Na<sub>2</sub>O</b><br><b>Karbonat</b><br><b>g/l</b> | <b>% NaOH</b> |
| 1,408                                      | 144,6  | 281  | 245,9  | 35,1  | 22,5          |

### 3.2 Malzeme ve Alaşımları

#### 3.2.1 Bayer prosesinde kullanılan metal malzemeler

Proseslerde genel olarak tank imalatında malzeme olarak çelik ve türleri kullanılmaktadır. Tank imalatlarında seçilecek olan çelik malzeme türü tank içerisindeki depolanacak olan sıvı akışkanın fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alınarak belirlenmektedir.

Alaşım elementleri buldurmeyen ve karbon oranları yaklaşık olarak % 0,6 ila 1,2 değerleri arasındaki çelikler, alaşımsız çelik olarak tanımlanır. Karbon oranı % 0,6'dan az karbonlu çelikler ise yapı çelikleri olarak adlandırılır. Yapı çeliklerindeki % 0,04 ila 0,6 arasında değişen karbon oranı ile özellikle yüksek dayanıklılık, yüksek süneklik ya da iyi şekillendirilebilme (özellikle kaynak kabiliyeti ve şekil değiştirebilirlik) özelliği istenilir.

Çelik, demir elementi ile % 0,2 ila % 2,06 oranlarında değişen karbon oranları bileşiminden meydana gelen bir metal alaşımdır. Çelik alaşımındaki karbon oranları çeliğin sınıflandırılmasında büyük rol oynar. Karbon elementi genel olarak demir'in alaşımlayıcı maddesi olsa da demir elementini alaşımlama da ayrıca magnezyum, krom, vanadyum, molibden ve volfram gibi elementler de kullanılır. Alaşımlayıcı elementlerin, çelik içerisinde değişen oranları ve buldukları formlar oluşan çelikte, sertlik, süneklik ve gerilme noktası gibi özelliklerini kontrol eder. Karbon oranı yüksek olan çelikler demirden çok daha sert ve güçlü olmasına karşılık daha az sünektirler.

### 3.2.2. Alaşimsız çelikler:

Sade karbonlu çelikler esas olarak demir – karbon alaşımlarıdır. Bu çelikler karbon içerik oranlarına göre yumuşak veya az karbonlu çelikler % 0,1–0,25 C olarak adlandırılırlar. Karbon çeliklerinde karbona ilave olarak % 1,65’den az manganez, % 0,60’dan az silisyum, % 0,60’da az bakır ve belirlenmiş limitlerde yani çok daha az miktarlarda fosfor ve kükürt bulunur. Nikel, krom ve molibden gibi kalıntı elementler de çok az miktarlarda tüm karbon çeliklerinde bulunur.

Bu nedenle, karbon oranının artması çeliklerin plastik şekil alma kabiliyetlerini düşürür. Çeliklerde karbon miktarının artması su alma kabiliyetini yani sertleşme kabiliyetini artırır fakat bu ters bir etki oluşturarak çeliğin olarak kaynak kabiliyetini düşürmektedir

Karbon çelikleri genelde alaşimsız çelik olarak tanımlanır. Mekanik özellikleri daha çok karbon oranına bağlıdır. Ancak başta azot ve fosfor olmak üzere, üretim hammaddelerinden ve üretim yöntemlerinden kaynaklanan mangan, silisyum, bakır ve kükürt gibi elementler de oldukça çelik yapısında etkilidir.

Genel yapı çeliklerinin talaşlı imalat ile şekillendirilmesinde, ağırlıklı olarak daha çok normal tavllanmış veya soğuk şekillendirilmiş çelik malzeme tercih edilmelidir. Normal tavlama ve genellikle 600...650 °C sıcaklıklarda uygulanan gerilim giderme tavlama haricinde, genel yapı çeliklerine ısı işlem uygulanmaz. Bunun nedeni ise, genel yapı içerisinde istenmeyen elementlerin fazla olması ve bunun neticesinde oluşan kuvvetli çökelmeler ile sertleştirme çatlaklarının meydana gelmesidir.

Bazı genel yapı çeliklerine ait kimyasal bileşim oranları Çizelge 3.4’ de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Yapı çeliklerin kimyasal bileşimleri %

#### GENEL YAPI ÇELİKLERİ VE BİLEŞİMLERİ

| Malz. No. | DIN (Eski) | DIN (Yeni) | SAE/AISI     | DEOKSİDASYON ŞEKLİ | ISIL İŞLEM | KİMYASAL BİLEŞİM (max % ağırlık) |                     |                  |                  |                  |                   |
|-----------|------------|------------|--------------|--------------------|------------|----------------------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
|           |            |            |              |                    |            | C                                | MN <sub>max</sub>   | P <sub>max</sub> | S <sub>max</sub> | N <sub>max</sub> | Al <sub>max</sub> |
| 1.0035    | St 33      | S185       | -            | -                  | U, N       | -                                | -                   | -                | -                | -                | -                 |
| 1.0037    | St 37-2    | S235JR     | -            | -                  | U, N       | 0.17 <sub>max</sub>              | 1.40 <sub>max</sub> | 0.045            | 0.045            | 0.009            | -                 |
| 1.0036    | USt 37-2   | S235JRG1   | A570Gr.33,36 | K                  | U, N       | 0.17 <sub>max</sub>              | 1.40 <sub>max</sub> | 0.045            | 0.045            | 0.007            | -                 |
| 1.0038    | RSt 37-2   | S235JRG2   | A570Gr.36    | S                  | U, N       | 0.17 <sub>max</sub>              | 1.40 <sub>max</sub> | 0.045            | 0.045            | 0.009            | -                 |
| 1.0116    | St 37-3    | S235J2G3   | A284Gr.D     | SS                 | U, N       | 0.17 <sub>max</sub>              | 1.40 <sub>max</sub> | 0.035            | 0.035            | -                | 0.020             |
| 1.0044    | St 44-2    | S275JR     | A570Gr.40    | S                  | U, N       | 0.21 <sub>max</sub>              | 1.50 <sub>max</sub> | 0.045            | 0.045            | 0.009            | -                 |
| 1.0144    | St 44-3    | S275J0     | A573Gr.70    | SS                 | U, N       | 0.20 <sub>max</sub>              | 1.50 <sub>max</sub> | 0.040            | 0.040            | 0.009            | 0.020             |
| 1.0570    | St 52-3    | S355J0     | -            | SS                 | U, N       | 0.20 <sub>max</sub>              | 1.60 <sub>max</sub> | 0.040            | 0.040            | 0.009            | 0.020             |
| 1.0050    | St 50-2    | E295       | A570Gr.50    | S                  | U, N       | 0.30 <sub>ort</sub>              | -                   | 0.045            | 0.045            | 0.009            | -                 |
| 1.0060    | St 60-2    | E335       | -            | S                  | U, N       | 0.40 <sub>ort</sub>              | -                   | 0.045            | 0.045            | 0.009            | -                 |
| 1.0070    | St 70-2    | E360       | -            | S                  | U, N       | 0.50 <sub>ort</sub>              | -                   | 0.045            | 0.045            | 0.009            | -                 |

K - Kaynar Döküm S - Sakin Döküm SS - Yarı Sakin Döküm U - Sıcak Haddelenmiş, Başka İşlem Görmemiş N - Normal Tavllanmış

Bayer prosesi ile üretim yapmakta olan Eti Alüminyum A.Ş fabrikasında üretim proses tank ve ekipmanların imalatında genellikle alaşımsız çelik grubundan genel yapı çeliği olan St 37-2 (S235JR) çeliği kullanılmaktadır.

### 3.2.3 Yüksek alaşımlı çelikler (Paslanmaz Çelikler)

İçerisindeki alaşım elementi ve/veya alaşım elementlerinin oranı % 5'den yüksek olan çeliklere denir. "Paslanmaz Çelikler" ve "Takım Çelikleri" yüksek alaşımlı çelik grubuna giren en önemli çelik türlerine örnek olarak verilebilir.

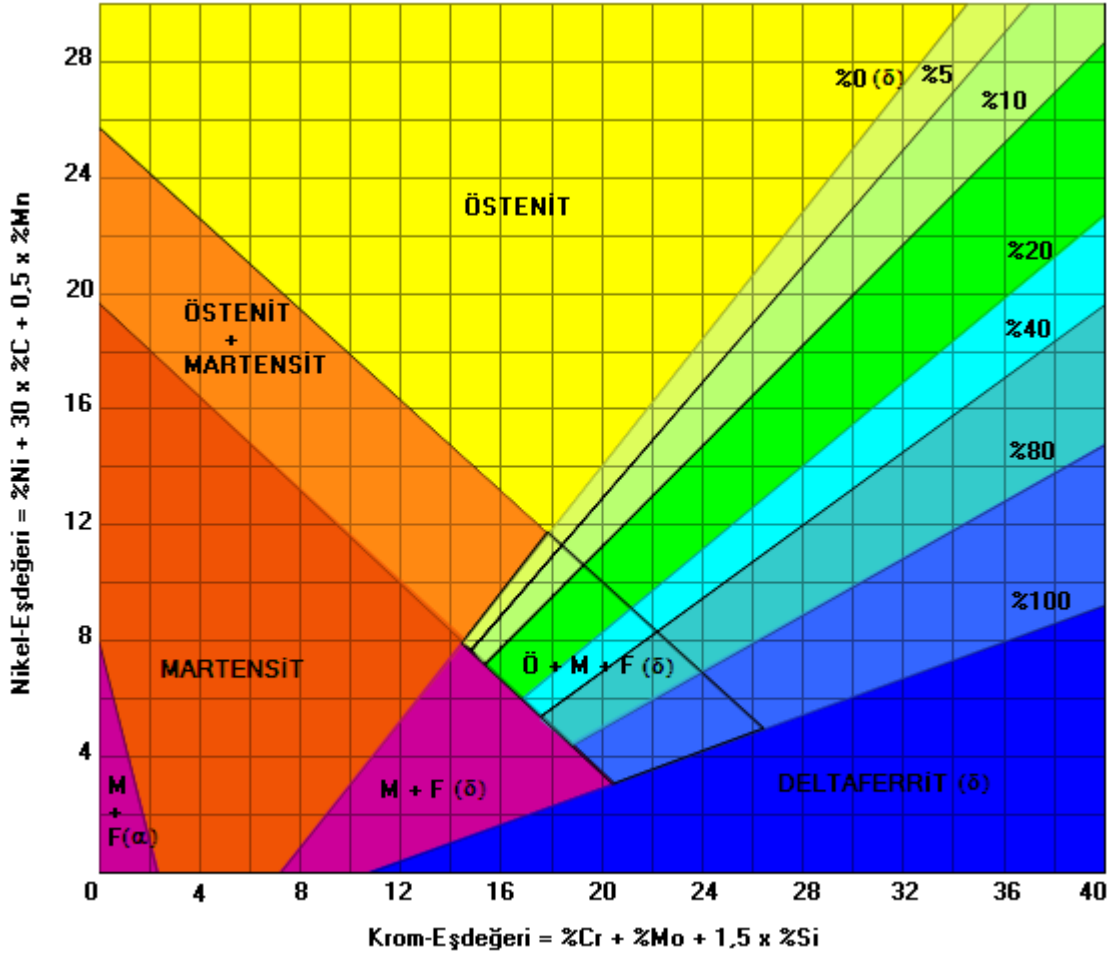
Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımlarının yanı sıra, farklı mekanik özelliklere sahip çeşitlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılmalrı, şekil verme kabiliyetleri ve estetik görünümleri gibi avantajlı üstün özelliğe sahiptirler.

Paslanmaz çelikler yüksek krom içeren alaşımlı çeliklerdir ve paslanmaz olarak adlandırılabilmeleri için çeliklerin kimyasal bileşiminde en az %12 Cr elementi içermesi gerekmektedir. Bu yüzden, demir-krom alaşımlarının oksitleyici ortamlarda korozyon dirençleri, çelik alaşımın bileşiminde bulunan krom oranının yükselmesine paralel olarak arttığı, krom oranının azalması ile de mevcut paslanmaz alaşımın daha fazla korozyona uğradığı yapılan deneylerle görülmüştür (Türkyılmaz, 2006).

Paslanmaz çeliklerde alaşım elementleri ve oranlarına bağlı olarak kararlı fazlar değişim göstermektedir. Paslanmaz çeliklerdeki alaşım elementlerinin oranı, paslanmaz çeliğin fazlarına olan etkisini Şekil 3,1'deki Schaeffler diyagramı ile açıklanır. Schaeffler diyagramı, alaşım elementlerinin oranlarının paslanmaz çeliklerin mikro yapısına etkilerine göre hazırlanmış nikel eşdeğeri (1,6) ve krom eşdeğerine (1,7) bağlı bir grafikdir (Covert ve Tuthill, 2000).

$$Ni_{Eş} değeri = \%Ni + 30.\%C + 30.\%N + 0,5.\%Mn + 0,4.\%Cu \quad (1,6)$$

$$Cr_{Eş} değeri = \%Cr + \%Mo + 1,5.\%Si + 0,5.\%Nb \quad (1,7)$$



Şekil 3.1. Schaeffler diyagramı

Schaeffler diyagramı paslanmaz çeliklerde alaşım elementlerinin etkileri açıklanmaktadır. Schaeffler diyagramı nikel eşdeğeri ve krom eşdeğerine göre kararlı fazı göstermektedir. İstenilen kalite ve fazın belirlenmesinde gerekli alaşım elementleri oranları Schaeffler diyagramı ile belirlenmektedir (ASM Handbook Desk Edition Vol.1, 2001).

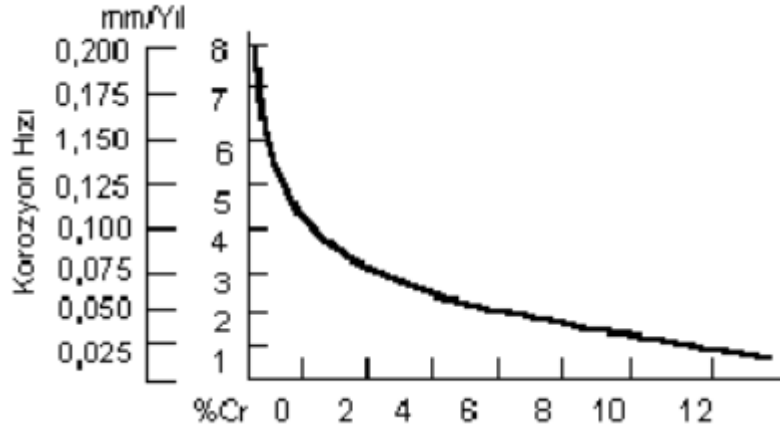
Paslanmaz çelikler yapılarının bulunduğu fazlara göre Schaeffler diyagramında görüldüğü gibi genel olarak 3 ana gruba ayrılır. Bu faz yapılarına göre Ferritik, martenzitik ve östenitik paslanmaz çelikler olarak sınıflandırılırlar.

Çelik kalitesine göre AISI ve EN standartları Çizelge 3.4' de verilmiştir(ASM Handbook Desk Edition Vol.1, 2001).

Çizelge 3.4. Paslanmaz çeliklere ait standartlar (ASM Handbook Desk Ed., Vol.1, 2001).

| ASTM                                  | EN Malzeme No. | Kimsayal Bileşim, ağı.% max |         |      |       |      |            |           |         |          |              |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------|-------|------|------------|-----------|---------|----------|--------------|
|                                       |                | C                           | Mn      | Si   | P     | S    | Cr         | Ni        | Mo      | N        | Diğer        |
| <b>Ferritik Paslanmaz Çelikler</b>    |                |                             |         |      |       |      |            |           |         |          |              |
| 409                                   | 1.4512         | 0.08                        | 1.0     | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 10.5-11.75 | -         | -       | -        | (6xC)Ti      |
| 430                                   | 1.4016         | 0.12                        | 1.0     | 1.00 | 0.04  | 0.03 | 16.0-18.0  | -         | -       | -        | -            |
| 430Ti                                 | (1.450)        | 0.10                        | 1.0     | 1.00 | 0.04  | 0.03 | 16.0-19.5  | 0.75      | -       | -        | (5xC)Ti      |
| 439                                   | 1.4510         | 0.07                        | 1.0     | 1.00 | 0.04  | 0.03 | 17.0-19.0  | 0.5       |         |          | 0.2+4(C+N)Ti |
| <b>Martenzitik Paslanmaz Çelikler</b> |                |                             |         |      |       |      |            |           |         |          |              |
| 410                                   | 1.4006         | 0.15                        | 1.0     | 1.00 | 0.04  | 0.03 | 11.5-13.0  | -         | -       | -        | -            |
| 420                                   | 1.4021         | 0.15 min                    | 1.0     | 1.00 | 0.04  | 0.03 | 12.0-14.0  | -         | -       | -        | -            |
| 440A                                  | -              | 0.6-0.75                    | 1.0     | 1.00 | 0.04  | 0.03 | 16.0-19.5  | -         | 0.75    | -        | -            |
| 440C                                  | 1.4125         | 0.95-1.2                    | 1.0     | 1.00 | 0.04  | 0.03 | 16.0-18.0  | -         | 0.75    | -        | -            |
| <b>Dublex Paslanmaz Çelikler</b>      |                |                             |         |      |       |      |            |           |         |          |              |
| 2205*)                                | 1.4462         | 0.03                        | 2.0     | 1.0  | 0.03  | 0.02 | 21.0-23.0  | 4.5-6.5   | 2.5-3.5 | 0.08-0.2 | -            |
| 329                                   | 1.4460         | 0.20                        | 1.0     | 0.75 | 0.04  | 0.03 | 23.0-28.0  | 2.5-5.0   | 1.0-2.0 | -        | -            |
| <b>Ostenitik Paslanmaz Çelikler</b>   |                |                             |         |      |       |      |            |           |         |          |              |
| 201                                   | 1.4372         | 0.15                        | 5.5-7.5 | 1.00 | 0.06  | 0.03 | 16.0-18.0  | 3.5-5.5   | -       | 0.25     | -            |
| 301                                   | 1.4310         | 0.15                        | 2.0     | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 16.0-18.0  | 6.0-8.0   | -       | -        | -            |
| 304                                   | 1.4301         | 0.08                        | 2.0     | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 18.0-20.0  | 8.0-10.5  | -       | -        | -            |
| 304L                                  | 1.4306         | 0.03                        | 2.0     | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 18.0-20.0  | 8.0-12.0  | -       | -        | -            |
| 304LN                                 | 1.4311         | 0.03                        | 2.0     | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 18.0-20.0  | 8.0-12.0  | -       | 0.1-0.16 |              |
| 309                                   | 1.4828         | 0.20                        | 2.00    | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 22.0-24.0  | 12.0-15.0 |         |          |              |
| 309S                                  | 1.4833         | 0.08                        | 2.00    | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 22.0-24.0  | 12.0-15.0 |         |          |              |
| 310                                   | 1.4841         | 0.25                        | 2.00    | 1.50 | 0.045 | 0.03 | 24.0-26.0  | 19.0-22.0 |         |          |              |
| 310S                                  | 1.4845         | 0.08                        | 2.00    | 1.50 | 0.045 | 0.03 | 24.0-26.0  | 19.0-22.0 |         |          |              |
| 316                                   | 1.4401         | 0.08                        | 2.00    | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 16.0-18.0  | 10.0-14.0 | 2.0-3.0 | -        | -            |
| 316L                                  | 1.4404         | 0.03                        | 2.00    | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 16.0-18.0  | 10.0-14.0 | 2.0-3.0 | -        | -            |
| 316LN                                 | 1.4406         | 0.03                        | 2.00    | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 16.0-18.0  | 10.0-14.0 | 2.0-3.0 | 0.1-0.16 |              |
| 316Ti                                 | 1.4571         | 0.08                        | 2.00    | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 16.0-18.0  | 10.0-14.0 | 2.0-3.0 | -        | 5x(C+N)Ti    |
| 321                                   | 1.4541         | 0.08                        | 2.00    | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 17.0-19.0  | 9.0-12.0  | -       | -        | (5xC)Ti      |
| 347                                   | 1.4550         | 0.08                        | 2.00    | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 17.0-19.0  | 9.0-13.0  | -       | -        | (10xC)Nb     |

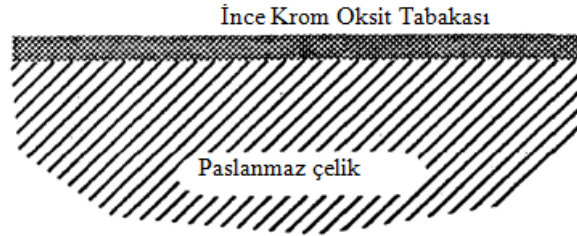
Şekil 3.2’ de paslanmaz çeliklerdeki krom miktarının korozyon direncine etkisi gösterilmektedir. Paslanmaz çeliklerin sahip oldukları üstün mekanik özellikleri ve korozyon dirençlerinden dolayı günümüz endüstrisinin en önemli çelik türlerinden biri olup, 170’ye yakın farklı tip paslanmaz çelik türü bulunmaktadır (Odabaş, 2004, Tülbentçi, 1994).



Şekil 3.2. Fe- Cr alaşımlarında Cr miktarının korozyon direncine etkisi (Kayır, 2003)

Paslanmaz çelikler, genel olarak korozyon dirençleri mükemmel olduğundan dolayı tercih edilirler. Paslanmaz çeliklerin mükemmel olan korozyon dirençleri yüksek krom oranından dolayı kaynaklanmaktadır (Gözütok, 2009, Kayır, 2003).

Çeliğin korozyona karşı mukavemet gösterilebilmesinin sebebi ise; malzeme yüzeyinin oksijen ile temas etmesi sonucu malzeme yüzeyinde krom oksit filminin meydana gelmesidir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yüzeyde oluşan Krom-Oksit tabakası (Aran, 2003)

Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri;

Paslanmaz çeliklerin tercih nedenleri; imalat kolaylığı, mekanik dayanç, yüksek ve düşük sıcaklıklara dayanım, korozyon dayancı, görünüm, hijyenik özellik ve uzun ömür gibi özellikleri ile sıralayabiliriz (Aran, 2003). Paslanmaz çelikler, diğer çelik kalitelerinden aşağıda verilen önemli özellikleri ile ayrılırlar;

- Mekanik Dayanç: Paslanmaz çeliklerin geneli soğuk şekillendirme yöntemi ile pekleştirilir ve mekanik dayancının artırılır. Bu sayesinde tasarımlarda kullanılacak malzeme kalınlıkları azaltılarak imalat tasarımlarında parça ağırlığı ve fiyatında önemli ölçüde ekonomiklik sağlanabilir.

- Yüksek Sıcaklık ve Düşük Sıcaklıklar: Bazı paslanmaz çelik tiplerinde, yüksek sıcaklıklarda bile tufallenme ve mekanik dayanımında önemli ölçüde bir düşme görülmez. Bazı türler çok düşük sıcaklıklarda bile gevrekleşmezler ve düşük sıcaklıklarda bile tokurlar.
- Korozyon Dayancı: Tüm paslanmaz çeliklerin korozyon dayancı yüksektir. Düşük alaşımlı paslanmaz çelik türleri atmosfer korozyonuna, yüksek alaşımlı paslanmaz çelik türleri ise asit, alkali çözeltiler ve klorür içeren ortamlara da dayanıklıdır.
- Ömür: Paslanmaz çelikler dayancı yüksek ve bakımı kolay malzemeler olduğundan, üretilen parçaların uzun kullanım ömürleri dikkate alındığı zaman ekonomik verimliliği yüksek malzemelerdir (Aran, 2003).

Paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunan alaşım elementleri ve etkileri Çizelge 3.5’ de verilmiştir.

| Elementler               | Etkileri   |
|--------------------------|--|
| Krom                     | Ferrit oluşumunda etkili olmakta, malzemenin oksidasyon ve korozyon dayanımının yükselmesine katkı sağlamaktadır.  |
| Molibden                 | Ferrit oluşumunda etkilidir. Malzemenin yüksek sıcaklıklarda dayanıklı olmasını ve redükleyici ortamlarda malzemelerin korozyona karşı dirençlerinin artmasına katkı sağlamaktadır.  |
| Niyobyum ve titanyum     | Bu elementler paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyon hassasiyetinin azaltılması için, karbonla birleşerek karbür oluşturması için yapıya eklenmektedir. Niyobyum karbür yapıcı elementtir ve ilave olarak tanelerin küçülmesine ve ferrit oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Paslanmaz çeliklerde sürünme dayanımı artırmasına karşılık sürünme sünekliğini azaltmaktadır. Yüksek mukavemetli bazı alaşımlarda sertliği ve mukavemet değerleri artırması için katılmaktadır. Buna ilave olarak, bazı martenzitik paslanmaz çeliklerde bünyedeki karbonu bağlaması ve böylece sertleşme eğilimini azaltmaktadır. |
| Fosfor, kükürt, selenyum | Paslanmaz çeliklerin işlenebilme kabiliyetini yükseltmekte ancak kaynak sırasında sıcak çatlak oluşmasına neden olması nedeniyle kaynak kabiliyetini sınırlamaktadır. Paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirildiğinde nüfuziyetin artmasını sağlamaktadır.   |
| Karbon                   | Paslanmaz çelik malzemelerde kuvvetli ostenit oluşturu element olup krom ile reaksiyona girerek taneler arası korozyona neden olan karbürleri oluşturmaktadır.   |
| Nikel                    | Ostenit oluşumunu sağlamakta ve paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklıkta direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliğini artırmaktadır.   |
| Azot                     | Ostenit oluşumuna çok kuvvetli etkide bulunmakta olup, çoğu zaman ostenit oluşturmada nikel elementi kadar etkilidir.  |
| Bakır                    | Paslanmaz çeliklere, bazı ortamlardaki korozyon dayanımlarını arttırmak amacıyla katılmakla beraber gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyeti azaltır ve yaşlanma yoluyla sertleşmeyi teşvik etmektedir.  |
| Mangan                   | Düşük sıcaklıklarda ostenitin kararlı olmasını sağlarken yüksek sıcaklıklarda ferrit oluşturmaktadır.  |
| Silisyum                 | Paslanmaz çelik malzemelerin tufallenmeye karşı dayanımı yükseltmektedir. Mikroyapıda %1’den daha fazla olduğunda ferrit ve sigma fazlarının oluşumuna etki etmektedir. Her tür paslanmaz çeliğe oksit giderme için bir miktar ilave edilmektedir. düşük Akışkanlığı artırarak kaynak metalinin ana metali ısıtma kabiliyetini artırmaktadır.  |

Çizelge 3.5. Ferrit, Östenit oluşturan ve nötr elementlerin etkileri (Aran, 2003)

### 3.2.4 St 37-2 (S235JR) karbon çeliği

Çizelge 3.6. St37-2 Kimyasal kompozisyonu %

| MALZEME STANDARTI                |       |       |       |        |    |
|----------------------------------|-------|-------|-------|--------|----|
| DIN                              |       | AISI  |       | EN     |    |
| 1.0038                           |       | St37  |       | S235JR |    |
| MALZEMENİN KİMYASAL BİLEŞİMİ (%) |       |       |       |        |    |
| C                                | P     | S     | N     | Mn     | Al |
| 0.20                             | 0.050 | 0.050 | 0.007 | ≤ 1.4  | -  |

Bu çekiklere uygulanan en önemli imalat yöntemleri, kesim, talaşlı imalat, soğuk ve sıcak deformasyon ve kaynaktır. Bu yöntemlerden belki de en önemlisi kaynaktır, düşük karbon içerikleriyle bu çeliklerin kaynaklanabilirliği iyi olarak tanımlanır. Korozif ortamlara dayanıksızdırlar. Düşük oranda karbon içermelerinden dolayı kolayca şekillendirilebilirler (Tekin, 1996).

Alaşımız çelikler makina parçalarının imalatında da kullanılmaktadır. Çekirdeğe kadar yüksek mukavemette ıslah, ancak küçük ebattaki parçalar için geçerli olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda yapılan olan hızlı soğutma nedeni ile tane kabalaşmasını ve bu sayede de mukavemet değerinde düşme meydana getirmektedir (Tükel, 1979).

Çekme dayanıcına göre ifade edilen yapı çelikleri, öncelikli olarak çekme gerilmeleri ve akma sınırı değerleri dikkate alınarak, çelik konstrüksiyon, köprü yapımı, basınçlı kap ve ekipmanları, taşıt imalatı ve makine ana yapı konstrüksiyonlarında kullanılmak üzere tercih edilir. Bu çelikler genel olarak alaşımız çelik olarak tanımlanır, mekanik özellikleri daha çok karbon oranına bağlıdır.

### 3.2.5 AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çelik

Östenitik paslanmaz çelikler, çelik kalitelerinin arasında en geniş ve yaygın kullanıma sahip paslanmaz çelik grubudur. Östenitik paslanmaz çelikler genelde bir demir-krom-nikel alaşımıdır ve yaklaşık olarak % 16,5 Cr ve % 12 Ni oranlarına sahiptirler.

Genelde % 16-26 oranında krom, % 10-24 oranında Nikel ile Mangan ve % 0,40'ın altında bir oranda Karbon ve düşük oranda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi diğer elementleri içerir (European Patent Application, 2006).

**Çizelge 3.7.** Östenitik paslanmaz çeliklere ait kimyasal bileşim tablosu (Jindal Steel Technical Data Sheet, t.y.; Parr ve Hanson, 1965).

| Kalite | %C   | %Cr       | %Ni       | %Mn      | %Mo     | %Si  | %S   | %P    | Diğer      |
|--------|------|-----------|-----------|----------|---------|------|------|-------|------------|
| 201    | 0,15 | 16,0-18,0 | 3,50-5,50 | 5,5-7,5  | -       | 1,0  | 0,03 | 0,06  | 0,25 N     |
| 202    | 0,15 | 17,0-19,0 | 4,0-6,0   | 7,5-10,0 | 1,0     | 1,0  | 0,03 | 0,06  | 0,25 N     |
| 204Cu  | 0,15 | 15,5-17,5 | 1,5-3,5   | 6,5-9,0  | -       | 0,75 | 0,03 | 0,06  | 2,0-4,0 Cu |
| 301    | 0,15 | 16,0-18,0 | 6,0-8,0   | 2,0      | -       | -    | 0,03 | 0,045 | -          |
| 304    | 0,08 | 18,0-20,0 | 8,0-12,0  | 2,0      | -       | -    | 0,03 | 0,045 | -          |
| 304L   | 0,03 | 18,0-20,0 | 8,0-12,0  | 2,0      | -       | -    | 0,03 | 0,045 | -          |
| 310    | 0,25 | 24,0-26,0 | 19,0-22,0 | 2,0      | -       | 1,5  | 0,03 | 0,045 | -          |
| 316    | 0,08 | 16,0-18,0 | 10,0-14,0 | 2,0      | 2,0-3,0 | 1,0  | 0,03 | 0,045 | -          |
| 316 Ti | 0,08 | 16,0-18,0 | 10,0-14,0 | 2,0      | 2,0-3,0 | 1,0  | 0,03 | 0,045 | 0,50 Ti    |

Östenitik paslanmaz çelikler, oda sıcaklığında bulunan östenitik fazın, nikel elementi sayesinde kararlı halde olarak bulunmasıdır. Bu nedenle % 18 krom ve %8 nikel oranı ideal orandır. Krom, demir ve nikel alaşımı olan östenitik paslanmaz çelikler 200 ve 300 serisi olarak bilinirler. Yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direnci sayesinde uçak sanayisinde, kimya endüstrisinde, petrol-kimya endüstrisinde, gıda ve ilaç endüstrisinde, nükleer enerji santrallerinde ve eşya endüstrisinde yaygın olarak kullanılır (Tülbentçi, 1995).

304 paslanmaz çeliğin yeterli olmadığı koşullarda ise kimyasallara ve çukurcuk korozyonuna karşı çok daha dirençli olan 316 ve 316L tipi paslanmaz çelikler kullanılır. 316 tipi paslanmaz çelikler içeriğinde % 2-4 oranında molibden içerir (Sedriks, 1996).

316 kimyasal bileşiminde % 17 Cr, % 12 Ni ve % 2,2 Mo elementleri içeren östenitik paslanmaz çelik türüdür ve 304' ün yetersiz kaldığı klorürlü ortamlarda çok daha fazla kullanım alanına sahiptirler. 65°C' ye kadar tüm paslanmaz çelikler sodyum hidroksit çözeltilerinde iyi bir korozyon dayanımı gösterirler. 65 °C' in üstünde ise yüksek krom ve molibden elementi içeren ferritik alaşımların kullanılması gerekir. Sekil 3.4' de östenitik paslanmaz çeliklerin türleri ve çeliklere ile eklenen alaşımlar elementleri ile ilgili kısa bilgiler verilmektedir (Aran, 2004).



| Element | İçerik % |
|---------|----------|
| Nikel   | 99.0 min |
| Bakır   | 0.25 max |
| Demir   | 0.40 max |
| Mangan  | 0.35 max |
| Karbon  | 0.15 max |
| Silis   | 0.35 max |
| Kükürt  | 0.01 max |

Çizelge 3.8. Nikel200 kimyasal kompozisyon değerleri %

### Alkaliler:

Nikel 200' ün bilinen en üstün korozyon direnci özelliği, kostik soda ve diğer alkalilere karşı yüksek dayanıklılığıdır.

Kostik soda alkalilerinde Nikel 200, erimiş çözelti durumu da dahil olmak üzere tüm konsantrasyonlara mükemmel bir direnç gösterir. % 50' nin altındaki konsantrasyonlar da ki kaynayan çözeltilerde bile oranlar ihmal edilebilir. Konsantrasyon ve sıcaklık arttıkça korozyon oranları da çok yavaş artar. Çeşitli koşullar altındaki performans değeri durumları Çizelge 3.9 ve 3.10' de gösterilmektedir.

| Temperature |     | Pressure          | Velocity |       | Duration of test, hr | Corrosion Rate |        |
|-------------|-----|-------------------|----------|-------|----------------------|----------------|--------|
| °F          | °C  |                   | fpm      | m/min |                      | mpy            | mm/a   |
| 86          | 30  | Atmos.            | –        | –     | 120                  | 0.06           | 0.0015 |
| 86          | 30  | Atmos.            | –        | –     | 24                   | 0.3            | 0.008  |
| 195         | 90  | Atmos.            | 15       | 4.6   | 24                   | 0.55           | 0.014  |
| 212         | 100 | 610 mm            | –        | –     | 24                   | 0.7            | 0.018  |
| 212         | 100 | 610 mm            | –        | –     | 240                  | 0.07           | 0.0018 |
| 212         | 100 | 620 mm            | –        | –     | 264                  | 0.5            | 0.013  |
| 266         | 130 | Atmos.            | –        | –     | 720                  | 1.1            | 0.028  |
| 302         | 150 | Atmos.            | –        | –     | 336                  | 0.4            | 0.010  |
| 310         | 155 | Atmos.            | –        | –     | 672                  | 0.5            | 0.013  |
| 310         | 155 | 5 psi<br>(260 mm) | 75       | 23    | 20                   | 1.2            | 0.030  |

Çizelge 3.9. Nikel 200'ün laboratuvar korozyon testleri % 50 Kostik soda (SMC, 2005)

| Environment   | Temperature |        | Corrosion Rate |        |
|---|-------------|--------|----------------|--------|
|   | °F          | °C     | mpy            | mm/a   |
| Lab tests in 4% solution  | Room        | Room   |                |        |
| -Quiet immersion  |             |        | 0.05           | 0.001  |
| -Air-agitated immersion   |             |        | 0.05           | 0.001  |
| -Continuous alternate immersion   |             |        | 0.50           | 0.010  |
| -Intermittent alternate immersion   |             |        | 0.60           | 0.015  |
| -Spray test   |             |        | 0.05           | 0.001  |
| Plant tests in 14% solution in first effect of multiple-effect evaporator     | 190         | 90     | 0.02           | 0.0005 |
| Plant tests in 23% solution in tank receiving liquor from evaporator          | 220         | 105    | 0.16           | 0.004  |
| Plant tests in single-effect evaporator concentrating solution from 30 to 50% | 179         | 80     | 0.10           | 0.0025 |
| Plant tests in evaporator concentrating to 50% solution                       | -           | -      | 0.1            | 0.003  |
| Lab tests during concentration from 32 to 52% (vacuum, 640-685 mm Hg)         | 185-196     | 85-90  | 1.3            | 0.03   |
| Tests in storage tank containing 49-51% solution                              | 131-167     | 55-75  | 0.02           | 0.0005 |
| Lab tests in 75% solution   | 250         | 120    | 1.0            | 0.025  |
|   | 400         | 205    | 0.8            | 0.02   |
| Plant tests in 70% electrolytic solution in receiving tank                    | 194-239     | 90-115 | 0.1            | 0.003  |

**Çizelge 3.10.** Kostik soda çözeltilerinde Nikel 200 'ün korozyon oranı değerleri (SMC, 2005)

Yüksek konsantrasyonlar da ki kostik sodada Nikel 200'ün üstün performansına katkıda bulunan ana faktör ise, kostik sodaya maruz kalma sırasında yüzeyinde oluşan siyah koruyucu bir film tabakasıdır. Nikel-Oksit olan bu film tabakası, çoğu koşullar altında uzun süreli alkali ortama maruz kalma sırasında korozyon hızlarında belirgin bir düşüşle sonuçlar.

Kostik soda çözeltilerindeki kloratların mevcudiyeti, Nikel (200) alaşımının korozyon oranlarını önemli ölçüde arttırır. Bu nedenle yüksek sıcaklık aralığında buharlaşmadan önce kloratların, nikel üzerinde tamamen önlenmesi önerilir.

### 3.2.7 Nikel alaşımları Monel 400 (Alloy 400):

Monel 400, çok çeşitli aşındırıcı ortamlarda mükemmel korozyon direncine sahip, tek fazlı katı nikel-bakır alaşımıdır. Nötr, alkali tuzlarına ve alkalilere karşı çok dayanıklıdır. Ayrıca -200 °C ile +230 °C çalışma sıcaklığı değerleri aralığında mekanik özelliklerini korurlar. Monel 400, iyi bir korozyon direnci, iyi kaynaklanabilirlik özellik ve orta ila yüksek mukavemet değerleri ile karakterize edilir.

Monel 400 alaşımının nominal kimyasal bileşimleri izelge 3.11’ de verilmiştir.

| Element | İçerik %            |
|---------|---------------------|
| Nikel   | 63.0 min – 70.0 max |
| Bakır   | Kalan               |
| Demir   | 2.50 max            |
| Mangan  | 2.00 max            |
| Karbon  | 0.30 max            |
| Silis   | 0.50 max            |
| Kükürt  | 0.01 max            |

Çizelge 3.11. Monel 400 kimyasal kompozisyon değerleri %

Kullanım alanları ise;

- Kimya Proses Ekipmanları: Flor, HF, hidrojen florür, HCl, sülfürik asit, nötr ve alkali tuz ozelteleri, kostik alkaliler de, kuru klor nitelerinde.
- Petrol ve Gaz Prosesleri: Açık deniz yapılarında deniz suyuna maruz kalan bölgelerde, ham petrol ürünleri, boru ve depolama tankları.

Çeşitli ozelti ve alkalilerde Monel 400 alaşıma ait korozyon oranı değerleri izelge 3.12’ da verilmiştir.

| Media   | Common Name           | Temp. °F (°C) | Corrosion Rate (mpy) |
|---|-----------------------|---------------|----------------------|
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> - All Concentrations | Acetic Acid           | 70 (21)       | <4                   |
| 4% NaOH   | Caustic               | 68 (20)       | 0.16                 |
| 23% NaOH  | Caustic               | 220 (104)     | 0.2                  |
| 50% NaOH  | Caustic               | Boiling       | <1                   |
| 75% NaOH  | Caustic               | 275 (135)     | 1.7                  |
| 40% CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>                                | Formic Acid           | Boiling       | 2.7                  |
| 0.5% HCl - No Aeration  | Hydrochloric Acid     | Boiling       | 29                   |
| 1% HCl - No Aeration  | Hydrochloric Acid     | Boiling       | 42                   |
| 5% HCl - No Aeration  | Hydrochloric Acid     | Boiling       | 44                   |
| Up to 10% HCl   | Hydrochloric Acid     | 86 (30)       | <10                  |
| 12% HF  | Hydrofluoric Acid     | 182 (83)      | 22                   |
| 25% HF - Saturated w/Air  | Hydrofluoric Acid     | 86 (30)       | 37                   |
| 25% HF - Purged w/Nitrogen  | Hydrofluoric Acid     | 86 (30)       | 0.2                  |
| 50% HF - Saturated w/Air  | Hydrofluoric Acid     | 176 (80)      | 39                   |
| 50% HF - Purged w/Nitrogen  | Hydrofluoric Acid     | 176 (80)      | 0.5                  |
| Anhydrous HF  | Hydrofluoric Acid     | 80 (27)       | 3.2                  |
| Anhydrous HF  | Hydrofluoric Acid     | 200 (88)      | 4.7                  |
| HF  | Hydrogen Flouride Gas | 1112 (600)    | 13                   |
| H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> - All Concentrations               | Phosphoric Acid       | To 176 (80)   | <10                  |
| KOH   | Potash Liquor         | 235 (113)     | 0.6                  |
| 5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                 | Sulfuric Acid         | 214 (101)     | 3.4                  |
| 9% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                 | Sulfuric Acid         | 219 (104)     | 7.5                  |
| 50% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                | Sulfuric Acid         | 253 (123)     | 650                  |
| 96% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                | Sulfuric Acid         | 560 (293)     | 3300                 |

Çizelge 3.12. Monel 400 alaşıma ait korozyon oranı değerleri mpy (CM, 2005)

### 3.2.8. Hastelloy C276 ve C22

Hastelloy C276 ve C22, diğer tüm Nikel-Krom-Molibden alaşımlarının hepsinden çok daha iyi korozyon direncine sahip olan çok yönlü bir Nikel-Krom-Molibden alaşımıdır. Ni-Cr-Mo alaşımları özellikle klorür çukurları, çatlaklar ve stres aşınması çatlamaşının neden olduğu sinsi ve öngörülemeyen korozyon şekillerine karşı çok iyi dirençlidir.

Ayrıca diğer özellikleri arasında, Ni-Cr-Mo alaşımları sülfürik ve fosforik asitlere ve belirli kostik soda ve kostik potas konsantrasyonlarına karşı çok iyi bir direnç koyar. Düşük karbonla beraber kaynak işlemi sırasında karbürleme en aza inmiş olur ve bu sayede kaynak yapılan bölgelerde korozyon direncinde ve mekanik yapıda bir gerileme olmaz.

Hastelloy C276 ve Hastelloy C22 alaşımın nominal kimyasal bileşimleri Çizelge 3.13' de verilmiştir.

| Element  | Hastelloy C276 | Hastelloy C22 |
|----------|----------------|---------------|
| Nikel    | 51 - 63        | 56.0          |
| Krom     | 14,5 - 16,5    | 22.0          |
| Molibden | 15 - 17        | 13.0          |
| Kobalt   | 2.50 max       | 2.50 max      |
| Tungsten | 3 - 4,5        | 3.0 max       |
| Demir    | 4,5 max        | 3.0 max       |
| Mangan   | 1.0 max        | 1.0 max       |
| Karbon   | 0.01 max       | 0.01 max      |
| Silisyum | 0.08 max       | 0.08 max      |

Çizelge 3.13. Hastelloy C276 ve C22 kimyasal kompozisyon değerleri %

### 3.2.9 Kaynak yöntemleri

Kaynak; birbiri ile aynı özellikte veya farklı türden alaşımları veya malzemeleri, ısı, basınç ya da her ikisini birden kullanılarak ergitme yapılarak veya ergitme yapılmadan, çoğunlukla kaynak edilecek malzemelerle aynı türden veya çok yakın özelliklere sahip bir dolgu malzemesi ilave ederek veya etmeden yapılan birleştirme veya dolgu işlemine denir.

Yeni teknolojiler sayesinde çok fazla kaynak türü ortaya çıkmaktadır ve kullanılmaktadır. Başlıca kaynak yöntemlerinden bahsedecek olursak;

➤ **Basınç Kaynakları**

- Ergitme Kaynakları

▶ **Elektrik ark kaynağı**

- Karbon arkı ile kaynak
- Metal arkı ile kaynak
- Koruyucu gaz altında kaynak

TIG kaynakları

MIG/ MAG kaynakları

- Tozaltı kaynakları
- Plazma ark kaynakları
- Elektron ışın kaynağı
- Lazer ışın kaynağı

Bu çalışmamızda imalat aşamalarında uygulanan ark kaynak yöntemleri içerisinde yer alan, örtülü elektrod ark kaynağı ile tungsten inört gaz kaynağı (TIG) yöntemleri kullanıldığından bu iki tür kaynak yönteminden bahsedeceğiz.

### **3.2.10 Örtülü elektrod ark kaynağı**

Kaynak işlemi sırasında; yüksek kaynak akımının kendi üzerinden geçmesini sağlayan, iş parçasına temas eden ucu ile kaynak arkını oluşturabilen, gerektiğinde kendisi de eriyerek kaynak metalinin oluşmasını sağlayan kaynak malzemesine Kaynak Elektrotu denir. Eriyen ve erimeyen tip elektrod olarak iki sınıfa ayrılırlar.

➤ **Ergimeyen Elektrotlar**

- Karbon elektrotlar
- Tungsten elektrotlar

➤ **Eriyen Elektrotlar**

- Örtüsüz elektrotlar (Tel elektrod)
- Örtülü elektrotlar (Çubuk elektrod)

### Örtü tipine göre elektrotlar

- Rutil karakterli elektrotlar
- Bazik karakterli elektrotlar
- Selülozik karakterli elektrotlar
- Asit örtülü elektrotlar
- Demir tozlu elektrotlar

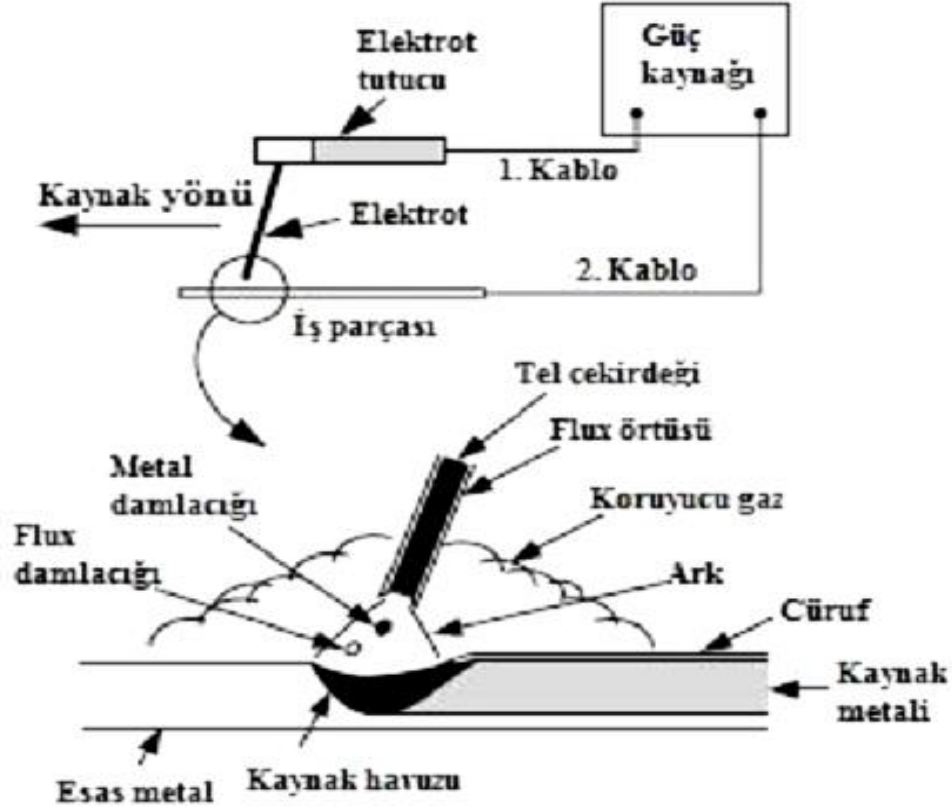
Elektrik ark kaynağı, iki kutup arasında meydana gelen arkın ısı kaynağı etkisiyle ana malzeme ile ilave dolgu malzemenin ergimesi sonucunda sağlanan birleştirmedir. Elektrik ark kaynağı doğru akımla veya alternatif akım ile de kaynak yapmak mümkündür. Bu nedenle kaynak makineleri iki gruba ayrılır. Kaynak teknolojisinde faydalanılan bu akım üreteçleri AC (Alternatif Akım) kaynak makinaları ve DC (Doğru Akım) kaynak makinaları olarak adlandırılır. Kaynak makinalarında dalgalı akım yani alternatif akım (AC) için transformatör, doğru akım (DC) için ise redresör veya invertörler kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. AC ve DC Kaynak makine örnekleri

Örtülü elektrotlar, çekirdek ve çekirdek örtüsü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Çekirdek, kaynak metalinin oluşmasını sağlar ve akınım kendi üzerinden ana malzemeye geçişini sağlar. Elektrot örtüsü ise, kaynak banyosunu ortamın olumsuz etkilerinden koruyarak alaşım elementlerinin de sayesinde kaynak dikişini alaşımlandırır ve kaynak dikişinin daha geç ve daha iyi görünümünü sağlar (Durgutlu, 1987).

Yapılan imalatın çoğunda bağlantı hattının tüm uzunluğu boyunca birleşmeye ihtiyaç duyulur. Bu nedenle ısı kaynağını bağlantı hattı boyunca hareket ettirerek bu ihtiyaç kolaylıkla karşılanabilir. Bu yolla birbiri üzerine binmiş bir dizi banyo üretilir, kaynak banyosunun sürekli önünde erime, arkasında ise katılma meydana gelir (Gourd, 1995; ASM Handbook, 1989; Kearns, 1984).



Şekil 3.6. Örtülü elektrod ark kaynak yöntemi şematik gösterimi ( Eryürek, 2007).

### 3.2.11 Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı

TIG kaynağı, ergimeyen bir elektrot ile, asal koruyucu gaz örtüsü altında yapılan bir elektrik ark kaynağı yöntemidir. Kaynak dolgu malzemesi, çubuk veya tel olarak ilave edilebilir.

Kaynak arkı, erimeyen tungsten elektrot ve kaynak banyosu havanın olumsuz etkilerinden argon veya helyum asal gazları ile korunurlar. Genelde argon, argon hidrojen, veya helyum argon karışımı gazlar kullanılmaktadır. TIG kaynak yöntemi, genellikle diğer kaynak yöntemleriyle yapılan kaynaklara göre daha üstün bir özellikte kaynak dikişleri elde edilir.



seçimi yığılmış kaynak metalinin mikro yapısal fazları dikkate alınarak seçilmelidir. Sonuçta, bu mikro-yapısal fazlar kaynağın mekanik özelliklerini, çatlak hassasiyetini ve korozyon direncini belirlemektedir (Anık, 1991).

Östenitik paslanmaz çelikler için geliştirilmiş dolgu malzemeleri genellikle ana metal ile benzer yapıdadır. Fakat birçok alaşım için, sıcak çatlak oluşumunu engelleme amacıyla düşük oranda ferrit içeren bir mikro yapının oluşmasına olanak sağlayan kaynak dolgu malzemeleri kullanılmalıdır (Komaç, 2009).

### **Rutil ve Bazik elektrotlar:**

Rutil elektrotlar; genellikle St.37-St42 arası düşük karbonlu çelikler kullanılarak yapılan, basit çelik konstrüksiyon işleri, basınçsız tank ve kazanların imalatı gibi düşük mukavemet beklenen işlerde kullanılan kaynak elektrotudur (Oğuz, 1975).

Isıdan etkilenmiş bölgede ısı etkisi ile tanelerin arası açılır ve buralara elektrottaki bir miktar nemden kaynaklanan hidrojen ( $H_2$ ) yerleşir. Normalde kaynak ilerledikçe bu bölgelerden hızla uzaklaşılır ve yavaş soğuma beklenir. Kalın kesitlerde bu soğuma hızlı olacağından yani  $200\text{ }^\circ\text{C}$  nin altına hızlı bir şekilde ineceğinden dolayı hidrojen buralara sıkışarak gözenek oluşmasına neden olacaktır. Böyle durumlarda ise ya  $H_2$  içermeyen bazik elektrotlar ile kaynak yapmalı, ya da iş parçasının tamamı kaynak öncesi yaklaşık  $200\text{ }^\circ\text{C}$  e kadar ısıtılmalıdır (Oğuz, 1975).

$400\text{ }^\circ\text{C}$ 'te kurutulmuş bazik elektrodun hidrojen içeriği en fazla  $10\text{ ml}/100\text{g}$ ' dir. Bu özelliğinden dolayı "Hidrojen Kontrollü Elektrod" olarak adlandırılırlar. Genellikle DC akım pozitif (+) kutupta kullanılırlar. Kaynak dikişlerinin darbe dayanımları yüksek, sünek-gevrek geçiş sıcaklığı düşüktür (Oğuz, 1975).

### **316 / 316L Kaynak dolgu teli**

Genel korozyon şartlarında taneler arası korozyona karşı yüksek dayanıma sahiptir. Östenitik tip paslanmaz Cr-Ni-Mo'lu çeliklerin kaynağında kullanılır. Düşük karbonlu bir kaynak dolgu metali verir.

**Çizelge 3.14.** Kaynak teli kimyasal kompozisyonu %

| <b>Kaynak telinin tipik kimyasal kompozisyonu %</b> |             |             |               |               |             |
|---|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
| <b>C</b>  | <b>Si</b>   | <b>Mn</b>   | <b>Cr</b>     | <b>Ni</b>     | <b>Mo</b>   |
| < 0.03  | 0.30 - 0.65 | 1.00 - 2.50 | 18.00 - 20.00 | 11.00 - 14.00 | 2.00 - 3.00 |

### 3.2.13 Kullanılan ekipman ve makineler

Invertec® V205-T AC/DC kaynak makineleri AC veya DC gerilimli TIG ve örtülü elektrod ark kaynağı uygulamaları için geliştirilmiştir. AC veya DC çıkış gerilimi sayesinde farklı cins ve kalınlıkta birçok malzemenin kaynağı kolaylıkla yapılabilir. Ayarlanabilir AC frekansı sayesinde, daha hassas ark kontrolü sağlar. TIG kaynağında mükemmel performans sağlayan gelişmiş invertör teknolojisine sahiptir.



Şekil 3.8. İnvörtörlü TIG kaynak makinesi

Inverter 201-Ultra PFC DC kaynak makinesi örtülü rutil ve bazik özellikli elektrodlar ile; alaşımsız, düşük alaşımlı ve paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılır. Kullanılan invertör teknolojisi sayesinde, çok iyi bir performans ve düzgün karakteristikli bir kaynak arkı elde edilir. Düzgün DC akımı ile yüksek kaliteye sahip kaynak ve kararlı ark sağlar.



Şekil 3.9. Örtülü elektrod kaynak makinesi

### 3.3 Yöntem

Literatür araştırması, malzeme ve bunların kullanım alanları ile yapılan araştırma ve bu konuda deneyimli firma ve kişilerle yapılan görüşmeler neticesinde ETİ Alüminyum A.Ş' deki mevcut prosede kostik ihtiva eden çözeltilerle doğrudan temas halinde çalışmakta olan depolama tank ve ekipmanların kaynak bölgelerinde yaşanan kostik korozyonuna bağlı kaynak kaçaqları ve bunların çözüm yöntemleri tespit edilmiştir.

Bu bilgiler ışığında proses tank ve ekipmanlarında hangi tür çelik malzeme ve alaşımlarının kullanılabileceği konusunda bir sonuca varılmaya çalışılmaktadır.

Yapılan tüm çalışmalar, deneyler, metotlar ve uygulamalar “ Araştırma bulguları ve Tartışma” başlığı altında detaylı olarak anlatılmaya çalışılmıştır.

Ayrıca tank ve ekipmanlarda meydana gelen kostik korozyon çatlaklarının tayin edilmesi için farklı numune kupon malzemelerin metal kayıp oran test yöntemi gibi uygulamalar yapılmakta ve test çalışmaları devam etmektedir.

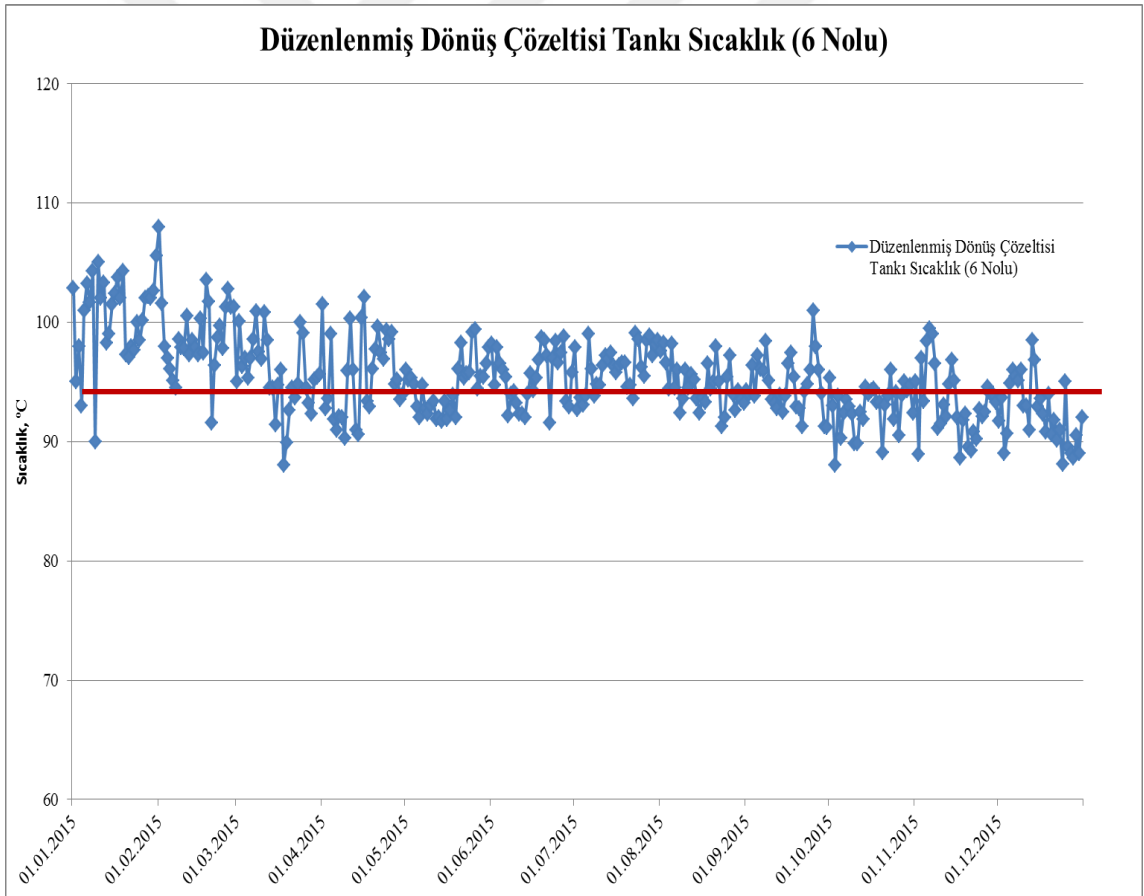
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen veriler ışığında belirlenmeye çalışılmış ve Bayer prosesinde kullanılan malzemelerin Kostik kırılgenlikleri incelenerek proses çalışma şartlarına en uygun malzeme veya malzemeler tespit edilmiştir.

### 4.1 Düzenlenmiş Dönüş Çözelti Tankı

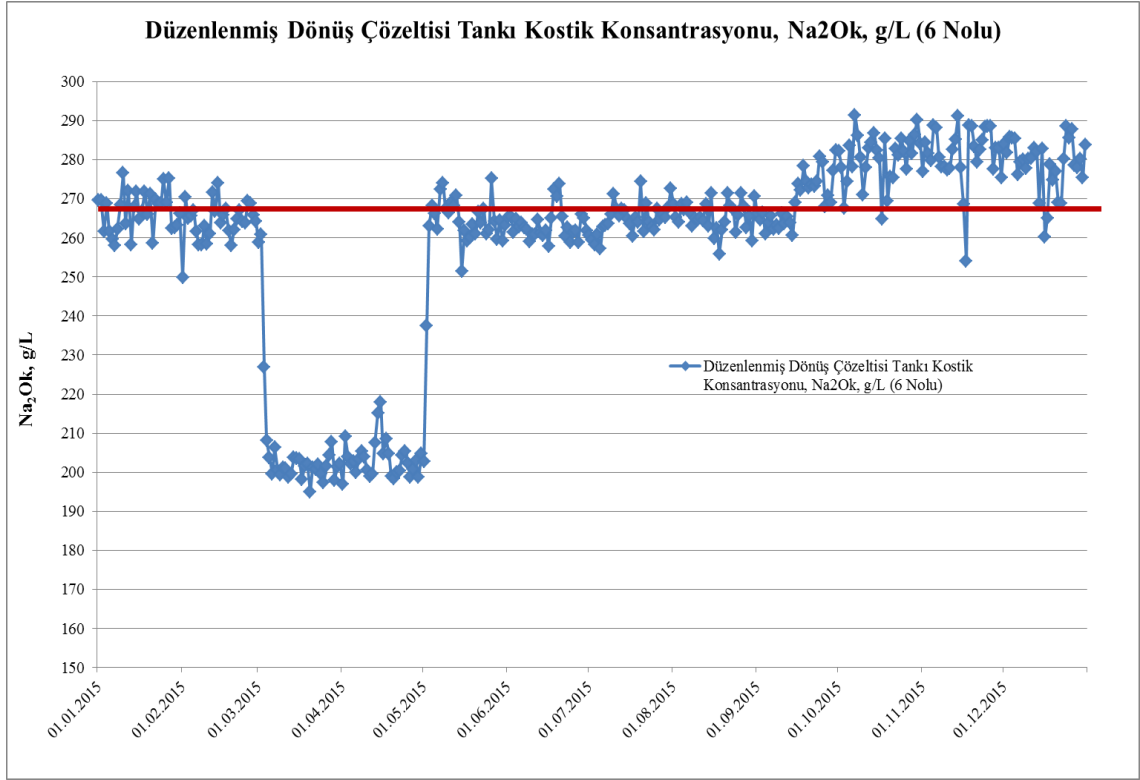
Düzenlenmiş dönüş çözeltisi tankı prosesinde kostik çözeltisinin depolaması için kullanılmaktadır. Düzenlenmiş dönüş çözelti tankında ki kostik çözeltisine ait sıcaklık ve kostik konsantrasyon değişim grafikleri verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Düzenlenmiş dönüş çözeltisi tankı sıcaklık değerleri 2015.



Düzenlenmiş dönüş çözeltisi tankının yukarıda verilmiş olan grafiğine baktığımızda yıllık ortalama olarak 93,7 °C sıcaklık değerlerinde çalıştığı görülmektedir.

**Çizelge 4.2.** Düzenlenmiş dönüş çözeltili tankı kostik konsantrasyon değerleri 2015.



Düzenlenmiş dönüş çözeltili tankının yukarıdaki grafiğine baktığımızda yıllık ortalama olarak 268,5 g/l konsantrasyon değerlerinde çalıştığı görülmektedir. Tankın imalatı St 37-2 çeliğinden imal edilerek Mayıs 2015 yılında devreye girmiştir.



**Şekil 4.1.** Düzenlenmiş dönüş çözeltili tankı kostik kaçakları

Yaklaşık 9000 saatlik çalışma sonrası kostik kırılganlığına bağlı kostik korozyonu oluşmaya başlayarak ilk olarak kaynak bölgelerinde kostik kaçaqları meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.1). Kostik kaçaqlarının artmasından dolayı tankın çalışması tehlikeli duruma gelmiştir ve dönüş çözeltisi tankının demontajı yapılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2a.



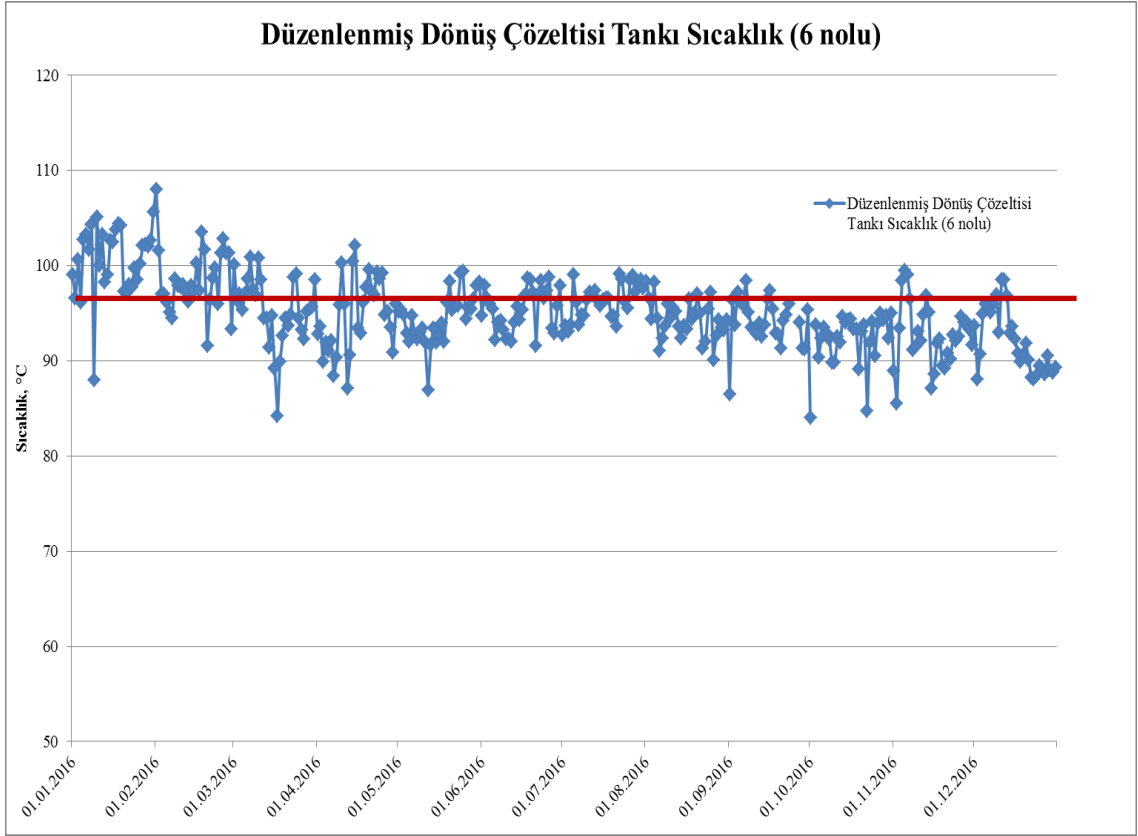
Şekil 4.2b.



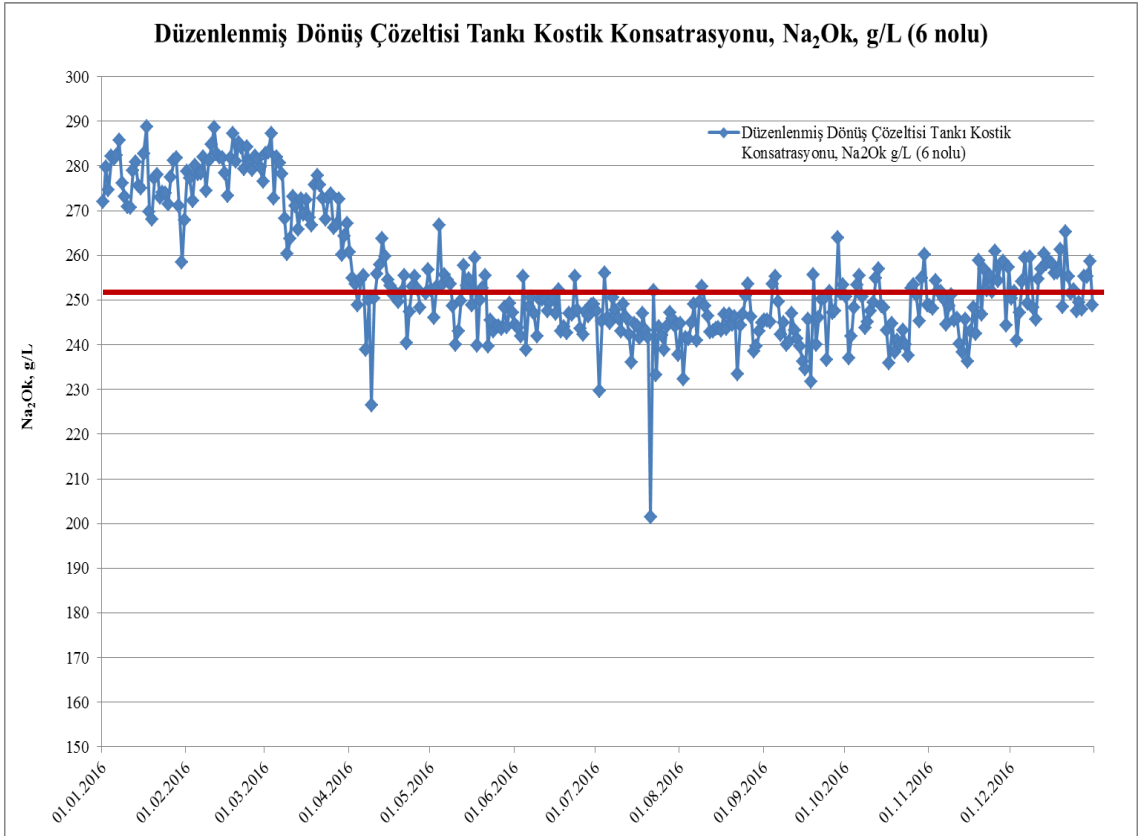
Şekil 4.2c

Şekil 4.2. Düzenlenmiş dönüş çözelti tankı demontajı

Çizelge 4.3. Düzenlenmiş dönüş çözeltisi tankı sıcaklık değerleri 2016.



Çizelge 4.4. Düzenlenmiş dönüş çözeltisi tankı kostik konsantrasyon değerleri 2016.



Düzenlenmiş dönüş çözeltisi tankı St37- 2 çeliği ile yeniden imal edildi ve ayrıca tankın iç yüzeyi komple 2mm kalınlığında paslanmaz çelik AISI 316 ile uygun kaynak yöntemi, parametreleri ve kaynak dolgu malzemeleri kullanılarak kaplanmıştır (Şekil 4.3).

İmalatı tamamlanan dönüş çözelti tankı Ocak 2016 yılında yukarıda verilmiş olan yıllık ortalama 96 °C sıcaklık ve 251,5 g/l konsantrasyon koşulların da devreye alınarak AISI 316 malzemenin çalışma performansı tekrar izlenmeye başlanmıştır.



Şekil 4.3c. St37-2 çeliği tank imalatı



Şekil 4.3b. Kaynak Panetrant Testi



**Şekil 4.3c.** Tank içi AISI 316 paslanmaz çelik kaplama çalışması 2mm



**Şekil 4.3d.**

**Şekil 4.3.** AISI 316 Östenitik paslanmaz çelik ile tank kaplama çalışması



**Şekil 4.4.** Östenitik paslanmaz çelik ile kaplanmış çözelti tankı kostik kaçaqları

Düzenlenmiş dönüş çözelti tankı AISI 316 paslanmaz çelik sac ile iç yüzeyi kaplanmış ve yukarıda verilmiş olan proses çalışma şartlarında yaklaşık 7500 saatlik çalışma saati sonrası kostik kırılgenliğına bağılı olarak paslanmaz çelik sacda korozyon meydana geldiğı ve bu nedenle kostik çözeltisi ile yeniden temas etmeye başlayan tank dış gövde sacı St37- 2 yapı çeliğinde de kostik korozyonununa bağılı olarak kostik kaçaqları meydana gelmeye başlamıştır (Şekil 4.4).

## 4.2. Buharlaştırma Bölümü Kuvvetli Çözelti Üretimi

Buharlaştırma bölümünde, kostik ihtiva eden zayıf çözeltinin içindeki suyun buharlaştırılması ile kostik konsantrasyonunun artırılması sağlanmakta ve çözelti Yaş Öğütme Ünitesi' ne gönderilmektedir. Bayer çevriminde kullanılacak hale getirilen kostik çözeltisinin seyrelmesine sebep, alüminat çözeltisi içerisinde işlem sırasında seyreltme amacı ile verilen su, yıkama sularından ve boksit cevherinden kaynaklanmaktadır. Dekompozisyon bölümünden 130-140 g/l Na<sub>2</sub>O içerikli gönderilen çözelti, 250- 260 g/l Na<sub>2</sub>O konsantrasyonuna erişinceye kadar buharlaştırılma işlemine tabi tutulmaktadır.

Bu ünitenin buharlaştırma kapasitesi 125 ton/saattir. Her bataryanın toplam ısı transfer yüzeyi 5400 m<sup>2</sup> dir. Isıtma işlemi buharla indirekt olarak yapılmaktadır. Buharlaştırıcılara bir taraftan zayıf çözelti beslenirken ters yönden de ısıtma buharı verilmektedir. Isıtma işlemi sonucu meydana gelen kondensat kazan dairesine gönderilir.

Mevcut buharlaştırma bataryalarına 90 – 200 m<sup>3</sup>/h zayıf çözelti beslenebilmekte ve zayıf çözelti içerisinde 75-80 ton/h kondensat buharlaştırılabilmektedir. 1 ton Kondensatın buharlaştırılabilmesi için 7 bar 180 °C' de 0,350 ton buhar kullanılmaktadır.

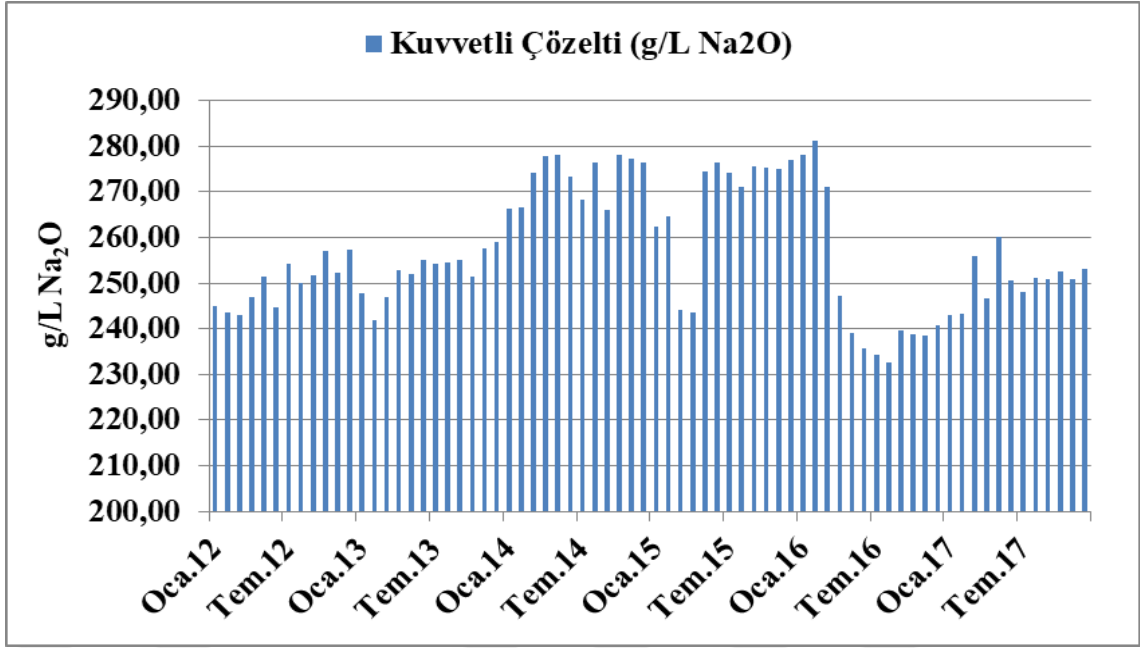
Buharlaştırma bölümünde ısıl işleme tabi tutulup konsantre olan kostik çözeltisi, hammadde hazırlama bölümüne gönderilmektedir.

Mevcut buharlaştırma bataryalarında düşük zayıf çözelti besleme debilerinde (max 170 m<sup>3</sup>/h) 250 g/L kuvvetli çözelti konsantrasyonuna ulaşılabilir. Bataryalara 170 m<sup>3</sup>/h üzerinde zayıf çözelti beslendiği zaman 250 g/l kuvvetli çözelti konsantrasyonuna ulaşmak için bataryalara daha fazla buhar beslenmekte batarya aparat çıkış sıcaklıkları yükseltilmektedir.

Çıkış sıcaklıkları yükselen aparatlarda kaynak bölgelerinde kostik kırılmaları görülmekte bu kırılmalar zamanla ana malzemedeki büyük kırılmalara ve kaynak kaçaklarına sebep olmaktadır. Bu durumda aparatlardaki kaçaklar iş güvenliği ve çalışan personel için tehlike arz etmenin yanında üretim kaybına, plansız duruşlara ve sistem stabilitesinin bozulmasına sebep olmaktadır.

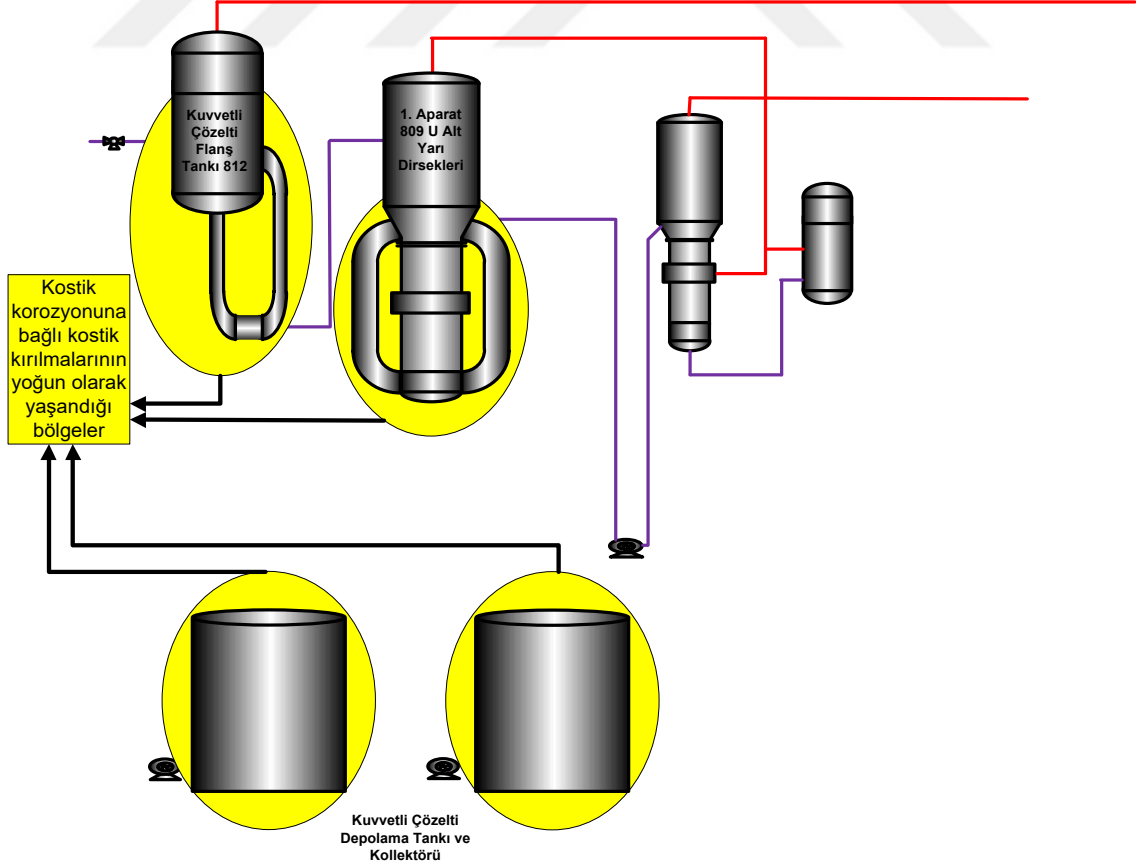
Kaynak kaçaklarının onarılması bakım maliyetlerini artırmakta batarya çalışma sürelerini azaltmakta ve enerji kayıplarına yol açmaktadır.

Buharlaştırma bataryalarında ki mevcut kuvvetli çözelti konsantrasyonlarının yıllara göre dağılımı aşağıdaki grafikte verilmiştir (Şekil4.5).



Şekil 4.5. Mevcut buharlaştırma bataryaları kuvvetli çözelti konsantrasyonu

Bu koşullarda çalışmakta olan buharlaştırma bataryalarında kostik korozyonu nedeni ile yaşanan kaynak kaçaklarının yoğun olarak görülen bölgelerin şematik gösterimi verilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Buharlaştırma Bataryalarında kostik korozyonunun yoğun olarak yaşandığı ekipmanlar

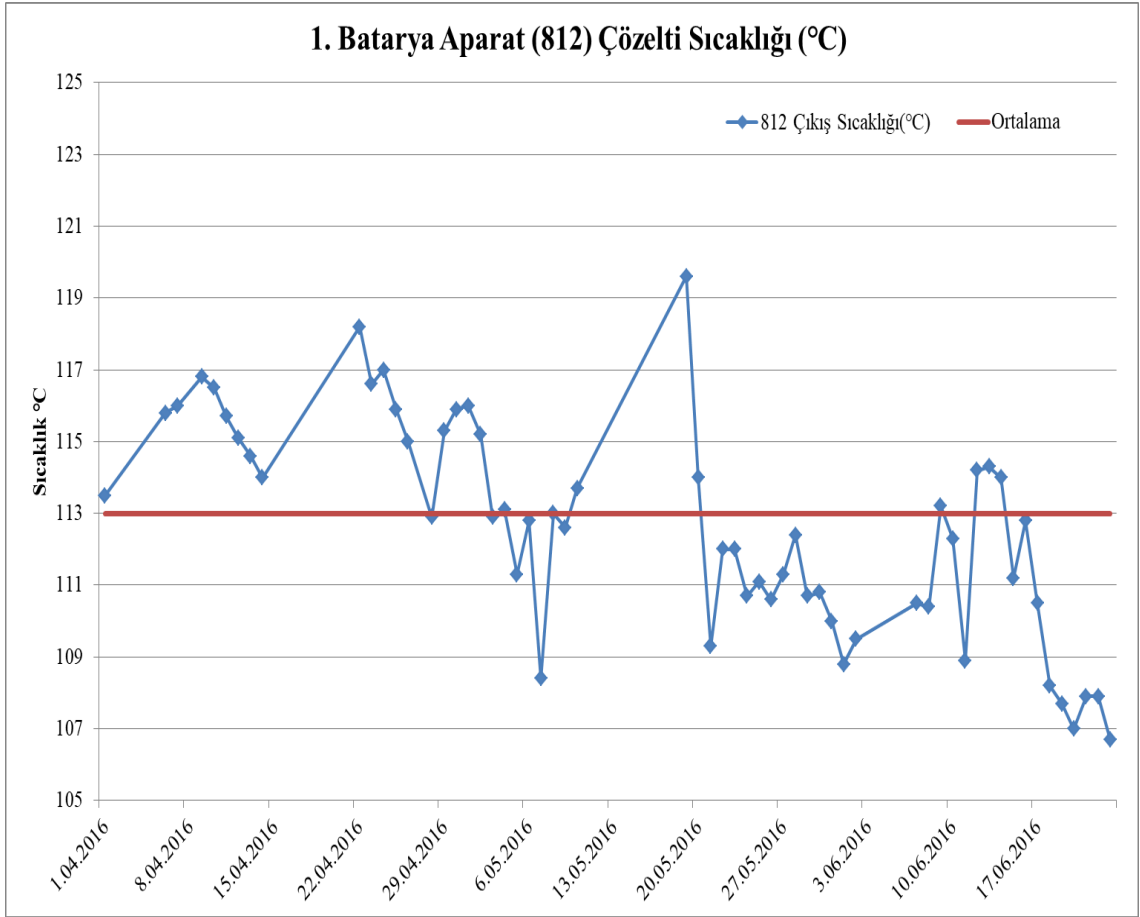
### 4.3. Buharlaştırma Bataryasındaki Malzeme Deneme Çalışmaları

Buharlaştırma bataryalarında kostik korozyonun yoğun olarak yaşandığı tank ve ekipmanlardan bahsedecek olursak;

- Buharlaştırma aparatı, kuvvetli çözelti flaş tankı 812
- Kuvvetli çözelti depolama tankı ve kollektörü
- 1.aparat (809) U tipi alt yarı ve dirsekleri

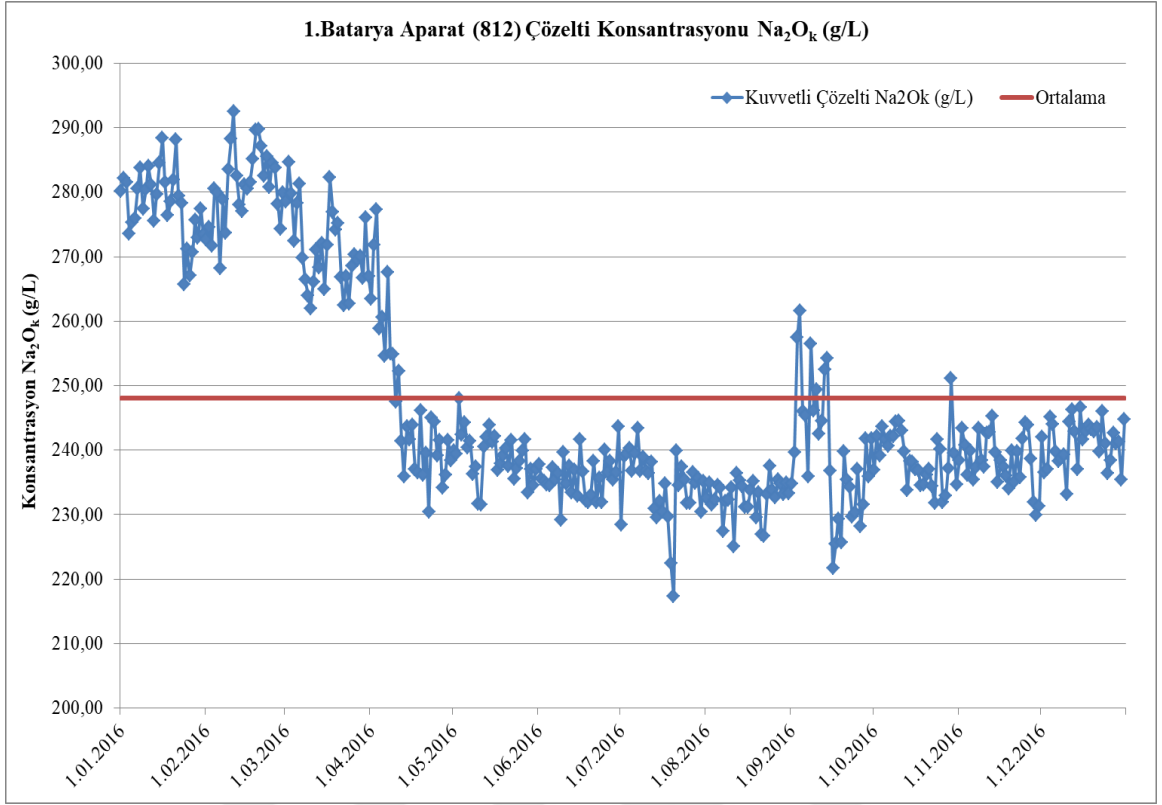
1. Buharlaştırma aparatı, kuvvetli çözelti flaş tankı (812) ait sıcaklık ve kostik çözelti konsantrasyon değişim grafikleri verilmiştir.

Çizelge 4.5. 1.Batarya aparat (812) kuvvetli çözelti sıcaklık °C değerleri 2016.



Kuvvetli çözelti flaş tankı (812) ye ait grafiğe bakıldığında yıllık ortalama sıcaklık değeri 113 °C' dir.

**Çizelge 4.6.** 1.Batarya aparat (812) kuvvetli çözelti konsantrasyonu Na<sub>2</sub>O<sub>k</sub> (g/l) 2016.



Kuvvetli çözelti flaş tankı (812) ye ait grafiğe bakıldığında yıllık ortalama kostik konsantrasyon değeri 249 g/l' dir.



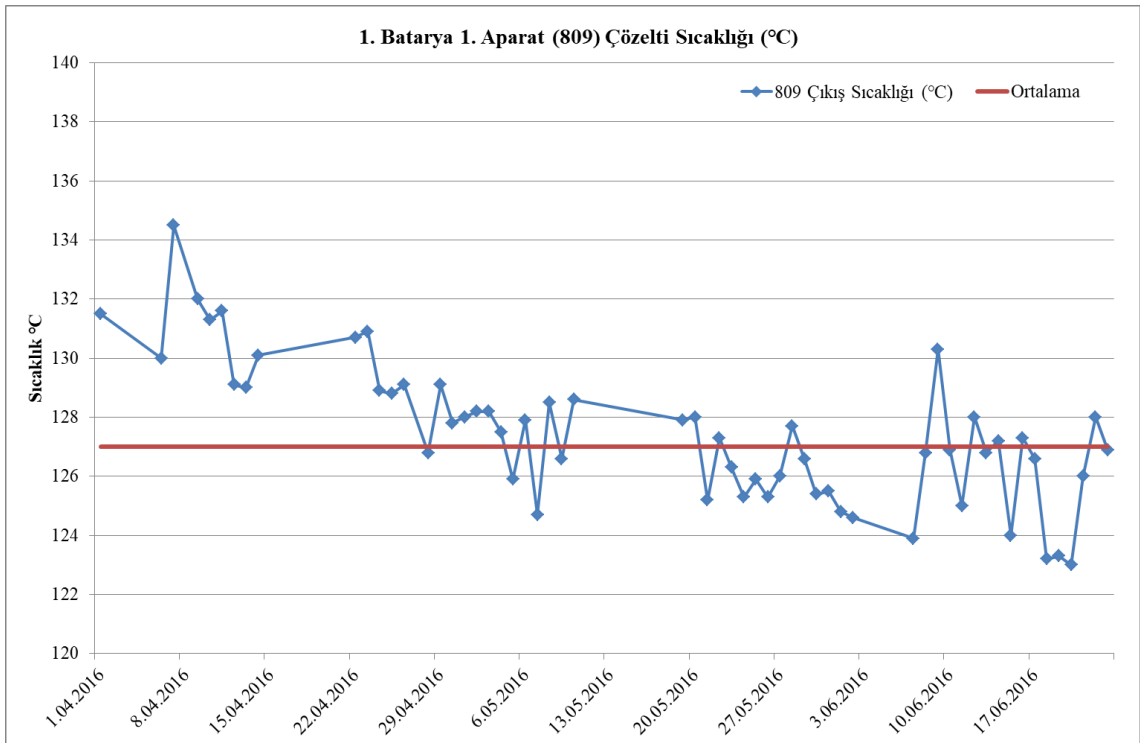
**Şekil 4.7.** 1.Batarya aparat kuvvetli çözelti flaş tankı 812 çıkış boru hattı



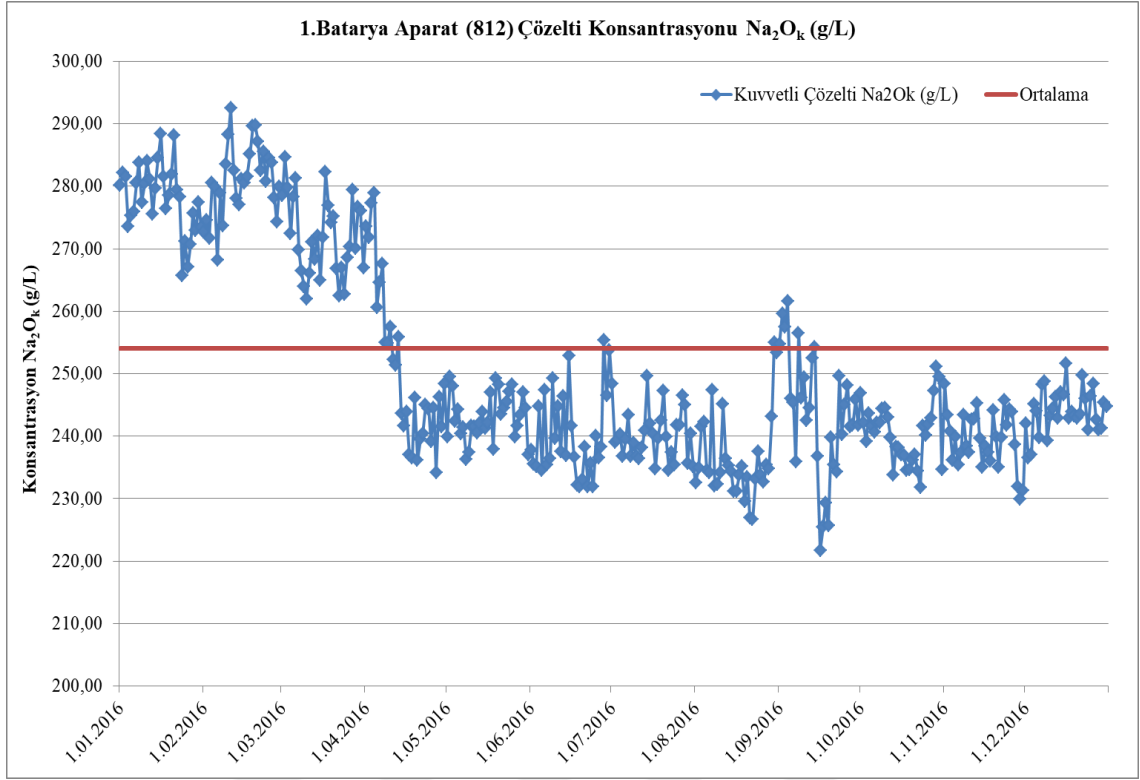
**Şekil 4.8.** 1.Batarya aparat kuvvetli çözeltili flaş tankı 812 çıkış boru hattı dirseği

1.Batarya aparatı St37-2 çeliğinde imal edilmiş ve yukarıda verilen sıcaklık ve konsantrasyon değerlerinde, yaklaşık 7500 saat sonra kostik korozyonuna bağlı olarak kaynak bölgelerinde ki çatlaklardan dolayı kostik çözeltili kaçaqları meydana gelmeye başlamıştır (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).

**Çizelge 4.7.** 1.Batarya 1.aparat (809) kuvvetli çözeltili sıcaklık °C değerleri 2016.



Çizelge 4.7. 1.Batarya 1.aparat (809) kuvvetli çözelti konsantrasyonu Na<sub>2</sub>O<sub>k</sub> (g/l) 2016.



1.Batarya 1. Aparat (809) e ait grafiklere bakıldığında kuvvetli kostik çözeltisinin yıllık ortalama sıcaklık değeri 127 °C ve ortalama konsantrasyon değeri ise 254 g/l' dir.



Şekil 4.9. 1.aparat (809) U tipi alt yarı



**Şekil 4.10.** 1.aparat (809) U tipi alt yarı manhole

1.Batarya 1.aparatı da yine aynı mazleme olan St37-2 çeliğinden imal edilmiştir. Verilen çözelti sıcaklık ve konsantrasyon değerlerinde çalışmıştır. 7500 saatlik çalışma sonrasında yine kostik korozyonuna bağlı olarak kaynak bölgelerindeki çatlaklardan dolayı kostik kaçakları meydana gelmiştir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).

Mevcut prosesde kullanılan karbon çeliği yani alaşımsız çelik sınıfına giren St37-2 yapı çeliği ile imalatı yapılan tank ve ekipmanlar da yaşanan kostik korozyonu ve bu korozyona bağlı kaynak kaçakları problemlerinden dolayı iyileştirilme çalışmaları başlatılarak, mevcut proses çalışma şartlarına uygun daha iyi performans sağlayacak yeni malzeme ve/veya malzeme alışımı arayışına gidilmiştir.

Yapılan bu deneysel çalışma kapsamında;

Östenitik paslanmaz çelik AISI 316, AISI 304, Nikel 200-201 malzemeler prosesde farklı yerlerde denenmeye başlanmıştır.

Deneme olarak; 2 mm kalınlıktaki Nikel 200 sac malzeme ile tank ve 1.aparat U tipi alt yarısının içerisine kaplama yapılmıştır. Ayrıca AISI 304 ve 316 östenitik paslanmaz çelik malzemedenden de dirsek ve boru imalatı yapılarak, ekipmanların çalışma performansları incelenmeye başlanmıştır.

Deneme çalışması olarak seçilen;

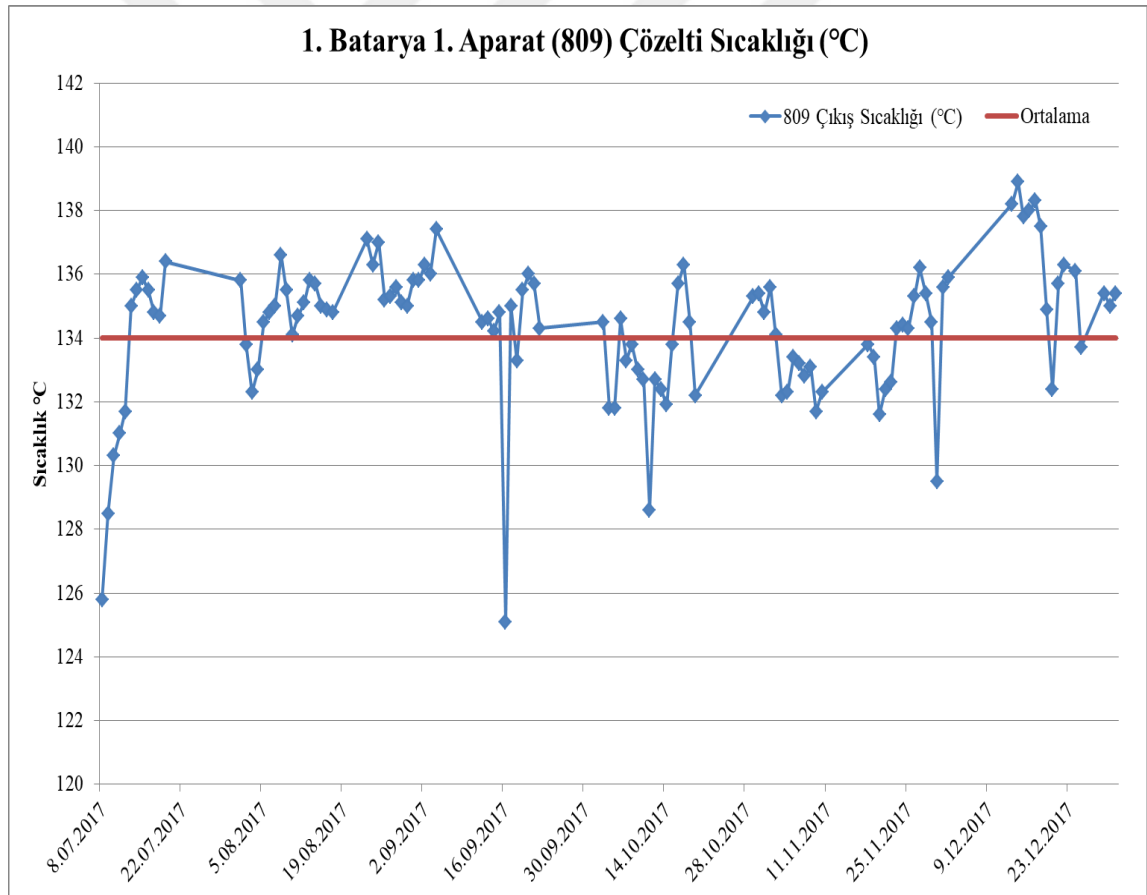
1.Buharlaştırma 1.aparat (809) alt yarısı Nikel 200 alaşım ile kaplamıştır (Şekil 4.11),

1.Buharlaştırma 1.aparat (809) alt yarı dirseği de AISI 316 paslanmaz çelik malzemedenden imal edilmiştir (Şekil 4.12).

1.Batarya aparat kuvvetli çözelti flaş tankı 812 çıkış boru hattı da AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik malzemedenden, imal edilerek 2017 yılında devreye alınmıştır (Şekil 4.13).

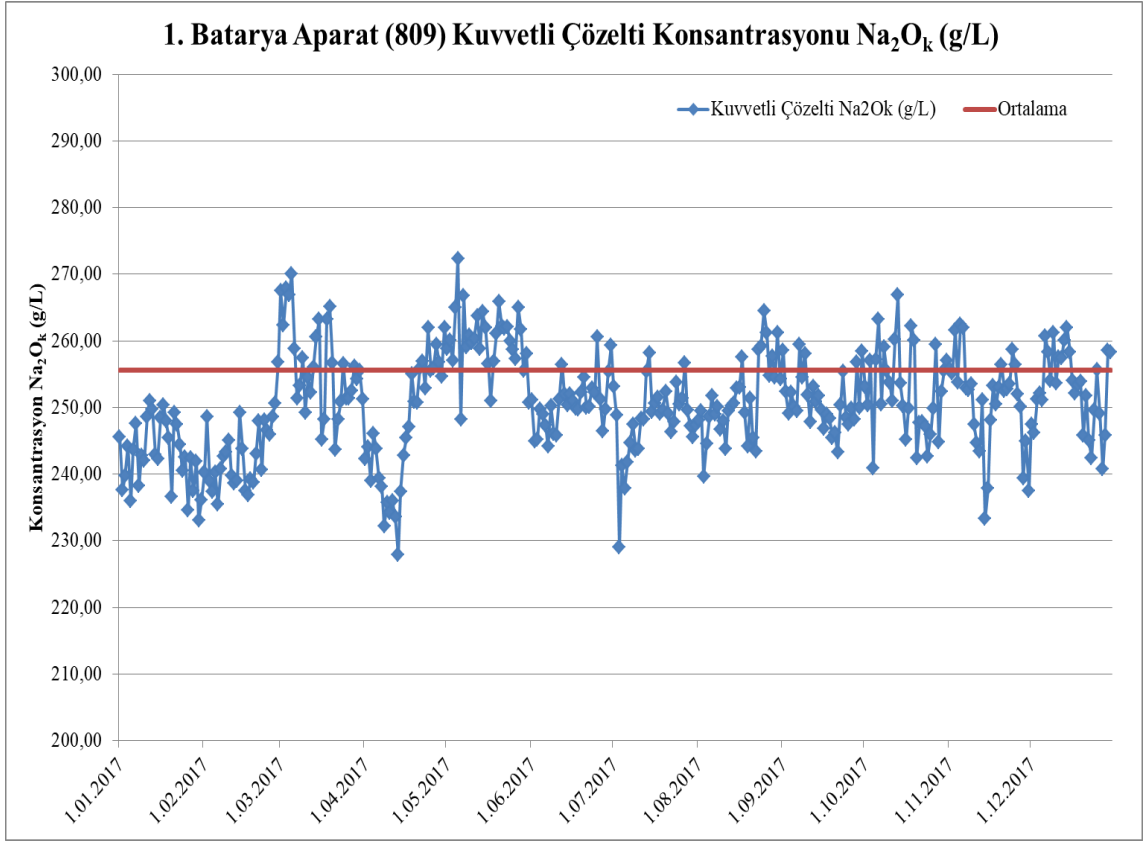
Kuvvetli çözelti sıcaklık ve konsantrasyon değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir.

**Çizelge 4.8.** 1.Batarya 1.aparat (809) kuvvetli çözelti sıcaklık °C değerleri 2017.

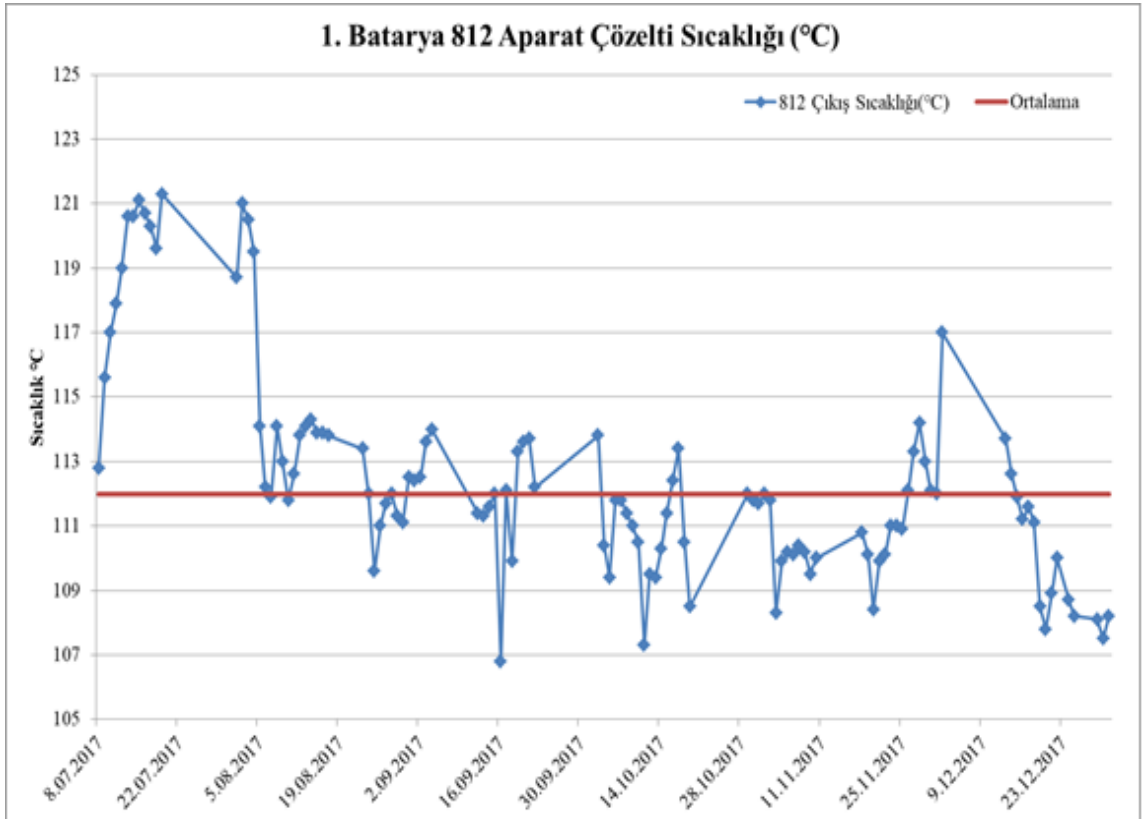


1.Batarya 1. Aparat (809)'e ait grafiklere bakıldığında kuvvetli kostik çözeltilisinin yıllık ortalama sıcaklık değeri 134 °C ve ortalama konsantrasyon değeri ise 256 g/l' dir.

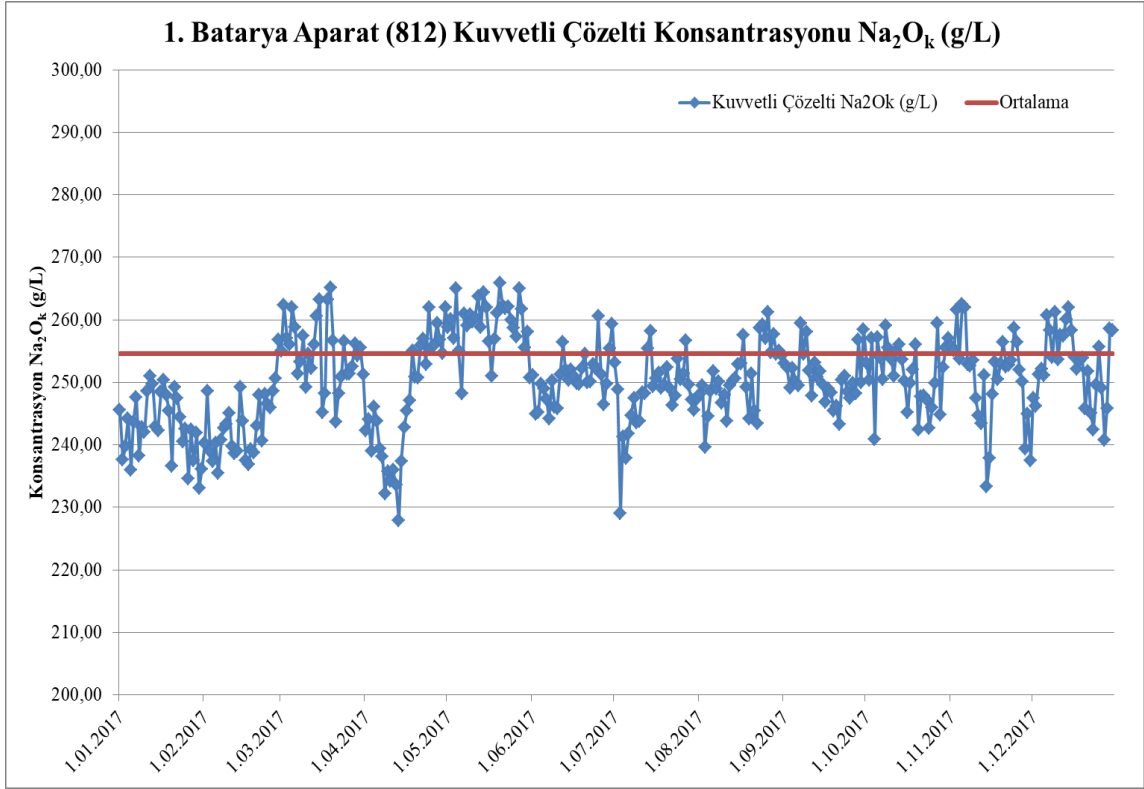
**Çizelge 4.9.** 1.Batarya 1.aparat (809) kuvvetli çözelti konsantrasyonu Na<sub>2</sub>O<sub>k</sub> (g/l) 2017.



**Çizelge 4.10.** 1.Batarya aparat (812) kuvvetli çözelti sıcaklık °C değerleri 2017.



**Çizelge 4.11.** 1.Batarya aparat (812) kuvvetli çözelti konsantrasyonu Na<sub>2</sub>O<sub>k</sub> (g/l) 2017.



1.Batarya 1. Aparat (809)'e ait grafiklere bakıldığında kuvvetli kostik çözeltisinin yıllık ortalama sıcaklık değeri 112 °C ve ortalama konsantrasyon değeri ise 254,6 g/l' dir.



**Şekil 4.11a.**



Şekil 4.11b.



Şekil 4.11c.

Şekil 4.11. 1.aparat (809) U tipi alt yarı Nikel 200 sac kaplama deneme çalışması



Şekil 4.12. 1.Buharlaştırma 1.aparat (809) alt yarı dirseği A1sı 316 paslanmaz çelik



Şekil 4.13. Batarya aparat kuvvetli çözelti flaş tankı 812 çıkış boru hattı da A1sı 304 paslanmaz çelik malzeme

Nikel 200 malzeme ile içi kaplama yapılan ekipmanlar yaklaşık olarak 10.000 saatlik süredir çalışmakta olup Nikel 200 malzemede kostik kırılğanlığına bağlı kostik korozyonu meydana gelmediği gözlemlenmiştir. Çalışmaya devam ettirilmekte ve performans durumu gözlenmektedir. 6000 saatlik süredir çalışmakta olan AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik alaşım ile yapılan dirsek ve borularda kostik kırılğanlığına bağlı korozyon nedeni ile kostik kaçaqları görülmeye başlanmıştır. Korozyon oranları kritik seviyeye ulaşana kadar çalıştırılıp toplam çalışma saati gözlenecektir.

#### 4.4. Metal Kayıp Oranı Test Çalışması

Diğer bir performans deneme çalışması olarak metal kayıp oran testi yapılmaya başlanmıştır. Bu test çalışması için; St37-2, AISI 304, AISI 316, Monel 400, Hastelloy C22 ve Hastelloy C276 malzemelerine ait kuponlar hazırlanmıştır (Şekil 4.14).



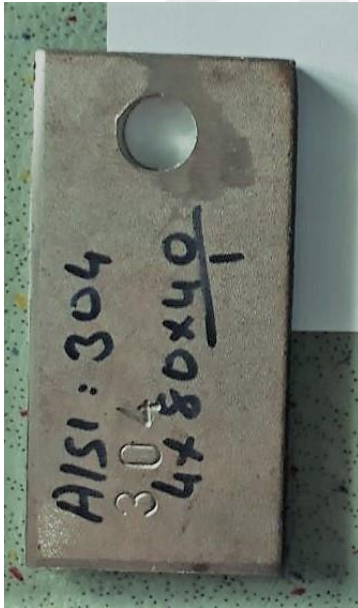
Şekil 4.14a. St37-2 (Ç1020)



Şekil 4.14b. Hastelloy C22



Şekil 4.14c. Hastelloy C276



Şekil 4.14d. AISI 304



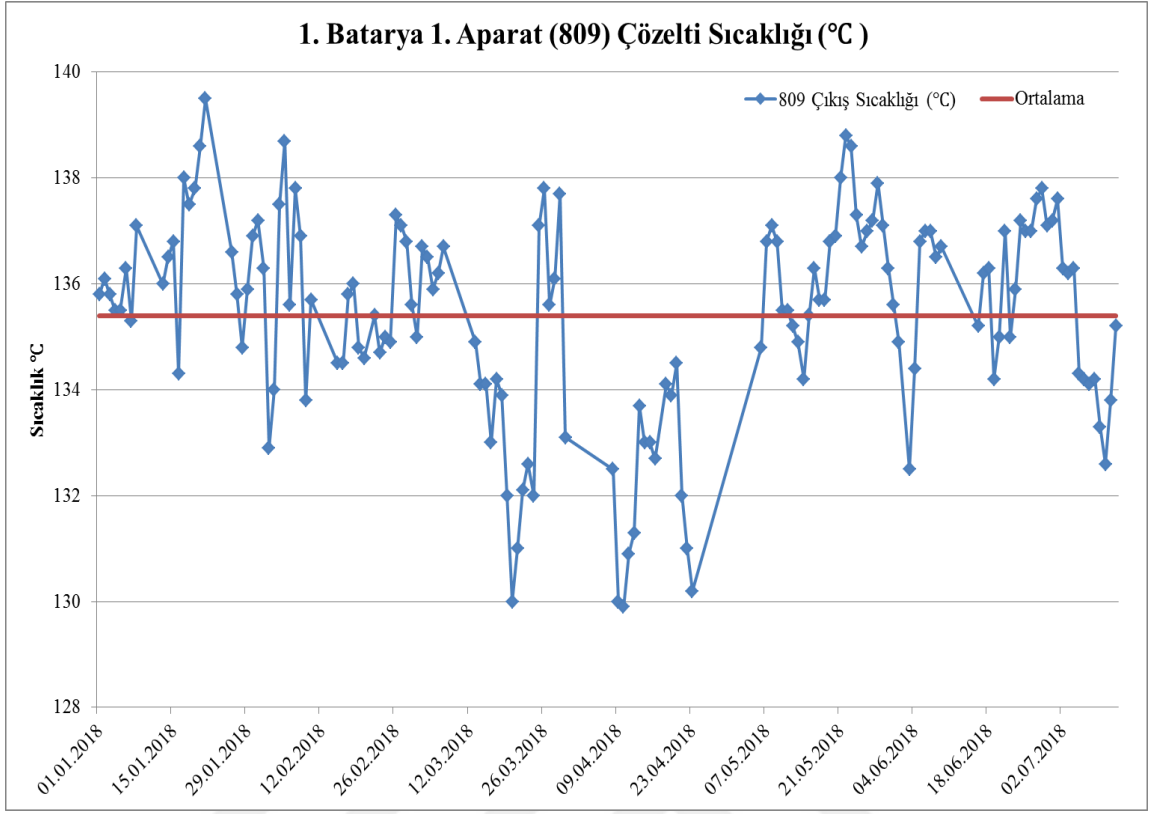
Şekil 4.14e. AISI 316



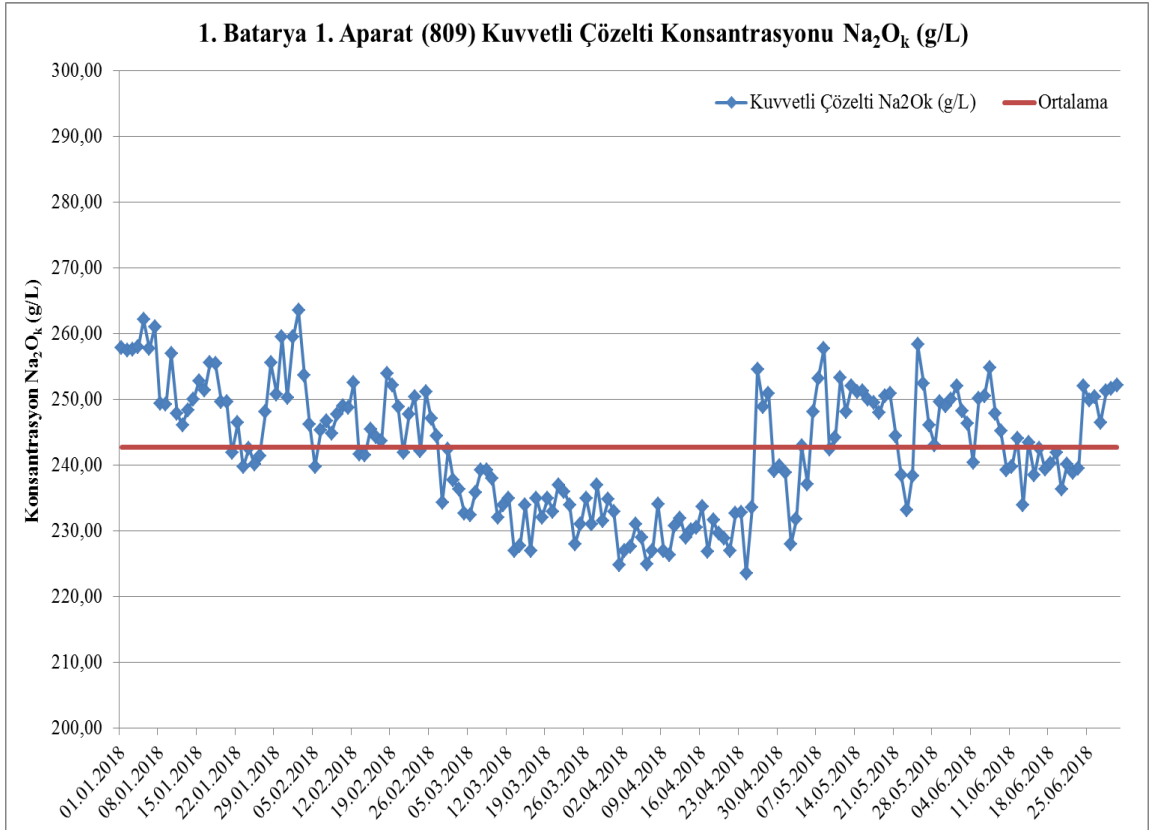
Şekil 4.14f. Monel 400

1. Batarya 1. aparat (809) ait kuvvetli çözelti sıcaklık ve konsantrasyon değerlerine ait grafikler aşağıda verilmiştir. Ve yıllık ortalama sıcaklık 135,5 °C ve ortalama konsantrasyon 242,8 g/l dir. Hazırlanan kuponlar 2018 yılı başında 1. Batarya 1. aparat (809) içerisine yerleştirilerek (Şekil 4.15) deneylere başlanılmıştır.

**Çizelge 4.11.** 1.Batarya 1.aparat (809) kuvvetli çözelti sıcaklık °C değerleri 2018.



**Çizelge 4.12.** 1.Batarya 1.aparat (809) kuvvetli çözelti konsantrasyonu Na<sub>2</sub>O<sub>k</sub> (g/l) 2018





**Şekil 4.15.** 1.Batarya 1.aparat içerisinde konulan St37-2, AISI 304, AISI 316, Monel 400, Hastelloy C22 ve Hastelloy C276 kuponlar

Test kupon malzemeleri 1. Batarya 1.aparat içerisine yerleştirilerek çalışma performansı gözlenmeye başlanmıştır.

1. Batarya 1.aparat 402,5 saatlik çalışma saatine ulaştığında kontrol için devreden çıkarıldı ve kuponlar su ile yıkandıktan sonra, laboratuarda fırın içerisinde yaklaşık 180°C sıcaklıkta 1 saat kurultuktan sonra hassas terazi ile tartım yapılmıştır.

Birinci tartım sonrasında kuponlar tekrar batarya içerisine yerleştirilerek 1.batarya tekrar devreye alınmıştır. 367 saatlik çalışma sonrasında kontrol ve tartım için batarya devreden çıkarılmış ve sonrasında 2. tartım yapılmıştır.

İkinci tartım sonrasında kuponlar tekrar batarya içerisine yerleştirilerek 1.batarya tekrar devreye alınmıştır. 671 saatlik çalışma sonrasında kontrol ve tartım için batarya devreden çıkarılmış ve sonrasında 3. tartım yapılmıştır.

İlave olarak yeni kupon denemesi için hazırlanan Monel 400 alaşımına ait kuponlar hazırlanmış ve diğer kuponlar ile birlikte batarya içerisine yerleştirilmiş ve 11.07.2018 tarihinde devreye alınarak test kupon çalışmasına devam edilmektedir. Test çalışması yapılan kupon malzemelerine ait ağırlık tartım sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.13’ de verilmiştir.

**Çizelge 4.13.** Kupon malzemelerin ağırlık ölçümleri.

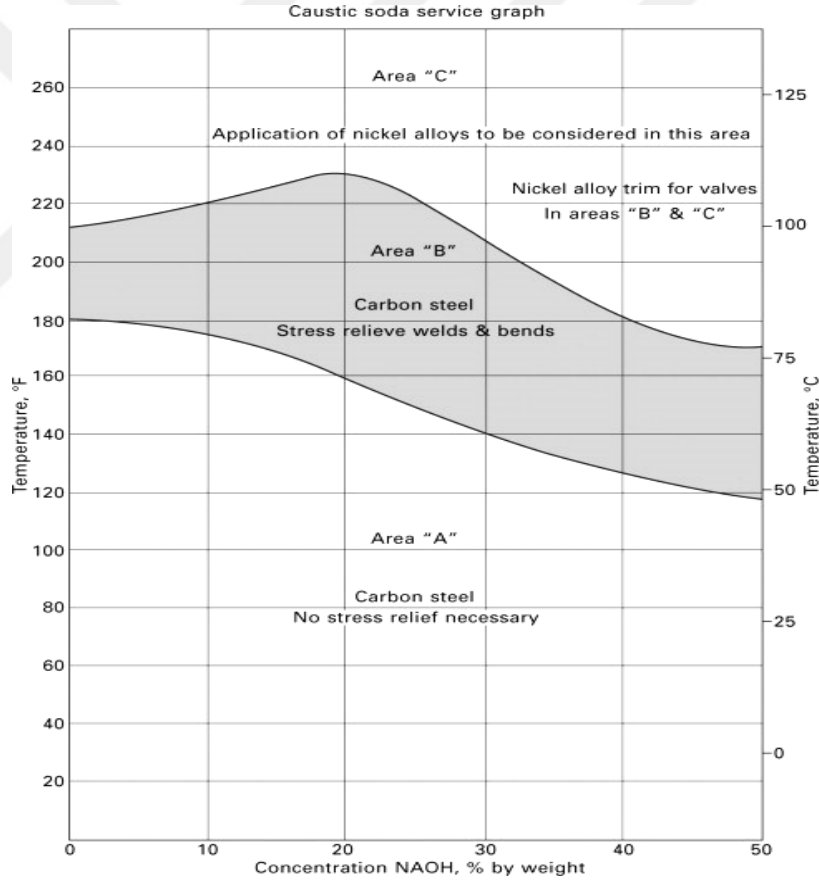
| <b>Malzeme Alaşımı</b>           |                |                      |                       |                 |                 |                              |
|----------------------------------|----------------|----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
|                                  | <b>St 37-2</b> | <b>Hastelloy C22</b> | <b>Hastelloy C276</b> | <b>AISI 304</b> | <b>AISI 316</b> | <b>Monel 400 (Alloy 400)</b> |
| <b>Başlangıç Ağırlığı (Gram)</b> | 76,805         | 80,403               | 79,388                | 76,287          | 76,378          | -----                        |
| <b>Çalışma Saati</b>             | <b>770</b>     | <b>770</b>           | <b>770</b>            | <b>770</b>      | <b>770</b>      | -----                        |
| <b>1.Tartım Ağırlığı (Gram)</b>  | 76,066         | 80,111               | 79,295                | 73,845          | 72,218          | -----                        |
| <b>Kayıp Miktarı (Gram)</b>      | 0,739          | 0,292                | 0,093                 | 2,442           | 4,16            | -----                        |
| <b>Değişim Oranı %</b>           | <b>0,96%</b>   | <b>0,36%</b>         | <b>0,12%</b>          | <b>3,20%</b>    | <b>5,45%</b>    | -----                        |
| <b>Çalışma Saati</b>             | <b>671</b>     | <b>671</b>           | <b>671</b>            | <b>671</b>      | <b>671</b>      | -----                        |
| <b>2.Tartım Ağırlığı (Gram)</b>  | 75,216         | 80,2                 | 79,259                | 72,8            | 70,418          | 77,624                       |
| <b>Kayıp Miktarı (Gram)</b>      | 0,85           | 0,111                | 0,076                 | 1,045           | 1,8             | -----                        |
| <b>Değişim Oranı %</b>           | <b>1,12%</b>   | <b>0,14%</b>         | <b>0,10%</b>          | <b>1,42%</b>    | <b>2,49%</b>    | -----                        |
| <b>Çalışma Saati</b>             | <b>600</b>     | <b>600</b>           | <b>600</b>            | <b>600</b>      | <b>600</b>      | <b>600</b>                   |
| <b>3.Tartım Ağırlığı (Gram)</b>  | 74,22          | 79,99                | 79,198                | 70,01           | 65,68           | 77,18                        |
| <b>Kayıp Miktarı (Gram)</b>      | 0,996          | 0,21                 | 0,061                 | 2,79            | 4,738           | 0,444                        |
| <b>Değişim Oranı %</b>           | <b>1,32%</b>   | <b>0,26%</b>         | <b>0,08%</b>          | <b>3,83%</b>    | <b>6,73%</b>    | <b>0,57%</b>                 |

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Tüm konsantrasyonlarda bulunan kostik, karbon çelikler dahil olmak üzere çeşitli metaller ve alaşımlarıyla temas halinde iken oda sıcaklığında bile kostik korozyonu kolayca oluşabilir. Artan sıcaklık ve konsantrasyon ile kostik daha da aşındırıcı hale gelir.

Karbon çeliğinin yararlı emniyet limiti, korozyon açısından yaklaşık 150 °C / 65 °C'dir. Düşük kostik konsantrasyonları, SCC 'nin bir risk faktörü olmaya başladığı 176 °C / 80 °C 'ye kadar karbon çeliği tarafından güvenli bir şekilde ele alınabilirken,% 50' lik bir NaOH çözelti için güvenli üst sınır yaklaşık 120 °C /48 °C' dir. Karbon çeliğin güvenli çalışma sıcaklığı ile ilgili olarak, Şekil 5.1'de ki eğriye bakılmalıdır.



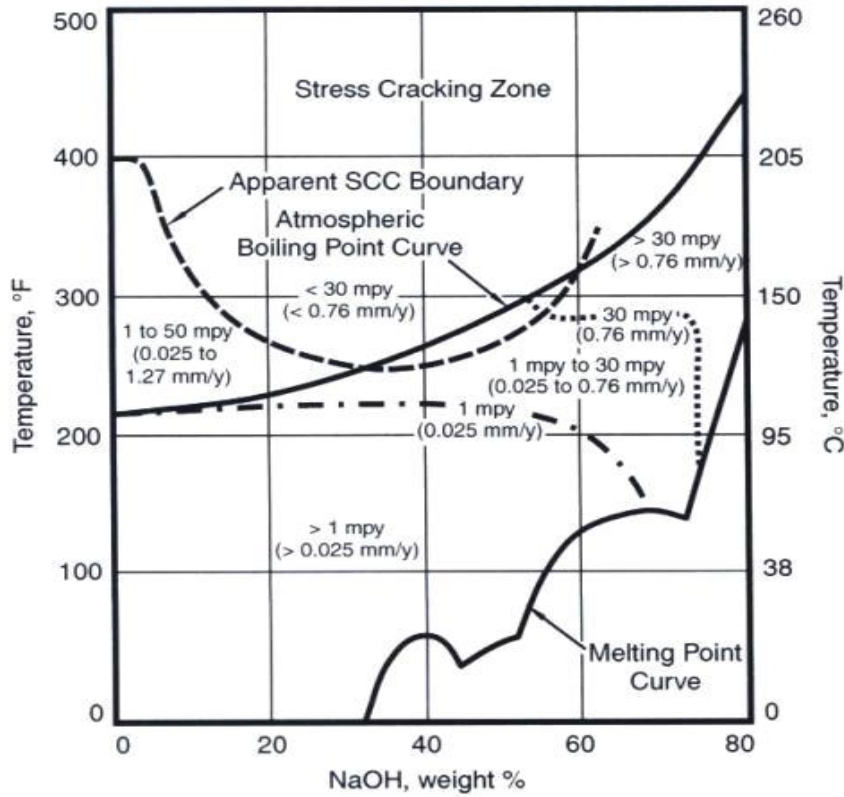
Şekil 5.1. Karbon çeliği SCC diyagramı

Östenitik paslanmaz çeliklerde ise;

Ticari olarak saf kostik çözeltileri kullanan araştırmacılar, kostik gevrekleşmeyi düzenleyen konsantrasyon ve sıcaklık parametrelerini tasvir etmeye çalışan bir diyagram geliştirdiler. 300 serisi östenitik paslanmaz çeliklerin SCC'si için geliştirilen grafik Şekil 5.2' de verilmiştir.

1mm/y korozyon hattı yaklaşık olarak 100 °C' de sabittir, % 20-60 oranındaki kostik ve SCC' nin tanımlaması % 40-50 aralığında biraz daha yüksektir.

Aslında, tip 300 serisi sınıflarda onların pasifliğini kaybeder ve sıcak % 40-50 kostik hızlı genel korozyonu uğrayabileceği gerçek bir olasılık olduğu gözlenmiştir. Muhtemel emniyet sınırları, eğride belirtilenlerin çok altındadır, örneğin % 50 kostik için 70 °C ve % 40 çözeltiler için 80 °C dir. 304/316 tipi paslanmaz çelik için ortak servis maksimum sıcaklık limiti 100 °C' dir. Kostik çatlama daha yüksek sıcaklıklarda oluşabilir. 300 serisi paslanmaz çeliklerin SCC' si klasik olarak transgranülerdir. 304 ve 316 gibi östenitik paslanmaz çelikler, kostik koşullarında karbon çeliğinden bile daha az dayanıklıdır. Deneysel kanıtlar, SCC için en olası mekanizmanın anodik çözünme olduğunu göstermektedir (Rebak,2006).



Şekil 5.2. Östenitik paslanmaz çeliği SCC diyagramı

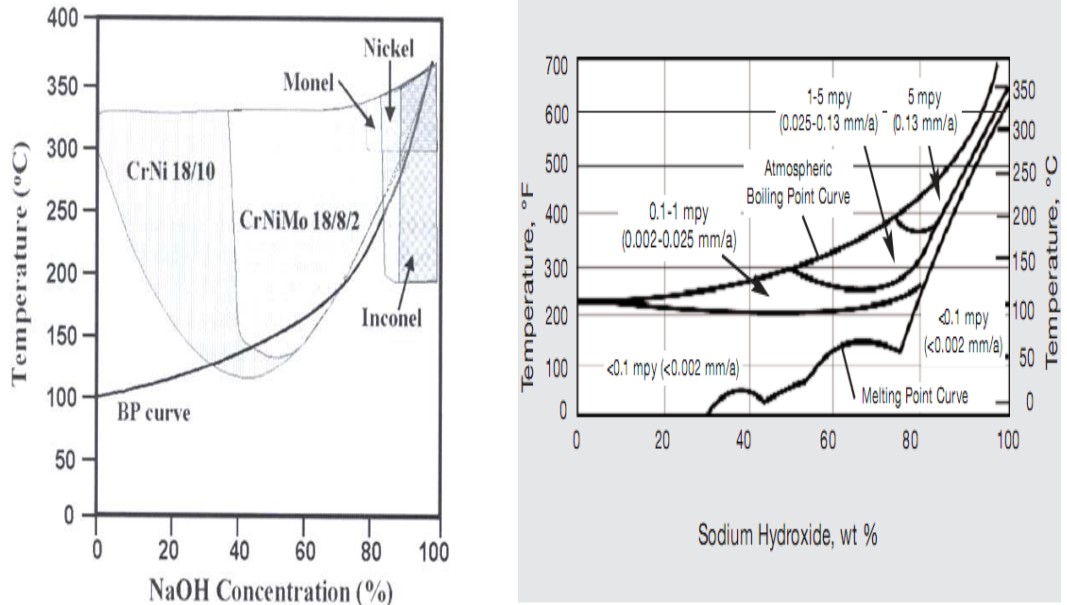
Nikel alaşımlı çeliklerde ise;

Ticari olarak saf nikel, alaşım N200 ve alaşım N201, kostik ortamlarda korozyona ve gerilmeli korozyon çatlamasına direnmek için en iyi malzemelerdir. Bununla birlikte, bu alaşımlar, kostik yoğunluklarında 290 C' nin (550°F) üzerindeki sıcaklıklarda % 70'in üzerinde kostik stres korozyonu çatlamasına maruz kalabilirler (Rebak, 2006).

Ticari olarak saf Ni, genel korozyon ve stres korozyon atlağı (SCC) perspektiflerinden kostik uygulamalar için en dirençli malzemedir. Nikel açısından zengin alaşımlar da iyi bir performans sunar. En önemli alaşım elementleri Ni ve Cr' dir. Molibden yararlı bir alaşım elementi değildir ve tercihen kostik ortamların varlığında alaşımdan özünür (Rebak, 2006).

Alaşım N400 ve alaşım N600 de mükemmel stres korozyon direncine sahiptir. Bununla birlikte, bu alaşımlar, kostik yoğunluklarda 290 C' nin (550°F) üzerindeki sıcaklıklarda ve % 70 üzerinde kostik konsantrasyonun stres korozyonu çatlamasına maruz kalabilir.

Hastelloy C-276 gibi Ni-Cr-Mo alaşımları da kostik çatlama direncine sahiptir, ancak yüksek konsantrasyonlar da ve sıcaklıklarda kostik korozyon çatlamasına karşı hassastır. Nikel ve alaşımlarının SCC' si için verilen grafik Şekil 5.3' de verilmiştir.



Şekil 5.3. Nikel ve diğer alaşımların SCC diyagramı

Mevcut proses şartlarında bazı denemeler yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda ve literatür araştırmaları neticesinde;

1. St37-2 Karbon çeliğinin literatürde de belirtilen çalışma grafiğine baktığımızda, mevcut proses çalışma şartlarımızda yapılan çalışmalar sonucunda kostik korozyonu direncinin düşük olduğunu ve yaklaşık 7500 – 9000 saatlik çalışma sürelerinde kostik korozyonuna bağlı kaynak çatlakları oluşmuştur.

Bu nedenle mevcut çalışma şartlarımız aynı değerlerde devam edeceğinden dolayı karbon çeliğinin kostik depolama tank ve ekipmanlarının imalatında kullanılması uygun görünmemektedir. Literatürde de belirtildiği gibi karbon çeliklerinin emniyetli çalışma sıcaklık limiti 65 °C' dir. Daha düşük kostik konsantrasyonlarında ise bu sıcaklık değerleri 80 °C' ye ulaşmaktadır fakat mevcut proses çalışma sıcaklık ve konsantrasyonlarında karbon çeliğinin kullanımı uygun değildir. Ayrıca kupon testi çalışmalarına baktığımızda metal kayıp oranının da yüksek olduğu tespit edilmiştir.

2. Östenitik paslanmaz çelik AISI 304 ve AISI 316 malzemeler ile kaplama ve ekipman imalatı yaparak mevcut prosesimizde farklı iki noktada kullanılarak çalışma performansları takip edilmiştir. Düzenlenmiş dönüş çözelti tankın da yaklaşık 7500 saatlik çalışma saati sonrası kostik korozyonuna bağlı olarak kaynak kaçaqları yaşandığını gözlemlenmiştir.

Buharlaştırma bölümü 1.aparat dirsek ve boruların imalatı da AISI 304 ve 316 paslanmaz çelikten yapılarak test edilmiştir. AISI 304 ve 316 paslanmaz çeliğinin karbon çeliğine nazaran daha az direnç gösterdiği ve 6000 saatlik çalışma süresinden sonra kostik korozyonuna bağlı kaynak kaçaqları görülmüştür.

Östenitik tip 304 ve 316 gibi paslanmaz çelikler, kostik hizmet için karbon çeliğinden daha az güvenilir görünmektedir. 300 serisi östenitik paslanmaz çelikler, 100 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda da kostik çatlamaya maruz kalmaktadır. 304 ve 316 paslanmaz çeliklerin korozyon çatlak hassasiyeti aynıdır. Fakat kostik konsantrasyonu % 10-20 ile sınırlı olduğunda problemler nadiren ortaya çıkar (Rebak, 2006).

Yapılan metal kayıp oran test çalışmasında incelenen 304 ve 316 paslanmaz çeliklerine ait kuponların ağırlık tartımlarına baktığımızda karbon çeliğine nazaran daha fazla metal kaybı olduğu gözlenmiştir.

3. Nikel 200 alaşımı ile kaplama yapılmış olan buharlaştırma bataryası 1.aparatı alt yarısı yüksek sıcaklık ve konsantrasyonlar da yaklaşık 9200 saattir çalışmakta olup, kostik korozyonuna bağlı kaynak çatlakları oluşmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle Nikel 200 malzemenin çalışma performansının gözlenmesine devam edilmektedir. Nikel 200 alaşımının mevcut proses koşullarında çok iyi performans göstereceği düşünülmektedir.
4. Metal kayıp oran testi için kupon denemelerine başlanılarak belirli periyotlarda ağrılık ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu denemelerden elde edilen sonuçlara göre Hastelloy C276 diğer malzemelere göre mevcut proses çalışma şartlarında daha az metal kayıp oranı sergilemekte ve proses şartlarına daha uygun olduğu görülmektedir. Prosesde kupon test denemeleri devam etmektedir.

## 5.2. neriler

Yapılan tüm bu deneysel deneme çalışmalar ve testler sonucunda elde edilen verileri inceleyip değerlendirdiğimizde, mevcut prosese ait kostik konsantrasyon ve sıcaklıklarına dayanlı en uygun malzeme alaşımları olarak Nikel 200 ve Hastelloy C276 alaşım malzemeleri olduğu tespit edilmiştir.

Hastelloy C276 ve özellikle Nikel 200 alaşımı ile yapılacak tüm iyileştirme ve yenileme çalışmaları sayesinde;

- Proses tank ve elipmanlarının çalışma performansları en üst düzeyde tutulması sağlanacak,
- Kostik korozyonuna bağlı olarak tank ve ekipmanlarda meydana gelen kaynak kaçakları nedeni ile oluşan üretim kayıpları minimize edilecek , bu sayede üretim maliyetleri aşağıya çekilmiş olacak,
- Tank ve ekipmanların bakım-onarım giderleri ve işçilik maliyetleri düşürülecek,
- Tanklarda ve ekipmanlarda kostik korozyonuna bağlı meydana gelen kaynak kaçaklarının çevresel ve iş güvenliği açısından oluşturduğu tehlikeler en aza indirgenecektir.

## KAYNAKLAR

- Bayer process, [http://en.wikipedia.org/wiki/Bayer\\_process](http://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_process), [Ziyaret Tarihi: Ekim 2014]
- Bulletin for History of Chemistry, 1995.
- Eti Alüminyum A.Ş., 2006, Alümina Fabrikası Müdürlüğü Talimatlar El Kitabı, Eti Alüminyum A. Ş., Seydişehir, 70-71.
- Etibank, 1992, “Alümina Fabrikası Tanımı”, Etibank Yayınları, Seydişehir, 1–16.
- Etibank, 1992, “Alüminyum Endüstrisi”, Etibank Yayınları, Seydişehir, 1–15.
- Etibank, 1992, “Eti Alüminyum A.Ş. Tesisleri Tanımı”, Etibank Yayınları, Seydişehir, Sayfa 3–9.
- Gencer, E. ve Nemli, H.F., 1981, Boksitten Alümina Üretiminin Kimyasal Temeli ve Teknolojisi, Etibank yayınları, Seydişehir, 13-15.
- Özdemir, S., 1974, Etibank Alüminyum Tesisleri Alümina Fabrikası Teknolojik Tanımı, Etibank yayınları, Seydişehir, 1-8.
- Tekin, A.. 1996, Çeliklerin Metalurjik Dizayını; İ.T.Ü. Metalurji Fakültesi, 40-43.
- Tülbentçi, K. ve Kaluç, E., 1995, “Paslanmaz çelikler ve kaynaklara bilirligi seminer notları”, Kocaeli Üniversitesi, Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi, 85-87.
- Aran, A., Temel, M. A. 2004, “Paslanmaz Çelik”, Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul.
- Gourd, L.M., 1995, Kaynak Teknolojisinin Esasları, (Çev., B. Eryürek, O. Bodur ve A.Dikicioğlu), Birsen Yayınevi, İstanbul
- Durgutlu, A. 1987, “Ark Kaynağında Kaynak Hızının Mikroyapı Ve Nüfuziyete Etkisinin Güncelenmesi”, Y. Lisans Tezi, G.Ü.F.B.E., ANKARA,
- Eryürek, İ. B. 2007, Kaynak Teknolojisi. İstanbul: Askaynak, 6-8.
- Ural, M., Kaluç, E., Mart 1996, “Paslanmaz Çeliklerin TIG Yöntemi ile Kaynağı”, Makine & Metal Dergisi, 12-20.
- Erişir, E., 2014, MMT 209 Çeliklerde Malzeme Bilimi ve son Gelişmeler, *Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, 1-10.
- Güleç, Ş.. Aran, A., 1987, Malzeme Bilgisi II, *Gebze TÜBÜTAK MBEAE*, 42.
- Ay, İ., Kapusuz, F., 2009, Çelik Standartları Malzeme Teknolojisi-1 Ders Notları, Balıkesir Üniversitesi, 1-3.
- Komaç, E.. 2009 *ASKAYNAK Teknik Eğitim El Kitabı*, 2-8.

- Oğuz, B. , 1975, *Ark Kaynağı El Kitabı OERLİKON Yayını*.
- Covert A.R. ve Tuthill, A.H.. 2000, Stainless Steels: An introduction to their metallurgy and corrosion resistance, Dairy, Food and Enviromental Sanitation, 20, 506-517.
- ASM Handbook Desk Edition, 2001 Vol.1, Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys
- J. Robertson, 1989, The mechanism of high temperature aqueous corrosion of steel, Corrosion. Science. 29.
- Meyer, U. 1993, Erosion–Corrosion in Spent Bayer Liquor, Ph.D. thesis, University of Queensland, Brisbane.
- W. Edwards, 1995, High Free Caustic Test Rig—Final Report, QAL Research and Development Memorandum, Reference: 20.9.1.
- European Patent Application, 2006, Austenitic Stainless Steel, European Patent Office Jindal Steel, (t.y.).Technical Data Sheet, Stainless Steel Grade J 204Cu, New Delhi.
- ASM Metals Handbook, 1989, Arc Welding of Stainless Steels, Volume 6.
- Gürcan, M., 1987, “TIG Kaynağı”, SEGEM (Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü, Ankara,.
- Chaubal, M.V. 1984, “Corrosion in Caustic Environment Applications to Alumina Plants” Light Metals, The Minerals, Metals and Materials Society, 307–324.
- Parkins, R.N. 1977, “Stress Corrosion Cracking and Hydrogen Embrittlement of Iron Base Alloys” NACE, Houston, Texas, 601.
- Sedriks, A.J., 1996, “Corrosion of Stainless Steels”, John Willey & Sons, New York, 02-106.
- Roach, G.I.D. and Cornell, J.B. 1985, “Scaling in Bayer Plants” Chemeca 85, Proceedings of the 13th Australian Chemical Engineering Conference, Perth. pp 217–222.
- Raman, R.K.,and Pala, S., 2007, Revisiting Caustic Craking of Steel Vessels and Pipes fpr alümina Processing, *Department of Mechanical and Aerospace Engineering Department of Chemical Engineering Monash Üniversty, Australia*
- MTI, 2008, Focus On Caustic Stress Corrosion Cracking, [online], Material Technology Intitute, <https://mti.memberclicks.net/...Bulletins/Non...> [Ziyaret Tarihi: Ocak 2016].

- Raman, R.K., July 2005, Evaluation of Caustic Embrittlement Susceptibility of Steels by Slow Strain Rate Testing, *Metallurgical and Materials Transactions*, Volume 36 A. Pages 1817-1823.
- Singbeil, D. ve Tromans D. June 1982, Caustic Stress Corrosion Cracking of mild Steel, *Metallurgical Transactions A, American Society for Metals and The Metallurgical Society of AIME*, Volume 13 A. Pages 1091-1097.
- Rebak, R.B., 2006, Industrial Experience on The Caustic Cracking of Stainless Steels and Nickel Alloys, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, 94550
- DOW, 2016, Caustik Soda Solution Construction Materials for Storage Tanks, <https://www.dowac.custhelp.com/>, [Ziyaret Tarihi: Şubat 2016].
- DOW, 2016, Caustik Soda Solution Preparing a Storage Tank for Welding, <https://www.dowac.custhelp.com/>, [Ziyaret Tarihi: Şubat 2016].
- DOW, 2016, Caustik Soda Solution Storage Tank Lining, <https://www.dowac.custhelp.com/>, [Ziyaret Tarihi: Şubat 2016].
- CM, 2005, Nickel 200/201, <https://www.corrosionmaterials.com/>, [Ziyaret Tarihi: Şubat 2016].
- SMC, 2005, Monel Alloy 400, <http://www.specialmetals.com/>, [Ziyaret Tarihi: Şubat 2018].
- SMC, 2005, High-Performance Alloys for Resistance to Aqueous Solutions Corrosion, <http://www.specialmetals.com/>, [Ziyaret Tarihi: Şubat 2017].

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ömür AVCI  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Karabük – 1980  
**Telefon** : 0539 235 69 19  
**Faks** :  
**e-mail** : Omuravci80@hotmail.com

### EĞİTİM

| Derece        | Adı, İlçe, İl                           | Bitirme Yılı |
|---------------|---|--------------|
| Lise          | : İzmit Gazi Lisesi, Kocaeli            | 1997         |
| Üniversite    | : Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas        | 2004         |
| Yüksek Lisans | : Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya |              |
| Doktora       | :                                       |              |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl                  | Kurum                                  | Görevi           |
|----------------------|--|------------------|
| 2005 Aralık<br>(3ay) | Akkanat Hol. Beyteks A.Ş               | Makine Mühendisi |
| 2005-2007 Eylül      | Tekfen Hol. Tekfen İnş.ve Tesisat. A.Ş | Makine Mühendisi |
| 2007 Eylül           | Cengiz Holding Eti Alüminyum A.Ş       | Makine Mühendisi |

### UZMANLIK ALANI

Kaynak Mühendisliği, Çelik Konstrüksiyon İmalatı ve Montajı, Makine Ekipman Montajı, Konveyör Bant sistemleri, Bilyalı Değirmen, Çekiçli Kırıcı, Santrifüj Pompalar, Preheaterlar, Otoklavlar, Seperatör, Tikiner, Döner Fırınlr, Akışkan Yataklı Fırın, Elektrofiltre, Çeşitli Redüktör sistemleri, Boru Hattı montajı.

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

#### Eğitimler:

Kasım 2017- Mart 2018 ODTÜ “ International Welding Engineer” eğitimi

Health & Safety - BP & AIOC – 01.12.2005(60 hrs)

Genel Metroloji ve Kalibrasyon Eğitimi– TSE – 2014

TS EN ISO 9001 -- TS EN ISO 14001 -- TS 18001 – TS EN ISO 16001 -- TS ISO 10002 Entegre iç denetim sertifikası.

TS 18001--TS EN ISO 9001 -- TS EN ISO 14001 -- TS EN ISO 16001 -- TS ISO 10002 – ISO 50001:2011 temel eğitim ve dokümantasyon yönetim sistemi